

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tinjauan pustaka yang bertujuan memberikan dasar teori serta landasan ilmiah bagi penelitian yang dilakukan. Tinjauan pustaka mencakup penelitian terdahulu dan landasan teori yang menjadi dasar dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas air dan pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele berbasis *Internet of Things*. Penyusunan bab ini mengacu pada berbagai referensi yang relevan agar penelitian memiliki arah yang jelas serta didukung oleh teori dan konsep yang telah diuji sebelumnya.

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menjadi landasan penting dalam merancang dan mengembangkan sistem pemantauan kualitas air serta pemberian pakan otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) pada budidaya ikan lele. Kajian ini dilakukan untuk memahami berbagai pendekatan yang telah dikembangkan oleh peneliti sebelumnya dalam menciptakan sistem yang efisien, modern, dan sesuai dengan kebutuhan di lapangan. Dengan melakukan penelaahan terhadap beberapa penelitian sebelumnya, peneliti memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai teknologi, perangkat keras, perangkat lunak, serta metode yang dapat diterapkan untuk mendukung otomatisasi dalam bidang perikanan air tawar.

Penelitian yang dilakukan oleh Moh Bagus Pratama, Naufal Abdillah pada tahun 2025 dengan judul ” Sistem Pemberi Pakan Otomatis, Ph Regulator Dan Kendali Suhu Menggunakan Fuzzy Logic Pada Aquarium” penelitian ini berfokus akan tingginya kebutuhan sistem otomatisasi dalam pemeliharaan akuarium modern, di mana banyak penghobi ikan hias menghadapi kesulitan dalam menjaga stabilitas suhu, kadar pH, dan jadwal pemberian pakan akibat keterbatasan waktu. Untuk menjawab tantangan tersebut, peneliti mengembangkan akuarium pintar berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mengontrol suhu, pH, dan pemberian pakan ikan secara otomatis. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DS18B20 dan sensor pH analog untuk mendeteksi kondisi air, serta menggunakan logika fuzzy sebagai metode pengambilan keputusan. Aktuator berupa

pompa DC, elemen pendingin Peltier, dan motor servo digunakan untuk mengatur suhu dan menyalurkan pakan sesuai jadwal. Penelitian ini menggabungkan konsep otomatisasi dengan prinsip kecerdasan buatan sederhana untuk menstabilkan parameter air secara dinamis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan suhu dan pH air dalam batas optimal serta menjalankan pemberian pakan tepat waktu. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan sistem akuarium otomatis yang tidak hanya efisien dan hemat energi, tetapi juga meningkatkan kenyamanan bagi para penghobi ikan hias (Pratama & Abdillah, 2025).

Penelitian selanjutnya oleh Dimas Aprillianto pada tahun 2024 dengan judul ” Rancang Bangun Sistem Monitoring Air Kolam Budidaya Ikan Berbasis Internet Of Things” yang dilatar belakangi dengan menurunnya produktivitas budidaya ikan akibat buruknya kualitas air kolam yang tidak terpantau secara rutin. Perubahan suhu dan tingkat kekeruhan air yang tidak diketahui secara real-time sering menyebabkan penurunan kesehatan ikan, bahkan kematian massal. Untuk mengatasi hal tersebut, peneliti merancang sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dapat diakses melalui perangkat seluler. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang dihubungkan dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor kekeruhan untuk memantau kondisi air. Data dari sensor dikirim secara real-time ke aplikasi Blynk, yang menampilkan informasi suhu dan kejernihan air secara visual. Metode penelitian yang digunakan yaitu *Research and Development*, pengujian sistem di lingkungan kolam ikan, serta analisis efektivitas sistem dalam pemantauan kualitas air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data dengan tingkat keberhasilan 100%, menampilkan hasil yang akurat, dan memudahkan pembudidaya ikan dalam melakukan tindakan korektif lebih cepat. Penelitian ini menjadi bukti bahwa teknologi IoT berpotensi besar untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi budidaya ikan air tawar (Aprillianto, 2024).

