

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara agraris terbesar di dunia, di mana sektor pertanian masih menjadi penopang utama dalam perekonomian nasional. Selain menjadi sumber utama penghidupan masyarakat pedesaan, sektor ini juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023, sektor pertanian tercatat menyumbang sekitar 13,5% terhadap total PDB nasional serta menyerap lebih dari 38 juta tenaga kerja yang tersebar di berbagai wilayah. Fakta ini menegaskan bahwa pertanian bukan hanya sekadar aktivitas ekonomi, tetapi juga merupakan bagian penting dalam menjamin ketahanan pangan nasional dan kesejahteraan masyarakat.

Meskipun memiliki peran strategis, sektor pertanian di Indonesia masih dihadapkan pada berbagai permasalahan mendasar yang belum terselesaikan secara optimal. Salah satu tantangan utama adalah masih rendahnya efisiensi dalam sistem pengelolaan air. Air merupakan komponen vital dalam aktivitas pertanian, namun pengelolaannya masih sangat bergantung pada sistem irigasi tradisional yang bersifat konvensional. Data menunjukkan bahwa lebih dari 60% lahan pertanian di Indonesia masih menggunakan sistem penyiraman manual atau irigasi sederhana. Kondisi ini menimbulkan berbagai persoalan, seperti pemborosan air, distribusi yang tidak merata, hingga penurunan produktivitas tanaman.

Penelitian yang dilakukan oleh (Dairi, 2021) di Bendung Wonco II, Kota Baubau menunjukkan bahwa efisiensi saluran irigasi hanya mencapai 69,97%, sementara sekitar 30% air terbuang sia-sia akibat kebocoran, penguapan, dan distribusi yang tidak merata. Masalah ini diperparah oleh kondisi infrastruktur irigasi yang sudah menua, kurangnya pemeliharaan rutin, serta minimnya penerapan teknologi modern. Akibatnya, banyak petani mengalami kesulitan dalam memastikan pasokan air yang optimal, terutama di musim kemarau ketika ketersediaan air semakin terbatas.

Selain faktor infrastruktur, kelemahan lain dari sistem penyiraman tradisional adalah tidak adanya teknologi monitoring yang dapat memberikan data kelembapan tanah secara real-time. Banyak petani yang masih melakukan penyiraman berdasarkan kebiasaan turun-temurun, pengalaman pribadi, atau sekadar perkiraan cuaca. Akibatnya, penyiraman sering kali tidak sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman. Menurut laporan Kementerian Pertanian (2022), sekitar 40% air penyiraman justru terbuang percuma karena penggunaan yang tidak efisien dan tidak tepat sasaran. Hal ini menimbulkan pemborosan sumber daya, sekaligus menurunkan produktivitas pertanian.

Permasalahan tersebut semakin diperparah oleh dampak perubahan iklim global. Perubahan pola curah hujan, meningkatnya suhu ekstrem, serta musim kemarau yang lebih panjang membuat pasokan air semakin tidak stabil. (Malau et al., 2023) mencatat bahwa fenomena ini meningkatkan risiko kekeringan di sejumlah wilayah, sementara daerah lain justru mengalami banjir akibat intensitas hujan yang tinggi. (Rozci, 2024) juga menyatakan bahwa ketidakstabilan pasokan air berimbas pada stres tanaman, baik karena kekurangan maupun kelebihan air. Kondisi ini mengganggu pertumbuhan, mengurangi kualitas hasil panen, bahkan menimbulkan risiko gagal panen.

Dampak perubahan iklim tidak hanya terbatas pada pola curah hujan, tetapi juga berpengaruh pada ketersediaan air tanah dan air permukaan. Laporan terbaru menunjukkan bahwa sejumlah wilayah di Indonesia mengalami penurunan cadangan air tanah hingga 20% dalam satu dekade terakhir akibat berkurangnya resapan air dan meningkatnya laju penguapan. Situasi ini semakin menyulitkan petani yang masih mengandalkan metode penyiraman manual yang tidak efisien. Jika kondisi ini terus berlanjut tanpa adanya intervensi teknologi, maka sektor pertanian akan semakin rentan terhadap ancaman produktivitas rendah dan ketahanan pangan nasional pun terancam.

Penurunan produktivitas akibat sistem penyiraman yang tidak efisien juga didukung oleh penelitian (Estiningtyas & Syakir, 2017) yang menyebutkan bahwa faktor iklim sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan padi. Suhu udara yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan respirasi tanaman serta memicu serangan hama dan penyakit. Akibatnya, luas panen berkurang dan hasil pertanian menurun secara signifikan. BPS (2023) mencatat bahwa produktivitas padi di Indonesia menurun sekitar 5% dalam lima tahun terakhir, sebuah angka yang cukup mengkhawatirkan jika tidak segera diatasi dengan inovasi teknologi.

