

BAB I

PENDAHULUAN

Bab pendahuluan ini membahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup, serta sistematika penulisan yang akan digunakan dalam dokumen skripsi ini.

1.1. Latar Belakang

Sektor perikanan budidaya merupakan salah satu komponen penting dalam mendukung ketahanan pangan, terutama di negara berkembang. Salah satu komoditas yang banyak dibudidayakan adalah ikan lele, yang memiliki keunggulan berupa pertumbuhan yang cepat, kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap lingkungan, serta permintaan pasar yang terus meningkat. Permintaan ikan lele di Indonesia terus meningkat secara signifikan, didorong oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan populasi, kesadaran akan manfaat kesehatan ikan, dan peran lele sebagai bahan makanan pokok di banyak rumah tangga dan warung makan (Mufidah, 2023; Sari dkk., 2025). Seiring dengan perkembangan teknologi di bidang pertanian dan perikanan, metode budidaya ikan juga mengalami inovasi, salah satunya melalui penerapan sistem akuaponik (*aquaponic*).

Akuaponik adalah metode pertanian berkelanjutan yang menggabungkan akuakultur (budidaya ikan atau organisme air lainnya) dengan hidroponik (budidaya tanaman tanpa tanah) dalam siklus tertutup di mana tanaman menggunakan limbah ikan sebagai nutrisi dan tanaman menyaring dan memurnikan air untuk ikan (Treeratanaporn dkk., 2025). Akuaponik menciptakan ekosistem yang saling menguntungkan antara ikan, tanaman, dan bakteri, yang mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi penggunaan air, pupuk kimia, dan limbah.

Meskipun menawarkan berbagai keunggulan, sistem akuaponik sangat bergantung pada kestabilan parameter kualitas air. Faktor seperti suhu dan pH memegang peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Rentang pH yang ideal untuk ikan lele berada antara 6,5 hingga 8,5; nilai di luar kisaran tersebut dapat memicu gangguan pertumbuhan serta stres fisiologis (Hidayat & Susanto, 2024.). Selain itu, suhu air juga

berpengaruh terhadap metabolisme ikan dan aktivitas bakteri nitrifikasi, dengan kisaran optimal untuk pertumbuhan lele berada pada 25°C hingga 30°C (Hidayat & Susanto, 2024.).

Di sisi lain, tingkat kekeruhan air turut menjadi indikator penting dalam kualitas lingkungan budidaya. Nilai kekeruhan yang baik untuk ikan lele adalah di bawah 50 NTU, sedangkan kekeruhan yang tinggi (lebih dari 150 NTU) dapat menurunkan kualitas air, mengganggu aktivitas ikan, serta meningkatkan risiko penyakit (Pitowarno dkk., 2023). Oleh karena itu, kualitas air yang tidak terjaga dengan baik dapat menyebabkan stres pada ikan, menurunkan produktivitas, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan dalam proses budidaya (Hidayat & Susanto, 2024.).

Pada praktik budidaya konvensional, pemantauan kualitas air umumnya masih dilakukan secara manual dan berkala. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan, seperti keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan, tingkat akurasi yang rendah, serta ketergantungan terhadap tenaga manusia. Hal ini dapat meningkatkan risiko kesalahan dalam pengelolaan sistem dan berdampak pada hasil budidaya.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut melalui kemampuan *monitoring* yang dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Dengan memanfaatkan sensor dan mikrokontroler, data lingkungan seperti suhu dan pH dapat dikumpulkan secara kontinu dan dikirimkan ke sistem pusat untuk dianalisis serta ditampilkan kepada pengguna. Sistem *monitoring* berbasis IoT memungkinkan pengguna untuk mengetahui kondisi akuaponik tanpa harus melakukan pengecekan secara langsung di lokasi.

Meskipun sistem monitoring berbasis IoT mampu menyediakan informasi kondisi lingkungan secara real-time, kemampuan *monitoring* saja belum cukup untuk mendukung pengelolaan akuaponik secara optimal. Pada kondisi tertentu, seperti perubahan nilai pH, peningkatan suhu air, atau terganggunya sirkulasi air, diperlukan tindakan pengendalian terhadap perangkat seperti pompa air, aerator, maupun sistem pemberian pakan. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan perlu mendukung komunikasi dua arah sehingga tidak hanya mampu mengirimkan data sensor ke server, tetapi juga menerima perintah kontrol dari pengguna secara cepat dan andal. Salah satu protokol komunikasi yang banyak digunakan untuk kebutuhan tersebut adalah *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT). MQTT merupakan protokol komunikasi ringan (*lightweight protocol*) yang dirancang untuk

mendukung komunikasi antar perangkat dengan sumber daya terbatas melalui mekanisme *publish-subscribe* menggunakan *broker* sebagai perantara komunikasi (Kashyap dkk., 2018). Selain itu, MQTT memiliki karakteristik berupa penggunaan bandwidth yang rendah, latensi yang kecil, serta kemampuan komunikasi *machine-to-machine* yang menjadikannya sesuai untuk implementasi sistem monitoring dan kontrol berbasis *Internet of Things* (Bender dkk., 2021).

