

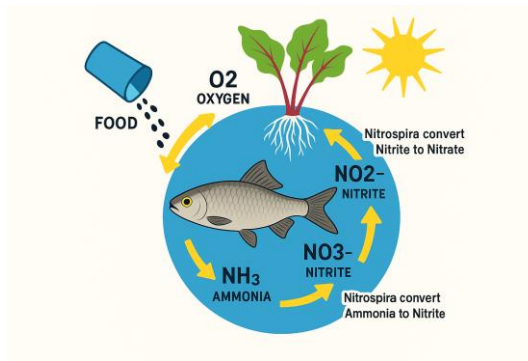
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Akuaponik

Akuaponik merupakan sistem pertanian terpadu yang menggabungkan dua teknik budidaya yaitu akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (budidaya tanaman tanpa tanah) dalam satu ekosistem tertutup. Sistem ini memanfaatkan limbah *metabolik* ikan sebagai sumber *nutrisi* bagi tanaman. Dalam prosesnya, tanaman menyerap senyawa nitrogen dari air, sehingga membantu menyaring dan membersihkan air sebelum kembali ke kolam ikan. Dengan demikian, akuaponik membentuk sistem resirkulasi air yang hemat sumber daya dan berkelanjutan [10]

Konsep dasar akuaponik mengandalkan kerja sama antara tiga komponen biologis utama: ikan, tanaman, dan bakteri. Ikan menghasilkan amonia melalui ekskresi dan sisa pakan. Amonia ini kemudian dikonversi oleh bakteri *nitrifikasi* *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* menjadi nitrit dan akhirnya menjadi *nitrat*, yang merupakan bentuk nitrogen yang dapat diserap tanaman. Tanaman menyerap nitrat ini sebagai *nutrien* utama, sementara air yang sudah bersih kembali dialirkan ke kolam ikan. Proses ini menciptakan siklus tertutup yang saling menguntungkan dan minim limbah [11].



Gambar 2. 1 Gambar Siklus dalam Sistem Akuaponik

## 2.2 *Internet Of Think*

*Internet of Things (IoT)* adalah konsep integrasi antara perangkat fisik dan jaringan digital, yang memungkinkan pertukaran data secara otomatis tanpa intervensi manusia secara langsung. Prinsip utama IoT terdiri atas empat proses kerja dasar yakni: Pengumpulan data, komunikasi atau konektivitas data melalui jaringan nirkabel, pengolahan data, serta memberikan aksi atau respons otomatis berdasarkan hasil analisis, seperti pengaktifan pompa, alarm, atau notifikasi system.

Seiring perkembangan teknologi, IoT tidak hanya sebatas koneksi antar perangkat, tetapi juga telah berevolusi menjadi ekosistem kompleks yang terintegrasi dengan *cloud computing*, *big data*, dan kecerdasan buatan (AI). Inovasi ini membawa perubahan signifikan dalam berbagai bidang seperti pertanian, industri, kesehatan, dan energi, menjadikan IoT sebagai tulang punggung transformasi digital masa kini [12].

### 2.2.1 Peran IoT dalam Otomasi Pertanian dan Akuaponik

Sistem akuaponik modern, IoT menjadi komponen penting dalam mengotomasi pemantauan kualitas air, pengendalian suhu, pemberian pakan,

pencahayaannya, dan sirkulasi air. Penggunaan sensor seperti sensor suhu air, sensor pH, dan kekeruhan air dapat memungkinkan memantau parameter yang dapat memengaruhi pertumbuhan ikan dan tanaman secara langsung melalui perangkat digital secara realtime.

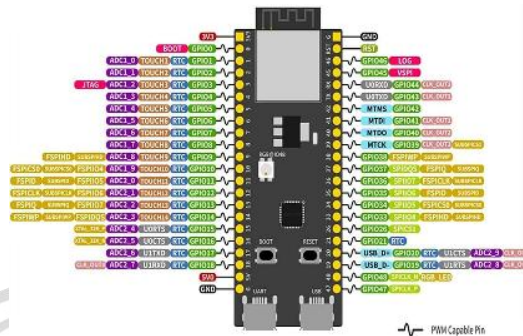
Penerapan IoT dalam sistem akuaponik tidak hanya memberikan kemudahan pengawasan jarak jauh, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional melalui pengambilan keputusan otomatis. Misalnya, jika sensor pH mendeteksi nilai di luar batas optimal (misalnya  $<6,5$  atau  $>7,5$ ), sistem dapat langsung mengaktifkan pompa buffering untuk menstabilkan kondisi. Demikian pula, sistem pemberian pakan dapat dijadwalkan secara presisi berdasarkan waktu atau pola perilaku makan ikan yang dipelajari secara historis oleh sistem [13].

Penggunaan IoT sangat relevan dalam mendukung transformasi pertanian presisi (*precision agriculture*) dan ketahanan pangan berbasis teknologi digital. Dalam skala kecil seperti urban farming, sistem ini dapat dioperasikan dengan biaya relatif terjangkau dan diintegrasikan dengan web dashboard yang dapat diakses secara realtime. Dalam konteks negara berkembang seperti Indonesia, IoT pada akuaponik membuka peluang besar bagi petani kota, pelaku UMKM pangan, dan rumah tangga mandiri pangan [14].

