

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini mencakup beberapa konsep dan penelitian penting yang menjadi dasar penelitian ini, meliputi karakteristik dan syarat hidup ikan nila sebagai objek budidaya, teknologi IoT sebagai platform utama sistem monitoring, sensor-sensor kualitas air yang digunakan dalam penelitian seperti sensor pH4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan (*turbidity*), serta komponen pendukung sistem seperti mikrokontroler ESP32, pompa air untuk automasi kontrol pH, modul relay, power supply, dan sistem komunikasi data. Selain itu, tinjauan ini juga akan mengulas teknologi basis data dan platform visualisasi data yang digunakan dalam pengembangan sistem, serta bahasa pemrograman yang diterapkan untuk implementasi sistem IoT. Setiap topik tersebut memberikan landasan teoritis dan teknis yang relevan untuk memahami konteks, metode, dan teknologi yang diterapkan dalam pengembangan sistem monitoring dan *automasi* kualitas air berbasis IoT untuk budidaya ikan nila di N3 Farm.

2.1.1 Ikan Nila



Gambar 2. 1 Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) (Arfiati et al., 2021)

Ikan nila yang memiliki nama ilmiah *Oreochromis niloticus* merupakan spesies ikan dari kelompok *Tilapia* yang habitat asalnya berasal dari benua Afrika dan telah menjadi komoditas populer di Indonesia karena memiliki kandungan nutrisi berupa protein dalam jumlah tinggi, vitamin B12 dan D, serta asam lemak omega-3 yang memberikan manfaat bagi kesehatan jantung dan fungsi otak.

Morfologi ikan nila dapat dikenali melalui postur tubuhnya yang memanjang dengan bentuk yang ramping, disertai warna pigmen yang bervariasi mulai dari merah, kuning pucat hingga hitam dengan pola garis-garis vertikal. Walaupun secara visual memiliki kesamaan dengan ikan mujair, ikan nila dapat dibedakan dari postur punggungnya yang lebih tinggi dan dimensi tubuh yang lebih padat. Penanda khas yang membedakannya adalah keberadaan pola garis vertikal yang tampak lebih nyata tersebar di seluruh bagian tubuh sampai ke area sirip ekor dan sirip punggung, serta memiliki struktur mata yang prominent dengan ukuran yang cukup besar dan pinggiran mata berwarna putih.

Ikan nila menunjukkan daya adaptasi yang tinggi sehingga mampu bertahan hidup di berbagai kondisi perairan mulai dari perairan dengan kedalaman rendah,

aliran sungai yang tidak terlalu deras, waduk, rawa, area persawahan, kolam, perairan dengan salinitas rendah, bahkan dapat dikembangkan menggunakan teknologi jaring apung. Berdasarkan taksonomi, ikan nila termasuk dalam *filum Chordata* yang merupakan kategori hewan dengan struktur *korda dorsalis* atau sistem rangka tulang belakang yang disebut *Vertebrata*. Terminologi *Chordata* berasal dari etimologi bahasa Yunani yang merupakan gabungan dari kata *notor* yang memiliki arti punggung dan *chorde* yang berarti tali atau senar, yang membentuk istilah notokorda yang berfungsi sebagai penguat dan penyangga tubuh untuk memberikan fleksibilitas yang optimal. Klasifikasi taksonomi ikan nila menurut (Arfiati et al., 2021) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Taksonomi Ikan Nila (Arfiati et al., 2021)

Kategori	Taksonomi
Kerajaan	Animalia
Filum	Chordata
Sub-filum	Vertebrata
Kelas	Osteichthyes
Sub-kelas	Acanthopterygii
Ordo	Percomorphi
Sub-ordo	Percoidea
Famili	Cichlidae
Genus	Oreochromis

Spesies	<i>Oreochromis Niloticus</i>
---------	------------------------------

Ikan nila merupakan anggota kelompok *Chordata vertebrata* yang tergolong dalam kelas *Osteichthyes* atau ikan dengan tulang sejati, terutama dalam subkelas *Actinopterygii* yang memiliki ciri khas sirip dengan struktur berjari-jari yang berkembang dari tulang rawan sirip. Secara taksonomi, ikan nila masuk dalam *ordo Percomorphi* yang ditandai dengan struktur sirip berduri tajam pada bagian bawah sirip dada dan sirip punggung yang didukung oleh duri keras di *anterior* serta duri lunak di *posterior*, serta tergolong dalam famili *Cichlidae* yang dicirikan oleh sirip punggung yang menyatu dengan duri keras di bagian depan dan duri lunak di bagian belakang. Famili *Cichlidae* dibedakan menjadi dua genus berdasarkan cara bereproduksinya, yakni *Tilapia* yang memijah dengan meletakkan telur di permukaan keras dan menjaganya sampai menetas, sedangkan *Sarotherodon* memijah dengan cara mengerami telur di rongga mulut induk. Genus *Sarotherodon* selanjutnya terbagi menjadi dua kelompok yaitu *Sarotherodon* yang telurnya dierami oleh induk jantan atau bersama-sama induk jantan dan betina di dalam mulut, serta *Oreochromis* yang telurnya hanya dierami oleh induk betina di dalam mulutnya. Mengingat perilaku pemijahan ikan nila yang hanya mengerami telur di dalam mulut induk betina, maka ikan nila secara taksonomi dikategorikan dalam genus *Oreochromis* walaupun secara umum dapat dikelompokkan ke dalam tiga genus yakni *Tilapia*, *Sarotherodon* dan *Oreochromis*.

2.1.1.1 Syarat Hidup Ikan Nila

Untuk menghasilkan produktivitas budidaya yang optimal, kualitas air pada kolam ikan nila harus selalu terjaga dalam kondisi ideal. Parameter kualitas air seperti suhu, pH, kekeruhan, dan oksigen terlarut sangat mempengaruhi pertumbuhan, tingkat kelangsungan hidup, serta efisiensi pakan pada ikan nila.

