

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Cabai rawit merah (*Capsicum frutescens* L.) merupakan komoditas hortikultura strategis yang bernilai ekonomi tinggi serta kaya akan nutrisi esensial seperti vitamin A dan C. Meskipun permintaan pasarnya terus meningkat, produktivitas budidaya cabai sering kali terhambat oleh faktor lingkungan, khususnya anomali ketersediaan air. Sebagai komponen vital dalam metabolisme fotosintesis dan transportasi unsur hara, fluktuasi pasokan air sangat berdampak pada fisiologi tanaman ini; kekurangan air yang ekstrem dapat memicu gagal panen, sedangkan genangan yang berlebih berisiko merusak sistem perakaran. Sensitivitas biologis ini memunculkan kendala pemeliharaan yang menuntut adanya mekanisme pemantauan lahan yang efisien bagi para pemilik tanaman (As'ari & Qiram, 2023).

Sepanjang tahun 2023 hingga 2024, produksi komoditas cabai rawit di berbagai wilayah penyangga di Indonesia seringkali mengalami fluktuasi dan penurunan yang signifikan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), pasokan cabai rawit di beberapa daerah kerap berkurang drastis akibat anomali cuaca dan krisis air yang secara langsung berdampak pada lonjakan harga di pasaran (BPS, 2024). Penurunan kuantitas dan kualitas hasil panen cabai rawit dalam beberapa tahun terakhir ini sebagian besar dipicu oleh anomali kondisi lingkungan. Secara fisiologis, pertumbuhan tanaman cabai rawit sangat bergantung pada stabilitas pasokan air harian dan terbukti sangat rentan terhadap dampak cekaman iklim, khususnya cekaman kekeringan (Novanursandy & Rachmawati, 2023).

Dari beberapa faktor penyebab kegagalan panen, manajemen ketersediaan air atau tingkat kelembapan tanah adalah salah satu kondisi krusial yang sering diabaikan dan menjadi kendala utama bagi para petani. Kebutuhan air pada tanaman cabai sangat spesifik; tanaman cabai rawit merah amat sensitif terhadap kondisi kekurangan maupun kelebihan air. Kekurangan air pada fase vegetatif dapat menghentikan laju pertumbuhan dan membuat tanaman menjadi kerdil, sementara

pada fase generatif dapat memicu kerontokan bunga secara masal. Sebaliknya, kondisi tanah yang terlalu tergenang akibat kelebihan air akan memperburuk sirkulasi oksigen di area perakaran dan sangat memicu perkembangan penyakit mematikan seperti layu *Fusarium* dan *Antraknosa* (Fakhrah et al., 2022).

Kondisi kelembapan tanah yang paling ideal dan direkomendasikan untuk menunjang pertumbuhan tanaman cabai rawit secara optimal berada pada rentang 60% hingga 80% (Suryaningrat et al., 2022). Mempertahankan stabilitas kelembapan tanah pada rentang yang ideal bukanlah hal yang mudah, terlebih pada lahan budidaya yang dihadapkan pada cuaca ekstrem dan krisis air di musim kemarau. Kehilangan kadar air secara cepat tanpa diimbangi oleh sistem irigasi yang tanggap akan memicu cekaman kekeringan, di mana tanaman cabai berisiko kehilangan fungsi penyerapan airnya dan memasuki fase layu permanen. Oleh karena itu, mekanisme pengairan merupakan permasalahan krusial yang harus dikelola secara terukur sebagai upaya teknologi untuk menekan angka kegagalan panen akibat stres lingkungan (Roziqoh et al., 2023). Irigasi penyiraman manual secara konvensional merupakan metode pengelolaan air yang selama ini paling umum dilakukan oleh para petani cabai di Indonesia. Fungsi utama dari metode ini sekadar untuk memberikan pasokan air secara langsung ke lahan atau bedengan agar tanaman bertahan hidup dan terhindar dari fase kekeringan. Namun, praktik penyiraman manual ini memiliki keterbatasan karena sering kali tidak efisien dan tidak mampu menjaga stabilitas kelembapan tanah secara presisi, yang pada akhirnya dapat memicu stres pada tanaman dan memengaruhi kualitas panen (Lestari et al., 2023).

