

**SISTEM OTOMASI KUALITAS AIR PADA KOLAM IKAN GLOWFISH
BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY**

SKRIPSI

**Oleh :
RAFI RABANI RAIHAN
NIM. 210605110023**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**SISTEM OTOMASI KUALITAS AIR PADA KOLAM IKAN GLOWFISH
BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY**

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
RAFI RABANI RAIHAN
NIM. 210605110023

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

HALAMAN PERSETUJUAN

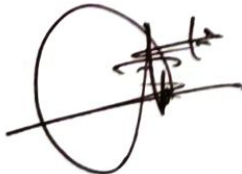
SISTEM OTOMASI KUALITAS AIR PADA KOLAM IKAN GLOWFISH BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY

SKRIPSI

Oleh :
RAFI RABANI RAIHAN
NIM. 210605110023

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 23 Juni 2025

Pembimbing I,



Ajib Hanani, M.T
NIP. 1984073120231 1 013

Pembimbing II,



Dr. M. Imamudin Lc. MA
NIP. 19740602 200901 1 010

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

SISTEM OTOMASI KUALITAS AIR PADA KOLAM IKAN GLOWFISH BERBASIS IOT MENGGUNAKAN METODE FUZZY

SKRIPSI

Oleh :
RAFI RABANI RAIHAN
NIM. 210605110023

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 23 Juni 2025

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji : Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M. T
NIP. 19830616 201101 1 004

Anggota Penguji I : Shoffin nahwa utama, M.T
NIP. 19860703 20201210 03

Anggota Penguji II : Ajib Hanani, M.T
NIP. 1984073120231 1 013

Anggota Penguji III : Dr. M. Imamudin Lc, MA
NIP. 19740602 200901 1 010

()
()
()
()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang




Dr. H. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU
NIP. 19771020 200912 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafi Rabani Raihan
NIM : 210605110023
Fakultas / Program Studi : Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi : Sistem *Otomasi* Kualitas Air Pada Kolam Ikan *Glowfish* Berbasis *Internet of Things* Menggunakan Metode *Fuzzy*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 22 Juni 2025
Yang membuat pernyataan,



RAFI RABANI RAIHAN
NIM.210605110023

MOTTO

“What is Started Must Be Finished; What is Dreamed Must Be Achieved”

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”
(Hindia-Baskara Putra)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi *Allah Subhanahu wa ta'ala* atas limpahan rahmat dan petunjuk-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini penulis persembahkan untuk: Orang tua penulis yang menjadi sumber kekuatan dan doa, para sahabat yang kebersamai dalam suka dan duka, teman seperjuangan selama perkuliahan dan penyusunan skripsi, para guru, dosen, dan pembimbing yang telah membagikan ilmu dan arah, semua pihak yang turut hadir memberi semangat, baik secara langsung maupun tidak, dan untuk diri sendiri, yang terus berjuang, bertumbuh, dan tidak menyerah meski dalam diam. Semoga karya ini dapat menjadi langkah awal yang bermanfaat dalam perjalanan ilmu dan kehidupan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sistem Otomasi Kualitas Air pada Kolam Ikan *Glowfish* Berbasis IoT Menggunakan Metode *Fuzzy*”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu dan cahaya Islam.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penyusunannya, penulis banyak menerima dukungan, doa, semangat, dan bantuan dari berbagai pihak yang sangat berarti. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan tulus, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. M. Zainuddin, M.A., selaku rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Ir. Fachrul Kurniawan, M.MT., IPU., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Ajib Hanani, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. M. Imamudin Lc, MA, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan

waktu nya dan dengan sabar telah membimbing penulis selama proses penyusunan skripsi ini sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian pada skripsi ini dengan baik.

5. Dr. Ir. Yunifa Miftachul Arif, M. T, selaku Ketua Penguji dan Shoffin nahwa utama, M.T selaku Dosen Penguji I yang telah menguji serta memberikan masukan sehingga penulis dapat menuntaskan skripsi dengan baik.
6. Segenap dosen serta jajaran staf Program Studi Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu, bimbingan, dan inspirasi selama masa studi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Kedua orang tua serta saudara-saudara penulis, Rusmanto, Wartu Daryati, Rais Rabani Raikkonen, Raya Rabani Rasyidin, yang selalu memberikan semangat untuk terus berusaha, dukungan tiada henti, serta doa-doa terbaik sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Semoga Allah senantiasa memberikan kesehatan dan lindungan, sehingga dapat selalu berada di setiap perjalanan dan pencapaian penulis.
8. Diri sendiri - yang terus melangkah meski berkali-kali jatuh tetapi tetap mencoba meski tak selalu yakin, yang bertahan melewati malam-malam panjang dan pagi yang berat. Yang selalu bertahan meski selalu jatuh setiap malam, Terima kasih telah tidak menyerah dan bisa bertahan.
9. Teman seperjuangan “Buronan Kampus”, yang beranggotakan Amirul, Noviansyah, Heni, dan Najah yang telah membantu banyak dalam proses pengerjaan skripsi ini, semoga selalu diberikan kesehatan.

10. Rekan seperjuangan “Kontrakan Pria Tampan”, yang beranggotakan Rehan, Haikal, Noviansyah, Gianda, Safril, Musa, Khalif, Zufar, Fuad, Al, Fauzil, Amirul, Daffa dan Dika. Terima kasih telah menemani hari-hari penulis dan terima kasih sudah mau menemani suka duka serta berbagi tawa dan air mata. Sukses untuk kalian semua.
11. Seluruh teman seangkatan Teknik Informatika 2021, “Aster 21”, yang telah menjadi teman seperjalanan dalam proses menempuh ilmu dan melewati berbagai fase bersama.
12. Semua pihak yang terlibat, secara langsung maupun tidak, dalam proses penyusunan skripsi ini atas segala bantuan, doa, dan perhatian.

Malang, 12 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
الملخص.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II STUDI PUSTAKA.....	8
2.1 Penelitian Terkait	8
2.2 Ikan <i>Glowfish</i>	15
2.3 Indeks Kualitas Air	17
2.4 ESP32.....	17
2.5 Sensor.....	20
2.5.1 Kekeruhan	20
2.5.2 Suhu.....	21
2.5.3 <i>Total Dissolved Solids</i>	22
2.5.4 PH.....	23
2.6 Pompa Air Mini	24
2.7 Logika Fuzzy	26
2.7.1 Himpunan Fuzzy	26
2.7.2 Metode Fuzzy Mamdani	27
BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1 Analisis Kebutuhan Sistem	31
3.1.1 Kebutuhan Perangkat Keras	31
3.1.2 Kebutuhan Perangkat Lunak	33
3.1.3 Komponen Input.....	34
3.1.4 Komponen Proses.....	35
3.1.5 Komponen Output.....	36
3.2 Implementasi Metode <i>Fuzzy Mamdani</i>	37
3.2.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (<i>Fuzzifikasi</i>)	37
3.2.2 Pembentukan Rule	43
3.2.3 <i>Inferensi</i> Fuzzy	44

3.2.4 <i>Defuzzifikasi</i>	45
3.3 Rencana Pengujian	46
3.4 Desain <i>Interface</i>	47
BAB IV METODE PENELITIAN	49
4.1 Implementasi Fuzzy Mamdani pada Mikrokontroler	49
4.1.1 Implementasi Fuzzy	49
4.2 Pengujian.....	54
4.2.1 Hasil Pengujian Sistem	54
4.2.2 Pengujian Kalibrasi Sensor	55
4.3 Pembahasan.....	62
4.3.1 Sistem <i>Hardwer</i>	62
4.3.2 Sistem <i>Software</i>	63
4.4 Integrasi Islam.....	65
4.4.1 <i>Muamalah Ma'a Allah</i>	65
4.4.2 <i>Muamalah Ma'a An-Nas</i>	67
4.4.3 <i>Muamalah Ma'a Alam</i>	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ikan <i>Glowfish</i>	16
Gambar 2. 2 ESP32	18
Gambar 2. 3 Sensor <i>Turbidity</i>	21
Gambar 2. 4 Sensor Suhu DS18B120 Probe	22
Gambar 2. 5 Sensor TDS (<i>Total Dissolved Solids</i>).....	23
Gambar 2. 6 pH Meter Sensor	24
Gambar 2. 7. Pompa Air mini	25
Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian	30
Gambar 3. 2 Desain Sistem.....	34
Gambar 3. 3 Derajat Keanggotaan Suhu.....	38
Gambar 3. 4 Derajat Keanggotaan PH.....	39
Gambar 3. 5 Derajat Keanggotaan TDS	40
Gambar 3. 6 Derajat Keanggotaan Kekerusuhan	41
Gambar 3. 7 Derajat Keanggotaan Kualitas Air	43
Gambar 3. 8 Tampilan UI	48
Gambar 4. 1 Nilai <i>Thermometer Digital</i>	56
Gambar 4. 2 Nilai Sensor Suhu.....	56
Gambar 4. 3 Larutan pH <i>Buffer</i>	57
Gambar 4. 4 Nilai Sensor pH 4.....	57
Gambar 4. 5 Nilai Sensor pH 10	58
Gambar 4. 6 Larutan TDS <i>Solution</i>	59
Gambar 4. 7 Nilai Sensor TDS	60
Gambar 4. 8 Larutan <i>Turbidity</i>	61
Gambar 4. 9 Sensor <i>Turbidity</i>	61
Gambar 4. 10 Sistem <i>Hardware</i>	62
Gambar 4. 11 <i>Database</i>	64
Gambar 4. 12 <i>User Interface</i>	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3. 1 Indeks Kualitas Air	42
Tabel 3. 2 RuleBase	43
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kualitas Air pada Kolam Ikan <i>Glowfish</i>	54
Tabel 4. 2 Pengujian Kalibrasi sensor Ph.....	58
Tabel 4. 3 Pengujian Kalibrasi sensor Tds.....	60
Tabel 4. 4 Pengujian Kalibrasi sensor Kekeruhan	62

ABSTRAK

Rabani Raihan, Rafi. 2025. **Sistem Otomasi Kualitas Air pada Kolam Ikan *Glowfish* Berbasis IoT Menggunakan Metode *Fuzzy***. Skripsi. Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ajib Hanani, M.T (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

Kata Kunci: *Fuzzy Mamdani, Internet of Things, Ikan Glowfish, Kontrol Otomatis, Kualitas Air*

Penelitian ini menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk mengembangkan sistem otomatis yang dapat mengontrol kualitas air di kolam ikan *Glowfish*. Metode Fuzzy Mamdani digunakan dalam proses ini. Fokus utama penelitian adalah bagaimana sistem dapat mendeteksi perubahan dalam parameter kualitas air seperti suhu, pH, TDS (*Total Dissolved Solids*), dan kekeruhan serta secara otomatis mengambil tindakan untuk menjaga kondisi air tetap sesuai dengan kebutuhan ikan *glowfish*. Untuk memantau kondisi air secara real-time, sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32. Data dari sensor diproses menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk mengklasifikasikan kualitas air dan mengaktifkan pompa air saat diperlukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki error rata-rata 3,72% untuk pH, 0,4% untuk TDS, 7,88% untuk kekeruhan, dan error rata-rata suhu 0,6%. Ketika kualitas air menurun, sistem mengaktifkan pompa untuk mengganti air dengan cepat dengan kontrol pompa yang sangat baik.

ABSTRACT

Rabani Raihan, Rafi. 2025. **IoT-Based Water Quality Automation System for Glowfish Ponds Using the Fuzzy Method**. Thesis. Informatics Engineering Faculty of Science and Technology Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Ajib Hanani, M.T (II) Dr. M. Imamudin Lc, MA

Keywords: Automatic Control, Fuzzy Mamdani, Glowfish, Internet of Things, Water Quality

This research uses the Internet of Things (IoT) to develop an automated system that can control the water quality in Glowfish fish ponds. The Fuzzy Mamdani method is employed in this process. The main focus of the research is how the system can detect changes in water quality parameters such as temperature, pH, TDS (Total Dissolved Solids), and turbidity, and automatically take action to maintain the water conditions suitable for glowfish. To monitor the water conditions in real-time, this system uses an ESP32 microcontroller. Data from the sensors is processed using the Fuzzy Mamdani method to classify water quality and activate the water pump when necessary. Test results show that the sensors have an average error of 3.72% for pH, 0.4% for TDS, 7.88% for turbidity, and an average temperature error of 0.6%. When water quality decreases, the system activates the pump to quickly replace the water with very good pump control.

الملخص

رباني ربحان، رائي. 2025. نظام أتمتة جودة المياه القائم على إنترنت الأشياء لأحواض الأسماك المتوهجة باستخدام طريقة الضبابية. بحث الجامعي. قسم الهندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: عجيب حناني، الماجستير. المشرف الثاني: الدكتور محمد إمام الدين ليسانس، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: ضبابي مداني، إنترنت الأشياء، السمكة المتوهجة، التحكم الآلي، جودة المياه

يستخدم هذا البحث إنترنت الأشياء (IoT) لتطوير نظام آلي يمكنه التحكم في جودة المياه في أحواض أسماك Glowfish. تُستخدم طريقة مداني الضبابية في هذه العملية. ينصب التركيز الرئيسي للبحث على كيفية اكتشاف النظام للتغيرات في معايير جودة المياه مثل درجة الحرارة، والأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، والعكارة واتخاذ إجراءات تلقائياً للحفاظ على ظروف المياه مناسبة لاحتياجات الأسماك المتوهجة. ولمراقبة ظروف المياه في الوقت الحقيقي، يستخدم النظام متحكم دقيق ESP32 ومستشعرات مختلفة، بما في ذلك مستشعرات الأس الهيدروجيني ودرجة الحرارة والمواد الصلبة الذائبة والعكارة. تتم معالجة البيانات الواردة من هذه المستشعرات باستخدام طريقة فزي مداني الضبابية لتصنيف جودة المياه وتفعيل مضخة المياه عند الحاجة. تُظهر نتائج الاختبار أن أجهزة الاستشعار لديها متوسط خطأ بنسبة 3.72 % للأس الهيدروجيني، و 0.4 % للمادة الصلبة الصغرية TDS، و 7.88% للعكارة، ومتوسط خطأ في درجة الحرارة بنسبة 0.6%. عندما تنخفض جودة المياه، يقوم النظام بتنشيط المضخة لاستبدال المياه بسرعة مع تحكم ممتاز في المضخة. تُظهر هذه الدراسة أن طريقة Fuzzy Mamdani الضبابية تحافظ بنجاح على ظروف المياه المثالية لسمك التوهج. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق هذه الطريقة على نظام أتمتة جودة المياه القائم على إنترنت الأشياء الذي يدير أحواض السمك بفعالية دون الحاجة إلى مساعدة بشرية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia dianggap sebagai negara maritim terbesar di dunia di antara lebih dari 17.000 pulau di sepanjang garis khatulistiwa (Sholeh, 2019). Dengan sumber daya alam laut yang melimpah di sektor perikanan, transportasi laut, dan pariwisata bahari sangat berkontribusi pada perekonomian bangsa. Dengan demikian, sektor perikanan dan kelautan adalah salah satu pilar utama pembangunan ekonomi bangsa. Sebagaimana Allah SWT menciptakan laut dan isinya sebagai rahmat bagi umat manusia, yang mana dinyatakan dalam Al-Qur'an pada surat An-Nahl ayat 14 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَتَسْتَخْرِجُوا مِنْهُ حَبْلًا مَلَبَسًا وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَاحِرَ فِيهِ
وَلِتَبْتَغُوا مِنْ فَضْلِهِ ۚ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ

“Dialah yang menundukkan lautan (untukmu) agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur.”

Dalam tafsir Jalalain dijelaskan bahwa penundukan lautan oleh Allah SWT memungkinkan manusia memanfaatkannya sebagai sumber pendapatan dan makanan. Perahu-perahu yang berlayar di laut menunjukkan bagaimana manusia dapat memanfaatkan sumber daya alam yang telah diciptakan oleh Allah untuk kepentingan mereka sendiri, seperti berdagang, menangkap ikan, atau mengumpulkan perhiasan dari laut (al-Mahalli & as-Suyuthi, 2024). Ini

menunjukkan bahwa alam adalah anugerah yang besar bagi manusia, tidak hanya menyediakan kebutuhan dasar manusia seperti makanan, tetapi juga memberikan cara untuk memperoleh rezeki dan mengembangkan kehidupan ekonomi. Tafsir ini mengingatkan manusia untuk bersyukur atas anugerah yang begitu besar ini.

Indonesia juga memiliki keanekaragaman hayati laut terbesar di dunia, dengan banyak spesies ikan hias (Abdullah dkk., 2021). Budidaya ikan hias, termasuk *glowfish*, telah menjadi salah satu sektor ekonomi penting di Indonesia. Menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan, sektor perikanan budidaya terus menunjukkan peningkatan, dengan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional (Marjusni & Idris, 2023). *Glowfish*, sebagai salah satu jenis ikan hias yang populer, membutuhkan lingkungan hidup yang bagus untuk dapat tumbuh dengan baik. Kualitas air merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi kesehatan dan perkembangan ikan ini. Parameter-parameter kualitas air seperti suhu, pH, mengukur jumlah partikel atau padatan terlarut dalam air, dan tingkat kekeruhan memiliki pengaruh langsung terhadap perkembangan dan perilaku ikan.

Perubahan yang drastis atau ketidakseimbangan dalam parameter kualitas air dapat mengakibatkan stres pada ikan, yang pada akhirnya meningkatkan risiko penyakit dan kematian (Mardizal & Rizal, 2024). Sebagai contoh, pH air yang terlalu rendah atau tinggi dapat meningkatkan toksisitas amonia, yang sangat berbahaya bagi ikan. Sementara itu, suhu air yang tidak sesuai dapat mengganggu proses metabolisme ikan dan menurunkan efisiensi konversi pakan, yang merupakan faktor penting dalam budidaya ikan yang berorientasi pada

produktivitas dan kualitas (Widodo dkk., 2023). Meskipun pentingnya *monitoring* kualitas air telah lama diakui, pendekatan tradisional dalam pemantauan sering kali bersifat manual dan tidak real-time sehingga kurang responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan. Akibatnya, banyak peternak ikan yang mengalami kerugian akibat keterlambatan dalam mendeteksi masalah kualitas air (Pahlawi dkk., 2020). Oleh karena itu, penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) muncul sebagai solusi inovatif yang dapat mengatasi keterbatasan tersebut.

IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor yang dapat mengukur parameter kualitas air secara real-time dan mengirimkan data secara langsung ke perangkat *monitoring* yang dapat diakses dari jarak jauh. *Internet of Things* (IoT) telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi operasional di berbagai sektor, termasuk perikanan, melalui automasi dan pengambilan keputusan berbasis data (Moeljadi & Susenohaji, 2024). Dalam budidaya ikan, sistem IoT dapat digunakan untuk memantau suhu, pH, kadar kekeruhan, dan parameter lain secara kontinu sehingga memungkinkan untuk mengambil tindakan korektif secara cepat jika terjadi perubahan yang tidak diinginkan.

