

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS
KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT
MENGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST**

SKRIPSI

DISUSUN OLEH

ALAN RIFKI AZHAR NASUTION

2209020192



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS
KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT
MENGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Komputer (S.Kom) dalam Program Studi Teknologi Informasi, pada Fakultas
Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara**

ALAN RIFKI AZHAR NASUTION

2209020192

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS ILMU KOMPUTER DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

MEDAN

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST

Nama Mahasiswa : ALAN RIFKI AZHAR NASUTION

NPM : 2209020192

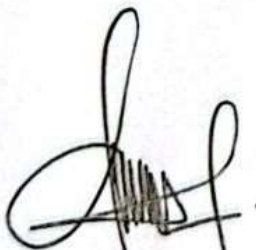
Program Studi : TEKNOLOGI INFORMASI

Menyetujui
Komisi Pembimbing



Halim Maulana, S.T, M.Kom.
NIDN. 0121119102

Ketua Program Studi



Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom.
NIDN. 0117019301

Dekan



Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom.
NIDN. 0127099201

PERNYATAAN ORISINALITAS

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT MENGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST

SKRIPSI

Saya menyatakan bahwa karya tulis ini adalah hasil karya sendiri, kecuali beberapa kutipan dan ringkasan yang masing-masing disebutkan sumbernya.

Medan, 12 Maret 2026

Yang membuat pernyataan



Alan Rifki Azhar Nasution

NPM. 2209020192

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN
AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, saya bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Alan Rifki Azhar Nasution
NPM : 2209020192
Program Studi : Teknologi Informasi
Karya Ilmiah : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Hak Bedas Royalti Non-Eksekutif (*Non-Exclusive Royalty free Right*) atas penelitian skripsi saya yang berjudul:

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS KUALITAS
AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN
ALGORITMA RANDOM FOREST**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksekutif ini, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara berhak menyimpan, mengalih media, memformat, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan Skripsi saya ini tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan sebagai pemegang dan atau sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Medan, 12 Maret 2026

Yang membuat pernyataan



Alan Rifki Azhar Nasution

NPM. 2209020192

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Alan Rifki Azhar Nasution
Tempat dan Tanggal Lahir : Sibuhuan, 31 Desember 2003
Alamat Rumah : Mompang, Kec.Barumun Baru, Kab.
Padang Lawas, Prov.Sumatera Utara
Telepon/Faks/HP : 085261834946
E-mail : alanrifkiazharnasution@gmail.com
Instansi Tempat Kerja : -
Alamat Kantor : -

DATA PENDIDIKAN

SD : SDN 0124 SIGORBUS TAMAT: 2016
SMP : SMPN 2 BARUMUN TAMAT: 2019
SMA : SMAN 1 BARUMUN TAMAT: 2022

KATA PENGANTAR



Puji syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer (S.Kom) pada Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer & Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Terlaksananya skripsi ini tentunya tak lepas dari dorongan dan uluran tangan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Agussani, M.AP., Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU).
2. Bapak Dr. Al-Khowarizmi, S.Kom., M.Kom. Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi (FIKTI) UMSU.
3. Ibu Fatma Sari Hutagalung, S.Kom., M.Kom. Ketua Program Studi Teknologi Informasi.
4. Sekretaris Program Studi Teknologi Informasi.
5. Bapak Halim Maulana, S.T., M.Kom. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, saran, dan bimbingan serta dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Ayahanda Aminuddin Azhar Nasution dan Ibunda Lenni Ati Nasution yang selalu memberikan doa, dukungan, motivasi, serta menjadi sandaran terkuat. Terimakasih selalu berjuang tanpa mengenal kata lelah dan menyerah demi mengupayakan yang terbaik untuk hidup penulis. Sehat selalu dan hiduplah lebih lama lagi, harus selalu ada di setiap perjalanan dan pencapaian hidup penulis.

7. Ketiga saudari tercinta penulis yaitu Cyntia Ayudiah Azhar Nasution, Silvia Roriska Azhar Nasution, dan Nia Anindita Azhar Nasution yang selalu menjadi penyemangat penulis dalam menyelesaikan perkuliahannya.
8. Ilma Khoiriah Hsb sebagai partner terbaik yang senantiasa menemani perjalanan hidup penulis serta support system dari sebelum menjalani perkuliahan hingga penulis selesai masa perkuliahan. Terima Kasih atas dukungan, bantuan, kontribusi serta kesediaan untuk selalu mendengarkan setiap keluh kesah dan memberikan semangat walaupun seringkali diwarnai dengan perdebatan dan amarah demi kebaikan penulis. Terima kasih telah menjadi pasangan yang hebat.
9. Tante Desi Yuli yanti Nasution yang telah memberikan doa, dukungan, bantuan serta perhatian kepada penulis selama proses perkuliahan.
10. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen di Jurusan Teknologi Informasi Fakultas Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi Universitas Muhammdiyah Sumatera Utara atas ilmu dan didikannya selama perkuliahan.
11. Teman “Terbaik” yang tak dapat disebutkan satu persatu atas setiap bantuan, dukungan dan hiburan yang telah diberikan selama proses penulis.
12. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu, yang telah menghadirkan dukungan, baik moral maupun material dalam penyelesaian skripsi ini.
13. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik serta saran guna menyempurnakan skripsi yang penulis susun serta diharapkan nantinya dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi pembaca.

Medan, 12 Maret 2026



Alan Rifki Azhar Nasution
NPM. 2209020192

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN ANALISIS KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN MAS BERBASIS IOT MENGUNAKAN ALGORITMA RANDOM FOREST

ABSTRAK

Kualitas air menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan budidaya ikan mas, namun pemantauan yang masih dilakukan secara manual sering menyebabkan keterlambatan dalam mengetahui perubahan kondisi air. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan analisis kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pemantauan secara real-time sekaligus memberikan hasil klasifikasi kondisi air secara otomatis. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan kekeruhan untuk mengukur parameter kualitas air secara berkelanjutan. Data sensor dikirim ke server dan ditampilkan melalui dashboard web, kemudian dianalisis menggunakan algoritma Random Forest untuk mengelompokkan kualitas air ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk. Hasil pengujian menunjukkan sistem dapat melakukan monitoring dan analisis data secara real-time dengan baik. Sistem ini diharapkan membantu pembudidaya dalam memantau kondisi kolam serta mendukung pengambilan keputusan secara lebih cepat dan tepat.

Kata Kunci: IoT, Kualitas Air, Random Forest, Monitoring Real-Time, Budidaya Ikan Mas

DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IOT-BASED WATER QUALITY MONITORING AND ANALYSIS SYSTEM FOR CARP CULTIVATION USING THE RANDOM FOREST ALGORITHM

ABSTRACT

Water quality is a key factor determining the success of common carp (*Cyprinus carpio*) cultivation; however, monitoring processes that are still conducted manually often lead to delays in detecting changes in water conditions. This study aims to design a water quality monitoring and analysis system based on the Internet of Things (IoT) capable of performing real-time monitoring while automatically classifying water conditions. The system is developed using an ESP32 microcontroller integrated with temperature, pH, Total Dissolved Solids (TDS), and turbidity sensors to continuously measure water quality parameters. Sensor data are transmitted to a server and displayed through a web-based dashboard, then analyzed using the Random Forest algorithm to classify water quality into good, moderate, and poor categories. The testing results indicate that the system is able to perform real-time monitoring and data analysis effectively. The proposed system is expected to assist fish farmers in monitoring pond conditions and support faster and more accurate decision-making.

Keywords: IoT, Water Quality, Random Forest, Real-Time Monitoring, Common Carp Cultivation

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iii
RIWAYAT HIDUP.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Analisis GAP.....	8
2.3. Kualitas Air Pada Kolam Ikan Mas.....	9
2.4. Suhu	10
2.5. Potential of Hydrogen (pH).....	11
2.6. Kekkeruhan Air	11
2.7. Total Dissolved Solids (TDS)	11
2.8. Algoritma Random Forest.....	12
2.9. Tahapan Proses Algoritma Random Forest	13
2.10. Arduino IDE.....	14
2.11. Application Programming Interface (API).....	15
2.12. Visual Studio Code.....	15
2.13. Web Server	16
2.14. Sensor Suhu Waterproof (DS18B20)	17

2.15.	Sensor pH 4502c	17
2.16.	Sensor Turbidity SEN0189	18
2.17.	Sensor Total Dissolved Solids (TDS).....	19
2.18.	ESP32.....	20
2.19.	Internet of Things (IoT)	20
2.20.	MySQL.....	21
2.21.	Flowchart	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		24
3.1.	Alur Prosedur Penelitian	24
3.2.	Rancangan Kerja Alat	25
3.3.	Alur Tahapan Metode Random forest	27
3.4.	Desain Sistem.....	32
3.4.1.	Use Case Diagram.....	32
3.4.2.	Class Diagram	33
3.4.3.	Sequence Diagram	34
3.4.4.	Rancangan Website	35
3.5.	Desain Alat	36
3.6.	Rangkaian Alat	39
3.7.	Metode Pengumpulan Data	41
3.7.1.	Observasi.....	41
3.7.2.	Studi Literatur	42
3.8.	Tools.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1.	Observasi Penelitian.....	44
4.2.	Deskripsi Sistem	46
4.3.	Implementasi Perangkat Keras.....	47
4.4.	Implementasi Perangkat Lunak.....	48
4.5.	Pengujian.....	52
4.5.1.	Pengujian Sensor Suhu DS18B20	53
4.5.2.	Pengujian Sensor pH 4502C	54

4.5.3.	Pengujian Sensor TDS	55
4.5.4.	Pengujian Sensor Turbidity SEN0189	56
4.5.5.	Pengujian Pengiriman Data ESP32 ke Website	57
4.5.6.	Pengujian Random forest	58
4.6.	Hasil Pembacaan Sensor	58
BAB V PENUTUP		60
5.1.	Kesimpulan	60
5.2.	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....		62

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 2. 2 Kualitas air ikan mas (Badan Standardisasi Nasional, 2016).....	10
Tabel 2. 3 Simbol Program Flowchart (Smrti et al., 2023).....	22
Tabel 3. 1 Contoh dataset Kualitas Air.....	28
Tabel 3. 2 Alur Koneksi Rangkaian Sistem Pada Kabel	39
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Suhu	54
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor pH.....	55
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor TDS	56
Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Sensor	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara kerja Random Forest (Sheykhmousa et al., 2020).....	12
Gambar 2. 2 Visualisasi Random Forest (Sufina & Wati, 2025)	13
Gambar 2. 3 Arduino IDE	15
Gambar 2. 4 Visual Studio Code.....	16
Gambar 2. 5 Sensor Suhu DS18B20 (Satriawan et al., 2023).....	17
Gambar 2. 6 Sensor pH 4502c (Satriawan et al., 2023).....	18
Gambar 2. 7 Sensor Turbidity SEN0189.....	19
Gambar 2. 8 Sensor TDS	20
Gambar 2. 9 ESP32	20
Gambar 3. 1 Alur prosedur penelitian	24
Gambar 3. 2 Rancangan Kerja Alat.....	26
Gambar 3. 3 Alur Tahapan Metode Random Forest.....	27
Gambar 3. 4 Use Case Diagram	32
Gambar 3. 5 Class Diagram	33
Gambar 3. 6 Sequence Diagram	34
Gambar 3. 7 Tampilan Website	35
Gambar 3. 8 Diagram Blok Penentuan Kualitas Air	36
Gambar 3. 9 Wiring Diagram Perancangan Alat.....	37
Gambar 3. 10 Rancangan Implementasi Prototype.....	38
Gambar 4. 1 Observasi Tempat Penelitian	45
Gambar 4. 2 Implementasi Skematik Sistem	47
Gambar 4. 3 Gambar Produk	48
Gambar 4. 4 Tampilan halaman Login.....	49
Gambar 4. 5 Tampilan Dashboard.....	49
Gambar 4. 6 Grafik Parameter Sensor	51
Gambar 4. 7 History Kualitas Air	51
Gambar 4. 8 Tampilan Dashboard Offline	52
Gambar 4. 9 Pengujian Sensor	53
Gambar 4. 10 Pengujian pada air bersih dan keruh	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pemantauan kualitas air pada budidaya ikan mas (*Cyprinus carpio*) hingga saat ini masih banyak dilakukan secara manual dan tidak berlangsung secara real-time akibat keterbatasan waktu dan sumber daya. Kondisi tersebut menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kualitas air, sehingga respons pembudidaya sering tidak tepat waktu dan berdampak pada penurunan kesehatan ikan, produktivitas budidaya, serta meningkatnya risiko kematian ikan, khususnya pada sistem budidaya intensif (Mustain et al., 2025; Taufik & Fadlil, 2023).

Keberhasilan budidaya ikan mas sangat dipengaruhi oleh kualitas air. Parameter seperti suhu, pH, tingkat kekeruhan, dan total padatan terlarut (TDS) berperan penting dalam menunjang pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan, sementara penurunan kualitas air dapat menyebabkan stres fisiologis hingga kematian ikan (Lisa et al., 2024; Baena-Navarro et al., 2025). Berdasarkan standar yang ditetapkan, kualitas air optimal ikan mas berada pada kisaran suhu 25–30°C dengan pH 6,5–8,5, tingkat kekeruhan 0–25 NTU, serta nilai TDS sekitar 400 mg/L (Badan Standardisasi Nasional, 2016; Rochyani, 2018; Kanwal et al., 2024).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan teknologi IoT dalam pemantauan kualitas air budidaya ikan, yang menunjukkan bahwa sistem berbasis sensor mampu meningkatkan efisiensi pemantauan secara real-time. Salah satu penelitian berjudul “Perancangan sistem monitoring kualitas air pada pembesaran ikan koi berbasis internet of things (IoT)” yang membahas rancangan sistem monitoring kualitas air pada pembesaran ikan koi yang dilengkapi dengan

berbagai sensor untuk terus menilai parameter kualitas air yang kritis, termasuk suhu, pH, dan kekeruhan (Mustain et al., 2025). Namun penelitian tersebut masih berfokus pada penyajian data sensor masih memiliki keterbatasan dalam mendukung pengambilan keputusan secara optimal.

Untuk mengatasi hal tersebut, data sensor perlu dianalisis menggunakan algoritma machine learning. Salah satu algoritma yang memiliki kinerja baik adalah Random Forest, yang mampu menghasilkan klasifikasi yang lebih stabil dan akurat melalui mekanisme pembentukan banyak pohon keputusan dan voting mayoritas (Haekal & Wibowo, 2023; Marlina et al., 2023). Algoritma ini terbukti memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi sebesar 99,7% dibandingkan beberapa algoritma lain seperti JST dengan 94,6%, SVM dengan 79,3%, dan Naive Bayes 89,5% (Rizky et al., 2023). Priantama & Siswa (2022) menyatakan bahwa algoritma random forest banyak diterapkan dalam penyelesaian permasalahan klasifikasi maupun regresi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan teknologi IoT untuk monitoring yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan dan komunikasi data. ESP32 memungkinkan integrasi berbagai sensor kualitas air berupa sensor suhu, pH, TDS, dan kekeruhan untuk melakukan pengukuran secara kontinu, sekaligus mengirimkan data hasil pengukuran secara nirkabel ke server dan disimpan dalam database dan algoritma random forest dalam satu sistem terpadu untuk analisis dan klasifikasi kualitas air ikan mas secara real-time sehingga dapat dipantau melalui antarmuka berbasis web. Kebaruan penelitian ini terletak pada sistem yang tidak hanya menampilkan data sensor, tetapi menggunakan algoritma random forest

untuk mengklasifikasikan kualitas air ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk, serta memberikan rekomendasi kondisi air melalui dashboard web interaktif. Diharapkan sistem ini dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat dan tepat serta meminimalkan risiko kerugian dalam budidaya ikan mas.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalahnya adalah masih dilakukannya pemantauan kualitas air pada budidaya ikan mas secara manual dan tidak real-time akibat keterbatasan waktu dan sumber daya, sehingga pembudidaya sering terlambat merespons perubahan kondisi air. Kondisi tersebut menyebabkan kualitas air sulit dikendalikan secara optimal dan berpotensi menurunkan kesehatan ikan, produktivitas budidaya, serta meningkatkan risiko kematian ikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air secara real-time serta menganalisis dan mengklasifikasikan kondisi kualitas air secara akurat melalui dashboard web untuk mendukung pengambilan keputusan pembudidaya.