Waktu paling ideal untuk menyiram tanaman cabai rawit merah adalah pada pagi hari (sekitar pukul 06.00–08.00) dan sore hari (pukul 16.00–17.00). Penyiraman di pagi hari sangat direkomendasikan karena memberikan jeda waktu bagi sistem perakaran untuk menyerap air secara optimal sebelum suhu lingkungan melonjak drastis. Hal ini memastikan tanaman memiliki pasokan cairan yang cukup untuk menghadapi tingginya laju transpirasi di siang yang terik. Sebaliknya, menyiram di tengah hari sangat tidak dianjurkan karena tingkat evaporasi sedang berada di puncaknya dan memicu risiko stres pada tanaman akibat perbedaan suhu yang mendadak antara air dan media tanam. Dalam budidaya presisi saat ini,

rentang waktu tersebut sering dijadikan acuan jadwal dasar, di mana sensor kelembapan tanah akan memastikan air hanya disalurkan ketika persentase kelembapan media tanam turun di ambang batas kebutuhan tanaman (umumnya di bawah 60%). (Effendi et al., 2022).

Pada praktiknya, sistem irigasi manual mengharuskan petani untuk memantau dan mengelola aliran air secara langsung di lahan perkebunan. Petani umumnya menggunakan selang, gembor, atau membuka-tutup saluran air parit secara manual berdasarkan perkiraan visual semata, tanpa didukung oleh parameter ukur yang presisi mengenai tingkat kelembapan di bawah permukaan tanah. Proses penyiraman secara konvensional ini tidak hanya menuntut intensitas tenaga kerja yang tinggi dan menyita banyak waktu operasional harian, tetapi juga sangat membatasi efisiensi karena mutlak mengandalkan rutinitas kehadiran fisik petani di lahan budidaya (Hulukati et al., 2025).

Meskipun penyiraman konvensional dapat memberikan pasokan air ke lahan pertanian, metode manual pada umumnya masih memiliki kelemahan fatal karena tingkat presisinya yang sangat rendah. Petani sering kali tidak memiliki instrumen pantau *real-time* yang tangguh dan tahan terhadap korosi untuk pemakaian jangka panjang di dalam tanah. Akibatnya, kerap terjadi pemberian air yang berlebihan (*over-irrigation*) yang berujung pada pemborosan sumber daya dan pembusukan akar, atau justru kekurangan air (*under-irrigation*). Oleh karena itu, inovasi teknologi berupa sistem irigasi tetes otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu menakar presisi volume debit air secara terukur sangat dibutuhkan untuk mencegah gagal panen akibat cekaman lingkungan (Pertiwi et al., 2021).

Irigasi tetes bekerja dengan meneteskan air secara perlahan langsung ke area perakaran tanaman, sehingga meminimalkan evaporasi dan *run-off*. Efisiensi akan semakin optimal jika diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penerapan sistem irigasi tetes otomatis berbasis IoT memungkinkan penyiraman dilakukan secara presisi berdasarkan data aktual dari sensor kelembapan tanah dan suhu. Dengan menggunakan mikrokontroler dan konektivitas *internet*, sistem dapat mengambil keputusan penyiraman secara otomatis tanpa intervensi manusia dan memungkinkan petani untuk memantau kondisi lahan dari jarak jauh melalui *smartphone*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa integrasi IoT pada sistem

irigasi mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 30-50% dibandingkan metode konvensional (Khairunisa et al., 2024). Berdasarkan uraian tersebut, penulis mengangkat judul "Sistem Irigasi Tetes Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Merah Berbasis *Internet of Things* (IoT)" sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas tanaman cabai.

Penelitian relevan pertama yang sesuai dengan penelitian sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai rawit merah berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan oleh Sari, dkk., (2024) dengan judul "Sistem Otomatis Penyiraman dan Pemupukan Tanaman Tin Menggunakan Mikrokontroler ESP32" yang mengembangkan rancang bangun sistem kontrol ganda (air dan nutrisi) menggunakan mikrokontroler ESP32. Dalam penelitian tersebut, ditawarkan implementasi aktuasi terpisah, yaitu penyiraman air yang dipicu oleh fluktuasi sensor kelembapan tanah, serta pemberian pupuk cair yang dieksekusi secara otomatis berdasarkan penjadwalan waktu menggunakan modul *Real Time Clock* (RTC). Meskipun purwarupa tersebut diimplementasikan pada komoditas tanaman tin, arsitektur logika sistemnya sangat relevan dengan kebutuhan otomatisasi pada budidaya cabai rawit merah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi aktuasi penyiraman responsif dan pemupukan terjadwal ini mampu mengoptimalkan asupan nutrisi tanaman dan mencegah *over-irrigation* tanpa memerlukan intervensi manual secara terus-menerus.