Namun, pengumpulan data yang sangat besar dari berbagai sensor menimbulkan tantangan baru, yaitu bagaimana data tersebut dapat diinterpretasikan dengan akurat dan tepat waktu. Maka dari itu, metode Fuzzy Logic menjadi pendekatan yang relevan. Fuzzy Logic, pertama kali diperkenalkan oleh Zadeh (1965), merupakan pendekatan komputasi yang meniru cara berpikir manusia dalam menghadapi ketidakpastian dan data yang tidak pasti. Dalam konteks *monitoring* kualitas air, Fuzzy Logic dapat digunakan untuk mengolah data

yang dikumpulkan oleh sensor IoT dan menghasilkan rekomendasi tindakan berdasarkan analisis kondisi air secara holistik.

Studi oleh Nurwirasaputra et al. (2020) menunjukkan bahwa penerapan Fuzzy Logic dalam sistem *monitoring* air dapat meningkatkan akurasi dalam pengambilan keputusan, terutama dalam kondisi di mana data yang dihasilkan bersifat ambigu atau memiliki variasi yang tinggi. Dengan menggunakan Fuzzy Logic, sistem dapat membuat prediksi atau rekomendasi yang lebih adaptif terhadap perubahan kondisi lingkungan, dibandingkan dengan pendekatan tradisional.

Dalam pandangan Islam, manusia memiliki tanggung jawab sebagai khalifah di bumi, yang salah satu tugas utamanya adalah menjaga dan merawat alam serta seluruh makhluk hidup di dalamnya. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam Surah Al-Baqarah ayat 30 yang berbunyi:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلَكَةِ إِنِّي جَاعِلٌ فِي الْأَرْضِ خَلِيفَةً ۖ قَالُوا أَتَجْعَلُ فِيهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَاءَ وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ

“(Ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah di bumi.” Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.”

Dalam Tafsir Quraisy Shihab dijelaskan bahwa Allah Swt. telah menerangkan bahwa Dialah yang menghidupkan manusia dan menempatkannya di bumi. Lalu Dia menerangkan asal penciptaan manusia dan apa-apa yang diberikan kepadanya berupa pengetahuan tentang berbagai hal. Maka ingatlah, hai Muhammad, nikmat lain dari Tuhanmu yang diberikan kepada manusia. Nikmat itu

adalah firman Allah kepada malaikat-Nya, "Sesungguhnya Aku hendak menjadikan makhluk yang akan Aku tempatkan di bumi sebagai penguasa. Ia adalah Adam beserta anak- cucunya. Allah menjadikan mereka sebagai khalifah untuk membangun bumi." Dan ingatlah perkataan malaikat, "Apakah Engkau hendak menciptakan orang yang menumpahkan darah dengan permusuhan dan pembunuhan akibat nafsu yang merupakan tabiatnya? Padahal, kami selalu menyucikan-Mu dari apa-apa yang tidak sesuai dengan keagungan-Mu, dan juga selalu berzikir dan mengagungkan-Mu." Tuhan menjawab, "Sesungguhnya Aku mengetahui maslahat yang tidak kalian ketahui." (Shihab, 2024).

Dimana pada penjelasan Ayat dan tafsir diatas menunjukkan bahwa Dalam konteks ini, khalifah bukan hanya bermakna sebagai penguasa yang memerintah, tetapi juga sebagai penjaga dan pengelola bumi yang bertanggung jawab untuk melindungi makhluk hidup dan sumber daya alamnya. Tugas manusia sebagai khalifah adalah memastikan bahwa bumi dan ekosistemnya tetap terjaga dan berkelanjutan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem *otomasi* kualitas air berbasis IoT dengan implementasi metode Fuzzy Logic, khususnya untuk kolam ikan *glowfish*. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dalam menjaga stabilitas kualitas air sehingga mendukung kesehatan dan pertumbuhan optimal ikan *glowfish*, tetapi juga merupakan implementasi dari tanggung jawab manusia sebagai khalifah di muka bumi. Dengan menggabungkan teknologi IoT dan Fuzzy Logic, penelitian ini juga berkontribusi pada pengembangan teknologi berbasis data dalam sektor budidaya perikanan .

1.2 Pernyataan Masalah

Pernyataan masalah yang dihadapi dalam pemeliharaan ikan Glowfish adalah ketergantungan pada sistem manual untuk memantau kualitas air, yang menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi perubahan penting pada parameter seperti suhu, pH, kekeruhan, dan TDS. Hal ini dapat menyebabkan stres, penyakit, dan kematian ikan. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis berbasis IoT untuk memantau kualitas air secara real-time dan menjaga kestabilan lingkungan kolam ikan Glowfish.

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah pada penelitian ini adalah:

1. Parameter suhu, pH, *Total Dissolved Solids*(TDS), dan kekeruhan adalah satu-satunya indikator kualitas air yang dipantau oleh sistem dalam penelitian ini. Penelitian ini tidak mencakup parameter tambahan seperti kadar oksigen terlarut (DO) atau kandungan kimia tertentu.
2. Sistem tidak secara khusus membahas implementasi keamanan data (seperti enkripsi) pada protokol HTTP.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat sistem *otomasi* untuk pergantian air pada kolam ikan *glowfish* menggunakan metode *fuzzy* berbasis IoT (*Internet of Things*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan agar dapat membantu dalam melakukan pergantian air otomatis apabila tingkat kualitas air berada pada tingkat buruk.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Pada penelitian yang dilakukan oleh Koromari dan David (2023) berjudul "Perancangan Dan Implementasi Sistem Pakan Otomatis Dan *Monitoring* Tds Pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Iot" bertujuan untuk mengembangkan alat yang dapat memantau kualitas air melalui sensor TDS dan memberikan pakan ikan secara otomatis sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Dengan memanfaatkan teknologi IoT, sistem ini memungkinkan pemelihara ikan untuk memonitor dan mengontrol kualitas air serta pakan dari jarak jauh, tanpa harus hadir di lokasi. Sensor TDS yang digunakan mampu mendeteksi tingkat zat padat terlarut dalam air, yang merupakan indikator penting dalam menjaga kondisi optimal bagi ikan hias. Sistem ini juga memberikan kemudahan dalam pengelolaan akuarium, terutama dalam menjaga kualitas air agar ikan tetap sehat dan tumbuh dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini berjalan dengan baik, di mana sensor TDS dapat memberikan informasi real-time mengenai kualitas air, dan mekanisme pakan otomatis bekerja sesuai dengan jadwal yang diatur melalui aplikasi yang dikembangkan. Penelitian ini menggarisbawahi potensi penggunaan IoT dalam mendukung aktivitas pemeliharaan ikan hias, khususnya dalam memastikan kualitas air yang sesuai dan pemberian pakan yang tepat waktu.

Adapun penelitian Wulandari, et al (2024) berjudul "Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau

Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile”. Merancang dan mengembangkan sistem monitoring kualitas air untuk mendeteksi kondisi tidak normal atau penyakit pada tambak ikan mujair menggunakan logika *fuzzy* Mamdani berbasis aplikasi mobile. Sistem ini memanfaatkan tiga sensor utama, yaitu sensor pH, *turbidity*, dan *Total Dissolved Solids* (TDS), yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 untuk memproses data kualitas air secara real-time. Hasil pengukuran dari sensor-sensor ini kemudian diolah menggunakan logika *fuzzy* Mamdani untuk menghasilkan penilaian apakah kondisi air normal atau tidak normal. Integrasi dengan aplikasi mobile memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas air tambak dari jarak jauh dan menerima notifikasi jika ada kondisi yang memerlukan perhatian segera. Pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem ini dapat secara efektif dan akurat mendeteksi kondisi air yang tidak normal dan memberikan peringatan dini kepada pengguna, yang sangat penting untuk mencegah penyakit dan meningkatkan produktivitas budidaya ikan mujair. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis dan efisien dalam manajemen tambak, khususnya dalam menjaga kualitas air secara konsisten.

Dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Susilo, et al (2023) yang berjudul "Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis *Internet Of Things*". Penelitian ini berfokus pada pentingnya menjaga kualitas air, terutama parameter suhu dan pH, yang sangat mempengaruhi kelangsungan hidup dan produktivitas ikan lele. Alat yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor pH 4502C untuk mendeteksi tingkat keasaman air.

Data yang diperoleh kemudian dikirimkan secara real-time ke aplikasi Blynk, yang memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui perangkat mobile atau komputer. Hasil analisis ini memberikan informasi yang membantu petani ikan dalam mengambil keputusan terkait manajemen kualitas air secara lebih efektif dan efisien. Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan IoT dalam monitoring kualitas air dapat secara signifikan meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan budidaya ikan lele.

Saputra (2023), melakukan penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Budidaya Ikan Otomatis Berbasis Internet Of Things”. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang terhubung dengan sensor suhu DS18B20 dan sensor pH 4502-C untuk memonitor dan mengatur kondisi air secara otomatis. Ketika suhu air turun di bawah 25°C, sistem secara otomatis mengaktifkan heater untuk menjaga suhu dalam rentang optimal (25-32°C). Selain itu, sistem ini juga mengatur pH air, dengan pompa yang secara otomatis menambahkan larutan pH up atau pH down untuk mempertahankan pH dalam kisaran 6-9. Data yang diperoleh dari sensor dipantau secara real-time melalui aplikasi Blynk yang terhubung ke perangkat Android, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi air dari jarak jauh. Pengujian menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam menjaga kondisi air pada kolam ikan, memberikan solusi otomatis dan efisien untuk meningkatkan kesehatan dan pertumbuhan ikan dalam budidaya.

Akbar and Irwan (2023), melakukan penelitian yang berjudul "Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Fuzzy Logic". Penelitian ini mengembangkan perangkat yang dirancang untuk memantau dan mengontrol

kualitas air dalam tambak udang secara otomatis, menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali. Sistem ini mengintegrasikan tiga sensor utama: sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan, yang semuanya berfungsi untuk menjaga kondisi optimal air tambak. Logika *fuzzy* diterapkan untuk menangani ketidakpastian dan kompleksitas dalam pengambilan keputusan terkait kontrol kualitas air, seperti mengaktifkan pompa air bersih atau menyesuaikan pH. Data dari sensor-sensor ini diproses dan dipantau secara real-time melalui aplikasi berbasis IoT, yang memungkinkan petani untuk mengontrol kualitas air tanpa harus berada di lokasi secara terus menerus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menjaga kualitas air dalam parameter yang telah ditentukan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional dan produktivitas budidaya udang. Penelitian ini menunjukkan bagaimana penerapan teknologi IoT dan logika *fuzzy* dapat memberikan solusi praktis dan efektif dalam pengelolaan kualitas air pada sistem budidaya perikanan.

Bu'u, et al (2023), melakukan penelitian yang berjudul "*Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT)*". Penelitian ini dirancang untuk memantau parameter penting seperti pH dan kekeruhan air (*turbidity*) secara real-time menggunakan aplikasi Blynk. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor pH dan sensor *turbidity* untuk mendeteksi kualitas air. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian ditampilkan melalui aplikasi Blynk, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi air dari jarak jauh menggunakan perangkat seperti smartphone. Selain memantau, sistem ini juga dapat mengontrol sirkulasi air dengan mengaktifkan pompa air 12VDC

yang bertugas mengatur jumlah larutan asam atau basa, guna menjaga pH air dalam kisaran netral (pH 6-8), serta memastikan kekeruhan air tetap di bawah nilai yang aman. Penelitian ini menunjukkan bagaimana penerapan IoT dapat memberikan solusi yang efisien dan efektif dalam pengelolaan kualitas air pada akuarium, yang sangat bermanfaat bagi pembudidaya ikan hias dan masyarakat umum yang ingin menjaga kondisi air agar tetap optimal tanpa harus melakukan pemantauan manual.

Ajib et al. (2020) melakukan penelitian berjudul "Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Suara Pada Google Assistant". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat sistem rumah pintar berbasis IoT yang dapat dikendalikan melalui perintah suara melalui aplikasi Google Assistant. Mikrokontroler ESP32 Dev Kit, yang terhubung ke internet, berfungsi untuk mengontrol perangkat rumah seperti pencahayaan. Setelah diubah menjadi teks oleh Google Assistant, perintah kemudian dikirim ke Webhooks melalui IFTTT, yang kemudian mengirimkan perintah ke MQTT Broker untuk diproses oleh ESP32. ESP32 berfungsi sebagai penghubung antara perangkat rumah dan pengguna selama koneksi internet dalam penelitian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat menggunakan perintah suara untuk menyalakan dan mematikan lampu secara efektif, memungkinkan pengguna untuk mengontrol perangkat dari jarak jauh dengan mudah. Studi ini menekankan bahwa membangun sistem otomasi rumah yang responsif dan interaktif yang menggunakan Google Assistant, IFTTT, dan mikrokontroler ESP32 sangat penting.

Putera,et al (2023), melakukan penelitian yang berjudul "Implementasi Fuzzy Logic Untuk Sistem Kendali Dan Kesuburan Tanah Berbasis IoT". Penelitian ini dirancang untuk membantu petani dalam mengelola kondisi tanah, khususnya dengan memonitor dan mengendalikan kelembapan serta pH tanah. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang terintegrasi dengan sensor kelembapan dan sensor pH tanah, serta dikendalikan oleh logika *fuzzy* metode Mamdani. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian diproses oleh logika *fuzzy* untuk menentukan tindakan penyiraman yang tepat, seperti menambahkan air bersih atau larutan kapur untuk menyesuaikan keasaman tanah. Sistem ini juga memanfaatkan teknologi IoT untuk mengirim data secara real-time ke platform Google Firebase, memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi tanah dari jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik dalam menjaga kondisi tanah agar tetap optimal untuk pertanian, dengan tingkat kesalahan minimal pada proses *fuzzy*. Penelitian ini menunjukkan potensi besar penggunaan IoT dan logika *fuzzy* dalam otomatisasi dan peningkatan efisiensi pengelolaan lahan pertanian.

Berikut tabel dari penelitian terdahulu yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Koromari dan David	2023	Perancangan Dan Implementasi Sistem Pakan Otomatis Dan Monitoring Tds Pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Iot	Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa sensor TDS dapat mengidentifikasi kualitas air akuarium, terutama terkait dengan tinggi rendahnya larutan kadar total disolve solid di dalam air. Sedangkan pemberian pakan pada ikan hias dapat diberikan secara otomatis sesuai dengan jadwal pemberian pakan yang telah diatur sebelumnya.

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
2	Ajib,et al	2020	Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Suara Pada Google Assistant	Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem rumah pintar berbasis IoT yang dapat dikendalikan dengan perintah suara menggunakan Google Assistant. Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengontrol perangkat rumah seperti lampu melalui perintah suara, dengan komunikasi melalui MQTT Broker. Sistem ini berhasil menyalakan dan mematikan lampu sesuai perintah suara yang diberikan, menunjukkan efektivitas dan kemudahan kontrol perangkat dari jarak jauh.
3	Wulandari, et al	2024	Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile	Hasil eksperimen menunjukkan keakuratan sistem dalam mendeteksi keadaan normal atau tidak normal, serta kemampuannya untuk memberikan notifikasi cepat melalui aplikasi android.
4	Susilo, et al	2023	Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis Internet Of Things	Hasil Penelitian ini yaitusensor pH 4502C dapat menghasilkan output berupa analog yaitu voltage lalu dihubungkan ke microcontroller ESP32 untuk mengubah nilai analog voltage menjadi nilai digital yaitu pH air sehingga ESP32 dapat mengirimkan data berubah nilai pH air secara akurat ke aplikasi Blynk.
5	Saputra	2023	Rancang Bangun Sistem Budidaya Ikan Otomatis Berbasis Internet Of Things	Hasil penelitian ini adalah sensor dipantau realtime di aplikasi Blynk di android serta hasil pengujian menunjukkan sensor suhu efektif menjaga suhu di 25°C - 32°C, sensor pH mengontrol pH 6-9, dan menghasilkan kondisi air optimal di kolam ikan.
6	Akbar and Irwan	2023	Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Fuzzy Logic	Hasl dari penelitain berikut adalah pengujian keseluruhan seluruh sistem diatas ketika suhu air kurang/lebih dari 31o-33o, dan jika kekeruhan air kurang/lebih dari 35%-45% maka pompa 1 akan nyala/mati sesuai rules. Jika kadar pH kurang/lebih dari 7.5-8. maka pompa 1 atau pompa 2 akan berjalan sesuai rules. Artinya maka proses tersebut sesuai yang diharapkan
7	Bu'u, et al	2023`	Monitoring Kualitas Air pada Aquarium	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik dalam

No	Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
			Berbasis Internet of Things (IoT)	menjaga kualitas air sesuai kebutuhan ikan, yaitu pH air berada dalam rentang 6-8 dan tingkat kekeruhan di bawah 10 NTU. Sistem ini membantu pengguna mengontrol kualitas air dari jarak jauh, memudahkan pekerjaan, menghemat waktu, serta menjaga kelangsungan hidup ikan
8	Putera,et al	2023	Implementasi Fuzzy Logic Untuk Sistem Kendali Dan Monitoring Kesuburan Tanah Berbasis IoT	Hasil penelitian ini adalah rancang sistem kendali kelembapan tanah, PH tanah dengan cara memilih penyiraman tanah menggunakan air bersih maupun larutan kapur.

2.2 Ikan Glowfish

Ikan *Glowfish* merupakan jenis ikan hias yang telah dimodifikasi secara genetik untuk memancarkan cahaya berwarna-warni di bawah cahaya ultraviolet. Modifikasi ini diperoleh melalui transfer gen yang bertanggung jawab untuk produksi protein fluoresen dari organisme laut seperti ubur-ubur dan karang laut ke dalam genom ikan zebra biasa (Rasmani dkk., t.t.). Hasilnya adalah ikan yang tidak hanya menarik dari segi estetika tetapi juga sering digunakan dalam riset biologi dan genetika karena kemampuan unik ini.

Kualitas air merupakan faktor penting dalam pemeliharaan ikan *Glowfish*, mempengaruhi tidak hanya kesehatan tetapi juga intensitas dan kualitas warna yang mereka pancarkan. Ikan ini memerlukan kondisi air yang stabil dengan pH netral atau sedikit asam, berkisar antara 6,0 hingga 8,0 (Ramdani, 2020). Suhu air yang ideal untuk ikan *Glowfish* adalah antara 25 hingga 28 derajat Celsius. Selain itu, mereka juga membutuhkan air yang bersih dan bebas dari kontaminan kimia dan biologis untuk menghindari penyakit.

Ikan *Glowfish* secara umum adalah ikan yang kuat dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, namun masih memerlukan perhatian khusus terhadap kualitas air. Ammonia dan nitrit harus selalu dijaga pada level yang rendah karena keduanya sangat beracun bagi ikan, bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah. Oksigen terlarut dalam air harus cukup, tidak hanya untuk mendukung pernapasan ikan tetapi juga untuk menjaga agar air tidak stagnan yang bisa menjadi sarang bagi patogen dan parasit.

