

**SISTEM PENENTUAN KUALITAS AIR PADA IKAN KOI
MENGUNAKAN *IoT* DAN METODE *DECISION TREE***

SKRIPSI



Oleh

Mohammad Rizal Maulana Najib

E41210704

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER**

2025

**SISTEM PENENTUAN KUALITAS AIR PADA IKAN KOI
MENGUNAKAN *IoT* DAN METODE *DECISION TREE***

SKRIPSI



Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan Komputer (S.Tr.Kom.)
di Program Studi Teknik Informatika
Jurusan Teknologi Informasi

Oleh

Mohammad Rizal Maulana Najib

E41210704

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI
POLITEKNIKNEGERI JEMBER
2025**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK NEGERI JEMBER
JURUSAN TEKNOLOGI INFORMASI

**SISTEM PENENTUAN KUALITAS AIR PADA IKAN KOI
MENGUNAKAN IOT DAN METODE *DECISION TREE***

Mohammad Rizal Maulana Najib (E4210704)

Telah Diuji pada Tanggal 19 Mei 2025

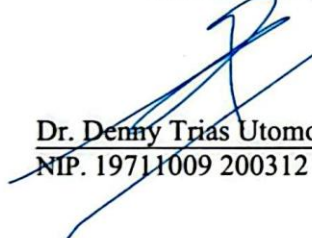
dan Dinyatakan Memenuhi Syarat

Ketua Penguji



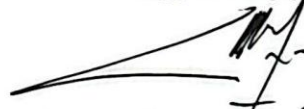
Choirul Huda, S.Kom., M.Kom
NIP. 199212272022031007

Sekretaris Penguji



Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T
NIP. 19711009 200312 1 001

Anggota Penguji



Aji Seto Arifianto, S/ST., M.T.
NIP. 19851128 200812 1 002

Dosen Pembimbing



Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T
NIP. 19711009 200312 1 001



Mengesahkan,
Ketua Jurusan Teknologi Informasi



Hendra Yufit Riskiawan, S.Kom, M.Cs
NIP. 19830203 200604 1 003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mohammad Rizal Maulana Najib

NIM : E41210704

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Laporan Skripsi saya yang berjudul “**Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree***” merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing, dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir Laporan Skripsi ini.

Jember, 16 Mei 2025



Mohammad Rizal Maulana Najib

NIM. E41210704



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

Yang bertanda tangan dibawah ini saya:

Nama : Mohammad Rizal Maulana Najib

NIM : E41210704

Program Studi : Teknik Informatika

Jurusan : Teknologi Informasi

Demi pengembangan Ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tugas Akhir Penghargaan saya yang berjudul:

**SISTEM PENENTUAN KUALITAS AIR PADA IKAN KOI
MENGUNAKAN IOT DAN METODE *DECISION TREE***

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini UPT. Perpustakaan Politeknik Negeri Jember berhak menyimpan, mengalih media atau format, mengelola dalam bentuk Pangkalan Data (Database), mendistribusikan karya dan menampilkan atau mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Politeknik Negeri Jember, Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas Pelanggaran Hak Cipta dalam Karya ilmiah ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Jember

Pada tanggal : 16 Mei 2025



Nama : Mohammad Rizal Maulana Najib

NIM : E41210704

MOTTO

Fight for Money

- Mohammad Rizal Maulana Najib -

-

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan berkat dan karunia-Nya penyusunan skripsi saya yang berjudul “Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya yang selalu menjadi motivasi saya. Terima kasih karena telah memberikan dukungan baik moral maupun material sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian skripsi ini dengan baik dan lancar.
2. Dosen pembimbing saya, Bapak Denny Trias Utomo, S.Si, M.T yang selalu sabar memberikan masukan serta arahan dalam proses pengerjaan penelitian skripsi ini.
3. Seluruh dosen dan staf pengajar di Politeknik Negeri Jember, khususnya di jurusan Teknologi Informasi dan program studi Teknik Informatika, yang telah memberikan ilmu, pengalaman, serta pembelajaran yang sangat berarti selama masa studi saya.
4. Bapak Puguh Dwi Santoso selaku pemilik kolam The genKs Koi 99 Farm (sentral Ikan koi) yang telah membantu saya sebagai narasumber dalam pengerjaan skripsi ini.
5. alm. Risqi Agung Dwi Prasetyo sebagai sahabat saya.
6. Teman-teman saya yang telah menemani, menyemangati dan membantu saya dalam setiap proses pengerjaan skripsi ini hingga selesai.

Water Quality Determination System for Koi Fish

Using IoT and Decision Tree Method

Supervised by Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T

Mohammad Rizal Maulana Najib

Study Program of Informatics Engineering

Majoring in Information Technology

ABSTRACT

Koi are ornamental fish with high economic value and strong popularity in Indonesia. The success of koi fish farming is highly dependent on the quality of the pond water in which they live. This water quality can be determined by several parameters, such as acid level, turbidity, and temperature. However, manual inspection and cleaning of pond water are considered inefficient and prone to human error. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based water quality control system for koi fish ponds by implementing a Decision Tree algorithm. The system integrates several sensors, namely, a pH sensor, a TDS sensor, and a DS18B20 temperature sensor that are connected to an ESP32 microcontroller. The collected data are classified into three categories: optimal, good, and poor, and the results are displayed through a website interface. Testing results indicate that the system achieved a classification accuracy of up to 100%, with sensor error rates of 0% for TDS, 2.30% for pH, and 1.77% for temperature. Additionally, the website's software functionality, evaluated using the BlackBox method, demonstrated 100% validity. Therefore, this system has proven to be effective and accurate in automatically monitoring and classifying koi pond water quality.

Keywords: Decision Tree, Internet of Things, Koi, Water Quality

Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*

Dibimbing oleh Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T.

Mohammad Rizal Maulana Najib

Program Studi Teknik Informatika

Jurusan Teknologi Informasi

ABSTRAK

Ikan koi merupakan salah satu jenis ikan hias yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan banyak diminati di Indonesia. Keberhasilan budidaya ikan koi sangat bergantung pada kualitas air kolam tempat hidupnya. Kualitas air ini dapat ditentukan melalui beberapa parameter, seperti keasaman tingkat kekeruhan, dan suhu air. Namun, pemeriksaan dan pembersihan air secara manual dinilai kurang efisien dan rawan kesalahan. Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem pengendalian kualitas air kolam ikan koi berbasis IoT dengan algoritma *Decision Tree*. Sistem IoT mengintegrasikan berbagai sensor yakni sensor pH, sensor TDS serta sensor suhu DS18B20 dengan mikrokontroler ESP32. Data yang diklasifikasikan ke dalam kategori optimal, baik, dan buruk, serta ditampilkan melalui website. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi klasifikasi hingga 100%, dengan tingkat error perangkat sensor 0% untuk TDS, 2,30% untuk pH serta 1,77% untuk suhu. Pengujian perangkat lunak website menggunakan metode BlackBox juga menunjukkan validitas 100%. Dengan demikian, sistem ini terbukti efektif dan akurat dalam memantau serta mengklasifikasikan kualitas air kolam ikan koi secara otomatis

Kata Kunci: *Decisin Tree*, Ikan Koi, *Internet of Things*, Kualitas Air

RINGKASAN

Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode Decision Tree, Mohammad Rizal Maulana Najib, NIM E41210704, Tahun 2025, 74 hlm., Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T.

Koi merupakan salah satu jenis ikan hias air tawar yang memiliki daya tarik tinggi di kalangan masyarakat Indonesia karena keindahan warna dan pola tubuhnya. Keberhasilan dalam budidaya ikan koi juga ditentukan oleh kondisi kualitas air kolam. Beberapa parameter yang digunakan untuk menilai kualitas air meliputi nilai keasaman, tingkat kekeruhan, serta suhu air. Namun demikian, pemantauan kualitas air secara manual masih banyak dilakukan, padahal metode ini dinilai kurang efisien dan memiliki risiko terjadinya *human error*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan sistem otomatis penentu kualitas air kolam ikan koi berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan algoritma *Decision Tree* sebagai metode klasifikasi. Algoritma yang digunakan mengikuti struktur pohon biner CART, namun perhitungan klasifikasinya mengadopsi rumus entropy dan information gain dari metode C4.5. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperkuat landasan teoritis, kemudian dilanjutkan dengan perancangan sistem IoT yang mengintegrasikan sensor pH, TDS, dan suhu DS18B20 dengan mikrokontroler ESP32. Selanjutnya pada tahapan pengolahan dan analisis data, data yang dikumpulkan secara *real-time* dianalisis dan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori yakni optimal, baik, dan buruk. Pada tahap implementasi, hasil klasifikasi ditampilkan melalui antarmuka web untuk memudahkan pemantauan oleh pengguna. Tahap akhir berupa pengujian sistem menunjukkan bahwa akurasi klasifikasi dengan algoritma *Decision Tree* CART mencapai 100%, dengan tingkat kesalahan sensor sebesar 0% untuk TDS, 2,30% untuk pH, dan 1,77% untuk suhu. Pengujian fungsionalitas website dengan menggunakan metode BlackBox juga mencatat validitas 100%, membuktikan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan dengan baik dan sesuai rancangan.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia serta hidayah-Nya sehingga Laporan Skripsi yang berjudul “Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*” dapat diselesaikan. Penulis menyampaikan apresiasi atas semua dukungan yang membantu penulis dalam penyusunan laporan ini kepada:

1. Bapak Saiful Anwar, S.Tp, M.P selaku Direktur Politeknik Negeri Jember.
2. Bapak Hendra Yufit Riskiawan, S. Kom, M.Cs., selaku Ketua Jurusan Teknologi Informasi.
3. Ibu Bety Etikasari, S.Pd, M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika.
4. Bapak Dr. Denny Trias Utomo, S.Si, M.T selaku Dosen Pembimbing
5. Bapak Prawidya Destarianto, S.Kom, M.T yang telah memberi dukungan dalam penelitian ini.
6. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan baik moral maupun material.
7. Teman-teman saya, terutama teman satu *circle* yang selalu ada dalam proses panjang ini serta seluruh rekan di Lab KSI yang turut memberi dukungan dan semangat
8. ChatGPT dan Deepsek yang membantu penulis dalam melakukan *problem solving* selama masa penelitian.

Skripsi ini masih belum sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk membantu perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.

Jember, 16 Mei 2025



Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
SURAT PERNYATAAN MAHASISWA	iv
SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
RINGKASAN	x
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 State of The Art	6
2.2 Teori Dasar	10
2.2.1 Ikan koi.....	10
2.2.2 Sistem <i>Monitoring</i>	11
2.2.3 <i>Decision Tree</i>	12

2.2.4	<i>Internet of Things (IoT)</i>	13
2.2.5	ESP32 Mikrokontroler	13
2.2.6	Sensor Suhu <i>Waterproof</i> (DS18B20).....	14
2.2.7	Sensor <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS).....	15
2.2.8	Analog pH Sensor	16
2.2.9	Solenoid Valve 1/4 inch	17
2.2.10	PHP	18
2.2.11	Framework Laravel	19
2.2.12	MySQL (<i>My Structured Query Language</i>)	19
2.2.13	Flowchart	20
2.2.14	<i>Blackbox Testing</i>	21
BAB 3 METODE PENELITIAN		22
3.1	Tempat dan Waktu Pelaksanaan	22
3.1.1	Tempat Pelaksanaan.....	22
3.1.2	Waktu Pelaksanaan	22
3.2	Alat dan Bahan	23
3.2.1	Alat.....	23
3.2.2	Bahan.....	23
3.3	Tahapan Penelitian	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Identifikasi Masalah	32
4.2	Perancangan Alat	33
4.3	Pengolahan dan Analisis Data	34
4.3.1	<i>Preprocessing Data</i>	34
4.3.2	<i>Data Training</i>	37
4.3.3	<i>Evaluasi model</i>	40
4.4	Implementasi Sistem	41
4.4.1	Implementasi Website	41
4.4.2	Hasil Integrasi	42
4.5	Pengujian Sistem	42

4.5.1	Pengujian Perangkat Keras	42
4.5.2	Pengujian Perangkat Lunak.....	44
4.6	Analisis Hasil	45
4.6.1.	Analisis Penerapan Algoritma <i>Decision Tree</i>	45
4.6.2.	Analisis Implementasi Perangkat IoT	49
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 ESP32 Mikrokontroler	14
Gambar 2. 2 Sensor Suhu <i>Waterproof</i> (DS18B20).....	15
Gambar 2. 3 Sensor <i>Total Dissolved Solids</i> (TDS).....	16
Gambar 2. 4 Analog pH Sensor	17
Gambar 2. 5 Solenoid Valve 1/4 inch	18
Gambar 3. 1 Langkah Penelitian.....	24
Gambar 3. 2 Sistematisa Alat Pengendali Kualitas Air.....	25
Gambar 3. 3 Alur Kerja Sistem.....	26
Gambar 3. 4 Tahapan Pengolahan Data	27
Gambar 3. 5 Tahapan <i>Training</i> Data.....	27
Gambar 3. 6 Wireframe Halaman Login.....	28
Gambar 3. 7 <i>Wireframe</i> Halaman Admin	29
Gambar 3. 8 Perancangan Perangkat Lunak	29
Gambar 3. 9 Proses Integrasi <i>Software</i> dan <i>Hardware</i>	30
Gambar 4. 1 Rangkain Perangkat Keras	33
Gambar 4. 2 Hasil Pemasangan Alat.....	33
Gambar 4. 3 Jumlah Data.....	34
Gambar 4. 4 Korelasi antar Fitur pada <i>Heatmap</i>	36
Gambar 4. 5 Hasil <i>Feature Importance</i>	37
Gambar 4. 6 Proses Perhitungan <i>Decision Tree</i>	38
Gambar 4. 7 Visualisasi Hasil <i>Decision Tree</i> CART.....	39
Gambar 4. 8 Tampilan Halaman Login	41
Gambar 4. 9 Tampilan Halaman Admin	41
Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Blackbox	45
Gambar 4. 11 Contoh Data Awal.....	46
Gambar 4. 12 Proses Validasi Data pada Excel.....	47
Gambar 4. 13 Hasil Pencarian IG Tertinggi	47
Gambar 4. 14 Hasil Perhitungan IG pada Google Colab	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 <i>State of The Art</i>	6
Tabel 2. 2 Parameter Air Pada Kondisi Ideal Ikan Koi.....	10
Tabel 2. 3 Flowchart	20
Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan	22
Tabel 4. 1 Contoh Hasil Data	35
Tabel 4. 2 Contoh Hasil Proses <i>Labelling</i>	35
Tabel 4. 3 Contoh Hasil Proses <i>Data Transformation</i>	36
Tabel 4. 4 Hasil <i>Classification Report</i>	40
Tabel 4. 5 Hasil Validasi Alat Ukur	43
Tabel 4. 6 Hasil Pemantauan Data dari Sensor	43
Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Pengukuran	44
Tabel 4. 8 Hasil <i>Splitting</i> Data	48
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Proporsi	48
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Nilai <i>Entropy</i>	49
Tabel 4. 11 Hasil Percobaan Penyalaan Solenoid	50

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ikan hias merupakan salah satu dari bagian dari komoditas perikanan yang bernilai ekonomis tinggi. Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan, volume ekspor ikan hias pada tahun 2021 mencapai 1.289.382 kg, meningkat sebesar 8.36% dibandingkan tahun sebelumnya (KKP, 2022). Peningkatan volume tersebut turut mendorong nilai ekspor ikan hias hingga mencapai USD9,2 juta atau sekitar Rp131,56 miliar pada periode Januari hingga Maret 2021 (DJPDSKP, 2021). Jenis ikan hias yang termasuk dalam data ekspor tersebut mencakup ikan hias laut maupun air tawar, seperti arwana, botia, cupang, mas koki, dan ikan koi.

Ikan koi menjadi salah satu ikan hias tawar yang digemari masyarakat saat ini. Hal tersebut karena ikan yang berasal dari *family cyprinidae* ini memiliki corak dan warna yang sangat menarik (Silalahi & Dhewantara, 2018). Peningkatan minat masyarakat terhadap ikan koi terlihat dari meningkatnya volume ekspor ikan koi sebesar 14%, dari yang sebelumnya 1.369kg menjadi 2.775kg pada periode 2019 hingga 2020 (KKP, 2022). Faktor meningkatnya ekspor jenis ikan tersebut adalah karena keindahannya, khususnya kualitas estetika seperti warna dan pola pada punggungnya. Untuk memperoleh ikan koi dengan kualitas estetika yang tinggi, terdapat sejumlah faktor yang harus diperhatikan. Takeo Kuroki dalam bukunya yang berjudul *The Latest Manual to Nishikigoi*, menyebutkan bahwa faktor penentu warna koi yakni 70% berasal dari kualitas ikan koi itu sendiri, 20% dari air dan 10% dari berbagai faktor lainnya (Pratama, 2022).

Kualitas air dalam kolam ikan koi berperan penting dalam keberhasilan pemeliharaan ikan tersebut. Selain memengaruhi aspek estetika seperti warna dan pola, kualitas air juga berpengaruh terhadap kesehatan ikan koi. Kondisi perairan yang buruk merupakan salah satu faktor utama penyebab penurunan sistem kekebalan tubuh pada ikan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko kematian (Kilawati dkk., 2021). Oleh karena itu, penting untuk menjaga kualitas air

kolam ikan koi. dengan memerhatikan beberapa parameter seperti suhu, tingkat keasaman air dan tingkah kekeruhan air (Ariyanto & Kusriyanto, 2023). Kualitas air sangat penting untuk memelihara ikan koi, tetapi masih ada masalah untuk mengetahui kualitas air. Menurut Herlambang dkk., (2020) pengecekan kualitas air secara manual tidak efektif dikarenakan mudah terjadi *human error* serta kurangnya efisiensi dari segi waktu dan tenaga dalam proses pengecekan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan sistem pengendali kualitas air *real-time* yang efektif untuk mengendalikan kualitas air agar tetap terjaga. Pada penelitian skripsi ini penulis merakit perangkat IoT untuk mendeteksi parameter air berupa suhu air, tingkat keasaman air serta tingkat kekeruhan air menggunakan metode *Decision Tree*. *Decision Tree* adalah metode berbasis pohon yang masing-masing jalur yang dimulai dari akar mewakili urutan pemisahan data hingga hasil Boolean tercapai di daun simpul (Yang, 2019).

