

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cabai (*Capsicum annuum* L.) merupakan komoditas sayuran yang dibutuhkan oleh masyarakat Indonesia, baik untuk konsumsi rumah tangga maupun sebagai bahan baku industri pangan (Wahjuni *et al.*, 2022). Data ekspor hortikultura menunjukkan bahwa ekspor cabai periode Januari–Mei 2025 mencapai 4.054 ton, dengan penurunan sebesar 23,74% pada Mei 2025 dibanding April 2025. (Kementrian Pertanian, 2025). Namun, optimalisasi pertumbuhan, hasil, dan efisiensi penggunaan air (*water use efficiency/WUE*) pada budidaya cabai masih menjadi tantangan, terutama pada wilayah dengan keterbatasan air dan kondisi iklim yang dinamis. Selain itu, kebutuhan air tanaman cenderung meningkat pada fase pembentukan buah dan pemasakan, sehingga ketersediaan air menjadi krusial untuk mendapatkan ukuran dan kualitas buah yang optimal (Embaby & Ibrahim, 2026).

SMK Negeri 1 Kuningan merupakan institusi pendidikan vokasi pertanian yang memiliki Program Keahlian Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura (ATPH) sebagai salah satu keahlian di bidang pertanian. Program keahlian ini menekankan pembelajaran berbasis praktik serta penerapan teknologi pertanian agar siswa memperoleh pengalaman langsung dalam kegiatan budidaya dan menghasilkan produk pertanian. Berdasarkan hal tersebut, SMK Negeri 1 Kuningan dipilih sebagai lokasi pengambilan data lapangan karena memiliki kegiatan praktik budidaya tanaman hortikultura, termasuk cabai. Namun, pada pelaksanaannya, penyiraman tanaman cabai masih dilakukan secara manual menggunakan alat sederhana dan berdasarkan kebiasaan, sehingga volume dan waktu pemberian air belum terukur serta cenderung tidak konsisten. Selain itu, pemberian air belum mempertimbangkan perubahan kondisi lingkungan seperti suhu udara dan kelembapan tanah, sehingga kebutuhan air tanaman berpotensi tidak terpenuhi secara optimal.

Dalam konteks budidaya tanaman cabai, pengelolaan irigasi yang tepat menjadi faktor penting untuk menjaga pertumbuhan dan produktivitas tanaman secara optimal. Kondisi ideal irigasi presisi adalah pemenuhan kebutuhan air tanaman sesuai laju *Crop Evapotranspiration* (ETc) untuk menjamin pertumbuhan optimal dan efisiensi penggunaan air (Mukiibi *et al.*, 2023). Secara global, efisiensi penggunaan air di sektor pertanian menjadi isu krusial karena sektor ini merupakan konsumen air terbesar dengan lebih dari 70% (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2025), sementara cabai memiliki nilai ekonomi tinggi dan berperan penting dalam ketahanan pangan. Secara nasional, rata-rata harga Juni 2025 tercatat sebesar Rp49.048/kg untuk cabai merah besar, Rp49.079/kg untuk cabai merah keriting, dan Rp60.257/kg untuk cabai rawit merah (Kementrian Pertanian, 2025). Sistem otomatis saat ini seringkali hanya mengandalkan *sensor* kelembaban tanah yang reaktif dan tidak akurat akibat pengaruh suhu (Chulee *et al.*, 2025). Kondisi ini berisiko menyebabkan kelebihan atau kekurangan air yang pada tanaman cabai dapat memicu busuk akar atau kerontokan bunga. Di sisi lain, penyiraman berlebihan menyebabkan tanah mengandung air secara berlebih. Kondisi tersebut dapat menurunkan aerasi tanah, menghambat pertumbuhan akar, serta menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat dan batang menjadi lebih kurus (Wahjuni *et al.*, 2022). Terdapat kesenjangan antara pendekatan penyiraman konvensional dan kebutuhan pengelolaan air berbasis perhitungan evapotranspirasi yang ilmiah dan efisien pada sistem IoT (Mamun *et al.*, 2025).