Perawatan yang tepat dan *monitoring* rutin terhadap kualitas air tidak hanya akan memastikan kelangsungan hidup ikan tetapi juga akan memaksimalkan kecerahan dan kejernihan warna yang menjadi ciri khas ikan *Glowfish*. Dengan demikian, penting bagi pemilik untuk dilengkapi dengan pengetahuan dan alat yang tepat untuk mengukur dan mengatur kualitas air dalam kolam atau akuarium yang dihuni oleh ikan *Glowfish*. Sebagaimana Realisasi akuarium yang dihuni oleh ikan *Glowfish* dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Ikan *Glowfish*

2.3 Indeks Kualitas Air

Indeks Kualitas Air (IKA) dibuat oleh pemerintah untuk mengurangi pencemaran air. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air menetapkan indeks kualitas air digunakan sebagai acuan untuk menentukan tingkat kualitas air berdasarkan tiga parameter (Bule & Nipu, 2023). Adapun parameter pada Indeks Kualitas Air adalah:

a. Parameter Fisika

Parameter fisika menggambarkan kondisi fisik air yang dapat memengaruhi kehidupan ikan secara langsung. Parameter ini meliputi suhu dan kekeruhan

b. Parameter Kimia

Parameter kimia berkaitan dengan komposisi zat kimia yang terlarut dalam air. Parameter ini meliputi pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS).

c. Parameter Biologi

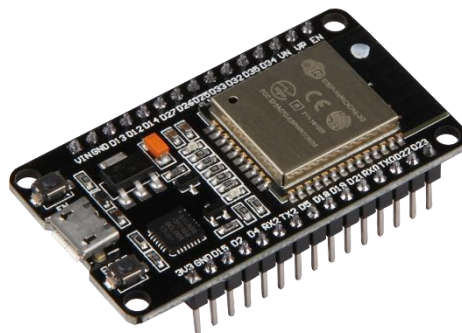
Parameter biologi mengukur aspek kehidupan mikroorganisme atau biota lain dalam air. Dalam penelitian ini, parameter ini tidak langsung diukur menggunakan sensor. Namun, hasil pengukuran parameter fisika dan kimia dapat memberikan indikasi kesehatan ekosistem biologis.

2.4 ESP32

ESP32 adalah modul mikrokontroler yang kuat dan serbaguna yang dikembangkan oleh Espressif System (Dhaifullasyah, 2024). Modul ini dikenal karena integrasi fitur Wi-Fi dan Bluetooth yang menjadikannya pilihan populer untuk proyek-proyek *Internet of Things* (IoT). Dibandingkan dengan pendahulunya ESP8266, ESP32 menawarkan performa yang lebih tinggi, dengan dukungan untuk

dual-core, lebih banyak memori, dan fitur-fitur tambahan yang menjadikannya solusi yang sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan komunikasi nirkabel dan pemrosesan data yang lebih kompleks.

ESP32 menggunakan prosesor Tensilica Xtensa LX6, yang tersedia dalam konfigurasi dual-core atau single-core. Prosesor ini memiliki kecepatan clock hingga 240 MHz, dan modulnya memiliki 520 KB SRAM, yang memungkinkan pengolahan data dalam aplikasi yang lebih besar dan rumit (Sofyan, 2023). ESP32 dapat mengelola berbagai tugas secara bersamaan berkat arsitektur dual-core-nya. Ini memungkinkan modul ini untuk menangani komunikasi Wi-Fi atau Bluetooth di satu inti sementara inti lainnya digunakan untuk pengolahan data atau kontrol perangkat keras lainnya. Seperti gambar 2.2 menunjukkan modul ESP32.



Gambar 2. 2 ESP32

ESP32 memiliki fitur prosesor yang kuat serta kemampuan konektivitas yang luar biasa. Modul ini mendukung protokol Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR dan BLE (Bluetooth Low Energy), dan memungkinkan koneksi ke berbagai perangkat dan jaringan. Aplikasi *Internet of Things* sering memerlukan konektivitas perangkat dengan server cloud, aplikasi seluler, atau perangkat IoT

lainnya. Selain itu, kemampuan dual-mode Bluetooth memungkinkan ESP32 berinteraksi dengan perangkat Bluetooth dan BLE konvensional, yang meningkatkan fleksibilitas untuk pengembangan aplikasi.

Selain itu, ESP32 memiliki 34 pin GPIO (Input/Output General Purpose), yang dapat dikonfigurasi untuk berbagai fungsi seperti PWM, ADC (Analog-to-Digital Converter), DAC (Digital-to-Analog Converter), I2C, SPI, dan UART. Dengan demikian, ESP32 ideal untuk digunakan dalam sistem pengawasan dan kontrol, di mana ia dapat berfungsi sebagai pengendali utama yang memonitor dan menghubungkan sensor, aktuator, dan perangkat lainnya. ESP32 memiliki dukungan perangkat lunak yang luas. Arduino IDE, PlatformIO, dan Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF) sendiri adalah beberapa lingkungan pengembangan yang dapat digunakan untuk program ESP32. Ini sangat populer di kalangan pengembang IoT karena memungkinkan pengguna memanfaatkan banyak pustaka dan komunitas pengguna yang besar, yang memudahkan proses pengembangan dan debugging.

Secara keseluruhan, ESP32 adalah modul mikrokontroler yang sangat serbaguna yang memiliki kemampuan pemrosesan yang kuat, konektivitas nirkabel yang andal, dan dukungan perangkat lunak yang luas (NUGRAHA, 2023). Dengan ESP32, sistem ini dapat mengintegrasikan data dari berbagai sensor, mengirimkan data ke cloud untuk analisis lanjutan, dan mengambil tindakan otomatis berdasarkan kondisi yang dipantau, menjadikannya pilihan yang ideal untuk proyek-proyek IoT yang kompleks, seperti sistem *monitoring* kualitas air pada kolam ikan yang berbasis IoT. Selain itu, ESP32 memiliki kemampuan untuk

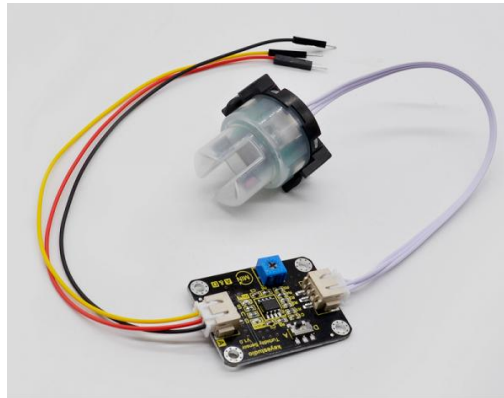
menangani berbagai tugas sekaligus menjadikannya pilihan yang ideal untuk proyek-proyek IoT yang kompleks.

2.5 Sensor

Faktor-faktor seperti pH, suhu, kekeruhan, dan *Total Dissolved Solids* (TDS) sangat penting untuk mengukur kualitas air. Menurut Bule dan Nipu (2023), pH netral (6,5–8,5) sangat penting untuk menjaga keseimbangan kimia air, dan suhu mempengaruhi kandungan oksigen terlarut, yang berdampak pada metabolisme ikan. Kekeruhan rendah menunjukkan bahwa ada sedikit partikel tersuspensi yang dapat mengganggu ekosistem perairan, dan nilai TDS yang tepat (kurang dari 1000 mg/L) Penggunaan sensor untuk setiap parameter ini, bersama dengan sistem IoT dan metode *fuzzy*, memungkinkan pemantauan kualitas air secara otomatis secara real-time, sehingga perbaikan dapat dilakukan tepat waktu untuk menjaga kondisi kolam ikan *glowfish* tetap ideal.

2.5.1 Kekeruhan

Sensor kekeruhan, juga dikenal sebagai sensor *turbidity*, adalah alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekeruhan air dengan mendeteksi jumlah partikel yang tersuspensi di dalamnya (Melangi dkk., 2022). Ketika sumber cahaya, seperti LED, diarahkan ke air, dan fotodetektor mengukur intensitas cahaya yang diteruskan atau dipantulkan oleh partikel dalam air, tingkat kekeruhan air meningkat seiring dengan jumlah partikel padat seperti lumpur, pasir, alga, atau zat organik lainnya yang tersuspensi dalam air. Seperti pada gambar 2.3 menunjukkan sensor *turbidity*.



Gambar 2. 3 Sensor *Turbidity*

Spesifikasi Sensor Kekeruhan (*Turbidity* Sensor) TSD-10 / SEN0189:

- a. Tegangan Operasional: 5V DC
- b. Arus Operasional: Maksimal 40 mA.
- c. Rentang Pengukuran: 0 hingga 4000 NTU (Nephelometric *Turbidity* Units),
di mana NTU adalah satuan untuk mengukur kekeruhan air.
- d. Output: Analog Voltage (0-4.5V) untuk pembacaan tingkat kekeruhan.
- e. Suhu Operasional: 0 hingga 40°C.
- f. Kelembaban Operasional: 0 hingga 90% RH (tanpa kondensasi).

2.5.2 Suhu

Sensor suhu DS18B20 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dengan akurasi tinggi dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT (Paramytha, 2024). Ini menggunakan teknologi 1-Wire, yang memungkinkan sensor berkomunikasi dengan perangkat mikrokontroler melalui satu jalur data, yang membuat pengkabelan dan instalasi lebih mudah. Gambar 2.4 menunjukkan sensor suhu DS18B20 yang digunakan pada penelitian.



Gambar 2. 4 Sensor Suhu *DS18B120 Probe*

Spesifikasi Sensor DS18B120:

- a. Rentang Pengukuran Suhu -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$
- b. Akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ dalam rentang -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$
- c. Resolusi Pengukuran Dapat dipilih dari 9-bit hingga 12-bit
- d. Tegangan Operasional 3.0V hingga 5.5V
- e. Output Data digital (1-Wire protocol)
- f. Waktu Respons Konversi suhu memerlukan waktu sekitar 750 ms.

2.5.3 Total Dissolved Solids

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) mengukur tingkat padatan terlarut dalam air, yang menunjukkan tingkat kemurnian atau kontaminasi air (Muhammad, 2024). Ini melakukannya dengan mengukur konduktivitas larutan air, yang kemudian diubah oleh sensor menjadi nilai TDS. Data analog yang dihasilkan oleh sensor dapat dibaca oleh mikrokontroler dan diproses lebih lanjut. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengukur kualitas air dalam berbagai aplikasi, termasuk hidroponik, akuarium, dan sistem pemantauan air minum. Sebagaimana pada gambar 2.5 menunjukkan Sensor *Total Dissolved Solids* yang digunakan.



Gambar 2. 5 Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)

Spesifikasi Sensor TDS :

- a. Rentang Pengukuran TDS: 0 hingga 1000 ppm
- b. Akurasi: $\pm 10\%$ (tergantung pada kalibrasi dan kondisi penggunaan)
- c. Tegangan Operasional: 3.3V hingga 5V
- d. Output: Data analog
- e. Waktu Respons: Cepat (beberapa detik)
- f. Aplikasi: Pengujian kualitas air, hidroponik, akuarium, dll.

2.5.4 PH

Sensor pH SEN0161 adalah alat yang dibuat untuk mengukur dengan tepat tingkat keasaman atau kebasaan (pH) larutan (Anwar & Abdurrohman, 2020). Sensor pH ini bekerja dengan menggunakan elektroda kaca yang sensitif terhadap konsentrasi ion hidrogen dalam air. Ketika elektroda ini ditempatkan dalam air, ia menghasilkan tegangan yang berubah sesuai dengan perubahan pH air. Tegangan ini kemudian diubah menjadi nilai pH, yang dapat dibaca oleh mikrokontroler IoT seperti Arduino atau platform lainnya. Sensor ini sangat cocok untuk aplikasi pemantauan kualitas air secara berkelanjutan karena memiliki

respons cepat dan akurasi yang tinggi. Sensor pH SEN0161 sangat fleksibel dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti sistem pengolahan air, akuarium, dan kolam ikan, karena dapat berfungsi dalam berbagai kondisi lingkungan. Sebagaimana pada gambar 2.6 menunjukkan Sensor pH SEN0161 yang digunakan.



Gambar 2. 6 pH Meter Sensor

Spesifikasi Sensor pH SEN0161:

- a. Tegangan Operasional: 5V DC.
- b. Output: Analog (0-4.5V).
- c. Rentang Pengukuran pH: 0 hingga 14 pH.
- d. Akurasi Pengukuran: ± 0.1 pH (pada suhu 25°C).
- e. Waktu Respon: Kurang dari 1 menit.
- f. Suhu Operasional: 0 hingga 60°C.

2.6 Pompa Air Mini

Pompa mini dibuat untuk memindahkan cairan dalam volume kecil dengan efisiensi tinggi. Mereka biasanya menggunakan motor DC kecil, biasanya 5V atau 12V, yang terhubung dengan impeler atau pompa diafragma untuk menggerakkan cairan. Sebagaimana pada gambar 2.6 menunjukkan pompa air mini yang

digunakan. Motor ini dirancang untuk memberikan aliran yang stabil dengan konsumsi daya yang rendah, dan mereka juga memiliki fitur anti-kering atau proteksi terhadap kebocoran. Karena kemudahan integrasinya dengan mikrokontroler dan sistem kontrol otomatis, pompa ini sangat berguna untuk sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT).



Gambar 2. 7. Pompa Air mini

Spesifikasi Pompa Mini:

- a. Tegangan Operasional: 5V DC atau 12V DC.
- b. Arus Operasional: Biasanya sekitar 0.5A hingga 1A.
- c. Kapasitas Aliran: 60 hingga 120 liter per jam (L/h) tergantung model.
- d. Tekanan Maksimal: 0.2 hingga 0.5 bar.
- e. Bahan Material: Plastik tahan korosi dan elastomer untuk bagian-bagian yang bersentuhan dengan cairan.
- f. Suhu Operasional: 0°C hingga 60°C.
- g. Fitur Tambahan: Proteksi anti-kering, anti-kebocoran, dan desain kompak untuk instalasi yang mudah.
- h. Konektivitas: Biasanya dilengkapi dengan selang atau port sambungan yang kompatibel dengan pipa standar

2.7 Logika Fuzzy

Logika Fuzzy adalah suatu metode pengambilan keputusan yang mampu menangani ketidakpastian dan ketidakjelasan data dengan lebih fleksibel dibandingkan logika biner (Arigo dkk., 2024). Logika biner tradisional hanya mengenal dua nilai, yaitu benar (1) atau salah (0), sedangkan logika Fuzzy bekerja dengan konsep nilai derajat keanggotaan, yang memungkinkan suatu variabel memiliki nilai dalam rentang $[0, 1]$. Hal ini memungkinkan logika Fuzzy untuk menangani situasi yang tidak pasti atau ambigu, yang sering terjadi dalam lingkungan nyata.

Logika Fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965, dengan tujuan untuk memodelkan sistem yang tidak pasti dan kompleks, di mana pendekatan matematika tradisional kurang efektif. Pendekatan ini sangat berguna dalam sistem kontrol, pengambilan keputusan, dan aplikasi lain yang membutuhkan pengolahan informasi yang tidak pasti atau tidak lengkap.

2.7.1 Himpunan Fuzzy

Dalam Himpunan Fuzzy digunakan untuk memodelkan variabel yang tidak pasti dalam logika Fuzzy. Dalam himpunan *fuzzy*, setiap elemen memiliki derajat keanggotaan, yang menunjukkan sejauh mana elemen tersebut termasuk dalam himpunan. Derajat keanggotaan berkisar dari 0 hingga 1 dan menunjukkan sejauh mana elemen tersebut termasuk dalam himpunan *fuzzy*. Fungsi yang menentukan derajat keanggotaan suatu elemen dalam himpunan *fuzzy* adalah fungsi keanggotaan.

Sebagai contoh, kategori "suhu hangat" dapat memiliki nilai keanggotaan 0,8 untuk suhu 28 °C dan nilai 0,5 untuk suhu 30 °C, yang menunjukkan bahwa suhu tersebut lebih dekat dengan "hangat" daripada "dingin" atau "panas". Nilai-nilai ini bermanfaat untuk aplikasi seperti sistem kontrol, pengambilan keputusan, dan aplikasi lain yang membutuhkan pengolahan data yang tidak pasti atau tidak lengkap.

2.7.2 Metode Fuzzy Mamdani

Metode Mamdani merupakan salah satu metode inferensi *fuzzy* yang paling umum digunakan. Metode ini dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975 untuk mengontrol mesin uap dan boiler. Metode ini dikenal karena kemampuannya dalam menangani keputusan dengan basis aturan yang kompleks dan memberikan hasil yang dapat dengan mudah dipahami oleh manusia (Kardila dkk., 2023).

Metode Mamdani bekerja melalui beberapa tahapan, yaitu:

1. *Fuzzifikasi*: Pada tahap ini, variabel input yang merupakan data *crisp* (tegas) diubah menjadi nilai *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan. Misalnya, dalam *monitoring* kualitas air kolam ikan, input berupa suhu air, pH, dan oksigen terlarut akan diubah menjadi himpunan *fuzzy* seperti "suhu rendah," "pH netral," atau "oksigen tinggi."
2. Aplikasi Aturan Fuzzy (*Rule Evaluation*): Dalam tahap ini, aturan-aturan *fuzzy* yang sudah ditentukan sebelumnya digunakan untuk menentukan keluaran. Setiap aturan dalam metode Mamdani berbentuk logika implikasi seperti:

Jika suhu air hangat DAN pH netral, MAKA kualitas air baik.

Aturan-aturan ini diambil dari pengetahuan domain tertentu, misalnya dalam konteks kualitas air yang sesuai untuk ikan *glowfish*.

3. *Inferensi (Agregasi)*: Setelah aturan-aturan diterapkan, semua hasil dari berbagai aturan *fuzzy* akan dikombinasikan untuk mendapatkan keluaran output *fuzzy*. Ada berbagai macam teknik komposisi aturan yang digunakan sebagai berikut (Kinasih, 2021).

3.1 Metode *Max*

Metode *MAX* mengambil nilai fungsi keanggotaan tertinggi dari semua input yang ada. Nilai keanggotaan output untuk setiap aturan dipilih berdasarkan nilai keanggotaan maksimum dari input (Kinasih, 2021).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung metode ini adalah:

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.1)$$

3.2 Metode *Sum*

Metode *SUM* menghitung nilai output dengan menjumlahkan fungsi keanggotaan dari berbagai aturan, tetapi hasilnya dibatasi (dibatasi) agar tetap berada dalam rentang $[0, 1]$. Persamaan yang digunakan untuk menghitung metode ini adalah: Nilai keanggotaan output metode ini dihitung dengan menjumlahkan nilai keanggotaan dari input yang relevan, dengan batas maksimal 1 (Kinasih, 2021).

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.2)$$

3.3 Metode *Probor*

Output dari metode *Probor* atau (Probabilistic OR) dihitung dengan mengalikan semua fungsi keanggotaan yang ada dan kemudian mengurangi hasil perkalian tersebut dari jumlah total. Teknik ini lebih sering digunakan dalam situasi di mana perhitungan berbasis probabilitas diperlukan (Kinasih, 2021). Persamaan untuk perhitungan yang dilakukan dengan metode *Probor* adalah sebagai berikut:

$$\mu_{sf}(x_i) = \left((\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) - (\mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \right) \quad (2.3)$$

4. *Defuzzifikasi*: Pada tahap terakhir, metode Pusat Area (COA) digunakan untuk mengubah himpunan *fuzzy* hasil komposisi aturan menjadi nilai *crisp* (Kinasih, 2021). Nilai COA diperoleh dengan menghitung titik pusat area yang berada di bawah kurva derajat keanggotaan menurut persamaan berikut:

Dengan rumus berikut:

$$z^* = \frac{\sum_{j=i}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=i}^n \mu(z_j)} \quad (2.4)$$

Keterangan :

z^* : nilai hasil *defuzzifikasi* atau nilai *crisp* (nilai tegas).