Pemilihan metode *Decision Tree* untuk penelitian ini didasarkan pada sejumlah alasan kuat yang diperoleh dari beberapa sumber jurnal terkait. Pertama, *Decision Tree* telah terbukti efektif dalam berbagai aplikasi pengendalian kualitas air. Dalam jurnal "Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Bibit Ikan Nila Menggunakan Algoritma *Decision Tree*" oleh (Salim & Edidas, 2023), metode ini digunakan untuk memproses parameter kualitas air dan menunjukkan hasil yang akurat dalam mendeteksi kondisi air yang tidak sesuai standar dan memicu tindakan perbaikan secara otomatis. Kedua, dalam "A Robust Internet of Things-Based Aquarium Control System Using *Decision Tree Regression Algorithm*" oleh (Abdurohman dkk., 2022) penggunaan algoritma *Decision Tree Regression* memungkinkan sistem untuk memprediksi kondisi kritis dan mengaktifkan pengendalian secara tepat waktu, meskipun dalam kondisi jaringan yang tinggi delay. Ketiga, penelitian "An Intelligent IoT-Based Control and Traceability System to Forecast and Maintain Water Quality in Freshwater Fish Farms" oleh (Gao dkk., 2019) mengilustrasikan bagaimana *Decision Tree* dapat digunakan untuk analisis data dan prediksi indikator kualitas air, menunjukkan akurasi yang tinggi dalam hasil prediksinya. Keempat, dari jurnal "An Integrated Smart Pond Water Quality Monitoring and Fish Farming Recommendation Aquabot System" oleh

(Hemal dkk., 2024) terbukti bahwa penggunaan model *ensemble* yang melibatkan *Decision Tree* dapat memberikan rekomendasi yang tepat berdasarkan kualitas air, yang sangat relevan untuk optimisasi budidaya ikan. Berdasarkan bukti-bukti ini, metode *Decision Tree* dipilih karena keandalannya dalam memproses, menganalisis, dan memprediksi data kualitas air, serta kemampuannya untuk diimplementasikan dalam sistem IoT yang mendukung pengendalian kualitas air secara otomatis dan efisien.

Menurut Nasrullah, (2021), kelebihan dari metode *Decision Tree* adalah metode yang cukup mudah untuk diinterpretasikan oleh manusia. Sehingga *Decision Tree* dapat menghasilkan model yang mudah di pahami dan diinterpretasikan oleh manusia untuk mengidentifikasi dan menanggapi perubahan kualitas air dengan cepat. *Decision Tree* ditunjukkan efektif digunakan dalam beberapa bidang, seperti analisis kualitas air. Namun, penelitian tentang penggunaannya untuk pengendalian kualitas air pada budidaya ikan koi masih terbatas.

Dengan demikian, penulisan ini bertujuan untuk membuat Sistem Pengendalian Kualitas Air pada Ikan Koi menggunakan *IoT* dan metode *Decision Tree*. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi monitor serta pengendalian kualitas air sehingga dapat secara optimal menjaga kesehatan ikan koi. Oleh adanya sistem ini, akan memungkinkan kontribusi terhadap industri usaha budidaya ikan koi di masa depan serta menjadi solusi yang efektif terhadap tantangannya saat ini dalam pengelolaan kualitas air. Penulis berharap, penulisan ini akan berkontribusi bagi pengembangan suatu teknologi yang lebih canggih dan berkelas lanjut yang dapat di gunakan pada berbagai bidang usaha budidaya perikanan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan sistem berbasis IoT sebagai data input dalam menentukan kualitas air kolam ikan koi?

2. Bagaimana cara implementasi metode *Decision Tree* dalam menentukan kualitas air kolam ikan koi berdasarkan parameter kekeruhan, keasaman dan suhu dari sensor?
3. Bagaimana performa metode *Decision Tree* dalam menentukan kualitas air kolam ikan koi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan sistem berbasis IoT sebagai *input* data untuk menentukan kualitas air kolam ikan koi secara *real-time*.
2. Membuat sistem penentuan kualitas air kolam ikan koi menggunakan metode *Decision Tree*
3. Menganalisis performa metode *Decision Tree* dalam menentukan kualitas air kolam ikan koi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membantu pengelola sentral ikan koi mengetahui kondisi air kolam secara otomatis dan akurat melalui sistem berbasis IoT.
2. Meminimalisir terjadinya *human error* dalam menentukan kualitas air kolam ikan koi.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Penelitian ini terbatas pada pengembangan sistem penentuan kualitas air yang khusus dirancang untuk memelihara ikan koi yang berbasis IoT menggunakan *Decision Tree*.
2. Parameter yang digunakan antara lain kadar keasaman, suhu dan tingkat kekeruhan air.
3. Sistem IoT hanya sebagai *input* kedalam sistem.
4. Jenis sensor yang digunakan ada 3 jenis, yaitu:

- a) Sensor Suhu *Waterproof* (DS18B20)
 - b) Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS)
 - c) Analog pH Sensor
5. Penelitian ini tidak membahas aspek kelistrikan. Oleh karena itu, sistem hanya dapat beroperasi jika tersedia pasokan listrik secara stabil

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Penulis banyak terinspirasi dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik skripsi ini. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan topik skripsi:

Tabel 2. 1 *State of The Art*

No	Penulis (Tahun)	Objek	Metode	Hasil
1	Gao, Guandong Xiao, Ke Chen, Miaomiao (2019)	Kualitas Air	<i>Decision tree</i>	Metode prediksi kualitas air menggunakan algoritma LOF dan M5 model tree menghasilkan akurasi tinggi dengan galat rata-rata rendah
2	Abdurohman, Maman Putrada, Aji Gautama Deris, Mustafa Mat (2022)	Kontrol Lingkungan Akuarium	<i>Decision Tree Regression</i> (DTR)	Sistem mampu memantau suhu dan amonia secara akurat dan <i>real-time</i> .
3	Salim, Abdul Edidas (2023)	Kolam benih ikan nila	<i>Decision Tree</i>	Sistem dapat memantau dan mengganti air secara otomatis saat diperlukan
4	Dhinakaran, S. Gopalakrishnan, M.D. Manigandan, T. P. Anish (2023)	Tambak ikan dengan multi- parameter	RF, SVM, GBM, <i>Neural Networks</i>	Sistem mampu meningkatkan kesehatan dan produktivitas ikan melalui keputusan otomatis berbasis data lingkungan secara <i>real-time</i> .

No	Penulis (Tahun)	Objek	Metode	Hasil
5	Md. Moniruzzaman Hemal, Atiqur Rahman, Nurjahan, Farhana Islam, Samsuddin Ahmed, M. Shamim Kaiser, Muhammad Raisuddin Ahmed (2024)	Kolam ikan multi-spesies	<i>Random Forest</i> (RF), <i>Support Vector Machine</i> (SVM), <i>Decision Tree</i> (DT), <i>K-Nearest Neighbor</i> (KNN), Logistic Regression (LR),	Sistem berhasil merekomendasikan spesies ikan optimal dengan akurasi 94%

Penelitian yang dilakukan oleh Guandong Gao, Ke Xiao, Miaomiao Chen pada tahun 2019 berfokus pada pengembangan sistem *monitoring* dan pelacakan budidaya produk perikanan berbasis Internet of Things (IoT). Sistem tersebut terdiri atas dua modul, yaitu *monitoring* serta pelacakan, yang membantu penggunaanya dalam melakukan pemantauan kualitas air secara *real-time* serta pelacakan proses budidaya hingga ke konsumen. Dalam melakukan *monitoring*, terdapat lima parameter yang digunakan yakni suhu, pH, oksigen terlarut (DO), konduktivitas listrik, dan kekeruhan. Sensor yang digunakan mencakup DS18B20 untuk suhu, sensor pH Model E-201-C, YHT-8402 untuk DO, TDS untuk konduktivitas, dan WT-RCOT untuk kekeruhan. Penelitian ini juga mengimplementasikan algoritma Local Outlier Factor (LOF) untuk pembersihan data serta algoritma M5 Model Tree untuk proses klasifikasi. M5 Model Tree merupakan turunan dari metode CART,

namun berbeda karena daun pohonnya tidak berupa nilai diskrit melainkan model regresi linear multivariat. Pemisahan simpul dilakukan dengan mengoptimalkan pengurangan deviasi standar. Hasil pengujian menunjukkan nilai korelasi tinggi antara data prediksi dan data validasi (tertinggi mencapai 0,929), yang mencerminkan keakuratan model dalam memprediksi parameter kualitas air. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada klasifikasi tingkat mutu air kolam ikan koi menjadi tiga kategori, yaitu baik, buruk, dan optimal, berdasarkan parameter suhu, pH, dan TDS. Hasil klasifikasi digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis, seperti mengaktifkan kran solenoid untuk proses pergantian air.

Penelitian selanjutnya yang dikerjakan oleh Maman Abdurrohman, Aji Gautama Putrada, dan Mustafa Mat Deris pada tahun 2022 mengembangkan sebuah sistem kontrol akuarium berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan menerapkan algoritma *Decision Tree Regression* (DTR). Sistem tersebut dilengkapi dengan sensor suhu air, sensor TDS, sensor oksigen terlarut, pemanas air, kipas, dan filter *Reverse Osmosis* (RO) serta terintegrasi dengan aplikasi Android yang terhubung melalui protokol MQTT. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun terjadi keterlambatan hingga 800 kali dari kondisi normal, kemungkinan sistem tetap dapat berfungsi dengan baik dan menghindari kondisi kritis sebesar 99,99%. Penelitian tersebut berfokus pada penerapan objek di akuarium tertutup dengan penerapan metode DTR, sedangkan penelitian penulis saat ini menerapkan *Decision Tree* dengan algoritma CART. Serta penelitian terdahulu ini mengintegrasikan dengan aplikasi mobile, sedangkan penulis mengembangkan menggunakan website agar lebih mudah diakses melalui aplikasi peramban tanpa harus mengunduh aplikasi lain terlebih dahulu.

Penelitian yang dilakukan oleh Salim, Abdul Edidas pada tahun 2023 (Salim & Edidas, 2023b), Penelitian ini menghasilkan alat *monitoring* kualitas air otomatis yang berfokus pada budidaya ikan nila di Indonesia. Sistem yang dikembangkan menggunakan sensor pH, suhu DS18B20, dan turbidity sebagai parameter utama untuk menilai kualitas air. Ketika nilai parameter berada di luar ambang batas yang telah ditentukan, sistem secara otomatis memicu proses pergantian air melalui

aktivasi *relay*, dan kondisi kualitas air ditampilkan pada layar LCD. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini masih bersifat *threshold-based*, yaitu sistem bekerja berdasarkan ambang batas tanpa klasifikasi data. Sebaliknya, penelitian ini menerapkan pendekatan klasifikasi dengan algoritma *Decision Tree* untuk mengevaluasi mutu air kolam, sehingga pengambilan keputusan tidak hanya mengandalkan nilai batas tetapi juga mempertimbangkan pola data secara menyeluruh.

Penelitian yang dilakukan oleh Dhinakaran, S. Gopalakrishnan, M.D. Manigandan, T. P. Anish (Dhinakaran dkk., 2023) memperkenalkan sistem kontrol lingkungan berbasis IoT yang didukung oleh teknologi *ML* untuk budidaya ikan secara umum. Sistem ini dirancang untuk mengatur parameter lingkungan seperti suhu air, tingkat keasaman dan kelembapan, dengan tujuan meningkatkan produktivitas. sistem ini memanfaatkan beberapa algoritma seperti *Random Forest* untuk optimasi kondisi lingkungan, *Support Vector Machine* (SVM) sebagai sistem peringatan dini terhadap penyakit, serta *Gradient Boosting Machine* (GBM) untuk penjadwalan pemberian pakan. Selain itu, sistem ini juga menggunakan *Neural Network* untuk mengendalikan perangkat secara otomatis. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian penulis saat ini hanya berfokus pada klasifikasi mutu air kolam koi berdasarkan parameter suhu, pH, dan TDS menggunakan algoritma *Decision Tree*, tanpa integrasi multi-algoritma *machine learning*.

Terakhir, penelitian yang dilakukan oleh Hemal, Md Moniruzzaman Rahman, Atiqur Nurjahan Islam, Farhana Ahmed, Samsuddin Kaiser, M. Shamim Ahmed, Muhammad Raisuddin pada tahun 2024 (Hemal dkk., 2024a), mengembangkan sistem berbasis IoT dan machine learning yang tidak hanya memantau kualitas air tetapi juga memberikan rekomendasi jenis ikan yang sesuai untuk dibudidayakan. Sistem ini menggabungkan teknologi antarmuka web, di mana pengguna dapat memasukkan data kualitas air seperti suhu, keasaman, dan tingkat kekeruhan. Penelitian tersebut juga mengintegrasikan teknologi robot bernama Aquabot yang dapat digunakan untuk pengumpulan data dari berbagai titik di kolam. fokus utama penelitian tersebut adalah sistem rekomendasi berbasis kondisi air, dengan akurasi model *ensemble* mencapai 94%. Berbeda dengan

penelitian tersebut, penelitian ini tidak bertujuan memberikan rekomendasi jenis ikan, tetapi menilai kelayakan kualitas air bagi budidaya ikan koi mix melalui proses klasifikasi dengan algoritma *Decision Tree*.

Berdasarkan referensi penelitian terdahulu, penelitian ini berfokus dengan hanya menggunakan satu pendekatan yakni klasifikasi berbasis *Decision Tree* dengan menggabungkan struktur pohon CART dan rumus perhitungan dari algoritma C4.5 untuk mendapatkan hasil klasifikasi yang lebih optimal. Hal tersebut dilakukan karena struktur CART yang hanya menghasilkan dua cabang lebih sesuai pada penelitian ini, sementara perhitungan C4.5 dinilai lebih presisi dalam menentukan pemisahan data berdasarkan nilai informasi yang dihasilkan. Parameter yang digunakan pada penelitian ini pun terbatas pada tiga parameter utama yakni suhu, keasaman dan kekeruhan air. Penelitian ini juga menghasilkan antarmuka berbasis website yang dapat digunakan sebagai sarana pemantauan kondisi dan hasil klasifikasi kualitas air kolam.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Ikan koi

Ikan koi, yang dikenal dalam Bahasa Latin sebagai *Cyprinus carpio*, adalah salah satu ikan yang paling disukai oleh masyarakat. Ikan koi (*Cyprinus carpio koi*) merupakan salah satu ikan hias yang memiliki bentuk tubuh dan warna yang indah sehingga bernilai ekonomis tinggi (Andriani dkk., 2019).

Semua ikan koi, seperti semua pisces, memerlukan air untuk bertahan hidup. Salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan ikan koi adalah kualitas airnya. Suhu ideal untuk memelihara ikan koi adalah antara 25°C dan 32°C, tergantung pada kondisi air dan lingkungannya. pH air ideal untuk ikan koi adalah 6,5–8,0, tetapi pH 7,0–8,5 juga cocok (Suryanto dkk., 2021).

Tabel 2. 2 Parameter Air pada Kondisi Ideal Ikan Koi

Jenis Koi	Parameter	Satuan	Kategori		
			Optimal	Baik	Buruk
Mix	Suhu	°C	23-25	20-28	15-20 ; 28-30
	Keasaman	pH	7,2 – 7,5	7,0 -7,8	5,5-6,5 ; 8,0 -8,5
	Kekeruhan	ppm	20-80	0-150	200-300
Chagoi Ogon Yamabuki	Suhu	°C	25-29	20-30	15-20 ; 30-32
	Keasaman	pH	7,5 – 8,5	7,0 -8,7	5,5-7 ; 8,7-8,8
	Kekeruhan	ppm	75-100	0-150	200-300
Shiro	Suhu	°C	18-22	15-28	13-15; 28-30
	Keasaman	pH	7,5 – 8,5	7,0 -8,7	5,5-7 ; 8,7-8,9
	Kekeruhan	ppm	300-350	0-400	450-500
Showa Sanke	Suhu	°C	25-26	20-28	15-20 ; 28-30
	Keasaman	pH	6,8 – 7,4	6.5-;-7.5	5.5-6.5; 7,5-8.0
	Kekeruhan	ppm	250-300	0-350	400-450
Kohaku	Suhu	°C	25-28	20-30	15-20 ; 30-32
	Keasaman	pH	7,5 – 8,5	7,0 -8,7	5,5-7 ; 8,7-8,9
	Kekeruhan	ppm	75-100	0-150	200-300

2.2.2 Sistem Monitoring

Banyak digunakan dalam penelitian dan bisnis, sistem pemantauan dapat diakses melalui aplikasi ponsel dan web browser. Mereka menunjukkan data secara *real-time* dan cepat, dan mereka mudah digunakan untuk memantau data, sehingga

pengguna dapat memantau data pemantauan dari jarak jauh dan mempermudah penanganan masalah.

