

# IoT-Based Water Quality Monitoring and Control System for Koi Fish Ponds

Agil Yafi Adriansyah <sup>1\*</sup>, Novita Kurnia Ningrum <sup>2\*</sup>

<sup>\*</sup> Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro

[111202214521@mhs.dinus.ac.id](mailto:111202214521@mhs.dinus.ac.id)<sup>1</sup>, [novita.kn@dsn.dinus.ac.id](mailto:novita.kn@dsn.dinus.ac.id)<sup>2</sup>

## Article Info

### Article history:

Received 2025-11-07

Revised 2025-12-31

Accepted 2026-01-13

### Keyword:

ESP32 microcontroller,  
Firebase Cloud,  
Koi fish,  
Internet of Things (IoT),  
Ultrasonic sensor.

## ABSTRACT

Koi fish (*Cyprinus rubrofasciatus*) require stable water quality to support their health and growth, yet conventional pond water management is generally performed manually and tends to be inefficient and inconsistent. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring and control system for koi fish ponds. The proposed system integrates an ESP32 microcontroller with pH, turbidity, ultrasonic, and water level sensors to monitor pond conditions in real time and support controlled water drainage and refilling through a web-based interface. Sensor data are transmitted to Firebase Cloud, enabling remote monitoring and control via an internet connection. System testing was conducted on four koi ponds with ten measurements for each parameter, resulting in forty data samples per parameter. The experimental results show that the sensors provide stable measurements with average error values below 3%, and the system demonstrates a response time of approximately 1–2 seconds under stable network conditions. These results indicate that the developed system is capable of supporting effective water quality monitoring and control while reducing reliance on continuous manual supervision in koi pond management.



This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

## I. PENDAHULUAN

Ikan koi (*Cyprinus rubrofasciatus*) merupakan komoditas ikan hias bernilai ekonomi tinggi dengan pangsa pasar yang stabil di tingkat domestik maupun internasional. Keberhasilan budidaya ikan koi sangat bergantung pada pemeliharaan kualitas air kolam yang optimal, karena kondisi lingkungan perairan secara langsung memengaruhi kesehatan, pertumbuhan, dan tingkat kelangsungan hidup ikan [1]. Penurunan kualitas air yang disebabkan oleh akumulasi sisa pakan, limbah metabolisme ikan, serta fluktuasi suhu dan pH dapat memicu stres fisiologis hingga meningkatkan risiko kematian massal pada ikan koi [2]. Oleh karena itu, pengelolaan air kolam melalui proses pengurasan dan pengisian air secara berkala menjadi aspek krusial dalam menjaga kestabilan ekosistem kolam.

Dalam praktiknya, pengelolaan kualitas air kolam koi masih banyak dilakukan secara manual. Metode ini membutuhkan waktu dan tenaga yang relatif besar, khususnya pada kolam berskala menengah hingga besar. Ketergantungan pada intervensi manusia sering kali menyebabkan

ketidakkonsistenan dalam jadwal perawatan, keterlambatan respons terhadap penurunan kualitas air, serta meningkatkan risiko kesalahan operasional (*human error*). Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efektivitas pengelolaan kolam dan berdampak negatif terhadap kesehatan ikan. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan pendekatan yang lebih efisien melalui sistem pemantauan dan pengendalian otomatis, yang memungkinkan pengelolaan kolam dilakukan secara real-time, terukur [3].

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan teknologi berbasis sensor untuk memantau parameter kualitas air kolam ikan secara real-time [4] dan [5], telah memanfaatkan sensor untuk memantau parameter air secara real-time. Namun, sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berfokus pada fungsi pemantauan (monitoring) tanpa dilengkapi dengan mekanisme pengendalian atau eksekusi tindakan seperti penjadwalan pengurasan dan pengisian otomatis. Penelitian lain telah mengusulkan sistem otomatisasi pengurasan dan pengisian air, tetapi umumnya hanya bergantung pada parameter tertentu, seperti pH atau kekeruhan air, sebagai pemicu utama

sistem [6]. Pendekatan tersebut menyebabkan sistem bersifat reaktif, yaitu hanya bekerja ketika kualitas air telah melewati ambang batas tertentu, tanpa menyediakan kendali preventif bagi pengguna untuk melakukan perawatan rutin secara terjadwal. Keterbatasan ini mengurangi fleksibilitas sistem dalam mendukung manajemen kolam yang berkelanjutan.

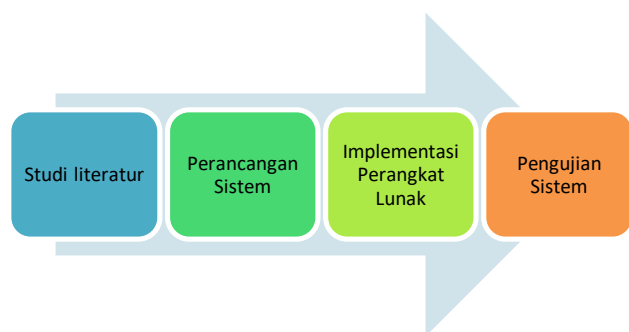
Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem pengelolaan air kolam koi berbasis IoT yang mengintegrasikan pemantauan parameter kualitas air, meliputi pH, kekeruhan, dan ketinggian air, dengan fitur penjadwalan otomatis berbasis waktu. Integrasi antara data sensor secara real-time dan penjadwalan perawatan yang fleksibel memungkinkan pengguna melakukan pengurasan dan pengisian air secara terencana tanpa harus menunggu penurunan kualitas air secara signifikan. Pendekatan ini memberikan kendali yang lebih proaktif dan adaptif bagi pembudidaya dalam menjaga stabilitas lingkungan kolam [7].

Dengan penerapan sistem ini, proses pengelolaan kolam koi dapat dilakukan secara lebih akurat, efisien, dan konsisten. Selain berpotensi mengurangi risiko kerugian akibat kelalaian manusia, penelitian ini juga mendukung penerapan teknologi digital dalam sektor perikanan hias sebagai bagian dari transformasi menuju ekosistem budidaya berbasis otomatisasi dan manajemen data yang selaras dengan konsep Industri 4.0.

## II. METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam perancangan dan pengembangan sistem pemantauan serta pengendalian kualitas air kolam ikan koi berbasis Internet of Things (IoT) adalah metode Research and Development (R&D). Metode R&D bertujuan untuk menghasilkan suatu produk atau prototipe sistem sekaligus mengevaluasi kinerja dan efektivitasnya melalui proses pengujian terstruktur [8]. Pendekatan ini dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada analisis konseptual, tetapi juga pada implementasi sistem nyata yang dapat diaplikasikan secara langsung pada lingkungan kolam ikan koi.

Proses penelitian dilaksanakan melalui empat tahapan utama, yaitu studi literatur, perancangan sistem, implementasi perangkat lunak dan pengujian sistem, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1:



Gambar 1. Urutan Metode R&D

### A. Studi Literatur

Tahap studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih dalam mengenai konsep dan penerapan teknologi IoT dalam bidang pemantauan serta pengendalian kualitas air. Penelusuran dilakukan terhadap berbagai referensi seperti jurnal ilmiah, buku, dan sumber daring yang relevan. Kajian ini meliputi penggunaan mikrokontroler ESP32, pemanfaatan sensor pH, sensor kekeruhan, sensor ultrasonik, dan sensor water level dalam sistem otomatisasi. Selain itu, dilakukan juga penelaahan terhadap pemanfaatan Firebase Realtime Database (RTDB) sebagai media penyimpanan dan pengiriman data secara real-time. Hasil dari studi literatur ini menjadi dasar dalam perancangan sistem agar sesuai dengan kebutuhan teknis, memiliki keandalan tinggi, dan mampu bekerja secara optimal.

### B. Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang diperoleh dari studi literatur. Sistem ini dirancang dengan arsitektur berbasis *Client-Server*, di mana mikrokontroler ESP32 berperan sebagai client yang mengumpulkan data dari sensor, memproses informasi, dan mengirimkan hasilnya ke server Firebase. Firebase berfungsi sebagai penyimpan data dan penghubung antara perangkat IoT dengan antarmuka pengguna berbasis web. Antarmuka ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi air secara langsung dan mengendalikan sistem dari jarak jauh. Dalam tahap ini, fokus utama perancangan adalah memastikan efisiensi komunikasi data, keamanan sistem, serta stabilitas kinerja saat proses otomatis berlangsung.