$\mu(z_j)$: nilai keanggotaan untuk titik z_j .

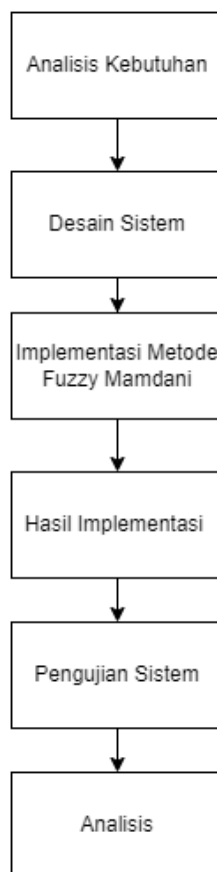
$\sum_{j=i}^n \mu(z_j)$: jumlah nilai keanggotaan dari semua titik yang relevan.

$\sum_{j=i}^n z_j \mu(z_j)$: jumlah produk antara titik *crisp* dan nilai keanggotaan untuk semua titik yang relevan.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan metodologi penelitian yang meliputi analisis kebutuhan, desain sistem, prinsip kerja sistem dan implementasi metode Fuzzy Mamdani pada *system* ini. Dimana pada penelitian ini membangun *system otomasi* kualitas air pada kolam ikan *glowfish* berbasis IoT menggunakan metode Fuzzy. Sebagaimana dapat dilihat prosedur penelitian pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Prosedur Penelitian

3.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Agar sistem *otomasi* kualitas air pada kolam ikan *Glowfish* berbasis IoT dengan metode Fuzzy Mamdani dapat berfungsi dengan baik, diperlukan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak. Berikut adalah analisis kebutuhan dari sistem ini.

3.1.1 Kebutuhan Perangkat Keras

1. Mikrokontroler ESP32

Data yang dikumpulkan dari berbagai sensor diproses di dalam mikrokontroler ini. ESP32 dipilih karena berbagai fiturnya. Ini termasuk mendukung konektivitas WiFi, memungkinkan komunikasi dengan protokol HTTP untuk pengiriman data, dan memungkinkan pengendalian pompa air secara *real-time*.

2. Sensor pH (pH Sensor SEN0161-V2)

Sensor ini berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman air di dalam kolam. Data dari sensor ini akan digunakan untuk menentukan apakah air bersifat asam, netral, atau basa, yang kemudian diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menentukan kualitas air.

3. Sensor Suhu (DS18B20)

Sensor ini berfungsi untuk mengukur suhu air di kolam. Suhu yang terlalu tinggi atau rendah dapat mempengaruhi kesehatan ikan *Glowfish*. Sensor suhu akan memberikan data yang penting dalam menentukan apakah kondisi air optimal untuk ikan.

4. Sensor Kekeruhan (*Turbidity* Sensor SKU SEN0189)

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi tingkat kekeruhan air. Kekeruhan air yang tinggi menandakan adanya partikel-partikel yang mengambang di air yang bisa membahayakan kesehatan ikan *Glowfish*. Hasil dari sensor ini akan digunakan sebagai salah satu input dalam proses Fuzzy Mamdani.

5. Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) SEN0244

Sensor ini digunakan untuk mengukur kandungan padatan terlarut dalam air. Kandungan padatan yang tinggi dapat mengindikasikan air yang tidak sehat bagi ikan, sehingga sensor ini berperan penting dalam proses *monitoring* kualitas air.

6. Pompa Air

Pompa ini digunakan untuk mengisi ulang air jika kualitas air buruk (misalnya karena tingkat kekeruhan yang tinggi). Air akan diisi ulang hingga memenuhi standar kualitas air yang diinginkan.

7. Modul Relay

Relay diperlukan untuk mengontrol pompa-pompa yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Relay akan bertindak sebagai saklar elektronik yang mengatur kapan pompa diaktifkan atau dimatikan sesuai dengan keputusan dari sistem *fuzzy*.

8. Catu Daya (Power Supply)

Sistem memerlukan catu daya untuk menyediakan tegangan yang dibutuhkan oleh mikrokontroler ESP32, sensor-sensor, dan pompa. Power

supply harus sesuai dengan kebutuhan perangkat keras, yaitu sekitar 5V-12V tergantung perangkat yang digunakan.

3.1.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

1. Arduino IDE

Arduino IDE digunakan untuk mengembangkan kode program yang akan diunggah ke mikrokontroler ESP32. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah C/C++ yang sudah disederhanakan untuk penggunaan di Arduino. Program ini berfungsi untuk membaca data sensor, mengolah data menggunakan metode Fuzzy Mamdani, dan mengendalikan pompa berdasarkan hasil pengolahan tersebut.

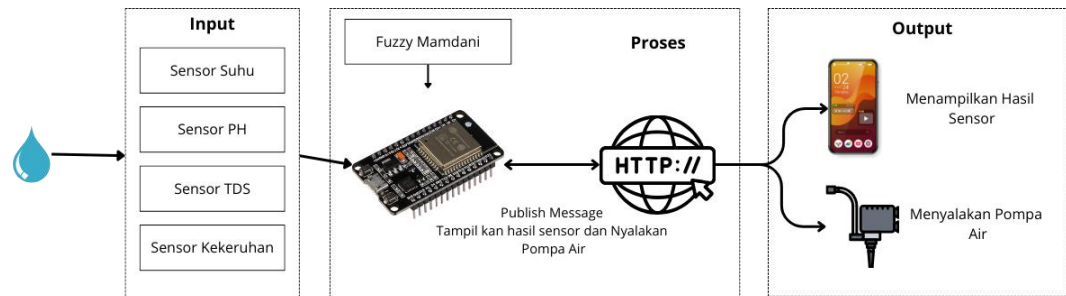
2. Protokol Pengiriman HyperText (HTTP)

HTTP adalah protokol komunikasi berbasis client-server yang digunakan dalam penelitian ini untuk memungkinkan mikrokontroler ESP32 berinteraksi dengan aplikasi atau dashboard pengguna. Dalam sistem ini, ESP32 berfungsi sebagai client dan dapat mengirimkan data sensor ke server dengan metode HTTP POST, dan juga dapat mengambil data atau instruksi dari server dengan metode HTTP GET. HTTP dapat menerima data sensor ESP32 dan menyimpannya ke dalam database. Selain itu, server dapat menanggapi permintaan ESP32 dengan memberikan perintah kontrol, seperti aktivasi pompa berdasarkan hasil kualitas air.

3. Desain Sistem

Desain sistem yang akan dikembangkan untuk Sistem *Otomasi* Kualitas Air pada Kolam Ikan *Glowfish* Berbasis IoT terdiri dari tiga komponen utama, yaitu:

Input, Proses, dan Output. Sebagaimana dapat dilihat desain sistem pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Desain Sistem

Berbagai sensor digunakan dalam sistem untuk mengidentifikasi parameter kualitas air. Metode Fuzzy Mamdani yang diterapkan pada mikrokontroler ESP32 memproses data , yang kemudian digunakan untuk mengontrol sistem pompa dan memberikan informasi kepada pengguna melalui protokol HTTP berbasis IoT.

3.1.3 Komponen Input

Pada tahap input, sistem memanfaatkan empat jenis sensor utama yang berfungsi untuk mengukur parameter kualitas air di kolam ikan *glowfish*. Sensor-sensor tersebut adalah:

- Sensor pH: Digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air kolam. Parameter pH sangat penting karena mempengaruhi kesehatan ikan.
- Sensor Suhu: Bertugas memantau suhu air, karena suhu yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan ikan *glowfish* sangat penting untuk kelangsungan hidup mereka.

- c. Sensor Kekeruhan: Sensor ini mengukur tingkat kejernihan air, yang dapat menjadi indikator kualitas air secara keseluruhan, seperti adanya partikel-partikel asing di dalam air.
- d. Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS): Sensor ini mengukur jumlah zat padat terlarut dalam air, seperti mineral, garam, dan logam yang mempengaruhi kualitas air.

3.1.4 Komponen Proses

Proses utama dalam sistem ini melibatkan pengolahan data sensor menggunakan mikrokontroler ESP32 dan metode logika *fuzzy* Mamdani.

1. Mikrokontroler ESP32: Mikrokontroler ini berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Setelah menerima input dari berbagai sensor, data tersebut dikirim ke ESP32 untuk diproses lebih lanjut menggunakan logika *fuzzy* Mamdani.
2. Web Service menghubungkan Database, Dashboard Web, dan ESP32 menggunakan protokol HTTP. Setelah data sensor diproses menggunakan algoritma Fuzzy Mamdani oleh ESP32, Web Service menerima data tersebut melalui metode HTTP POST dan menyimpannya ke dalam Database untuk pelacakan historis dan analisis. Web Service juga melayani permintaan dari ESP32 menggunakan metode HTTP GET untuk mengirimkan instruksi pengendalian perangkat otomatis seperti "pompa" atau "filter" berdasarkan hasil analisis kualitas air.
3. Fuzzy Mamdani: Metode Fuzzy Mamdani digunakan untuk menentukan kualitas air berdasarkan hasil pengukuran dari sensor pH, suhu, kekeruhan,

dan TDS. Sistem *fuzzy* ini akan mengelompokkan data menjadi berbagai tingkatan kualitas air, seperti "Baik", "Sedang", atau "Buruk". Secara umum, metode ini bekerja melalui beberapa tahapan, antara lain:

- a. Fuzzifikasi: Tahap di mana data sensor dikonversi ke dalam nilai *fuzzy*.
- b. Inferensi: Pada tahap ini, aturan-aturan *fuzzy* diaplikasikan untuk menilai kualitas air. Aturan *fuzzy* Mamdani dirancang berdasarkan pengalaman ahli dan hasil penelitian.
- c. Defuzzifikasi: Hasil keputusan *fuzzy* akan diubah menjadi nilai *crisp* setelah proses inferensi. Nilai *crisp* akan digunakan untuk mengontrol sistem pompa dan akan diberikan notifikasi kepada aplikasi pengguna melalui protokol HTTP.

3.1.5 Komponen Output

Output dari sistem ini terbagi menjadi dua komponen utama, yaitu:

1. Kontrol Pompa: Berdasarkan hasil analisis kualitas air menggunakan metode *fuzzy*, sistem akan mengaktifkan atau menonaktifkan beberapa pompa yang terhubung dengan sistem. Pompa-pompa ini berfungsi untuk mengatur proses penggantian air dalam kolam berdasarkan kondisi kualitas air. Jika air sudah terlalu keruh atau terkontaminasi, maka pompa pengurasan dan pengisian air akan diaktifkan untuk menjaga kondisi air tetap bersih dan layak.
2. Selain kontrol otomatis pada pompa, hasil dari pengukuran kualitas air juga akan dikirimkan ke smartphone. Yang mana akan berguna sebagai antarmuka pengguna yang memudahkan pemantauan kondisi kualitas air

secara real-time melalui smartphone. Pengguna dapat melihat parameter kualitas air seperti suhu, pH, tingkat kekeruhan, dan TDS, serta menerima notifikasi apabila kualitas air tidak sesuai dengan standar yang ditentukan.

3.2 Implementasi Metode *Fuzzy Mamdani*

Implementasi Metode *Fuzzy Mamdani* akan dilakukan pada esp32 dalam proses penentuan tingkat kualitas air.

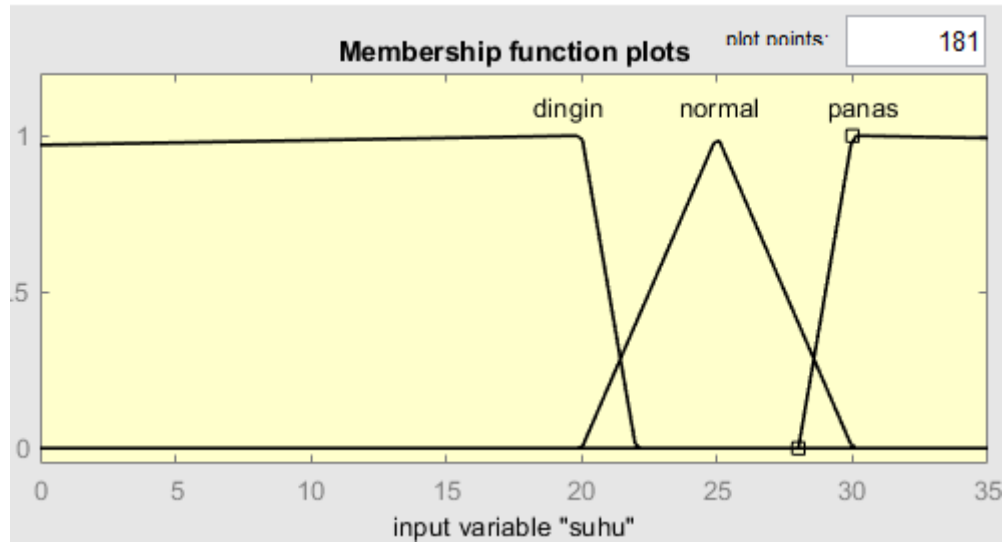
3.2.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (*Fuzzifikasi*)

Fuzzifikasi adalah proses awal dalam metode Fuzzy Mamdani, di mana input yang berupa himpunan tegas (*crisp*) diubah menjadi himpunan *fuzzy* berdasarkan fungsi keanggotaan yang sudah ditentukan. Dalam penelitian ini, terdapat empat sensor yang digunakan yaitu suhu, ph, tds dan kekeruhan.

1. Variable Suhu

Dalam penelitian oleh Junaedi dkk. (2023), variabel suhu dibagi menjadi 3, dan penelitian tersebut mengkategorikan suhu air dalam akuarium dengan metode fuzifikasi, sebagai berikut:

- a. Dingin(0–22 °C)
- b. Normal (20–30 °C)
- c. Panas (28–35 °C)



Gambar 3. 3 Derajat Keanggotaan Suhu

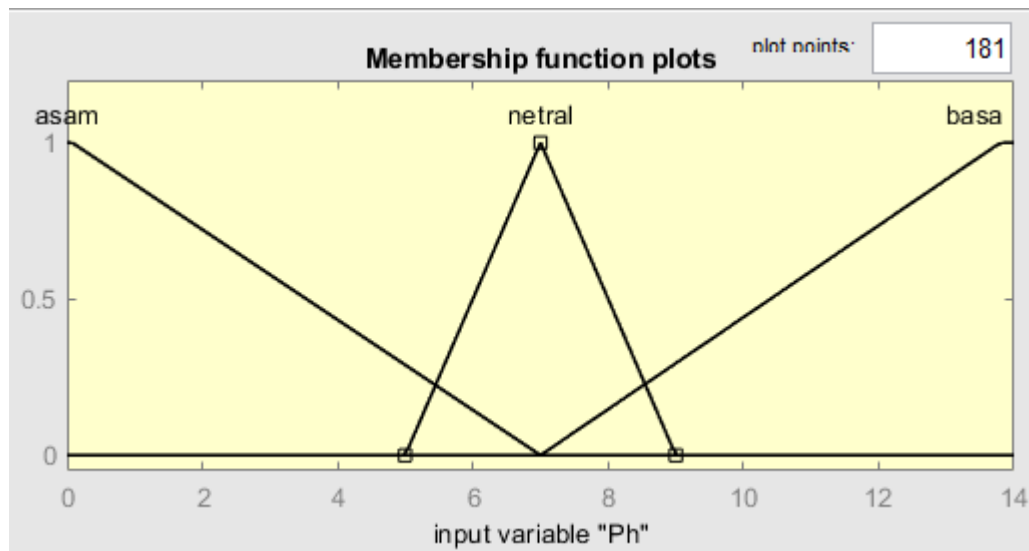
Nilai keanggotaan *fuzzy* untuk suhu dihitung berdasarkan derajat suhu aktual yang terukur dari sensor DS18B20. Fungsi keanggotaan suhu dirancang sebagai berikut:

1. Dingin: $\mu_{rendah}(a) = \begin{cases} 1, & a \leq 20 \\ \frac{22-a}{22-20}, & 20 < a \leq 22 \\ 0, & a \geq 22 \end{cases}$
2. Normal: $\mu_{sedang}(a) = \begin{cases} \frac{a-20}{22-20}, & 20 < a < 22 \\ 1, & 22 \leq a \leq 28 \\ \frac{30-a}{30-28}, & 28 < a \leq 30 \end{cases}$
3. Panas: $\mu_{tinggi}(a) = \begin{cases} \frac{a-28}{30-28}, & 28 \leq a \leq 30 \\ 1, & a \geq 30 \end{cases}$

2. Variable PH

Dalam penelitian oleh Duta. (2025), variabel pH dibagi menjadi 3 kategori, dan penelitian tersebut mengkategorikan pH air dalam akuarium dengan metode fuzifikasi, sebagai berikut, sebagai berikut:

- a. Asam (1.0 – 7.0)
- b. Netral (6.0 – 8.0)
- c. Basa (7.0 – 15.0)



Gambar 3. 4 Derajat Keanggotaan PH

Nilai keanggotaan untuk pH diukur dari sensor pH SEN0161-V2 dan dihitung menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan parameter pH. Fungsi keanggotaan PH dirancang sebagai berikut:

1. Asam $\mu_{asam}(pH)$:

$$\mu_{asam}(pH) = \left\{ \frac{7 - pH}{7}, \quad 0 \leq pH \leq 7 \right\}$$

2. Netral $\mu_{netral}(pH)$:

$$\mu_{netral}(pH) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & pH \leq 5 \text{ atau } pH \geq 9. \\ \frac{pH - 5}{2}, & 5 \leq pH \leq 7 \\ \frac{9 - pH}{2}, & 7 \leq pH \leq 9 \end{array} \right\}$$

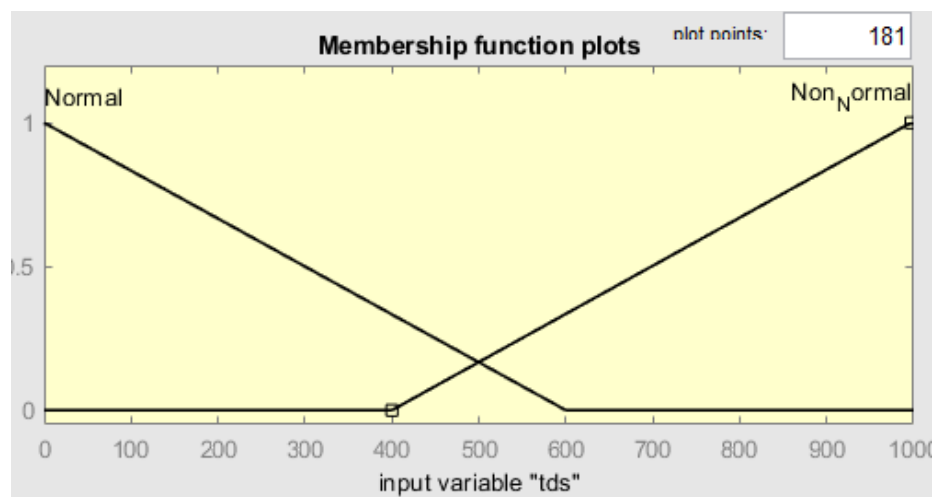
3. Netral μ basa(pH):

$$\mu_{basa}(pH) = \begin{cases} 0, & pH \leq 7 \\ \frac{pH - 7}{7}, & 7 \leq pH \leq 14 \\ 1, & pH \geq 14 \end{cases}$$