Sistem *monitoring* adalah sistem yang sangat diperlukan dalam sebuah aplikasi. Sistem *monitoring* disini berperan sebagai pemberi data yang nantinya akan diproses lebih lanjut setelah data terkirim dari sebuah sistem *monitoring* (Suryantoro, 2019).

2.2.3 *Decision Tree*

Decision Tree merupakan metode pengklasifikasian yang menggunakan struktur dari pohon. Setiap node dalam pohon mewakili suatu atribut, sementara daunnya menggambarkan kelas (Ramadhan dkk., 2023). Cabang-cabang dalam pohon mencerminkan nilai-nilai atribut dengan node akar sebagai node paling atas. Dengan kata lain, setiap node pembagi dalam pohon ini merupakan input dengan setidaknya dua keluaran

Pembentukan pohon keputusan dibuat dengan menentukan *root* dan *node*. *Root* dan *node* di dalam pohon keputusan ini didapatkan dengan menghitung nilai **Entropy** dan **Gain** pada masing-masing atribut.

Penentuan nilai entropy menggunakan persamaan

$$Entropy(S) = - \sum_{j=1}^n p_i \cdot \log_2 p_i \text{ -----2.1}$$

Keterangan:

S = himpunan kasus

N = jumlah partisi

Pi = proporsi Si terhadap S

Setelah itu, menentukan nilai gain dengan persamaan (2):

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} entropy(S_i) \text{ -----2.2}$$

Keterangan:

S – himpunan kanan

A = atribut

N = jumlah partisi atribut A

|Si| = jumlah kasus pada partisi ke-i

|S| = jumlah kasus dalam s

Metode pengklasifikasian dengan *Decision Tree* terdiri atas beberapa algoritma seperti ID3, C4.5, CART. Algoritma CART atau *Classification and Regression Trees* sendiri merupakan algoritma yang lebih umum dan sederhana sehingga lebih cocok untuk tugas pengklasifikasian. Algoritma tersebut memiliki kelebihan yakni tidak adanya asumsi distribusi variabel yang bebas yang harus dipenuhi sehingga memudahkan dalam proses klasifikasi pada data yang bersifat multivariabel. Hasil akhir dari algoritma ini juga memiliki bentuk yang lebih sederhana dan mudah untuk diinterpretasikan (Defran dkk., 2023).

Dalam melakukan proses klasifikasi, terdapat beberapa tahapan yang dilalui pada algoritma CART yakni pemilihan atribut serta kriteria pemisah, membangun pohon keputusan, pemangkasan pohon dengan tujuan menghindari *overfitting*, evaluasi serta validasi hasil. Seluruh proses tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa keputusan yang dihasilkan efektif dalam klasifikasi atau regresi (Agustin dkk., 2024).

2.2.4 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things berarti bahwa benda-benda dapat berkomunikasi melalui jaringan. Ini berarti bahwa mereka tidak perlu berkomunikasi dengan orang lain (manusia ke manusia) atau dengan perangkat sistem seperti komputer atau kontroler. Dalam hal memudahkan proses aliran data, teknologi *Internet of Things* (IoT) benar-benar mendukung kerja sistem secara keseluruhan, termasuk jarak jangkauannya yang lebih besar (Abdulfathah & Budhi Santoso, 2024).

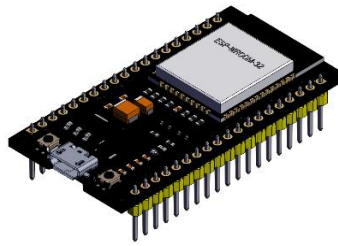
Konsep kerja dari sistem IoT mengacu pada tiga elemen pokok arsitekturnya yakni benda fisik yang diberikan modul IoT, alat penghubung ke jaringan internet seperti router atau modem serta cloud sebagai pusat data penempatan aplikasi dan database. IoT bekerja dengan melaksanakan perintah dari argument yang diberikan sehingga menghasilkan suatu interaksi mesin dengan mesin lainnya secara otomatis. Tugas manusia hanya sebagai pengatur dan pengawas dari alat yang bekerja (Sandi & Fatma, 2023).

2.2.5 ESP32 Mikrokontroler

Dalam beberapa penelitian, teknologi *Internet of Things* selalu dikaitkan dengan mikrokontroler, yang berfungsi sebagai komputer mikro yang tertanam

dalam chip. Beberapa peneliti memilih mikrokontroler ESP32 karena memiliki modul Wi-Fi dan dapat mengontrol pengoperasian mesin atau sistem.

Mikrokontroler ESP32 adalah chip yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan memiliki perangkat Bluetooth dan Wi-Fi. Chip ini sangat cocok untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things*.



Gambar 2. 1 ESP32 Mikrokontroler
(Sumber: <https://iotkece.com/apa-itu-esp32-spesifikasi-esp32/>)

Spesifikasi:

- a) NodeMCU menggunakan ESP-WROOM-32 *Module*
- b) Terdapat pin 30 GPIO
- c) *ESP32* menggunakan 32-bit *processor* dengan 2.4 GHz *Wif*
- d) 4MByte *memory*
- e) 520KByte RAM
- f) Memiliki daya 2.2V – 3.3V
- g) Menggunakan USB microB untuk power dan serial komunikasi

Jika dilihat dari spesifikasi pada tabel maka mikrokontroler ESP32 dapat dijadikan pilihan untuk digunakan pada alat peraga *interface* mikrokontroler karena mikrokontroler ini memiliki *interface* yang lengkap, juga memiliki WiFi yang sudah tertanam pada mikrokontroler sehingga tepat untuk digunakan pada alat peraga atau *trainer Internet of Things*.

2.2.6 Sensor Suhu *Waterproof* (DS18B20)

Sensor suhu DS18B20 adalah sensor pendeteksi suhu dalam air. Sensor suhu memiliki kemampuan yang tahan air (*Waterproof*) yang cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang sulit, atau basah. Sensor digital yang menggunakan *interface one-wire* ini mudah digunakan, namun tetap memiliki

kepresisian tinggi (0.5C). Tegangan operasionalnya 3-5V sehingga bisa dioperasikan oleh Raspberry atau Arduino, dan hanya membutuhkan 1 pin saja.



Gambar 2. 2 Sensor Suhu *Waterproof* (DS18B20)

(Sumber: <https://jogjarobotika.com/sensor-temperatur/250-sensor-suhu-water-proof-ds18b20.html>)

Spesifikasi:

- a. Original DS18B20 Chip
- b. Stainless steel shell: 6 X 50mm
- c. Power supply range: 3.0V to 5.5V
- d. Operating temperature range: -55C to +125C (-67F to +257F)
- e. Storage temperature range: -55C to +125C (-67F to +257F)
- f. Output lead: red (VCC), yellow (DATA), black (GND)

2.2.7 Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS)

Total Dissolved Solids atau tingkat kekeruhan air merupakan *sensor* untuk mendeteksi tingkat kekeruhan air. TDS (*Total Dissolved Solids*) menunjukkan berapa miligram padatan terlarut yang terlarut dalam satu liter air. Secara umum, semakin tinggi nilai TDS, semakin banyak padatan terlarut yang terlarut dalam air, dan semakin kurang bersihnya air tersebut. Oleh karena itu, nilai TDS dapat dijadikan salah satu acuan untuk mencerminkan kebersihan air.



Gambar 2. 3 Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS)

(Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Gambar-2-Sensor-TDS-TDS-Total-Dissolved-Solids-menunjukkan-berapa-miligram-padatan_fig2_362598220)

Spesifikasi:

- a) *Signal Transmitter Board*
- b) Tegangan Masukan: 3.3 ~ 5.5V
- c) Tegangan Keluaran: 0 ~ 2.3V
- d) Bekerja Saat Ini: 3 ~ 6mA
- e) Rentang Pengukuran TDS: 0 ~ 1000ppm
- f) Akurasi Pengukuran TDS: $\pm 10\%$ F.S. (25)
- g) Ukuran Modul: 42 * 32mm
- h) *TDS Probe*
- i) Jumlah Jarum: 2
- j) Panjang Total: 83cm
- k) Antarmuka Koneksi: XH2.54-2P
- l) Warna: Hitam

2.2.8 Analog pH Sensor

pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Total skala pH berkisar dari 1 sampai 14, dengan pH netral yaitu 7. Sebuah pH kurang dari 7 dikatakan asam dan air dengan pH lebih dari 7 adalah basa. Sensor pH merupakan kit *sensor* pengukur tingkat keasaman pada cairan (pH) yang menggunakan elektroda berstandar industri sebagai komponen pengideraan utamanya. *Elektroda* pada *sensor* ini terbuat dari membran kaca sensitif dengan impedansi kecil sehingga

dapat menghasilkan hasil pengukuran dengan respon yang cepat serta kestabilan terhadap suhu yang tinggi. Hasil pembacaan sensor dapat langsung diakses oleh mikrokontroler melalui antarmuka PH 2.0 yang terdapat pada sensor. Sensor ini sangat ideal untuk aplikasi pengukuran pH cairan dalam jangka panjang.



Gambar 2. 4 Analog pH Sensor

(<https://botland.store/gravity-temperature-sensors/5874-dfrobot-gravity-ph-analog-sensormeter-6959420908356.html>)

Spesifikasi:

- a) Daya 5 V
- b) Ukuran Modul: 43 mm x 32 mm
- c) Jangkauan Pengukuran: 0 – 14 pH
- d) Antarmuka: PH 2.0
- e) Indikator Data: LED

2.2.9 Solenoid Valve 1/4 inch

Solenoid valve adalah katup yang dikendalikan oleh arus AC atau DC melalui coil/solenoida. Katup Solenoid adalah elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem *pneumatic*, sistem hidrolik atau sistem kontrol mesin memerlukan elemen kontrol otomatis.



Gambar 2. 5 Solenoid Valve 1/4 inch

(<https://www.jakartanotebook.com/p/easyelec-electric-solenoid-water-valve-220v-2-point-1-or-4-inch-2w-025-08-black>)

Spesifikasi:

- | | |
|---------------------|------------------------------|
| a. Media | : <i>Air, Water, and Oil</i> |
| b. Valve body | : Brass |
| c. Working Pressure | : 0 - 7 bar |
| d. Max Pressure | : 0 - 10 bar |
| e. Port Size | : 1/4" |
| f. Initial State | : Normal Close |
| g. Voltage | : 220VAC |

2.2.10 PHP

PHP merupakan singkatan dari “*Hypertext Preprocessor*”. PHP adalah sebuah Bahasa *scripting* yang terpasang pada HTML. Sebagian besar sintaknya mirip dengan bahasa pemrograman C, Java, ASP dan Perl ditambah beberapa fungsi PHP yang Spesifik dan mudah dimengerti. PHP digunakan untuk membuat tampilan web menjadi lebih dinamis, dengan PHP anda bisa menampilkan atau menjalankan beberapa file dalam 1 file dengan cara di *include* dan *require*. PHP itu sendiri sudah dapat berinteraksi dengan beberapa database walaupun dengan kelengkapan yang berbeda yaitu seperti DBM,MySQL,Oracle (Putri Permata Sari dkk., 2023). Meskipun PHP sendiri memiliki keunggulan sebagai bahasa

pemrograman yang bersifat *open-source* yang memungkinkan penggunanya dapat memodifikasi dan mengembangkan aplikasi sesuai keinginan, bahasa pemrograman PHP Native juga memiliki beberapa keterbatasan. PHP Native dikembangkan secara individual, yakni dengan tanpa campur tangan pengembang lain sehingga kode tersebut hanya diketahui oleh pembuat kodenya. Hal tersebut menyulitkan proses pembelajaran kode di masa mendatang terutama apabila tidak ada dokumentasi kode yang disusun dengan baik. Selain itu, proses mendesain website berskala menengah maupun besar dengan bahasa ini memerlukan waktu yang lebih lama karena fungsi kodenya harus diulang ke fungsi kode lainnya sehingga berpotensi dapat menyebabkan *error* atau *bug* yang lebih besar (Endra dkk., 2021).

2.2.11 Framework Laravel

Framework adalah istilah yang digunakan untuk menyebut sebuah kerangka kerja pada pengembangan perangkat lunak. Framework biasanya berisi pengaturan pada komponen-komponen tertentu yang telah dibuat dengan fungsinya masing-masing untuk mempermudah proses pengembangan. Laravel adalah salah satu jenis *framework* yang dirilis di bawah lisensi MIT dan dibangun dengan basis bahasa pemrograman PHP (Fauzi & Darmawan, 2023).

Laravel adalah pengembangan *website* berbasis MVC yang ditulis dalam PHP yang dirancang untuk meningkatkan kualitas perangkat lunak dengan mengurangi biaya pengembangan awal dan biaya pemeliharaan, dan untuk meningkatkan pengalaman bekerja dengan aplikasi dengan menyediakan sintaks yang ekspresif, jelas dan menghemat waktu (Triana dkk., 2021).

2.2.12 MySQL (*My Structured Query Language*)

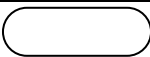
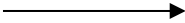
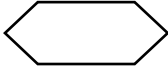
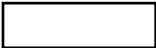
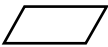
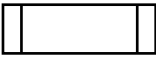
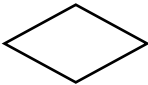

MySQL adalah *software* atau program aplikasi *database*, yaitu *software* yang dapat dipakai untuk menyimpan data berupa informasi, teks dan juga angka. MySQL menjadi pilihan beberapa developer di dunia. Karena kelebihan dari mysql ini yaitu mampu integrasi dengan bahasa pemrograman lain, tidak butuh RAM besar dan bersifat *open source*. MySQL adalah salah satu jenis *database* server yang sangat terkenal. Kepopulerannya disebabkan MySQL menggunakan SQL sebagai bahasa dasar untuk mengakses *databasenya*. MySQL termasuk jenis


RDBMS (*Relational Database Management System*). Pada MySQL, sebuah *database* mengandung satu atau sejumlah tabel. Tabel terdiri atas sejumlah baris dan setiap baris mengandung satu atau beberapa kolom.

2.2.13 Flowchart

Pengertian Flowchart atau diagram alir merupakan bagan (*Chart*) yang mengarahkan alir (*flow*) di dalam prosedur atau program sistem secara logika. Flowchart adalah cara untuk menjelaskan tahap-tahap pemecahan masalah dengan merepresentasikan simbol-simbol tertentu yang mudah dipahami, mudah digunakan dan standar.

Tabel 2. 3 Flowchart

Simbol	Nama	Fungsi
	<i>Start</i>	Permulaan/akhir program
	Garis alir (<i>Flow line</i>)	Arah aliran program
	<i>Preparation</i>	Proses inisialisasi/pemberian nilai awal
	<i>Process</i>	Proses perhitungan/pengolahan data
	<i>Input/Output Data</i>	<i>Input/output</i> data, parameter, informasi
	<i>Predefined process</i> (Sub program)	Permulaan proses menjalankan program
	<i>Decision</i>	Perbandingan pernyataan, penyeleksian data yang memberikan pilihan untuk langkah selanjutnya
	<i>On page connector</i>	Penghubung bagian bagian <i>flowchart</i> yang berada pada satu halaman

Simbol	Nama	Fungsi
	<i>Off page connector</i>	Penghubung bagian – bagian <i>flowchart</i> yang berada pada halaman berbeda

2.2.14 *Blackbox Testing*

Pengujian perangkat lunak dengan metode *Blackbox Testing* adalah metode pengujian untuk memvalidasi hasil aplikasi berdasarkan data uji atau input yang diberikan dengan tujuan untuk memastikan sisi fungsional telah sesuai dengan kebutuhan yang didefinisikan sebelumnya. Metode pengujian ini berfokus pada *interface* atau tampilan serta kesesuaian alur fungsi yang dibutuhkan oleh pengguna sehingga pada metode ini tidak dilakukan pengujian pada *source code* program (Mintarsih, 2023).

Kelebihan dari pengujian dengan metode ini yakni tidak diperlukannya pengetahuan khusus mengenai bahasa pemrograman tertentu karena pengujian dilakukan dari perspektif pengguna. Hasil dari pengujian ini dapat digunakan untuk mendeteksi kesalahan dalam berbagai kategori meliputi ketidaksesuaian fungsi, kesalahan struktur data atau saat mengakses basis data eksternal, kesalahan inisiasi serta kesalahan antarmuka (Lubis & Ginting, 2024).

BAB 3 METODE PENELITIAN

3. 1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

3.1.1 Tempat Pelaksaan

Tempat pelaksanaan penelitian skripsi yang berjudul “Sistem Pengendalian Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*” bertempat di The genKs Koi 99 Farm (sentral Ikan koi), Gumuksari, Tegal Besar, Kec. Kaliwates, Kabupaten Jember, Jawa Timur 68131.