Pada tahap perancangan sistem dilakukan identifikasi kebutuhan sistem, perancangan algoritma sistem, serta desain alat yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat berfungsi secara optimal, efisien, dan sesuai dengan tujuan penelitian. Tahapan ini menjadi dasar dalam mengembangkan prototipe sistem yang andal dan adaptif terhadap kondisi lingkungan kolam ikan koi. Penjelasan dari masing-masing tahapan dijabarkan sebagai berikut:

#### 1) Identifikasi Kebutuhan Sistem

Identifikasi kebutuhan sistem merupakan tahap awal dalam proses pengembangan sistem yang berfungsi untuk menganalisis serta menentukan kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari sistem yang akan dibangun. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu beroperasi secara optimal, memenuhi tujuan perancangan, serta sesuai dengan spesifikasi teknis dan kebutuhan pengguna. Melalui identifikasi kebutuhan, seluruh aspek yang berkaitan dengan komponen perangkat keras, perangkat lunak, serta infrastruktur pendukung dapat dirumuskan secara sistematis sebagai dasar dalam proses perancangan dan implementasi sistem.

Pada penelitian ini, proses identifikasi kebutuhan sistem difokuskan pada pengembangan sistem monitoring dan pengendalian kualitas air kolam ikan koi berbasis *Internet of Things* (IoT). Analisis dilakukan terhadap beberapa aspek utama, meliputi fungsi inti sistem, spesifikasi teknis sensor dan komponen perangkat keras, serta kebutuhan komunikasi data dan konektivitas cloud. Hasil dari proses ini digunakan sebagai acuan dalam perancangan arsitektur sistem dan pembuatan prototipe yang akan diuji untuk menilai kinerja serta efektivitas sistem secara keseluruhan.

Adapun *hardware* (perangkat keras) yang digunakan dalam sistem ini meliputi:

- ESP32

Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pusat kendali sistem yang mengumpulkan data dari berbagai sensor, memprosesnya, dan mengirimkan hasil pengukuran secara real-time ke Cloud untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh [9].

- Turbidity Sensor

Sensor Turbidity berfungsi mendeteksi tingkat kekeruhan air pada kolam ikan koi, di mana data hasil pembacaan dikirim ke mikrokontroler untuk ditampilkan secara real-time melalui website [10].

- Sensor PH Meter

Sensor pH berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman maupun kebasaan suatu larutan yang ditentukan oleh konsentrasi ion hidrogen ( $H^+$ ). Parameter pH memiliki peran krusial dalam menentukan kualitas air, karena secara langsung mempengaruhi berbagai reaksi kimia dan biokimia di dalamnya. Pemantauan nilai pH sangat penting dalam sistem pengolahan air, mengingat perubahan atau fluktuasi pH dapat berdampak pada efisiensi proses pengolahan serta keseimbangan ekosistem perairan [11].

- Hcsr04

Sensor ultrasonik HCSR04 berfungsi untuk mengukur ketinggian atau permukaan air dengan memanfaatkan prinsip pantulan gelombang suara berfrekuensi tinggi (ultrasonik). Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik ke permukaan air, kemudian menghitung waktu yang dibutuhkan gelombang tersebut untuk dipantulkan kembali ke sensor. Nilai waktu pantulan tersebut digunakan untuk menentukan jarak antara sensor dan permukaan air secara akurat, sehingga memungkinkan sistem memantau ketinggian air secara real-time [12].

- Solenoid Valve

Katup solenoid berfungsi sebagai aktuator otomatis yang mengatur aliran air pada proses pengisian air ke kolam. Katup akan terbuka atau tertutup berdasarkan sinyal dari mikrokontroler ESP32 sesuai kondisi yang terdeteksi oleh sensor [13].

- Water Level/SR04T

Sensor ini digunakan untuk memantau ketinggian air. Sensor ini bekerja sebagai sistem pendukung keamanan [14].

- Pompa Air Celup

Pompa air berperan dalam mengalirkan air keluar (pengurasan) pada dalam kolam. Pompa ini dikontrol oleh relay dan dijalankan secara otomatis untuk menjaga kualitas air tetap stabil [15].

- Relay

Relay digunakan sebagai komponen penghubung antara mikrokontroler dengan perangkat bertegangan tinggi, seperti pompa air dan solenoid valve. Modul ini berfungsi sebagai saklar elektronik yang memungkinkan ESP32 mengendalikan perangkat listrik dengan aman [16].

## 2) Algoritma Sistem

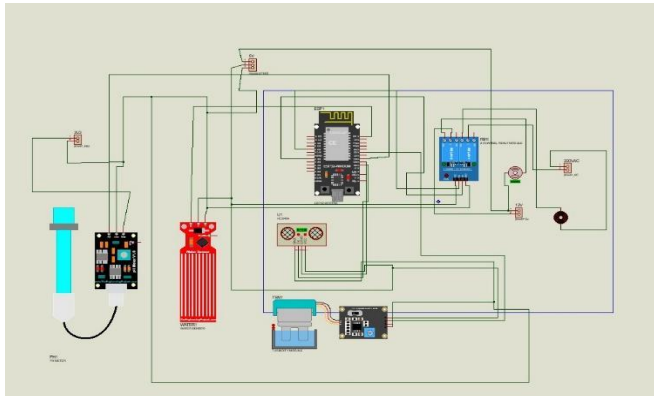
Sistem ini menggunakan algoritma berbasis *Event-Driven Programming* yang dikombinasikan dengan logika penjadwalan otomatis. Algoritma ini memungkinkan sistem merespons perubahan kondisi secara langsung tanpa harus menunggu proses lain selesai. Fungsi *millis()* digunakan untuk mengatur jeda waktu pembacaan sensor dan pengiriman data tanpa menggunakan *delay()*, sehingga sistem tetap aktif menjalankan tugas lainnya.

Selain itu, sistem menerapkan konsep *Finite-State Machine* (FSM) untuk mengatur alur kerja dan memastikan setiap proses berjalan berurutan, seperti pengurasan, pengisian, dan kondisi siaga. Ketika sistem menerima perintah otomatis dari Firebase, fungsi *startDrainFillSequence()* akan dijalankan untuk memulai proses pengurasan hingga sensor mendeteksi air habis, lalu dilanjutkan dengan pengisian hingga air mencapai batas penuh. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menjalankan setiap siklus pengurasan dan pengisian secara efisien tanpa gangguan dan sesuai jadwal yang ditetapkan.

## 3) Desain Alat

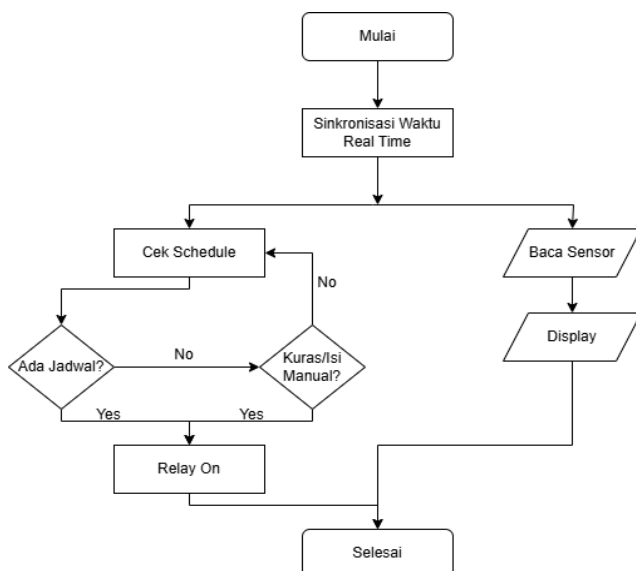
Pada tahap perancangan desain alat, dilakukan penyusunan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang berfungsi sebagai dasar pengembangan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air pada kolam ikan koi berbasis *Internet of Things* (IoT). Perancangan ini mencakup pemilihan sensor dan komponen yang sesuai, meliputi sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor kekeruhan untuk mendeteksi tingkat kejernihan air, serta sensor level air untuk memantau ketinggian permukaan air pada kolam. Seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 yang berperan sebagai unit pengendali utama sekaligus penghubung antara perangkat fisik dan sistem berbasis cloud.