1.3. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan permasalahan yang dibahas agar dapat menyelesaikan permasalahan utama. Berikut ini batasan masalah penelitian ini:

1. Penelitian ini terbatas pada pengembangan sistem penentuan kualitas air yang khusus dirancang untuk memelihara ikan mas koi berbasis IoT.
2. Parameter kualitas air yang dianalisis dibatasi pada suhu air, tingkat keasaman (pH), tingkat kekeruhan, dan total dissolved solids (TDS).

3. Pemantauan kondisi air dilakukan secara real-time melalui website dengan fungsi sistem yang terbatas pada pemantauan dan rekomendasi, tanpa adanya otomatisasi pergantian air, penyesuaian pH, maupun filtrasi.
4. Sitem ini hanya menggunakan algoritma Random Forest sebagai analisis dan klasifikasi tanpa membandingkannya dengan metode machine learning lain.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem monitoring kualitas air pada budidaya ikan mas berbasis Internet of Things (IoT).
2. Mengembangkan sistem monitoring kualitas air budidaya ikan mas berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter suhu, pH, kekeruhan, dan total padatan terlarut (TDS) secara real-time.
3. Menerapkan algoritma Random Forest untuk mengklasifikasikan kualitas air kolam ke dalam kategori baik, sedang, dan buruk serta menyajikan rekomendasi kondisi air melalui dashboard web sebagai dasar pengambilan keputusan pembudidaya.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan sarana inovatif untuk memantau kualitas air secara real-time, sehingga pengawasan kolam menjadi lebih efisien tanpa pemeriksaan manual.

2. Memberikan informasi dan rekomendasi akurat guna membantu pembudidaya mengambil keputusan cepat dalam menjaga kualitas air.
3. Meningkatkan efektivitas dan produktivitas budidaya ikan mas, serta mengurangi risiko stres dan kematian ikan akibat perubahan kualitas air.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 menyajikan ringkasan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini. Kajian terhadap penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk mengidentifikasi pendekatan, metode, serta hasil yang telah dicapai oleh peneliti sebelumnya. Melalui pemaparan ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai perkembangan penelitian terkait, sekaligus menjadi dasar dalam menentukan posisi dan kebaruan (novelty) penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul dan peneliti	Pembahasan	Metode	Kelebihan atau kekurangan
1	Rancang bangun alat monitoring pH, suhu, dan zat terlarut pada air akuarium ikan mas koki berbasis iot dengan nodemcu esp32 (Rusdi & Supardi, 2023)	Penelitian ini membahas perancangan sistem monitoring kualitas air akuarium ikan mas koki berdasarkan parameter pH, suhu, dan zat terlarut (TDS) untuk menjaga kondisi air tetap optimal secara real-time.	Metode Research and Development (R&D)	Kelebihan: Monitoring real-time dan akurasi sensor tinggi. Kekurangan: Belum dilengkapi analisis data lanjutan atau sistem rekomendasi otomatis.
2	Implementasi sensor PH-4502C dan sensor suhu	Membahas pemantauan kualitas air kolam	Metode Research and	Kelebihan: Sistem sederhana dan

No	Judul dan peneliti	Pembahasan	Metode	Kelebihan atau kekurangan
	DS18B20 untuk pemantauan air kolam nila (Pratama et al., 2025)	ikan nila berdasarkan parameter pH dan suhu untuk menjaga kondisi lingkungan budidaya ikan.	Development (R&D)	sensor mudah di implementasi. Kekurangan: Parameter terbatas dan belum berbasis IoT sepenuhnya.
3	Sistem monitoring pH dan kekeruhan kolam ikan koi berbasis internet of things menggunakan aplikasi blynk (Taufik & Fadlil, 2023)	Membahas sistem monitoring kualitas air kolam ikan koi berdasarkan pH dan kekeruhan yang dapat dipantau melalui aplikasi Blynk.	Metode Research and Development (R&D)	Kelebihan: Monitoring jarak jauh melalui smartphone. Kekurangan: Belum tersedia fitur analisis atau rekomendasi kualitas air.
4	Perancangan sistem monitoring kualitas air pada pembesaran ikan koi berbasis internet of things (IoT) (Mustain et al., 2025)	Membahas perancangan sistem monitoring kualitas air pada proses pembesaran ikan koi untuk menurunkan risiko kematian akibat kualitas air yang buruk.	Metode Research and Development (R&D)	Kelebihan: Sistem terintegrasi dan pemantauan real-time. Kekurangan: Tidak menggunakan algoritma kecerdasan buatan untuk

No	Judul dan peneliti	Pembahasan	Metode	Kelebihan atau kekurangan
				pengambilan keputusan.
5	Monitoring pH dan suhu air pada budidaya ikan mas koki berbasis IoT (Satriawan et al., 2023)	Membahas pemantauan pH dan suhu air untuk menjaga berat optimal ikan mas koki dan mencegah penyakit jamur.	Metode Research and Development (R&D)	Kelebihan: Sistem efektif dan mudah digunakan. Kekurangan: Parameter kualitas air masih terbatas.

2.2. Analisis GAP

Berdasarkan Tabel 2.1, Dapat diketahui bahwa penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak membahas pengembangan sistem monitoring kualitas air pada budidaya ikan berbasis Internet of Things (IoT). Parameter kualitas air yang umum digunakan meliputi pH, suhu, kekeruhan, dan zat terlarut, dengan tujuan utama untuk memantau kondisi lingkungan perairan secara real-time. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi monitoring saja, yaitu menampilkan data hasil pembacaan sensor tanpa disertai proses analisis data yang lebih mendalam. Sistem yang dikembangkan belum mampu mengolah data kualitas air untuk menentukan tingkat kualitas air atau melakukan klasifikasi kondisi air secara otomatis sebagai dasar pengambilan keputusan.

Selain itu, penelitian-penelitian terdahulu belum menerapkan algoritma machine learning dalam menganalisis data kualitas air, khususnya pada budidaya

ikan mas. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian berupa belum adanya sistem yang mengintegrasikan monitoring kualitas air berbasis IoT dengan analisis kualitas air secara cerdas menggunakan algoritma klasifikasi. Oleh karena itu, penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Analisis Kualitas Air pada Budidaya Ikan Mas Berbasis IoT Menggunakan Algoritma Random Forest” dilakukan untuk mengisi celah tersebut. Penelitian ini tidak hanya melakukan pemantauan kualitas air secara real-time, tetapi juga mengimplementasikan algoritma Random Forest untuk menganalisis dan mengklasifikasikan kualitas air. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif dan mendukung pengelolaan kualitas air pada budidaya ikan mas secara lebih efektif dan berkelanjutan.

2.3. Kualitas Air Pada Kolam Ikan Mas

Kualitas air memiliki peranan yang sangat krusial dalam menentukan keberhasilan kegiatan budidaya ikan (Rahayuningtyas et al., 2023). Menurut Ramli et al. (2023) Penurunan kualitas air pada media pemeliharaan dapat disebabkan oleh aktivitas ikan, seperti sisa pakan dan feses yang mengendap di dasar perairan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan penerapan teknologi yang mampu mendukung peningkatan produktivitas ikan. Menurut Rochyani (2018) Kondisi perairan yang optimal bagi ikan mas berada pada suhu sekitar 27–28°C dengan tingkat keasaman (pH) antara 6,5 hingga 8,5. Tingkat kekeruhan berkisar antara 0-25 NTU, dengan konsentrasi padatan terlarut (TDS) mencapai sekitar 400 mg/L (ppm) (Kanwal et al., 2024).

Badan Standardisasi Nasional (2016) menyatakan bahwa kualitas air pada media pemeliharaan ikan mas harus memenuhi parameter tertentu agar pertumbuhan ikan berlangsung optimal.

Tabel 2. 2 Kualitas air ikan mas (Badan Standardisasi Nasional, 2016)

Parameter	Satuan	Nilai
Suhu	°C	25 - 30
pH	-	6,5 – 8,5

2.4. Suhu

Menurut Suriansyah (2014, dikutip dalam Yanuar, 2017), Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berperan penting dalam keberhasilan budidaya perikanan. Peningkatan suhu air umumnya menyebabkan aktivitas metabolisme ikan meningkat, sedangkan penurunan suhu mengakibatkan aktivitas tersebut menurun. Kondisi suhu yang tidak sesuai dapat memengaruhi fisiologi dan kelangsungan hidup ikan. Pada suhu yang terlalu rendah, ikan cenderung kehilangan nafsu makan serta menjadi lebih rentan terhadap serangan penyakit. Sebaliknya, suhu yang terlalu tinggi dapat memicu stres respirasi dan berpotensi menimbulkan kerusakan permanen pada jaringan insang. Menurut Kuchikhin et al. (2022) Ikan mas yang dipelihara pada rentang suhu 20–28 °C menunjukkan pola konsumsi pakan harian yang relatif serupa, dengan suhu maksimum yang masih dapat ditoleransi untuk pemeliharaan spesies ini mencapai sekitar 33 °C. Pada kisaran suhu tersebut, aktivitas ikan cenderung meningkat dan tingkat konsumsi pakan berada pada kondisi optimal.

2.5. Potential of Hydrogen (pH)

Nilai pH air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas perairan. Proses-proses biokimia, seperti nitrifikasi, sangat dipengaruhi oleh kondisi pH. Nilai pH yang berada di bawah 4 atau melebihi 11 dapat bersifat fatal bagi ikan. Sementara itu, pH yang berada pada kisaran 6,5 hingga 9,5 namun tidak stabil dalam jangka waktu lama dapat menghambat proses pertumbuhan dan reproduksi ikan. Penurunan pH yang disebabkan oleh peningkatan kadar CO₂ dapat diatasi melalui pergantian air secara berkala untuk menjaga kestabilan lingkungan perairan (Yanuar, 2017).

2.6. Kekkeruhan Air

Menurut Duta et al. (2025) Kualitas air dapat dievaluasi berdasarkan aspek kimia, biologi, fisik, maupun estetika, salah satunya melalui parameter kekeruhan yang diukur menggunakan satuan *Nephelometric Turbidity Units* (NTU). Tingkat kekeruhan pada perairan umumnya berada dalam rentang 0–25 *Nephelometric Turbidity Units* (NTU), yang menunjukkan kondisi air relatif jernih dan masih sesuai untuk kegiatan budidaya ikan (Kanwal et al., 2024). Tingkat kekeruhan yang tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap ikan, termasuk menurunkan tingkat kelangsungan hidup embrio serta menimbulkan aroma tidak sedap pada lingkungan perairan (Salim & Rahman, 2022).

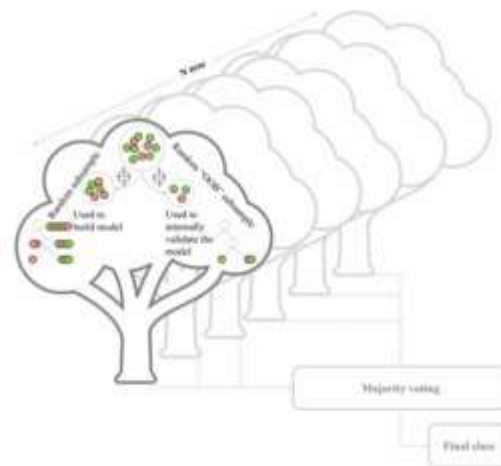
2.7. Total Dissolved Solids (TDS)

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan jumlah keseluruhan zat padat terlarut dalam air, yang meliputi unsur-unsur seperti natrium, magnesium, kalium,

karbonat, serta berbagai senyawa terlarut lainnya. Pengukuran TDS dinyatakan dalam satuan *part per million* (ppm) atau setara dengan miligram per liter (mg/L), Semakin besar nilai TDS, maka semakin tinggi pula kandungan zat padat terlarut di dalam air (Koromari & David, 2023). Nilai Total Dissolved Solids (TDS) pada media pemeliharaan ikan berkisar sekitar 400 mg/L (ppm), yang menunjukkan tingkat kelarutan zat padat dalam air berada pada batas yang masih mendukung kehidupan ikan secara optimal (Kanwal et al., 2024).

2.8. Algoritma Random Forest

Random Forest merupakan algoritma pembelajaran mesin yang termasuk dalam kategori *Ensemble Learning*, di mana beberapa model *Decision Tree* digabungkan untuk meningkatkan tingkat akurasi prediksi. Melalui penerapan teknik seperti *bootstrap sampling* dan pemilihan variabel secara acak, algoritma ini mampu meminimalkan risiko *overfitting* serta meningkatkan kinerja keseluruhan model *ensemble tree*. Pada penelitian ini, metode Random Forest digunakan untuk memberikan rekomendasi terhadap kualitas air berdasarkan parameter suhu, pH, kekeruhan, dan TDS (Haekal & Wibowo, 2023).



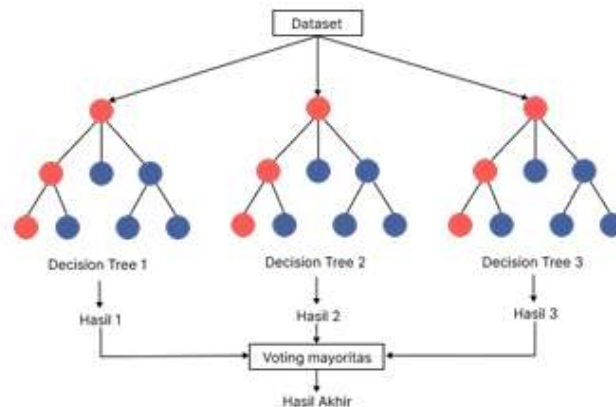
Gambar 2. 1 Cara kerja Random Forest (Sheykhmousa et al., 2020)

2.9. Tahapan Proses Algoritma Random Forest

Menurut Jonathan (2021 dikutip dalam Priantama & Siswa, 2022), Algoritma Random Forest umumnya diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan proses klasifikasi maupun regresi.

Proses penerapan metode Random Forest dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. Tahap awal dimulai dengan pengambilan sampel acak dari dataset untuk membentuk data latih (*sample data*).
2. Selanjutnya, setiap sampel data tersebut digunakan untuk membangun pohon ke- i , di mana i menunjukkan iterasi dari 1 hingga k .
3. Kedua langkah tersebut diulang sebanyak k kali, sesuai dengan jumlah pohon yang akan dibentuk dalam model *Random Forest*.