3.1.2 Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian skripsi ini dilakukan dalam rentang waktu 13 bulan, yaitu dimulai dari bulan Mei 2024 hingga bulan Juni 2025. Rincian kegiatan terbagi menjadi beberapa tahap, seperti studi literatur, perancangan alat, pengolahan dan analisis data, implementasi sistem serta pengujian sistem. Tabel 3.1 memberikan peta yang jelas untuk melaksanakan penelitian

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan	2024			2025				
	Mei	Jun	Jul	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei
Studi literatur								
Perancangan Alat								
Pengolahan dan Analisis Data								
Implementasi Sistem								
Pengujian Sistem								

3. 2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian berjudul “Sistem Pengendalian Kualitas Air Pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*” ini antara lain sebagai berikut:

3.2.1 Alat

- a. Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan adalah Laptop Lenovo Thinkpad X270 dengan sistem operasi windows 11, SSD 512GB, RAM 16 GB serta CPU Intel corei5 gen7.
- b. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan sebagai berikut:
 - 1) Google Chrome
 - 2) Laragon sebagai *local server environment*
 - 3) Visual Studio Code sebagai *code editor*
 - 4) Microsoft word sebagai *tools* menulis laporan akhir
 - 5) Mendeley sebagai *reference manager*
 - 6) Arduino IDE

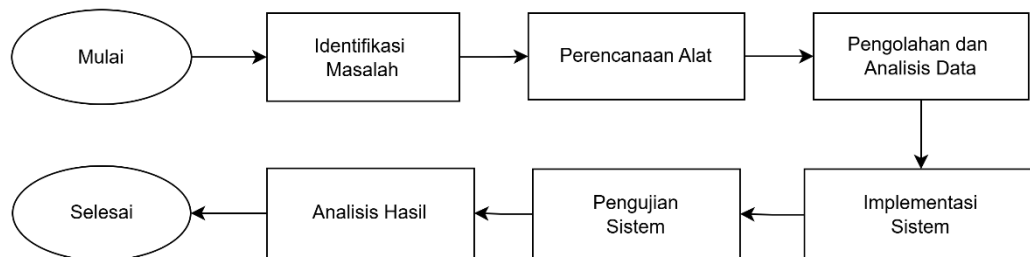
3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

- a. *ESP32*
- b. *Breadboard Arduino*
- c. *Sensor Suhu DS18B20*
- d. Resistor 4700 Ohm
- e. *Sensor pH-4502C*
- f. *Sensor TDS SEN0244*
- g. Solenoid Valve 1/4 inch 220VAC Kuningan 2w-025-08
- h. Kabel *micro usb*
- i. Kabel *jumper*
- j. Papan PCB
- k. Saklar

3. 3 Tahapan Penelitian

Kegiatan yang dilakukan selama masa pelaksanaan pelitian dapat dilihat di pada Gambar 3.1 sebagai berikut



Gambar 3. 1 Langkah Penelitian

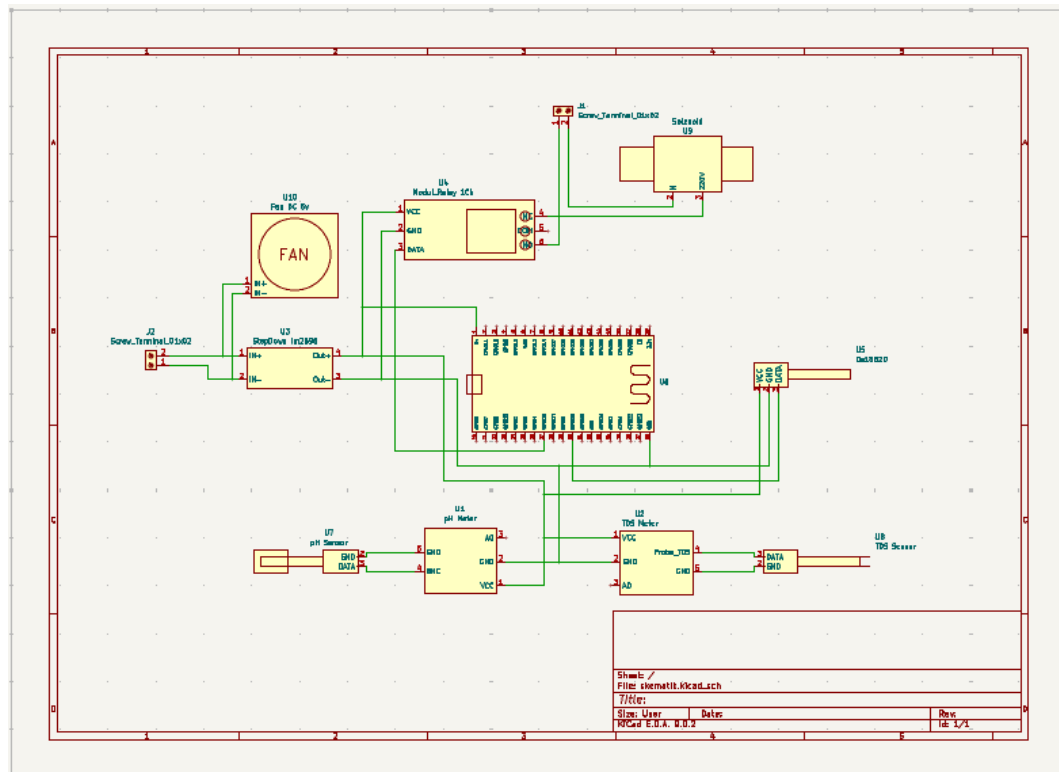
a. Identifikasi Masalah

Tahap awal dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan identifikasi masalah, yang bertujuan untuk merumuskan permasalahan yang dihadapi secara jelas. Melalui tahapan ini, diperoleh informasi awal terkait kebutuhan yang harus dipenuhi untuk merancang solusi yang tepat terhadap permasalahan yang ada. Dalam penelitian ini, tahapan identifikasi masalah dilaksanakan di The genKs Koi 99 Farm sebagai lokasi pusat budidaya ikan koi. Berdasarkan rumusan permasalahan yang didapat pada tahap ini, penulis melanjutkannya ke proses studi literatur untuk mengumpulkan teori terkait dengan penelitian yang dilakukan. Pengumpulan landasan teori didapat dari artikel ilmiah, jurnal penelitian, skripsi terdahulu serta berbagai publikasi lainnya. Adapun beberapa informasi yang peneliti kumpulkan meliputi teknologi yang dapat digunakan sebagai alat pemantauan kondisi kualitas air serta algoritma klasifikasi untuk mengklasifikasikan kondisi air. Dengan mempelajari landasan teori dari penelitian terdahulu, diharapkan penelitian ini dapat menerapkan solusi yang tepat untuk diterapkan.

b. Perancangan Alat

Pada tahap ini dilakukan kegiatan pengembangan sistem berbasis IoT untuk mengendalikan kualitas air ikan koi. Proses ini mencakup perancangan sistem, *assembly* alat serta pemasangan alat di lokasi. Sistem yang dirancang untuk mengontrol kualitas air memiliki berbagai sensor meliputi sensor pH, sensor TDS,

sensor suhu, dan mikrokontroler ESP32. Gambar 3.2 menunjukkan desain skematik perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 2 Skematik Alat Penentuan Kualitas Air

Alat ini dirancang untuk menyalakan kran air dari sumber air ke kolam ikan secara *real-time*. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari

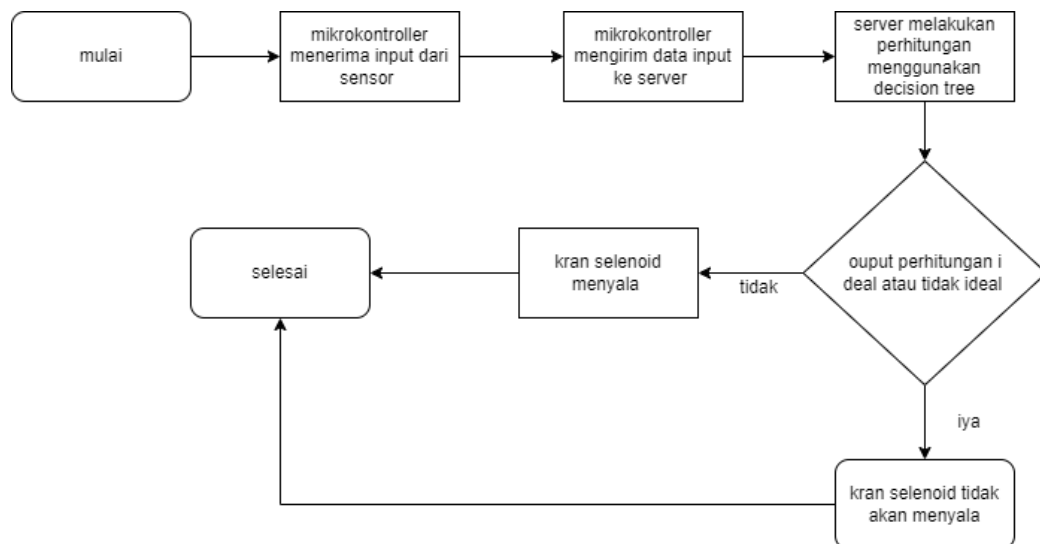
- 1) Sensor PH-4502C digunakan untuk mengukur pH kolam koi. Dengan menggunakan tegangan 3.3–5v, sensor pH dapat mendeteksi tingkat pH dari 0–14 pH dan menunjukkan apakah kolam tersebut asam, netral, atau basa.
- 2) Untuk mengukur tingkat kemurnian air pada kolam ini, digunakan sensor TDS SEN0244. Sensor ini dapat mendeteksi tingkat kemurnian air dengan akurasi antara 0 dan 1000 ppm. Sebelum digunakan, sensor harus dikalibrasi agar nilai yang dihasilkan tepat. Sensor TDS menerima tegangan 3.3 hingga 5v dan mengeluarkan tegangan 0 hingga 2.3v.
- 3) Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu dalam kolam ikan koi. Itu dihubungkan ke modul sensor suhu DS18B20 untuk bekerja

dengan baik dan memiliki kelebihan bahwa itu tahan air, sehingga cocok untuk digunakan di dalam air.

- 4) Mikrokontroler ESP32 akan menyimpan data dari 3 sensor. Sebagai modul mikrokontroler, ESP32 akan mengirimkan ketiga data yang dikumpulkan oleh sensor melalui jaringan internet. Dengan fitur hotspot koneksi internet, proses *upload* data ke server menjadi lebih mudah.
- 5) Solenoid digunakan sebagai katup pembuka dan penutup aliran air.

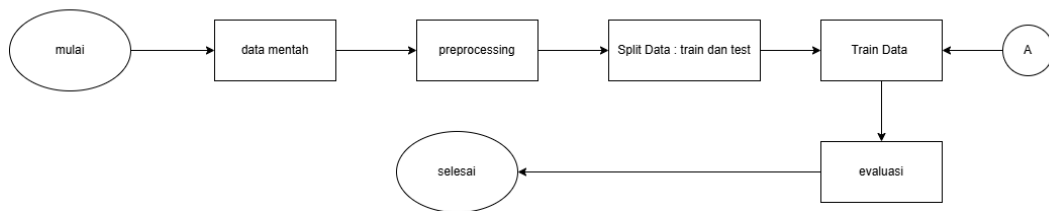
c. Pengolahan dan Analisis Data

Sistem pengendalian kualitas air kolam ikan koi ini bekerja dengan mengolah data input yang diterima melalui sensor yang terpasang pada kolam. Setelah menerima input data dari sensor, mikrokontroler akan mengirim data tersebut ke server. Di server, data akan diproses menggunakan algoritma *Decision Tree* untuk menentukan kondisi air. Jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa kualitas air adalah ideal, maka kran solenoid tidak akan menyala. Namun, jika hasil perhitungan menunjukkan bahwa kualitas air tidak ideal, maka kran solenoid akan menyala untuk memperbaiki kondisi air. Gambaran alur kerja sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut,



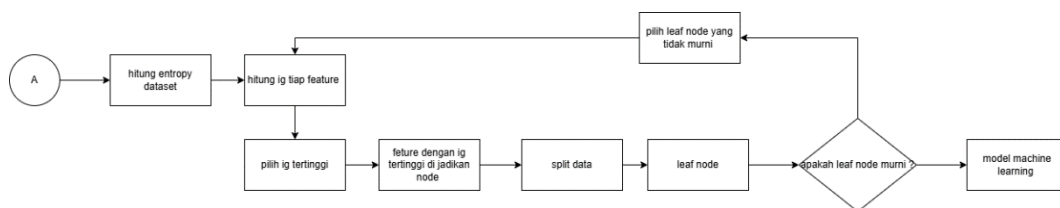
Gambar 3. 3 Alur Kerja Sistem

Dalam proses pengolahan data menggunakan algoritma *Decision Tree*, terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan. Gambar 3.4 menjelaskan alur perhitungan yang diterapkan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 4 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data diawali dengan proses *preprocessing data*, yang mencakup *data cleaning*, *labelling*, transformasi data, serta analisis korelasi antar fitur. Setelah seluruh proses *preprocessing* selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah tahap data *training*. Dataset yang tersedia dibagi dengan rasio 80:20, di mana 80% digunakan sebagai *data train*, sementara 20% sisanya digunakan sebagai *data test*.

Gambar 3. 5 Tahapan *Training* Data

Pada tahapan *training* data, dilakukan pelatihan data menggunakan algoritma *Decision Tree*. Proses pelatihan tersebut digambarkan pada flowchart yang dapat dilihat pada Gambar 3.5. Dalam proses pembentukan pohon keputusan, tahap awal dimulai dengan menghitung tingkat keberagaman data. Selanjutnya, dilakukan perulangan terhadap tiga parameter fitur untuk menghitung nilai *Information Gain* atau IG dari masing-masing untuk menentukan pemilihan *node* terbaik. Fitur dengan nilai IG tertinggi dipilih sebagai *root node*, kemudian data dibagi berdasarkan fitur tersebut. Setelah pembagian, setiap *leaf* diperiksa untuk menentukan apakah data dalam *leaf* tersebut telah beragam. Jika belum, maka salah satu *leaf* akan dijadikan *node* berikutnya, dan seterusnya hingga menemukan *leaf* yang memiliki data beragam sebagai *leaf* akhir atau kesimpulan.

Setelah proses *training* data, dilakukan tahap evaluasi untuk mengukur tingkat akurasi model dengan menggunakan *confusion matrix*. Apabila model

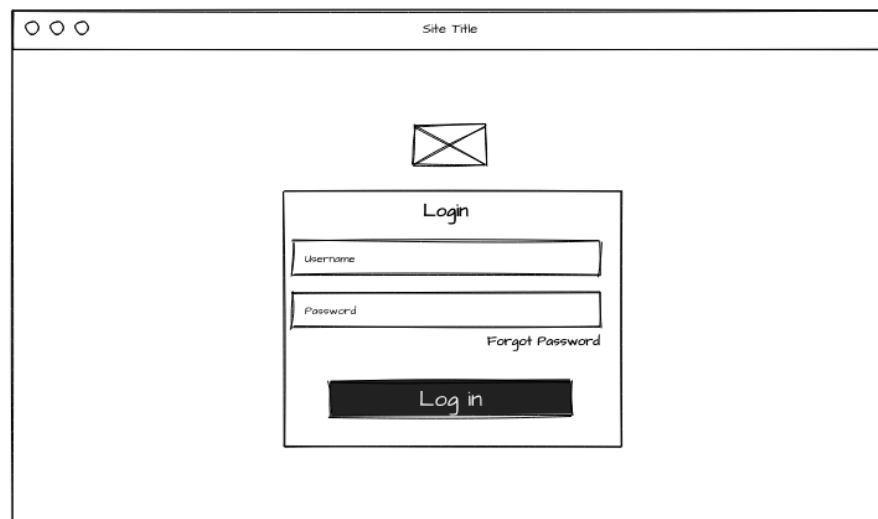
menunjukkan hasil yang optimal, maka model tersebut akan dilanjutkan ke tahap implementasi untuk digunakan dalam sistem yang sebenarnya.

d. Implementasi Sistem

Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini meliputi

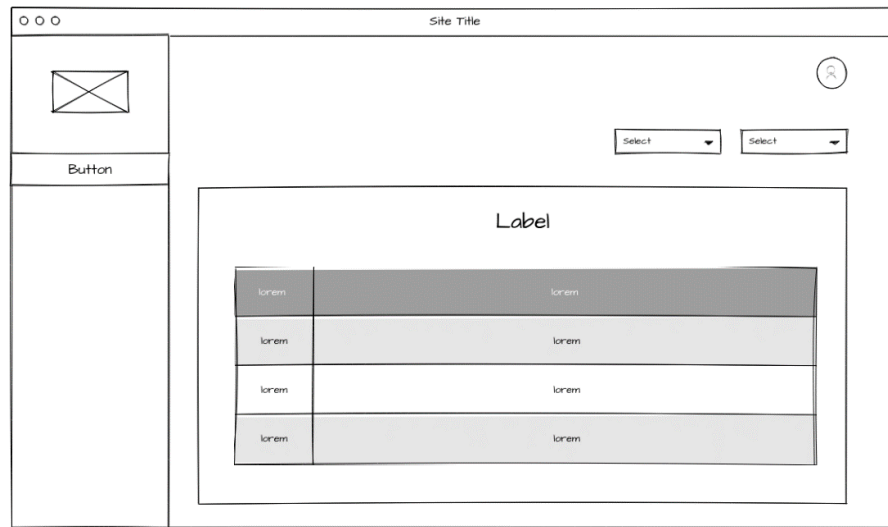
1) Implementasi Perangkat Lunak

Pada tahapan ini, dilakukan pengembangan website dengan mengimplementasikan desain *wireframe* kedalam baris kode.



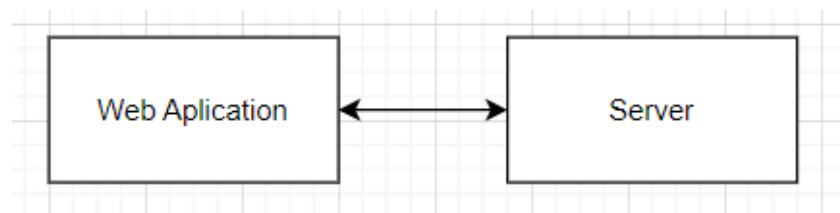
Gambar 3. 6 Wireframe Halaman Login

Gambar 3.6 diatas menjelaskan tampilan halaman *login*, sedangkan Gambar 3.7 dibawah menjelaskan tampilan halaman admin untuk *monitoring* dari sistem berbasis website yang akan dikembangkan. Proses implementasi desain website tersebut dilakukan dengan menggunakan *framework* Laravel dan bahasa PHP.