3. Variable *Total Dissolved Solids*

Dalam penelitian oleh Alfanza dkk.(2023), variabel TDS dibagi menjadi 2 kategori, dan penelitian tersebut mengkategorikan TDS air dalam akuarium dengan metode fuzifikasi, sebagai berikut :

- Normal : 0 – 600 ppm
- Non Normal: 400 – 1000 ppm



Gambar 3. 5 Derajat Keanggotaan TDS

Fungsi keanggotaan untuk TDS diperoleh dari sensor TDS yang mengukur kejernihan air. Fungsi keanggotaan untuk TDS dirancang sebagai berikut:

1. Normal: 0 – 600 ppm

$$\mu_{rendah}(a) = \begin{cases} 1, & a \leq 600 \\ \frac{1000 - a}{400}, & 600 < a \leq 1000 \\ 0, & a > 1000 \end{cases}$$

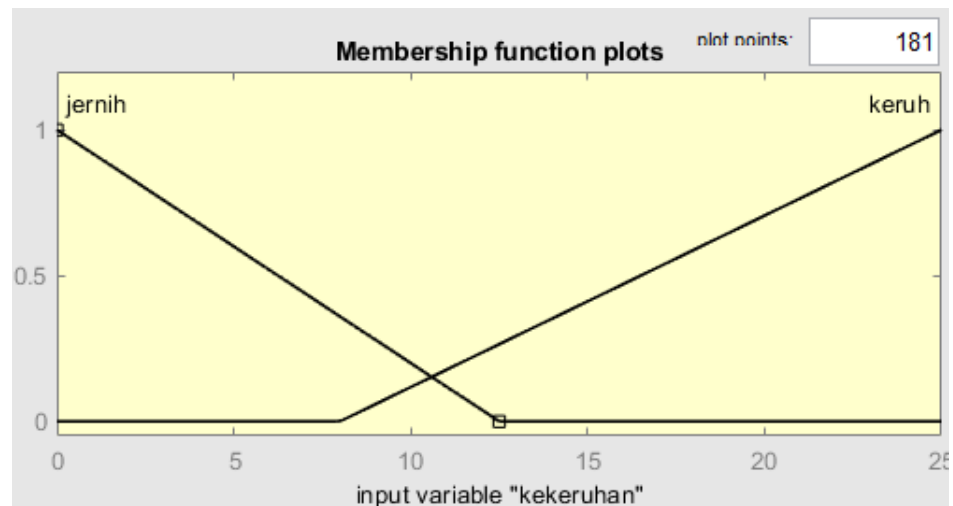
2. Non Normal: 400 – 1000 ppm

$$\mu_{tinggi}(a) = \begin{cases} 0, & a \leq 600 \\ \frac{a - 600}{400}, & 600 < a \leq 1000 \\ 1, & a > 1000 \end{cases}$$

4. Variable Kekeruhan

Dalam penelitian oleh Duta (2025), variabel kekeruhan dibagi menjadi 2 kategori, dan penelitian tersebut mengkategorikan tingkat kekeruhan air dalam akuarium dengan metode fuzifikasi, sebagai berikut:

- a. Jernih (0 – 10NTU)
- b. Keruh (9– 25NTU)



Gambar 3. 6 Derajat Keanggotaan Kekeruhan

Fungsi keanggotaan untuk kekeruhan diperoleh dari sensor kekeruhan (turbidity) SKU SEN0189 yang mengukur kejernihan air. Fungsi keanggotaan untuk kekeruhan dirancang sebagai berikut:

1. Jernih (0 – 10 NTU):

$$\mu_{jernih} = \begin{cases} \frac{12,5 - kekeruhan}{12,5 - 0}, & 0 < kekeruhan < 12,5 \\ 0, & kekeruhan \geq 12,5 \end{cases}$$

2. Keruh (9 – 25 NTU):

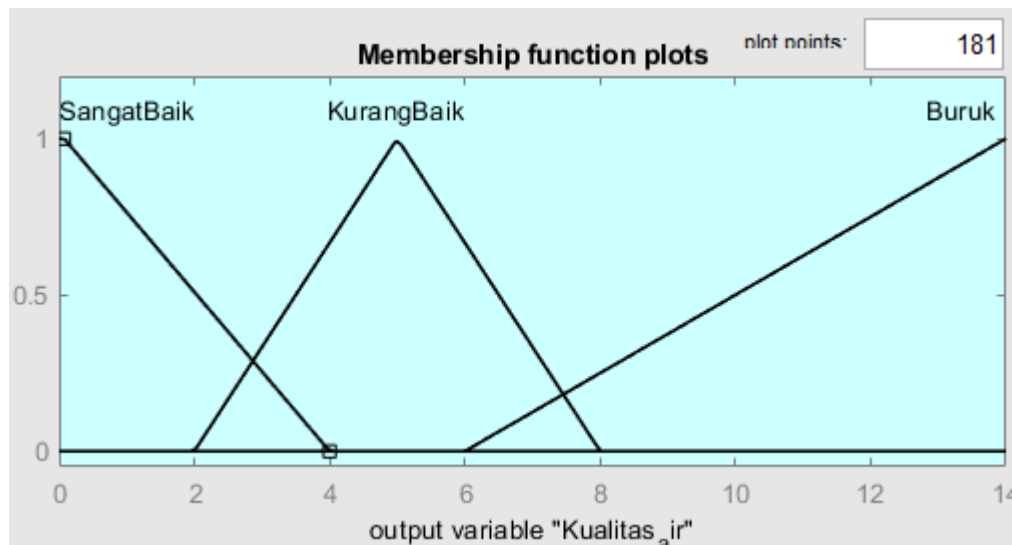
$$\mu_{keruh} = \begin{cases} 0, & kekeruhan \leq 8 \\ \frac{kekeruhan - 8}{25 - 8}, & 8 < kekeruhan \leq 25 \\ 1, & kekeruhan > 25 \end{cases}$$

5. Derajat Keanggotaan Kualitas Air

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Choiri (2024), variabel kualitas air yang dihasilkan dibagi menjadi tiga kategori, dan penelitian tersebut menggunakan metode fuzzifikasi untuk mengkategorikan tingkat kualitas air pada kolam ikan sebagai mana dapat dilihat pada table 3.1 dan gambar 3.7.

Tabel 3. 1 Indeks Kualitas Air

No	Himpunan	Derajat Keanggotaan
1.	Sangat Baik	0 - 4
2.	Kurang Baik	2 - 8
3.	Buruk	6 - 14



Gambar 3. 7 Derajat Keanggotaan Kualitas Air

3.2.2 Pembentukan Rule

Dalam sistem kontrol berbasis *fuzzy*, langkah selanjutnya setelah proses *fuzzyfikasi* adalah membuat aturan yang mengatur hubungan antara input dan output. Himpunan *fuzzy* yang telah dibuat pada tahap

Fuzzyfikasi digunakan untuk membuat hubungan linguistik antara setiap variabel input dan variabel output. Pada dasarnya, aturan *fuzzy* menentukan bagaimana kondisi input tertentu, seperti nilai kekeruhan, pH, suhu, dan TDS, akan menghasilkan keluaran yang tepat berdasarkan logika if-then seperti pada tabel 3.2(Latipah & Alamsyah, 2022).

Tabel 3. 2 RuleBase

Rule	Suhu	pH	TDS	Kekeruhan	Kualitas Air
1	Dingin	Asam	Normal	Jernih	Buruk
2	Dingin	Asam	Normal	Keruh	Buruk
3	Dingin	Asam	Non-Normal	Jernih	Buruk
4	Dingin	Asam	Non-Normal	Keruh	Buruk
5	Dingin	Netral	Normal	Jernih	Kurang Baik
6	Dingin	Netral	Normal	Keruh	Buruk
7	Dingin	Netral	Non-Normal	Jernih	Buruk
8	Dingin	Netral	Non-Normal	Keruh	Buruk

Rule	Suhu	pH	TDS	Kekeruhan	Kualitas Air
9	Dingin	Basa	Normal	Jernih	Kurang Baik
10	Dingin	Basa	Normal	Keruh	Buruk
11	Dingin	Basa	Non-Normal	Jernih	Buruk
12	Dingin	Basa	Non-Normal	Keruh	Buruk
13	Normal	Asam	Normal	Jernih	Kurang Baik
14	Normal	Asam	Normal	Keruh	Kurang Baik
15	Normal	Asam	Non-Normal	Jernih	Buruk
16	Normal	Asam	Non-Normal	Keruh	Buruk
17	Normal	Netral	Normal	Jernih	Sangat Baik
18	Normal	Netral	Normal	Keruh	Kurang Baik
19	Normal	Netral	Non-Normal	Jernih	Kurang Baik
20	Normal	Netral	Non-Normal	Keruh	Buruk
21	Normal	Basa	Normal	Jernih	Kurang Baik
22	Normal	Basa	Normal	Keruh	Kurang Baik
23	Normal	Basa	Non-Normal	Jernih	Buruk
24	Normal	Basa	Non-Normal	Keruh	Buruk
25	Panas	Asam	Normal	Jernih	Buruk
26	Panas	Asam	Normal	Keruh	Buruk
27	Panas	Asam	Non-Normal	Jernih	Buruk
28	Panas	Asam	Non-Normal	Keruh	Buruk
29	Panas	Netral	Normal	Jernih	Kurang Baik
30	Panas	Netral	Normal	Keruh	Buruk
31	Panas	Netral	Non-Normal	Jernih	Buruk
32	Panas	Netral	Non-Normal	Keruh	Buruk
33	Panas	Basa	Normal	Jernih	Kurang Baik
34	Panas	Basa	Normal	Keruh	Buruk
35	Panas	Basa	Non-Normal	Jernih	Buruk
36	Panas	Basa	Non-Normal	Keruh	Buruk

3.2.3 Inferensi Fuzzy

Setelah proses *fuzzyfikasi* dan pembentukan aturan, langkah selanjutnya dalam logika *Fuzzy Mamdani* adalah implikasi. Implikasi menghubungkan premis atau kondisi input *fuzzy* dengan hasil atau output *fuzzy* yang didasarkan pada aturan *fuzzy* yang telah disusun sebelumnya. Metode ini menggunakan operator logika *fuzzy* untuk menerapkan aturan *fuzzy*; operator MIN adalah salah satu yang paling umum digunakan.

1. Proses Implikasi:

Dalam metode *Fuzzy Mamdani*, operator MIN digunakan untuk menyatukan nilai keanggotaan dari berbagai premis dalam suatu aturan (Kinasih, 2021). Formula berikut digunakan:

$$\alpha_i = \mu_{A \cap B} = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)) \quad (4.1)$$

Yang mana memiliki makna nilai keanggotaan untuk setiap aturan diambil dari nilai terkecil antara semua nilai keanggotaan dari input yang ada dalam aturan tersebut. Dalam kasus di mana aturan menggunakan operator AND, derajat keanggotaan output *fuzzy* didasarkan pada nilai terkecil dari derajat keanggotaan masing-masing input *fuzzy*.

2. Agregasi Output

Dalam metode inferensi *fuzzy*, tahap agregasi output bertujuan untuk menggabungkan hasil dari beberapa rule *fuzzy* yang telah dibuat pada tahap implikasi. Setiap rule menghasilkan nilai keanggotaan *fuzzy* untuk output tertentu, seperti dalam hal ini, menentukan kualitas air berdasarkan suhu, pH, TDS, dan kekeruhan. Pada tahap agregasi, hasil-hasil ini digabungkan untuk menghasilkan output yang lengkap yang menunjukkan kondisi akhir yang dihasilkan.

3.2.4 Defuzzifikasi

Untuk mengubah output *fuzzy* dari tahap *agregasi* menjadi nilai crisp atau nilai tunggal yang dapat diterapkan oleh sistem, metode *defuzzifikasi COA* (*Center of Area*) digunakan. *Defuzzifikasi* diperlukan dalam penelitian ini untuk

menentukan apakah pompa harus diaktifkan atau tidak, serta untuk mendapatkan nilai kualitas air dalam bentuk angka yang dapat diubah menjadi langkah-langkah tertentu. Untuk melakukan *defuzzifikasi* dengan COA, titik pusat area dari kurva keanggotaan dihitung. Rumus untuk *defuzzifikasi* dengan metode COA adalah sebagai berikut:

$$z^* = \frac{\sum_{j=i}^n z_i \mu(z_j)}{\sum_{j=i}^n \mu(z_j)} \quad (4.2)$$

3.3 Rencana Pengujian

1. Rancangan Eksperimen

Tujuan eksperimen ini adalah untuk menguji sistem Fuzzy yang dimaksudkan untuk mengukur kualitas air dan mengontrol pompa menggunakan data dari sensor suhu, pH, TDS, dan kekeruhan. Untuk memastikan bahwa sistem menghasilkan output seperti yang diharapkan, setiap aturan *fuzzy* yang telah dirancang akan diuji.

2. Pengujian dan Perhitungan Error

Eksperimen yang melibatkan pengukuran parameter kualitas air menggunakan sensor dan membandingkan nilai aktual dengan prediksi sistem dilakukan untuk menilai akurasi dan efektivitas metode Fuzzy Mamdani dalam memberikan rekomendasi tindakan berdasarkan parameter kualitas air yang terukur. Untuk mengukur seberapa baik sensor dalam memprediksi kualitas air, rumus perhitungan error yang digunakan seperti yang terdapat pada 3.3 (Putra, 2020).

$$Error = \frac{Nilai\ Aktual - Nilai\ Prediksi}{Nilai\ Aktual} \times 100\% \quad (4.3)$$

Rumus ini menghitung selisih antara nilai yang diukur (nilai aktual) dan nilai yang diprediksi oleh sistem, kemudian dibagi dengan nilai aktual dan dikalikan dengan 100 untuk mendapatkan persentase error. Dengan cara ini, kita dapat mengetahui seberapa akurat sistem dalam memberikan rekomendasi.

3.4 Desain Interface

Dalam penelitian ini, terdapat tampilan UI (*User Interface*) yang dirancang untuk mempermudah pengguna menggunakan sistem pemantauan kualitas air yang dimana didalam UI (*User Interface*) berisikan variable pH, TDS, Suhu dan Kekeruhan. Adapun tampilan *User Interface* dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3. 8 Tampilan UI

BAB IV

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas proses implementasi dan uji coba perangkat keras dan perangkat lunak, serta membahas metode *fuzzy* untuk mengotomatisasi sistem pemantauan kualitas air pada kolam ikan *Glowfish* berbasis *Internet of Things*. Pengujian hardware bertujuan untuk memastikan logika *fuzzy* Mamdani berjalan baik di ESP32. Pengujian *software* bertujuan untuk memverifikasi kemampuan sistem untuk memantau kualitas air secara *real-time* melalui *Internet of Things* dan menampilkannya pada dashboar.

4.1 Implementasi Fuzzy Mamdani pada Mikrokontroler

Implementasi Sistem *Otomasi* Kualitas Air *Glowfish* Berbasis IoT dengan Fuzzy Mamdani. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 untuk mengintegrasikan sensor suhu, pH, TDS, dan kekeruhan. Metode *fuzzy* Mamdani digunakan untuk memproses data sensor secara langsung dalam mikrokontroler, menghasilkan nilai indeks kualitas air melalui proses *fuzzifikasi*, *inferensi*, dan *defuzzifikasi*. Hasil pemeriksaan kualitas air kemudian digunakan untuk memutuskan apakah pompa air harus dihidupkan atau dimatikan secara otomatis.

4.1.1 Implementasi Fuzzy

Sistem fuzzy menjalani proses berulang kali untuk setiap input. Proses ini mengubah nilai crisp dari parameter suhu, TDS, pH, dan kekeruhan menjadi nilai

fuzzy, yang kemudian dievaluasi berdasarkan aturan yang telah ditentukan. Setelah defuzzifikasi selesai, hasilnya menghasilkan label kualitas air yang tepat. Algoritma implementasi sistem fuzzy untuk penentuan kualitas air ditunjukkan melalui *pseudocode* berikut:

Pseudocode 4. 1 Implementasi Fuzzy

Algorithm: Fuzzy Logic untuk Penentuan Kualitas Air

Input: suhu, tds, pH, kekeruhan

Output: label kualitas air

```

1  Fungsi suhuDingin(a):
2    Jika  $a \leq 20$ , return 1.0
3    Jika  $a \geq 22$ , return 0.0
4    return  $(22 - a) / 2.0$ 

5  Fungsi suhuNormal(a):
6    Jika  $a \leq 20$  atau  $a \geq 30$ , return 0.0
7    Jika  $a \leq 22$ , return  $(a - 20) / 2.0$ 
8    Jika  $a \leq 28$ , return 1.0
9    return  $(30 - a) / 2.0$ 

10 Fungsi suhuPanas(a):
11  Jika  $a \leq 28$ , return 0.0
12  Jika  $a \geq 30$ , return 1.0
13  return  $(a - 28) / 2.0$ 

14 Fungsi pHAsam(c):
15  Jika  $c \leq 6.0$ , return 1.0
16  Jika  $c \geq 7.0$ , return 0.0
17  return  $(7.0 - c) / 1.0$ 

18 Fungsi pHNetral(c):
19  Jika  $c \leq 6.0$  atau  $c \geq 8.0$ , return 0.0
20  Jika  $c \leq 7.0$ , return  $(c - 6.0) / 1.0$ 
21  return  $(8.0 - c) / 1.0$ 

22 Fungsi pHBasa(c):
23  Jika  $c \leq 7.0$ , return 0.0
24  Jika  $c \geq 8.0$ , return 1.0
25  return  $(c - 7.0) / 1.0$ 

26 Fungsi kekeruhanJernih(d):
27  Jika  $d \leq 8.0$ , return 1.0
28  Jika  $d \geq 12.5$ , return 0.0
29  return  $(12.5 - d) / 4.5$ 

30 Fungsi kekeruhanKeruh(d):
31  Jika  $d \leq 8.0$ , return 0.0
32  Jika  $d \geq 25.0$ , return 1.0
33  return  $(d - 8.0) / 17.0$ 

34 Fungsi tdsNormal(b):
35  Jika  $b \leq 600$ , return 1.0
36  Jika  $b \geq 1000$ , return 0.0
37  return  $(1000 - b) / 400.0$ 