Pada penelitian ini yang dilakukan oleh Gusti Lutfi Fikri, Emir Nasrullah, Umi Murdika pada tahun 2024 dengan judul ” Rancang Bangun Alat Pemantau dan Pengendali Suhu dan pH Air pada Kolam Ikan Gabus Berbasis IoT” didorong oleh

kebutuhan akan sistem otomatis yang dapat menjaga kestabilan kualitas air dalam budidaya ikan gabus. Ikan gabus dikenal memiliki nilai ekonomi dan manfaat kesehatan tinggi, namun proses budidayanya sering terkendala oleh perubahan suhu dan pH air yang tidak stabil. Peneliti merancang sebuah sistem monitoring dan kontrol otomatis berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP8266 sebagai pusat kendali. Sistem ini menggabungkan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH 4502C sebagai alat pengukur utama, serta dua aktuator berupa pompa filter dan pompa aerator untuk menjaga sirkulasi dan kadar oksigen air. Data sensor diolah menggunakan metode logika fuzzy, yang menentukan lama waktu operasional pompa berdasarkan kondisi suhu dan pH air. Informasi dari sensor dikirim ke platform Thingspeak, di mana pengguna dapat memantau kondisi air secara real-time melalui internet. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga suhu air dalam kisaran 25–32°C dan pH antara 6,5–9, sesuai dengan kebutuhan optimal ikan gabus. Tingkat akurasi sistem mencapai 97,2%, menunjukkan kinerja yang sangat baik. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan IoT dan logika fuzzy dapat memberikan solusi efektif untuk otomatisasi pengelolaan kolam ikan gabus, meningkatkan produktivitas, dan menurunkan risiko kematian ikan (Fikri, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Alwansyah dan Achmad Fahrurrozi pada tahun 2024 berjudul “Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Sistem Monitoring Kualitas Air Shrimp Farming Vaname pada Aplikasi Berbasis Android” Penelitian ini berangkat dari kondisi sektor budidaya udang Vaname di Indonesia yang sering menghadapi masalah fluktuasi kualitas air, seperti ketidakseimbangan pH, suhu yang tidak stabil, serta kadar *Total Dissolved Solid* (TDS) yang tinggi. Kondisi tersebut berdampak langsung pada tingkat pertumbuhan, kesehatan, dan produktivitas udang, bahkan dapat menyebabkan kematian massal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, peneliti mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat diakses secara mobile melalui aplikasi Android. Metode penelitian yang digunakan analisis permasalahan dan eksperimen. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 sebagai pengendali utama yang menghubungkan sensor suhu, sensor pH, dan sensor TDS ke platform Firebase. Data hasil pengukuran dari sensor

dikirim secara real-time ke Firebase dan divisualisasikan dalam aplikasi Android. Penelitian ini juga menambahkan fitur notifikasi otomatis yang memberikan peringatan kepada pengguna ketika kondisi air berada di luar batas normal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu menampilkan data dengan akurasi tinggi dan respons yang cepat. Melalui sistem ini, pembudidaya udang Vaname dapat memantau kondisi tambak dari jarak jauh, sehingga pengelolaan tambak menjadi lebih efisien, efektif, dan berorientasi pada keberlanjutan (Alwansyah & Fahrurrozi, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Refiansyah Nur, Erry Rizkysuro, Iklima Istiqomah, dan rekan-rekan pada tahun 2024 berjudul “Sistem Pakan Tertakar Otomatis untuk Budidaya Ikan Nila Merah Berbasis IoT” Penelitian ini berawal dari permasalahan yang dihadapi para pembudidaya ikan nila merah, yaitu proses pemberian pakan yang masih dilakukan secara manual sehingga sering tidak teratur dan tidak efisien. Ketidaktepatan dalam jadwal dan takaran pakan menyebabkan pertumbuhan ikan tidak optimal serta meningkatkan risiko pencemaran air akibat kelebihan pakan. Untuk menjawab permasalahan tersebut, peneliti mengembangkan sistem pemberian pakan otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Sistem ini dirancang menggunakan beberapa komponen utama seperti Arduino Uno sebagai pusat kendali, sensor pH 4502C untuk memantau kondisi air, sensor timbangan untuk mendeteksi berat pakan, serta Real Time Clock (RTC) untuk pengaturan jadwal pemberian pakan. Proses pengambilan keputusan pada sistem menggunakan logika fuzzy, yang memungkinkan penyesuaian takaran pakan secara adaptif berdasarkan kondisi lingkungan. Selain itu, sistem terintegrasi dengan aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kolam dan proses pemberian pakan secara real-time melalui perangkat seluler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pakan otomatis ini mampu meningkatkan efisiensi waktu, mengurangi pemborosan pakan, serta memperbaiki produktivitas dan kualitas budidaya ikan nila merah (Nur dkk., 2024).