Penelitian relevan yang kedua adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh Sukmawati, dkk., (2025) dengan judul "Implementasi Perancangan *Automatic Watering And Nutrition Plant* Berbasis *Cam IoT* Sebagai *Monitoring Smart Farming*". Sistem ini dirancang dengan tujuan untuk memberikan kemudahan interaksi dan pemantauan jarak jauh antara petani dengan lahan budidaya. Sistem mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dengan modul ESP32-CAM yang tidak hanya berfungsi memproses data lingkungan, tetapi juga bertindak sebagai perangkat pengambil gambar kondisi lahan secara visual. Ketika sensor mendeteksi kondisi tanah berada pada level kering, sistem akan secara otomatis mengeksekusi aktuasi pompa penyiraman, dan secara bersamaan mengirimkan pembaruan data beserta notifikasi pengawasan ke aplikasi Telegram di *smartphone* pengguna sebagai media komunikasi *real-time*.

Penelitian relevan yang ketiga adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo, dkk., (2023) dari Universitas Muhammadiyah Ponorogo dengan judul '*Implementation of Fuzzy Logic for Chili Irrigation Integrated with Internet of Things*'. Penelitian ini berfokus pada ketepatan keputusan irigasi. Berbeda dengan sistem *on-off* konvensional, sistem ini menerapkan algoritma Logika Fuzzy pada mikrokontroler untuk menentukan durasi aktuasi pompa penyiraman berdasarkan dua variabel masukan utama: suhu udara dan kelembapan tanah. Logika komputasi akan merespons keadaan lapangan; misalnya, jika suhu sangat panas dan tanah sangat kering, aktuasi pompa akan berjalan lebih lama dibandingkan saat suhu sejuk. Hasil penelitian membuktikan bahwa algoritma ini lebih efektif dalam menjaga stabilitas kelembapan media tanam lahan budidaya dan mencegah *over-irrigation* yang berisiko memicu genangan air penyebab busuk akar pada tanaman cabai.

Penelitian relevan yang keempat adalah hasil penelitian yang dilakukan oleh Septiadi, dkk., (2025) dari Universitas Muhammadiyah Purwokerto dengan judul "Implementasi IoT Untuk *Monitoring* Pertumbuhan Tanaman Cabai Dengan Sistem Penyiraman Otomatis Di Desa Kembaran Wetan". Dengan tujuan untuk meningkatkan efisiensi pemeliharaan tanaman melalui sistem *monitoring* dan penyiraman otomatis bagi petani lokal. Mikrokontroler yang digunakan mengintegrasikan sensor *soil moisture* untuk memantau kondisi kelembapan tanah secara *real-time*. Hasilnya, alat yang dikembangkan mampu mengeksekusi penyiraman secara otomatis berdasarkan parameter kebutuhan air tanaman, yang terbukti mempermudah proses pengawasan lahan dan mengoptimalkan waktu operasional harian dibandingkan dengan metode penyiraman manual konvensional.

Penelitian relevan yang kelima dilakukan oleh Syammarta, dkk., (2025) dari Universitas Balikpapan dengan judul 'Rancang Bangun Sistem Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis Berbasis IoT dan Telegram'. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem irigasi otomatis untuk membantu pengguna memantau serta mengendalikan kelembapan tanah tanaman cabai secara jarak jauh dan *real-time*. Untuk meningkatkan daya tahan perangkat terhadap korosi, sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah kapasitif yang diintegrasikan dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa

air secara otomatis ketika kelembaban tanah berada di bawah ambang batas 50% dan mengirimkan notifikasi status melalui *bot* Telegram. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan sistem mencapai 100%, di mana sensor kapasitif mampu memberikan pembacaan yang stabil dan responsif dengan waktu eksekusi kurang dari 5 detik.