Sistem ini dirancang agar mampu menjalankan dua fungsi utama, yaitu pengisian air otomatis melalui *solenoid valve* dan pengurasan air otomatis menggunakan pompa air celup, dengan kendali yang sepenuhnya diatur oleh ESP32 berdasarkan data sensor yang diterima. Selain itu, diterapkan pula sistem komunikasi berbasis Firebase Cloud, yang berperan sebagai platform penyimpanan dan pemantauan data secara *real-time*. Melalui koneksi ini, data hasil pembacaan sensor dikirim ke *cloud* dan dapat diakses oleh pengguna melalui antarmuka berbasis web atau aplikasi monitoring.



Gambar 2. Desain Hardware

Melalui rancangan ini, sistem mampu melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas air kolam secara efektif, efisien, serta berkelanjutan. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan layanan *cloud* memungkinkan proses otomatisasi berjalan secara cerdas dengan kemampuan adaptif terhadap kondisi lingkungan kolam yang terpantau secara langsung.



Gambar 3. Flowchart sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air kolam ikan koi

Pada Gambar 3 ditunjukkan alur kerja sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air kolam ikan koi berbasis *Internet of Things* (IoT). Proses dimulai dengan tahap inisialisasi sistem, yaitu pengaktifan seluruh komponen perangkat keras dan koneksi jaringan. Pada tahap ini, mikrokontroler *ESP32* berperan sebagai pusat kendali utama yang menginisialisasi koneksi dengan *Firestore Cloud* serta melakukan sinkronisasi waktu secara real-time menggunakan modul waktu internal yang terhubung dengan jaringan internet. Sinkronisasi waktu ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh proses

otomatisasi, seperti pengurasan dan pengisian air, berjalan tepat sesuai jadwal yang telah ditetapkan.

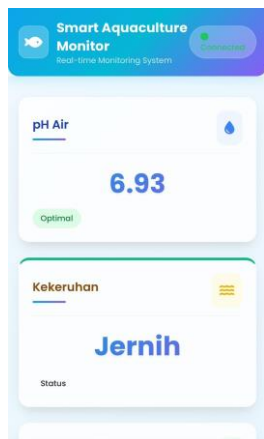
Setelah proses inisialisasi dan sinkronisasi selesai, sistem melanjutkan ke tahap pemeriksaan jadwal (cek schedule). Dalam tahap ini, *ESP32* akan mengambil data jadwal dari *Firestore Realtime* database untuk menentukan apakah terdapat agenda pengurasan atau pengisian otomatis. Jika jadwal aktif ditemukan, sistem secara otomatis mengaktifkan *relay modul* untuk menyalakan pompa air celup atau membuka *solenoid valve*, tergantung pada fungsi yang dibutuhkan. Namun, jika tidak ada jadwal aktif, sistem akan memeriksa status mode manual melalui antarmuka pengguna yang diakses dari platform web. Apabila mode manual diaktifkan oleh pengguna, maka sistem akan menjalankan proses pengurasan atau pengisian air secara langsung tanpa menunggu jadwal otomatis, memberikan fleksibilitas dalam pengendalian sistem.

Secara paralel, sistem melakukan pembacaan data sensor menggunakan beberapa sensor yang terhubung ke *ESP32*, yaitu sensor pH meter untuk mengukur tingkat keasaman air, sensor kekeruhan (*Turbidity sensor*) untuk mendeteksi kejernihan air, sensor ultrasonik *HCSR04* untuk mengukur ketinggian permukaan air, serta sensor water level untuk mendeteksi volume air dalam kolam. Data dari masing-masing sensor diolah oleh *ESP32* dan ditampilkan melalui LCD display serta dikirim secara real-time ke *Firestore Cloud*. *Firestore* berfungsi sebagai platform penyimpanan dan pengelolaan data, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi air melalui antarmuka web yang responsif dan mudah diakses dari perangkat seperti komputer maupun smartphone.

Setelah seluruh proses pemantauan dan pengendalian (baik otomatis maupun manual) selesai dijalankan, sistem akan masuk ke tahap selesai (end process) dan kembali ke mode siaga (standby). Dalam kondisi ini, *ESP32* tetap aktif untuk melakukan pemantauan sensor secara berkelanjutan serta menunggu jadwal selanjutnya atau instruksi baru dari pengguna. Dengan mekanisme kerja tersebut, sistem mampu beroperasi secara berkesinambungan, efisien, serta adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, sekaligus meningkatkan efektivitas pengelolaan kualitas air kolam ikan koi secara otomatis dan real-time berbasis IoT.

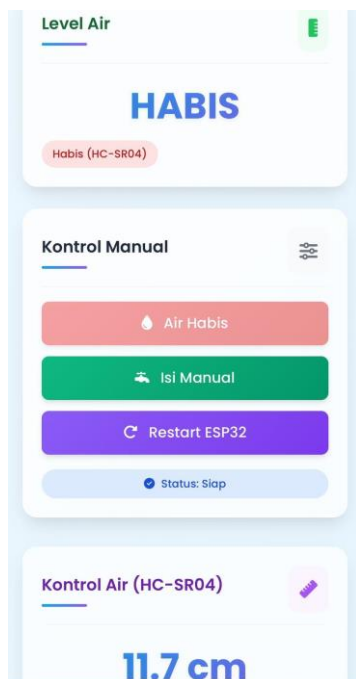
### C. Implementasi Perangkat Lunak

Tahap berikutnya setelah perancangan sistem adalah implementasi antarmuka web yang berfungsi sebagai media pemantauan dan pengendalian jarak jauh. Antarmuka web dirancang agar pengguna dapat mengakses informasi kualitas air kolam ikan koi secara *real-time*, mencakup parameter seperti pH, tingkat kekeruhan, dan ketinggian air. Melalui tampilan berbasis web ini, pengguna tidak hanya dapat memantau kondisi sistem, tetapi juga melakukan kontrol terhadap proses pengurasan dan pengisian air secara praktis melalui jaringan internet.



Gambar 4. Tampilan pH air dan Kekeruhan Air

Pada Gambar 4 sistem menunjukkan dua parameter utama kualitas air, yaitu pH air dan kekeruhan. Nilai pH yang terdeteksi adalah 6,93, dengan status optimal, yang menunjukkan bahwa kondisi air berada dalam rentang ideal untuk kehidupan ikan. Selain itu, parameter kekeruhan menunjukkan hasil jernih, menandakan bahwa kualitas air baik dan tidak terdapat partikel padat berlebih.



Gambar 5. Tampilan Level Air, kontrol Manual dan Ketinggian Air

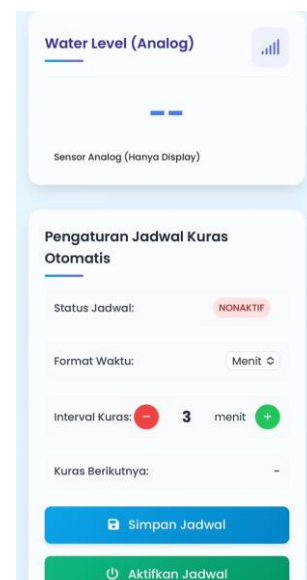
Gambar 5 merupakan lanjutan dari Gambar 4 yaitu, menampilkan antarmuka web sistem monitoring level air yang dirancang untuk memberikan informasi kondisi air secara real-time serta menyediakan fitur kontrol manual bagi pengguna. Antarmuka ini terdiri dari beberapa komponen

utama yang saling terintegrasi untuk mendukung proses pemantauan dan pengendalian sistem.

Pada bagian atas antarmuka terdapat indikator Level Air yang berfungsi menampilkan status ketinggian air di dalam tangki. Pada contoh tampilan ditunjukkan kondisi "HABIS", yang menandakan bahwa ketinggian air telah berada di bawah batas minimum yang ditentukan oleh sistem sensor ultrasonik HC-SR04. Indikator ini dilengkapi dengan warna peringatan untuk memudahkan pengguna dalam mengenali kondisi air secara cepat dan akurat. Selanjutnya, bagian Kontrol Manual berisi tiga tombol utama, yaitu "Air Habis", "Isi Manual", dan "Restart ESP32". Tombol "Air Habis" berfungsi sebagai indikator tambahan apabila tangki benar-benar kosong, sedangkan tombol "Isi Manual" membantu pengguna untuk menyalakan pompa secara manual tanpa menunggu sistem otomatis bekerja. Adapun tombol "Restart ESP32" digunakan untuk melakukan pemulihan sistem mikrokontroler apabila terjadi gangguan koneksi atau kesalahan komunikasi data. Setiap tombol didesain dengan warna dan label yang berbeda untuk meningkatkan kemudahan penggunaan serta mengurangi potensi kesalahan dalam pengoperasian.