2.1.1.1.1 Suhu

Temperatur air memberikan dampak yang sangat penting terhadap aktivitas kehidupan organisme yang hidup di perairan. Suhu yang didapat juga bervariasi mulai dari 26,30°C sampai 31,7°C. Suhu air dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat intensitas sinar matahari yang diterima, periode waktu dalam sehari, tingkat kedalaman air, serta keberadaan tumbuhan yang menutupi permukaan perairan. Intensitas radiasi sinar matahari yang tinggi akan menyebabkan kenaikan suhu air secara berbanding lurus. Temperatur memberikan pengaruh langsung pada aktivitas biologis dan fisiologis organisme air termasuk kecepatan reproduksi dan perkembangan tubuh ikan. Berikut merupakan rentang suhu optimal yang dibutuhkan untuk ikan nila:

1. Suhu ideal pertumbuhan: 25-30 °C
2. Suhu yang masih dapat ditoleransi: 22-37°C
3. Suhu optimal untuk pertumbuhan maksimal: 25-30°C (Arfiati et al., 2021)

4. Kisaran suhu pada suhu 0°C: 15 mg/l oksigen, pada 25°C menurun menjadi 8 mg/l

Kenaikan temperatur air menyebabkan peningkatan kebutuhan oksigen karena oksigen diperlukan dalam proses penguraian nutrisi melalui aktivitas metabolisme. Temperatur yang rendah mengakibatkan berkurangnya konsumsi pakan dan kebutuhan oksigen, sementara temperatur yang terlalu tinggi dapat memberikan gangguan pada proses metabolisme tubuh dan perkembangan embrio (Arfiati et al., 2021).

2.1.1.1.2 Kecerahan

Kecerahan merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan cahaya matahari untuk menembus ke dalam kolom air atau menggambarkan tingkat kejernihan perairan. Penetrasi cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan memiliki peran penting dalam aktivitas fotosintesis *fitoplankton* sehingga tingkat kecerahan dapat menjadi indikator produktivitas suatu perairan. Faktor-faktor yang memengaruhi tingkat kecerahan meliputi keberadaan partikel yang terlarut di dalam air, baik berupa bahan organik maupun plankton yang dapat menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam badan air dan memberikan dampak pada aktivitas fotosintesis *fitoplankton*. Berikut merupakan klasifikasi tingkat kecerahan perairan yang sesuai untuk ikan nila:

1. Kecerahan ideal: 40-85 cm
2. Batas minimum pandang mata ikan: > 45 cm

Tingkat kecerahan yang rendah dapat disebabkan oleh keberadaan material anorganik seperti lumpur yang menghambat produksi makanan alami di perairan. Kecerahan dipengaruhi oleh tingkat kepadatan plankton dan memberikan pengaruh terhadap ketersediaan oksigen terlarut di perairan melalui aktivitas fotosintesis yang dipengaruhi oleh detritus, mikroorganisme, lumpur dan pasir (Arfiati et al., 2021).

2.1.1.1.3 pH (Derajat Keasaman)

Nilai pH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat konsentrasi ion hidrogen yang terdapat dalam suatu perairan. Perairan yang memiliki kualitas baik ditandai dengan keseimbangan konsentrasi ion H^+ dan OH^- sehingga menghasilkan pH dengan kondisi netral. Rentang pH yang masih dapat diterima oleh organisme air berkisar antara 7-8,5. Nilai pH yang terlalu rendah memberikan dampak negatif terhadap keberlangsungan hidup organisme karena meningkatkan mobilitas berbagai senyawa yang bersifat toksik. Nilai pH mengalami perubahan yang dinamis sesuai dengan kondisi ekosistem dan waktu, dimana perubahan sering terjadi sepanjang periode harian. Berikut merupakan pH optimal yang diperlukan untuk ikan nila:

1. pH ideal pertumbuhan: 7-8
2. pH yang masih dapat ditoleransi: 5-8,7
3. pH untuk pertumbuhan optimal: 7-8,8

Faktor-faktor yang memengaruhi perubahan pH meliputi temperatur air, kandungan oksigen terlarut, alkalinitas, aktivitas fotosintesis, dan respirasi dalam

ekosistem perairan. Pada waktu sore hari pH air cenderung lebih tinggi dibandingkan waktu pagi hari karena aktivitas fotosintesis *fitoplankton* yang menyerap CO₂ dalam jumlah besar. Karbon dioksida yang bereaksi dengan air membentuk asam lemah yang selanjutnya mengalami hidrolisis menjadi ion H⁺, sehingga kandungan CO₂ yang tinggi sebagai hasil dari proses pembusukan dan respirasi menyebabkan pH air cenderung menurun (Arfiati et al., 2021).

2.1.1.1.4 Oksigen Terlarut (DO)

Oksigen terlarut merupakan komponen vital yang diperlukan untuk keberlangsungan hidup organisme akuatik baik tumbuhan maupun hewan yang hidup di dalam air. Konsentrasi oksigen terlarut minimum yang diperlukan untuk kehidupan biota tidak boleh kurang dari 6 ppm. Ikan nila memiliki daya tahan yang baik dan mampu bertahan hidup dengan kandungan oksigen yang rendah atau kurang dari 3 mg/l, sehingga dapat dibudidayakan di kolam tadah hujan dan perairan tergenang lainnya yang memiliki kandungan oksigen minimal. Berikut merupakan kandungan oksigen terlarut yang optimal untuk ikan nila:

1. DO minimal untuk kehidupan: > 3 mg/l
2. DO optimal untuk pertumbuhan: 5 mg/l
3. Kisaran DO yang baik: 4,389-5,23 mg/l
4. DO optimal untuk suhu 20-30°C: 5-7 mg/l

Oksigen terlarut diperlukan ikan untuk proses respirasi dan sebagai penunjang aktivitas metabolisme tubuh. Oksigen terlarut dihasilkan melalui

keseimbangan antara produksi dan konsumsi oksigen yang terdapat di perairan. Organisme autotrof menghasilkan oksigen melalui aktivitas fotosintesis dengan memanfaatkan cahaya matahari, sementara organisme heterotrof menggunakan oksigen terlarut untuk proses respirasi. Bakteri juga memerlukan oksigen perairan untuk melakukan penguraian limbah organik.