Berdasarkan penelitian yang relevan terdapat beberapa celah pengembangan yang dapat dilakukan. Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan sensor resistif yang mudah korosi atau hanya berfokus pada penyiraman air biasa. Oleh karena itu, pada penelitian "Sistem Irigasi Tetes Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Merah Berbasis *Internet of Things* (IoT)", penulis menitikberatkan pada tiga aspek utama: durabilitas pembacaan kelembapan tanah, presisi takaran volume penyiraman (*flow metering*), dan pemantauan sistem irigasi secara komprehensif, dengan mengintegrasikan Sensor *Capacitive Soil Moisture* (anti-korosi) untuk pembacaan yang lebih awet dan akurat, penambahan Sensor Ultrasonik untuk melakukan *monitoring* jumlah air pada tempat penyimpanan air yang juga menjadi proteksi jika air habis, Sensor *Water Flow* yang dikombinasikan dengan Pompa Peristaltik untuk distribusi volume air yang efisien dan presisi, serta sistem akan termonitor secara *interface* melalui LCD dan jarak jauh (IoT) melalui Telegram. Integrasi yang digunakan tidak hanya memungkinkan penyiraman yang presisi, tetapi juga memungkinkan sistem untuk mengukur debit dan total volume air yang dikeluarkan secara akurat (*flow metering*) dalam skala *prototyping*. Sistem juga akan menggunakan ESP32 yang memiliki performa lebih tinggi dibanding ESP8266 dan terintegrasi dengan aplikasi Telegram untuk *monitoring* dari jarak jauh. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penerapan teknologi yang dapat mengotomatisasi proses irigasi. Salah satu metode yang paling efisien adalah irigasi tetes (*drip irrigation*). Irigasi tetes bekerja dengan meneteskan air secara perlahan langsung ke area perakaran tanaman, sehingga meminimalkan evaporasi dan *run-off*. Efisiensi akan semakin optimal jika diintegrasikan dengan teknologi *Internet of Things* (IoT).

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah di uraikan diatas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Kurangnya efisiensi dalam penggunaan air jika melakukan penyiraman Tanaman menggunakan metode konvensional
2. Belum adanya sistem terintegrasi untuk mengatasi sensitivitas tanaman cabai rawit merah terhadap fluktuasi air, yang mencakup pengendalian kelembapan tanah secara presisi, pembatasan takaran volume air, proteksi ketersediaan air pada tangki, serta fitur *monitoring* jarak jauh
3. Proses penyiraman konvensional menyulitkan tercapainya tingkat kelembapan tanah yang stabil dan presisi pada ambang batas optimal (60% - 80%) secara terus-menerus untuk tanaman cabai rawit merah.
4. Kurangnya keakuratan sistem penyiraman dalam membatasi pengeluaran volume air secara spesifik (target batas 400 ml) dalam satu siklus, sehingga rentan menimbulkan risiko pencucian unsur hara (leaching) atau genangan air.
5. Proses penyiraman tanaman secara konvensional masih sangat bergantung pada keterlibatan tenaga manusia secara terus-menerus dan sulit untuk memberikan takaran air yang akurat.
6. Belum terintegrasinya mekanisme proteksi pada tangki penyimpanan air yang berisiko menyebabkan pompa terus beroperasi (*dry running*) dan cepat rusak ketika air di dalam tangki telah habis.
7. Belum adanya sistem otomatis yang mampu mengontrol penyiraman secara mandiri, memproteksi ketersediaan air di tangki penampungan, serta memberikan laporan pemantauan kondisi tanaman dari jarak jauh.
8. Belum adanya integrasi antara sensor kelembapan tanah, sensor ultrasonik, sensor aliran air, pompa peristaltik, antarmuka LCD, dan sistem *monitoring* jarak jauh melalui aplikasi Telegram ke dalam satu kesatuan sistem irigasi otomatis yang terpadu.

1.3. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam pembuatan “Sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai berbasis *Internet of Things* (IoT)” adalah sebagai berikut :

1. Fokus penelitian hanya pada sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai rawit merah berbasis mikrokontroler ESP32.