```

```

38 Fungsi tdsNonNormal(b):
39   Jika b <= 600, return 0.0
40   Jika b >= 1000, return 1.0
41   return (b - 600) / 400.0

42 Fungsi labelKualitas(z):
43   Jika z <= 4.0, return "SangatBaik"
44   Jika z <= 8.0, return "KurangBaik"
45   return "Buruk"

46 Fungsi fuzzyMamdani(suhu, tds, pH, keruh):
47   Fuzzifikasi input:
48     muSuhu[0] ← suhuDingin(suhu)
49     muSuhu[1] ← suhuNormal(suhu)
50     muSuhu[2] ← suhuPanas(suhu)
51     muTDS[0] ← tdsNormal(tds)
52     muTDS[1] ← tdsNonNormal(tds)
53     muPH[0] ← pHAsam(pH)
54     muPH[1] ← pHNetral(pH)
55     muPH[2] ← pHBasa(pH)
56     muKeruh[0] ← kekeruhanJernih(keruh)
57     muKeruh[1] ← kekeruhanKeruh(keruh)

58   Inisialisasi output:
59     sangatBaik ← 0
60     kurangBaik ← 0
61     buruk ← 0

62   Evaluasi semua 36 rule sesuai tabel:

63   // Rule 1-4: Suhu Dingin
64   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
65   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[1])))
66   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
67   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[1])))

68   // Rule 5-8: Suhu Dingin
69   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
70   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[1])))
71   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
72   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[1])))

73   // Rule 9-12: Suhu Dingin
74   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[0])))
75   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[1])))
76   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[0])))
77   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[0], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[1])))

78   // Rule 13-16: Suhu Normal
79   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
80   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[1])))
81   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
82   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[1])))

83   // Rule 17-20: Suhu Normal
84   sangatBaik = max(sangatBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
85   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[1])))
86   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
87   buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[1])))

88   // Rule 21-24: Suhu Normal
89   kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[0])))

```

```

90  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[1], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[1])))
91  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[0])))
92  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[1], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[1])))

93  // Rule 25-28: Suhu Panas
94  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
95  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[0], muKeruh[1])))
96  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
97  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[1], muKeruh[1])))

98  // Rule 29-32: Suhu Panas
99  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[0])))
100  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[0]), min(muPH[2], muKeruh[1])))
101  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[0])))
102  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[2], muKeruh[1])))

103  // Rule 33-36: Suhu Panas
104  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[0])))
105  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[1], muKeruh[1])))
106  kurangBaik = max(kurangBaik, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[0])))
107  buruk = max(buruk, min(min(muSuhu[2], muTDS[1]), min(muPH[0], muKeruh[1])))

108  Defuzzifikasi (Center of Area):
109  z_sangatBaik ← 2.0
110  z_kurangBaik ← 5.0
111  z_buruk ← 10.0
112  numerator ← (sangatBaik * z_sangatBaik) + (kurangBaik * z_kurangBaik) + (buruk * z_buruk)
113  denominator ← sangatBaik + kurangBaik + buruk
114  return (denominator == 0) ? 0 : numerator / denominator

```

Pada *pseudocode* baris 1 - 41 menunjukkan proses *fuzzifikasi* input sebagai langkah pertama. Pada bagian ini, fungsi keanggotaan digunakan untuk mengubah nilai *crisp* (nilai nyata) dari parameter seperti suhu, TDS, pH, dan kekeruhan menjadi nilai *fuzzy*. Fungsi-fungsi ini memasukkan input ke dalam kategori tertentu. Ini termasuk suhu dingin, suhu normal, suhu panas, pH asam, pH netral, pH basa, kekeruhan jernih, kekeruhan keruh, dan TDS normal dan non-normal. Misalnya, pada baris 1-4, fungsi "suhuDingin(a)" mengubah nilai suhu a menjadi keanggotaan dalam kategori suhu dingin. Jika suhu kurang dari 20 °C, maka keanggotaan suhu dingin adalah 1.0, yang menunjukkan suhu sangat dingin, dan jika suhu lebih dari 22 °C, maka keanggotaan suhu dingin adalah 0.0. Untuk parameter lain, fungsi serupa diterapkan.

Setelah *fuzzifikasi* selesai, aturan *fuzzy* yang diterapkan pada baris 62 hingga 107 dievaluasi. Pada bagian ini, terdapat 36 aturan yang menghubungkan kombinasi nilai *fuzzy* dari input seperti suhu, pH, TDS, dan kekeruhan dengan *output* berupa kategori kualitas air yang disebut SangatBaik, KurangBaik, atau Buruk. Aturan pertama, misalnya, di baris 64-67, mengevaluasi apakah suhu dingin, TDS normal, pH asam, dan kekeruhan jernih akan menyebabkan kualitas air menjadi SangatBaik, KurangBaik, atau Buruk. Output dari setiap aturan dikategorikan ke dalam tiga kategori: Sangat Baik, Kurang Baik, dan Buruk. Jika aturan menghasilkan nilai yang lebih besar, kategori yang terkait, seperti kategori buruk, akan diperbarui dengan nilai maksimum yang ditemukan antara nilai sebelumnya dan nilai baru.

Pada baris 108–114 menunjukkan penggunaan *defuzzifikasi* sebagai langkah terakhir. Setelah evaluasi aturan selesai, nilai yang tidak jelas yang dihasilkan dari evaluasi aturan diubah menjadi nilai yang jelas yang menunjukkan kategori kualitas air secara keseluruhan. Di sini, nilai *crisp* dihitung dengan menggunakan rumus *Center Of Area* (COA). Kontribusi SangatBaik, KurangBaik, dan Buruk masing-masing dikalikan dengan nilai representatif (2.0 untuk SangatBaik, 5.0 untuk KurangBaik, dan 10.0 untuk Buruk). *Denominator* dihitung sebagai jumlah kontribusi dari ketiga kategori tersebut, dan nilai *crisp* "z" digunakan untuk menentukan label kualitas air.

Label kualitas air ditentukan pada baris 42 hingga 45, setelah mendapatkan nilai *crisp* "z". Pada titik ini, kualitas air diberi label SangatBaik jika nilai "z" kurang atau sama dengan 4.0; jika nilai "z" lebih besar dari 4.0 tetapi kurang atau

sama dengan 8.0, maka kualitas air diberi label KurangBaik; dan jika nilai "z" lebih besar dari 8.0, maka kualitas air diberi label Buruk. Proses ini memastikan bahwa kualitas air dapat dinilai secara menyeluruh dengan parameter yang tersedia.

4.2 Pengujian

4.2.1 Hasil Pengujian Sistem

Dalam bagian ini, pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memantau kualitas air pada akuarium. Berdasarkan data yang diperoleh, sistem memutuskan kapan pompa harus menyala atau mati berdasarkan kualitas air yang dihitung melalui Z_score . Jika nilai Z_score lebih besar dari atau sama dengan 6.0, pompa akan diaktifkan dan bernilai 1 sedangkan jika nilai Z_score lebih kecil dari 6.0, pompa akan dimatikan dan bernilai 0.

Selain itu, pengujian dilakukan dengan mengaktifkan Pompa In dan Pompa Out secara bergantian selama 15 detik untuk memastikan sirkulasi air yang stabil. Ini dilakukan untuk mencegah akumulasi atau perubahan kualitas air yang berlebihan dan untuk menjaga aliran air yang sesuai dengan kualitas yang diamati. Sebagaimana data hasil pengujian dapat dilihat pada table 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Kualitas Air pada Kolam Ikan *Glowfish*

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas Air
1	14/06/2025 15:40	7.50	25.00	800.00	4.20	0	3.5	SangatBaik
2	15/06/2025 10:40	9.99	26.69	127.40	20.45	1	10	Buruk
3	15/06/2025 10:41	9.99	26.50	129.10	20.81	1	10	Buruk
4	15/06/2025 10:43	9.99	26.44	129.78	21.01	1	10	Buruk
5	15/06/2025 10:48	9.99	26.50	130.46	19.83	1	10	Buruk

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas Air
6	15/06/2025 11:30	1.94	26.81	132.85	19.75	1	10	Buruk
7	15/06/2025 11:31	9.99	26.87	133.19	20.78	1	10	Buruk
8	15/06/2025 11:33	9.99	26.81	133.19	21.05	1	10	Buruk
9	15/06/2025 11:35	9.99	26.87	133.19	20.85	1	10	Buruk
10	15/06/2025 11:36	9.99	26.87	133.19	21.33	1	10	Buruk
..	..	..	..	..	..	..	..	..
185	17/06/2025 14:31	6.47	27.19	310.66	0.00	0	3.58	SangatBaik

4.2.2 Pengujian Kalibrasi Sensor

Pengujian kalibrasi sensor suhu, pH, TDS, dan kekeruhan dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat sensor ini mendeteksi suhu, pH, TDS, dan kekeruhan yang akan diukur.

1. Sensor Suhu

Sensor suhu DS18B20 digunakan untuk mengukur suhu dengan akurasi yang cukup tinggi. Untuk memastikan bahwa pembacaannya akurat, uji kalibrasi harus dilakukan dengan membandingkannya dengan alat ukur suhu lain yang sudah terkalibrasi, seperti pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.

$$Error = \frac{Nilai\ Aktual - Nilai\ Prediksi}{Nilai\ Aktual} \times 100\% \quad (4.1)$$

$$Error = \frac{26,1 - 26,25}{25,1} \times 100\%$$

$$Error = 0.57$$

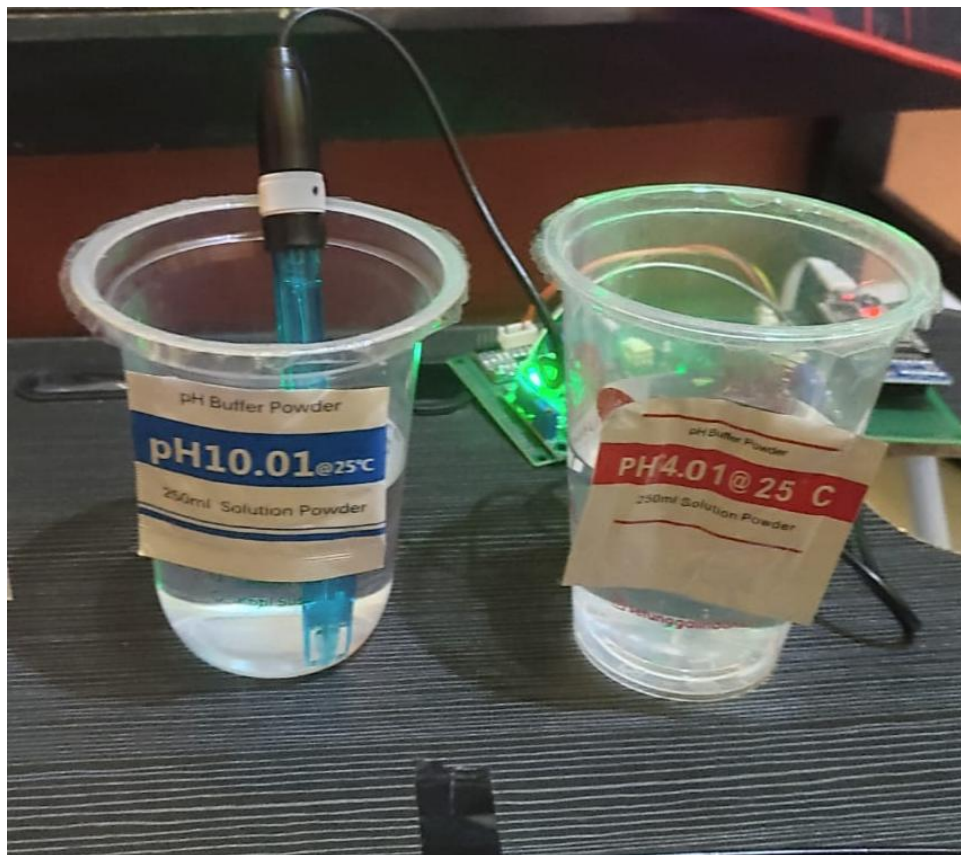
Gambar 4. 1 Nilai *Thermometer Digital*

Voltage (V): 1.6332	EC: 0.01	TDS (PPM): 1387.01
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.50 C		Suhu (setelah kalibrasi): 26.25 C
>>>rawEC: 0.0100		
, ecValue: 0.0097<<<		
Voltage (V): 1.6332	EC: 0.01	TDS (PPM): 1387.01
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.50 C		Suhu (setelah kalibrasi): 26.25 C
>>>rawEC: 0.0100		
, ecValue: 0.0097<<<		
Voltage (V): 1.6335	EC: 0.01	TDS (PPM): 1387.27
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.44 C		Suhu (setelah kalibrasi): 26.19 C
>>>rawEC: 0.0100		
, ecValue: 0.0097<<<		
Voltage (V): 1.6336	EC: 0.01	TDS (PPM): 1388.95

Gambar 4. 2 Nilai Sensor Suhu

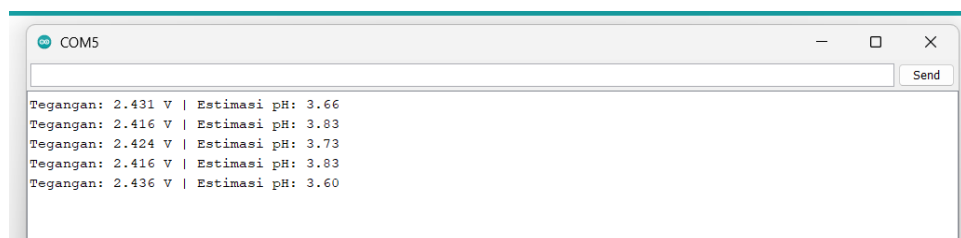
2. Sensor pH

Sensor pH SEN0161 digunakan untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Untuk memastikan pengukuran yang akurat oleh sensor, kalibrasi sensor harus dilakukan dengan menggunakan larutan buffer pH yang diketahui, seperti pada gambar 4.3 yaitu pH 4, dan pH 10.

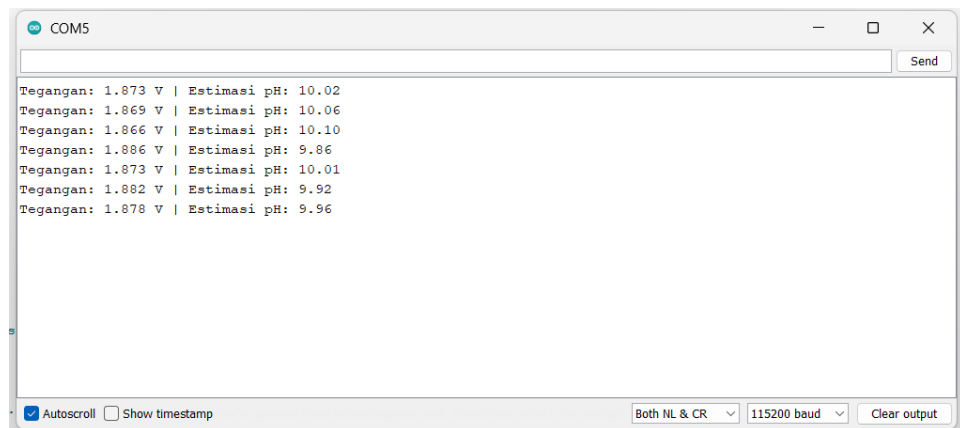


Gambar 4. 3 Larutan pH Buffer

Larutan-larutan ini dihitung menggunakan rumus *error* dengan membandingkan larutan buffer ph pada gambar 4.3 dengan hasil sensor pH pada gambar 4.4 dan gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Nilai Sensor pH 4



Gambar 4. 5 Nilai Sensor pH 10

Adapun hasil perhitungan *error* antara larutan buffer ph pada gambar 4.3 dengan hasil sensor pH pada gambar 4.4 dan gambar 4.5 menghasilkan angka dengan rata-rata *error* 3,72% dengan pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Pengujian Kalibrasi Sensor Ph

Rata-Rata Sensor pH			
No	pH Buffer	Sensor pH	Error(%)
1	4	3,68	8
2		3,83	4,25
3		3,73	6,75
4		3,83	4,25
5		3,6	10
6	10,01	10,02	0,0999
7		10,06	0,4995
8		10,2	1,898102
9		9,86	1,498501
10		10,01	0
Rata-Rata <i>Error</i>			3,72

3. Sensor TDS

Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) digunakan untuk mengukur jumlah total padatan terlarut dalam air, yang mencakup garam, mineral, dan logam. Kalibrasi sensor TDS harus dilakukan dengan menggunakan larutan standar dengan nilai TDS yang sudah diketahui, salah satunya adalah larutan standar TDS 1382 ppm yang dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Larutan TDS Solution

Lalu larutan standar TDS pada gambar 4.6 dihitung menggunakan rumus *error* dengan membandingkan hasil sensor Tds pada gambar 4.7.

```

Voltage (V): 1.6332      EC: 0.01      TDS (PPM): 1387.01
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.50 C      Suhu (setelah kalibrasi): 26.25 C
>>>rawEC: 0.0100
, ecValue: 0.0097<<<
Voltage (V): 1.6332      EC: 0.01      TDS (PPM): 1387.01
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.50 C      Suhu (setelah kalibrasi): 26.25 C
>>>rawEC: 0.0100
, ecValue: 0.0097<<<
Voltage (V): 1.6335      EC: 0.01      TDS (PPM): 1387.27
Suhu (sebelum kalibrasi): 26.44 C      Suhu (setelah kalibrasi): 26.19 C
>>>rawEC: 0.0100
, ecValue: 0.0097<<<
Voltage (V): 1.6336      EC: 0.01      TDS (PPM): 1388.95

```

Gambar 4. 7 Nilai Sensor TDS

Adapun hasil perhitungan *error* antara larutan Tds pada gambar 4.6 dengan hasil sensor Tds pada gambar 4.7 menghasilkan angka dengan rata-rata *error* 0,4% dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Pengujian Kalibrasi Sensor Tds

No	Kadar ppm	Sensor TDS	Error(%)
1	1382	1387,01	0,362518
2		1387,01	0,362518
3		1387,27	0,381331
4		1388,95	0,502894
Rata-Rata <i>Error</i>			0,4

4. Sensor Kekeruhan

Sensor kekeruhan digunakan untuk mengukur kadar kekeruhan air dengan tepat. Uji kalibrasi sensor ini harus dilakukan dengan membandingkannya dengan air kekeruhan yang sudah terkalibrasi pada gambar 4.8 yaitu 10 NTU.



Gambar 4. 8 Larutan Turbidity

Lalu larutan standar *turbidity* pada gambar 4.8 dihitung menggunakan rumus *error* dengan membandingkan hasil sensor *turbidity* pada gambar 4.9.