Gambar 2. 2 Visualisasi Random Forest (Sufina & Wati, 2025)

Menurut Priantama & Siswa (2022) Random Forest secara luas digunakan untuk menangani permasalahan klasifikasi dan regresi. Model Random Forest merupakan hasil pengembangan dari model *Classification and Regression Tree* (CART) yang dikombinasikan dengan metode *bootstrap aggregating* (bagging) serta *random feature selection*. Secara matematis, model Random Forest yang terdiri atas sejumlah (n) pohon dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$I(y) = \operatorname{argmax}_c \left(\sum_{N=1}^N I_{h_n}(y) = c \right)$$

Dengan :

I = Variabel fungsi indikator

Ffin = pohon ke-n

Setiap pohon pada algoritma *Random Forest Classifier* dibentuk berdasarkan model *Classification and Regression Tree (CART)*, dengan menggunakan ukuran *Gini Impurity* untuk menentukan pemisahan pada pohon keputusan. Prosesnya diawali dengan perhitungan nilai *Gini Index*, kemudian dilanjutkan dengan menghitung *Gini Impurity*. Nilai *Gini Index* tersebut diperoleh melalui rumus berikut:

$$Gini = \sum_{i=1}^n P_i^2$$

Dengan :

n = jumlah total kelas target

i = Kelas objek

p = proporsi dari masing-masing kelas target

Gini impurity dihitung dengan persamaan berikut :

$$Gini Impurity = 1 - \sum_{i=1}^n P_i^2$$

2.10. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan konfigurasi pada papan mikrokontroler Arduino Uno. Perangkat ini dilengkapi dengan editor teks untuk penulisan kode,

area pesan, konsol teks, toolbar berisi tombol-tombol fungsi umum, serta berbagai menu pendukung. Arduino IDE dapat dijalankan pada beberapa sistem operasi seperti Windows, Mac OS X, dan Linux. Dalam perancangan penelitian ini, sistem operasi yang digunakan adalah Windows (Pramana, 2018).



Gambar 2. 3 Arduino IDE

2.11. Application Programming Interface (API)

Application Programming Interface (API) merupakan antarmuka yang berperan dalam mengintegrasikan data serta menghubungkan berbagai aplikasi yang beroperasi pada beragam platform agar dapat saling berinteraksi. Salah satu bentuk penerapan API adalah RESTful API. Pemilihan teknologi dalam pengembangan RESTful API memiliki peranan yang sangat penting karena dapat memengaruhi kinerja server. Dua kerangka kerja backend yang umum digunakan dalam pembangunan RESTful API adalah Laravel dan Express.js (Hadinata & Stianingsih, 2024).

2.12. Visual Studio Code

Visual Studio Code merupakan editor kode sumber yang dikembangkan oleh Microsoft dengan tampilan sederhana namun kaya akan fitur. Editor ini

mendukung berbagai bahasa pemrograman serta dilengkapi dengan beragam fasilitas seperti penyorotan sintaks, *IntelliSense* (sugesti otomatis), alat *debugging*, dan ekosistem ekstensi yang luas. Kemampuannya dalam menyediakan lingkungan pengembangan yang terpadu dan efisien menjadi salah satu keunggulan utamanya, sehingga sangat membantu mahasiswa dalam memahami secara menyeluruh proses pengembangan aplikasi web (Ananda et al., 2024).



Gambar 2. 4 Visual Studio Code

2.13. Web Server

Pemahaman mengenai pengembangan aplikasi berbasis web merupakan salah satu kompetensi esensial dalam bidang Teknologi Informasi. Bahasa pemrograman web seperti HTML, CSS, dan JavaScript memiliki peran penting dalam pengembangan perangkat lunak modern. Bahasa-bahasa tersebut tidak hanya menjadi dasar dalam pembuatan situs web, tetapi juga berperan dalam pengembangan teknologi yang lebih kompleks, seperti komputasi awan (*cloud computing*) dan aplikasi berbasis *framework*. Dengan penguasaan yang mendalam terhadap bahasa pemrograman web, mahasiswa dapat menghubungkan konsep teoretis dalam komputerisasi dengan penerapannya di dunia kerja. Namun demikian, proses pembelajaran bahasa pemrograman web sering kali menghadapi tantangan, terutama terkait kompleksitas kode dan keterbatasan kemampuan siswa

dalam melihat hasil kerja secara langsung. Oleh karena itu, dibutuhkan alat bantu pembelajaran yang bersifat intuitif, fleksibel, serta memiliki fitur yang komprehensif. Salah satu alat yang banyak digunakan oleh mahasiswa dan pengembang adalah Visual Studio Code (VS Code) (Ananda et al., 2024).

2.14. Sensor Suhu Waterproof (DS18B20)

Sensor suhu DS18B20 Waterproof merupakan sensor tahan air yang dirancang khusus untuk mengukur suhu pada lingkungan yang lembap atau sulit dijangkau. Sensor ini dilengkapi dengan pelindung karet yang berfungsi melindungi komponen elektronik dari paparan air, sehingga memungkinkan pengukuran dilakukan secara langsung di dalam media cair. DS18B20 menghasilkan keluaran data digital dengan tingkat resolusi yang dapat diatur antara 9 bit hingga 12 bit, memungkinkan transmisi data tetap akurat tanpa mengalami degradasi, bahkan pada jarak yang cukup jauh (Duta et al., 2025).



Gambar 2. 5 Sensor Suhu DS18B20 (Satriawan et al., 2023)

2.15. Sensor pH 4502c

Sensor pH merupakan perangkat penting yang berfungsi untuk mengukur derajat keasaman (pH) dan secara umum digunakan dalam kegiatan pemantauan

kualitas air. Sensor ini memiliki kemampuan untuk mendeteksi tingkat alkalinitas maupun keasaman pada air maupun berbagai jenis larutan lainnya (Mustain et al., 2025). Sensor pH tipe 4502C merupakan modul yang berfungsi untuk mendeteksi tingkat keasaman atau kebasaan (pH) pada air, dengan keluaran berupa sinyal tegangan analog. Nilai pH merepresentasikan konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan, dengan rentang skala antara 1 hingga 14, di mana nilai 7 menunjukkan kondisi netral. Larutan dengan pH kurang dari 7 dikategorikan sebagai asam, sedangkan pH di atas 7 tergolong basa atau alkali. Sensor ini digunakan untuk mengukur kualitas air dan memiliki kompatibilitas tinggi dengan berbagai mikrokontroler, seperti Raspberry Pi, ESP32, dan Arduino. Selain itu, sensor ini dirancang untuk dapat berkomunikasi langsung dengan mikrokontroler serta dilengkapi dengan konektor yang mudah digunakan (Duta et al., 2025).

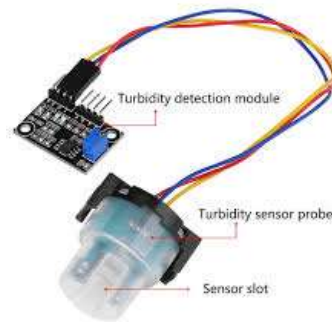


Gambar 2. 6 Sensor pH 4502c (Satriawan et al., 2023)

2.16. Sensor Turbidity SEN0189

Sensor kekeruhan (Turbidity Sensor) merupakan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi partikel tersuspensi dalam air, seperti lumpur, tanah liat, mikroorganisme, maupun material organik lainnya. Tingkat

kekeruhan air dinyatakan dalam satuan Nephelometric Turbidity Units (NTU), yang menunjukkan sejauh mana cahaya tersebar akibat hamburan oleh partikel-partikel tersebut di dalam air (Mustain et al., 2025). Prinsip kerja sensor kekeruhan ini serupa dengan sensor *proximity*, karena sama-sama memanfaatkan LED fotodiode yang berperan sebagai pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*). Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan cahaya yang dipancarkan oleh LED, di mana intensitas cahaya pantulan tersebut akan dibaca oleh sensor. Semakin tinggi tingkat kekeruhan air yang terdeteksi, maka semakin rendah intensitas cahaya pantulan yang diterima, dan sebaliknya (Duta et al., 2025).



Gambar 2. 7 Sensor Turbidity SEN0189

2.17. Sensor Total Dissolved Solids (TDS)

Sensor TDS merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur jumlah padatan terlarut di dalam air kolam ikan yang tidak dapat dilihat secara kasatmata. Prinsip kerjanya didasarkan pada hubungan antara nilai TDS dan kejernihan air, di mana semakin tinggi nilai TDS menunjukkan tingkat kekeruhan air yang lebih besar, sedangkan nilai TDS yang rendah menandakan air yang lebih jernih. Secara umum, fungsi sensor TDS adalah untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi partikel padatan terlarut dalam air kolam ikan (Kadepi et al., 2022).



Gambar 2. 8 Sensor TDS

2.18. ESP32

ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang dilengkapi dengan fitur komunikasi ganda, yaitu WiFi dan Bluetooth, yang berfungsi untuk memudahkan pengguna dalam merancang serta mengimplementasikan berbagai sistem dan proyek berbasis *Internet of Things* (IoT) (Mustain et al., 2025).



Gambar 2. 9 ESP32

2.19. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep jaringan yang bertujuan untuk memperluas konektivitas internet sehingga perangkat dapat saling terhubung secara berkelanjutan. Teknologi IoT tidak memiliki batasan jarak dalam mengakses suatu

aplikasi selama terhubung dengan internet, perangkat dapat diakses kapan saja dan di mana saja. Selain itu, IoT memberikan berbagai manfaat, antara lain dalam hal berbagi informasi, pengendalian perangkat, serta peningkatan efisiensi berbagai aktivitas berbasis teknologi (Taufik & Fadlil, 2023).

Menurut Novelan (2020 dikutip dalam Duta et al., 2025), Arsitektur *Internet of Things* (IoT) terdiri atas tiga komponen utama, yaitu:

1. Perangkat fisik yang dilengkapi dengan modul IoT,
2. Perangkat konektivitas internet seperti modem atau router, dan
3. Cloud data center yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan aplikasi serta basis data.

2.20. MySQL

MySQL merupakan *Database Management System* (DBMS) bersifat *open-source* yang mendukung penggunaan multi-user dan *multithreaded*, serta dikenal luas karena kepopuleran dan sifatnya yang bebas digunakan. Berdasarkan teori tersebut, dapat disimpulkan bahwa SQL merupakan bahasa permintaan pada sistem basis data yang menyediakan subbahasa untuk membangun serta memanipulasi data di dalamnya. SQL digunakan untuk menjalankan berbagai operasi, termasuk pembaruan data pada basis data, yang berlandaskan konsep *Relational Database Management System* (RDBMS) (Noviana, 2022).



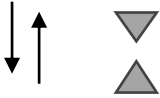
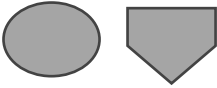
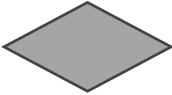
2.21. Flowchart

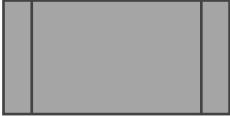

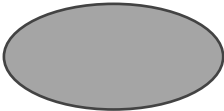
Flowchart merupakan diagram yang menggambarkan alur logis dari suatu program atau prosedur dalam sistem. Bagan alir ini berfungsi terutama sebagai alat

bantu dalam proses analisis dan komunikasi, baik antara perancang sistem maupun dengan pihak lain yang terlibat dalam pengembangan.

Bagan alir program (*program flowchart*) merupakan diagram yang menggambarkan secara terperinci tahapan-tahapan dalam proses suatu program. Bagan ini merupakan turunan dari bagan alir sistem dan disusun menggunakan simbol-simbol tertentu yang berfungsi untuk merepresentasikan setiap langkah logis dalam alur program (Smrti et al., 2023).

Tabel 2. 3 Simbol Program Flowchart (Smrti et al., 2023)

Simbol	Keterangan
	Simbol Input/Output berfungsi untuk menunjukkan proses penerimaan atau pengeluaran data dalam program.
	Proses Simbol proses digunakan untuk menggambarkan tahapan atau kegiatan yang terjadi dalam suatu alur program.
	Simbol garis alir (<i>flow lines symbol</i>) digunakan untuk menunjukkan arah atau aliran proses dalam suatu bagan alir.
	Simbol penghubung (<i>connector symbol</i>) untuk menandai kesinambungan alur pada bagan yang terputus, baik dalam halaman yang sama maupun pada halaman berbeda.
	Simbol keputusan (<i>decision</i>) berfungsi untuk merepresentasikan proses pemilihan atau penentuan kondisi tertentu dalam suatu program.

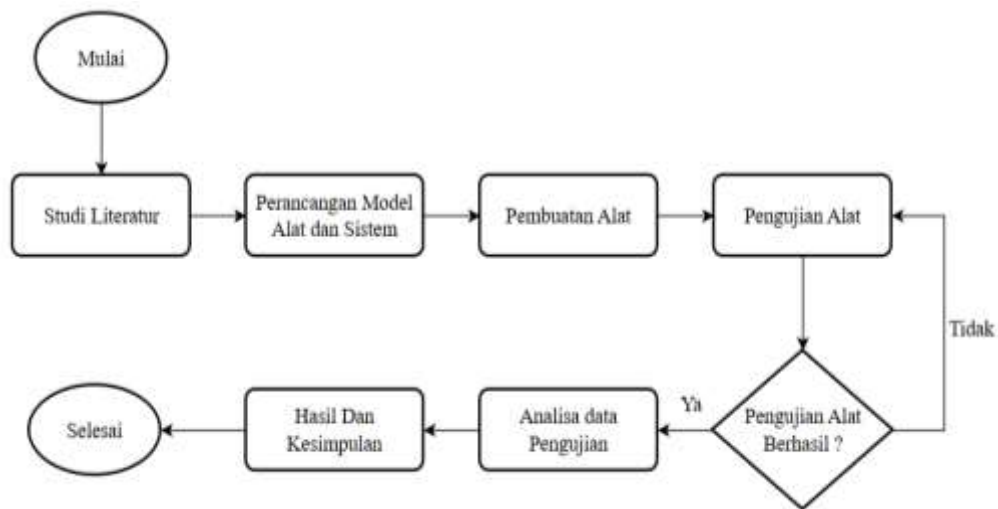
Simbol	Keterangan
	Simbol Proses Terdefinisi (predefined process symbol) digunakan untuk menggambarkan suatu operasi atau prosedur yang penjelasannya disajikan pada bagian lain dari diagram.
	Simbol persiapan (preparation symbol) digunakan untuk menetapkan atau memberikan nilai awal pada suatu variabel atau parameter dalam proses program.
	Simbol Titik Terminal (terminal point symbol) digunakan untuk menandai bagian awal maupun akhir dari suatu proses.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Research and Development atau R&D. Metode ini dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan untuk menganalisis suatu permasalahan, tetapi juga menghasilkan sebuah produk, dilakukan analisis kebutuhan, sementara untuk memastikan produk tersebut dapat berfungsi secara optimal di masyarakat, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menguji keefektifannya.