2. Jenis tanaman cabai yang digunakan yaitu cabai rawit merah (*Capsicum frutescens L.*) pada fase generatif.
3. Tidak membahas mengenai analisis agronomi mendalam terkait penyakit tanaman cabai atau rekayasa genetika benih, melainkan fokus pada manajemen ketersediaan air.
4. Modul sensor *Capacitive Soil Moisture* digunakan untuk mendeteksi kelembaban tanah, sensor ultrasonik untuk memantau ketersediaan air di tangki, *water flow* sensor untuk mengukur aliran air yang mengalir dan pompa peristaltik sebagai aktuator penyiraman.
5. Alat menggunakan platform IoT Telegram untuk menampilkan data *monitoring*, namun tidak menggunakan penyimpanan data lokal (SD Card) pada perangkat kerasnya.
6. Sistem hanya dirancang untuk mengaktifkan penyiraman otomatis berdasarkan parameter *threshold* (ambang batas) kelembaban tanah yang telah ditentukan tanpa menggunakan metode klasifikasi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) yang kompleks.
7. Parameter ambang batas sistem ditetapkan pada rentang kelembapan tanah <60% untuk sensor *Capacitive Soil Moisture* sebagai pemicu irigasi, batas minimal ketersediaan air 20% pada sensor ultrasonik untuk melindungi aktuator, serta volume maksimal 400 ml pada sensor aliran air untuk menghentikan pompa peristaltik.
8. Sistem terkoneksi penuh dengan aplikasi berbasis *Internet of Things* (IoT) melalui jaringan Wi-Fi, sehingga pemantauan dapat dilakukan selama perangkat terhubung dengan *internet*.

1.4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai rawit merah berbasis *Internet of Things* (IoT) adalah “Bagaimana merancang bangun dan menguji sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai berbasis *internet of things* (IoT)?”

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai rawit merah berbasis *Internet of Things* (IoT) adalah :

1. Merancang bangun sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai berbasis *Internet of Things* (IoT).
2. Melakukan evaluasi kinerja terhadap integrasi sistem irigasi tetes otomatis untuk memvalidasi akurasi sensor kelembapan tanah kapasitif, kepresisian sensor aliran air, keandalan sensor ultrasonik, serta kontrol antarmuka pada platform Telegram pada sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai berbasis *Internet of Things* (IoT).

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat dari pembuatan “Sistem irigasi tetes otomatis pada tanaman cabai berbasis *Internet of Things* (IoT)” adalah sebagai berikut :

1. Secara Praktis (Efisiensi Waktu dan Tenaga): Memudahkan pengguna atau petani dalam merawat tanaman cabai rawit merah di halaman rumah maupun lahan konvensional melalui sistem irigasi terotomatisasi, sehingga pengguna tidak perlu lagi melakukan penyiraman secara manual setiap hari.
2. Secara Praktis (Pengelolaan Penyiraman): Memberikan takaran air yang akurat langsung ke zona perakaran cabai untuk mencegah terjadinya kelebihan air (*overwatering*) yang berisiko memicu penyakit busuk akar, sekaligus menjaga kelembapan media tanam tetap ideal.
3. Secara Praktis (Aksesibilitas dan Solusi Jarak Jauh): Menjadi solusi cerdas untuk pertanian di wilayah perkotaan dengan mobilitas tinggi, karena pengguna dapat memantau ketersediaan air dalam tong dan status kelembapan tanah dari mana saja melalui notifikasi Telegram.
4. Secara Teoritik (Pengembangan Agritech): Berkontribusi pada pengembangan literatur akademis dan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pertanian presisi (*precision agriculture*), khususnya terkait rekayasa integrasi berbagai sensor (kelembapan tanah kapasitif,

ultrasonik, dan aliran air) dengan aktuator pompa peristaltik dalam satu ekosistem *Internet of Things* (IoT).

5. Secara Teoritik (Validasi Metodologi): Memberikan rujukan ilmiah bagi penelitian selanjutnya terkait bagaimana metode *Research and Development* (R&D) dengan kerangka kerja V-Model dapat diimplementasikan untuk menguji dan memvalidasi keandalan perangkat keras (*hardware*) di lingkungan fisis yang basah seperti area agrikultur.