Penelitian ini menggunakan konsep *smart drip irrigation* berbasis *Internet of Things* (IoT), yaitu metode irigasi tetes yang menyalurkan air langsung ke zona perakaran tanaman dengan volume dan waktu yang terkontrol, melalui integrasi IoT, data *sensor* dapat dimonitoring secara *real-time* dan sistem penyiraman dapat dikontrol melalui aplikasi berbasis *Android*. Pendekatan ini terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi pemborosan dibandingkan metode konvensional (Jilwana *et al.*, 2025). Tingginya sensitivitas tanaman hortikultura terhadap fluktuasi air menuntut pengelolaan irigasi yang presisi untuk mencegah stres air, di mana pendekatan berbasis ETc berperan penting dalam penjadwalan irigasi

(Mukiibi *et al.*, 2023). ETc merepresentasikan kebutuhan air tanaman akibat evaporasi dan transpirasi, yang digunakan sebagai dasar penjadwalan irigasi presisi. Estimasi ETc dihitung dari *evapotranspiration* referensi (ET_0). Metode *Hargreaves–Samani* merupakan pendekatan berbasis suhu yang banyak digunakan ketika data iklim terbatas (Mukiibi *et al.*, 2023). Pengambilan keputusan penyiraman menggunakan algoritma *Fuzzy Logic* karena metode ini mampu menangani ketidakpastian data lingkungan dan menghasilkan kendali irigasi yang lebih adaptif dibandingkan metode ambang batas statis (Singh *et al.*, 2022).

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* untuk menghasilkan durasi penyiraman yang adaptif berdasarkan kebutuhan air tanaman, yaitu mampu menyesuaikan keputusan penyiraman berdasarkan perubahan parameter lingkungan. Struktur program diawali dengan inisialisasi *sensor*, kemudian sistem membaca suhu udara dan kelembapan tanah yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan ETc serta proses pengambilan keputusan. Tahapan logika *fuzzy* diawali dengan masukan berupa nilai tegas (*crisp*) yang kemudian dikonversi menjadi nilai linguistik melalui proses fuzzifikasi. Selanjutnya, *Fuzzy Inference System* (FIS) dijalankan sehingga menghasilkan keluaran berupa nilai *fuzzy*. Tahap berikutnya adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah keluaran *fuzzy* menjadi *crisp* (Walid *et al.*, 2024). FIS merupakan proses penarikan kesimpulan berdasarkan parameter yang tersedia dan basis aturan untuk menghasilkan keluaran tertentu. (Wahjuni *et al.*, 2022). Algoritma logika *fuzzy* dipilih dalam penelitian ini karena mampu menangani kondisi lingkungan pertanian yang berubah dan tidak pasti, serta terbukti lebih unggul dibanding strategi kontrol konvensional dalam meningkatkan ketepatan keputusan, mengurangi pemborosan sumber daya, menekan kebutuhan tenaga kerja, dan meminimalkan risiko kesalahan pengelolaan (Deepthi *et al.*, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh (Singh *et al.*, 2022) menunjukkan bahwa penerapan sistem irigasi berbasis *fuzzy logic* mampu meningkatkan efektivitas penyiraman secara otomatis. Sistem tersebut memungkinkan pengguna menghemat air dan listrik serta mencegah penyiraman berlebihan (*over-watering*) dan kekurangan penyiraman (*under-watering*), sehingga berkontribusi pada