Pada bagian bawah antarmuka, sistem menampilkan hasil pembacaan sensor ultrasonik HC-SR04 berupa nilai ketinggian air dalam satuan sentimeter (cm). Nilai ini diperbarui secara berkala melalui komunikasi antara sensor dan mikrokontroler ESP32, kemudian dikirimkan ke server untuk ditampilkan pada halaman web. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi air secara langsung dan memastikan sistem pengisian berfungsi sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan.

Secara keseluruhan, antarmuka ini tidak hanya berfungsi sebagai tampilan informasi, tetapi juga sebagai media interaktif yang mempermudah proses pengendalian sistem monitoring air berbasis IoT secara efisien dan responsif.



Gambar 6. Tampilan Water Level dan Pengaturan Jadwal Otomatis

Gambar 6 yang juga lanjutan dari Gambar 5 menampilkan antarmuka sistem Smart Aquaculture Monitor pada bagian pengaturan level air dan jadwal pengurusan otomatis. Pada bagian atas, terdapat indikator Water Level (Analog) yang berfungsi untuk menampilkan ketinggian air kolam secara real-time menggunakan sensor analog. Dalam tampilan ini, sensor berfungsi hanya sebagai display tanpa kontrol otomatis.

Selanjutnya, pada bagian bawah ditampilkan fitur Pengaturan Jadwal Kuras Otomatis, yang memungkinkan pengguna mengatur waktu pengurusan air sesuai kebutuhan. Sistem menyediakan opsi format waktu yang dapat dipilih dalam satuan menit, jam, maupun hari, sehingga pengguna dapat menyesuaikan jadwal pengurusan berdasarkan kondisi kolam. Pada tampilan tersebut, status jadwal ditunjukkan nonaktif, dengan interval pengurusan yang diatur setiap 3 menit. Fitur ini juga dilengkapi tombol “Simpan Jadwal” untuk menyimpan pengaturan dan “Aktifkan Jadwal” untuk menjalankan sistem otomatis.



Gambar 7. Tampilan System Log

Bagian System Log berfungsi sebagai panel informasi yang menampilkan aktivitas sistem secara real-time, mulai dari proses inisialisasi hingga status komunikasi dengan server dan sensor. Komponen ini sangat penting karena memberikan umpan balik langsung kepada pengguna terkait jalannya sistem, sehingga mempermudah proses pemantauan dan diagnosis apabila terjadi kendala teknis.

Pada tampilan tersebut, terdapat beberapa log aktivitas yang dicatat secara berurutan berdasarkan waktu. Misalnya, pesan “Jadwal berhasil dimuat dari Firebase” menunjukkan bahwa sistem telah berhasil mengambil data jadwal otomatis dari basis data cloud Firebase. Selanjutnya, pesan “Aplikasi siap. Menunggu data sensor...” menandakan bahwa web telah terhubung dengan server dan siap menerima pembaruan data sensor secara berkala.

Pesan terakhir, “Sistem web diinisialisasi...”, menunjukkan tahap awal proses eksekusi program ketika sistem pertama kali dijalankan. Tahap ini memastikan bahwa seluruh komponen utama seperti koneksi jaringan, komunikasi dengan Firebase, dan antarmuka pengguna telah aktif sebelum sistem mulai bekerja secara penuh.

Dengan adanya fitur System Log, pengguna dapat mengetahui status operasional sistem dengan lebih jelas, melakukan pemantauan proses tanpa perlu membuka kode

program, serta meminimalkan waktu dalam proses troubleshooting jika terjadi kesalahan. Selain itu, tampilan log yang menggunakan ikon dan warna berbeda juga membantu meningkatkan keterbacaan serta mempercepat identifikasi status sistem.

#### D. Prosedur Pengujian Sistem

Prosedur pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sensor dan aktuator pada sistem pemantauan serta pengendalian kualitas air kolam ikan koi berbasis Internet of Things (IoT). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan data yang akurat, stabil, dan dapat direproduksi, serta berfungsi sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.

Pengujian diawali dengan proses kalibrasi dan validasi sensor menggunakan alat ukur standar sebagai acuan. Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan buffer pH 4,0; 7,0; dan 10,0, kemudian dibandingkan dengan pH meter digital standar industri. Sensor kekeruhan (turbidity) diuji dengan membandingkan nilai pembacaan terhadap turbidimeter standar dalam satuan NTU. Sementara itu, sensor ultrasonik HC-SR04 divalidasi dengan membandingkan hasil pengukuran jarak permukaan air terhadap pengukuran manual menggunakan meteran untuk memastikan ketepatan pengukuran ketinggian air.

Pengujian sistem dilakukan pada empat kolam ikan koi berbentuk lingkaran dengan diameter 60 cm dan tinggi 45 cm. Setiap kolam diuji secara terpisah menggunakan sistem yang sama untuk memastikan konsistensi kinerja alat. Sensor ditempatkan pada posisi yang telah ditentukan, kemudian sistem dijalankan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas air secara otomatis maupun manual.

Pengambilan data dilakukan sebanyak sepuluh kali pengukuran pada setiap kolam untuk masing-masing parameter dengan interval waktu satu menit. Dengan demikian, diperoleh total 40 data pengukuran untuk setiap parameter. Pengujian dilakukan pada berbagai variasi kondisi lingkungan, meliputi air jernih dan air keruh (melalui penambahan sedimen), serta rentang pH 4 hingga 9 dengan perlakuan asam dan basa. Selain itu, pengujian dilakukan pada rentang suhu air 24–28 °C untuk mengamati kestabilan pembacaan sensor.

Sistem dijalankan secara kontinu selama  $\pm 60$  menit pada setiap sesi pengujian guna mengevaluasi kestabilan kinerja sistem dan mendeteksi kemungkinan terjadinya pergeseran nilai pembacaan (drift). Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan nilai rata-rata dan standar deviasi sebagai dasar evaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak dilakukan menggunakan metode blackbox testing untuk menguji fungsionalitas dan kesesuaian sistem dengan kebutuhan pengguna. Pengujian ini difokuskan pada keandalan antarmuka website berbasis

Firestore Cloud dalam menampilkan data sensor secara real-time serta kemampuan sistem dalam menjalankan perintah kontrol otomatis dan manual.

Aspek yang diuji meliputi: tampilan dan navigasi antarmuka pengguna (user interface), keakuratan penerimaan dan penyimpanan data sensor (pH, kekeruhan, dan ketinggian air), serta waktu respon sistem terhadap perintah pengguna. Website diuji agar tetap responsif saat menampilkan perubahan nilai sensor dan memastikan bahwa setiap aksi seperti pengurasan dan pengisian air dapat dijalankan tanpa keterlambatan signifikan.

Selain itu, dilakukan pengujian terhadap fitur penjadwalan otomatis (schedule control) untuk memastikan bahwa sistem dapat mengaktifkan pompa air atau membuka katup solenoid secara tepat waktu berdasarkan format waktu menit, jam, dan hari yang telah diatur pengguna. Fitur kontrol manual juga diuji untuk memastikan pengguna dapat melakukan pengurasan dan pengisian air langsung melalui website dengan koneksi internet yang stabil.

Tabel I menyajikan hasil pengujian perangkat lunak berdasarkan skenario pengujian yang telah ditentukan.

TABEL I  
PENGUJIAN PERANGKAT LUNAK

| No | Fitur - Yang Diuji      | Skenario – Pengujian                                      | Hasil Pengujian                        |
|----|-------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1  | Tampilan Data Sensor    | Menampilkan nilai pH, kekeruhan, dan level air            | Data tampil real-time dan akurat       |
| 2  | Kontrol Manual          | Menyalakan/mematikan pompa dan solenoid via web           | Perangkat merespons dalam <2 detik     |
| 3  | Penjadwalan Otomatis    | Menjalankan pengurasan/pengisian sesuai waktu yang diatur | Proses berjalan tepat waktu            |
| 4  | Koneksi Firestore Cloud | Sinkronisasi data dan log aktivitas                       | Data tersimpan dan terbaca dengan baik |
| 5  | Navigasi Antarmuka      | Mengakses seluruh menu web tanpa error                    | Navigasi lancar dan responsif          |

Sesuai tabel I, hasil pengujian menunjukkan bahwa website mampu menampilkan data sensor secara real-time dan sinkron dengan Firestore Cloud, dengan waktu respon perintah antara 1–2 detik. Sistem juga berhasil mencatat seluruh aktivitas melalui fitur system log, sehingga memudahkan proses pemantauan dan pelacakan kesalahan (troubleshooting).