Penelitian Nurhidayah telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air dan pakan otomatis berbasis IoT menggunakan ESP32 dengan sensor pH, suhu, ultrasonik, dan turbidity yang terhubung ke aplikasi Blynk. Namun, penelitian tersebut

belum menyediakan penyimpanan data historis berbasis cloud, tidak memiliki fitur ekspor data untuk keperluan analisis jangka panjang, dan tidak dilengkapi evaluasi kelayakan dari sisi pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem yang mengintegrasikan Firebase Realtime Database sebagai penyimpanan data real-time, web monitoring dengan fitur riwayat dan ekspor data, serta notifikasi melalui Telegram Bot, sehingga pembudidaya dapat memantau dan mengelola kondisi kolam secara lebih efisien dan terukur dari jarak jauh (Nurhidayah dkk., 2024).

Pada bagian selanjutnya akan dibahas tinjauan penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian ini. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem berbasis *Internet of Things (IoT)* pada bidang budidaya ikan dan pengendalian kualitas air. Penelitian-penelitian tersebut memberikan landasan teoritis serta perbandingan yang relevan dalam mendukung penelitian ini. Ringkasan mengenai peneliti sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini dapat dilihat secara jelas pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Peneliti Terdahulu Yang Relevan

Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Pratama & Abdillah, 2025	Sistem Pemberi Pakan Otomatis, pH Regulator dan Kendali Suhu Menggunakan Fuzzy Logic pada Aquarium	Penelitian ini menggabungkan sensor suhu dan sensor pH dengan logika fuzzy untuk mengatur kondisi air secara otomatis.	Penelitian ini berbeda karena sistem dikembangkan untuk akuarium ikan hias.
Aprillianto, 2024	Rancang Bangun Sistem Monitoring Air Kolam Budidaya Ikan Berbasis Internet Of Things	Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan menerapkan konsep Internet of Things (IoT) untuk menampilkan data sensor suhu dan kekeruhan air secara real-time.	Penelitian ini hanya berfungsi sebagai sistem monitoring kualitas air tanpa fitur pemberian pakan otomatis.

Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
Fikri, 2024	Rancang Bangun Alat Pemantau dan Pengendali Suhu dan pH Air pada Kolam Ikan Gabus Berbasis IoT	Penelitian ini menggunakan logika fuzzy sebagai metode pengendalian dan sensor pH serta suhu untuk menjaga kualitas air.	Penelitian ini fokus pada pengendalian otomatis pompa filter dan aerator untuk kolam ikan gabus.
Alwansyah & Fahrurrozi, 2024	Implementasi Internet of Things (IoT) untuk Sistem Monitoring Kualitas Air Shrimp Farming Vaname pada Aplikasi Berbasis Android	Penelitian ini menggunakan sensor suhu dan pH untuk pemantauan kualitas air secara real-time serta menerapkan sistem IoT dalam proses monitoring.	Penelitian ini hanya berfokus pada monitoring kualitas air tambak udang Vaname melalui aplikasi Android dan Firebase.
Nur et al., 2024	Sistem Pakan Tertakar Otomatis untuk Budidaya Ikan Nila Merah Berbasis Internet of Things (IoT)	Penelitian ini menerapkan Internet of Things (IoT) sebagai teknologi utama dalam sistem otomasi. Selain itu, penggunaan sensor pH dan suhu juga menjadi komponen penting untuk memantau kondisi air.	Penelitian ini fokus utamanya adalah pada pemberian pakan ikan nila merah secara tertakar otomatis.
(Nurhidayah dkk., 2024)	Sistem Monitoring Kualitas Air dan Pakan Otomatis Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Things	Penelitian ini sama-sama menggunakan ESP32, sensor pH, sensor suhu DS18B20, sensor ultrasonik, dan modul RTC untuk sistem monitoring kualitas air dan pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele.	Penelitian ini menggunakan aplikasi Blynk sebagai platform monitoring dan belum menyediakan penyimpanan data historis berbasis cloud, fitur ekspor data, maupun evaluasi

Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Persamaan	Perbedaan
			kelayakan dari pengguna.