### 2.3 ESP 32-S3

ESP32-S3 adalah modul *System on Chip* (SoC) generasi terbaru dari keluarga ESP32 yang dikembangkan oleh *Espressif Systems*. Modul ini dilengkapi dengan mikroprosesor dual-core Xtensa® 32-bit LX7 yang memiliki kinerja lebih tinggi dibandingkan versi sebelumnya, serta mendukung Wi-Fi dan Bluetooth 5

(LE) secara terintegrasi. ESP32-S3 juga dirancang dengan kemampuan akselerasi AI yang memungkinkan pemrosesan data lebih cepat untuk aplikasi *edge computing* seperti pengenalan pola atau sistem kontrol berbasis fuzzy logic. Gambar 2.2 menunjukkan GPIO dari Esp 32-S3.



Gambar 2. 2 Konfigurasi GPIO Esp 32-S3

## 2.4 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor digital berbasis *one-wire* yang sangat cocok untuk aplikasi budidaya akuakultur karena memiliki pelindung tahan air dan tingkat akurasi tinggi. Sensor ini mampu menghasilkan pengukuran suhu dengan error rata-rata hanya 0,2°C dan akurasi hingga 99% . Struktur fisiknya yang terlapisi tabung aluminium anti air menjadikannya aman digunakan langsung di media cair seperti kolam budidaya. Implementasi sensor ini telah terbukti meningkatkan stabilitas suhu air dalam sistem budidaya, yang secara tidak langsung

mendukung kelangsungan hidup ikan hingga masa panen [15].



Gambar 2. 3 Sensor Suhu DS18B20

## 2.5 Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu cairan melalui konversi reaksi kimia menjadi sinyal listrik. Dalam sistem monitoring berbasis IoT, salah satu modul yang umum digunakan adalah sensor pH-4502C yang memiliki tingkat akurasi tinggi hingga 99,87% dibandingkan dengan alat ukur berstandar SNI. Sensor ini memiliki rentang pengukuran 0–14 pH dengan respons cepat di bawah satu menit, dan dapat diintegrasikan langsung ke mikrokontroler seperti ESP32. Uji banding antara hasil sensor dan pH meter SNI menunjukkan nilai error yang sangat kecil (rata-rata 0,149%), sehingga cocok digunakan untuk memantau kualitas air secara real time dalam sistem budidaya akuaponik berbasis IoT [16].



Gambar 2. 4 Sensor pH-4502C

## 2.6 Sensor Ketinggian Air (Ultrasonik HC-SR04)

Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengukur ketinggian air berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dengan frekuensi 40 kHz. Sensor ini bekerja dengan menghitung waktu tempuh gelombang ultrasonik dari saat dipancarkan hingga diterima kembali setelah memantul dari permukaan air. Berdasarkan hasil uji komparatif, sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi tertinggi dibandingkan sensor HY-SRF05 dan JSN-SR04T, dengan tingkat error rata-rata hanya 1,03% pada rentang pengukuran antara 10 cm hingga 100 cm. Selain itu, sensor ini menunjukkan konsistensi hasil pengukuran yang tinggi berdasarkan analisis reliabilitas menggunakan metode *Intraclass Correlation Coefficient (ICC)* dan validitas data dengan uji *Cronbach's Alpha*. Oleh karena itu, HC-SR04 sangat sesuai untuk digunakan dalam sistem monitoring ketinggian air secara real-time dalam proyek akuaponik berbasis IoT [17].



Gambar 2. 5 Sensor Ultrasonik HC-SR04

## 2.7 Sensor Kekeruhan (Turbidity)

Sensor kekeruhan air atau *turbidity sensor* digunakan untuk mendeteksi tingkat kejernihan air berdasarkan satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), yang penting untuk menentukan kualitas lingkungan budidaya dalam sistem akuaponik. Sensor ini bekerja dengan prinsip penyebaran cahaya dalam air dan mampu mendeteksi batas kekeruhan secara real-time. Dalam penelitian Sipekernik, sensor turbidity digunakan sebagai pemicu aktifasi pompa penguras air jika nilai kekeruhan melebihi 25 NTU, yang merupakan ambang batas optimal dalam sistem budidaya ikan dan tanaman. Pengujian menunjukkan bahwa sensor ini memiliki kinerja yang stabil dan mampu memberikan respon yang cepat terhadap perubahan kondisi air, sehingga sangat efektif untuk menjaga kualitas air dalam sistem resirkulasi tertutup seperti akuaponik [18].