3.1. Alur Prosedur Penelitian



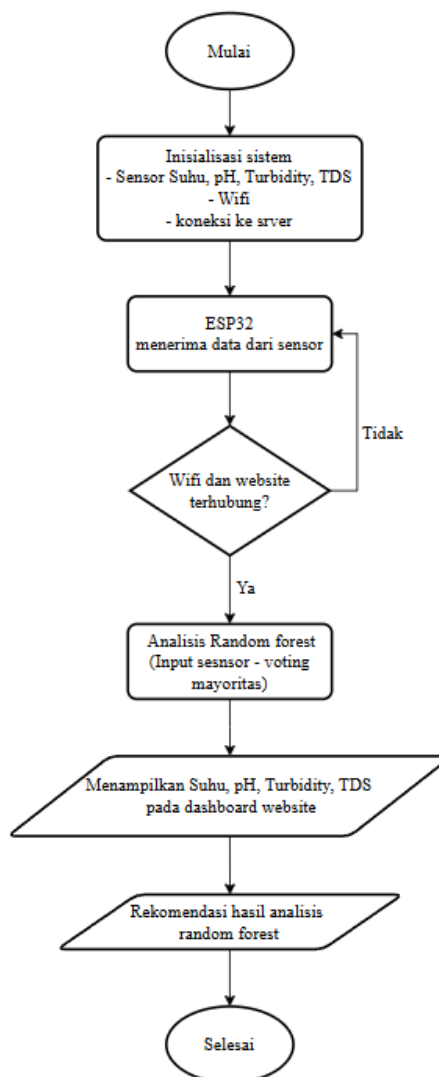
Gambar 3. 1 Alur prosedur penelitian

Pada Gambar 3.1 Terdapat diagram alir penelitian, diawali dengan studi literatur sebagai dasar untuk merumuskan dan melaksanakan penelitian, yang meliputi studi tentang kualitas air, penggunaan sensor, mikrokontroler ESP32, algoritma Random Forest, dan pemrograman menggunakan Arduino IDE. Berdasarkan hasil studi ini, dilakukan perancangan sistem yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras dirancang untuk mengukur

parameter kualitas air seperti suhu, pH, kekeruhan, dan total padatan terlarut (TDS), sedangkan perangkat lunak berfokus pada pengembangan sistem kontrol berbasis ESP32, implementasi algoritma analisis data, perancangan API, dan pembuatan antarmuka situs web sebagai media untuk pemantauan data online. Tahap selanjutnya adalah pembuatan dan integrasi sistem, diikuti dengan pengujian peralatan di kolam budidaya ikan mas untuk memastikan kinerja sensor, keandalan komunikasi data, dan kesesuaian sistem dengan desain. Data uji kemudian dianalisis untuk menilai akurasi, konsistensi, dan keandalan sistem. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk menyusun kesimpulan dan rekomendasi pengembangan, sehingga sistem yang dihasilkan dapat digunakan sebagai alat pemantauan kualitas air kolam ikan mas secara real-time secara efektif dan berkelanjutan.

3.2. Rancangan Kerja Alat

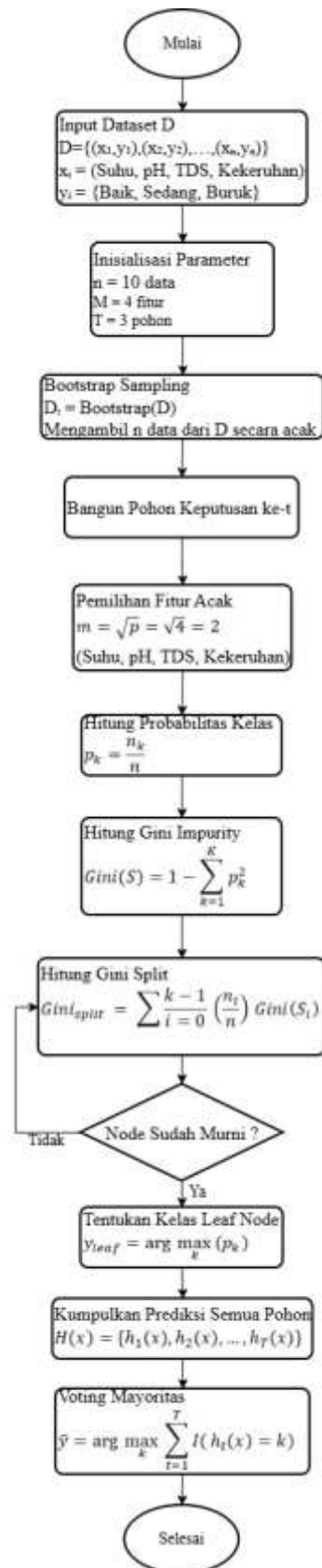
Rancangan kerja alat pemantauan kualitas air berbasis sensor yang terintegrasi dengan ESP32 dan dashboard website. Proses dimulai dengan tahap inisialisasi sistem, yang mencakup pengaktifan sensor suhu, pH, turbidity, dan TDS, serta pengaturan koneksi Wi-Fi dan komunikasi dengan server. Setelah sistem berhasil diinisialisasi, ESP32 berperan untuk menerima dan mengumpulkan data yang diperoleh dari seluruh sensor yang terhubung. Selanjutnya, sistem melakukan pemeriksaan terhadap status koneksi Wi-Fi serta keterhubungan dengan website. Apabila koneksi belum tersedia, proses akan kembali pada tahap pemeriksaan hingga konektivitas tercapai. Jika koneksi telah berhasil terhubung, data sensor kemudian diproses menggunakan algoritma Random Forest untuk melakukan analisis kondisi kualitas air. Adapun rancangan alat terdapat pada gambar 3.2



Gambar 3. 2 Rancangan Kerja Alat

Pada Gambar 3.2 Menjelaskan Pada tahap analisis Random Forest, data suhu, pH, kekeruhan, dan TDS yang diterima oleh ESP32 dikirim ke server dan diproses menggunakan model Random Forest yang telah dilatih sebelumnya. Setiap pohon keputusan dalam model memberikan hasil klasifikasi, dan hasil akhir kualitas air ditentukan melalui mekanisme voting mayoritas. Hasil analisis tersebut digunakan untuk menampilkan informasi parameter suhu, pH, turbidity, dan TDS secara real-time pada dashboard website sehingga pengguna dapat memantau kondisi perairan secara langsung. Hasil klasifikasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar pemberian rekomendasi kondisi kualitas air.

3.3. Alur Tahapan Metode Random forest



Gambar 3. 3 Alur Tahapan Metode Random Forest

Pada Gambar 3.3 Flowchart tahapan metode Random Forest pada penelitian ini dimulai dengan memasukkan dataset pelatihan D yang terdiri dari data sensor kualitas air, yaitu suhu, pH, TDS, dan kekeruhan, dengan label kelas Baik, Sedang, dan Buruk. Selanjutnya ditentukan parameter awal berupa jumlah data, jumlah fitur, dan jumlah pohon keputusan.

Input Dataset Pelatihan :

$$D = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_{10}, y_{10})\}$$

dengan:

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4})$$

Tabel 3. 1 Contoh dataset Kualitas Air

No	Suhu	pH	TDS	Kekeruhan	Kelas
1	26	7.2	320	4	Baik
2	27	7.0	340	5	Baik
3	28	7.1	360	6	Baik
4	29	7.4	380	7	Sedang
5	30	7.6	420	9	Sedang
6	31	7.8	450	11	Sedang
7	32	8.0	500	15	Buruk
8	33	8.2	550	18	Buruk
9	24	6.5	400	10	Sedang
10	23	6.2	480	14	Buruk

$N = 10$

Jumlah pohon: $T = 3$

Jumlah fitur total: $p = 4$

Jumlah fitur acak per node: $M = \sqrt{p} = \sqrt{4} = 2$

Pada setiap pohon keputusan dilakukan bootstrap sampling, yaitu pengambilan data secara acak dengan pengembalian untuk membentuk dataset D_t .

Dataset ini digunakan untuk membangun pohon keputusan ke- t . Pada setiap node pohon, dipilih sejumlah fitur secara acak dan dihitung probabilitas kelas untuk menentukan nilai Gini Impurity. Proses pemisahan data dilakukan dengan menghitung Gini Split, dan split terbaik dipilih berdasarkan nilai Gini Split terkecil.

Bootstrap Sampling contoh Pohon ke-1

$$D^{(1)} = \{1,2,3,4,5,6,7,9,9,10\}$$

Jumlah data tetap: $D^{(1)} = 10$

Distribusi kelas di node akar:

Baik = 3

Sedang = 4

Buruk = 3

Hitung Probabilitas Kelas :

$$p_k = \frac{n_k}{n}$$

$$p(\text{Baik}) = \frac{3}{10} = 0.3$$

$$p(\text{Sedang}) = \frac{4}{10} = 0.4$$

$$p(\text{Buruk}) = \frac{3}{10} = 0.3$$

Gini Impurity Node Akar :

$$Gini(S) = 1 - \sum_{k=1}^3 p_k^2$$

$$Gini(S) = 1 - (0.3^2 + 0.4^2 + 0.3^2)$$

$$= 1 - (0.09 + 0.16 + 0.09)$$

$$= 0.66$$

Artinya data masih bercampur dan perlu displit.

Pemilihan Fitur Acak yaitu Dipilih 2 fitur acak :

Kekeruhan dan TDS

Gini Split Terbaik dengan rumus threshold : $T_i = \frac{X_{(i)} + X_{(i+1)}}{2}$

Kandidat Split: Kekeruhan ≤ 7

Node Kiri $S_1 (\leq 7)$

Data: {1,2,3,4}

Kelas: Baik = 3 dan Sedang = 1

$$p(\text{Baik}) = \frac{3}{4} = 0.75 \quad p(\text{Sedang}) = \frac{1}{4} = 0.25$$

$$Gini(S_1) = 1 - (0.75^2 + 0.25^2)$$

$$= 1 - (0.5625 + 0.0625)$$

$$= 0.375$$

Node Kanan $S_2 (> 7)$

Data: {5,6,7,8,9,10}

Kelas: Sedang = 3 dan Buruk = 3

$$p(\text{Sedang}) = 0.5 \quad p(\text{Buruk}) = 0.5$$

$$Gini(S_2) = 1 - (0.5^2 + 0.5^2) = 0.5$$

Gini Setelah Split :

$$Gini_{split} = \frac{|S_1|}{|S|} Gini(S_1) + \frac{|S_2|}{|S|} Gini(S_2)$$

$$= \frac{4}{10} (0.375) + \frac{6}{10} (0.5)$$

$$= 0.15 + 0.30$$

$$= 0.45 \text{ Karena } 0.45 < 0.66, \text{ Split diterima.}$$

Proses pemisahan diulang hingga node menjadi murni atau memenuhi kriteria berhenti, kemudian node tersebut ditetapkan sebagai leaf node dengan kelas berdasarkan probabilitas terbesar. Setiap pohon menghasilkan satu prediksi, dan seluruh prediksi pohon dikumpulkan untuk menentukan hasil akhir menggunakan voting mayoritas. Kelas dengan jumlah suara terbanyak ditetapkan sebagai hasil klasifikasi kualitas air.

Aturan Leaf Node :

$$y_{leaf} = \arg \max_k (p_k)$$

Node kiri : Baik

Node kanan: Sedang

Pohon ke-1 selesai.

Pembentukan Random Forest Misalkan hasil prediksi data uji x :

Pohon Prediksi

1 Sedang

2 Sedang

3 Baik

Voting Mayoritas :

$$\hat{y} = \arg \max_k \sum_{t=1}^3 I(h_t(x) = k)$$

Jumlah suara:

Baik = 1

Sedang = 2

Buruk = 0

$$\hat{y} = \boxed{\text{Sedang}}$$

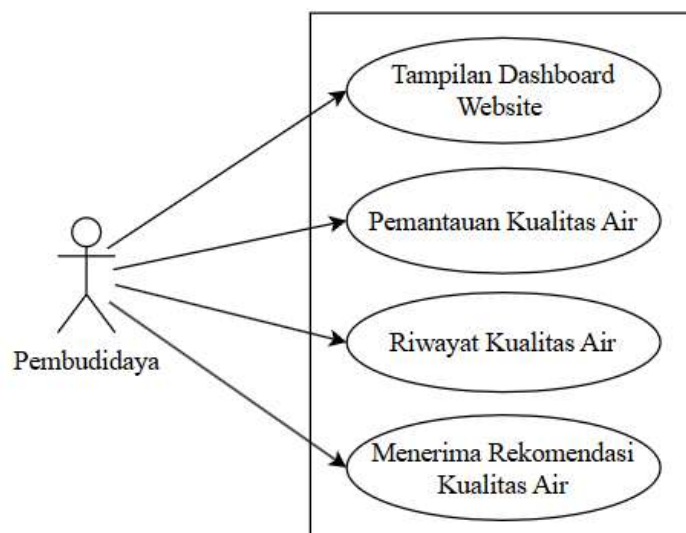
Berdasarkan perhitungan Random Forest menggunakan 10 dataset kualitas air, proses klasifikasi dilakukan melalui bootstrap sampling, pembentukan pohon CART, pemilihan fitur acak, dan perhitungan Gini Impurity. Hasil akhir diperoleh melalui voting mayoritas dan menunjukkan bahwa kualitas air diklasifikasikan ke dalam kategori Sedang.

3.4. Desain Sistem

Perancangan ini menjelaskan mengenai rancangan sistem yang digunakan sebagai dasar pengembangan solusi pemantauan kualitas air berbasis IoT.

3.4.1. Use Case Diagram

Use case diagram menggambarkan siapa yang menggunakan sistem dan fitur apa saja yang dapat diakses.



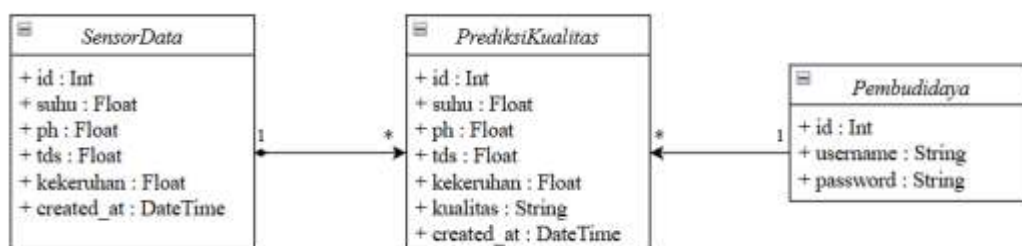
Gambar 3. 4 Use Case Diagram

Pada Gambar 3.4 Use Case diagram menggambarkan interaksi antara pembudidaya sebagai aktor utama dengan fitur-fitur yang tersedia pada sistem. Pembudidaya memiliki akses untuk melihat dashboard, memantau kondisi kualitas

air secara real-time, menerima rekomendasi berdasarkan hasil analisis, serta mengakses riwayat prediksi kualitas air. Seluruh aktivitas tersebut dilakukan melalui antarmuka berbasis web yang terintegrasi dengan sistem IoT. Diagram ini menunjukkan bahwa pembudidaya berperan sebagai pengguna sekaligus pengelola sistem, sehingga seluruh proses pemantauan dan pengambilan keputusan dapat dilakukan secara mandiri. Dengan adanya use case diagram ini, alur penggunaan sistem dapat dipahami secara sistematis dan mendukung efektivitas pengelolaan budidaya ikan.

3.4.2. Class Diagram

Class diagram menggambarkan blueprint atau kerangka dasar dari sistem yang menunjukkan data apa yang disimpan, fungsi apa yang dimiliki, dan bagaimana tiap bagian saling terhubung.