Berdasarkan hasil kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air dan pemberian pakan otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih memiliki keterbatasan, seperti belum terintegrasinya sistem monitoring dengan penyimpanan data historis berbasis cloud secara real-time, belum tersedianya fitur ekspor data untuk kebutuhan dokumentasi dan analisis lanjutan, serta belum dilakukannya evaluasi kelayakan sistem melalui pengujian pengguna secara langsung. Selain itu, sebagian penelitian hanya berfokus pada aspek monitoring tanpa mengintegrasikan pengendalian otomatis dalam satu sistem terpadu. Oleh karena itu, penelitian ini dikembangkan untuk mengintegrasikan monitoring kualitas air, pemberian pakan otomatis, pencatatan data berbasis web, serta evaluasi sistem dalam satu platform yang terintegrasi, sehingga diharapkan mampu memberikan solusi yang lebih komprehensif bagi pembudidaya ikan.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori berfungsi sebagai dasar konseptual dan ilmiah dari penelitian yang dilakukan. Pada bagian ini dijelaskan teori-teori yang mendukung pembangunan sistem pemantauan kualitas air dan pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele berbasis *Internet of Things*.

2.2.1 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga dapat berkomunikasi dan bertukar data secara otomatis. Setiap perangkat yang terintegrasi dalam sistem IoT mampu mengirimkan, menerima, serta memproses data tanpa

memerlukan intervensi manusia secara langsung. Konsep ini memungkinkan terciptanya sistem cerdas yang mampu merespons kondisi lingkungan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor.

Menurut (Atzori dkk., 2011) dalam jurnal IEEE Communications Surveys & Tutorials, IoT didefinisikan sebagai paradigma jaringan global yang menghubungkan objek fisik melalui teknologi komunikasi untuk mendukung layanan cerdas dan otomatis. Selain itu dalam jurnal Future Generation Computer Systems menjelaskan bahwa IoT mengintegrasikan sensor, jaringan komunikasi, komputasi awan (cloud computing), dan analitik data untuk menghasilkan sistem yang adaptif dan efisien.

Penerapan IoT telah berkembang di berbagai bidang, termasuk pertanian, kesehatan, industri, dan perikanan. Pada sektor budidaya ikan, teknologi IoT memungkinkan pemantauan parameter lingkungan seperti suhu air, tingkat keasaman (pH), dan pengaturan pemberian pakan dilakukan secara real-time. Sistem yang saling terintegrasi tersebut mendukung proses pengambilan keputusan berbasis data sehingga meningkatkan efisiensi operasional serta produktivitas budidaya.

Pada gambar 2.1 dapat dilihat dengan adanya sistem yang saling terhubung ini, proses pemantauan dan pemberian pakan dapat dilakukan secara efisien, terukur, serta mendukung peningkatan produktivitas dan kualitas hasil budidaya (Alatuji, 2023).



Gambar 2.1 *Internet of Things*
(Sumber : (Alatuji,2023))

2.2.2 Mikrokontroler ESP32

ESP32 berperan sebagai pusat kendali sistem pemantauan kualitas air dan pemberian pakan otomatis. Semua sensor dan aktuator terhubung ke pin-pin GPIO ESP32 sesuai fungsinya; sensor pH dihubungkan ke pin ADC untuk pembacaan analog,

sensor DS18B20 menggunakan satu-wire pada pin data dengan pull-up, sensor ultrasonik memakai pin trigger dan echo (echo melalui level shifter), sementara RTC terhubung melalui jalur I2C (SDA dan SCL). Servo motor dan relay diberi sumber daya 5 V terpisah, dengan ground bersama agar sinyal kontrol ESP32 bekerja stabil. Konfigurasi ini memungkinkan ESP32 membaca kondisi kolam secara real-time, menjalankan logika pemberian pakan sesuai jadwal RTC, dan mengirim data ke antarmuka web melalui koneksi Wi-Fi (R. E. Putra, 2024).



Gambar 2.2 Mikrokontroler ESP32

(Sumber : www.electronicwings.com)

2.2.3 RTC DS3231

Modul RTC DS3231 digunakan sebagai sumber waktu utama dalam sistem IoT kolam lele untuk mengatur jadwal pemberian pakan otomatis dan mencatat waktu pengambilan data sensor. Modul ini berkomunikasi dengan ESP32 menggunakan protokol I2C melalui pin SDA (GPIO21) dan SCL (GPIO22). RTC tetap menjaga akurasi waktu meskipun sistem kehilangan daya karena dilengkapi baterai cadangan. Dengan adanya DS3231, sistem mampu melakukan pemberian pakan sesuai waktu yang telah ditentukan tanpa perlu koneksi internet, serta mencatat data pH dan suhu dengan penanda waktu yang akurat untuk analisis kondisi air secara berkelanjutan.

Gambar 2.3 seperti berikut (bisaioti.com, 2025).