Gambar 3. 7 Wireframe Halaman Admin

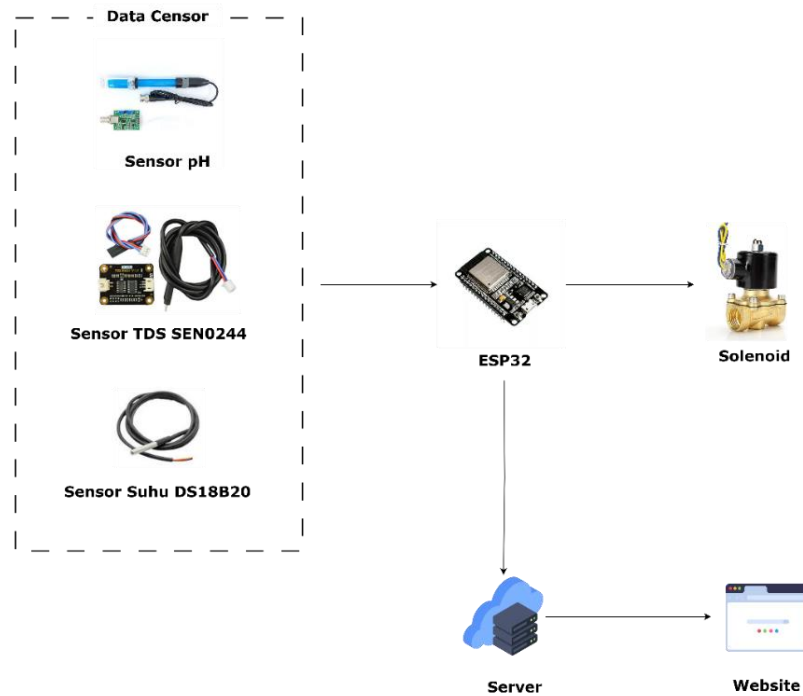
Setelah proses pembuatan tampilan website selesai, dilakukan proses *hosting* website pada server yang tersedia. Tahapan ini bertujuan agar website dapat diakses secara *real-time* oleh pengguna.



Gambar 3. 8 Perancangan Perangkat Lunak

2) Proses Integrasi *Software* dan *Hardware*

Perangkat lunak yang telah selesai dikembangkan harus diintegrasikan dengan perangkat keras. Pada tahapan ini, dibuat API (*Application Programming Interface*) yang akan digunakan untuk mengirim dan menerima data dari sensor IoT ke server dan sebaliknya. Metode *Decision Tree* akan digunakan untuk memasukkan data yang diterima ke dalam database untuk proses penentuan kualitas air. Setelah itu, hasil analisis akan dikirim kembali ke perangkat IoT untuk diproses. Selain itu, situs web tersebut hanya akan digunakan sebagai platform untuk memantau kualitas air.



Gambar 3. 9 Proses Integrasi *Software* dan *Hardware*

Proses integrasi antara perangkat lunak dan perangkat keras dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.8. Dalam sistem ini, data yang berasal dari berbagai sensor akan dipantau secara *real-time* oleh web server. Selanjutnya, data tersebut diproses menggunakan perhitungan berbasis algoritma *Decision Tree* CART untuk menentukan kategori kualitas air. Berdasarkan hasil klasifikasi tersebut, jika kualitas air berada dalam kondisi baik, maka kran solenoid tidak akan diaktifkan. Sebaliknya, jika kualitas air dikategorikan buruk, maka kran solenoid akan otomatis menyala untuk melakukan pergantian air

e. Pengujian Sistem

Pengujian sistem perangkat lunak dan perangkat keras adalah langkah berikutnya setelah tahapan implementasi. Pengujian dilakukan untuk memberikan validasi bahwa sistem yang dikembangkan telah berjalan dengan baik serta dapat memenuhi kebutuhan pengguna. Pengujian yang dilakukan terdiri dari dua tahapan yakni

1) Pengujian Perangkat Keras

Proses pengujian ini meliputi uji fungsionalitas untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik dan normal sehingga tidak ada masalah di kemudian hari. Selain itu, dilakukan juga pengujian akurasi dengan membandingkan kinerja alat pendeteksi kualitas air kolam koi dengan alat manual untuk mengetahui seberapa akurat alat tersebut.

2) Pengujian Perangkat Lunak

Proses pengujian perangkat lunak dilakukan dengan metode *Black Box Testing* untuk menguji fungsionalitas website yang telah dikembangkan telah memenuhi spesifikasi dan kebutuhan pengguna.

f. Analisis Hasil

Tahap ini merupakan tahap menganalisis hasil penelitian yang telah dilakukan. Analisis yang dilakukan mencakup analisis hasil *Perhitungan Decision Tree* dengan membandingkannya dengan perhitungan manual. Dilakukan juga evaluasi terhadap implementasi perangkat IoT ditinjau dari aspek fungsionalitas, yang meliputi kemampuan sensor dan aktuator dalam menjalankan tugas sesuai skenario yang dirancang.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Masalah

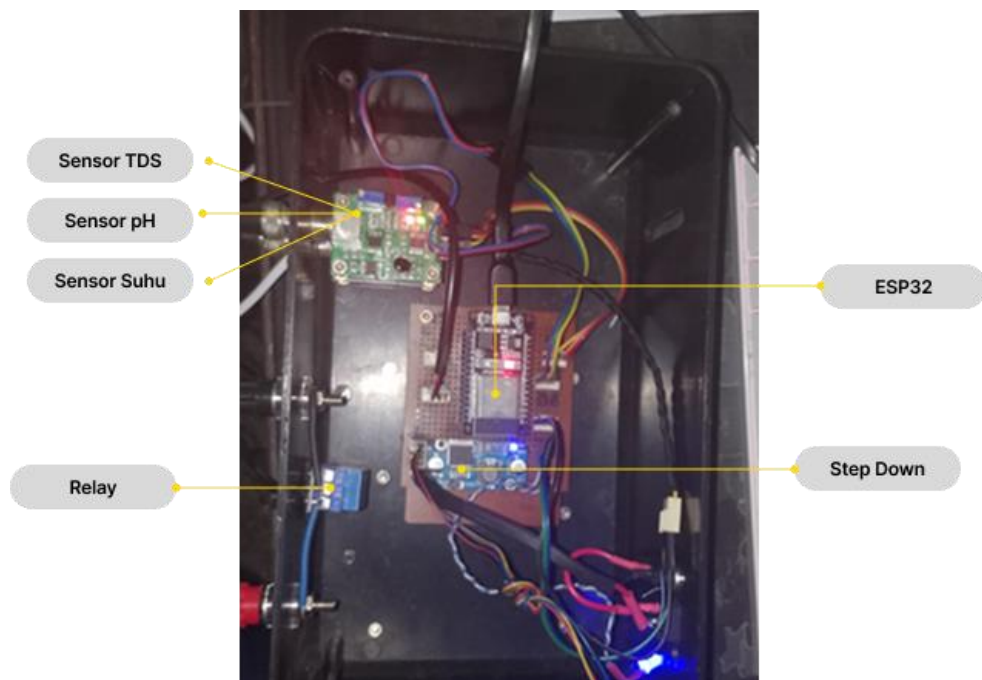
Pada tahap awal penelitian, dilakukan proses identifikasi permasalahan yang dihadapi oleh mitra, yaitu pemilik sentral budidaya ikan koi The genKs Koi 99 Farm. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara langsung kepada Bapak Puguh Dwi Santoso selaku pemilik dan pengelola sentral koi, ditemukan bahwa pengendalian kualitas air pada kolam ikan masih dilakukan secara manual. Metode ini terbukti tidak efisien karena membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup besar. Selain itu, pengecekan parameter kualitas air seperti suhu, dan kekeruhan dilakukan secara berkala tanpa alat yang terstandarisasi, sehingga tidak dapat diketahui secara pasti tingkat akurasi. Proses pengurusan air pun juga masih dilakukan secara manual, dan baru dilakukan jika kondisi air terlihat sudah memburuk.

Berdasarkan berbagai permasalahan tersebut, penulis kemudian melanjutkan ke tahap studi literatur untuk mengumpulkan informasi terkait penelitian yang telah dilakukan sebelumnya melalui berbagai sumber seperti buku dan jurnal. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi *Internet of Things* (IoT) banyak diterapkan dalam pembuatan sistem *monitoring* dan *controlling* kualitas air pada kolam ikan, dengan algoritma *Decision Tree* sebagai salah satu metode yang sering digunakan pada klasifikasi sejenis seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 2.1.

Berlandaskan dari hasil tersebut, penelitian ini menerapkan algoritma serupa yakni *Decision Tree* CART dalam mengembangkan sistem penentuan kualitas air berbasis IoT pada kolam ikan koi di The GenKs Koi 99 Farm. Sistem berbasis IoT tersebut mengambil data dari ketiga parameter kualitas air yakni nilai keasaman, suhu dan kekeruhan untuk kemudian diklasifikasikan kategori kualitas airnya menggunakan algoritma *Decision Tree* CART. Hasil klasifikasi ditampilkan pada antarmuka website yang dapat diakses langsung oleh pengguna. Sistem tersebut juga tersambung dengan kran solenoid untuk mengaktifkan aliran air sebagai upaya penggantian air otomatis saat kondisi air berada pada kategori buruk.

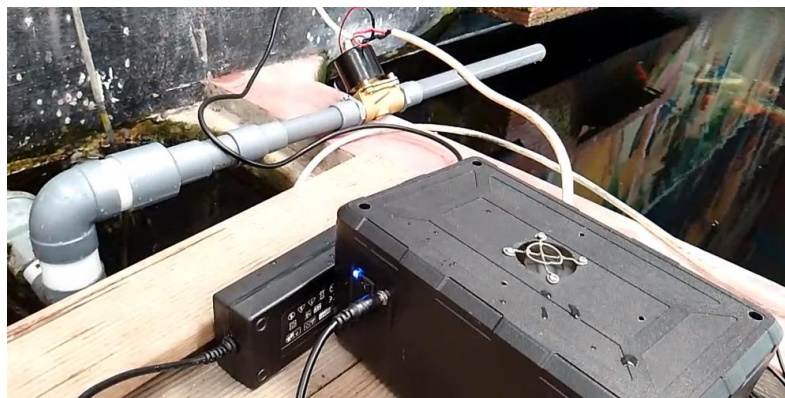
4.2 Perancangan Alat

Pada tahapan ini, dilakukan proses *assembly* perangkat keras yang digunakan dalam sistem pengendalian kualitas air kolam ikan koi. Komponen yang terpasang meliputi sensor pH, sensor suhu DS18B20 dan sensor kekeruhan air (TDS) yang telah tersambung dengan mikrokontroler ESP32. Keseluruhan komponen yang telah di rangkai kemudian dimasukkan dalam box seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Rangkain Perangkat Keras

Box yang berisi rangkaian perangkat keras tersebut dipasang pada bagian tepi kolam bersama dengan kran solenoid seperti yang ada pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4. 2 Hasil Pemasangan Alat

Data yang diperoleh dari masing-masing sensor kemudian diteruskan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Mikrokontroler tersebut bertugas mengirimkan data yang telah diterima ke database MySQL melalui koneksi jaringan agar dapat diakses dan dianalisis lebih lanjut pada tahap selanjutnya.

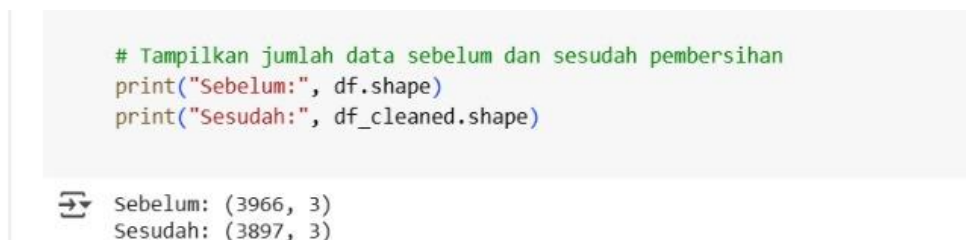
4.3 Pengolahan dan Analisis Data

Setelah data dari sensor diterima dan dikirimkan oleh mikrokontroler ESP32 ke database MySQL, sistem secara otomatis mencatat setiap hasil pembacaan dari sensor tersebut. Parameter yang terekam mencakup nilai keasaman, suhu, dan tingkat kekeruhan air, yang masing-masing diperoleh dari sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor TDS. Data tersebut kemudian di *export* dalam format CSV untuk kemudian diunggah pada platform Google Colab untuk dilakukan perhitungan dengan algoritma *Decision Tree* CART.

4.3.1 *Preprocessing Data*

a. *Data Cleaning*

Tahap ini bertujuan untuk membersihkan data awal dari data yang tidak relevan dalam proses analisis selanjutnya. Dari keseluruhan data yang tersedia, kolom yang digunakan hanya meliputi nilai keasaman, suhu air, serta kekeruhan. Proses pembersihan data ini juga mencakup penghapusan data tidak valid, yaitu data dengan nilai di luar rentang normal sensor. Contohnya, parameter nilai keasaman atau pH yang melebihi angka 14 akan dianggap tidak valid dan dihapus dari dataset. Dari keseluruhan data awal yang berjumlah 3966 data, setelah proses *cleaning* dilakukan, total data valid secara keseluruhan menjadi sebanyak 3897.



```
# Tampilkan jumlah data sebelum dan sesudah pembersihan
print("Sebelum:", df.shape)
print("Sesudah:", df_cleaned.shape)
```

Sebelum: (3966, 3)
Sesudah: (3897, 3)

Gambar 4. 3 Jumlah Data

Hasil dari penghapusan data tersebut menghasilkan tabel seperti yang ada pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Contoh Hasil Data

	pH	Suhu	TDS
0	5.6	27.6	516
1	6.1	27.6	140
2	3.1	27.6	524
3	6.2	27.6	510
4	4.2	27.6	534

b. *Labelling*

Proses selanjutnya adalah melakukan *labelling* terhadap dataset yang ada. Pada proses ini, setiap data dikategorikan ke dalam tiga kelas kualitas air, yaitu optimal, baik, dan buruk, berdasarkan rentang nilai parameter yang telah ditentukan. Hasil dari proses *labelling* ini, akan menambahkan kolom bernama “newlabel” seperti Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Contoh Hasil Proses *Labelling*

	pH	Suhu	TDS	newlabel
0	5.6	27.6	516	Buruk
1	6.1	27.6	140	Buruk
2	3.1	27.6	524	Buruk
3	6.2	27.6	510	Buruk
4	4.2	27.6	534	Buruk

Penetapan kategori kelas kualitas air yakni optimal, baik, dan buruk berdasarkan pada standar kualitas air untuk ikan koi jenis mix sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.2. Penilaian dilakukan dengan mempertimbangkan tiga parameter utama, yaitu tingkat keasaman, suhu, dan kekeruhan air. Ketiga parameter tersebut harus berada pada kategori yang sama untuk dapat diberikan label kualitas tertentu. Sistem penilaian ini menggunakan logika AND, sehingga

apabila salah satu parameter berada dalam kategori buruk, maka keseluruhan label kualitas air akan dikategorikan sebagai buruk.

c. Data Transformation (Label Encoding)

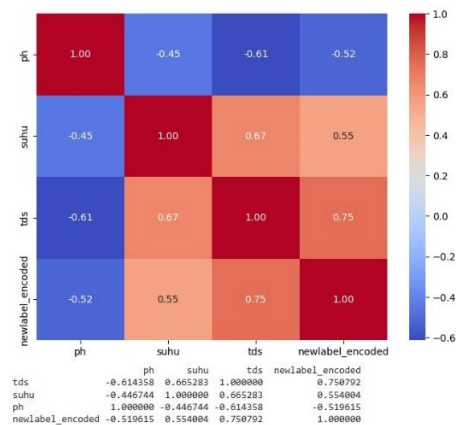
Proses selanjutnya yakni melakukan transformasi data untuk mengubah nilai kategori pada kolom newlabel menjadi nilai numerik dengan memanfaatkan *LabelEncoder* dari *library scikit-learn*. Hasil dari proses ini menghasilkan satu kolom tambahan bernama newlabel_encode, yang berisi representasi numerik unik untuk masing-masing kategori seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut

Tabel 4. 3 Contoh Hasil Proses *Data Transformation*

	pH	Suhu	TDS	newlabel	newlabel_encode
0	5.6	27.6	516	Buruk	1
1	6.1	27.6	140	Buruk	1
2	3.1	27.6	524	Buruk	1
3	6.2	27.6	510	Buruk	1
4	4.2	27.6	534	Buruk	1

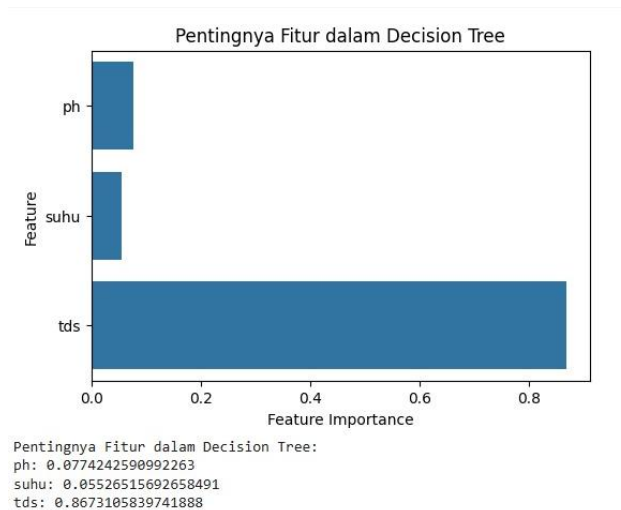
d. Cek Korelasi Fitur

Proses selanjutnya yakni melakukan analisis korelasi antar fitur menggunakan visualisasi *heatmap*. Berdasarkan Gambar 4.4, dapat dilihat bahwa nilai korelasi mendekati 1.0 menunjukkan korelasi yang tinggi antara fitur dan variabel target, dalam hal ini newlabel_encoded. Semakin mendekati nilai 1.0, maka semakin tinggi tingkat keterkaitan fitur terhadap target, sehingga fitur tersebut dianggap lebih relevan untuk proses pemodelan.