### B. Pengujian Perangkat Keras

Pengujian perkomponen dilakukan untuk memastikan setiap modul perangkat keras berfungsi sesuai rancangan dan mampu berkomunikasi dengan mikrokontroler ESP32 secara stabil sebelum seluruh sistem diintegrasikan. Pengujian ini meliputi sensor pH, sensor kekeruhan (Turbidity), sensor ultrasonik HC-SR04, sensor water level, pompa air celup, solenoid valve, relay module, serta koneksi antara ESP32 dan

Firestore Cloud. Setiap komponen diuji secara terpisah menggunakan kondisi air yang bervariasi dan data hasil pengujian ditampilkan melalui dashboard web secara real-time.

#### 1) Pengujian Sensor pH

Sensor pH berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan air kolam. Pengujian dilakukan dengan mencelupkan sensor ke dalam air kolam dan membandingkan hasil pembacaan dengan alat ukur pH meter manual sebagai pembanding. Nilai yang dihasilkan oleh sensor dikirimkan ke ESP32 dan ditampilkan pada dashboard Firestore.

Pengujian sensor pH dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pH meter digital sebagai pembanding. Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap kolam dengan interval 1 menit. Nilai yang ditampilkan pada Tabel II merupakan nilai rata-rata dari seluruh pengukuran.

TABEL II  
PENGUJIAN SENSOR pH

| Sampel Air  | Hasil Sensor pH | Hasil pembanding (pH Meter Digital) | Selisih | Error |
|-------------|-----------------|-------------------------------------|---------|-------|
| Air Kolam 1 | 6.93            | 6.90                                | 0.03    | 0.43% |
| Air Kolam 2 | 7.15            | 7.12                                | 0.03    | 0.42% |
| Air Kolam 3 | 6.70            | 6.72                                | 0.02    | 0.29% |
| Air Kolam 4 | 7.05            | 7.08                                | 0.03    | 0.42% |

Dapat dilihat pada tabel II, hasil pengujian diperoleh nilai pH 6,93, yang masih berada pada rentang ideal (6,5–7,5) untuk ikan koi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor bekerja dengan tingkat akurasi yang baik dan sistem mampu menampilkan data secara real-time tanpa jeda signifikan.

Rumus perhitungan error digunakan untuk menentukan tingkat akurasi antara hasil pembacaan sensor dengan alat pembanding, yaitu sebagai berikut (1):

$$Error(\%) = \frac{|Hasil\ Sensor - Alat\ Pembanding|}{Alat\ Pembanding} \times 100\% \quad (1)$$

Perbedaan rata-rata antara hasil sensor dan alat pembanding sebesar 0,03 pH dengan error < 0,5%, perbedaan tersebut dipengaruhi oleh fluktuasi tegangan (noise) pada *analog-to-digital converter* (ADC) ESP32 dan suhu air, karena ADC ESP32 sensitif terhadap gangguan listrik dan respons sensor pH sangat dipengaruhi suhu (perlu kalibrasi suhu), sehingga kombinasi keduanya dapat menimbulkan variasi kecil namun signifikan pada pembacaan digital. Mengingat sensor pH sangat sensitif terhadap perubahan suhu, penggunaan kompensasi suhu (ATC) dalam algoritma pemrograman ke depannya dapat meminimalisir error ini lebih jauh. Hal ini menunjukkan bahwa sensor pH mampu membaca tingkat keasaman air dengan akurasi yang baik dan dapat digunakan secara andal dalam sistem IoT berbasis ESP32 dan Firestore Cloud. Nilai pH yang stabil di

kisaran 6,8–7,2 juga menandakan kondisi air kolam masih ideal untuk pertumbuhan ikan koi.

## 2) Pengujian Sensor Kekeruhan (Turbidity Sensor)

Sensor kekeruhan (turbidity sensor) digunakan untuk mendeteksi tingkat kejernihan air kolam ikan koi yang dipengaruhi oleh partikel tersuspensi, seperti sisa pakan, kotoran ikan, dan lumpur halus. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pemantulan cahaya (reflected light), di mana cahaya yang dipancarkan akan dipantulkan kembali oleh partikel di dalam air. Intensitas cahaya yang diterima oleh fotodiode menentukan tegangan keluaran (output voltage) dari sensor. Semakin banyak partikel dalam air, semakin kecil intensitas cahaya yang diterima, dan tegangan keluaran sensor meningkat sebanding dengan tingkat kekeruhan air.

Sensor mengklasifikasikan kondisi air berdasarkan nilai tegangan jika nilai tegangan keluaran sensor di bawah 1.5V, maka sistem mengkategorikan kondisi air sebagai jernih. Apabila tegangan berada di antara 1.5V hingga 2.2V, kondisi air dianggap keruh, sedangkan nilai tegangan di atas 2.2V diklasifikasikan sebagai sangat keruh.

Pengujian sensor kekeruhan dilakukan pada empat kondisi air berbeda untuk mensimulasikan variasi kejernihan air kolam. Data diambil sebanyak 10 kali pengukuran pada setiap kolam, kemudian dirata-ratakan dan dibandingkan dengan alat turbidimeter digital.

TABEL III  
PENGUJIAN SENSOR KEKERUHAN

| Kondisi Air      | Tegangan Sensor (V) | Alat Pembanding | Selisih | Error (%) |
|------------------|---------------------|-----------------|---------|-----------|
| Air Jernih       | 1.42                | 1.40            | 0.02    | 1.4       |
| Air Sedang       | 1.85                | 1.82            | 0.03    | 1.6       |
| Air Sangat Keruh | 2.35                | 2.30            | 0.04    | 2.1       |

Perhitungan tingkat kesalahan dilakukan menggunakan persamaan (2):

$$\text{Error}(\%) = \frac{|\text{Hasil Sensor} - \text{Alat Pembanding}|}{\text{Alat Pembanding}} \times 100\% \quad (2)$$

Dari hasil tabel III, terlihat adanya kecenderungan peningkatan persentase error seiring dengan meningkatnya kekeruhan air (dari 1,4% ke 2,1%). Hal ini disebabkan oleh sifat partikel tersuspensi yang tidak seragam, sehingga pantulan cahaya pada fotodiode menjadi lebih acak (*scattering effect*). Pengujian tersebut diperoleh rata-rata error sebesar 1,75%, yang menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi tinggi dan mampu memberikan pembacaan yang stabil terhadap variasi tingkat kekeruhan air, dan penempatan sensor yang terkena cahaya matahari langsung (*ambient light*) dapat memengaruhi pembacaan tegangan

analog. Selain itu, adanya gelembung udara dari aerator kolam seringkali terdeteksi sebagai partikel, yang menyebabkan sedikit lonjakan nilai tegangan. Perubahan tegangan yang konsisten pada setiap kondisi air membuktikan bahwa sistem sensor berfungsi secara optimal dan mampu digunakan untuk pemantauan kualitas air kolam secara real-time.

Meskipun terdapat error sebesar 2,1% pada kondisi sangat keruh, nilai ini masih jauh di bawah ambang batas kegagalan sistem. Logika kontrol yang menetapkan *threshold* di atas 2,2V untuk indikasi "Sangat Keruh" tetap valid karena selisih pembacaan (0,05V) tidak sampai melompati kategori status air (Jernih/Sedang/Keruh).

Dengan integrasi bersama mikrokontroler ESP32 dan konektivitas *Firebase Cloud*, sensor kekeruhan dapat memberikan data secara langsung ke dashboard pemantauan berbasis web. Hal ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kejernihan air secara jarak jauh.