Konsentrasi oksigen terlarut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti temperatur air, pergerakan massa air, luas permukaan perairan terhadap volume air, serta aktivitas fotosintesis dan respirasi. Kenaikan temperatur 1°C di perairan menyebabkan organisme mengalami peningkatan kebutuhan oksigen sekitar 10%. Kadar oksigen terlarut pada temperatur 0°C mencapai 15 mg/l, sedangkan pada temperatur 25°C menurun menjadi 8 mg/l. Oksigen terlarut dalam kondisi temperatur tinggi mengalami penurunan dan kadar oksigen rendah dapat menyebabkan ikan mengalami stres karena otak tidak memperoleh suplai oksigen yang memadai. Kadar oksigen yang terlalu rendah dapat menghambat aktivitas dan nafsu makan sehingga pertumbuhan ikan menjadi tidak optimal, bahkan kadar oksigen yang sangat rendah dapat menghambat proses respirasi hingga menyebabkan kematian massal ikan nila (Arfiati et al., 2021).

2.1.2 *Internet of Things (IoT)*

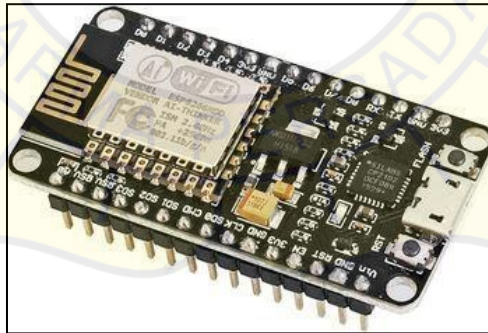
Internet of Things (IoT) merupakan paradigma teknologi yang memungkinkan objek fisik terhubung ke internet dan dapat berinteraksi serta berkomunikasi secara otomatis untuk bertukar data dan informasi. Teknologi IoT

dapat diterapkan pada berbagai sektor seperti sistem energi, rumah pintar, industri, kota pintar, logistik, kesehatan, dan pertanian.

Arsitektur sistem IoT terdiri dari tiga komponen utama yaitu objek fisik (*physical objects*), sensor dan aktuator beserta kontrolernya (*sensors, actuators, gateways, controllers*), serta internet sebagai medium komunikasi. Perangkat IoT memiliki identitas unik dan mampu melakukan fungsi penginderaan jarak jauh, pemantauan, dan kontrol otomatis. Pengumpulan data dapat dilakukan secara lokal atau jarak jauh melalui aplikasi berbasis *cloud*, dimana perangkat dapat berupa data *log* yang dilengkapi berbagai sensor untuk mengumpulkan parameter lingkungan (Marlina & Afroni 2021).

2.1.3 Komponen dan Perangkat Keras

2.1.3.1 NodeMCU ESP32



Gambar 2. 2 Node *MCU esp32*

Sumber : (arduinoindonesia, 2025)

Pada gambar 1 merupakan NodeMCU ESP 32, *mikrokontroler* yang diperkenalkan oleh Espressif System, yang menjadi penerus dari *mikrokontroler*

ESP8266. Modul mikrokontroler NodeMCU ESP32 digunakan sebagai pengendali utama untuk memproses data dalam sistem monitoring dan kontrol otomatis kualitas air kolam ikan nila. ESP32 menerima dan memproses data dari berbagai sensor, seperti sensor pH-4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor analog turbidity, sebelum mengirimkannya ke *server cloud* IoT. Modul ini memiliki kemampuan komunikasi Wi-Fi dan Bluetooth sehingga memungkinkan pengiriman data secara langsung ke aplikasi mobile atau *server cloud*.

NodeMCU ESP32 juga dapat dikembangkan untuk mendukung berbagai alat lainnya seperti, sensor *ultrasonic* HC-SR04 untuk mendeteksi volume banyaknya makanan ikan di penyimpanan, motor servo untuk membuka-tutup pakan otomatis, dan *RTC* untuk menyimpan data waktu *real-time* guna penjadwalan pemberian pakan dan *logging* aktivitas sistem. Integrasi berbagai komponen ini menjadikan NodeMCU ESP32 sebagai basis utama pengembangan aplikasi IoT yang inovatif dan berdaya guna.

Dalam implementasinya, NodeMCU ESP32 memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya meliputi konektivitas Wi-Fi dan *Bluetooth* terintegrasi yang menghilangkan kebutuhan modul eksternal, kemampuan *dualcore processing* untuk multitasking, kompatibilitas luas dengan berbagai sensor dan protokol komunikasi, harga terjangkau untuk kategori mikrokontroler IoT, serta dukungan komunitas dan library yang ekstensif untuk mempercepat pengembangan (Maier et al., 2017). Adapun kelemahannya mencakup akurasi ADC internal yang kurang optimal untuk aplikasi presisi tinggi sehingga memerlukan kalibrasi berkala, sensitivitas terhadap *noise* elektromagnetik pada lingkungan industri, keterbatasan

memori untuk aplikasi yang sangat kompleks, serta potensi ketidakstabilan koneksi Wi-Fi pada jarak jauh atau area dengan interferensi tinggi (Olanubi et al., 2024). Meskipun terdapat beberapa keterbatasan, kelebihan ESP32 dalam hal konektivitas, *processing power*, dan ekosistem pengembangan menjadikannya pilihan yang tepat untuk sistem monitoring dan automasi kualitas air pada penelitian ini.

2.1.3.2 Sensor pH-4502C



Gambar 2. 3 Sensor pH-4502C

Sumber : (research gate, 2024)

Pada gambar 2 ialah sensor pH-4502C yang merupakan sensor analog yang mengukur potensial hidrogen dalam air menggunakan elektroda di dalam manik kaca. Sensor ini dirancang untuk aplikasi pemantauan kualitas air dengan harga terjangkau dan tingkat akurasi sekitar $\pm 0,2$ pH, cocok untuk pengaturan skala kecil seperti sistem monitoring kolam ikan, meskipun cukup sensitif terhadap fluktuasi suhu (Flores-Iwasaki et al., 2025). Dalam implementasi berbasis IoT, sensor pH4502C telah banyak digunakan bersama dengan sensor lain seperti suhu, TDS, kekeruhan, dan *dissolved oxygen* untuk memberikan gambaran komprehensif

kondisi air secara *real-time* (Al Mamun et al., 2024). Penggunaannya bersama sensor suhu DS18B20 telah terbukti efektif dalam pemantauan kualitas air kolam ikan nila (Rio et al., 2025).