produktivitas yang lebih tinggi tanpa intervensi manusia. Dan penelitian lain oleh (Wahjuni *et al.*, 2022) mengembangkan sistem irigasi cerdas berbasis logika *fuzzy* untuk budidaya cabai. Penelitian tersebut menyatakan bahwa sistem irigasi tetes cerdas berbasis *Fuzzy* yang dibangun mampu menjaga kelembapan tanah dalam kondisi normal. Selain itu, hasil dari sistem irigasi tetes cerdas berbasis *Fuzzy* untuk budidaya cabai mampu mempertahankan kelembapan tanah pada kondisi optimal dengan nilai 60%–80%. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi metode ETc *Hargreaves–Samani* dan *Fuzzy Logic Mamdani* sebagai dasar pengambilan keputusan irigasi otomatis pada tanaman cabai berbasis IoT. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya berfokus pada monitoring lingkungan atau pengendalian irigasi berbasis *fuzzy*, penelitian ini menggabungkan ETc untuk menghitung kebutuhan air aktual tanaman serta kelembapan tanah untuk menentukan durasi penyiraman secara adaptif, dengan mengacu pada kisaran kelembapan tanah optimal tanaman cabai, yaitu sekitar 60%–80%.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan sistem irigasi tetes berbasis IoT yang menghitung kebutuhan air tanaman menggunakan ETc metode *Hargreaves–Samani* dan menentukan keputusan penyiraman dengan *Fuzzy Logic Mamdani*. Adapun judul penelitian yang diajukan adalah “Implementasi Metode ETc *Hargreaves–Samani* dan *Fuzzy Logic* pada Sistem Irigasi Tetes Tanaman Cabai Berbasis IoT”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Siswa masih banyak melakukan proses penyiraman secara manual, sehingga membutuhkan waktu, tenaga, dan pengawasan yang lebih besar, terutama pada lahan budidaya yang luas.
2. Siswa masih mengalami kesulitan dalam menentukan kebutuhan air secara tepat, sehingga penyiraman sering dilakukan berdasarkan perkiraan tanpa mempertimbangkan kondisi lingkungan dan kebutuhan aktual tanaman.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara membuat irigasi tetes tanaman cabai secara otomatis berbasis IoT?
2. Bagaimana mengimplementasikan metode ETc *Hargreaves–Samani* dan algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* untuk menentukan durasi penyiraman secara adaptif pada sistem irigasi tetes tanaman cabai?

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini dibatasi pada perancangan prototipe sistem irigasi tetes berbasis IoT dengan ETc *Hargreaves-Samani* dan *Fuzzy Logic*.
2. Parameter yang digunakan adalah ETc (Rendah 1.7-3.5, Sedang 2-6, Tinggi 4.5-6.3), kelembapan tanah (Kering 0-60%, Lembap 40-80%, Basah 60-100%) serta durasi irigasi (Singkat 14-30 detik, Sedang 14-50 detik, Tinggi 35-50 detik).
3. Penelitian difokuskan pada pemberian air yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, tanpa menganalisis dampak jangka panjang.
4. Penelitian ini dibatasi pada pengujian fungsional sistem, tidak mencakup analisis optimasi perangkat keras, konsumsi energi, dan komunikasi sistem dalam penggunaan jangka panjang di lapangan.
5. Komponen utama yang digunakan adalah ESP8266, sensor suhu DS18B20, *capacitive soil moisture sensor V2*, dan *mini pump DC*.
6. Visualisasi data hasil penyiraman dan kondisi *sensor* secara *real-time* dibatasi pada aplikasi berbasis *Android*.
7. Pengujian dilakukan pada skala prototipe dengan 1 tanaman cabai sebagai sampel.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh hasil yang relevan dan dapat diimplementasikan sebagai solusi terhadap permasalahan. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang prototipe sistem irigasi tetes tanaman cabai berbasis IoT yang dapat dimonitor dan dikontrol melalui aplikasi *Android*.
2. Mengimplementasikan metode perhitungan ETc *Hargreaves–Samani* dan algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* untuk menentukan durasi penyiraman secara adaptif pada prototipe sistem irigasi tetes tanaman cabai.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, maka manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi secara teoritis maupun praktis bagi pihak-pihak terkait, sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan referensi ilmiah mengenai penerapan perhitungan kebutuhan air tanaman berbasis ETc metode *Hargreaves–Samani* yang dipadukan dengan algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* pada sistem irigasi tetes berbasis IoT. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem irigasi presisi pada tanaman hortikultura, khususnya cabai, pada skala prototipe.

2. Manfaat Praktis

a. Bagi Peneliti

Penelitian ini dapat menjadi sarana penerapan pengetahuan dalam bidang IoT, perhitungan ETc, serta algoritma *Fuzzy Logic Mamdani* untuk membangun prototipe sistem irigasi tetes. Selain itu, penelitian ini memberikan pengalaman dalam merancang, mengimplementasikan, serta menguji sistem penyiraman otomatis yang adaptif pada budidaya tanaman cabai.

b. Bagi Pengguna

Penelitian ini diharapkan membantu siswa dalam pengendalian penyiraman tanaman cabai berdasarkan kebutuhan air tanaman. Perhitungan nilai ETc dan penggunaan sistem berbasis IoT memungkinkan siswa untuk mendapatkan informasi kebutuhan air tanaman serta data kondisi lingkungan dari *sensor* yang digunakan.