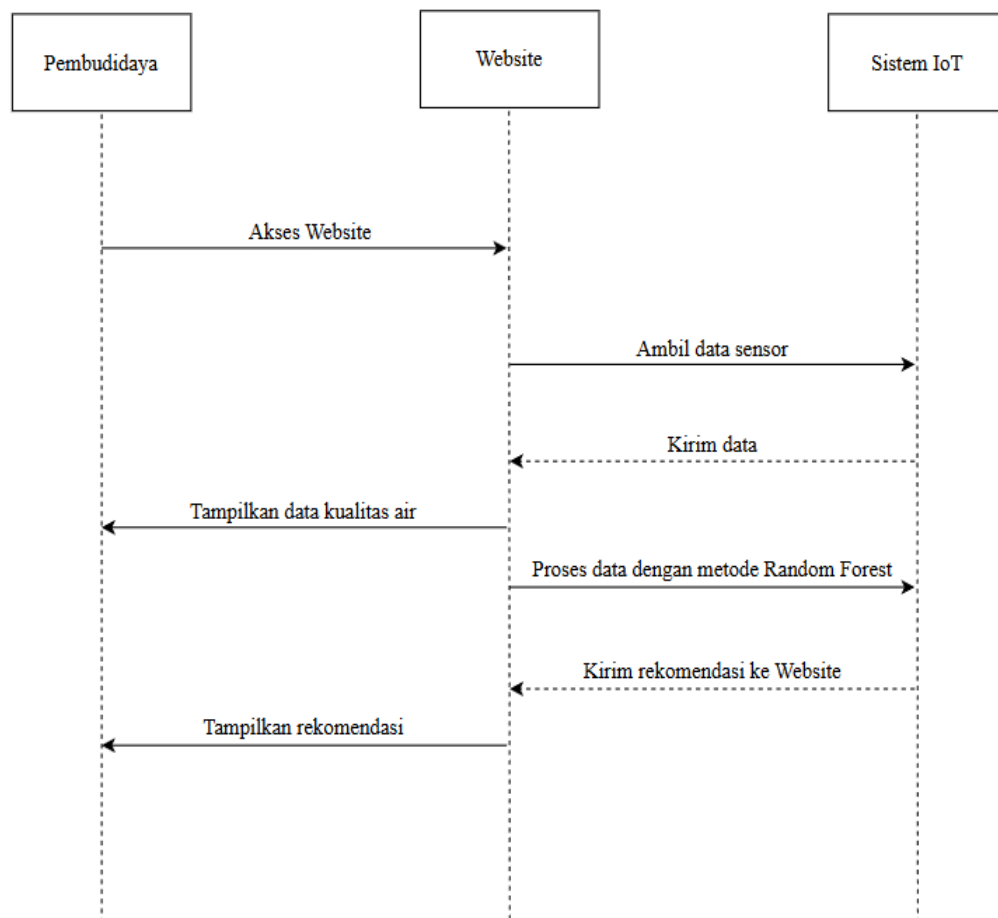
Gambar 3. 5 Class Diagram

Pada Gambar 3.5 Class diagram pada sistem monitoring kualitas air ini terdiri atas tiga kelas utama, yaitu Pembudidaya, SensorData, dan PrediksiKualitas. Kelas Pembudidaya merepresentasikan pengguna yang berperan sebagai pengelola sekaligus pemantau sistem. Kelas SensorData berfungsi untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor yang meliputi parameter suhu, pH, TDS, dan kekeruhan yang diperoleh secara berkala. Data tersebut selanjutnya diproses untuk menghasilkan klasifikasi kualitas air yang disimpan pada kelas PrediksiKualitas.

Kelas `PrediksiKualitas` memuat informasi hasil prediksi beserta waktu pencatatannya dan digunakan sebagai dasar dalam penyajian riwayat pemantauan pada website. Hubungan antar kelas menunjukkan bahwa satu data sensor dapat menghasilkan beberapa data prediksi, serta satu pembudidaya dapat memiliki banyak riwayat prediksi. Dengan demikian, class diagram ini menggambarkan struktur data sistem secara terintegrasi dan mendukung proses monitoring serta pengambilan keputusan dalam budidaya ikan.

3.4.3. Sequence Diagram

Sequence diagram menggambarkan “alur cerita” bagaimana suatu proses berlangsung dalam sistem berdasarkan urutan waktu dari atas ke bawah.

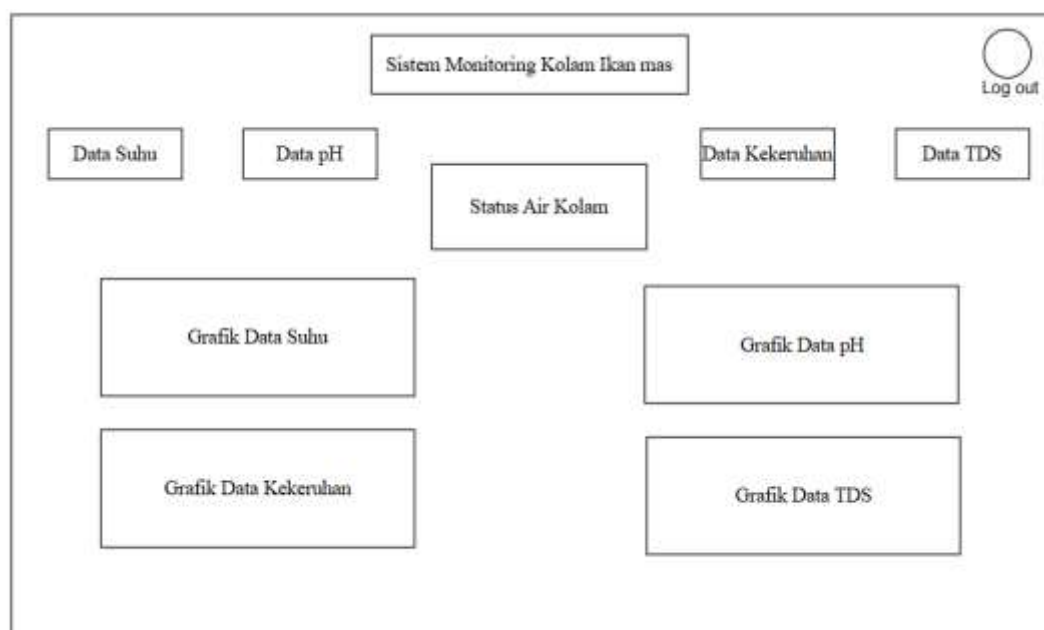


Gambar 3. 6 Sequence Diagram

Pada Gambar 3.6 Sequence diagram ini menunjukkan alur interaksi antara Pembudidaya, Website, dan Sistem IoT dalam proses pemantauan kualitas air. Pembudidaya terlebih dahulu mengakses website, kemudian website mengirim permintaan pengambilan data ke Sistem IoT. Sistem IoT membaca nilai sensor dan mengirimkan data kembali ke website untuk ditampilkan kepada pengguna. Selanjutnya, website memproses data tersebut menggunakan metode Random Forest guna menghasilkan rekomendasi kualitas air, yang kemudian ditampilkan kepada Pembudidaya sebagai acuan pengambilan keputusan.

3.4.4. Rancangan Website

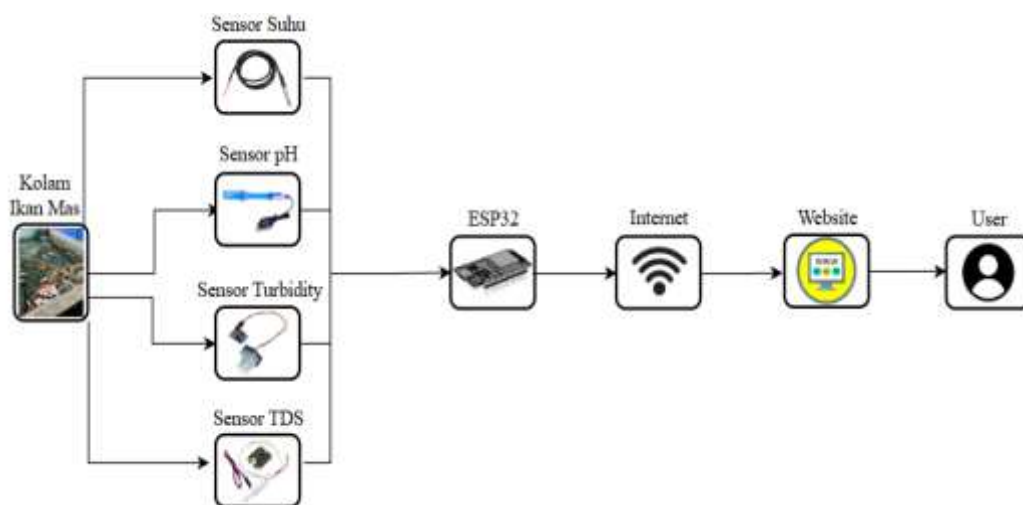
Tampilan yang dirancang pada sistem penentuan kualitas air pada budidaya ikan mas berbasis website diawali dengan perancangan perangkat lunak. Setelah rancangan alat selesai disusun, proses pengembangan dapat dilanjutkan pada bagian website, dimulai dari penyusunan tampilan halaman dashboard sebagai antarmuka utama.



Gambar 3. 7 Tampilan Website

Pada Gambar 3.7 menunjukkan rancangan antarmuka dashboard sistem monitoring kualitas air kolam ikan mas berbasis web. Pada bagian atas terdapat judul utama dan tombol log out. Dashboard menampilkan empat parameter utama yaitu suhu, pH, kekeruhan, dan TDS dalam panel ringkas untuk memudahkan pembudidaya ikan mas melihat data terbaru. Pada bagian tengah terdapat Status Air Kolam yang menyajikan ringkasan kondisi berdasarkan analisis sensor dan algoritma random forest. Selain itu, disediakan grafik untuk setiap parameter guna memperlihatkan perubahan nilai secara berkala dan membantu pengguna memahami tren kualitas air dalam pengambilan keputusan.

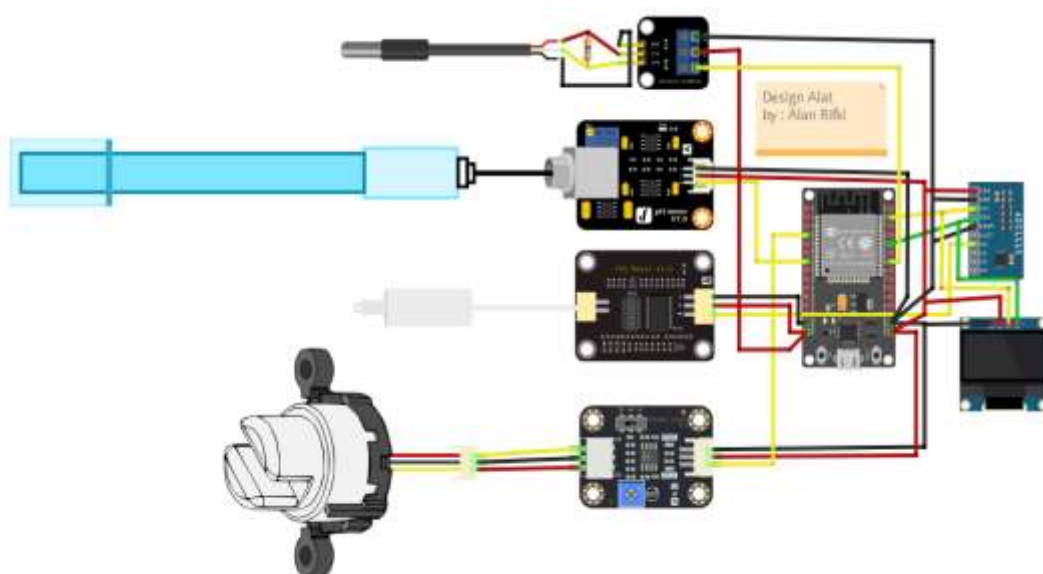
3.5. Desain Alat



Gambar 3. 8 Diagram Blok Penentuan Kualitas Air

Gambar 3.8 tersebut menunjukkan alur kerja sistem monitoring kualitas air yang dirancang untuk mengumpulkan, memproses, dan menyajikan data secara real-time. Berbagai sensor yang ditempatkan pada area kolam berfungsi sebagai perangkat akuisisi data untuk mengukur parameter lingkungan tertentu, seperti suhu, pH, kekeruhan, dan TDS. Data hasil pengukuran kemudian dialirkan menuju mikrokontroler yang berperan sebagai pusat pemrosesan awal. Mikrokontroler

mengintegrasikan seluruh data sensor dan meneruskannya melalui modul komunikasi nirkabel. Informasi yang dikirimkan tersebut selanjutnya diterima oleh platform berbasis web, di mana data diolah lebih lanjut dan ditampilkan dalam format yang dapat diakses secara langsung oleh pengguna. Melalui alur ini, sistem mampu menyediakan pemantauan kondisi air secara terstruktur, cepat, dan berkesinambungan, sehingga mendukung proses pengawasan kualitas air secara lebih efektif dan efisien.



Gambar 3. 9 Wiring Diagram Perancangan Alat

Perancangan skema desain alat diperlukan sebagai pedoman dalam proses perakitan, sehingga setiap komponen dapat dipasang dengan benar dan menghindari kesalahan instalasi. Gambar 3.9 Menunjukkan desain pengkabelan sistem pemantauan kualitas air berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor dan modul pendukung. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data yang menerima input dari sensor suhu, sensor pH, sensor TDS, dan sensor kekeruhan. Setiap sensor terhubung ke pin input analog atau komunikasi I2C melalui modul antarmuka yang sesuai, sehingga data parameter kualitas air dapat dibaca secara bersamaan. Modul ADS1115 digunakan sebagai Konverter Analog ke

Digital (ADC) eksternal untuk meningkatkan akurasi pembacaan sinyal analog beresolusi rendah. Hasil pengukuran kemudian ditampilkan secara real-time pada layar OLED yang terhubung melalui jalur komunikasi I2C (SDA dan SCL). Seluruh rangkaian mendapatkan daya dari sumber tegangan DC yang didistribusikan ke setiap komponen sesuai dengan kebutuhan operasionalnya. Konfigurasi pengkabelan ini dirancang untuk memastikan stabilitas pembacaan sensor dan integrasi sistem pemantauan kualitas air secara terpadu.



Gambar 3. 10 Rancangan Implementasi Prototype

Gambar 3.10 Menunjukkan desain sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) yang dipasang di tepi kolam ikan menggunakan case box berukuran 21,5 x 14,5 x 8,5 cm sebagai tempat komponen elektronik. Di dalam case box terdapat mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan layar OLED untuk menampilkan hasil pengukuran secara langsung. Sistem ini dilengkapi dengan empat sensor yang dipasang di bagian bawah kotak dan terendam dalam air kolam, yaitu sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502c, sensor Total Dissolved Solids (TDS), dan sensor Turbidity SEN0189, yang masing-masing

terhubung melalui kabel kedap air. Data yang diperoleh dari sensor diproses oleh ESP32 dan ditampilkan di layar serta dikirim secara nirkabel untuk mendukung pemantauan kualitas air secara real-time.

3.6. Rangkaian Alat

Pada Gambar 3.9 menunjukkan rangkaian dari Desain alat untuk penentuan kualitas air pada budidaya ikan mas. Adapun penjelasan mengenai konfigurasi rangkaian sistem pada kabel tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Alur Koneksi Rangkaian Sistem Pada Kabel

Komponen	Kabel	Terhubung ke ESP32	Fungsi
Sensor Suhu	Hitam	GND	Sebagai jalur referensi dan pengembalian arus
	Merah	VIN (5V)	Sumber daya listrik 5V untuk menyalakan modul atau sensor suhu
	Kuning	GPIO 18	Membaca sinyal digital dari sensor suhu
Sensor pH	Hitam	GND	Sebagai jalur referensi dan pengembalian arus
	Merah	5V	sumber tegangan utama untuk memberi daya modul dan sensor pH yang bekerja pada level 5V
	Kuning	GPIO 33	Membaca sinyal digital dari sensor pH
Sensor TDS	Hitam	GND	Sebagai jalur referensi dan pengembalian arus
	Merah	VIN (5V)	Sumber daya listrik 5V untuk menyalakan modul atau sensor TDS
	Kuning	ADS1115 A0	Mengirimkan sinyal analog nilai pH untuk dikonversi oleh ADC

Komponen	Kabel	Terhubung ke ESP32	Fungsi
Sensor Turbidity	Hitam	GND	Sebagai jalur referensi dan pengembalian arus
	Merah	5V	sumber tegangan utama untuk memberi daya modul dan sensor turbidity yang bekerja pada level 5V
	Kuning	GPIO 34	Membaca sinyal digital dari sensor turbidity
Modul ADS1115	Hitam	GND	Ground komunikasi dan referensi tegangan
	Merah	5V	Sumber daya modul ADC
	Kuning	GPIO 22	Jalur sinkronisasi clock I2C
	Hijau	GPIO 21	Jalur komunikasi data I2C
Oled Display (I2C)	Hitam		Jalur referensi tegangan display
	Merah		Sumber daya untuk menyalakan OLED
	Kuning	GPIO 22	Jalur clock komunikasi I2C
	Hijau	GPIO 21	Jalur pengiriman data tampilan
ESP32		USB	Sumber daya dan port untuk mengunggah program ke ESP 32

Struktur koneksi rangkaian pada Tabel 3.2 Menggambarkan bahwa dalam perancangan alat ini, sensor suhu, pH, TDS, serta sensor kekeruhan (turbidity) terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 untuk melakukan pengukuran terhadap parameter kualitas air tersebut. Penjabaran berikut menyampaikan rincian mengenai hubungan kabel dan fungsi masing-masing komponen.