NodeMCU ESP32, dengan kapabilitas pemrosesan data dan konektivitas nirkabel yang dimilikinya, mengolah informasi dari sensor pH-4502C untuk berbagai aplikasi berbasis IoT (*Internet of Things*). Sensor ini mendukung pengembangan sistem monitoring cerdas yang mampu mentransmisikan data kualitas air melalui jaringan Wi-Fi ke platform *cloud* untuk analisis lebih mendalam atau diintegrasikan dengan sensor lainnya guna menciptakan sistem yang lebih komprehensif. Contoh implementasinya meliputi sistem pemantauan kualitas air kolam budidaya, perangkat monitoring lingkungan akuatik, serta pengembangan sistem automasi pemberian treatment air. Integrasi sensor pH4502C dengan NodeMCU ESP32 menjadi solusi yang banyak dipilih dalam berbagai proyek teknologi akuakultur karena efisiensi dan fleksibilitasnya dalam memantau tingkat keasaman air secara *real-time*.

2.1.3.3 Sensor Suhu DS18B20



Gambar 2. 4 Sensor DS18B20

Sumber : (dfrobot, 2025)

Sensor DS18B20 merupakan sensor suhu digital semikonduktor yang mengintegrasikan *driver* elektronik dan menyediakan *interface* standar yang memudahkan *networking* (Elyounsi & Kalashnikov, 2021). Sensor ini memberikan pembacaan suhu dengan resolusi 9 hingga 12 bit melalui *interface* 1-Wire (*onewire*), sehingga hanya memerlukan satu kabel data (ditambah ground) untuk terhubung ke mikrokontroler. Keunggulan utamanya adalah tidak terjadi degradasi sinyal bahkan pada jarak jauh karena sifat digitalnya, dengan akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada sebagian besar rentang pengukuran.

Dalam sistem monitoring berbasis IoT untuk akuakultur, sensor DS18B20 telah banyak digunakan bersama sensor pH-4502C untuk memantau suhu air kolam dan mengirimkan data melalui *server cloud* IoT dengan persentase error sekitar 2,80% (Irawan et al., 2021). Sensor ini juga diimplementasikan untuk monitoring suhu air secara *real-time* pada kolam udang vaname dan ikan nila (Rio et al., 2025; Satra et al., 2024)

2.1.3.4 Sensor Analog Turbidity



Gambar 2. 5 Sensor Turbidity

Sumber : (edukasi elektronik, 2020)

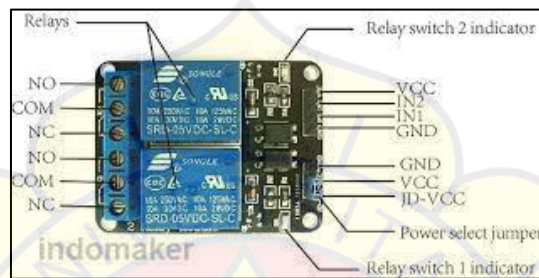
Sensor turbidity adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan cara mendeteksi partikel tersuspensi dalam cairan berdasarkan prinsip hamburan cahaya (Droujko & Molnar, 2022). Sensor ini bekerja dengan memancarkan sinar *infrared* atau LED melalui sampel air, kemudian mengukur intensitas cahaya yang tersebar atau dipantulkan oleh partikel-partikel yang terdapat dalam air (Vu et al., 2023). Intensitas cahaya yang terhamburkan ini berbanding lurus dengan konsentrasi partikel tersuspensi dalam air, sehingga dapat digunakan untuk menentukan tingkat kekeruhan secara kuantitatif (Kumar et al., 2024).

Sensor turbidity analog beroperasi berdasarkan metode *nephelometrik*, yang mengukur cahaya terhamburkan pada sudut 90 derajat terhadap sumber cahaya (Lee et al., 2024). Metode ini diakui sebagai standar dalam pengukuran turbiditas karena sensitivitasnya yang tinggi, presisi yang baik, dan kemampuannya untuk mengukur berbagai ukuran partikel dan konsentrasi (Wang et al., 2024). Sensor ini menghasilkan output berupa sinyal listrik analog yang proporsional terhadap tingkat kekeruhan yang terdeteksi, dengan nilai turbiditas umumnya dinyatakan dalam satuan NTU (*Nephelometric Turbidity Units*) (Vu et al., 2023). Sinyal analog ini kemudian memerlukan konversi melalui ADC (*Analog-to-Digital Converter*) untuk dapat diproses oleh mikrokontroler seperti Arduino atau ESP32 (Lee et al., 2024).

Sensor turbidity analog mampu mendeteksi berbagai jenis partikel seperti sedimen, alga, lumpur, mikroorganisme, dan bahan organik lainnya yang dapat mempengaruhi kejernihan air (Droujko & Molnar, 2022). Dengan tingkat akurasi

yang baik dan kemudahan integrasinya dengan berbagai platform *mikrokontroler*, sensor turbidity analog telah menjadi pilihan yang populer dalam berbagai aplikasi monitoring kualitas air secara real-time, termasuk untuk sistem akuakultur, pengolahan air minum, pemantauan lingkungan, dan deteksi polusi di air.

2.1.3.5 Relay Module



Gambar 2. 6 Relay Module

Sumber : (indomaker, 2022)

Relay module adalah perangkat elektronik yang mengintegrasikan satu atau beberapa relay elektromagnetik ke dalam bentuk modular yang dilengkapi dengan berbagai komponen pendukung seperti dioda proteksi, LED indikator, resistor, transistor, dan komponen lainnya untuk memberikan isolasi dan perlindungan pada sistem. Modul relay berfungsi sebagai saklar yang dioperasikan secara elektrik, yang memungkinkan pengontrolan perangkat dengan daya tinggi menggunakan sinyal kontrol berdaya rendah dari mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau Raspberry Pi (Adhikary et al., 2024).

Pada sistem monitoring dan automasi, relay module berfungsi sebagai *interface* untuk mengontrol perangkat DC seperti *submersible mini pump* 5–6V yang dioperasikan menggunakan sinyal kontrol DC 5V dari mikrokontroler melalui rangkaian penggerak relay. Kemudahan integrasi relay module dengan platform

mikrokontroler serta kapasitasnya dalam menangani beban arus hingga 10A atau lebih menjadikannya komponen yang sangat populer dalam berbagai aplikasi otomasi budidaya, kontrol kualitas air, sistem monitoring berbasis IoT, dan manajemen kolam ikan secara otomatis.