Pada implementasi protokol MQTT, diperlukan sebuah broker yang berfungsi sebagai perantara komunikasi antara *publisher* dan *subscriber*. Salah satu *broker* MQTT yang banyak digunakan adalah HiveMQ. HiveMQ merupakan platform *broker* MQTT yang mendukung arsitektur *publish-subscribe* dan dirancang untuk menangani komunikasi perangkat *Internet of Things* (IoT) secara andal, *scalable*, serta mendukung koneksi dalam jumlah besar. Selain itu, HiveMQ menyediakan dukungan terhadap implementasi MQTT berbasis *cloud* sehingga memudahkan integrasi antara perangkat IoT, *server*, dan aplikasi pengguna dalam satu ekosistem komunikasi yang terpusat.

Dalam implementasi sistem IoT, data yang diperoleh dari perangkat sensor perlu dikelola oleh suatu layanan backend yang mampu menangani komunikasi data secara real-time. Node.js merupakan salah satu platform *backend* yang banyak digunakan karena menerapkan arsitektur *event-driven* dan *non-blocking I/O* sehingga mampu menangani banyak koneksi secara bersamaan secara efisien (Subbulakshmi dkk., 2024). Karakteristik tersebut memungkinkan Node.js digunakan sebagai penghubung antara perangkat IoT, *broker* MQTT, *database*, dan aplikasi *web*. Dengan mengintegrasikan ESP32, *broker* MQTT HiveMQ, dan Node.js, sistem dapat mendukung proses monitoring kondisi akuaponik sekaligus pengendalian aktuator secara real-time melalui aplikasi web sehingga pengguna dapat melakukan pengawasan dan pengelolaan sistem dari jarak jauh.

Dalam implementasi sistem berskala *multi-node* yang memiliki beberapa titik pemantauan dan kontrol, penggunaan protokol komunikasi internet secara langsung pada setiap titik sering kali memunculkan kendala berupa tingginya latensi, konsumsi daya, serta ketergantungan yang masif terhadap kestabilan jaringan *router* (Wi-Fi). Untuk mengatasi kendala tersebut, diperlukan sebuah protokol komunikasi nirkabel lokal antar mikrokontroler. ESP-NOW hadir sebagai solusi protokol komunikasi *peer-to-peer* yang ringan dan efisien untuk menghubungkan beberapa perangkat titik akhir (*Slave*) menuju satu

perangkat pusat (*Master*) tanpa memerlukan jaringan internet eksternal pada setiap *node*. Melalui perpaduan komunikasi lokal menggunakan ESP-NOW dan transmisi *cloud* menggunakan MQTT, pertukaran data dapat dilakukan secara lebih terstruktur, hemat daya, dan tahan terhadap fluktuasi jaringan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan monitoring dan kontrol kondisi akuaponik secara otomatis dan terintegrasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini dirancang dan dibangun sebuah sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler ESP32, kombinasi protokol komunikasi MQTT dan ESP-NOW, *broker* HiveMQ, dan *server* Node.js. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter kualitas air seperti suhu, pH, dan tingkat kekeruhan secara real-time serta memungkinkan pengendalian perangkat budidaya dari jarak jauh melalui aplikasi *web*. Dengan adanya sistem yang diusulkan, diharapkan proses pengelolaan akuaponik dapat dilakukan secara lebih efisien, responsif, dan akurat sehingga mampu mendukung keberhasilan budidaya ikan dan tanaman dalam satu ekosistem yang terintegrasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan sebuah masalah yaitu bagaimana menghasilkan sistem monitoring dan kontrol akuaponik terintegrasi bernama SmartAquaponic berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mengintegrasikan data sensor dan fungsi kontrol aktuator dengan memanfaatkan ESP-NOW untuk komunikasi lokal antara ESP32 *Master* dan ESP32 *Slave* serta MQTT untuk komunikasi antara perangkat IoT, *server*, dan aplikasi *web*, sehingga dapat membantu pengguna memantau stabilitas kualitas lingkungan budidaya dan melakukan pengendalian perangkat secara *real-time* melalui aplikasi web.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian atau pengembangan sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Terwujudnya sistem SmartAquaponic berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu memantau stabilitas kualitas air dan lingkungan udara secara otomatis.

2. Terbentuknya jalur komunikasi data dua arah antara ESP32 Slave dan ESP32 Master menggunakan ESP-NOW, serta antara ESP32 Master, MQTT Broker, backend Node.js, dan aplikasi web menggunakan MQTT..
3. Dihasilkannya aplikasi antarmuka berbasis web yang menyediakan visualisasi data pemantauan, perekaman riwayat historis, dan modul kendali aktuator secara terpusat.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Pengguna dapat memantau kondisi krusial ekosistem akuaponik (seperti suhu, tingkat pH, dan kekeruhan air) kapan saja dan di mana saja secara *real-time* tanpa harus hadir langsung di lokasi budidaya.
2. Memudahkan pengguna untuk mengambil tindakan perbaikan dengan cepat melalui kendali jarak jauh (misalnya menghidupkan pompa atau aerator) saat menerima indikasi anomali pada lingkungan budidaya.
3. Membantu mengurangi risiko keterlambatan penanganan kondisi abnormal melalui pemantauan otomatis, notifikasi, dan kendali aktuator jarak jauh.
4. Pengguna mendapatkan wawasan (*insight*) berupa catatan riwayat data historis yang dapat digunakan sebagai acuan evaluasi untuk meningkatkan produktivitas komoditas akuaponik pada siklus tanam berikutnya.

