

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Sektor pertanian merupakan salah satu pilar utama dalam ketahanan pangan, namun seringkali dihadapkan pada tantangan besar berupa perubahan iklim dan cuaca ekstrem yang sulit diprediksi (Tzounis et al., 2017). Pergeseran pola musim hujan dan kemarau memberikan dampak langsung terhadap efisiensi pengelolaan lahan, khususnya dalam manajemen penyiraman. Pengelolaan air yang kurang tepat, seperti penyiraman yang berlebihan (*overwatering*) atau kekurangan air (*underwatering*), tidak hanya menyebabkan pemborosan sumber daya air dan energi listrik, tetapi juga dapat menurunkan kualitas dan kuantitas hasil panen (Navarro.H et al., 2016). Oleh karena itu, transisi dari pertanian konvensional menuju pertanian presisi (*precision agriculture*) berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)* menjadi sebuah Solusi.

Saat ini, sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler telah banyak dikembangkan untuk menggantikan penyiraman manual. Umumnya, sistem ini bekerja dengan mengandalkan pembacaan nilai dari sensor kelembaban tanah (*soil moisture sensor*) secara *real-time* (Gondchawar & Kawitkar, 2016). Meskipun memberikan kemudahan, sistem penyiraman otomatis konvensional memiliki kelemahan mendasar: sistem bersifat murni reaktif. Sebagai contoh, mikrokontroler akan langsung menyalakan pompa air ketika mendeteksi tanah dalam kondisi kering, tanpa memperhitungkan faktor eksternal. Jika beberapa saat setelah penyiraman terjadi hujan lebat, lahan akan mengalami kejenuhan air yang berisiko

menyebabkan pembusukan akar tanaman, serta terjadinya pemborosan air dan listrik dari pompa yang sebenarnya tidak perlu diaktifkan (Raja et al., 2019).

Untuk mengatasi masalah inefisiensi tersebut, diperlukan sebuah sistem penyiraman cerdas yang tidak hanya reaktif, tetapi juga prediktif. Pendekatan ini dapat dicapai melalui metode fusi data, yaitu menggabungkan parameter kondisi fisik lingkungan di tingkat lokal dengan data prakiraan cuaca dari komputasi awan (*cloud computing*) (García et al., 2020). Dengan mengintegrasikan nilai aktual kelembaban tanah dan data probabilitas curah hujan (*Probability of Precipitation*) yang diperoleh melalui *Application Programming Interface* (API) penyedia layanan cuaca seperti OpenWeatherMap, sistem dapat membuat keputusan yang bersifat lebih menyeluruh. Sistem dapat membatalkan atau menunda penyiraman meskipun tanah dalam keadaan kering, apabila API penyedia layanan cuaca memprediksi akan terjadi hujan dalam waktu dekat.

Implementasi sistem kompleks yang melibatkan pemrosesan data sensor analog sekaligus komunikasi protokol HTTP/HTTPS berbasis data JSON menuntut penggunaan unit pemrosesan yang handal. Mikrokontroler ESP32-S3 dari *Espressif Systems* memiliki arsitektur *dual-core* Xtensa LX7 dengan fitur konektivitas Wi-Fi 2.4 GHz bawaan yang sangat mumpuni untuk menjalankan peran sebagai *edge computing node* dalam arsitektur IoT (Espressif Systems, 2024). Penggunaan mikrokontroler ini memungkinkan sistem penyiraman cerdas bekerja secara mandiri dan cepat tanpa memerlukan komputer server tambahan di lokasi pertanian.

Pengembangan sistem penyiraman cerdas berbasis IoT ini tidak hanya bergantung pada pembacaan parameter fisik secara lokal melalui sensor

kelembaban tanah, melainkan juga mengintegrasikan data eksternal dari *cloud service* melalui OpenWeatherMap API dengan metode fusi data. Meskipun pendekatan ini meningkatkan akurasi pengambilan keputusan, ketergantungan pada jaringan internet nirkabel (Wi-Fi) menimbulkan tantangan baru terkait stabilitas dan keandalan transmisi data.

Protokol HTTP yang digunakan oleh mikrokontroler ESP32-S3 bersifat rentan terhadap fluktuasi performa jaringan, seperti keterlambatan penerimaan paket (*delay*) atau variasi kedatangan paket (*jitter*). Jika terjadi penurunan kualitas jaringan yang signifikan, data POP cuaca dari server dapat terlambat diterima atau bahkan hilang (*packet loss*), yang berpotensi menggagalkan sirkuit logika fusi data pada alat.