## 3) Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ultrasonik HC-SR04 berfungsi untuk mengukur jarak antara sensor dan permukaan air dengan prinsip time-of-flight (waktu tempuh bolak-balik gelombang ultrasonik). Pada sistem pemantauan kolam ikan koi ini, sensor HC-SR04 difungsikan untuk memantau ketinggian air pada rentang pendek (5–10 cm), yang digunakan sebagai batas deteksi minimum dan maksimum. Jarak 5 cm menandakan kondisi penuh (air mendekati sensor), sedangkan 10 cm menandakan kondisi air rendah yang memicu proses pengisian ulang otomatis. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap pengukuran aktual menggunakan penggaris digital sebagai alat pembanding.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung jarak pengukuran ultrasonik adalah sebagai berikut (3):

$$\text{Jarak (cm)} = \frac{v \times t}{2} \quad (3)$$

Persamaan perhitungan jarak pada sensor ultrasonik didasarkan pada prinsip waktu tempuh gelombang suara (time of flight). Nilai jarak diperoleh dari hasil perkalian antara kecepatan rambat suara di udara dengan waktu tempuh gelombang ultrasonik, kemudian dibagi dua karena gelombang menempuh perjalanan dua arah, yaitu dari sensor ke permukaan air dan kembali ke sensor. Dalam penelitian ini, kecepatan suara di udara diasumsikan sebesar 340 m/s atau 0.034 cm/μs, sedangkan waktu tempuh (*t*) diukur dalam satuan mikrodetik (μs).

TABEL IV  
PENGUJIAN SENSOR HC-SR04

| Ketinggian Aktual (cm) | Pembacaan Sensor (cm) | Selisih (cm) | Error (%) |
|------------------------|-----------------------|--------------|-----------|
| 5.0                    | 5.2                   | 0.2          | 4.0%      |
| 6.0                    | 5.9                   | 0.1          | 1.67%     |
| 8.0                    | 8.1                   | 0.1          | 1.25%     |
| 10.0                   | 9.8                   | 0.2          | 2.00%     |

Perhitungan tingkat kesalahan dilakukan menggunakan persamaan (4):

$$Error(\%) = \frac{|\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Aktual}|}{\text{Nilai Aktual}} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil dari tabel IV, pengujian menunjukkan bahwa sensor HC-SR04 memiliki tingkat akurasi tinggi dalam rentang 5–10 cm dengan error rata-rata 2,23%. Nilai error tertinggi terjadi pada jarak 5 cm karena *blind zone* sensor ultrasonik, di mana gelombang pantul kembali terlalu cepat sebelum sensor siap menerima sinyal (*ringing effect*). Selisih pembacaan yang hanya 0,1 - 0,2 cm memastikan bahwa pompa tidak akan mengalami *looping* (mati-nyala secara cepat). Akurasi ini menjamin presisi volume air yang dikuras maupun diisi, sehingga efisiensi penggunaan air tetap terjaga. Selama pengujian, suhu udara di sekitar kolam memengaruhi kecepatan rambat bunyi  $v \approx 331 + 0,6T$ . Tanpa kompensasi suhu dalam kode program, variasi suhu lingkungan 24–28 °C memberikan kontribusi kecil pada selisih pembacaan sensor.

Hal ini menandakan bahwa sensor dapat bekerja optimal untuk mendeteksi ketinggian air sebagai acuan sistem pengurasan dan pengisian otomatis. Data yang dihasilkan kemudian dikirim secara real-time ke Firebase Cloud melalui ESP32, sehingga pengguna dapat memantau kondisi air secara akurat melalui website.

#### 4) Pengujian Sensor Water Level

Sensor Water Level SR04T digunakan sebagai komponen pemantauan untuk mendeteksi ketinggian air kolam secara real-time. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan pantulan gelombang ultrasonik berfrekuensi tinggi ke permukaan air, kemudian menghitung waktu tempuh pantulan gelombang tersebut untuk menentukan jarak antara sensor dan permukaan air. Pada tahap pengujian, sensor dipasang di bagian atas kolam dengan variasi tinggi air antara 5–10 cm guna mengamati stabilitas dan akurasi pembacaan data yang akan dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 dan ditampilkan pada website Firebase Cloud.

Persamaan untuk menghitung jarak permukaan air terhadap sensor adalah sebagai berikut (5):

$$\text{Jarak (cm)} = \frac{v \times t}{2} \quad (5)$$

TABEL V  
PENGUJIAN SENSOR WATER LEVEL

| Ketinggian Aktual (cm) | Pembacaan Sensor (cm) | Selisih (cm) | Error (%) |
|------------------------|-----------------------|--------------|-----------|
| 5,0                    | 5,2                   | 0,2          | 4,00      |
| 6,5                    | 6,7                   | 0,2          | 3,07      |
| 8,0                    | 8,1                   | 0,1          | 1,25      |
| 10,0                   | 9,8                   | 0,2          | 2,00      |

Berdasarkan tabel V, variasi tinggi air antara 5–10 cm, diperoleh hasil pembacaan sensor yang cukup akurat dengan

rata-rata error 2,58%. Nilai error tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut(6):

$$Error(\%) = \frac{|\text{Hasil Sensor} - \text{Alat Pembanding}|}{\text{Alat Pembanding}} \times 100\% \quad (6)$$

Berdasarkan tabel V, rata-rata error yang diperoleh adalah 2,58%. Sama dengan HC-SR04, *error* tertinggi (4,00%) terjadi pada jarak terdekat (5 cm). Hal ini dikarenakan karakteristik sensor ultrasonik tipe *waterproof* yang memiliki *blind zone* (zona buta) sedikit lebih luas dibandingkan tipe standar. Namun, selisih 0,2 cm masih berada dalam batas toleransi untuk pemantauan level air kolam karena tidak menyebabkan kesalahan interpretasi status volume air.

Dalam sistem ini, SR04T berfungsi sebagai pemantau tambahan (*redundant sensor*). Penggunaan dua sensor ultrasonik (HC-SR04 dan SR04T) memberikan lapisan keamanan data; jika salah satu sensor mengalami kegagalan pembacaan, sistem tetap memiliki referensi data dari sensor lainnya untuk ditampilkan pada *dashboard* Firebase.

Walaupun terdapat variasi *error*, pembacaan tetap stabil tanpa adanya lonjakan data (*outlier*) yang ekstrem, sehingga informasi yang diterima pengguna melalui website tetap reliabel secara *real-time*.

#### 5) Pengujian Aktuator (Pompa Air dan Solenoid Valve)

Aktuator merupakan komponen utama yang berperan dalam proses otomatisasi pengisian dan pengurasan air kolam ikan koi. Sistem ini menggunakan dua jenis aktuator, yaitu pompa air celup sebagai penguras dan solenoid valve sebagai pengisi, yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 melalui modul relay. Kedua aktuator bekerja secara terintegrasi dengan sensor ultrasonik HC-SR04, yang berfungsi memantau kedalaman air (jarak antara sensor dan permukaan air) dengan rentang ideal antara 5–10 cm.

Pengujian aktuator melibatkan perhitungan waktu tunda (*delay*) antara perintah dari sistem Firebase Cloud dan aksi yang dilakukan oleh perangkat keras (pompa atau solenoid). Rumus keterlambatan waktu dapat dihitung dengan (7):

$$t_d \quad (7)$$

Logika kerja sistem dirancang berdasarkan kondisi kedalaman air yang terbaca oleh sensor HCSR04 dan jadwal otomatis yang tersimpan di Firebase Cloud. Ketika jadwal otomatis aktif, sistem pertama akan membaca nilai kedalaman air, jika kedalaman air lebih dari 5 cm, misalnya 7 cm, maka sistem akan melakukan pengisian terlebih dahulu hingga kedalaman mencapai 5 cm, menandakan volume air sudah optimal. Setelah proses pengisian selesai, sistem akan melanjutkan proses pengurasan hingga kedalaman meningkat menjadi 10 cm, kemudian pompa berhenti otomatis untuk mencegah pengurasan berlebih. Namun, apabila pada saat jadwal aktif kedalaman air sudah tepat di 5 cm, maka sistem langsung masuk ke tahap pengurasan otomatis.

Pada kondisi manual, pengguna dapat menyalakan atau mematikan pompa dan solenoid valve secara langsung

melalui antarmuka web tanpa bergantung pada jadwal otomatis. Semua proses dijalankan berdasarkan event-driven programming, di mana setiap perubahan status sensor atau perintah pengguna akan memicu aksi tertentu tanpa menghambat proses pemantauan sensor lainnya.