COM5			
Raw ADC: 7167	Tegangan: 1.3438 V	Kekeruhan (NTU): 9.04	
Raw ADC: 7106	Tegangan: 1.3324 V	Kekeruhan (NTU): 9.77	
Raw ADC: 7164	Tegangan: 1.3433 V	Kekeruhan (NTU): 9.08	
Raw ADC: 7166	Tegangan: 1.3436 V	Kekeruhan (NTU): 9.06	
Raw ADC: 7161	Tegangan: 1.3427 V	Kekeruhan (NTU): 9.11	

Gambar 4. 9 Sensor Turbidity

Adapun hasil perhitungan *error* antara larutan *turbidity* pada gambar 4.8 dengan hasil sensor *turbidity* pada gambar 4.9 menghasilkan angka dengan rata-rata *error* 7,88% dengan hasil pengujian yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

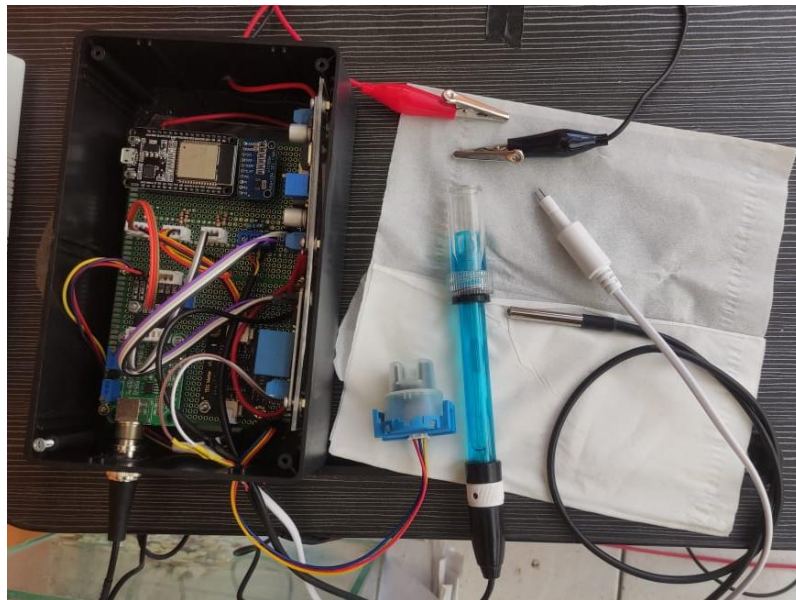
Tabel 4. 4 Pengujian Kalibrasi Sensor Kekeruhan

No	Kadar NTU	Sensor Turbidity	Error(%)
1	10	9,04	9,6
2		9,77	2,3
3		9,08	9,2
4		9,06	9,4
5		9,11	8,9
Rata-Rata <i>Error</i>			7,88

4.3 Pembahasan

4.3.1 Sistem *Hardwer*

Sistem hardware yang dibahas dalam penelitian ini terdiri dari berbagai bagian yang bekerja sama untuk memantau dan mengontrol kualitas air di kolam ikan *Glowfish* berbasis *Internet of Things*. Komponen-komponennya dapat dilihat pada gambar 4.10.

Gambar 4. 10 Sistem *Hardware*

Pada gambar berbagai komponen elektronik yang membentuk sistem kontrol kualitas air. Mikrokontroler ini bertanggung jawab untuk mengolah data dari sensor dan mengontrol perangkat output, seperti pompa air. ESP32 dipilih

karena kemampuan untuk menghubungkan sistem ke jaringan Wi-Fi, yang memungkinkan aplikasi *monitoring* jarak jauh berkomunikasi dengan sistem.

Adapun sensor yang digunakan sebagai berikut :

- a. Sensor kekeruhan berfungsi untuk mengukur tingkat kekeruhan air, yang menunjukkan seberapa besar pengaruh partikel tersuspensi dalam air pada kualitas air.
- b. Sensor pH untuk menjaga kesehatan ikan karena dapat mengukur tingkat keasaman air.
- c. Sensor Suhu untuk mengatur suhu air ikan *Glowfish*.
- d. Sensor *Total Dissolved Solids* (TDS) untuk mengukur jumlah padatan terlarut yang ada dalam air, yang berdampak pada tingkat kejernihan dan kualitas air.

Selain Sensor ada juga pompa air mini yang akan diaktifkan atau dimatikan berdasarkan hasil analisis dari ESP32, pompa ini mengalirkan atau mengganti air untuk memastikan kualitas air tetap baik.

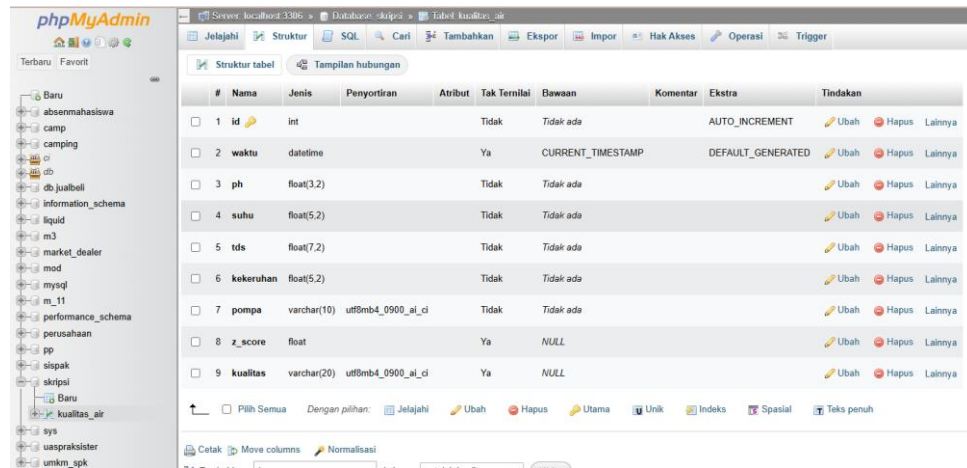
4.3.2 Sistem Software

Sistem *software* terdiri dari dua bagian utama yaitu *Database server* dan *User interface* (UI).

1. Database

Sistem dalam penelitian ini menggunakan database MySQL yang dikelola oleh antarmuka phpMyAdmin. Struktur tabelnya mengakomodasi semua data parameter kualitas air yang berisi suhu, pH, kekeruhan, TDS dan status

pompa yang digunakan dalam proses kontrol. Pada data status pompa angka 0 menunjukkan pompa mati dan angka 1 menunjukkan pompa nyala.



#	Nama	Jenis	Penyortiran	Atribut	Tak Ternilai	Bawaan	Komentar	Ekstra	Tindakan
☐ 1	id	int			Tidak	Tidak ada		AUTO_INCREMENT	
☐ 2	waktu	datetime			Ya	CURRENT_TIMESTAMP		DEFAULT_GENERATED	
☐ 3	ph	float(3,2)			Tidak	Tidak ada			
☐ 4	suhu	float(5,2)			Tidak	Tidak ada			
☐ 5	tds	float(7,2)			Tidak	Tidak ada			
☐ 6	kekeruhan	float(5,2)			Tidak	Tidak ada			
☐ 7	pompa	varchar(10)	utf8mb4_0900_ai_ci		Tidak	Tidak ada			
☐ 8	z_score	float			Ya	NULL			
☐ 9	kualitas	varchar(20)	utf8mb4_0900_ai_ci		Ya	NULL			

Gambar 4. 11 Database

2. User Interface

Pada *User Interface* ini dibuat berbasis web yang mana menggunakan html,css, javascript dan php. Web ini menampilkan grafik interaktif dan tabel data hasil dari pemantauan sensor. Empat grafik utama yang disajikan adalah: grafik suhu, pH, kekeruhan dan TDS. Terdapat status Kelayakan Air yang menunjukkan apakah kualitas air layak berdasarkan parameter yang diamati. Selain itu, terdapat Tabel Data Kualitas Air yang menampilkan histori data tentang pH, suhu, TDS, kekeruhan, dan status pompa yang dapat dilihat pada gambar 4.12. Tampilan ini memungkinkan pengguna memantau kondisi air secara *real-time*.



Gambar 4. 12 User Interface

4.4 Integrasi Islam

4.4.1 Muamalah Ma'a Allah

Dalam ajaran Islam, peran khalifah adalah bagian penting dari hubungan manusia dengan Allah SWT. Dalam konteks ini, istilah "*Hablu minallah*" mengacu pada pengabdian penuh kepada Allah melalui ketaatan, rasa terima kasih, dan kesetiaan terhadap janji-Nya. Dalam hal ini, manusia diangkat oleh Allah sebagai

khalifah di bumi, dan mereka memiliki tanggung jawab mulia untuk menjaga dan mengelola bumi. Sebagaimana firman Allah dalam Surah Al-An'am ayat 165:

وَهُوَ الَّذِي جَعَلَكُمْ خَلَائِفَ الْأَرْضِ وَرَفَعَ بَعْضَكُمْ فَوْقَ بَعْضٍ دَرَجَاتٍ لِّيَبْلُوَكُمْ فِي مَا آتَاكُمْ ۚ إِنَّ رَبَّكَ سَرِيعُ الْعِقَابِ وَإِنَّهُ لَغَفُورٌ رَّحِيمٌ

“Dan Dialah yang menjadikan kamu penguasa-penguasa di bumi dan Dia meninggikan sebahagian kamu atas sebahagian (yang lain) beberapa derajat, untuk mengujimu tentang apa yang diberikan-Nya kepadamu. Sesungguhnya Tuhanmu amat cepat siksaan-Nya dan sesungguhnya Dia Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.(QS. An'am: 165).

Menurut K.H. Bisri Mustofa dalam Tafsir Al-Ibriz, ayat ini menunjukkan bahwa Allah SWT mengangkat manusia sebagai khalifah di bumi dengan sebuah tujuan besar. Meskipun para malaikat sempat meragukan keputusan Allah, yang menganggap bahwa manusia akan membuat kerusakan dan menumpahkan darah di bumi, Allah tetap meyakini bahwa penciptaan manusia sebagai khalifah adalah keputusan yang tepat. Dalam tafsirnya, K.H. Bisri Mustofa menekankan bahwa penciptaan khalifah ini tidak hanya sekedar untuk mengisi bumi, tetapi juga untuk mengelola dan memelihara bumi dengan baik. Manusia diberi mandat untuk menjaga kelestarian alam dan menegakkan keadilan (Al-Mubarak dkk., t.t.). Salah satu contoh tanggung jawab manusia sebagai khalifah dalam pengelolaan alam adalah sistem otomasi kualitas air pada kolam ikan *Glowfish* yang berbasis *Internet of Things* (IoT). Dengan menggunakan teknologi ini, manusia dapat memastikan bahwa kualitas air tetap optimal untuk kehidupan ikan, yang merupakan bagian dari tugas menjaga ciptaan Allah.

4.4.2 Muamalah Ma'a An-Nas

Hubungan antar manusia, atau *hablum minannas*, juga menjadi perhatian utama dalam ajaran Islam. Penelitian ini bukan hanya berdampak pada peningkatan produktivitas perikanan, tetapi juga membawa manfaat langsung bagi masyarakat, khususnya para pembudidaya ikan hias seperti *Glowfish*. Sebagaimana Allah berfirman dalam Surah Al-Ma'idah ayat 2:

يَا أَيُّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا لَا تَحْلُوا شَعِيرَ اللَّهِ وَلَا الشَّهَرَ الْحَرَامَ وَلَا الْهَدْيَ وَلَا الْقَلَئِدَ وَلَا ءَامِينَ الْبَيْتِ الْحَرَامَ يَنْتَعُونَ فَضْلًا مِّن رَّبِّهِمْ وَرِضْوَانًا وَإِذَا حَلَلْتُمْ فَاصْطَادُوا وَلَا يَجْرِمَنَّكُمْ شَنَاٰنُ قَوْمٍ أَن صَدُّوكُمْ عَنِ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ أَن تَعْتَدُوا . وَتَعَاوَنُوا عَلَى الْبِرِّ وَالتَّقْوَىٰ ۖ وَلَا تَعَاوَنُوا عَلَى الْإِثْمِ وَالْعُدْوَانِ ۚ وَاتَّقُوا اللَّهَ ۚ إِنَّ اللَّهَ شَدِيدُ الْعِقَابِ

“ Hai orang-orang yang beriman, janganlah kamu melanggar syi'ar-syi'ar Allah, dan jangan melanggar kehormatan bulan-bulan haram, jangan (mengganggu) binatang-binatang had-ya, dan binatang-binatang qalaa-id, dan jangan (pula) mengganggu orang-orang yang mengunjungi Baitullah sedang mereka mencari kurnia dan keridhaan dari Tuhannya dan apabila kamu telah menyelesaikan ibadah haji, maka bolehlah berburu. Dan janganlah sekali-kali kebencian(mu) kepada sesuatu kaum karena mereka menghalang-halangi kamu dari Masjidilharam, mendorongmu berbuat aniaya (kepada mereka). Dan tolong-menolonglah kamu dalam (mengerjakan) kebajikan dan takwa, dan jangan tolong-menolong dalam berbuat dosa dan pelanggaran. Dan bertakwalah kamu kepada Allah, sesungguhnya Allah amat berat siksa-Nya. .”(QS. Al-Ma'idah: 2).

Sebagaimana Ibnu Katsir Menafsirkan dalam tafsirnya bahwa perintah *ta'awun* (tolong-menolong) dalam kebajikan dan takwa adalah upaya kolektif yang dilakukan dengan tujuan ikhlas demi kebaikan bersama (Faridha, 2025). Sistem otomatisasi ini adalah contoh nyata dari prinsip *ta'awun* (tolong-menolong), karena teknologi yang dikembangkan dapat membantu peternak ikan mempertahankan kualitas air agar stabil dan mengurangi resiko kematian pada ikan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki nilai sosial yang tinggi dan sejalan dengan prinsip ajaran Islam.

4.4.3 Muamalah Ma'a Alam

Islam mengajarkan bahwa hubungan manusia dengan alam harus didasarkan pada kesadaran dan tanggung jawab terhadap alam. Alam bukanlah objek untuk dieksploitasi, karena itu adalah ciptaan Tuhan yang suci. Dalam situasi ini, mengikuti prinsip Islam berarti menjaga kebersihan dan kualitas lingkungan hidup, termasuk air kolam ikan. Rasulullah SAW bersabda:

إِنَّ اللَّهَ طَيِّبٌ يُحِبُّ الطَّيِّبَ , نَظِيفٌ يُحِبُّ النَّظَافَةَ , كَرِيمٌ يُحِبُّ الْكَرَمَ , جَوَادٌ يُحِبُّ الْجُودَ , فَتَظَفُّوا أَفْنَيْتَكُمْ

"Sesungguhnya Allah itu baik dan menyukai kebaikan, bersih dan menyukai kebersihan, mulia dan menyukai kemuliaan, dermawan dan menyukai kedermawanan. Oleh karena itu, bersihkanlah lingkungan kalian." (HR. Tirmidzi).

Hadis ini menunjukkan bahwa umat Islam harus meneladani kebersihan sebagai bagian dari sifat *ilahiah*. Oleh karena itu, sistem pemantauan kualitas air otomatis yang digunakan dalam penelitian ini tidak hanya menunjukkan perhatian terhadap kesehatan ikan tetapi juga cara pelestarian lingkungan perairan yang sesuai dengan nilai kebersihan dan keindahan Allah.

Dengan demikian, sesuai dengan ajaran Rasulullah dan ajaran Al-Qur'an, muamalah dengan alam melalui penggunaan teknologi cerdas untuk menjaga kualitas air merupakan kontribusi nyata untuk menjaga kebersihan lingkungan. Penelitian ini tidak hanya menghasilkan kemajuan teknologi tetapi juga menguatkan nilai spiritual dalam konservasi ekosistem.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Sistem *otomasi* kualitas air pada kolam ikan *Glowfish* berbasis *Internet of Things* yang menggunakan teknologi sensor untuk memantau parameter penting seperti suhu, pH, TDS, dan kekeruhan secara *real-time*. Dengan menggunakan metode Fuzzy Mamdani, data sensor diolah untuk menghasilkan rekomendasi untuk pengendalian otomatis untuk memastikan kualitas air tetap baik, seperti mengaktifkan pompa air secara otomatis saat kualitas air buruk.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi sensor yang baik. Dengan error rata-rata 3,72% untuk pH, 0,4% untuk TDS, 7,88% untuk kekeruhan, dan 0,6% untuk suhu. Ketika kualitas air menurun, sistem dapat secara otomatis mengaktifkan pompa air untuk mengganti air segera. Penelitian ini menggunakan sistem berbasis *Internet of Things* untuk menciptakan solusi teknologi yang mendukung pemeliharaan ikan *Glowfish* secara efisien dan mengurangi ketergantungan pada pengawasan manual yang seringkali tidak responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan secara *real-time*.

5.2 Saran

Penelitian ini masih bisa dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan beberapa parameter kualitas air lainnya, salah satunya adalah parameter oksigen terlarut (DO). Penambahan sensor DO akan memberikan gambaran lebih lengkap mengenai kualitas air, karena oksigen terlarut merupakan faktor krusial dalam

mendukung kehidupan ikan. Selain itu, sistem output yang dapat ditambahkan adalah fitur pemantauan dan notifikasi real-time mengenai kondisi oksigen terlarut di kolam, yang dapat mengingatkan pengguna ketika tingkat oksigen menurun hingga batas yang berbahaya bagi ikan. Pengguna dapat segera mengambil tindakan, seperti meningkatkan aerasi, untuk menjaga kesehatan ikan *Glowfish*. Integrasi sistem output ini akan meningkatkan efektivitas sistem *monitoring* kualitas air dan memperluas fungsionalitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Kasmi, M., Karma, K., & Ilyas, I. (2021). Pengembangan Usaha Kecil Dan Menengah (UKM) Ikan Hias Melalui Pelatihan Pembuatan Aquarium. *To Maega: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 231–241.
- Akbar, M. F., & Irawan, D. (2023). Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Berbasis Fuzzy Logic. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 5(1), 23–32.
- al-Mahalli, J., & as-Suyuthi, J. (2024). Al-Qur'an Surat An-Nahl Ayat 14. *QuranHadits*. <https://quranhadits.com/quran/16-an-nahl/an-nahl-ayat-14/>
- Alfanz, R., Wiryadinata, R., Sobar, F. A., Muttakin, I., Setiawan, I., & Maulana, A. (2023). Water quality control on fish aquarium using Fuzzy Logic method. *Journal Industrial Servicess*, 9(2), 279. <https://doi.org/10.36055/jiss.v9i2.21977>
- Al-Mubarak, I. I., Nurung, M., & Rahman, M. I. (t.t.). *KHALIFAH DI DALAM AL-QUR'ĀN (KAJIAN TAFSIR TEMATIK)*.
- Anwar, S., & Abdurrohman, A. (2020). Pemanfaatan Teknologi Internet of Things Untuk Monitoring Tambak Udang Vaname Berbasis Smartphone Android Menggunakan Nodemcu Wemos D1 Mini. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, 5(2), 77–83.
- Arigo, M. A. A. H., Rizky, S. B., Rafsanjani, Z., Rachman, I., Indarti, R., Rinanto, N., & Khumaidi, A. (2024). Optimasi Penghematan Energi Listrik Menggunakan Metode Fuzzy Logic Pada Sistem Pendingin Udara Berbasis IoT. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(2), 363–375.
- Bule, M., & Nipu, L. P. (2023). Analisis Kualitas Air Tanah di Sekitar Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Oeba Kota Kupang Berdasarkan Parameter Fisik, Kimia dan Biologi. *ENVIROTECHSAINS: Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 1–9.
- Bu' u, K. S., Nachrowie, N., & Sonalitha, E. (2023). Monitoring Kualitas Air pada Aquarium Berbasis Internet of Things (IoT). *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(2), 184–190.
- Choiri, A. F. (2024). IoT-Based Water Quality Monitoring System for Fish Ponds Using Fuzzy Inference Method. *Water Quality*, 11(2).
- Dhaifullasyah, A. T. (2024). Rancang Bangun Sistem Absensi Menggunakan Framework Laravel Yang Terintegrasi Berbasis Rfid Dan Face Recognition Untuk Smkn 1 Tilatang Kamang. *Jurnal Teknik Komputer dan Informatika*, 4(2| August), 46–51.