2.1.3.6 *Real Time Clock (RTC) DS3231*



Gambar 2. 7 Module *Real Time Clock (RTC) DS3231*

Sumber : (randomnerdtutorial, 2023)

Real Time Clock (RTC) DS3231 adalah sirkuit elektronik terintegrasi yang dirancang untuk melakukan pencatatan waktu secara akurat dan terus-menerus, mampu menyimpan informasi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun bahkan ketika sumber daya utama sistem terputus (Aravindhu Ram et al., 2017). Berbeda dengan fungsi `millis()` pada mikrokontroler yang mereset ke nol saat daya terputus, modul RTC DS3231 menggunakan osilator kristal 32,768 kHz dengan teknologi *Temperature-Compensated Crystal Oscillator (TCXO)* yang memberikan kompensasi terhadap perubahan suhu untuk menjamin akurasi tinggi (Sanap, 2025). Modul ini dilengkapi baterai *coin cell* CR2032 untuk mempertahankan informasi waktu saat sistem kehilangan daya utama dan berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol I2C yang hanya memerlukan dua jalur (SDA dan SCL) (Sanap, 2025). Dalam sistem monitoring

berbasis IoT untuk akuakultur, RTC DS3231 sangat penting untuk memberikan timestamp pada data logging, penjadwalan pembacaan sensor berbasis waktu, dan memungkinkan sistem beroperasi secara konsisten tanpa ketergantungan pada koneksi internet.

2.1.3.7 Sensor Ultrasonic HC-SR04



Gambar 2. 8 Sensor Ultrasonic HC-SR04

Sumber : (arduinoindonesia, 2024)

Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan perangkat yang bekerja berdasarkan prinsip konversi gelombang suara menjadi sinyal listrik dan sebaliknya. Melalui mekanisme pantulan gelombang suara pada frekuensi tertentu, sensor ini mampu mendeteksi keberadaan objek berdasarkan jarak yang terukur (Devie & Budiarmo, 2023) Sensor ini berfungsi mengukur jarak antara sensor dan objek di hadapannya dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dipancarkan melalui modul transmitter dan mendeteksi pantulannya melalui modul receiver.

Pengukuran jarak dilakukan dengan menghitung waktu tempuh gelombang sejak dipancarkan hingga diterima kembali setelah memantul dari permukaan objek. Sensor HC-SR04 memiliki akurasi yang baik dengan rentang pengukuran 2

cm hingga 4 meter, sehingga banyak diaplikasikan dalam berbagai sistem seperti robotika untuk deteksi hambatan, sistem keamanan untuk mendeteksi pergerakan, dan perangkat otomasi seperti *monitoring level* air atau pengukuran volume dalam sistem IoT. Kemudahan integrasi dengan mikrokontroler seperti Arduino atau NodeMCU menjadikan sensor ini pilihan yang populer untuk proyek-proyek yang memerlukan deteksi objek dan pengukuran jarak secara *real-time*.

2.1.3.8 Adaptor DC 9V 3A

Adaptor DC 9V 3A berfungsi sebagai sumber daya utama yang menyediakan daya bagi seluruh sistem. Adaptor ini memastikan pasokan daya yang stabil dan konsisten untuk menjalankan komponen-komponen dalam sistem monitoring kualitas air berbasis IoT. Dengan kapasitas arus 3A, adaptor ini mampu mendukung operasional sistem secara efisien dan kontinyu, termasuk untuk mengoperasikan mikrokontroler, berbagai sensor, modul relay, serta perangkat tambahan lainnya secara bersamaan tanpa mengalami penurunan performa.

2.1.3.9 Submersible mini pump



Gambar 2. 9 *Submersible mini pump*

Sumber : (rhydolabz, 2024)

Submersible mini pump adalah perangkat pompa air berukuran kompak yang dirancang untuk beroperasi dengan terendam penuh di dalam air, terdiri dari motor listrik tersegel hermetis (*hermetically sealed motor*) yang terhubung langsung dengan *impeller* dan *diffuser* untuk mengalirkan fluida melalui prinsip gaya *sentrifugal* (AL-Hejjaj et al., 2023; Amale et al., 2024). Cara kerjanya didasarkan pada prinsip pompa sentrifugal bertingkat (*multistage centrifugal pump*), dimana motor listrik memutar *impeller* pada kecepatan tinggi (sekitar 3000 rpm) yang menciptakan gaya *sentrifugal* untuk mempercepat fluida dan mengubah energi kinetik menjadi energi tekanan di dalam *diffuser*, sehingga fluida bertekanan tinggi dapat didorong naik ke permukaan atau mengalir melalui pipa keluaran.

Berdasarkan aplikasi dan kapasitas, *submersible mini pump* dapat dikonfigurasi dengan voltase operasional DC 3-12V untuk aplikasi akuarium dan hidroponik skala kecil, atau AC 230V untuk sistem akuakultur yang lebih besar

dengan kapasitas aliran 50-1000 GPH (*gallon per hour*) (Amale et al., 2024). Dalam sistem monitoring berbasis IoT untuk akuakultur, *submersible mini pump* diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino UNO melalui relay module, dimana mikrokontroler memberikan sinyal kontrol berdasarkan pembacaan water level sensor untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa secara otomatis guna menjaga level air optimal (75-90% dari kapasitas total) dalam fish tank, serta dapat dikontrol secara remote melalui platform *cloud* seperti *ThingSpeak* atau *Arduino IoT Cloud* untuk monitoring *real-time* dan manajemen sirkulasi air (Amale et al., 2024; S et al., 2025).