Gambar 2.3 RTC DS3231

(Sumber: www.bisaioti.com)

2.2.4 Sensor pH 4502C

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air dalam kolam ikan lele. Nilai pH merupakan indikator penting bagi kualitas air, dengan kisaran ideal antara 6,5 hingga 8,5 untuk pertumbuhan ikan yang optimal. Dalam sistem ini, sensor pH 4502C menghasilkan sinyal analog yang dikonversi oleh mikrokontroler ESP32 menjadi data digital. Data tersebut kemudian dikirimkan secara otomatis ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan secara real-time melalui web monitoring yang berada pada gambar 2.4 dibangun menggunakan HTML, CSS, dan JavaScript, sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air kolam dengan mudah dan efisien melalui perangkat seperti laptop maupun smartphone (Badruzzaman dkk., 2024).

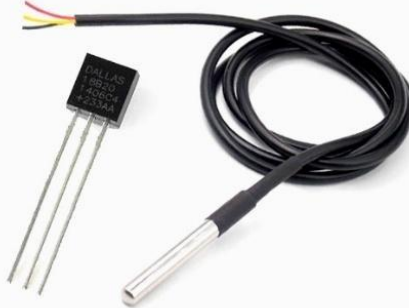


Gambar 2.4 Sensor pH 4502C
(Sumber: www.chippiko.com)

2.2.5 Sensor Suhu DS18B20

Sensor DS18B20 berfungsi untuk mengukur suhu air dengan tingkat akurasi tinggi dan menghasilkan data dalam bentuk digital. Suhu air yang stabil sangat penting untuk menjaga metabolisme ikan lele serta mencegah terjadinya stres lingkungan yang dapat menghambat pertumbuhan ikan. Dalam penelitian ini, sensor DS18B20 mengirimkan data suhu ke mikrokontroler ESP32, yang kemudian meneruskan data tersebut ke Firebase Realtime Database. Data suhu yang tersimpan selanjutnya ditampilkan secara real-time melalui web monitoring berbasis HTML, CSS, dan JavaScript, sehingga pengguna dapat memantau kondisi suhu air kolam dengan mudah

dan akurat melalui perangkat seperti laptop atau smartphone yang dapat dilihat pada gambar 2.5 sebagai berikut (Raihan, 2025).



Gambar 2.5 Sensor Suhu DS18B20
(Sumber: icmasteronline.com)

2.2.6 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak atau ketinggian pakan di dalam wadah penampung dengan memanfaatkan prinsip pantulan gelombang suara. Sensor ini memancarkan gelombang ultrasonik yang akan dipantulkan kembali oleh permukaan pakan, kemudian menghitung selisih waktu antara gelombang terkirim dan diterima untuk menentukan jarak secara akurat. Pada gambar 2.6 menjelaskan Jika sensor HC-SR04 mendeteksi bahwa jumlah pakan telah berkurang hingga mencapai batas tertentu, sistem secara otomatis akan mengirimkan notifikasi ke antarmuka web berbasis HTML, CSS, dan JavaScript melalui Firebase Realtime Database, sehingga pembudidaya dapat segera mengetahui kondisi wadah dan melakukan pengisian ulang pakan tepat waktu (Ramadhan, 2020).



Gambar 2.6 Sensor Ultrasonic HC-SR04
(Sumber: www.arduinointro.com)

2.2.7 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) digunakan sebagai platform utama untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke mikrokontroler ESP32. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C/C++, dengan dukungan berbagai library seperti *Esp32WiFi.h*, *FirestoreESP32.h*, *Servo.h*, *DS18B20.h*, dan *RTClib.h* yang memudahkan proses integrasi antara mikrokontroler dan sensor. Gambar 2.7 Arduino IDE dipilih karena bersifat open-source, ringan, mudah digunakan, serta kompatibel dengan berbagai jenis modul dan sensor, sehingga sangat mendukung pengembangan sistem IoT berbasis monitoring dan kontrol otomatis pada penelitian ini (NICO, 2024).



Gambar 2.7 Arduino IDE
(Sumber: www.arduino.com)

2.2.8 Servo Motor

Servo motor merupakan aktuator yang berfungsi untuk menggerakkan mekanisme fisik dengan tingkat presisi dan kontrol posisi yang tinggi. Dalam penelitian ini, servo motor digunakan untuk membuka dan menutup wadah pakan otomatis berdasarkan perintah dari mikrokontroler ESP32. Servo akan bergerak pada sudut tertentu untuk menyalurkan pakan ke kolam dalam jumlah yang telah ditentukan, kemudian kembali ke posisi semula setelah proses selesai. Pada gambar 2.8 dengan penerapan servo motor, proses pemberian pakan menjadi lebih efisien, teratur, dan sesuai dengan kebutuhan ikan lele, sehingga mendukung sistem pemberian pakan otomatis yang andal dan konsisten (Batubara dkk., 2025).