Tabel 3.2 Menunjukkan bahwa setiap sensor menggunakan tiga jalur utama yaitu kabel hitam sebagai ground (GND), yang berfungsi sebagai referensi tegangan dan jalur pengembalian arus, kabel merah sebagai sumber tegangan, dan kabel kuning sebagai jalur sinyal untuk mengirim data ke ESP32. Sensor suhu terhubung langsung ke pin GPIO 18 ESP32 untuk pembacaan data digital, sensor pH terhubung ke GPIO 33 untuk membaca sinyal keluaran sensor dan sensor kekeruhan menggunakan pin analog GPIO 34 untuk mendeteksi kekeruhan air. Sensor TDS terhubung melalui modul ADS1115, yang berfungsi sebagai konverter analog-ke-digital (ADC) untuk meningkatkan akurasi pembacaan sinyal analog sebelum diproses oleh ESP32. Modul ADS1115 dan layar OLED berkomunikasi menggunakan protokol I2C melalui pin GPIO 21 (SDA) dan GPIO 22 (SCL) untuk transmisi dan tampilan data secara real-time.

Semua komponen disuplai dengan daya 5V atau 3.3V sesuai kebutuhan, dengan sistem ground bersama, memastikan stabilitas sinyal dan integrasi rangkaian pemantauan kualitas air berbasis ESP32.

3.7. Metode Pengumpulan Data

3.7.1. Observasi

Metode observasi digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh data secara langsung dari lingkungan tempat sistem akan diterapkan. Observasi dilakukan dengan mengamati kondisi nyata di lapangan, khususnya terkait proses pemantauan kualitas air pada kolam serta prosedur operasional yang berlangsung. Pengamatan ini dilaksanakan di Rumah Ikan Medan, Komplek TNI AU Karang Sari I, Jl. Dadali No. 87, Kel. Sari Rejo, Kec. Medan Polonia, Kota Medan. Melalui

pendekatan ini, peneliti dapat mengidentifikasi kebutuhan sistem, memahami alur kerja di lokasi, serta menentukan parameter kualitas air yang relevan untuk diukur pada tahap perancangan sistem.

3.7.2. Studi Literatur

Metode studi literatur digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh landasan teori yang kuat untuk menyelesaikan masalah. Teknik ini dilakukan dengan menelaah berbagai sumber tertulis, seperti jurnal ilmiah, buku, skripsi, serta tulisan lain yang relevan. Melalui penelusuran literatur tersebut. Selain itu, studi literatur juga membantu peneliti dalam mengidentifikasi penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan topik, sehingga dapat digunakan sebagai perbandingan dan referensi dalam merumuskan solusi yang lebih tepat. Dengan demikian, metode ini berperan penting dalam memperkuat dasar teoritis, memperjelas ruang lingkup penelitian, serta memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memiliki relevansi akademik dan kemitakhiran teknologi.

3.8. Tools

1. Hardware

- a. Mikrokontroler ESP32
- b. Sensor Suhu Waterproof (DS18B20)
- c. Sensor Ph 4502c
- d. Sensor Turbidity SEN0189
- e. Sensor Total Dissolved Solids (TDS)
- f. ADS1115
- g. Breadboard
- h. Kabel Jumper

- i. LCD Oled
 - j. Resistor 4.7k
 - k. Cable Gland
 - l. Kabel Data Micro USB
 - m. Case Box
2. *Software*
- a. Arduino IDE App
 - b. Visual Studio Code
 - c. Draw.io
 - d. Fritzing
 - e. Canva

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Observasi Penelitian

Observasi penelitian dilakukan untuk memperoleh gambaran kondisi nyata pada lokasi budidaya ikan mas serta mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan dengan kualitas air kolam. Kegiatan observasi dilaksanakan di Rumah Ikan Medan, yang berlokasi di Komplek TNI AU Karang Sari I, Jalan Dadali No. 87, Kelurahan Sari Rejo, Kecamatan Medan Polonia, Kota Medan. Lokasi tersebut dipilih karena secara aktif dimanfaatkan sebagai tempat budidaya ikan mas dengan penggunaan kolam semen dan kolam terpal, sehingga dinilai sesuai sebagai lokasi pengujian sistem monitoring pada berbagai kondisi lingkungan, baik dari aspek pencahayaan maupun variasi kualitas air. Observasi meliputi pengamatan terhadap kondisi fisik perairan, metode pemantauan kualitas air yang diterapkan oleh pembudidaya, serta faktor lingkungan yang berpotensi memengaruhi pertumbuhan dan kesehatan ikan.

Pada tahap pelaksanaan observasi, dilakukan pengambilan sampel air kolam secara langsung menggunakan perangkat sensor suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan kekeruhan yang telah dirakit sebelumnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi air kolam cenderung keruh akibat keberadaan sisa pakan dan zat terlarut dalam air. Selain itu, hasil observasi menunjukkan bahwa proses pemantauan kualitas air masih dilakukan secara manual menggunakan media kerang jage, batu zeloid dan kerang sebagai bagian dari sistem filtrasi air kolam, Media kerang digunakan sebagai penyaring alami yang berfungsi membantu mengurangi partikel kotoran dan menjaga kejernihan air. Namun, ketika media filter mulai tampak keruh dan ditumbuhi lumut, kondisi tersebut menunjukkan

adanya penurunan kualitas air kolam. Penumpukan sisa pakan, bahan organik, serta pertumbuhan mikroorganisme pada filter dapat menyebabkan peningkatan tingkat kekeruhan dan kandungan zat terlarut (TDS), serta berpotensi memengaruhi kestabilan nilai pH air. Kondisi ini menjadi indikator awal bahwa kualitas lingkungan perairan mulai memburuk dan memerlukan pemantauan serta penanganan lebih lanjut guna menjaga kesehatan dan pertumbuhan ikan. Sehingga perubahan kondisi air berpotensi terlambat terdeteksi oleh pembudidaya.



Gambar 4. 1 Observasi Tempat Penelitian

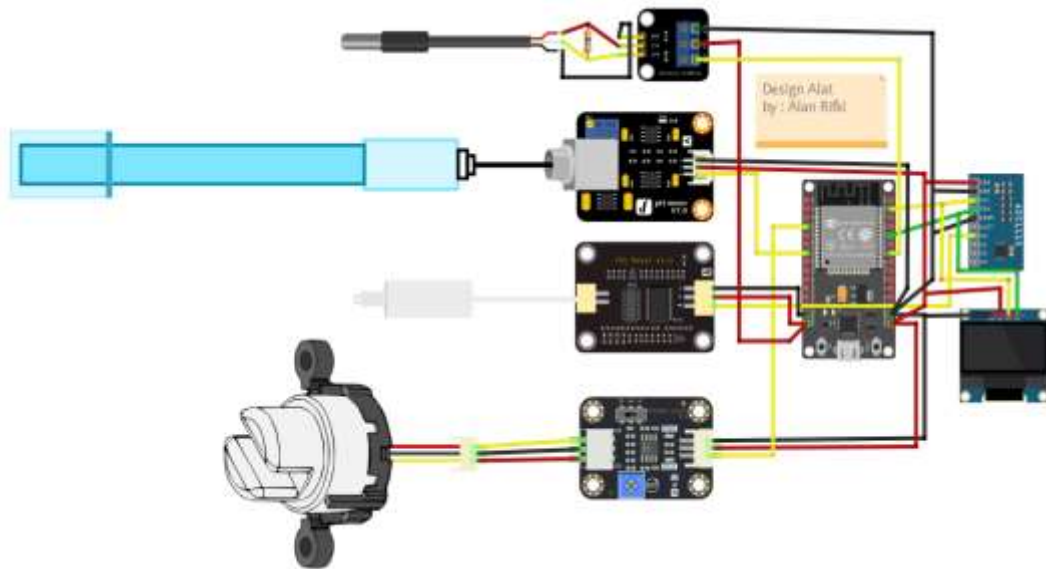
4.2. Deskripsi Sistem

Sistem budidaya ikan mas ini menggunakan empat sensor utama yaitu Sensor suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan kekeruhan air yang semua terintegrasi dalam prototipe fisik berukuran 21.5 x 14.5 x 8.5 cm. Prototipe ini mencakup semua komponen perangkat keras, termasuk LCD Oled yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran dan rekomendasi secara real time. Sistem ini memanfaatkan daya dari sumber listrik untuk operasionalnya. Data pembacaan sensor dikirim oleh ESP32 ke server dan Algoritma Random Forest mengklasifikasikan Kualitas air kemudian ditampilkan melalui situs web sebagai media pemantauan. Situs web berfungsi untuk menampilkan informasi tentang kondisi air, riwayat data pengukuran, dan hasil prediksi kualitas air. Dalam sistem ini, ESP32 bertindak sebagai pusat kendali yang mengintegrasikan sensor dengan sistem komunikasi berbasis Internet of Things (IoT), memungkinkan pemantauan dan prediksi kualitas air secara jarak jauh dan berkelanjutan.

Hasil implementasi sistem menunjukkan bahwa perangkat yang dirancang mampu membaca data sensor secara berkala dan mengirimkannya secara efektif ke server. Data yang diterima kemudian diolah oleh machine learning dan ditampilkan di situs web dalam bentuk visualisasi grafis dan data numerik, sehingga memudahkan pengguna untuk memantau kondisi kualitas air. Lebih lanjut, sistem ini dilengkapi dengan fitur peringatan yang akan memberikan notifikasi jika nilai parameter yang diprediksi berada di luar rentang yang ditentukan. Fitur ini membantu pembudidaya mengambil tindakan cepat dan tepat. Dengan demikian, implementasi sistem ini dapat meningkatkan efisiensi waktu pemantauan,

meningkatkan akurasi pemantauan kualitas air, dan berpotensi mendukung peningkatan produktivitas budidaya ikan mas.

4.3. Implementasi Perangkat Keras



Gambar 4. 2 Implementasi Skematik Sistem

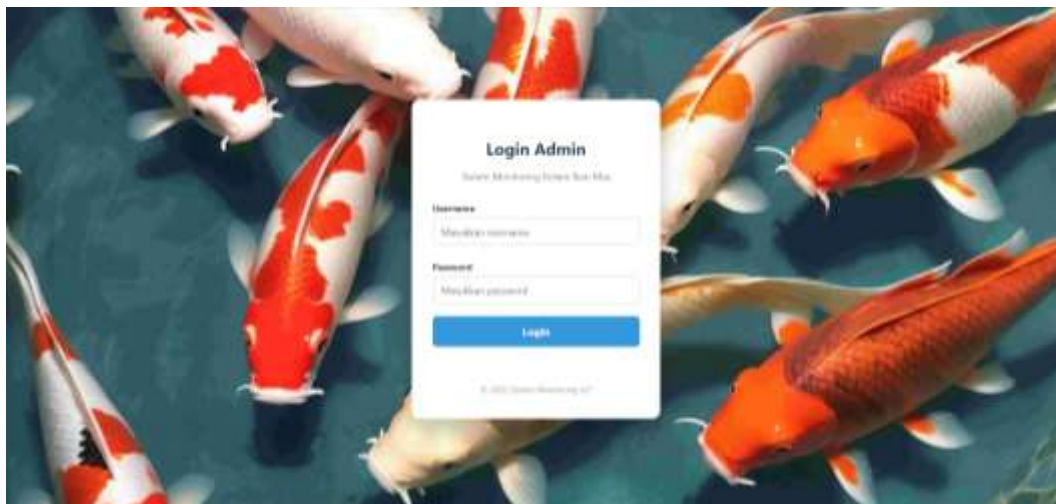
Implementasi perangkat keras merupakan langkah penting dalam proses pengembangan sistem, Gambar 4.2 Menunjukkan skema perakitan dan integrasi semua komponen fisik sesuai dengan desain yang telah dibuat. Komponen utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi ESP32 sebagai pusat kendali, sensor suhu untuk mengukur suhu air, sensor pH untuk menentukan tingkat keasaman air, sensor Total Dissolved Solids (TDS) untuk mengukur zat terlarut, dan sensor kekeruhan untuk mendeteksi kejernihan air. Pada tahap implementasi ini, setiap komponen dihubungkan berdasarkan konfigurasi pin dan persyaratan sistem untuk memastikan operasi yang terkoordinasi. Proses perakitan juga bertujuan untuk memastikan koneksi yang stabil antar perangkat dan pembacaan data sensor yang akurat sebelum sistem sepenuhnya digunakan. Gambar 4.3 menunjukkan implementasi perangkat keras secara keseluruhan yang digunakan dalam sistem.



Gambar 4. 3 Gambar Produk

4.4. Implementasi Perangkat Lunak

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini dirancang untuk digunakan oleh pengguna sebagai media pemantauan kondisi kualitas air. Melalui sistem tersebut, pengguna dapat memonitoring parameter suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), serta tingkat kekeruhan air secara langsung. Selain menampilkan data numerik, sistem juga menyediakan visualisasi dalam bentuk grafik serta informasi hasil prediksi kualitas air guna mempermudah proses analisis kondisi perairan. Halaman awal yang ditampilkan pada sistem merupakan halaman login sebagai bentuk pengamanan akses. Pada halaman ini, pengguna diwajibkan memasukkan username dan password yang telah terdaftar sebelumnya agar dapat mengakses fitur sistem. Tampilan antarmuka halaman login ditunjukkan pada Gambar 4.4.