Gambar 4. 4 Korelasi antar Fitur pada *Heatmap*

Setelah itu, dilakukan analisis *feature importance* untuk mengidentifikasi fitur mana yang memiliki kontribusi paling signifikan dalam proses klasifikasi menggunakan algoritma *Decision Tree* CART. Gambar 4.5 menunjukkan hasil dari proses *feature importance*.



Gambar 4. 5 Hasil *Feature Importance*

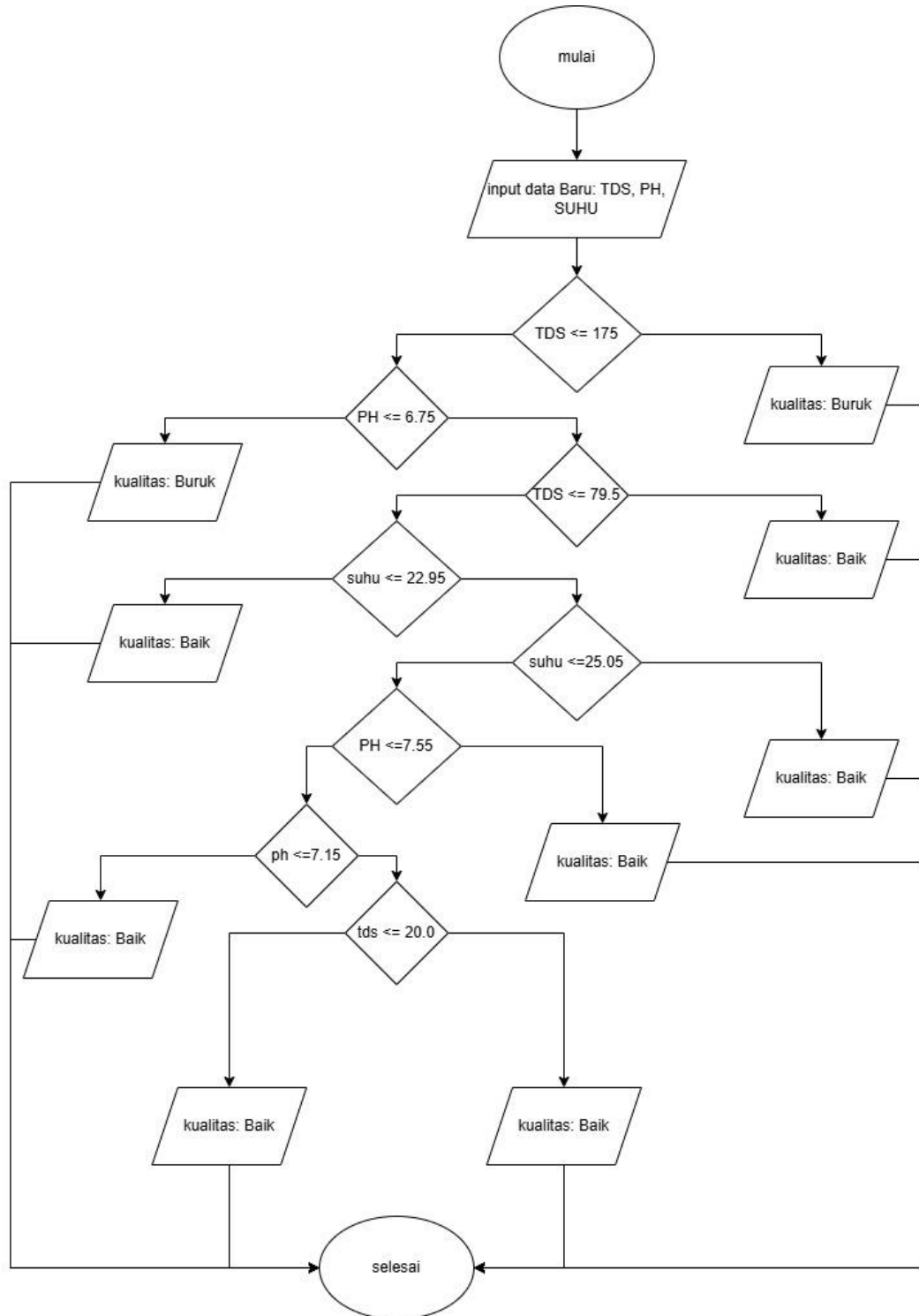
Berdasarkan hasil tersebut, variabel kekeruhan atau TDS menunjukkan tingkat kepentingan tertinggi dengan skor sebesar 0.87, diikuti oleh variabel keasaman atau pH sebesar 0.077, dan suhu dengan skor sebesar 0.055. Semakin tinggi nilainya maka variabel tersebut akan diprioritaskan untuk di cek terlebih dahulu. Sehingga dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam proses klasifikasi kualitas air, parameter kekeruhan merupakan indikator utama yang perlu diperhatikan terlebih dahulu kemudian parameter keasaman dan suhu.

4.3.2 Data Training

Pada tahap pelatihan model, dataset dibagi dengan rasio 80:20. Pemilihan persentase pembagian tersebut didasari oleh Pareto Rule. Prinsip yang juga dikenal dengan sebutan aturan 80/20 merupakan teori yang menetapkan 80% dari output berasal dari 20% efek yang tidak proporsional antara input dan output (Amatullah dkk., 2022).

Dengan menerapkan aturan tersebut, dari total 3897 data sebanyak 80% atau 3117 data digunakan sebagai data latih sementara 20% sisanya atau sebanyak 780

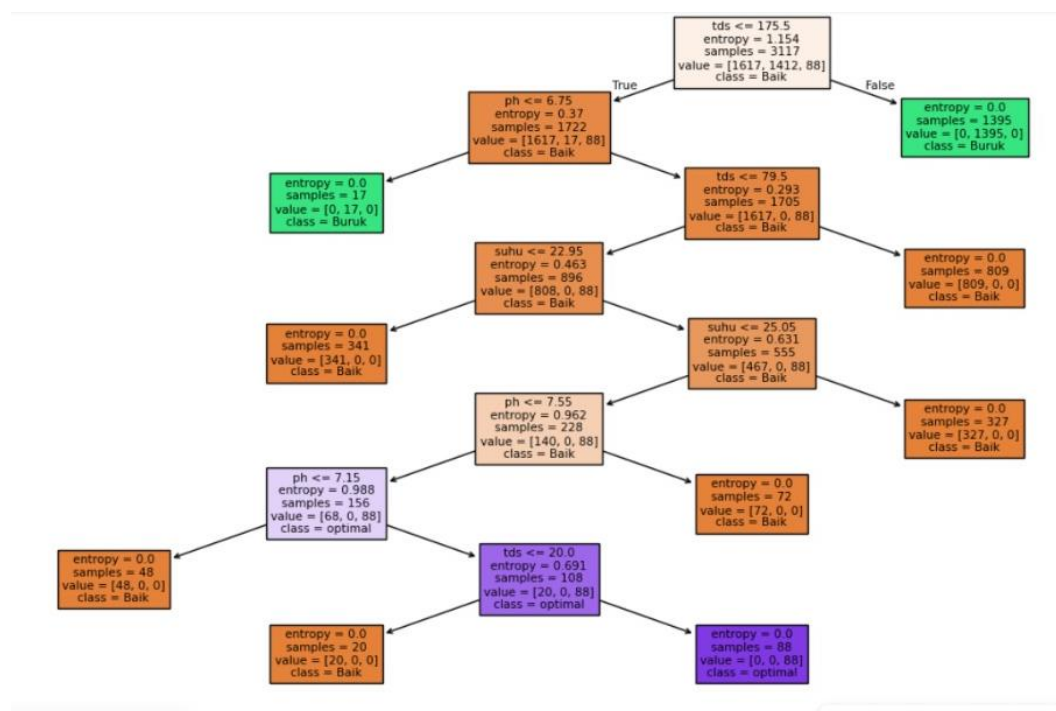
data digunakan sebagai data uji. Proses *data training* menggunakan algoritma *Decision Tree* ini dijelaskan dalam Gambar 4.6 berikut.



Gambar 4. 6 Proses Perhitungan *Decision Tree*

Proses dimulai dengan mengevaluasi nilai *Total Dissolved Solids* (TDS). Jika nilai TDS melebihi *threshold* yakni di angka 175, maka kualitas air diklasifikasikan sebagai buruk. Namun, apabila nilai TDS berada pada atau di bawah ambang tersebut (≤ 175), maka evaluasi dilanjutkan dengan pemeriksaan nilai pH. Jika $\text{pH} \leq 6,75$, air dinyatakan berkualitas buruk. Sebaliknya, jika $\text{pH} > 6,75$, maka dilakukan pemeriksaan lanjutan terhadap nilai TDS. Jika $\text{TDS} > 79,5$, kualitas air dikategorikan baik. Namun, apabila $\text{TDS} \leq 79,5$, parameter suhu menjadi acuan berikutnya. Jika $\text{suhu} \leq 22,95^\circ\text{C}$, maka kualitas air dinyatakan baik. Namun, jika $\text{suhu} > 22,95^\circ\text{C}$, maka pemeriksaan suhu dilakukan secara berulang hingga ditemukan kondisi di mana $\text{TDS} \leq 20$, sebagai batas akhir penentuan kualitas air.

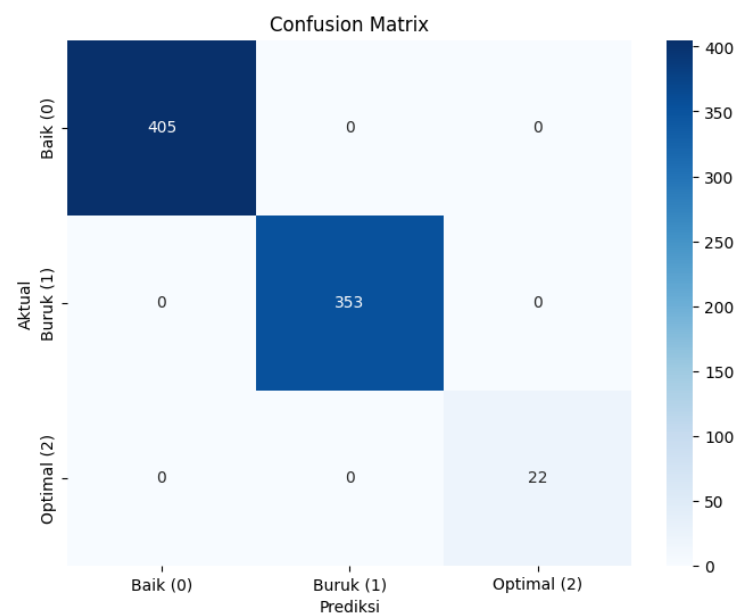
Hasil dari *training* dataset menghasilkan sebuah model *Decision Tree* CART. Gambar 4.7 menunjukkan visualisasi hasil perhitungan menggunakan model *Decision Tree* CART. Berdasarkan gambar tersebut, parameter TDS merupakan variabel yang pertama kali dicek. Selanjutnya, model melakukan analisis terhadap pH kemudian suhu air dalam proses klasifikasi.



Gambar 4. 7 Visualisasi Hasil *Decision Tree* CART

4.3.3 Evaluasi model

Proses evaluasi model *Decision Tree* CART menggunakan *confusion matrix* menghasilkan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 berikut. Dari total 780 data uji, perhitungan dengan algoritma ini berhasil mengklasifikasikan seluruh data dengan benar ke dalam kategori Baik, Buruk, dan Optimal.



Gambar 4. 8 Hasil *Confusion Matrix*

Melalui hasil *confusion matrix* tersebut, dapat diketahui nilai akurasi, *precision*, *recall*, *F1-score* dan *support* pada Tabel 4.4 berikut. Hasil tabel menunjukkan bahwa tingkat akurasi perhitungan kualitas air kolam dengan algoritma *Decision Tree* CART menghasilkan akurasi sebesar 100%.

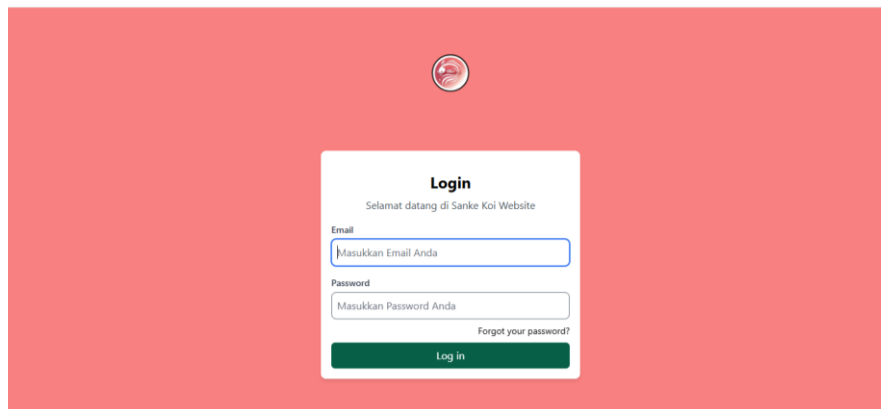
Tabel 4. 4 Hasil *Classification Report*

	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-score</i>	<i>Support</i>
0	1.00	1.00	1.00	405
1	1.00	1.00	1.00	323
2	1.00	1.00	1.00	22
<i>Accuracy</i>			1.00	780
<i>Macro Avg</i>	1.00	1.00	1.00	780
<i>Weighted Avg</i>	1.00	1.00	1.00	780

4.4 Implementasi Sistem

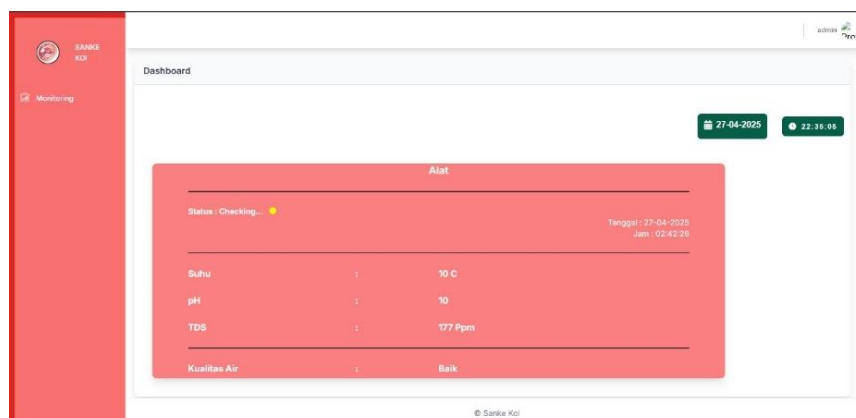
4.4.1 Implementasi Website

Bagian website yang dirancang untuk memantau hasil *monitoring* sensor terdiri dari dua fitur, yaitu halaman login dan halaman admin. Tampilan halaman login ditunjukkan pada Gambar 4.9. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk memasukkan *username* dan *password* yang telah terdaftar untuk mendapatkan akses ke halaman admin.



Gambar 4. 9 Tampilan Halaman Login

Halaman admin menyajikan data hasil pemantauan serta keputusan terkait kualitas air kolam secara *real-time*. Informasi yang ditampilkan mencakup status alat, nilai suhu, pH, dan tingkat kekeruhan air, serta hasil analisis dari algoritma *Decision Tree CART* yang mengklasifikasikan kondisi air ke dalam kategori baik, buruk, atau optimal. Tampilan halaman admin ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut



Gambar 4. 10 Tampilan Halaman Admin

4.4.2 Hasil Integrasi

Pada tahap ini, API dikembangkan dan diintegrasikan ke dalam program perangkat *Internet of Things* (IoT) untuk melakukan pengiriman data dari sensor ke server secara otomatis. Pengendalian perangkat dilakukan melalui respons yang dikirimkan oleh server dalam format JSON melalui API yang sama.

Sistem melakukan pemantauan kondisi air secara berkala setiap enam menit. Apabila kondisi air terdeteksi dalam kategori baik atau optimal, perangkat hanya mengirimkan data tersebut ke server tanpa mengaktifkan relay. Sebaliknya, jika kondisi air berada dalam kategori buruk, sistem akan mengaktifkan *relay* selama empat menit untuk membuka kran air solenoid. Setelah periode tersebut, sistem secara otomatis akan melakukan pengecekan ulang terhadap kondisi air untuk menentukan tindakan selanjutnya.

4.5 Pengujian Sistem

Sistem yang telah dikembangkan kemudian diuji akurasi serta fungsionalitasnya untuk memastikan bahwa sistem tersebut telah berjalan sebagaimana mestinya.

4.5.1 Pengujian Perangkat Keras

Tahapan pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengevaluasi kinerja ketiga sensor yang digunakan pada sistem penegndalian kualitas air kolam ikan koi yakni sensor TDS, sensor pH dan sensor suhu DS18B20. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan TDS Meter sebagai alat pengukur nilai kekeruhan dan suhu air serta Digital pH meter sebagai alat pengukur kadar keasaman.