Gambar 2. 6 Sensor Kekeruhan Air (Turbidity)

## 2.8 Pompa Air

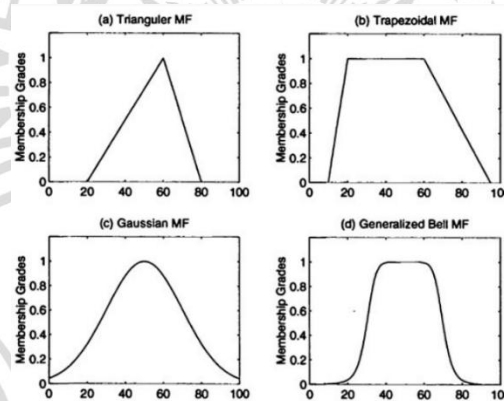
Pada penelitian ini, digunakan pompa air submersible DC 24V yang dikontrol oleh PWM dari mikrokontroler ESP32. Kecepatan pompa diatur berdasarkan hasil keluaran dari sistem logika fuzzy Mamdani yang mempertimbangkan parameter suhu dan kadar amonia dalam air. Mekanisme ini diadaptasi dari pendekatan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan pompa AC 1 phasa, namun dimodifikasi agar sesuai untuk skala prototipe hemat daya dan berbasis tegangan rendah [20].



Gambar 2. 7 Pompa Air Submersible DC 24V

## 2.9 Logika Fuzzy Mamdani

Sistem *inferensi fuzzy tipe Mamdani* merupakan salah satu metode pengambilan keputusan yang berbasis pada logika linguistik dan aturan IF–THEN. Dalam metode ini, proses inferensi dilakukan dengan menggunakan operator logika fuzzy seperti AND (minimum) dan OR (maximum) untuk menentukan hasil dari setiap aturan yang aktif. Himpunan fuzzy untuk masing-masing input dan output direpresentasikan dalam bentuk fungsi keanggotaan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 Beberapa bentuk fungsi keanggotaan yang umum digunakan antara lain fungsi segitiga (*triangular*), trapesium (*trapezoidal*), *Gaussian*, dan *generalized bell*, dengan rentang nilai antara 0 dan 1 yang menunjukkan tingkat derajat keanggotaan (*membership grade*) [21].



Gambar 2. 8 Grafik Permodelan Keanggotaan Fuzzy

Pada penelitian ini, sistem akan menghasilkan himpunan fuzzy output berdasarkan hasil evaluasi aturan-aturan. Proses *defuzzifikasi* kemudian dilakukan untuk mengubah output *fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp value*) dengan menggunakan metode centroid (rata-rata berbobot). Nilai crisp inilah yang akan digunakan untuk mengatur aktuator, dalam hal ini adalah kecepatan pompa air yang

dikendalikan oleh ESP32 S3.

## 2.10 Dashboard Monitoring Berbasis Web

Dashboard monitoring berbasis web merupakan platform visualisasi data *Internet of Things* (IoT) yang dirancang untuk mengontrol dan mengontrol perangkat mikrokontroler secara real-time melalui jaringan internet. Sistem ini bekerja dengan cara mengirimkan data dari mikrokontroler (ESP32-S3) ke server web menggunakan metode *HTTP POST*, kemudian data disimpan ke dalam database dan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, serta indikator status melalui antarmuka berbasis web browser.

*Platform dashboard web* memiliki momen yang tinggi karena dapat diakses dari berbagai perangkat seperti komputer, laptop, maupun smartphone tanpa memerlukan aplikasi tambahan. antarmuka pengguna (*user interface*) dapat dirancang secara dinamis menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan PHP, sehingga tampilan dan fitur dapat disesuaikan sesuai kebutuhan pengguna dan jenis data yang dimonitor.

Dalam penelitian ini, dashboard web digunakan sebagai antarmuka utama sistem monitoring dan kontrol real-time untuk sistem akuaponik. Data sensor seperti suhu udara, pH, tingkat kekeruhan, dan ketinggian udara ditampilkan secara kontinyu dan disertai dengan indikator status pompa. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis melalui Telegram API apabila parameter kualitas udara berada di luar batas normal.

Dengan adanya dashboard berbasis web ini, proses pemantauan, pengambilan keputusan, serta analisis data historis menjadi lebih ringkas, efisien,

dan mudah diakses kapan saja. Platform ini juga memungkinkan integrasi dengan layanan cloud dan sistem kecerdasan buatan (AI) di masa depan untuk meningkatkan akurasi dan prediktabilitas system.

## **2.11 Sistem Pakan Ikan Otomatis**

Sistem pemberi pakan ikan otomatis bertujuan mengurangi beban kerja peternak dalam aktivitas harian pemberian pakan dan menjaga keteraturan waktu serta jumlah pakan yang diberikan. Salah satu implementasi yang banyak digunakan adalah penggunaan mikrokontroler Arduino Nano sebagai pengendali utama, dikombinasikan dengan motor servo untuk membuka dan menutup celah tempat pakan secara mekanis. Dalam penelitian sebelumnya, sistem ini diintegrasikan dengan modul Wi-Fi ESP8266, modul RTC untuk pencocokan waktu, dan antarmuka aplikasi Android yang digunakan untuk mengatur jadwal serta durasi pakan. Hasil pengujian selama tujuh hari menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan stabil dan memberikan pakan secara tepat waktu dengan rata-rata output sebesar 24,04 gram per detik, bergantung pada nilai delay servo yang disesuaikan [9].