Di sisi lain, meskipun konsep smart farming dan teknologi berbasis Internet of Things (IoT) mulai diperkenalkan, penerapannya di Indonesia masih sangat terbatas. Data Kementerian Komunikasi dan Informatika (2023) menunjukkan bahwa hanya sekitar 15% petani yang memiliki akses terhadap teknologi IoT, jauh lebih rendah dibandingkan dengan negara-negara maju seperti Jepang dan Belanda yang sudah melampaui 70%. Rendahnya adopsi teknologi ini disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keterbatasan infrastruktur internet di pedesaan, mahalnya biaya perangkat, serta rendahnya literasi digital petani.

Padahal, penerapan IoT dalam sistem penyiraman menawarkan solusi yang efektif. Dengan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan berbasis data, petani dapat memperoleh informasi akurat secara real-time mengenai kondisi tanah dan perkiraan cuaca. Hal ini memungkinkan penyiraman dilakukan

secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman, sehingga lebih efisien dan berkelanjutan. Beberapa penelitian terdahulu, seperti (Rabbika et al., 2023) dan (Effendi et al., 2022), telah menunjukkan bahwa sistem penyiraman otomatis berbasis IoT mampu menghemat air, meningkatkan efektivitas penyiraman, dan mendukung produktivitas tanaman.

Berdasarkan uraian di atas, jelas bahwa tantangan pengelolaan air dalam pertanian di Indonesia masih sangat besar. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengembangan sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan. Sistem ini diharapkan dapat membantu petani mengoptimalkan penggunaan air, meningkatkan produktivitas, serta mendorong terciptanya praktik pertanian berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan iklim.

B. Permasalahan

Berdasarkan hasil kuisisioner dengan beberapa petani di daerah penelitian, sistem penyiraman yang masih dilakukan secara manual menimbulkan berbagai persoalan, baik dari sisi efisiensi penggunaan air, efektivitas penyiraman, maupun dampak terhadap kesehatan tanaman. Petani umumnya melakukan penyiraman berdasarkan kebiasaan atau pengalaman, misalnya dua kali sehari pada pagi dan sore, tanpa memperhatikan kelembapan tanah ataupun kondisi cuaca.

Akibat dari kebiasaan tersebut, air sering diberikan dalam jumlah berlebih sehingga sebagian terbuang karena tidak terserap dengan baik oleh tanah. Kondisi ini bukan hanya menimbulkan pemborosan air, tetapi juga dapat menyebabkan kelembapan berlebih yang berdampak buruk pada pertumbuhan akar tanaman. Di sisi lain, ketika musim kemarau panjang, petani kerap mengalami kekurangan air untuk menyiram tanaman karena tidak ada sistem yang mampu mengatur prioritas dan efisiensi pemakaian air.

Selain itu, perubahan pola curah hujan yang semakin tidak menentu membuat proses penyiraman semakin sulit diprediksi. Berdasarkan data BMKG (2023), intensitas curah hujan ekstrem di beberapa wilayah meningkat, sementara musim kemarau juga berlangsung lebih panjang dibandingkan sebelumnya. Fakta ini sejalan dengan pernyataan petani yang mengaku sering mengalami kerugian karena tanaman kekurangan air di musim kemarau dan rusak akibat genangan air pada musim hujan.

Tantangan lain yang muncul adalah rendahnya tingkat adopsi teknologi pertanian berbasis Internet of Things (IoT) di kalangan petani. Hasil kuisisioner menunjukkan bahwa sebagian besar petani belum familiar dengan penggunaan sensor kelembapan tanah maupun integrasi data cuaca. Hal ini menyebabkan penyiraman tetap dilakukan secara konvensional, meskipun kurang efektif dalam menghadapi kondisi iklim yang semakin kompleks.

Tabel 1. 1 Kuisisioner Penyiraman Tanaman

No	Pertanyaan	Responden 1	Responden 2	Responden 3	Hasil Utama
1	Apakah penyiraman dilakukan berdasarkan kondisi kelembapan tanah?	Tidak	Tidak	Tidak	Penyiraman dilakukan berdasarkan kebiasaan
2	Apakah sering terjadi pemborosan air saat penyiraman?	Ya	Ya	Ya	Air banyak terbuang karena tidak disesuaikan dengan kondisi tanah
3	Apakah perubahan cuaca memengaruhi efektivitas penyiraman?	Ya	Ya	Ya	Curah hujan dan kemarau panjang menyulitkan penyiraman
4	Apakah sudah ada sistem otomatis berbasis sensor yang digunakan?	Tidak	Tidak	Tidak	Penyiraman masih sepenuhnya manual
5	Apakah petani siap menggunakan sistem berbasis IoT jika tersedia?	Ya	Ya	Ya	Ada minat, tetapi perlu sistem yang mudah digunakan