Tabel berikut memperlihatkan hasil pengujian aktuatur dalam kedua mode operasi (manual dan otomatis):

TABEL VI  
PENGUJIAN SENSOR AKTUATOR

| N o | Mode Operasi | Kondisi Sensor HC-SR04 | Proses yang Terjadi                                | Respon Aktuatur                                        | Delay (detik) |
|-----|--------------|------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| 1   | Manual       | -                      | Pengurasan air                                     | Pompa menyala dan air keluar melalui pipa pembuangan   | 1,2           |
| 2   | Manual       | -                      | Pengisian air                                      | Katup solenoid terbuka dan air mengalir masuk ke kolam | 1,0           |
| 3   | Otomatis     | 7 cm (jadwal aktif)    | Pengisian hingga 5 cm lalu pengurasan hingga 10 cm | Solenoid terbuka maka pompa aktif                      | 1,4           |
| 4   | Otomatis     | 5 cm (jadwal aktif)    | Langsung melakukan pengurasan hingga 10 cm         | Pompa aktif otomatis                                   | 1,3           |

Hasil dari tabel VI rata-rata *delay* sebesar 1,22 detik (manual dan otomatis) menunjukkan efisiensi komunikasi antara Firebase Cloud dan ESP32. Keterlambatan di bawah 2 detik dianggap sangat responsif untuk sistem akuakultur, di mana perubahan parameter air tidak terjadi secara instan dalam hitungan milidetik.

Sistem menunjukkan kecerdasan adaptif pada pengujian No. 3. Saat jadwal aktif dan air berada di posisi 7 cm (kurang dari batas penuh), sistem secara cerdas melakukan pengisian terlebih dahulu sebelum pengurasan. Hal ini membuktikan bahwa algoritma tidak hanya berjalan berdasarkan waktu (jadwal), tetapi juga mempertimbangkan kondisi fisik riil yang dibaca oleh sensor.

Logika "pengurasan berhenti otomatis pada 10 cm" merupakan fitur keamanan krusial untuk mencegah pompa menyala tanpa air (*dry-running*) yang dapat merusak aktuatur. Selain itu, penggunaan *Event-Driven Programming* memastikan bahwa jika internet terputus saat proses

pengurasan, instruksi "berhenti pada 10 cm" yang sudah tersimpan di memori lokal ESP32 akan tetap dilaksanakan.

Dengan keberhasilan integrasi ini, pemelihara ikan koi tidak perlu lagi khawatir akan risiko air kolam meluap atau kering saat ditinggal, karena sistem mampu mengambil keputusan berdasarkan urutan prioritas (isi dahulu jika kurang, lalu kuras) secara otomatis.

#### 6) Analisis Sistem Terhadap Ketergantungan Internet

Sebagai sistem berbasis Internet of Things (IoT), kinerja sistem sangat bergantung pada kualitas konektivitas internet yang menggunakan protokol Wi-Fi sebagai media komunikasi antara perangkat ESP32 dan Firebase Realtime Database. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi jaringan yang stabil, sistem mampu merespons perintah manual dengan rata-rata waktu tunda sebesar 1,0–1,2 detik. Nilai latensi ini masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi pemantauan dan pengendalian kualitas air kolam ikan koi. Namun demikian, ketika terjadi fluktuasi bandwidth dari penyedia layanan internet, latensi meningkat secara signifikan hingga melebihi 3 detik. Meskipun demikian, sistem tetap dapat beroperasi dengan baik karena data yang ditransmisikan relatif kecil, yaitu berupa variabel string dan integer sederhana, sehingga tidak memerlukan kecepatan internet yang tinggi.

Untuk meningkatkan keandalan sistem, khususnya pada kondisi gangguan jaringan, mekanisme kontrol lokal diterapkan secara langsung pada mikrokontroler ESP32. Logika kontrol kritis, seperti penghentian pompa air ketika ketinggian air mencapai batas bawah 10 cm serta penghentian solenoid valve saat air mencapai batas penuh 5 cm, ditanamkan secara permanen pada kode program perangkat (*hardcoded logic*). Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan sistem tetap berfungsi secara mandiri meskipun koneksi internet terputus. Dengan demikian, proses pengisian atau pengosongan air tidak bergantung sepenuhnya pada perintah dari Firebase, sehingga risiko kegagalan operasional akibat kehilangan koneksi dapat diminimalkan.

Meskipun demikian, sistem ini masih memiliki keterbatasan pada aspek ketergantungan terhadap layanan Firebase Realtime Database. Apabila terjadi gangguan atau downtime pada server Firebase, proses sinkronisasi data sensor ke website tidak dapat dilakukan secara real time. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, sistem dilengkapi dengan fitur System Log pada perangkat lunak, yang berfungsi memberikan informasi mengenai status koneksi terakhir. Fitur ini membantu pengguna dalam mengidentifikasi sumber gangguan, apakah berasal dari perangkat keras, koneksi internet, atau layanan cloud, sehingga proses pemeliharaan dan troubleshooting dapat dilakukan dengan lebih efektif.

#### 7) Perbandingan Sistem: Manual dan Otomatis (Evaluasi Aplikatif)

Evaluasi aplikatif dilakukan untuk menilai efektivitas sistem pemantauan dan pengendalian kualitas air kolam ikan

koi berbasis Internet of Things (IoT) dibandingkan dengan metode pengelolaan manual. Perbandingan tersebut dirangkum dalam Tabel VII.

TABEL VII  
PERBANDINGAN SISTEM MANUAL DAN OTOMATIS

| Aspek Perbandingan       | Pengelolaan Manual                                                | Sistem IoT (Otomatis)                                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Konsistensi Kualitas Air | Bergantung pada subjektivitas pemilik (kapan air terlihat kotor). | Terjadwal secara presisi dan terpantau melalui sensor pH/Kekeruhan.             |
| Keamanan Volume Air      | Berisiko meluap ( <i>overflow</i> ) jika pengisian ditinggal.     | Aman, karena sensor ultrasonik mematikan aliran secara otomatis.                |
| Efisiensi Waktu          | Memerlukan kehadiran fisik pemilik di lokasi kolam.               | Pemantauan dan kontrol dapat dilakukan dari jarak jauh via web.                 |
| Akurasi Parameter        | Tidak diketahui secara pasti tanpa alat ukur terpisah.            | Parameter pH dan kekeruhan tampil secara <i>real-time</i> di <i>dashboard</i> . |

Secara aplikatif, transisi dari sistem manual ke otomatis menggunakan teknologi IoT ini memberikan dampak positif pada kesehatan ikan koi. Dalam pemeliharaan manual, sangat bergantung dengan kehadiran fisik pemilik kolam, dan pemeliharaan manual juga harus diawasi dengan baik, jika tidak maka beresiko untuk mengalami meluapnya air dan memerlukan alat ukur secara manual untuk mengetahui berapa tinggi air, kekeruhan dan pH air. Dengan sistem ini, pergantian air dilakukan secara periodik dan teratur berdasarkan penjadwalan yang diatur, sehingga stabilitas parameter air lebih terjaga. Selain itu, efisiensi penggunaan air menjadi lebih baik karena pengisian akan berhenti tepat pada batas 5 cm, meminimalisir pemborosan sumber daya air yang sering terjadi pada pengisian manual akibat kelalaian manusia

### C. Limitasi Sistem

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, meskipun sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things menunjukkan kinerja yang stabil selama pengujian, hasil pengukuran sensor masih menunjukkan adanya selisih terhadap alat ukur referensi dengan tingkat error tertentu. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa sensor yang digunakan memerlukan proses kalibrasi yang lebih sistematis dan pengujian lanjutan menggunakan instrumen standar laboratorium untuk meningkatkan tingkat akurasi dan keandalannya, khususnya dalam aplikasi pemeliharaan ikan koi secara berkelanjutan.

Kedua, akurasi pengukuran kualitas air dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan kondisi operasional kolam, seperti fluktuasi suhu air, pergerakan ikan, turbulensi air, serta posisi penempatan sensor di dalam kolam. Faktor-faktor tersebut

dapat menimbulkan derau (*noise*) dan variasi pembacaan data, sehingga memengaruhi kestabilan hasil pengukuran dalam kondisi lingkungan yang tidak sepenuhnya terkendali.