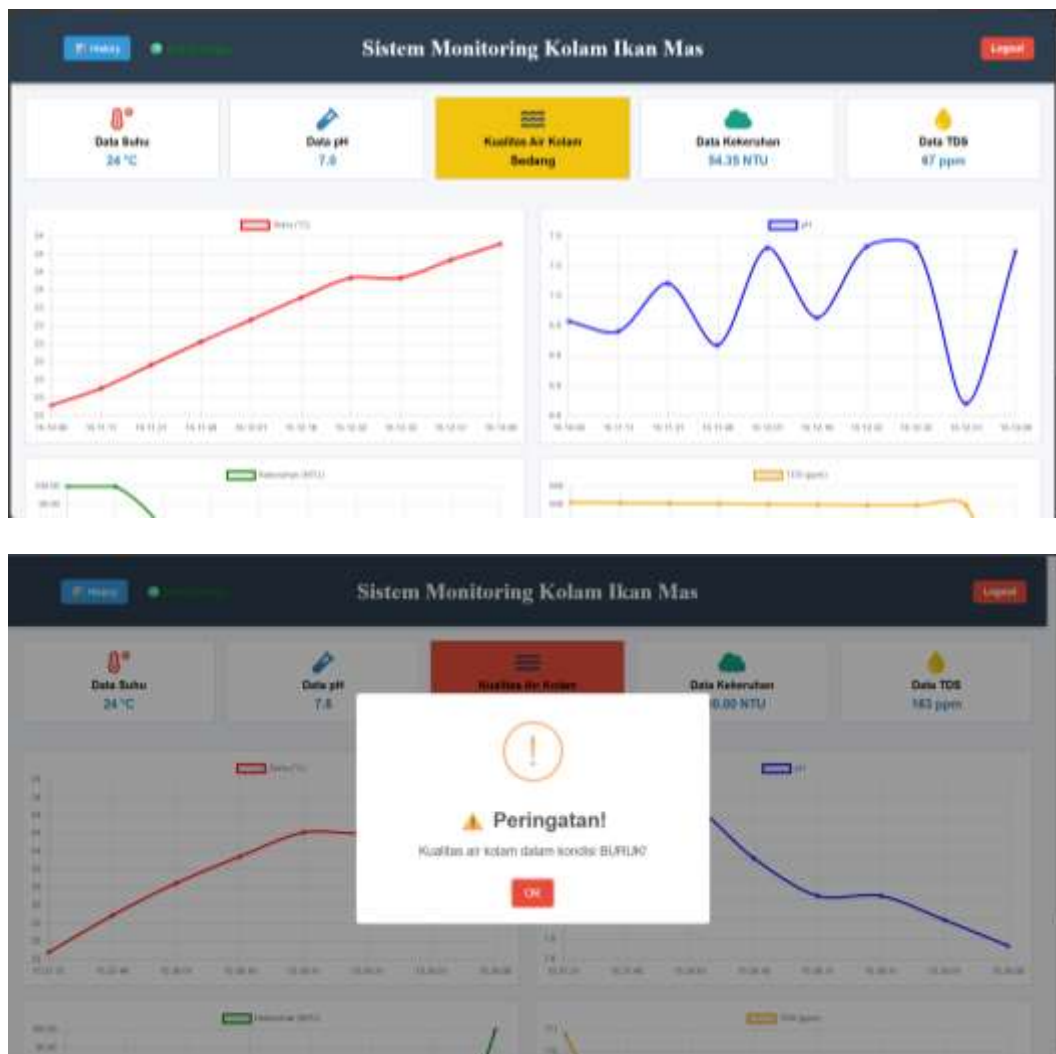


Gambar 4. 4 Tampilan halaman Login

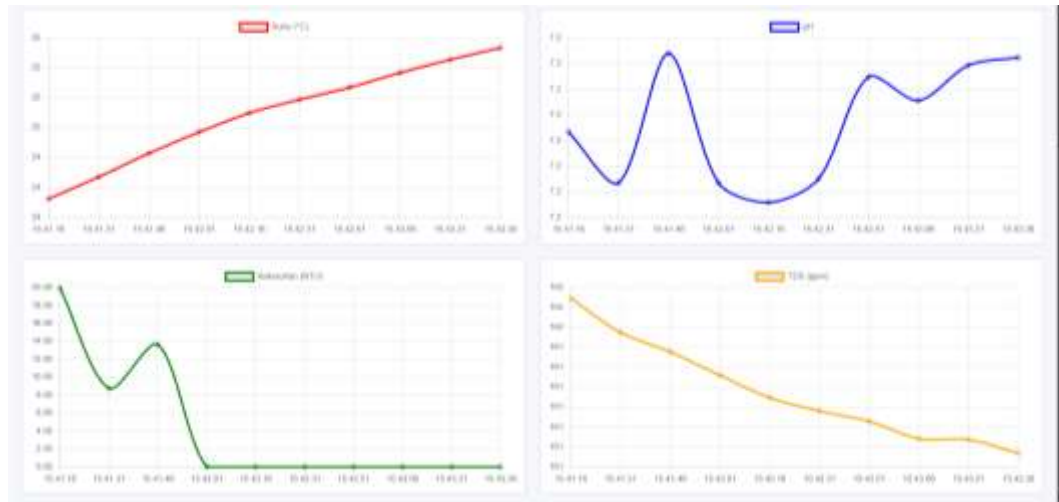
Setelah proses login berhasil dilakukan, pengguna akan diarahkan menuju halaman dashboard sebagai halaman utama sistem. Halaman ini berfungsi sebagai pusat informasi yang menampilkan hasil pemantauan parameter kualitas air, meliputi suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), serta tingkat kekeruhan air. Selain menampilkan data pengukuran, dashboard juga menyajikan status hasil prediksi kualitas air yang dikategorikan kedalam kualitas air Baik, Sedang dan Buruk, serta notifikasi peringatan yang ditampilkan secara real-time apabila terdeteksi kondisi air berada pada kategori Buruk. Tampilan antarmuka halaman dashboard dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Tampilan Dashboard



Selain menampilkan data utama, dashboard ini juga memiliki fitur visualisasi grafis yang menampilkan perubahan periodik pada parameter kualitas air. Grafik yang tersedia meliputi suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan kekeruhan air, yang disajikan berdasarkan pembacaan sensor selama periode waktu tertentu. Penyajian informasi dalam bentuk grafis memudahkan pengguna untuk memahami tren perubahan data, baik itu meningkat, menurun, atau tetap stabil. Melalui tampilan visual ini, pengguna dapat melakukan pemantauan yang lebih komprehensif dan mengidentifikasi perubahan awal kualitas air yang berpotensi memengaruhi kondisi dan kelangsungan hidup ikan. Tampilan grafik dari parameter kualitas air ini ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Grafik Parameter Sensor

Sistem yang dikembangkan juga menyediakan fitur riwayat data pembacaan sensor yang menyimpan hasil pengukuran parameter dan prediksi kualitas air selama periode waktu tertentu. Fitur ini memungkinkan pengguna untuk meninjau data pemantauan yang tersimpan untuk mendukung evaluasi dan analisis yang lebih mendalam. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fasilitas ekspor data dalam format Comma Separated Values (CSV), yang memungkinkan pengguna untuk lebih mudah mengunduh, mengelola, dan mendokumentasikan data menggunakan berbagai perangkat lunak pengolahan data yang tersedia yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.

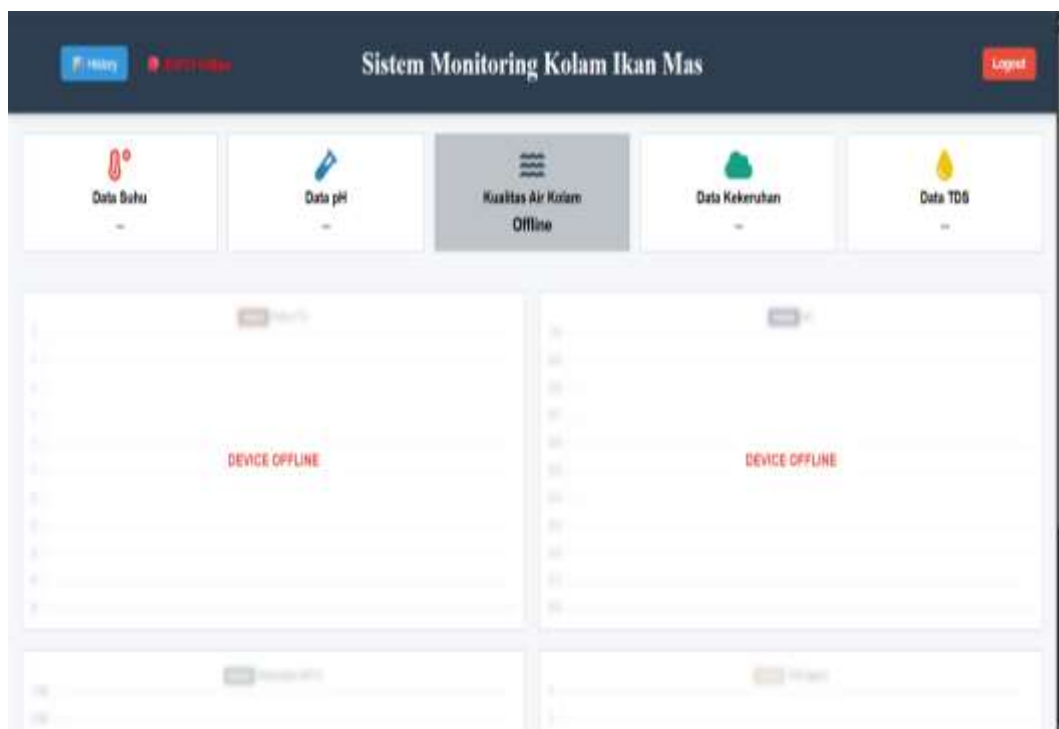
History Kualitas Air

Data Riwayat Sensor

No.	Suhu (°C)	pH	TDS (ppm)	Kekuatan (N/T)	Kualitas	Waktu
1	24	7.2	160	45.37	Sehat	20/02/2024, 15:00
2	24	7.2	160	62.07	Sehat	20/02/2024, 15:00
3	24	7.2	160	62.44	Buruk	20/02/2024, 15:00
4	24	7.3	160	75.81	Buruk	20/02/2024, 15:00
5	24	7.0	160	86.10	Buruk	20/02/2024, 15:30
6	24	7.5	160	100.00	Buruk	20/02/2024, 15:30
7	24	7.0	160	100.00	Buruk	20/02/2024, 15:30
8	24	7.0	160	100.00	Buruk	20/02/2024, 15:30
9	24	7.0	164	0.00	Sehat	20/02/2024, 15:30
10	24	7.7	164	0.00	Sehat	20/02/2024, 15:30
11	25	7.0	164	0.00	Sehat	20/02/2024, 15:30
12	25	7.0	168	0.00	Sehat	20/02/2024, 15:30

Gambar 4. 7 History Kualitas Air

Sistem ini dikembangkan dengan mekanisme untuk memantau status konektivitas perangkat, yang ditampilkan langsung di situs web. Ketika ESP32 sedang offline atau kehilangan koneksi internet, sistem secara otomatis menampilkan informasi status offline pada antarmuka situs web. Fitur ini bertujuan untuk memberi tahu pengguna bahwa transmisi data sensor tidak aktif, sehingga mereka dapat dengan cepat mengidentifikasi masalah apa pun pada perangkat atau jaringan komunikasi.



Gambar 4. 8 Tampilan Dashboard Offline

4.5. Pengujian

Proses pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kondisi kerja, kinerja perangkat, serta tingkat akurasi dari setiap komponen yang digunakan dalam sistem, meliputi sensor suhu DS18B20, sensor pH 4502C, sensor Total Dissolved Solids (TDS), dan sensor kekeruhan Turbidity SEN0189. Pengujian ini bertujuan

untuk memastikan bahwa seluruh perangkat yang dirancang mampu beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan.



Gambar 4. 9 Pengujian Sensor

4.5.1. Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Hasil output dari sensor suhu berbentuk digital maka dapat dibaca secara langsung tanpa harus di konversi. Kalibrasi sensor suhu, seperti DS18B20, merupakan tahapan penting untuk memastikan bahwa nilai suhu yang dihasilkan sensor memiliki tingkat akurasi yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Proses kalibrasi bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian hasil pembacaan sensor dengan nilai suhu acuan yang telah diketahui. Secara umum, kalibrasi sensor suhu dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor pada kondisi suhu tertentu. Pada penelitian ini, proses kalibrasi dilakukan pada kondisi suhu ruangan sebagai acuan pengujian guna memastikan kestabilan dan ketepatan pembacaan sensor sebelum digunakan dalam sistem monitoring.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sensor Suhu

No	Suhu Sensor (°C)	Suhu Ruangan (°C)	Error %
1	27.3	27	1.111%
2	27.2	27	0.741%
3	26.9	27	0.370%
4	26.8	27	0.741%
5	26.9	27	0.370%
6	27.2	27	0.741%
7	27.2	27	0.741%
8	27.1	27	0.370%
9	26.9	27	0.370%
10	27	27	0.000%
MAPE			0.185%

Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran sensor suhu DS18B20 dan suhu Ruangan, berdasarkan data yang dihasilkan pada tabel di atas. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang didapat adalah 0,185%.

4.5.2. Pengujian Sensor pH 4502C

Hasil output yang dihasilkan oleh sensor pH berupa sinyal analog, yang selanjutnya dikonversi menjadi tegangan digital sebesar 3,3 V melalui proses pembacaan oleh mikrokontroler. Nilai tegangan tersebut kemudian diolah kembali menggunakan persamaan kalibrasi untuk memperoleh nilai pH air yang sesuai dengan hasil pengukuran sebenarnya. Sensor pH harus dikalibrasi terlebih dahulu agar hasil pengukurannya akurat/valid sesuai dengan spesifikasinya. Pengukuran

dilakukan menggunakan air yang telah diberi larutan pH 4.01, pH 7 dan pH 9.18, kemudian sensor dimasukkan di dalam wadah air berisi larutan pH tersebut.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sensor pH

No	Sensor pH	Larutan pH 4.01	Error %	Sensor pH	Larutan pH 7	Error %
1	4.0	4.01	0.249%	7.1	7	1.429%
2	3.9	4.01	2.743%	7.1	7	1.429%
3	3.9	4.01	2.743%	7.1	7	1.429%
4	3.9	4.01	2.743%	7	7	0.000%
5	3.9	4.01	2.743%	7	7	0.000%
6	3.9	4.01	2.743%	7	7	0.000%
7	3.9	4.01	2.743%	7.1	7	1.429%
8	3.9	4.01	2.743%	7.2	7	2.857%
9	3.9	4.01	2.743%	7.2	7	2.857%
10	3.9	4.01	2.743%	7.2	7	2.857%
MAPE			2.494%	MAPE		1.429%

Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil sensor pH PH-4502C dan larutan pH, berdasarkan data yang dihasilkan pada tabel di atas. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang didapat adalah 2,494% pada pH 4.01 dan 1.429% pada pH 7.

4.5.3. Pengujian Sensor TDS

Sensor Total Dissolved Solids (TDS) berhasil diimplementasikan untuk mengukur tingkat kepekatan air pada kolam budidaya ikan mas. Pengujian dilakukan dengan kalibrasi larutan TDS 500 ppm dengan pengambilan data

sebanyak sepuluh kali pengukuran pada larutan tersebut, guna memperoleh hasil pembacaan yang konsisten serta menggambarkan kondisi kualitas air secara lebih akurat.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Sensor TDS

No	Sensor TDS	Larutan TDS 500 ppm	Error %
1	500	500	0.000%
2	501	500	0.200%
3	501	500	0.200%
4	501	500	0.200%
5	500	500	0.000%
6	501	500	0.200%
7	501	500	0.200%
8	501	500	0.200%
9	499	500	0.200%
10	498	500	0.400%
MAPE			0.060%

Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil pengukuran sensor TDS dan larutan TDS 500 ppm, berdasarkan data yang dihasilkan pada tabel di atas. Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang didapat adalah 0,060%.

4.5.4. Pengujian Sensor Turbidity SEN0189

Pengujian sensor kekeruhan DFRobot SEN0189 dilakukan untuk menilai kinerja sensor dalam mengukur tingkat kekeruhan air pada kolam budidaya. Proses pengujian dilaksanakan dengan menempatkan sensor secara langsung di dalam air

pada berbagai kondisi air, meliputi kondisi air relatif jernih, kondisi air yang keruh dan kondisi air yang pekat. Hasil pembacaan sensor kemudian dianalisis dengan membandingkannya terhadap kondisi aktual air kolam yang diamati secara langsung tanpa menggunakan alat pembanding eksternal. Evaluasi hasil pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sensor turbidity mampu memberikan informasi yang relevan dan sesuai dalam merepresentasikan tingkat kekeruhan air kolam.