2.1.3.11 Motor Servo



Gambar 2. 10 Motor servo

Sumber : (arduinoindonesia, 2022)

Motor servo adalah aktuator putar yang dirancang untuk mengontrol posisi sudut poros output dengan presisi tinggi melalui mekanisme kontrol umpan balik (*closed-loop*), sehingga mampu mempertahankan posisi yang ditetapkan meskipun terjadi gangguan eksternal (Nasri et al., 2022). Komponen utama motor servo meliputi motor listrik (umumnya motor DC), rangkaian *gearbox* (*gear set*) yang

melekat pada poros motor untuk menurunkan kecepatan putaran sekaligus meningkatkan torsi, sensor posisi (sering berupa potensiometer) yang terhubung ke *gearbox* untuk mendeteksi sudut aktual poros, serta sirkuit kontrol yang menerima sinyal perintah dan umpan balik posisi untuk menentukan bagaimana motor harus berputar agar mencapai sudut yang diinginkan (Randa et al., 2024)

Cara kerja motor servo berlangsung sebagai berikut: ketika pengontrol memberikan sinyal perintah (*set-point*), sirkuit kontrol membandingkan sinyal perintah dengan posisi aktual yang dibaca oleh sensor umpan balik; jika terdapat selisih (*error*), kontroler mengirimkan sinyal daya ke motor sehingga motor dan *gearbox* berputar sampai poros output berada pada sudut yang sesuai; setelah itu motor akan berhenti dan mempertahankan posisi tersebut selama sinyal kontrol terus diteruskan secara berkala. Karena itu, motor servo banyak digunakan dalam aplikasi di mana diperlukan kontrol sudut/gerakan yang akurat seperti pada robotika, aktuator otomatis, atau sistem mekanik presisi (Adhitya, 2024; Hasibuan & Yusfi, 2024)

2.1.3.12 Kabel Jumper



Gambar 2. 11 Kabel jumper

Sumber : (arduinoindonesia, 2022)

Pada gambar 3 merupakan kabel jumper. Kabel jumper merupakan kabel elektrik yang memiliki pin konektor di setiap ujungnya dan memungkinkanmu untuk menghubungkan dua komponen yang melibatkan Arduino tanpa memerlukan solder (Sulistiyorini et al., 2022).

2.1.4 Perangkat Lunak

2.1.4.1 Arduino IDE 2.3.6

Arduino IDE 2.3.6 adalah perangkat lunak resmi yang digunakan untuk pemrograman dan pengelolaan proyek berbasis platform Arduino. Perangkat lunak ini menyediakan lingkungan pengembangan terintegrasi (*Integrated Development Environment*) yang memungkinkan pengguna untuk menulis, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah kode (*sketch*) ke papan mikrokontroler Arduino. Dibangun di atas *framework* modern dan menggunakan editor berbasis teknologi Monaco, versi 2.3.6 menawarkan antarmuka yang lebih intuitif, responsif, dan kaya fitur dibandingkan rilis klasik sebelumnya.

Fitur utama dari Arduino IDE 2.3.6 meliputi editor kode dengan penyorotan sintaks (*syntax highlighting*) dan fitur *auto-complete* yang canggih, manajemen pustaka (*Library Manager*) dan board (*Board Manager*) yang terintegrasi, serta alat *debugging* untuk papan yang didukung. Selain itu, IDE ini menyediakan *Serial Monitor*, *Serial Plotter*, dan utilitas diagnostik yang membantu proses pengujian dan pemantauan data secara real-time. Perbaikan performa pada proses kompilasi dan stabilitas pengunggahan juga menjadi fokus utama pada versi ini.

Arduino IDE 2.3.6 mendukung berbagai sistem operasi populer seperti Windows, macOS, dan Linux, serta kompatibel dengan banyak jenis papan (*board*) termasuk keluarga Arduino resmi dan papan pihak ketiga seperti ESP32/ESP8266 apabila ditambahkan dukungan melalui *Board Manager*. Perangkat lunak ini bersifat sumber terbuka (*open source*), sehingga komunitas dapat menyesuaikan, memperluas, dan berbagi pustaka maupun ekstensi untuk memenuhi kebutuhan aplikasi embedded dan *Internet of Things* (IoT).

2.1.4.2 Android Studio

Android Studio merupakan IDE (*Integrated Development Environment*) yang dirancang khusus untuk pengembangan aplikasi pada platform Android. IDE ini dikembangkan berbasis *IntelliJ IDEA Community Edition* dan menyediakan pengalaman pengembangan yang efisien melalui berbagai fitur canggih. Salah satu keunggulannya adalah terintegrasi dengan *Gradle* sebagai sistem otomatisasi build proyek. *Gradle* menggunakan DSL (*Domain Specific Languages*) berbasis *Groovy* yang memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam konfigurasi build dibandingkan dengan tools seperti *Ant* atau *Maven* yang berbasis XML (Affandi & Wibowo, 2021).

Penelitian ini menggunakan Android Studio sebagai platform pengembangan aplikasi mobile karena beberapa alasan utama. Pertama, Android Studio menyediakan fitur lengkap dan terintegrasi untuk pengembangan aplikasi Android, meliputi desain antarmuka visual, *debugging tools*, dan emulator Android yang mempermudah proses pengembangan aplikasi untuk monitoring kualitas air

kolam ikan nila. Kedua, Android Studio mendukung pengembangan aplikasi yang kompatibel dengan berbagai versi Android, memastikan aplikasi dapat dijalankan pada beragam perangkat pengguna. Ketiga, fitur-fitur ini memungkinkan pembuatan aplikasi yang dapat memantau data sensor pH, suhu, dan turbiditas secara *real-time*, mudah digunakan oleh pembudidaya ikan, dan dapat diimplementasikan secara luas. Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman *Dart* dengan *framework Flutter* karena kemampuan *cross-platform* yang memungkinkan pengembangan aplikasi untuk Android dan iOS secara bersamaan, sintaks yang mudah dipahami, performa yang cepat dengan kompilasi native, serta ekosistem *library* yang kaya untuk integrasi dengan sistem IoT, sebagaimana dijelaskan dalam dokumentasi resmi Flutter.

2.1.4.2.1 Flutter

Flutter adalah *framework open-source* yang dikembangkan oleh Google pada tahun 2017 untuk membangun aplikasi *cross-platform* berkinerja tinggi menggunakan satu basis kode. Flutter memungkinkan pengembang membuat aplikasi untuk Android, iOS, web, dan desktop secara bersamaan dengan bahasa pemrograman Dart (Algadrie & Sela, 2024).

Flutter menggunakan *rendering engine Skia* untuk merender setiap elemen visual secara langsung, sehingga tampilan aplikasi tetap konsisten di semua platform (Jalolov, 2025). Fitur *Hot Reload* memungkinkan pengembang melihat perubahan kode secara instan tanpa restart aplikasi, mempercepat proses development (Kinari et al., 2024). Arsitektur Flutter berbasis widget, dimana setiap

komponen visual dan fungsional dibangun menggunakan widget yang dapat dikustomisasi. Widget terbagi menjadi *StatelessWidget* untuk elemen statis dan *StatefulWidget* untuk elemen dinamis (Jalolov, 2025).