Berdasarkan pemaparan data dan fakta di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem penyiraman tanaman yang masih manual menghadapi berbagai kendala, mulai dari pemborosan air, ketidakmampuan menyesuaikan dengan kondisi cuaca, hingga keterbatasan adopsi teknologi. Hal ini menunjukkan perlunya solusi berbasis teknologi yang mampu mengintegrasikan sensor kelembapan tanah dan prediksi cuaca agar penyiraman dapat dilakukan secara lebih efisien dan tepat sasaran.

1. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan yang telah dipaparkan sebelumnya melalui hasil observasi lapangan, kuisisioner dengan responden, serta dukungan data sekunder dari literatur terkait, maka dapat diidentifikasi beberapa isu utama yang menjadi dasar perumusan penelitian ini sebagai berikut:

- (a) Sistem penyiraman yang ada saat ini tidak mampu menyesuaikan kebutuhan air tanaman berdasarkan kondisi kelembapan tanah dan prakiraan cuaca.
- (b) Perubahan pola curah hujan dan suhu udara yang tidak menentu mengakibatkan efektivitas proses penyiraman menjadi rendah karena system tradisional tidak mampu menyesuaikan waktu dan volume penyiraman secara tepat sesuai kebutuhan tanaman.

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa inti permasalahan yang dihadapi adalah belum efisien serta tidak adaptifnya sistem penyiraman tanaman yang masih dilakukan secara manual. Sistem tradisional ini belum mampu menyesuaikan kebutuhan air tanaman dengan kondisi kelembapan tanah maupun perubahan cuaca yang tidak menentu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things (IoT) dengan mengintegrasikan sensor kelembapan tanah, prediksi hujan, serta aplikasi pendukung pada smartphone. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- (a) Bagaimana perancangan sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah dan prediksi hujan dapat dibuktikan mampu mengurangi pemborosan air serta meningkatkan produktivitas tanaman?
- (b) Bagaimana implementasi integrasi antara sensor, data prediksi hujan, dan aplikasi smartphone dapat menunjukkan kemudahan monitoring serta efektivitas pengendalian penyiraman secara jarak jauh bagi petani?

C. Maksud dan Tujuan

1. Maksud

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, produktivitas pertanian, dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Sistem yang dikembangkan diharapkan menjadi Solusi praktis yang dapat diimplementasikan oleh petani dalam mengoptimalkan pengelolaan air secara efektif dan berkelanjutan.

2. Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut:

- (a) Merancang dan membangun sistem penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah yang mampu mendeteksi kadar air secara akurat dan mengatur penyiraman secara otomatis sesuai kebutuhan tanaman.

- (b) Mengintegrasikan data prediksi cuaca ke dalam sistem penyiraman otomatis sehingga penyiraman dapat disesuaikan dengan kondisi lingkungan untuk mengoptimalkan penggunaan air.
- (c) Menghasilkan prototipe sistem penyiraman otomatis yang terhubung dengan aplikasi smartphone, sehingga pengguna dapat memantau kelembapan tanah, memeriksa prakiraan cuaca, serta melakukan pengendalian penyiraman secara jarak jauh.
- (d) Mengukur tingkat akurasi, efisiensi, dan efektivitas sistem melalui uji coba skala kecil serta melakukan analisis perbandingan sebelum dan sesudah penggunaan sistem.

D. Spesifikasi Hasil

Hasil penelitian ini dirancang untuk memenuhi spesifikasi teknis dan fungsional berikut:

- (1) Sensor kelembapan tanah yang mampu mendeteksi kadar air dalam tanah secara real-time dan mengirimkan data ke sistem pusat. Sensor ini harus memiliki akurasi tinggi untuk memastikan keputusan penyiraman berdasarkan kondisi aktual tanah.
- (2) Integrasi prediksi hujan memanfaatkan data prediksi hujan berbasis algoritma dan satelit untuk menentukan jadwal penyiraman. Jika prakiraan menunjukkan hujan, sistem akan menunda penyiraman untuk menghindari pemborosan air.
- (3) Aplikasi smartphone yang menyediakan antarmuka pengguna yang mudah dipahami, memungkinkan petani untuk memantau kadar kelembapan tanah, memeriksa prediksi hujan, dan mengatur sistem penyiraman hanya dengan beberapa klik di ponsel.
- (4) Prototipe sistem penyiraman tanaman otomatis yang dirancang akan diuji dalam skala kecil untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan kebutuhan petani dan kondisi lapangan.