Oleh karena itu, analisis *Quality of Service* (QoS) dengan mengacu pada standar internasional TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks*) diperlukan dalam penelitian ini. Melalui analisis QoS yang dipantau secara langsung menggunakan *software* Wireshark, peneliti dapat mengukur, menguji, dan membuktikan secara empiris seberapa andal performa komunikasi data pada sistem penyiraman cerdas yang dirancang terhadap interferensi jaringan internet aktual.

Berdasarkan pemaparan permasalahan dan potensi teknologi tersebut, maka penelitian rancang bangun sistem penyiraman adaptif ini sangat krusial untuk dilakukan. Oleh karena itu, penulis mengangkat penelitian dengan judul " **SISTEM *PRECISION FARMING* : OPTIMALISASI PERTANIAN BERKELANJUTAN**

BERBASIS *IoT* DENGAN ESP32-S3, DATA SENSOR, DAN API CUACA" guna mewujudkan optimalisasi penggunaan sumber daya pada sektor pertanian cerdas.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka akan dilakukan perancangan dan implementasi rangkaian optimalisasi pertanian cerdas berbasis IoT dengan ESP32-S3, Data Sensor, dan API Cuaca dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Aspek Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*): Bagaimana merancang bangun arsitektur perangkat keras sistem optimalisasi pertanian cerdas berbasis IoT yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32-S3, *Capacitive Soil Moisture Sensor* sebagai pembaca kondisi local, Data API Cuaca dan Hasil pembacaannya ditampilkan ke layar LCD.
2. Aspek Pengambilan Data Cloud (*Software/Network*): Bagaimana mengimplementasikan pemrograman pada ESP32-S3 untuk melakukan *HTTP GET Request* serta memarsing struktur data JSON dari *Application Programming Interface* (API) Cuaca secara stabil dan berkala?
3. Bagaimana merancang matriks keputusan (*decision matrix*) pada sistem yang mampu menggabungkan nilai persentase kelembaban tanah aktual dengan persentase probabilitas curah hujan (*Probability of Precipitation*) dari API cuaca untuk mengambil keputusan penyiraman secara prediktif?
4. Bagaimana mengetahui Kualitas dan kelayakan jaringan komunikasi ESP32-S3 dan Web API Cuaca, dengan analais QoS (Quality Of Service) pada jaringan komunikasi data ESP32-S3 dan API Cuaca?

1.3 Tujuan Penelitian

Penyusunan rencana Tugas Akhir ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Menghasilkan purwarupa (*prototype*) perangkat keras sistem penyiraman cerdas yang mengintegrasikan mikrokontroler ESP32-S3, *Capacitive Soil Moisture Sensor*, Data API Cuaca.
2. Mengimplementasikan dan menguji kestabilan program pada ESP32-S3 dalam melakukan protokol *HTTP GET Request* serta memarsing struktur data JSON dari *Application Programming Interface* (API) Cuaca.
3. Menciptakan dan menerapkan algoritma fusi data (*decision matrix*) untuk mengambil keputusan penyiraman yang tepat dan prediktif, berdasarkan kombinasi nilai persentase kelembaban tanah aktual dan probabilitas curah hujan dari API Cuaca.
4. Untuk mengetahui kualitas dan kelayakan jaringan komunikasi data anantara layanan API Cuaca dan ESP32 berdasarkan analisis QoS.

1.4 Batasan Penelitian

Mengingat luas dan banyaknya hal-hal yang perlu diperhatikan, maka dari itu penyusunan Tugas Akhir ini memiliki beberapa batasan penelitian, antara lain:

1. Spesifikasi Perangkat Keras: Pengendali utama (*main controller*) menggunakan mikrokontroler ESP32-S3. Sensor fisik yang digunakan hanya dibatasi pada *Capacitive Soil Moisture Sensor* untuk mengukur persentase kelembaban tanah dengan kedalaman sesuai dengan spesifikasi sensor.