Gambar 2.8 Servo Motor
(Sumber: www.probots.co.in)

2.2.9 Extension Board

Extension board ESP32 digunakan sebagai media pendukung untuk mempermudah proses pengkabelan antara mikrokontroler ESP32 dan berbagai komponen eksternal. Papan ini berfungsi untuk mendistribusikan pin input dan output ESP32 ke dalam bentuk terminal atau header yang lebih mudah diakses, sehingga mengurangi risiko kesalahan pemasangan kabel. Penggunaan extension board juga membantu dalam menjaga kerapian rangkaian serta meningkatkan kestabilan koneksi listrik, terutama pada sistem yang melibatkan banyak sensor dan aktuator. Dengan adanya extension board, proses perakitan, perawatan, dan pengembangan sistem dapat dilakukan dengan lebih efisien dan terstruktur (D. E. Putra dkk., 2025).



Gambar 2.9 Extension Board
(Sumber :[amazonQ.com](https://www.amazon.com))

2.2.10 OLED Display

OLED Display digunakan sebagai media tampilan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor dan status kerja sistem secara real-time. Pada sistem ini, OLED menampilkan data seperti nilai pH air, suhu air, jarak hasil pembacaan sensor ultrasonik, serta informasi waktu yang diperoleh dari modul RTC. OLED Display dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 melalui antarmuka komunikasi I2C, sehingga hanya membutuhkan empat jalur koneksi, yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL. Penggunaan OLED dipilih karena memiliki konsumsi daya yang rendah, tampilan yang jelas, serta ukuran yang ringkas, sehingga sesuai untuk sistem monitoring berbasis mikrokontroler (Tanugraha, 2021).



Gambar 2.10 OLED Display
(Sumber: www.arduinoindonesia.id)

2.2.11 Adaptor dan Power Supply

Adaptor 5V–12V berfungsi sebagai sumber daya listrik utama yang mengalirkan tegangan ke seluruh komponen sistem. Setiap perangkat seperti sensor, Mikrokontroler ESP32, dan servo motor memerlukan daya yang stabil agar dapat bekerja dengan baik. Seperti Gambar 2.11 Adaptor diatur agar memberikan suplai daya sesuai kebutuhan masing-masing komponen, sehingga sistem dapat berjalan secara optimal tanpa gangguan tegangan (Saputra, 2021).



Gambar 2.11 Adaptor dan Power Supply
(Sumber: bengkeltv.id)

2.2.12 *Firestore Realtime Database*

Firestore Realtime Database merupakan layanan basis data berbasis cloud yang dapat memperbarui dan menyinkronkan data secara langsung. Firestore memudahkan proses komunikasi antara perangkat keras dengan aplikasi web. Dalam penelitian ini, Firestore digunakan untuk menyimpan data pembacaan sensor pH, suhu, dan ketersediaan pakan secara *real-time*. ESP32 mengirimkan data ke Firestore, dan hasilnya langsung ditampilkan pada web monitoring tanpa perlu memuat ulang halaman. Hal ini mempermudah pengguna untuk memantau kondisi kolam kapan saja (Hartawan & Sudiarsa, 2019).

2.2.13 Sistem Otomatisasi IoT

Sistem otomatisasi berbasis Internet of Things merupakan penerapan teknologi yang memungkinkan suatu proses berjalan secara mandiri tanpa campur tangan manusia secara langsung. Dalam penelitian ini, sistem otomatisasi digunakan untuk pemberian pakan ikan lele secara terjadwal agar proses budidaya menjadi lebih efisien. Komponen utama dalam sistem ini adalah mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, servo motor sebagai aktuator yang membuka dan menutup wadah pakan. ESP32 akan membaca data kemudian menggerakkan servo motor pada jadwal yang telah ditentukan untuk menyalurkan pakan ke kolam secara otomatis (Prabowo dkk., 2020).