E. Signifikansi Penelitian dan Pengembangan

Penelitian ini memiliki nilai signifikan baik dari segi praktis maupun akademis. Secara praktis, penelitian ini menawarkan solusi konkret bagi petani untuk mengelola penyiraman tanaman dengan lebih efisien menggunakan teknologi modern. Hal ini diharapkan dapat mengurangi pemborosan air, meningkatkan produktivitas tanaman, dan mengurangi risiko gagal panen akibat ketidakseimbangan pasokan air.

Secara akademis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan literatur ilmiah di bidang teknologi pertanian, khususnya penerapan IoT dan prediksi hujan dalam sistem penyiraman tanaman. Hasil penelitian ini juga dapat menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan pemerintah untuk mendorong modernisasi sektor pertanian di Indonesia.

F. Asumsi dan Keterbatasan

1. Asumsi

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa asumsi, antara lain:

- (a) Sistem berbasis Internet of Things (IoT) dapat diimplementasikan secara efektif untuk mendukung penyiraman tanaman otomatis, dengan asumsi bahwa sensor kelembapan tanah yang digunakan memiliki akurasi minimal 80% dan mampu mendeteksi kadar kelembapan tanah dalam satuan persen (% volumetrik) pada kisaran 0–100%.
- (b) Data prediksi cuaca yang diperoleh dari layanan API pihak ketiga (misalnya OpenWeatherMap) memiliki tingkat akurasi minimal 70% dan dapat diakses secara real-time melalui koneksi internet dengan latensi di bawah 5 detik.
- (c) Petani memiliki akses ke infrastruktur pendukung seperti jaringan internet dan pasokan listrik yang memadai untuk mengoperasikan sistem berbasis IoT, dan bersedia menggunakan teknologi berbasis smartphone untuk memantau dan mengontrol sistem penyiraman tanaman.
- (d) Sistem dirancang untuk bekerja pada lahan berskala kecil hingga menengah (kurang dari 1 hektar) dengan jenis tanaman hortikultura atau sayuran yang memiliki kebutuhan penyiraman harian atau periodik.

2. Keterbatasan

Penelitian ini juga memiliki beberapa keterbatasan, antara lain:

- (a) Sistem penyiraman otomatis berbasis IoT dalam penelitian ini hanya diuji dalam skala kecil dengan kondisi lingkungan tertentu. Dengan demikian, algoritma yang digunakan untuk menentukan waktu penyiraman belum mampu beradaptasi secara otomatis terhadap variasi jenis tanaman, kondisi tanah yang sangat berbeda, atau skala lahan yang luas tanpa modifikasi tambahan.
- (b) Pendekatan berbasis sensor dan prediksi hujan belum dapat menangani dinamika lingkungan mikro secara detail, seperti variasi kelembapan antar petak lahan, daerah yang ternaungi, atau perbedaan struktur tanah. Hal ini memerlukan penambahan sistem zonasi atau pengukuran multi-titik untuk meningkatkan presisi distribusi air.
- (c) Dari sisi infrastruktur, meskipun algoritma dan sistem telah dirancang untuk bekerja secara otomatis, sistem tetap bergantung pada stabilitas koneksi internet, pasokan listrik, serta perangkat keras yang tersedia. Faktor-faktor ini tidak dapat sepenuhnya dikendalikan oleh perangkat lunak atau logika sistem, sehingga keberhasilan implementasi tetap dipengaruhi oleh ketersediaan sarana fisik.

G. Definisi Istilah

Dalam penelitian ini, beberapa istilah memiliki definisi khusus untuk memperjelas ruang lingkup penelitian, beberapa definisi istilah dalam penelitian ini diantaranya:

(1) **Penyiraman Otomatis:**

Sistem penyiraman tanaman yang bekerja secara mandiri menggunakan teknologi sensor dan perangkat otomatis tanpa campur tangan manusia secara langsung.

(2) **Sensor Kelembapan Tanah:**

Perangkat elektronik yang mendeteksi kadar air dalam tanah secara real-time, menggunakan prinsip pengukuran resistansi atau kapasitansi.

(3) **Prediksi Hujan:**

Estimasi kondisi atmosfer di masa depan berdasarkan analisis data historis, algoritma, dan teknologi satelit.

(4) **Aplikasi Smartphone untuk penyiraman:**

Aplikasi yang memungkinkan pengguna untuk memonitor data kelembapan tanah, memeriksa prediksi hujan, dan mengontrol sistem penyiraman dari jarak jauh melalui ponsel pintar.

(5) **Prototipe Sistem:**

Model awal dari sistem penyiraman otomatis yang dirancang untuk diuji dalam skala kecil guna menilai efektivitas dan efisiensi kinerja.