Setiap alat tersebut diuji sebanyak lima kali untuk memperoleh data yang konsisten dan akurat. Dokumentasi pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Lampiran 1. Nilai rata-rata dari hasil pengukuran yang telah dilakukan tersebut kemudian dihitung sebagai acuan evaluasi. Hasil validasi pengukuran alat dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut

Tabel 4. 5 Hasil Validasi Alat Ukur

No	Parameter	Pengujian Ke-					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1.	Kekeruhan	276	272	282	282	272	277
2.	Keasaman	8.7	8.8	8.9	8.7	8.4	8.7
3.	Suhu	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2

Berdasarkan hasil uji tersebut, didapatkan rata-rata nilai kekeruhan atau TDS pada air kolom bernilai 277ppm, kadar keasaman atau pH senilai 8.7 serta suhu 28.2°C. Nilai suhu yang didapat melalui TDS meter stabil di angka 28.2, sehingga pada kelima percobaan yang dilakukan nilai dari parameter suhu selalu sama.

Secara bersamaan, dilakukan juga pemantauan hasil pembacaan sensor pada sistem yang digunakan melalui antarmuka web. Rincian hasil uji dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. 6 Hasil Pemantauan Data dari Sensor

No	Parameter	Pengujian Ke-					Rata-Rata
		1	2	3	4	5	
1.	Kekeruhan	273	280	280	281	285	277
2.	Keasaman	8.3	8.5	8.8	8.3	8.7	8.5
3	Suhu	27.8	27.5	27.5	27.8	27.8	27.7

Hasil rata-rata pembacaan yang ditampilkan pada website menunjukkan nilai kekeruhan atau TDS sebesar 277 ppm, nilai keasaman atau pH sebesar 8,5, dan suhu sebesar 27,7°C.

Berdasarkan hasil pengujian sensor menggunakan alat ukur dan hasil pembacaan dari sistem yang terintegrasi pada antarmuka website, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan nilai yang relatif kecil diantara keduanya. Tabel 4.7 berikut menunjukkan hasil selisih pengukuran dari ketiga parameter yakni kekeruhan, keasaman serta suhu air.

Tabel 4. 7 Perbandingan Hasil Pengukuran

No	Parameter	Hasil Rata-Rata		Selisih
		Alat	Sistem	
1.	Kekeruhan	277ppm	277ppm	0ppm
2.	Keasaman	8.7	8.5	0.2
3	Suhu	28.2°C	27.7°C	0.5°C

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada parameter kekeruhan tidak terdapat perbedaan antara nilai rata-rata dari alat ukur manual dan sensor. Untuk parameter keasaman, terdapat selisih sebesar 0,2 atau sekitar 2,30%, sedangkan pada parameter suhu terdapat perbedaan sebesar 0,5°C atau sekitar 1,77%. Seluruh perbedaan tersebut masih berada di bawah batas toleransi wajar sebesar 5% (Fatimah & Hidayat, 2024) sehingga sensor yang digunakan dapat dikatakan bekerja dengan baik dan akurat dalam membaca nilai parameter kualitas air.

4.5.2 Pengujian Perangkat Lunak

Proses pengujian perangkat lunak dilakukan untuk menguji fungsionalitas website untuk *monitoring*. Metode pengujian yang digunakan yakni Blackbox Testing. Proses pengujian dilakukan bersama Bapak Puguh selaku pengelola sentral ikan koi dengan mencoba langsung sistem yang telah diimplementasikan. Hasil percobaan kemudian dicatat pada dokumen BlackBox. Jika kasus uji berhasil dilakukan maka diberi catatan “Pass” pada kolom Result.

Dari total delapan kasus uji, seluruhnya menunjukkan hasil “*Pass*” atau berhasil dikerjakan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.11. Sehingga dari proses pengujian ini dapat disimpulkan bahwa website pemantauan kualitas air kolam ikan koi telah berjalan 100% baik.

Features	User Story	Data Test	Expected Result	Result
Login	User mengisi email	admin@gmail.com	Pengguna dapat mengetikkan email pada field	Pass
	User mengisi password	admin123	Pengguna dapat mengetikkan password pada field	Pass
			Karakter yang tampil pada field berupa karakter bintang "**"	Pass
			Tanggal yang dipilih tampil pada field tanggal mulai	Pass
	User melakukan login	-	Sistem mengecek input username dan password	Pass
	User salah mengisi email	superadmin@gmail.com	Sistem menampilkan peringatan "These credentials do not match our records." pada field username	Pass
	User salah mengisi password	Admin123	Sistem menampilkan peringatan "These credentials do not match our records." pada field password	Pass
Dashboard	User mengakses halaman monitoring	admin@gmail.com		Pass
		admin123	Sistem otomatis mengalihkan ke halaman dashboard	Pass
			Sistem menampilkan halaman monitoring	Pass
			Sistem menampilkan tanggal (dd-mm-yyyy) dan waktu real-time (hh-mm-ss)	Pass
			Sistem menampilkan status perangkat	Pass
			Sistem menampilkan tanggal (dd-mm-yyyy) dan waktu perangkat terakhir aktif (hh-mm-ss)	Pass
			Sistem menampilkan data suhu air (°C)	Pass
Logout	User melakukan logout		Sistem menampilkan data kadar pH air	Pass
			Sistem menampilkan kadar kekeruhan atau TDS (ppm)	Pass
			Sistem menampilkan hasil klasifikasi kualitas air	Pass
		-	Sistem menampilkan menu logout	Pass
		-	Sistem menampilkan pop up konfirmasi berisi button "Ya" dan "Tidak"	Pass
		-	Sistem otomatis keluar dari halaman dashboard	Pass
		-	Sistem menampilkan halaman login	Pass

Gambar 4. 11 Hasil Pengujian Blackbox

4.6 Analisis Hasil

Sistem penentuan kualitas air kolam ikan koi yang dikembangkan dalam penelitian ini menggabungkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan algoritma *Decision Tree* sebagai metode klasifikasi otomatis berbasis data dari sensor. Analisis hasil ini mencakup aspek implementasi algoritma klasifikasi, pengendalian perangkat, serta hasil pengujian sistem secara keseluruhan.

4.6.1. Analisis Penerapan Algoritma *Decision Tree*

Penentuan kualitas air kolam ikan koi, algoritma klasifikasi yang digunakan adalah *Decision Tree* dengan struktur pohon CART. Algoritma tersebut menghasilkan pembentukan dua cabang (*binary split*) pada setiap node. Namun, proses seleksi atribut dan penentuan nilai *threshold* dilakukan berdasarkan perhitungan *Entropy* dan *Gain Ratio*, seperti yang diterapkan pada algoritma C4.5. Kombinasi ini bertujuan untuk menghasilkan struktur pohon yang sederhana namun tetap mempertimbangkan efisiensi pemisahan data.

Pada implementasinya, sistem memanfaatkan library dari *scikit-learn* untuk membangun model *Decision Tree*. Oleh karena itu, skema perhitungan pembentukan pohon, penentuan *threshold*, serta evaluasi performa model seluruhnya mengikuti fungsi dan aturan yang telah tersedia dalam *library* tersebut.

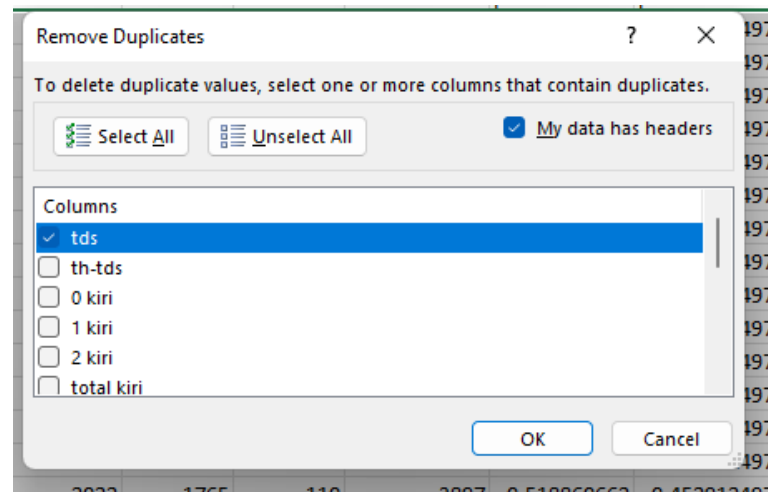
Salah satu hasil dari pendekatan ini adalah pemilihan nilai *threshold* untuk parameter kekeruhan air yang ditetapkan pada angka 175 ppm, bukan 150 ppm sebagaimana referensi ideal kualitas air berdasarkan tabel standar kualitas air pada tabel 2.2. Hal ini terjadi karena *library* tersebut secara otomatis menentukan titik pemisah optimal berdasarkan data latih dengan prinsip pemaksimalan *gain ratio*, bukan berdasar nilai referensi manual.

Untuk memvalidasi hal tersebut, dilakukan perhitungan manual menggunakan excel dengan menerapkan rumus algoritma C.4.5 pada dataset yang ada. Dataset yang digunakan merupakan hasil dari dataset yang telah melalui proses *cleaning* data berjumlah 3897 dengan rincian kolom seperti yang terlihat pada Gambar 4.12 berikut.

TDS	th-tds	0 kiri	1 kiri	2 kiri	Total Kiri	p 0 kiri	p 1 kiri	p 2 kanan	Entropy Kiri	0 kanan	1 kanan	2 kanan	Total Kanan	p 0 kanan	p 1 kanan	p 2 kanan	Entropy Kanan	IG	new label	label numerik
201	208	2022	22	110	2154	0.9387187	0.0102136	0.0510678	0.372344731	0	1743	0	1743	0	1	0	0	0.948155204	Buruk	1
215	216.5	2022	23	110	2155	0.9382831	0.0106729	0.0510441	0.375225965	0	1742	0	1742	0	1	0	0	0.946466365	Buruk	1
218	224.5	2022	24	110	2156	0.9378479	0.0111317	0.0510204	0.378075733	0	1741	0	1741	0	1	0	0	0.944793456	Buruk	1
231	238	2022	25	110	2157	0.9374131	0.0115902	0.0509968	0.380895293	0	1740	0	1740	0	1	0	0	0.943135805	Buruk	1
245	245	2022	29	110	2161	0.9356779	0.0134197	0.0509024	0.391893324	0	1740	0	1740	0	1	0	0	0.936646114	Buruk	1
245	245	2022	29	110	2161	0.9356779	0.0134197	0.0509024	0.391893324	0	1740	0	1740	0	1	0	0	0.936646114	Buruk	1
245	245	2022	29	110	2161	0.9356779	0.0134197	0.0509024	0.391893324	0	1740	0	1740	0	1	0	0	0.936646114	Buruk	1
245	272	2022	29	110	2161	0.9356779	0.0134197	0.0509024	0.391893324	0	1736	0	1736	0	1	0	0	0.936646114	Buruk	1
299	315	2022	30	110	2162	0.9352451	0.013876	0.0508788	0.394577574	0	1735	0	1735	0	1	0	0	0.935056367	Buruk	1
331	331.5	2022	31	110	2163	0.9348128	0.0143319	0.0508553	0.397237415	0	1734	0	1734	0	1	0	0	0.933478792	Buruk	1
332	332.5	2022	32	110	2164	0.9343808	0.0147874	0.0508318	0.399873595	0	1733	0	1733	0	1	0	0	0.931912989	Buruk	1
333	333	2022	34	110	2166	0.933518	0.0156971	0.0507849	0.405077754	0	1733	0	1733	0	1	0	0	0.928815233	Buruk	1
333	334	2022	34	110	2166	0.933518	0.0156971	0.0507849	0.405077754	0	1731	0	1731	0	1	0	0	0.928815233	Buruk	1

Gambar 4. 12 Contoh Data Awal

Proses perhitungan diawali dengan menentukan nilai ambang batas atau *threshold*. Penentuan *threshold* ini memerlukan data yang bersifat unik, sehingga dilakukan proses pembersihan data terlebih dahulu. Proses pembersihan tersebut dilakukan dengan memanfaatkan fitur *data validation* pada Microsoft Excel untuk menyaring duplikasi dan memastikan keunikan data. Setelah proses pembersihan, jumlah data yang digunakan untuk proses pencarian *threshold* berjumlah 375 data.



Gambar 4. 13 Proses Validasi Data pada Excel

Selanjutnya, dilakukan pencarian nilai *Information Gain* (IG) tertinggi untuk menentukan atribut pembagi terbaik pada pohon keputusan. Dengan menggunakan rumus

$$=MATCH(MAX(BG2:BG376), BG2:BG376, 0) + 1$$

Pencarian nilai IG tertinggi dilakukan pada kolom BG, tepatnya dalam rentang baris 2 hingga 376. Penambahan angka 1 pada hasil MATCH dilakukan sebagai penyesuaian terhadap keberadaan baris pertama yang berfungsi sebagai header, sehingga posisi yang dikembalikan mencerminkan baris data sebenarnya dalam struktur tabel.

	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG
1	TD	th-td	0 kiri	1 kiri	2 kiri	Total Kiri	p 0 kiri	p 1 kiri	p 2 kiri	Entropy Kiri	0 kanan	1 kanan	2 kanan	Total Kanan	p 0 kanan	p 1 kanan	p 2 kanan	Entropy Kanan	IG
146	144	144.5	143	2	0	145	0.986206897	0.013793103	0	0.105001496	6	224	0	230	0.026086957	0.973913043	0	0.174371453	1.139764108
147	145	145.5	144	2	0	146	0.98630137	0.01369863	0	0.104419078	5	224	0	229	0.021834061	0.978165939	0	0.151618011	1.141140793
148	146	146.5	145	2	0	147	0.986394558	0.013605442	0	0.103843651	4	224	0	228	0.01754386	0.98245614	0	0.127418512	1.142590439
149	147	147.5	146	2	0	148	0.986486486	0.013513514	0	0.103275085	3	224	0	227	0.013215859	0.986784141	0	0.103427826	1.144132038
150	148	148.5	147	2	0	149	0.986577181	0.013422819	0	0.102713254	2	224	0	226	0.008849558	0.991150442	0	0.073066119	1.145797835
151	149	149.5	148	2	0	150	0.986666667	0.013333333	0	0.102158036	1	224	0	225	0.004444444	0.995555556	0	0.041125624	1.147655737
152	150	175.5	149	2	0	151	0.986754967	0.013245033	0	0.101609312	0	224	0	224	0	1	0	0	1.150025243
153	201	208	149	3	0	152	0.980263158	0.019736842	0	0.139960428	0	223	0	223	0	1	0	0	1.148503309
154	215	216.5	149	4	0	153	0.973856209	0.026143791	0	0.174668172	0	222	0	222	0	1	0	0	1.147104734
155	218	224.5	149	5	0	154	0.967532468	0.032467532	0	0.206619333	0	221	0	221	0	1	0	0	1.145797281
156	231	238	149	6	0	155	0.961290323	0.038709677	0	0.236344505	0	220	0	220	0	1	0	0	1.144561966
157	245	272	149	7	0	156	0.955126205	0.044871795	0	0.264199693	0	219	0	219	0	1	0	0	1.143388253
158	299	315	149	8	0	157	0.949044586	0.050955414	0	0.290417107	0	218	0	218	0	1	0	0	1.142261235
159	331	331.5	149	9	0	158	0.943037975	0.056962025	0	0.31526534	0	217	0	217	0	1	0	0	1.141180256
160	332	332.5	149	10	0	159	0.937106918	0.062893082	0	0.338823896	0	216	0	216	0	1	0	0	1.140138152
161	333	334	149	11	0	160	0.93125	0.06875	0	0.361241486	0	215	0	215	0	1	0	0	1.139130804
162	335	336.5	149	12	0	161	0.925465839	0.074534161	0	0.382620856	0	214	0	214	0	1	0	0	1.138154843
163	338	339	149	13	0	162	0.919753086	0.080246914	0	0.403048609	0	213	0	213	0	1	0	0	1.137207469
164	340	341	149	14	0	163	0.914110429	0.085889571	0	0.422598839	0	212	0	212	0	1	0	0	1.136366315
165	342	342.5	149	15	0	164	0.908536585	0.091463415	0	0.441335733	0	211	0	211	0	1	0	0	1.135389356
166	343	343.5	149	16	0	165	0.903030303	0.096969697	0	0.45931549	0	210	0	210	0	1	0	0	1.134514838

Gambar 4. 14 Hasil Pencarian IG Tertinggi

Berdasarkan perhitungan, diperoleh bahwa nilai IG tertinggi adalah sebesar 1,150025243 yang berada di index row 152. Nilai IG tersebut berasal dari atribut TDS dengan nilai sebesar 175,5, yang kemudian dijadikan sebagai *threshold* dalam proses klasifikasi awal. Hal tersebut sesuai dengan hasil perhitungan melalui

Google Colab yang menghasilkan node awal parameter TDS dengan nilai tengah 175.5 seperti pada Gambar 4.7.

Setelah diketahui nilai threshold yakni 175.5, dilakukan *splitting* data untuk pembagian data kiri dan data kanan. Dataset yang digunakan merupakan dataset awal yang berjumlah 3897 data. Proses pembagian dilakukan berdasarkan nilai *threshold* tersebut, dengan ketentuan bahwa data dengan nilai $TDS \leq 175,5$ dimasukkan ke dalam kelompok data kiri, sedangkan data dengan nilai $TDS \geq 175,6$ dimasukkan ke dalam kelompok data kanan. Berdasarkan proses *splitting* tersebut, diperoleh jumlah data kiri sebanyak 2.153 data dan data kanan sebanyak 1.745 data. Adapun label 0 merepresentasikan kondisi air dalam kategori baik, label 1 menunjukkan kondisi buruk, dan label 2 mengindikasikan kondisi optimal.