2.2.14 Sistem Pemantauan dan Pengendalian Berbasis IoT

Sensor pH, suhu, dan ultrasonik digunakan untuk membaca parameter kualitas air, kemudian data dikirim secara real-time ke Firebase sebagai penyimpanan berbasis cloud. Data tersebut diolah dan ditampilkan pada web monitoring yang dikembangkan menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan PHP, sehingga pengguna dapat melihat hasil pembacaan sensor dalam bentuk teks dan grafik secara real-time. Melalui dashboard web ini, pengguna dapat memantau kondisi kolam dari jarak jauh serta memberikan perintah kendali seperti pemberian pakan manual. Mikrokontroler ESP32 bertugas mengolah data sensor dan mengaktifkan servo motor sesuai jadwal pemberian pakan atau berdasarkan kondisi tertentu yang terdeteksi. Dengan sistem ini, pembudidaya dapat melakukan pengawasan dan pengendalian kolam secara efisien tanpa harus berada di lokasi secara langsung (Irhamna dkk., 2024).

2.2.15 *Prototype*

Prototype merupakan model awal atau bentuk sederhana dari sistem yang dibuat untuk memberikan gambaran nyata mengenai fungsi, tampilan, dan cara kerja sistem yang akan dikembangkan. Tujuan utama pembuatan prototype adalah untuk membantu pengguna memahami rancangan sistem sebelum sistem tersebut direalisasikan secara penuh. Melalui prototype, pengguna dapat memberikan masukan terkait desain, alur kerja, serta fitur yang diinginkan. Dalam konteks penelitian ini, prototype yang dibuat berupa tampilan awal sistem pemantauan dan pemberian pakan ikan lele berbasis Internet of Things. Prototype ini memperlihatkan bagaimana sensor, mikrokontroler, dan antarmuka web monitoring saling terhubung untuk menampilkan data kondisi kolam secara real-time. Dengan adanya prototype, pengembang dan pengguna dapat berinteraksi langsung dengan model sistem, sehingga kesalahan desain dapat diminimalkan sejak tahap awal pengembangan (Andini dkk., 2023).

2.2.16 Metode Prototype

Metode Prototype merupakan pendekatan dalam pengembangan perangkat lunak yang menggunakan pembuatan prototype sebagai bagian dari prosesnya. Tujuan dari metode ini adalah untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan pengguna karena mereka dilibatkan secara langsung

dalam setiap tahap pengembangan. Dalam penelitian ini, metode prototype digunakan untuk membangun sistem web monitoring berbasis HTML, CSS, dan JavaScript yang terintegrasi dengan Firebase Realtime Database serta mikrokontroler ESP32. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan proses penyempurnaan sistem secara bertahap hingga diperoleh sistem pemantauan dan pengendalian otomatis kolam ikan lele yang efisien, adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna (Bakri & Nasution, 2024).

2.2.17 Blackbox Testing

Blackbox Testing merupakan salah satu metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada fungsi-fungsi yang dijalankan oleh sistem tanpa memperhatikan struktur internal atau kode program yang digunakan. Dalam metode ini, penguji hanya memperhatikan masukan (*input*) dan keluaran (*output*) dari sistem untuk memastikan bahwa perangkat lunak berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditentukan. Menurut Pressman (2010), *Blackbox Testing* bertujuan untuk menemukan kesalahan dalam fungsi, antarmuka, struktur data, serta kinerja sistem yang terlihat dari luar tanpa mengetahui cara kerja internalnya. Teknik pengujian ini biasanya dilakukan dengan memberikan berbagai variasi data uji untuk melihat apakah sistem memberikan respon yang benar sesuai harapan. Keuntungan dari *Blackbox Testing* adalah dapat digunakan untuk menguji keakuratan fungsi utama sistem, termasuk validasi input, keluaran data, dan integrasi antar komponen tanpa memerlukan pengetahuan teknis mendalam tentang pemrograman (Idris dkk., 2025).

2.3 Parameter Kualitas Air dan Variabel Penelitian

Keberhasilan dalam kegiatan budidaya ikan lele sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan biologis ikan. Air sebagai media hidup utama memiliki peran yang sangat penting dalam menunjang proses pertumbuhan, metabolisme, serta daya tahan ikan terhadap penyakit. Perubahan kualitas air yang tidak terkontrol dapat menyebabkan stres pada ikan, menurunkan nafsu makan, memperlambat pertumbuhan, bahkan meningkatkan tingkat kematian. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air secara berkala dan terukur menjadi kebutuhan utama dalam sistem budidaya modern.

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan sistem berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses monitoring kualitas air dilakukan secara otomatis dan real-time. Sistem ini mampu membaca parameter lingkungan melalui sensor, kemudian mengirimkan data ke platform monitoring berbasis web untuk dianalisis dan ditindaklanjuti. Dengan adanya sistem tersebut, pembudidaya tidak lagi bergantung sepenuhnya pada pengukuran manual yang memerlukan waktu dan tenaga lebih besar (Hutabarat dkk., 2023).