Penelitian ini menggunakan Flutter karena kemampuan *cross-platform* dengan *single codebase*, widget library yang lengkap untuk UI responsif, performa setara aplikasi native melalui kompilasi AOT, ekosistem yang kaya untuk integrasi IoT dan Firebase, serta dokumentasi dan komunitas yang aktif untuk pembelajaran mandiri (Algadrie & Sela, 2024; Kinari et al., 2024).

2.1.4.2.2 Bahasa Pemrograman Dart

Dart adalah bahasa pemrograman yang dikembangkan Google sebagai bahasa utama untuk Flutter. Dart dirancang untuk membangun aplikasi berkecepatan tinggi di berbagai platform dengan paradigma *object-oriented* yang mirip Java, C++, dan Python (Jalolov, 2025).

Keunggulan Dart terletak pada sistem kompilasi ganda: *Just-in-Time* (JIT) untuk mendukung *Hot Reload* saat development, dan *Ahead-of-Time* (AOT) untuk menghasilkan *machine code* optimal saat deployment (Jalolov, 2025). Dart juga mendukung *null safety* untuk mencegah *null pointer errors* dan meningkatkan stabilitas aplikasi (Kinari et al., 2024). Fitur asynchronous melalui keyword *async* dan *await* memudahkan penanganan *network requests*, operasi database, dan interaksi user tanpa mempengaruhi responsivitas aplikasi (Jalolov, 2025).

Penggunaan Dart dalam penelitian ini dipilih karena merupakan bahasa resmi Flutter dengan dukungan penuh untuk pemrograman *asynchronous* yang penting untuk aplikasi monitoring *real-time*. Aplikasi monitoring kualitas air memerlukan pengambilan data sensor dari Firebase secara kontinyu tanpa memblokir user interface (Algadrie & Sela, 2024).

2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

2.2.1 Paper 1

“PROTOTYPE SISTEM TELEMETRI SUHU DAN PH AIR KOLAM BUDIDAYA IKAN AIR TAWAR (IKAN NILA) BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)” oleh Nursobah, Salmon, Siti Lailiyah, dan Sadya Winda Sari. Samarinda, tahun 2022 Sinta 4.

2.2.1.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat telemetri suhu dan pH berbasis IoT untuk budidaya ikan nila yang memudahkan pembudidaya melakukan pemantauan kondisi kolam dari jarak jauh tanpa harus datang langsung ke lokasi.

2.2.1.2 Metodologi Yang Digunakan

Penelitian menggunakan metode Prototyping dengan tahapan: pengumpulan data melalui wawancara dan observasi di PT. Eka Bhakti Pratama Samarinda, perancangan sistem hardware (sensor pH analog, sensor suhu

DS18B20, NodeMCU Wemos D1 R1, LCD 16x2, buzzer) dan *software* (*Arduino IDE* dan aplikasi *MyCayenne*), pengujian terpisah *hardware* dan *software*, pengujian integrasi sistem, serta pengujian akurasi sensor dengan membandingkan terhadap alat ukur standar (pH meter dan TDS-3).

2.2.1.3 Temuan Utama

Penelitian ini berhasil mengintegrasikan sensor pH dan suhu dengan NodeMCU yang menampilkan data *real-time* melalui LCD dan aplikasi MyCayenne. Buzzer otomatis berbunyi sebagai alarm ketika $\text{pH} < 7$. Akurasi sensor pH menunjukkan selisih 0,1-0,6 ppm terhadap pH meter standar, sedangkan sensor suhu DS18B20 menunjukkan selisih 0,4-1,9°C terhadap TDS-3. Parameter optimal yang diterapkan adalah pH 7-10 dan suhu 28-29°C. Ditemukan kendala teknis pada sensor suhu dan konektivitas *Cayenne* yang berhasil diatasi melalui konfigurasi ulang.

2.2.1.4 Kelebihan Penelitian

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan IoT untuk monitoring jarak jauh yang menghemat waktu dan meningkatkan efisiensi pengelolaan budidaya. Sistem peringatan otomatis dengan buzzer memberikan notifikasi dini untuk tindakan preventif. Penggunaan komponen *hardware* yang terjangkau memungkinkan adopsi oleh pembudidaya berbagai skala. Validasi akurasi dengan alat standar menunjukkan transparansi dan kredibilitas penelitian, serta memberikan kontribusi praktis langsung yang aplikatif bagi pembudidaya.

2.2.1.5 Kelemahan Penelitian

Sistem masih memiliki keterbatasan akurasi sensor dengan selisih pengukuran yang cukup signifikan dan memerlukan kalibrasi lebih baik. Sistem hanya berfungsi untuk monitoring dan early warning tanpa fitur kontrol otomatis untuk mengatur kondisi air. Tidak ada penjelasan detail tentang prosedur kalibrasi sensor dan tidak dilengkapi fitur data logging untuk analisis tren jangka panjang. Platform terbatas pada *MyCayenne* tanpa pengembangan aplikasi khusus yang dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan pengguna.

2.2.2 Paper 2

“KONTROL KADAR PH DAN KETINGGIAN AIR PADA KOLAM IKAN NILA BERBASIS IOT” oleh Nur Sholikin, Imam Abdul Rozaq, Mohammad Iqbal, Noor Yulita Dwi Setyaningsih. Kudus, 2021 Sinta 4.

2.2.2.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat telemetri suhu dan pH berbasis IoT untuk budidaya ikan nila yang memudahkan pembudidaya melakukan pemantauan kondisi kolam dari jarak jauh tanpa harus datang langsung ke lokasi.

2.2.2.2 Metodologi Yang Digunakan

Penelitian menggunakan metode *Research and Development (R&D) Level 3* yang melakukan penelitian dan pengujian produk untuk mengembangkan produk yang sudah ada. Sistem menggunakan sensor pH E201 BNC untuk mengukur kadar pH air dan sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian air. Arduino digunakan sebagai mikrokontroler utama, NodeMCU ESP8266 untuk konektivitas IoT ke platform *Thinger.io*, serta 3 pompa DC untuk kontrol otomatis (pompa air biasa, pompa pH Up, dan pompa pH Down). Parameter yang ditetapkan adalah pH optimal 6,5-8,6 dan ketinggian air minimal 12 cm.