1.5. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam pengembangan sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan sistem dilakukan dengan menerapkan metodologi Scrum melalui pembagian peran yang terdiri dari dosen pembimbing sebagai *Product Owner* sekaligus *Scrum Master*, serta *Scrum Team* yang beranggotakan penulis berfokus pada perancangan perangkat keras dan integrasi IoT dan rekan penulis, yaitu Daffa Fairuz Annizari dengan NIM 24060122140044, yang berfokus pada pengembangan aplikasi *website* atau *Web Development*.
2. Penyusunan dokumentasi pengembangan Scrum dilakukan oleh *Scrum Team* dengan konfirmasi dari *Product Owner*.

3. Objek penelitian difokuskan pada pemantauan kualitas lingkungan ekosistem akuaponik skala *indoor*, dengan komoditas uji coba berupa ikan lele dan tanaman pakcoy menggunakan teknik *Nutrient Film Technique* (NFT).
4. Parameter kondisi lingkungan yang ditelaah melalui sensor perangkat dibatasi pada derajat keasaman (pH) air, suhu air, tingkat kekeruhan air, serta suhu dan kelembapan udara di area instalasi.
5. Penelaahan fungsi kontrol sistem SmartAquaponic difokuskan pada pengelolaan perangkat aktuator utama pendukung ekosistem, yang meliputi pompa sirkulasi air, aerator, lampu pertumbuhan (*grow light*), dan alat pemberi pakan ikan otomatis (*automatic feeder*).
6. Integrasi data antara perangkat keras (*hardware*) IoT dengan aplikasi *website* memanfaatkan platform pihak ketiga berupa *HiveMQ* sebagai *MQTT Broker* , serta layanan *Fonnte* untuk kebutuhan pengiriman notifikasi atau peringatan ke pengguna.
7. Pemrosesan data yang ditelaah mencakup penyajian informasi *real-time*, penyimpanan data historis, serta fungsi peringatan (notifikasi) yang disalurkan melalui platform aplikasi *dashboard* berbasis web.
8. Pengujian sistem dalam penelitian ini mencakup pengujian fungsionalitas antarmuka *website* menggunakan metode *Black Box Testing*, serta pengujian fungsional pada sisi perangkat keras yang meliputi komunikasi data (protokol MQTT dan ESP-NOW), pembacaan sensor, dan respons pengendalian aktuator. Adapun pengukuran performa jaringan komunikasi secara kuantitatif (seperti *latency*, *packet loss*, dan *throughput*) serta analisis tingkat akurasi kalibrasi sensor secara mendalam tidak termasuk dalam pengujian sistem dalam penelitian ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dibuat untuk memberikan gambaran yang jelas dan tersusun mengenai penyusunan laporan penelitian. Laporan skripsi ini disusun atas 5 bab, yaitu pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, hasil dan pembahasan, dan yang terakhir adalah penutup. Berikut ini adalah penjelasan mengenai masing-masing bab dalam sistematika penulisan dari penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, ruang lingkup, serta sistematika penulisan laporan skripsi mengenai pengembangan sistem monitoring dan kontrol akuaponik berbasis Internet of Things menggunakan protokol MQTT dan ESP-NOW.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, serta landasan teori untuk teknologi yang dipakai. Teori yang dibahas meliputi konsep dasar IoT, sistem akuaponik, mikrokontroler ESP32, penggunaan sensor dan aktuator, protokol komunikasi MQTT dan ESP-NOW, *broker* HiveMQ, *framework* Laravel dan Node.js, basis data MySQL, modul MicroSD, hingga pemodelan UML, konsep metodologi Scrum, dan pengujian *Black Box*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah-langkah atau tahapan yang diambil untuk menyelesaikan penelitian. Isi dari bab ini mencakup proses studi literatur, wawancara dengan praktisi, penerapan tahapan pengembangan sistem menggunakan metode Scrum, perancangan arsitektur sistem, skema komunikasi MQTT dan ESP-NOW, desain perangkat keras, hingga penyusunan rencana pengujian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini adalah inti yang membahas seluruh hasil dari proses pengembangan sistem. Penjelasan di bab ini mencakup hasil analisis kebutuhan (melalui wawancara, penyusunan *User Story*, dan SRS), perancangan sistem dengan UML, implementasi tahapan Scrum, pengerjaan perangkat keras dan antarmuka *website*, hasil pengujian sistem secara keseluruhan, serta analisis terkait kendala teknis yang dihadapi di lapangan.

BAB V PENUTUP

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dari rangkaian proses perancangan, implementasi, dan pengujian untuk menjawab tujuan penelitian, sekaligus saran-saran perbaikan untuk pengembangan sistem akuaponik ini pada penelitian selanjutnya.