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa variabel utama yang dijadikan sebagai parameter pengamatan dan pengendalian sistem, yaitu pH air, suhu air, dan pemberian pakan. Ketiga variabel tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan ilmiah karena memiliki pengaruh langsung terhadap kualitas lingkungan budidaya dan tingkat produktivitas ikan lele. pH air berperan dalam menjaga keseimbangan kimia perairan, suhu air mempengaruhi aktivitas metabolisme dan pertumbuhan ikan, sedangkan pemberian pakan berkaitan dengan efisiensi biaya operasional serta kualitas air akibat sisa pakan.

Dengan mempertimbangkan pentingnya ketiga variabel tersebut, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk mampu memantau dan mengontrol parameter-parameter tersebut secara otomatis. Penjelasan lebih rinci mengenai masing-masing variabel penelitian disajikan pada subbab berikut.

2.3.1 Variabel pH Air

pH air merupakan parameter kimia yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu perairan. Nilai pH mempengaruhi keseimbangan reaksi kimia di dalam air serta berperan penting dalam proses fisiologis ikan lele. Ikan lele membutuhkan kondisi pH yang stabil agar proses metabolisme, penyerapan nutrisi, dan sistem pernapasan dapat berlangsung secara optimal.

Nilai pH yang terlalu rendah (asam) dapat menyebabkan iritasi pada insang dan mengganggu sistem pernapasan ikan. Sebaliknya, nilai pH yang terlalu tinggi (basa) dapat meningkatkan kadar amonia beracun di dalam air yang berpotensi membahayakan kelangsungan hidup ikan. Secara umum, kisaran pH ideal untuk budidaya ikan lele berada pada rentang 6,5 hingga 8,5 (Tumembouw dkk., 2025).

Pengembangan sistem IoT dirancang untuk memantau nilai pH air secara real-time menggunakan sensor pH yang terhubung dengan mikrokontroler. Data pembacaan pH dikirimkan ke sistem monitoring berbasis web sehingga pembudidaya dapat mengetahui kondisi air secara langsung dan mengambil tindakan apabila terjadi penyimpangan nilai pH dari standar yang ditentukan.

2.3.2 Variabel Suhu Air

Suhu air merupakan parameter fisik yang berpengaruh langsung terhadap aktivitas metabolisme dan pertumbuhan ikan lele. Perubahan suhu air dapat mempengaruhi nafsu makan, tingkat konsumsi oksigen, serta sistem kekebalan tubuh ikan. Ikan lele termasuk jenis ikan yang mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, namun tetap memerlukan suhu yang relatif stabil agar pertumbuhan berlangsung optimal.

Suhu air yang terlalu rendah dapat memperlambat proses metabolisme dan menurunkan nafsu makan ikan. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres serta menurunkan kadar oksigen terlarut dalam air. Suhu ideal untuk budidaya ikan lele umumnya berada pada kisaran 26°C hingga 30°C. Dalam sistem yang dikembangkan, suhu air dipantau menggunakan sensor suhu digital yang terintegrasi dengan mikrokontroler. Sistem membaca data suhu secara berkala dan menampilkan hasilnya pada platform web monitoring. Dengan pemantauan ini, pembudidaya dapat menjaga stabilitas lingkungan kolam secara lebih efektif dan efisien (Zebua dkk., 2025).

2.3.3 Variabel Pemberian Pakan

Pemberian pakan merupakan faktor manajemen budidaya yang berpengaruh terhadap pertumbuhan, efisiensi biaya, dan kualitas air kolam. Jumlah dan frekuensi pemberian pakan harus disesuaikan dengan kebutuhan ikan agar pertumbuhan berlangsung optimal tanpa menimbulkan pencemaran air akibat sisa pakan yang berlebihan. Pemberian pakan secara manual sering kali menyebabkan ketidakteraturan waktu serta ketidaktepatan takaran pakan. Kondisi tersebut dapat meningkatkan biaya operasional dan mempercepat penurunan kualitas air. Oleh karena itu, sistem

otomatisasi pemberian pakan menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi proses budidaya.

Sistem Otomatisasi dirancang untuk mengontrol servo motor sebagai mekanisme pembuka katup pakan secara otomatis berdasarkan jadwal yang telah ditentukan. Sistem ini bertujuan untuk memastikan pemberian pakan berlangsung tepat waktu dan sesuai kebutuhan ikan sehingga produktivitas budidaya dapat meningkat.