2. Penelitian dan pengujian sistem diimplementasikan dalam skala purwarupa menggunakan wadah tanaman uji (*planter box*) skala kecil, bukan pada lahan pertanian komersial berskala besar (hektare). Aktuator penyiraman disimulasikan menggunakan Pompa Air DC berskala kecil.
3. Sistem murni berfokus pada efisiensi penyiraman (pengairan). Parameter kesuburan tanah lainnya seperti tingkat keasaman (pH), suhu tanah, maupun kandungan unsur hara makro (Nitrogen, Fosfor, Kalium / NPK) tidak diukur dalam penelitian ini.
4. Sumber Data Eksternal (API): Data prediksi cuaca dan probabilitas curah hujan (*Probability of Precipitation*) hanya diambil dari satu sumber pihak ketiga, yaitu layanan *Application Programming Interface* (API) *OpenWeatherMap* menggunakan skema akses gratis (*Free Tier*).
5. Infrastruktur Jaringan: Komunikasi data antara ESP32-S3 dan server API *OpenWeatherMap* bergantung pada ketersediaan infrastruktur jaringan internet nirkabel (Wi-Fi 2.4 GHz) yang stabil di lokasi pengujian. Sistem tidak menggunakan protokol jarak jauh alternatif seperti LoRaWAN atau NB-IoT.
6. Analisis QoS ini dibandingkan dengan standar TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network*), analisis yang dilakukan meliputi kualitas jaringan internet seperti *throughput*, *packet loss*, *delay*, dan *jitter*.
7. Logika Pengambilan Keputusan: Fusi data untuk pengambilan keputusan penyiraman diproses secara langsung pada perangkat ESP32-S3 (*edge*

computing) menggunakan logika algoritma kontrol percabangan (*if-else matrix*), dan tidak menggunakan pemodelan *Machine Learning* (Kecerdasan Buatan) yang kompleks pada server *cloud*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mempermudah proses perawatan tanaman dengan sistem yang bekerja secara mandiri dan menghemat biaya operasional penggunaan air.
2. Dapat menjadi referensi pengayaan studi terkait integrasi data API internet dengan sistem mikrokontroler lokal pada bidang *Internet of Things* (IoT).

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian awal, bagian isi, dan bagian akhir. Berikut adalah sistematika laporan:

1. Bagian awal terdiri dari sampul, judul, pernyataan orisinalitas, lembar pengesahan, kata pengantar, persetujuan publikasi, abstrak, daftar isi, daftar tabel, daftar gambar, dan daftar lampiran.
2. Bagian isi, terdiri dari lima bab, diantaranya :
 - a) BAB I PENDAHULUAN, Bab ini menguraikan dasar pemikiran penelitian yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah (fokus pada ESP32-S3, sensor kelembaban tanah, dan API cuaca), manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika pelaporan.
 - b) BAB II TINJAUAN PUSTAKA, Bab ini memuat kajian pustaka yang menjadi dasar pemecahan masalah baik dari buku-buku ilmiah,

maupun sumber-sumber lain yang mendukung penelitian ini. Pembahasan meliputi konsep *Internet of Things* (IoT), *Smart Agriculture* (Pertanian Cerdas), spesifikasi teknis mikrokontroler ESP32-S3, prinsip kerja *Capacitive Soil Moisture Sensor*, konsep fusi data, serta arsitektur *Representational State Transfer* (REST) API dan format data JSON, khususnya dari layanan OpenWeatherMap, konsep analisis QoS. Selain itu, bab ini juga memuat kajian penelitian terdahulu yang relevan sebagai bahan komparasi.

- c) BAB III METODOLOGI PENELITIAN, Bab ini menjelaskan tahapan dan metode yang digunakan dalam merealisasikan sistem. Isi dari bab ini meliputi diagram alur penelitian, perancangan perangkat keras (*hardware*) yang mencakup *wiring* komponen input/output, perancangan perangkat lunak (*software*) berupa *flowchart* matriks keputusan logika penyiraman prediktif, serta skenario pengujian sistem yang akan dilakukan.
- d) BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN, Bab ini merupakan bab yang memaparkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan. Pembahasan difokuskan pada analisis keberhasilan pembacaan sensor lokal, stabilitas penarikan data JSON dari API cuaca, respons aktuator (pompa air) terhadap fusi data, Serta analisis kualitas jaringan (QoS) komunikasi data ESP32-S3 dan API Cuaca.

- e) BAB V SIMPULAN DAN SARAN, Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian. Juga berisi saran-saran *konstruktif* untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem di masa yang akan datang.