Tabel 4. 8 Hasil *Splitting* Data

Sisi Data	Data 0	Data 1	Data 2	Jumlah
Kiri	2022	21	110	2153
Kanan	0	1744	0	

Masing-masing kelompok data kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menghitung proporsi dari masing-masing kelas, yaitu kelas 0, kelas 1, dan kelas 2. Perhitungan dilakukan dengan membagi jumlah masing-masing kelas terhadap total data dalam kelompok tersebut, menghasilkan nilai p_0 , p_1 , dan p_2 untuk setiap kelompok.

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Proporsi

Sisi Data	p_0	p_1	p_2
Kiri	0.938899254	0.009794776	0.051130597
Kanan	0	1	0

Dari hasil perhitungan nilai p tersebut, kemudian dicari nilai entropy untuk masing-masing data kiri dan data kanan. Perhitungan rumus *entropy* seperti yang ada pada Rumus 2.1. Hasil perhitungan *entropy* kiri, kanan dan *entropy* keseluruhan adalah sebagai berikut

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Nilai *Entropy*

Sisi Data	Nilai Entropy
Kiri	0.370600451
Kanan	0
Keseluruhan	1.15396237608809

Nilai *entropy* keseluruhan yang diperoleh sebesar 1,154 telah sesuai dengan hasil perhitungan yang dilakukan pada platform Google Colab, di mana node awal atau node akar juga menunjukkan nilai *entropy* yang sama, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.7. Selanjutnya, perhitungan nilai IG untuk parameter kekeruhan dilakukan menggunakan Rumus 2.2.

$$IG = Entropy(S) - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} entropy(S_i) \text{ -----4.1}$$

$$IG = 1.15396237608809 - \left(\frac{2144}{3897} \times 0.370600451 \right) + \left(\frac{1745}{3897} \times 0 \right) \text{ -----4.2}$$

$$IG = 1.15396237608809 - 0.203892062 + 0 \text{ -----4.3}$$

$$IG = 0.950070314 \text{ -----4.4}$$

Hasil perhitungan menunjukkan nilai IG sebesar 0,95, yang sesuai dengan hasil perhitungan di Google Colab, yaitu sebesar 0,9499 untuk nilai *threshold* TDS sebesar 175,5.

```
=> Best Threshold untuk 'tds': 175.5000 dengan IG: 0.9499
IG(tds): 0.9499 pada threshold 175.50
```

Gambar 4. 15 Hasil Perhitungan IG pada Google Colab

Dengan demikian, seluruh proses perhitungan yang dilakukan secara manual menunjukkan konsistensi dengan hasil yang dihasilkan oleh *library* scikit-learn dalam *Google Colab*. Hal ini memperkuat validitas pemilihan node awal dalam pohon keputusan serta mengonfirmasi bahwa proses klasifikasi yang dilakukan oleh sistem penentuan kualitas air kolam ikan koi ini menerapkan algoritma *Decision Tree* CART dengan rumus perhitungan C4.5.

4.6.2. Analisis Implementasi Perangkat IoT

Pada aspek IoT, sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data sensor. Tiga parameter utama dipantau secara *real-time*, yaitu

tingkat kekeruhan, tingkat keasaman serta suhu air. Data dari sensor dikirimkan ke server melalui jaringan Wi-Fi dan ditampilkan pada halaman antarmuka web setiap 6 menit. Sistem akan mengaktifkan *relay* untuk membuka kran solenoid apabila hasil klasifikasi menunjukkan air berada dalam kategori buruk

Durasi penyalan kran solenoid menjadi aspek penting untuk diperhatikan untuk menjaga efektivitas penggantian air sekaligus mencegah kerusakan perangkat akibat panas berlebih. Untuk menentukan durasi optimal, dilakukan serangkaian pengujian dengan variasi waktu penyalan kran solenoid. Hasil pengujian tersebut ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 4. 11 Hasil Percobaan Penyalan Solenoid

No	Durasi Penyalan Kran	Kondisi Air	Kondisi Kran Solenoid
1	1 menit	Buruk	Normal
2	2 menit	Buruk	Normal
3	3 menit	Buruk	Normal
4	4 menit	Baik	Normal
5	5 menit	Baik	Panas
6	6 menit	Optimal	Panas

Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa durasi penyalan kran solenoid yang optimal adalah selama 4 menit. Pada durasi ini, kondisi air kolam telah berada dalam kategori baik, dan perangkat solenoid masih dalam keadaan normal tanpa menunjukkan peningkatan suhu yang berlebihan. Durasi lebih dari 4 menit memang menghasilkan kualitas air yang lebih optimal, namun berpotensi menyebabkan solenoid mengalami *overheat*, sehingga tidak disarankan digunakan secara berkelanjutan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dengan judul “Sistem Penentuan Kualitas Air pada Ikan Koi Menggunakan IoT dan Metode *Decision Tree*” yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Sistem IoT yang dikembangkan mampu mengukur parameter kualitas air secara *real-time*, yaitu tingkat kekeruhan air menggunakan sensor TDS, tingkat keasaman (pH) menggunakan sensor pH meter, serta suhu air menggunakan sensor DS18B20. Seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengirimkan data ke server dan antarmuka web. Pemantauan dilakukan secara berkala setiap enam menit, dan sistem akan mengambil tindakan penggantian air otomatis dengan menyalakan kran solenoid apabila kondisi air terdeteksi berada pada kategori buruk.
2. Penerapan metode *Decision Tree* dimulai dari mengeksport data sensor dari MySQL ke format CSV yang selanjutnya diimpor ke platform Google Colab untuk dilakukan perhitungan. Proses perhitungan diawali dengan melakukan preprocessing data yakni *cleaning*, *labelling* dan *data transformation*. Kemudian keseluruhan dataset dibagi menjadi *data train* dan *data test* untuk melakukan *data training* dengan rasio 80:20. Hasil *train* kemudian dievaluasi dengan *confusion matrix* dan menghasilkan keseluruhan data uji berhasil di klasifikasikan sesuai dengan *data train*. Dilakukan juga perhitungan manual menggunakan excel untuk memvalidasi perhitungan *Decision Tree* yang menerapkan library dari scikit-learn. Hasil dari perhitungan excel untuk node awal dalam *Decision Tree* menghasilkan nilai yang sama yakni parameter TDS dengan nilai threshold 175.5 serta nilai *entropy* 1,154 dan *Information Gain* (IG) 0.95. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode *Decision Tree* dengan library scikit-learn di Google Colab menerapkan struktur pohon biner seperti algoritma CART, namun menggunakan perhitungan *entropy* dan IG seperti pada algoritma *Decision Tree* C4.5.

Model *Decision Tree* yang dihasilkan berhasil mengelompokkan kualitas air kolam ikan koi ke dalam tiga kategori, yaitu optimal, baik, dan buruk. Hasil klasifikasi tersebut dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan otomatis, seperti menyalakan atau mematikan kran solenoid, model yang telah dikembangkan diimplementasikan pada system berbasis website sebagai media penampil informasi hasil penentuan kualitas air.

3. Tingkat akurasi dari metode *Decision Tree* dalam melakukan klasifikasi kualitas air menunjukkan hasil yang sangat tinggi, yakni 100% akurasi berdasarkan data uji sistem. Selain itu, pengujian sensor menunjukkan tingkat error yang kecil, yaitu 0% untuk sensor TDS, 2.30% untuk sensor pH, dan 1.77% untuk sensor suhu. Karena semua nilai error berada di bawah batas toleransi 5%, maka dapat disimpulkan bahwa perangkat keras dan algoritma yang digunakan bekerja dengan baik dan memberikan hasil klasifikasi yang akurat. Uji coba antarmuka website menggunakan metode BlackBox juga menunjukkan validitas 100%, membuktikan bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai fungsinya.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk pengembangan pada penelitian selanjutnya yakni

1. Melakukan penambahan parameter seperti kadar oksigen terlarut (DO) dan kadar amonia dalam air untuk meningkatkan akurasi pemantauan kualitas air kolam.
2. Mengimplementasikan algoritma klasifikasi lainnya seperti *fuzzy logic* untuk memberikan hasil klasifikasi yang lebih fleksibel. *Fuzzy Logic* memungkinkan pengaturan aturan klasifikasi melalui logika *if-then*, sehingga lebih mudah disesuaikan tanpa memerlukan dataset pelatihan dalam jumlah besar

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulfathah, A., & Budhi Santoso, D. (2024). Pemanfaatan IoT (Internet of Things) Dalam Monitoring Kadar Kepekatan Asap dan Kendali Camera Tracking. *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (A.J.I.E.E)*, 6(1), 125–129. <https://doi.org/10.30604/jti.v6i1.221>
- Abdurohman, M., Putrada, A. G., & Deris, M. M. (2022a). A Robust Internet of Things-Based Aquarium Control System Using Decision Tree Regression Algorithm. *IEEE Access*, 10, 56937–56951. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177225>
- Abdurohman, M., Putrada, A. G., & Deris, M. M. (2022b). A Robust Internet of Things-Based Aquarium Control System Using Decision Tree Regression Algorithm. *IEEE Access*, 10, 56937–56951. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3177225>
- Agustin, R., Sarjon Defit, & Sumijan. (2024). Perbandingan Algoritma CART dan C.4 5 Pada Citra Tandan Buah Sawit Untuk Mengetahui Tingkat Kematangan Dalam Penentuan Harga. *Jurnal KomtekInfo*, 263–273. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v11i4.558>
- Amatullah, L., Widiastiwi, Y., & Chamidah, N. (2022). Penerapan Klasifikasi Random Forest Terhadap Data Gangguan Spektrum Autisme (ASD) Pada Anak –Anak Menggunakan Seleksi Fitur Principal Component Analysis. *Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer dan Aplikasinya (SENAMIKA)*, 659–667.
- Andriani, Y., . Z., Dhahiyat, Y., Hamdani, H., & Dewi, D. R. (2019). Performance of Lettuce and Water Spinach in Koi Fish-based Aquaponics System. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 1–7. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2019/v3i430039>
- Ariyanto, D., & Kusriyanto, M. (2023). Sistem Pemantau Kualitas Air Kolam Ikan Koi Berbasis IoT. *Technologia : Jurnal Ilmiah*, 14(1), 19. <https://doi.org/10.31602/tji.v14i1.9199>

- Defran, D. A., Putra, A. A., Vionanda, D., & Mukhti, T. O. (2023). Classification of Coronary Heart Disease at Semen Padang Hospital using Algorithm Classification And Regression Trees (CART). *UNP Journal of Statistics and Data Science*, 1(5), 399–404. <https://doi.org/10.24036/ujsds/vol1-iss5/104>
- Dhinakaran, Gopalakrishnan, S., Manigandan, M. D., & Anish, T. P. (2023). IoT-Based Environmental Control System for Fish Farms with Sensor Integration and Machine Learning Decision Support. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11(10), 203–217. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i10.8482>
- DJPDSKP. (2021, April 21). *KKP Optimistis Indonesia Bisa Jadi Eksportir Ikan Hias Nomor Satu di Dunia*. Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan.
- Endra, R. Y., Aprilinda, Y., Dharmawan, Y. Y., & Ramadhan, W. (2021). Analisis Perbandingan Bahasa Pemrograman PHP Laravel dengan PHP Native pada Pengembangan Website. *EXPERT: Jurnal Manajemen Sistem Informasi dan Teknologi*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.36448/expert.v11i1.2012>
- Fatimah, L. A., & Hidayat, R. (2024). Analisis Hasil Studi Kasus Kalibrasi Pressure Transmitter dengan Metode Zero Calibration. *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(1), 21–29. <https://doi.org/10.33019/electron.v5i1.109>
- Fauzi, F. A., & Darmawan, F. (2023). Pembangunan Aplikasi E-Commerce Berbasis Website Menggunakan Laravel. *JURNAL PASUNDAN INFORMATIKA*, 2(1). <https://doi.org/10.23969/pasinformatik.v2i1.7172>
- Gao, G., Xiao, K., & Chen, M. (2019a). An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105013>
- Gao, G., Xiao, K., & Chen, M. (2019b). An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166(March), 105013. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105013>

















- Hemal, M. M., Rahman, A., Nurjahan, Islam, F., Ahmed, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, M. R. (2024a). An Integrated Smart Pond Water Quality Monitoring and Fish Farming Recommendation Aquabot System. *Sensors*, 24(11), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s24113682>
- Hemal, Md. M., Rahman, A., Nurjahan, Islam, F., Ahmed, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, M. R. (2024b). An Integrated Smart Pond Water Quality Monitoring and Fish Farming Recommendation Aquabot System. *Sensors*, 24(11), 3682. <https://doi.org/10.3390/s24113682>
- Herlambang, N., Pramudita, R., & Retnoningsih, E. (2020). Sistem Monitoring Kedalaman Dan Kekeruhan Air Berbasis Internet Of Things. *INFORMATION MANAGEMENT FOR EDUCATORS AND PROFESSIONALS: Journal of Information Management*, 5(1), 75. <https://doi.org/10.51211/imbi.v5i1.1433>
- Kilawati, Y., Maimunah, Y., Muttaqin, A., Kartikasari, D. P., Bhawiyuga, A., & Amrillah, A. (2021). Memanfaatkan Internet of Aquaculture dalam Meningkatkan Kualitas Produksi pada Kelompok Pembudidaya Ikan Koi di Blitar. *Journal of Innovation and Applied Technology*, 7(2), 1321–1325.
- KKP. (2022). *Statistik Ekspor Hasil Perikanan Tahun 2017-2021*. Sekretariat Direktorat Jendral Penguatan Daya Saing Produk Kelautan an Perikanan.
- Lubis, A. S., & Ginting, M. P. A. (2024). Pengujian Aplikasi Berbasis Web Data Ska Menggunakan Metode Black Box Testing. *Cosmic Jurnal Teknik*, 1(1), 41–48.
- Mintarsih, M. (2023). Pengujian Black Box Dengan Teknik Transition Pada Sistem Informasi Perpustakaan Berbasis Web Dengan Metode Waterfall Pada SMC Foundation. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(1), 33–35. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v5i1.727>
- Nasrullah, A. H. (2021). Implementasi Algoritma Decision Tree untuk Klasifikasi Produk Laris. *JURNAL ILMIAH ILMU KOMPUTER*, 7(2), 45–51. <https://doi.org/10.35329/jiik.v7i2.203>

- Pratama, A. B. (2022). *Sistem Monitoring dan Kontrol Kualitas Air pada Kolam Ikan Koi Berbasis Internet of Things (IoT)*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Putri Permata Sari, Liana Liana, & Nurliza Lubis. (2023). Perancangan Sistem Informasi Akuntansi Persediaan Barang Dagang Pada Toko Rianzi Menggunakan PHP Dan MySQL. *Jurnal Riset Ekonomi dan Akuntansi*, 2(1), 169–181. <https://doi.org/10.54066/jrea-itb.v2i1.1290>
- Ramadhan, A. T., Hilmy, F., Puteri, N. R., & Meirza, A. (2023). Penerapan Algoritma Decision Tree Dalam Melakukan Analisis Klasifikasi Harga Handphone. *Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer*, 1(4), 195–206. <https://doi.org/10.59581/jusiik-widyakarya.v1i4.1861>
- Salim, A., & Edidas. (2023a). Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Bibit Ikan Nila Menggunakan Algoritma Decision Tree. *Voteteknika*, 11(2).
- Salim, A., & Edidas. (2023b). Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Bibit Ikan Nila Menggunakan Algoritma Decision Tree. *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, 11(2), 187–195.
- Sandi, G. H., & Fatma, Y. (2023). Pemanfaatan Teknologi Internet of Things (Iot) pada Bidang Pertanian. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(1), 1–5. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i1.5892>
- Silalahi, R., & Dhewantara, Y. L. (2018). Analisis Pemasaran Ikan Koi (Cyprinus carpio) di Pasar Ikan Hias Jalan Sumenep Jakarta Pusat. *Jurnal Ilmiah Satya Minabahari*, 4(1), 65–73. <https://doi.org/10.53676/jism.v4i1.60>
- Suryanto, H., Susilo, B. D., Aminnudin, A., Sukarni, S., Suprayitno, S., Marsono, M., & Yanuhar, U. (2021). Pelatihan Pemeliharaan Ikan Koi untuk Pengembangan Wisata Ikan di Kawasan Bedengan, Selorejo, Malang. *Jurnal Pengabdian Pendidikan dan Teknologi (JP2T)*, 2(1), 14. <https://doi.org/10.17977/um080v2i12021p14-22>
- Suryantoro, H. (2019). Prototype Sistem Monitoring Level Air Berbasis Labview dan Arduino Sebagai Sarana Pendukung Praktikum Instrumentasi Sistem Kendali. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(3), 20. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.48718>

- Triana, T., Yusman, M., & Hermanto, B. (2021). SISTEM INFORMASI MANAJEMEN DATA KLIEN PADA PT. HULU BALANG MANDIRI MENGGUNAKAN FRAMEWORK LARAVEL. *Jurnal Pepadun*, 2(1), 40–48. <https://doi.org/10.23960/pepadun.v2i1.33>
- Yang, F.-J. (2019). An Extended Idea about Decision Trees. *2019 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 349–354. <https://doi.org/10.1109/CSCI49370.2019.00068>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Pengujian Perangkat Keras

Pengujian Ke-	Hasil Validasi Pengukuran			
	TDS	pH	Suhu	Web
1				
2				
3				
4				
5	