Keterbatasan berikutnya berkaitan dengan ruang lingkup pengujian sistem. Pengujian hanya dilakukan pada empat kolam berbentuk lingkaran dengan diameter 60 cm dan tinggi 45 cm, sehingga hasil penelitian belum sepenuhnya merepresentasikan performa sistem pada kolam dengan ukuran, bentuk, dan volume air yang lebih besar. Selain itu, durasi pengujian dilakukan dalam rentang waktu yang relatif terbatas, sehingga evaluasi kinerja sistem dalam jangka panjang serta pada kondisi ekstrem belum dapat dianalisis secara menyeluruh.

Dari sisi konektivitas, sistem sangat bergantung pada kestabilan jaringan internet. Pada kondisi jaringan yang tidak stabil, terdapat potensi keterlambatan pengiriman data ke platform IoT, yang dapat memengaruhi pemantauan secara *real-time* dan respons sistem terhadap perubahan kualitas air. Ketergantungan ini menjadi tantangan tersendiri dalam penerapan sistem pada lokasi dengan infrastruktur jaringan yang terbatas.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan proses kalibrasi dan validasi sensor menggunakan alat ukur standar, serta penerapan teknik pemrosesan data atau filtrasi sinyal untuk mengurangi derau dan meningkatkan akurasi pengukuran. Selain itu, integrasi metode kecerdasan buatan seperti Machine Learning atau Fuzzy Logic berpotensi dikembangkan untuk melakukan analisis prediktif terhadap kondisi kualitas air, sehingga sistem dapat memberikan peringatan dini sebelum kondisi kolam mencapai batas yang membahayakan ikan.

Pengembangan di masa depan juga dapat mencakup optimalisasi konektivitas dengan menerapkan pendekatan komunikasi hibrida serta perluasan pengujian lapangan pada kolam berskala lebih besar dan dalam durasi yang lebih panjang. Upaya tersebut diharapkan dapat meningkatkan reliabilitas, skalabilitas, dan relevansi praktis sistem dalam mendukung pengelolaan kualitas air kolam ikan koi secara otomatis dan berkelanjutan.

## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan dan kontrol kualitas air kolam ikan koi berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, sensor kekeruhan, sensor ultrasonik HC-SR04, dan sensor water level untuk memantau kondisi air kolam secara *real-time* serta mendukung proses kontrol pengurasan dan pengisian air melalui antarmuka berbasis web.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor-sensor yang digunakan mampu memberikan data pengukuran yang stabil dengan tingkat error yang relatif kecil dan masih berada

dalam batas toleransi untuk aplikasi pemantauan kualitas air kolam ikan koi. Sistem juga mampu mengirimkan dan menampilkan data secara daring melalui Firebase Cloud dengan waktu respons yang relatif cepat, meskipun kinerjanya dipengaruhi oleh kestabilan koneksi jaringan internet.

Fitur kontrol berbasis web, baik dalam mode manual maupun penjadwalan, memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengelola kondisi air kolam tanpa harus melakukan pemantauan secara langsung di lokasi. Dengan demikian, sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi pengelolaan kolam serta mengurangi ketergantungan terhadap pengawasan manual yang berkelanjutan. Namun demikian, sistem yang dikembangkan masih memiliki keterbatasan pada skala kolam yang diuji, durasi pengujian yang relatif singkat, serta pengaruh faktor lingkungan dan jaringan terhadap akurasi dan kontinuitas data.

Sebagai arah pengembangan selanjutnya, penelitian dapat difokuskan pada peningkatan proses kalibrasi dan validasi sensor menggunakan alat ukur standar, serta penerapan teknik pemrosesan data atau filtrasi sinyal untuk mengurangi derau dan meningkatkan akurasi pengukuran. Selain itu, pengembangan sistem ke arah analisis yang lebih adaptif dan prediktif dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendukung pengelolaan kualitas air kolam ikan koi secara lebih optimal dan berkelanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. A. W. U. Wulandari, N. Faridah, and A. Kurniawan, "Aspek Reproduksi Ikan Koi (Cyprinus rubrofasciatus Lacepede, 1803) Strain Tancho Dan Kohaku Dengan Pemijahan Semi Buatan," *Amreta Meena*, vol. 1, no. 3, pp. 111–119, 2024.
- [2] A. B. Zaidy, "Pengaruh Pergantian Air Terhadap Kualitas Air dan Performa Produksi Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus) Dipelihara di Kolam Bioflok," *Jurnal Penyuluhan Perikanan dan Kelautan*, vol. 16, no. 1, pp. 95–107, 2022.
- [3] N. Fitriana, A. A. Darmawan, and M. F. Rahmawati, "Internet Of Things Untuk Monitoring Kondisi Air Budidaya Ikan Kelompok 'Tutut Jaya' kota Malang," *Jurnal AbdiMas Nusa Mandiri*, vol. 6, no. 2, pp. 76–85, 2024.
- [4] A. Djalilov, E. Sobirov, O. Nazarov, S. Urolov, and I. Gayipov, "Study on automatic water level detection process using ultrasonic sensor," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, 2023, p. 012020.
- [5] H. K. H. Singh, H. Kamaludin, I. R. A. Hamid, N. Z. M. Safar, and N. Abdullah, "IoT-Based water tank level monitoring system using ultrasonic sensor," in *The 2nd International Recent Trends In Engineering, Advanced Computing And Technology Conference (RETREAT) 2021*, AIP Publishing LLC, 2023, p. 020009.
- [6] D. H. Sya'bana, L. Nurpulaela, B. F. Tanjung, A. M. Ibrahim, and N. A. Nugraha, "Otomatisasi Sistem Pengontrol Dan Pemantauan Kualitas Air Kolam Pemijahan Ikan Koi Berbasis Sensor Potential Hydro, Turbidity Dan Raspberry Pi 4B".
- [7] J. Parung, S. Larissa, A. Santoso, and D. N. Prayogo, "Penggunaan Teknologi Blockchain, Internet Of Things Dan Artificial Intelligence Untuk Mendukung Kota Cerdas. Studi Kasus: Supply Chain Industri Perikanan," 2021, *Universitas Surabaya*.
- [8] O. Okpatrioka, "Research and development (R&D) penelitian yang inovatif dalam pendidikan," *Dharma Acariya Nusantara: Jurnal Pendidikan, Bahasa dan Budaya*, vol. 1, no. 1, pp. 86–100, 2023.
- [9] A. S. R. Ageng, A. M. G. Ageng, R. Kurniawan, and P. Pramono, "Alat Pengontrol AC Otomatis Menggunakan Relay Dengan Koneksi Blynk Berbasis Esp32," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, 2025, pp. 609–614.
- [10] S. Y. Damayanti, T. Andriyanto, and A. Ristyawan, "Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Ikan Koi (Cyprinus Carpio) Berbasis Teknologi Internet Of Things (IoT)," in *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 2021, pp. 141–147.
- [11] J. Mardizal and F. Rizal, *Manajemen Kualitas Air*. Eureka Media Utama, 2024.
- [12] H. Hasbullah and Y. Pramudya, "Pengembangan Sistem Pemantauan Tinggi Gelombang Air Pada Model Tsunami Menggunakan Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 Berbantuan Arduino," *Syntax Idea*, vol. 6, no. 2, pp. 681–689, 2024.
- [13] M. I. Al Varizi and M. Ariandi, "Sistem Otomatis Filterisasi Air Sumur dan Sungai Berbasis Mikrokontroler dengan Katup Selenoid," *Aksi Kita: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 3, pp. 315–320, 2025.
- [14] R. Saryoga, A. S. Puspaningrum, and I. Ismail, "Sistem Pendeteksi Ketinggian Air dan Perhitungan Volume pada Bak Nutrisi Vertikal Hidroponik Menggunakan Sensor Sr04t: Water Level Detection System and Volume Calculation In Vertical Hydroponic Nutrition Tubs Using Sr04t Sensor," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 5, no. 2, pp. 626–634, 2025.
- [15] H. A. Harahap, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Kolam Ikan Nila Berbasis Out Seal PIC," *Jurnal Universal Technic*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2023.
- [16] V. Visayas, C. Cakra, and Y. Supit, "Sistem Kontrol Alat Elektronik Dalam Rumah Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Simtek: jurnal sistem informasi dan teknik komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 249–261, 2024.