Gambar 4. 10 Pengujian pada air bersih dan keruh

4.5.5. Pengujian Pengiriman Data ESP32 ke Website

Pada tahap pengujian ini, ESP32 berhasil melakukan proses pengiriman data hasil pembacaan sensor dan menampilkannya pada website monitoring. Pengiriman data dilakukan melalui koneksi jaringan WiFi, di mana waktu pengiriman dipengaruhi oleh kecepatan serta stabilitas koneksi internet yang digunakan. Keberhasilan sistem ditentukan berdasarkan kemampuan ESP32 dalam mengirimkan data sensor secara tepat hingga data tersebut dapat diterima dan ditampilkan dengan baik pada website sebagai media pemantauan.

4.5.6. Pengujian Random forest

Pengujian algoritma Random Forest dilakukan untuk mengevaluasi kinerja model klasifikasi dalam memberikan rekomendasi kualitas air berdasarkan parameter suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan tingkat kekeruhan. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi kondisi air kolam sebagai data uji, kemudian hasil klasifikasi dibandingkan dengan kondisi aktual yang diperoleh melalui pengukuran manual sebagai data acuan. Evaluasi performa model dilakukan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan skor F1 untuk memperoleh gambaran kinerja model secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil pengujian, model Random Forest memperoleh nilai akurasi sebesar 99.33%, yang menunjukkan bahwa seluruh data uji berhasil diklasifikasikan dengan benar. Hasil ini mengindikasikan bahwa model mampu mengenali pola hubungan antarparameter kualitas air dengan sangat baik pada dataset yang digunakan. Namun demikian, tingkat akurasi yang sangat tinggi juga menunjukkan bahwa performa model sangat dipengaruhi oleh karakteristik data pelatihan dan data pengujian yang digunakan, sehingga diperlukan pengujian lebih lanjut dengan dataset yang lebih beragam untuk memastikan kemampuan generalisasi model pada kondisi yang berbeda.

4.6. Hasil Pembacaan Sensor

Hasil pembacaan sensor menunjukkan bahwa sistem yang telah dikembangkan mampu melakukan pengukuran parameter kualitas air secara real-time dan berfungsi dengan baik. Parameter yang diamati meliputi suhu air, tingkat keasaman (pH), Total Dissolved Solids (TDS), serta tingkat kekeruhan air. Proses

pembacaan data sensor dilakukan secara langsung di lokasi penelitian dengan mempertimbangkan variasi kondisi kolam, sehingga data yang diperoleh mampu merepresentasikan keadaan nyata di lapangan. Nilai hasil pengukuran yang dihasilkan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses pengambilan keputusan melalui penerapan algoritma machine learning Random Forest untuk melakukan prediksi kualitas air.

Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Sensor

No	waktu	Nilai Suhu (°C)	Nilai pH	Nilai TDS (ppm)	Nilai Kekeruhan (NTU)	Keterangan
1	20-02-2026	25	7.2	242	6.28	Baik
2	21-02-2026	25	7.0	309	6.17	Baik
3	22-02-2026	24	6.9	520	31.86	Sedang
4	23-02-2026	25	9.1	509	82.48	Buruk
5	24-02-2026	25	7.2	245	4.02	Baik
6	25-02-2026	23	7.2	243	67.73	Buruk
7	26-02-2026	24	9.0	509	44.88	Sedang
8	27-02-2026	24	7.1	338	15.33	Baik
9	28-02-2026	25	6.9	233	34.98	Sedang
10	01-03-2026	24	9.0	509	59.73	Buruk

Berdasarkan Tabel 4.4 Menunjukkan hasil pembacaan parameter kualitas air yang meliputi suhu, pH, TDS, dan kekeruhan selama periode 20 Februari 2026 hingga 1 Maret 2026. Nilai suhu berada pada rentang 23–25°C, pH berkisar antara 6,9–9,1, TDS antara 233–520 ppm, dan kekeruhan antara 4,02–82,48 NTU. Berdasarkan hasil pengukuran, kualitas air diklasifikasikan ke dalam tiga kategori, yaitu baik, sedang, dan buruk.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan, dengan judul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Analisis Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Mas Berbasis IoT Menggunakan Algoritma Random Forest” dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan tahapan perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT telah berhasil dikembangkan untuk memantau parameter suhu, pH, TDS, dan kekeruhan air pada kolam budidaya ikan mas koi secara real-time. Data sensor yang dibaca oleh ESP32 dapat dikirim melalui jaringan internet dan ditampilkan dengan baik pada halaman website monitoring.
2. Pengujian sistem monitoring dilakukan sebanyak sepuluh kali percobaan pada masing-masing sensor. Pengujian tersebut meliputi pengukuran parameter suhu, pH, TDS, dan kekeruhan air pada kolam budidaya ikan mas. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kesalahan pengukuran yang relatif kecil, yaitu sebesar 0.185% pada pengukuran suhu, 2.494% pada larutan pH 4.01 dan 1.429% pada pH 7, serta 0.060% pada pengukuran TDS. Sementara itu, hasil pengukuran kekeruhan air menunjukkan tingkat akurasi yang baik.
3. Penggunaan algoritma Random Forest pada metode Machine Learning berhasil diterapkan untuk mengklasifikasikan kondisi kualitas air berdasarkan parameter yang diukur. Model mampu melakukan prediksi secara otomatis, dengan hasil klasifikasi yang tersimpan di database dan ditampilkan pada sistem monitoring. Integrasi antara perangkat IoT, database, dan model Machine Learning

memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dalam mendukung pemantauan kualitas air kolam budidaya.

4. Sistem yang dikembangkan dapat membantu pembudidaya dalam memantau kondisi kualitas air secara lebih efisien dan cepat, sehingga potensi penurunan kualitas lingkungan kolam dapat diketahui lebih dini.

5.2. Saran

Beberapa hal yang disarankan untuk menjadi perhatian dalam penelitian selanjutnya dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Pada penelitian selanjutnya, sistem dapat ditingkatkan melalui implementasi aplikasi mobile yang mendukung pemantauan dan pengendalian secara langsung, serta menyediakan fitur notifikasi otomatis kepada pengguna tanpa ketergantungan pada akses website.
2. Peningkatan performa akurasi sensor sangat diperlukan untuk mendukung keandalan sistem dalam menghasilkan data yang lebih presisi, terutama pada pengukuran parameter kualitas air yang kompleks, yaitu suhu, pH, TDS, dan kekeruhan.
3. Pengujian lebih lanjut di berbagai lokasi dengan kondisi air yang beragam perlu dilakukan untuk memastikan kinerja alat tetap optimal serta mampu menyesuaikan dengan kebutuhan implementasi di lapangan.
4. Pengembangan sistem otomatisasi perlu dilakukan agar alat mampu merespons perubahan kualitas air secara mandiri, sehingga tidak hanya berfungsi sebagai pemantau, tetapi juga dapat mengaktifkan perangkat seperti penambahan pH down dan pH up atau aerator secara otomatis sesuai kondisi yang terdeteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, P. L., Wardhani, N. I., & Nurhayati, E. (2024). Pemanfaatan Bahasa Pemrograman Web Untuk Meningkatkan Pemahaman Teknologi Informasi : Studi Kasus Penggunaan Visual Studio Code Di Program Studi Informatika UPN Veteran Jawa Timur. *Jurnal Multidisiplin Saintek*, 5(9), 1–11. <https://doi.org/10.8734/Kohesi.v1i2.365>
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). Ikan mas (*Cyprinus Carpio Linnaeus*, 1758) - Bagian 4: Produksi benih. In *Badan Standardisasi Nasional*. <https://www.scribd.com/document/345361191/24485-SNI-8296-4-2016>
- Baena-Navarro, R., Carriazo-Regino, Y., Torres-Hoyos, F., & Pinedo-López, J. (2025). Intelligent Prediction and Continuous Monitoring of Water Quality in Aquaculture: Integration of Machine Learning and Internet of Things for Sustainable Management. *Water (Switzerland)*, 17(1), 1–25. <https://doi.org/10.3390/w17010082>
- Duta, A. R., Nasrullah, E., & Sulistiyanti, S. R. (2025). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Dan Pengendalian Kualitas Air Pada Akuarium Ikan Hias Mas Koki Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis Iot (Internet Of Things). *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1), 501–513. <https://doi.org/10.23960/Jitet.V13i1.5667>
- Hadinata, W., & Stianingsih, L. (2024). Analisis Perbandingan Performa Restfull Api Antara Express.js Dengan Laravel Framework Dengan JMeter. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 531–540. <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i1.3845>
- Haekal, M., & Wibowo, W. C. (2023). Prediksi Kualitas Air Sungai Menggunakan Metode Pembelajaran Mesin: Studi Kasus Sungai Ciliwung. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(2), 273–282.
- Kadepi, R., Bahri, S., & Suhardi, S. (2022). Sistem Monitoring Dan Pengontrolan Pada Budi Daya Ikan Mas Berbasis Internet Of Things (Iot). *Coding Jurnal Komputer Dan Aplikasi*, 10(02), 332–343. <https://doi.org/10.26418/Coding.V10i02.55982>
- Kanwal, S., Abdullah, M., Kumar, S., Arshad, S., Shahroz, M., Zhang, D., & Kumar, D. (2024). An Optimal Internet Of Things-Driven Intelligent Decision-Making System For Real-Time Fishpond Water Quality Monitoring And Species Survival. *Sensors*, 24(23), 1–16. <https://doi.org/10.3390/S24237842>
- Koromari, B. I., & David, F. (2023). Perancangan Dan Implementasi Sistem Pakan Otomatis Dan Monitoring Tds Pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Iot. 02(02), 154–169.

- Kuchikhin, Y. A., Shavrin, A. S., Zyulkin, A. A., & Khairullina, T. P. (2022). *Determination Of The Maximum Temperature Of The Content Of Cyprinus Carpio*. 112–117. <https://doi.org/10.15405/epl.22011.13>
- Lisa, E., Edwarsyah, E., Marlian, N., Zurba, N., & Wahyudi, A. I. (2024). Manajemen Pengelolaan Air pada Kolam Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*) Di BBI Lhok Parom Kabupaten Nagan Raya. *Journal of Aceh Aquatic Sciences*, 8(1), 21–28. <https://doi.org/10.35308/jaas.v8i1.9344>
- Marlina, H., Elmayati, Zulus, A., & Wijaya, H. O. L. (2023). Penerapan Algoritma Random Forest Dalam Klasifikasi Penjurusan Di SMA Negeri Tugumulyo. *Penerapan Kecerdasan Buatan*, 4(2), 138–143.
- Mustain, M., Pandu Kusuma, A., & Puspitasari, W. D. (2025). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Pembesaran Ikan Koi Berbasis Internet Of Things (IoT). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Dan Sains*, 4, 289–294.
- Noviana, R. (2022). *Pembuatan Aplikasi Penjualan Berbasis Web Monja Store Menggunakan Php Dan Mysql. Vol 1(2)*, 112–124.
- Pramana, R. (2018). Perancangan Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air dan Suhu Air Pada Kolam Budidaya Ikan. *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian Dan Industri Terapan*, 7(1), 13–23. <https://doi.org/10.31629/sustainable.v7i1.435>
- Pratama, W. R. A., Dalimunthe, E. R., & Putri, N. U. (2025). Implementasi Sensor PH-4502C dan Sensor Suhu DS18B20 untuk Pemantauan Air Kolam Nila. *Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 19(2), 129–137.
- Priantama, Y., & Siswa, T. A. Y. (2022). Optimasi Correlation-Based Feature Selection Untuk Perbaikan Akurasi Random Forest Classifier Dalam Prediksi Performa Akademik Mahasiswa. *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, 6(2), 251–260. <https://doi.org/10.26798/jiko.v6i2.651>
- Rahayuningtyas, A., Sagita, D., & Susanti, N. D. (2023). Rancang bangun sistem monitoring dan kontrol pH air untuk budidaya ikan lele. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 17(1), 97–105. <https://doi.org/10.21107/agrointek.v17i1.14129>
- Ramli, T. H., Aripudin, A., Adi, C. P., & Santika, P. A. P. (2023). Pertumbuhan Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*) Pada Filter Air Yang Berbeda. *KNOWLEDGE: Jurnal Inovasi Hasil Penelitian Dan Pengembangan*, 3(2), 175–185. <https://doi.org/10.51878/knowledge.v3i2.2411>
- Rizky, I. I. M., Irianto, S. Y., & Sriyanto. (2023). Perbandingan Kinerja Algoritma Naive Bayes, Support Vector Machine dan Random forest untuk Prediksi Penyakit Ginjal Kronis. *Institut Informatika Dan Bisnis Darmajaya*, 18, 139–151.

- Rochyani, N. (2018). Analisis Karakteristik Lingkungan Air Dan Kolam Dalam Mendukung Budidaya Ikan. *Jurnal Ilmu-Ilmu Perikanan Dan Budidaya Perairan*, 13(1), 51–56. <https://doi.org/10.31851/jipbp.v13i1.2856>
- Rusdi, B. M., & Supardi, Z. A. I. (2023). Rancang Bangun Alat Monitoring Ph , Suhu Dan Zat Terlarut Pada Air Akuarium Ikan Mas Koki Berbasis Iot Dengan Nodemcu Esp32. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (Ifi)*, 12(3), 77–86.
- Salim, A. N., & Rahman, A. (2022). Implementasi Fuzzy-Mamdani untuk Pengendalian Suhu dan Kekeruhan Air Aquascape Berbasis IoT. *Jurnal Algoritme*, 2(2), 159–169.
- Satriawan, M. R., Priyandoko, G., & Setiawidayat, S. (2023). Monitoring pH Dan Suhu Air Pada Budidaya Ikan Mas Koki Berbasis IoT. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 5(1), 12–17. <https://doi.org/10.37905/jjee.v5i1.16083>
- Sheykhmousa, M., Mahdianpari, M., Ghanbari, H., Mohammadimanesh, F., Ghamisi, P., & Homayouni, S. (2020). Support Vector Machine Versus Random Forest for Remote Sensing Image Classification: A Meta-Analysis and Systematic Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 6308–6325. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3026724>
- Smrti, N. N. E., Andisana, I. P. G. S., Rahayu, N. K. D. T., Adnan, & Juliantara, P. P. O. (2023). Flowgorithm Sebagai Penunjang Pembelajaran Algoritma dan Pemrograman. *Jurnal Bangkit Indonesia*, 12(01), 56–64. <https://journal.stindonesia.ac.id/index.php/bangkitindonesia/article/download/218/180/?form=MG0AV3>
- Sufina, S., & Wati, L. (2025). Implementation of Random Forest Algorithm in Lecturer Performance Evaluation System. *Journal of Artificial Intelligence and Software Engineering*, 5(2), 790–798. <https://doi.org/10.30811/jaise.v5i2.6975>
- Taufik, A., & Fadlil, A. (2023). Sistem Monitoring pH dan Kekeruhan Kolam ikan Koi Berbasis Internet of Things Menggunakan Aplikasi Blynk. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(1), 56–61. <https://doi.org/10.22441/jte.2023.v14i1.010>
- Yanuar, V. (2017). Effect Of Different Types Of Feed On Growth Rate Of Tilapia Fish (*Oreochromis niloticus*) And Water Quality In The Aquarium Maintenance. *Ziraa'Ah*, 42(2), 91–99.