2.2.2.3 Temuan Utama

Hasil pengujian menunjukkan sensor *Ultrasonik HC-SR04* memiliki error rata-rata 0,07% dengan akurasi 99,93%, sedangkan sensor pH E201 BNC memiliki error rata-rata 0,02% dengan akurasi 99,98%. Pengujian tampilan LCD versus web *Thinger.io* menunjukkan error 0% dengan akurasi 100%, yang berarti sinkronisasi data *real-time* berjalan sempurna. Pengujian sistem keseluruhan selama 1 hari menunjukkan hasil yang linear, dimana sistem mampu menstabilkan pH dan ketinggian air sesuai parameter yang telah ditentukan dengan baik.

2.2.2.4 Kelebihan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa kelebihan utama, yaitu

1. Sistem tidak hanya monitoring tetapi juga kontrol otomatis pH dan ketinggian air, mengatasi keterbatasan penelitian sebelumnya yang hanya monitoring.
2. Implementasi monitoring jarak jauh menggunakan IoT dengan platform *Thingier.io* memungkinkan pembudidaya memantau kondisi kolam secara *real-time* dari mana saja.
3. Akurasi sensor yang sangat tinggi (>99,9%) dengan sinkronisasi data hardware-software yang sempurna (100%); (4) Sistem indikator yang baik dengan buzzer berbunyi berbeda untuk setiap kondisi, LCD untuk display lokal, serta data logging menggunakan RTC dan SD Card; (5) Dual control untuk pH yang dapat menaikkan dan menurunkan pH secara otomatis.

2.2.2.5 Kelemahan Penelitian

Terdapat beberapa keterbatasan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Penelitian hanya dilakukan pada prototipe skala kecil (70cm x 40cm x 20cm) dan belum diuji pada kolam skala komersial/produksi nyata.
2. Durasi pengujian sistem hanya dilakukan selama 1 hari (19 jam) tanpa data uji jangka panjang (mingguan/bulanan).
3. Parameter yang dipantau terbatas hanya pH dan ketinggian air, belum mencakup parameter penting lain seperti suhu air (25-30°C untuk ikan nila), kekeruhan, kadar oksigen terlarut, ammonia, nitrit, dan nitrat.

4. Tidak ada pengujian dengan ikan nila sesungguhnya dan validasi dampak sistem terhadap pertumbuhan/kesehatan ikan.
5. Sistem kontrol pH masih sederhana tanpa penjelasan detail mengenai jenis/konsentrasi larutan *pH Up* dan *pH Down*, volume pemberian, risiko *overshoot*, dan waktu tunggu setelah pemberian larutan.

2.2.3 Paper 3

“ImplementationOf IoT In Nila Fish Cultivation With Bioflock System” oleh Endro Wasito, Tahan Prahara, Arif Nursyahid, Dadi, Sri Anggraeni K., Gus Miftah Delaili Muntaha, Syahrani. Semarang, 2024 Sinta 4.

2.2.3.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan budidaya ikan nila sistem bioflok dengan implementasi IoT untuk monitoring kualitas air secara *real-time*, mengurangi risiko kegagalan panen akibat permasalahan kualitas air, dan memastikan kesejahteraan ikan.

2.2.3.2 Metodologi Yang Digunakan

Penelitian menggunakan metode *prototype development* dalam lima tahap:

1. Studi literatur dan investigasi awal melalui observasi lokasi dan kunjungan site kolam bioflok.

2. Perancangan *hardware* dengan sensor terhubung Arduino dan jaringan 4G LTE, kolam tarpaulin diameter 2m dengan aerasi, solar cell, dan pembuatan website *smartbioflok.com* dengan database *MySQL*.
3. Kalibrasi sensor pH menggunakan larutan buffer standar dan sensor turbidity dengan air kolam bioflok matang.
4. Implementasi dengan transmisi data setiap 30 detik ke database.
5. Operasional selama 2 bulan pemeliharaan dengan pemberian pakan 3% berat badan 2 kali sehari hingga panen.

2.2.3.3 Temuan Utama

Sistem IoT berhasil diimplementasikan melalui website *smartbioflok.com* dengan akurasi sensor pH error maksimum 2,94% dan sensor suhu 1,05%. Parameter kualitas air periode September-Desember 2023 menunjukkan pH 5,67,5, suhu stabil 27-29°C, dan turbidity 12,51-20 NTU (kondisi ideal). Ikan nila tumbuh dari 22,2 gram menjadi 100 gram dalam 2 bulan dengan mortalitas hanya 2%. Efisiensi air sangat tinggi tanpa pergantian selama 4 bulan (hanya penambahan saat penguapan) dengan konsumsi pakan 20 kg dan sistem hemat energi 25 watt. Faktor utama yang mempengaruhi kualitas air adalah pH, suhu, dan DO. Sistem dirancang scalable untuk monitoring hingga 8 kolam dengan tampilan data angka dan grafik yang dapat diakses via internet.

2.2.2.4 Kelebihan Penelitian

Sistem berhasil mengimplementasikan IoT real-time melalui website yang dapat diakses dari mana saja, memungkinkan monitoring tanpa datang ke lokasi. Akurasi sensor baik dengan error pH 2,94% dan suhu 1,05%. Validasi dengan alat ukur standar pabrik menunjukkan transparansi dan kredibilitas penelitian. Hasil budidaya *excellent* dengan pertumbuhan ikan dari 22,2 gram ke 100 gram dalam 2 bulan dan mortalitas hanya 2%, membuktikan efektivitas sistem. Desain *scalable* untuk monitoring hingga 8 kolam menunjukkan potensi implementasi skala besar yang dapat meningkatkan efisiensi budidaya dan mendorong adopsi *smart aquaculture*.

2.2.2.5 Kelemahan Penelitian

Sistem hanya berfungsi monitoring tanpa fitur kontrol otomatis seperti pengaturan aerator atau penambahan kapur dolomit otomatis saat parameter tidak ideal. Tidak ada sistem notifikasi otomatis (SMS, email, push notification) kepada pembudidaya saat parameter di luar rentang ideal. Prosedur kalibrasi sensor turbidity dan DO tidak dijelaskan detail termasuk frekuensi kalibrasi untuk mempertahankan akurasi. Durability sensor dan komponen elektronik terhadap lingkungan lembab dan korosif tidak dibahas, serta tidak ada panduan *maintenance* sistem seperti pembersihan sensor, troubleshooting error, atau penggantian komponen rusak.