- Duta, A. R. (2025). Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Pengendalian Kualitas Air pada Akuarium Ikan Hias Mas Koki Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis IoT (Internet of Things). *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5667>
- Hanani, A., & Hariyadi, M. A. (2020). Smart Home Berbasis IoT Menggunakan Suara Pada Google Assistant. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 14(1), 49–56. <https://doi.org/10.32815/jitika.v14i1.456>
- Junaedi, J., Daniawan, B., Abidin, A., & Hermawan, A. (2023). Implementasi Fuzzy Logic Untuk Menilai Kondisi Air Aquarium Berbasis IoT. *Format : Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.22441/format.2023.v12.i1.003>
- Kardila, C., Muttaqin, M. R., & Resmi, M. G. (2023). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Pada Domba Dengan Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani. *Inti Nusa Mandiri*, 18(1), 45–51.
- Kinasih, K. S. (2021). *Implementasi sistem pengaturan pH otomatis terhadap air akuarium ikan Gurami dengan media aquaponik menggunakan Fuzzy Logic Control* [PhD Thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/28648/>
- Koromari, B. I., & David, F. (2023). Perancangan Dan Implementasi Sistem Pakan Otomatis Dan Monitoring Tds Pada Akuarium Ikan Hias Berbasis Iot. *IT-Explore: Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 2(2), 154–164.
- Latipah, U., & Alamsyah, Z. (2022). *Analisi Perancangan Sistem Monitoring Air Layak Konsumsi Berbasis IOT Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani*.
- Mardizal, J., & Rizal, F. (2024). *Manajemen Kualitas Air*. Eureka Madia Utama. https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=Kkj2EAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=Perubahan+yang+drastis+atau+ketidakseimbangan+dalam+parameter+kualitas+air+dapat+mengakibatkan+stres+pada+ikan,+yang+pada+akhirnya+meningkatkan+risiko+penyakit+dan+kematian&ots=nBqYPsbTWp&sig=pmXdt6C3C14pVVZQvlz_QSjjHH8
- Marjusni, I., & Idris, I. (2023). Analisis Pengaruh Produksi Perikanan, Ekspor Perikanan dan Angka Konsumsi Ikan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Sektor Perikanan di Indonesia. *Ecosains: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pembangunan*, 12(2), 118–127.
- Melangi, S., Asri, M., & Hulukati, S. A. (2022). Sistem Monitoring Informasi Kualitas dan Kekeruhan Air Tambak Berbasis Internet of Things. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 77–82.

- Moeljadi, M., & Susenohaji, S. (2024). Sistem Tata Kelola Budidaya Ternak Ikan Air Tawar Berbasis Internet of Things (IoT). *GEMA PENGABDI: Jurnal Inovasi dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 28–36.
- Muhammad, F. (2024). *Pengukuran Suhu Air dan Efektivitas Pengawasan Pencemaran Dalam Sistem Monitoring Kualitas Air Limbah dengan Sensor Suhu Berbasis Internet of Things*. <http://digilib.unila.ac.id/79624/>
- NUGRAHA, S. (2023). *SISTEM PEMBATAS AREA KERJA UNTUK PERANGKAT BERGERAK BERBASIS INTERNET OF THINGS* [PhD Thesis, Universitas Siliwangi]. <http://repositori.unsil.ac.id/id/eprint/10906>
- Nurwirasaputra, H. F., Sumaryo, S., & Pangaribuan, P. (2020). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Air Secara Real-time Untuk Budidaya Perikanan Menggunakan Metode Fuzzy Logic. *eProceedings of Engineering*, 7(2). <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/13031>
- Pahlawi, M. E., Kurniawan, E., & Desriyanti, D. (2020). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Ph Air Keramba Ikan Berbasis Arduino Di Telaga Ngebel Kabupaten Ponorogo. *KOMPUTEK*, 4(1), 1–10.
- Paramytha, N. (2024). Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT Untuk Kolam Budidaya Ikan Lele di Agrowisata Tekno 44. *Jurnal Ampere*, 9(1), 10–17.
- Putera, R. S., Komarudin, A., & Luqman, M. (2023). Implementasi Fuzzy Logic Untuk Sistem Kendali Dan Monitoring Kesuburan Tanah Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Indonesia*, 2(4), 118–128.
- Putra, E. K. (2020). *Sistem monitorig kualitas air pada budidaya bibit ikan hias menggunakan metode fuzzy mamdani berbasis internet of things* [PhD Thesis, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim]. <http://etheses.uin-malang.ac.id/23837/>
- Ramdani, D. (2020). Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Suhu Dan Monitoring pH Air Aquascape Berbasis IoT (Internet Of Thing) Menggunakan Nodemcu Esp8266 Pada Aplikasi Telegram. *Journal of Informatics Information System Software Engineering and Applications (INISTA)*, 3(1), 59–68.
- Rasmani, R., AS, A. P., Al-Hakim, R. R., Pratiwi, R. H., Taufiqurrahman, M., & Perdana, A. T. (t.t.). *Andi Faridah Aarsal Ahmad Zil Fauzi Angga Aditya Permana M. Noris*. Diambil 23 September 2024, dari https://www.researchgate.net/profile/Muhammad-Noris-2/publication/369198380_BIOTEKNOLOGI_1/links/640fd90b92cfd54f84fb3018/BIOTEKNOLOGI-1.pdf

- Saputra, I. J. (2023). Rancang Bangun Sistem Budidaya Ikan Otomatis Berbasis Internet of Things. *TECHNOVATAR Jurnal Teknologi, Industri, dan Informasi*, 1(1), 23–36.
- Shihab, M. Q. (2024). Al-Qur'an Surat Al-Baqarah Ayat 30. *QuranHadits*. <https://quranhadits.com/quran/2-al-baqarah/al-baqarah-ayat-30/#tafsir-quraish-shihab>
- Sholeh, M. (2019). *Kecerdasan Global Dalam Perspektif Geografi Untuk Penguatan Literasi Geomaritim*. <https://osf.io/preprints/inarxiv/g7aqw/>
- Sofyan, R. (2023). *Rancang Bangun Sistem Deteksi Binatang Penyebab Gangguan Distribusi Listrik Jaringan Sutm Berbasis Internet of Things (IoT)*. <http://digilib.unila.ac.id/id/eprint/78633>
- Susilo, D. A., Maulindar, J., & Yuliana, M. E. (2023). Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis Internet Of Things. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(2), 4703–4711.
- Widodo, T., Santoso, A. B., Ishak, S. I., & Rumeon, R. (2023). Sistem kendali proporsional kualitas air berupa ph dan suhu pada budidaya ikan lele berbasis IoT. *JEPIN (Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika)*, 9(1), 59–66.
- Wulandari, S. A., Sucipto, A., Rosyady, A. F., Ardana, M. D. R., Cahyono, O. D. P., & Khomarudin, A. N. (2024). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile. *Technologica*, 3(1), 42–54.

LAMPIRAN

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas
1	14/06/2025 15:40	7.50	25.00	800.00	4.20	0	3.5	SangatBaik
2	15/06/2025 10:40	9.99	26.69	127.40	20.45	1	10	Buruk
3	15/06/2025 10:41	9.99	26.50	129.10	20.81	1	10	Buruk
4	15/06/2025 10:43	9.99	26.44	129.78	21.01	1	10	Buruk
5	15/06/2025 10:48	9.99	26.50	130.46	19.83	1	10	Buruk
6	15/06/2025 11:30	1.94	26.81	132.85	19.75	1	10	Buruk
7	15/06/2025 11:31	9.99	26.87	133.19	20.78	1	10	Buruk
8	15/06/2025 11:33	9.99	26.81	133.19	21.05	1	10	Buruk
9	15/06/2025 11:35	9.99	26.87	133.19	20.85	1	10	Buruk
10	15/06/2025 11:36	9.99	26.87	133.19	21.33	1	10	Buruk
11	15/06/2025 11:38	9.99	26.87	194.84	21.46	1	10	Buruk
12	15/06/2025 11:39	9.99	26.94	194.50	21.41	1	10	Buruk
13	15/06/2025 11:41	9.99	27.00	195.18	21.43	1	10	Buruk
14	15/06/2025 11:43	9.99	26.94	194.50	21.34	1	10	Buruk
15	15/06/2025 11:44	9.99	26.94	195.52	20.84	1	10	Buruk
16	15/06/2025 11:46	9.99	27.00	200.29	20.50	1	10	Buruk
17	15/06/2025 11:47	9.99	26.94	199.27	20.77	1	10	Buruk
18	15/06/2025 11:49	9.99	26.94	198.25	20.56	1	10	Buruk
19	15/06/2025 11:51	8.91	27.06	257.86	19.94	1	10	Buruk
20	15/06/2025 11:52	9.62	27.13	359.71	20.46	1	10	Buruk
21	15/06/2025 11:54	7.19	27.06	216.64	20.63	1	6	KurangBaik
22	15/06/2025 11:55	8.67	27.06	323.94	19.65	1	10	Buruk
23	15/06/2025 11:57	7.05	26.87	331.44	20.11	0	5.34	KurangBaik
24	15/06/2025 11:58	6.61	27.00	340.64	20.60	1	6.94	KurangBaik
25	15/06/2025 12:00	6.55	27.06	342.34	20.70	1	7.26	KurangBaik
26	15/06/2025 12:01	6.50	27.13	343.36	20.51	1	7.52	KurangBaik
27	15/06/2025 12:03	6.55	27.13	342.34	20.34	1	7.23	KurangBaik
28	15/06/2025 12:05	6.51	27.13	340.98	20.65	1	7.43	KurangBaik
29	15/06/2025 12:06	6.50	27.13	338.93	20.83	1	7.51	KurangBaik
30	15/06/2025 12:08	6.50	27.19	337.91	20.79	1	7.49	KurangBaik
31	15/06/2025 12:09	6.50	27.19	334.16	20.88	1	7.52	KurangBaik
32	15/06/2025 12:11	6.52	27.19	335.53	20.82	1	7.4	KurangBaik
33	15/06/2025 13:03	3.29	26.19	91.97	19.32	1	10	Buruk
34	15/06/2025 13:05	7.93	26.19	94.02	21.36	1	9.57	Buruk
35	15/06/2025 13:09	5.64	26.25	93.33	18.62	1	10	Buruk
36	15/06/2025 13:10	8.25	26.25	101.85	19.31	1	10	Buruk
37	15/06/2025 13:12	8.28	26.25	102.19	21.39	1	10	Buruk
38	15/06/2025 13:13	8.32	26.31	102.53	18.67	1	10	Buruk
39	15/06/2025 13:15	8.29	26.37	102.19	18.59	1	10	Buruk
40	15/06/2025 13:17	8.37	26.31	102.53	21.42	1	10	Buruk
41	15/06/2025 13:18	8.43	26.37	102.53	19.57	1	10	Buruk
42	15/06/2025 13:20	8.45	26.44	102.87	21.60	1	10	Buruk

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas
43	15/06/2025 13:21	8.53	26.44	102.87	21.80	1	10	Buruk
44	15/06/2025 13:23	8.55	26.50	102.87	18.96	1	10	Buruk
45	15/06/2025 13:25	8.55	26.50	102.87	18.83	1	10	Buruk
46	15/06/2025 13:26	8.63	26.50	102.87	18.82	1	10	Buruk
47	15/06/2025 13:28	8.64	26.50	103.21	18.89	1	10	Buruk
48	15/06/2025 13:29	8.77	26.50	103.55	18.90	1	10	Buruk
49	15/06/2025 13:31	8.75	26.56	103.55	18.24	1	10	Buruk
50	15/06/2025 13:43	9.66	26.75	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
51	15/06/2025 13:44	9.51	26.81	103.89	0.00	0	5	KurangBaik
52	15/06/2025 13:45	9.51	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
53	15/06/2025 13:46	9.49	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
54	15/06/2025 13:47	9.48	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
55	15/06/2025 13:48	9.41	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
56	15/06/2025 13:49	9.47	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
57	15/06/2025 13:50	9.52	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
58	15/06/2025 13:51	9.48	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
59	15/06/2025 13:52	9.61	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
60	15/06/2025 13:54	9.57	26.94	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
61	15/06/2025 13:55	9.59	26.94	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
62	15/06/2025 13:56	9.63	26.94	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
63	15/06/2025 13:57	9.65	27.00	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
64	15/06/2025 13:58	9.69	27.00	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
65	15/06/2025 13:59	9.74	27.00	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
66	15/06/2025 14:00	9.72	27.00	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
67	15/06/2025 14:01	9.71	27.06	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
68	15/06/2025 14:02	9.69	27.06	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
69	15/06/2025 14:04	9.72	27.13	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
70	15/06/2025 14:05	9.88	27.00	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
71	15/06/2025 14:06	9.84	27.00	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
72	15/06/2025 14:07	9.77	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
73	15/06/2025 14:08	9.79	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
74	15/06/2025 14:09	9.82	27.06	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
75	15/06/2025 14:10	9.90	27.06	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
76	15/06/2025 14:11	9.93	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
77	15/06/2025 14:12	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
78	15/06/2025 14:13	9.76	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
79	15/06/2025 14:15	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
80	15/06/2025 14:16	9.91	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
81	15/06/2025 14:17	9.93	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
82	15/06/2025 14:18	9.98	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
83	15/06/2025 14:19	9.99	27.13	105.26	0.00	0	5	KurangBaik
84	15/06/2025 14:20	9.99	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas
85	15/06/2025 14:21	9.99	27.13	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
86	15/06/2025 14:22	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
87	15/06/2025 14:23	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
88	15/06/2025 14:24	9.99	27.13	105.26	0.00	0	5	KurangBaik
89	15/06/2025 14:25	9.99	27.13	105.26	0.00	0	5	KurangBaik
90	15/06/2025 14:27	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
91	15/06/2025 14:28	9.99	27.13	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
92	15/06/2025 14:29	9.99	27.06	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
93	15/06/2025 14:30	9.99	27.06	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
94	15/06/2025 14:31	9.99	27.06	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
95	15/06/2025 14:32	9.99	27.06	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
96	15/06/2025 14:34	9.99	27.06	103.55	0.00	0	5	KurangBaik
97	15/06/2025 14:35	9.99	27.00	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
98	15/06/2025 14:36	9.99	27.06	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
99	15/06/2025 14:38	9.99	27.00	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
100	15/06/2025 14:39	9.99	27.00	104.92	0.00	0	5	KurangBaik
101	15/06/2025 14:40	9.99	27.00	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
102	15/06/2025 14:41	9.99	26.94	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
103	15/06/2025 14:42	9.99	27.00	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
104	15/06/2025 14:43	9.99	26.87	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
105	15/06/2025 14:44	9.99	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
106	15/06/2025 14:45	9.99	26.94	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
107	15/06/2025 14:46	9.99	26.87	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
108	15/06/2025 14:47	9.99	26.94	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
109	15/06/2025 14:49	9.99	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
110	15/06/2025 14:50	9.99	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
111	15/06/2025 14:51	9.99	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
112	15/06/2025 14:52	9.99	26.87	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
113	15/06/2025 14:53	9.99	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
114	15/06/2025 14:54	9.99	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
115	15/06/2025 14:55	9.99	26.81	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
116	15/06/2025 14:56	9.99	26.81	104.58	0.00	0	5	KurangBaik
117	15/06/2025 14:57	9.99	26.81	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
118	15/06/2025 14:58	9.99	26.75	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
119	15/06/2025 15:00	9.99	26.75	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
120	15/06/2025 15:01	9.99	26.75	104.23	0.00	0	5	KurangBaik
121	17/06/2025 13:13	9.99	26.44	100.83	0.00	0	5	KurangBaik
122	17/06/2025 13:14	9.99	26.44	107.64	0.00	0	5	KurangBaik
123	17/06/2025 13:18	9.99	26.62	99.12	0.00	0	5	KurangBaik
124	17/06/2025 13:19	4.89	26.44	107.98	0.00	0	5	KurangBaik
125	17/06/2025 13:20	6.27	26.50	107.30	0.00	0	4.19	KurangBaik
126	17/06/2025 13:23	6.44	26.50	130.80	0.00	0	3.69	SangatBaik

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas
127	17/06/2025 13:25	6.06	26.56	148.18	0.00	0	4.81	KurangBaik
128	17/06/2025 13:27	6.11	26.56	149.20	0.00	0	4.68	KurangBaik
129	17/06/2025 13:28	6.12	26.56	148.86	0.00	0	4.65	KurangBaik
130	17/06/2025 13:29	6.09	26.62	148.52	0.00	0	4.73	KurangBaik
131	17/06/2025 13:31	5.85	26.62	283.75	0.00	0	5	KurangBaik
132	17/06/2025 13:32	5.86	26.69	316.79	0.00	0	5	KurangBaik
133	17/06/2025 13:33	5.92	26.69	319.18	0.00	0	5	KurangBaik
134	17/06/2025 13:34	5.93	26.69	319.86	0.00	0	5	KurangBaik
135	17/06/2025 13:35	5.93	26.69	318.83	0.00	0	5	KurangBaik
136	17/06/2025 13:37	5.97	26.62	317.13	0.00	0	5	KurangBaik
137	17/06/2025 13:38	6.00	26.69	315.77	0.00	0	5	KurangBaik
138	17/06/2025 13:39	6.01	26.69	314.07	0.00	0	4.96	KurangBaik
139	17/06/2025 13:40	6.00	26.69	312.36	0.00	0	5	KurangBaik
140	17/06/2025 13:41	6.03	26.75	309.98	0.00	0	4.9	KurangBaik
141	17/06/2025 13:42	6.07	26.81	308.62	0.00	0	4.79	KurangBaik
142	17/06/2025 13:43	6.03	26.75	344.38	0.00	0	4.9	KurangBaik
143	17/06/2025 13:44	5.96	26.81	349.49	0.00	0	5	KurangBaik
144	17/06/2025 13:45	6.01	26.81	352.22	0.00	0	4.97	KurangBaik
145	17/06/2025 13:46	5.98	26.81	352.22	0.00	0	5	KurangBaik
146	17/06/2025 13:47	6.01	26.87	352.22	0.00	0	4.96	KurangBaik
147	17/06/2025 13:49	6.03	26.81	352.56	0.00	0	4.91	KurangBaik
148	17/06/2025 13:50	6.06	26.87	338.25	0.00	0	4.81	KurangBaik
149	17/06/2025 13:51	6.13	26.87	335.19	0.00	0	4.6	KurangBaik
150	17/06/2025 13:52	6.16	26.87	330.76	0.00	0	4.53	KurangBaik
151	17/06/2025 13:53	6.18	26.94	328.37	0.00	0	4.46	KurangBaik
152	17/06/2025 13:54	6.17	26.94	326.67	0.00	0	4.5	KurangBaik
153	17/06/2025 13:55	6.18	26.94	325.31	0.00	0	4.47	KurangBaik
154	17/06/2025 13:57	6.16	26.94	323.60	0.00	0	4.51	KurangBaik
155	17/06/2025 13:58	6.22	26.94	321.56	0.00	0	4.35	KurangBaik
156	17/06/2025 13:59	6.19	26.94	319.86	0.00	0	4.42	KurangBaik
157	17/06/2025 14:00	6.23	27.00	319.86	0.00	0	4.31	KurangBaik
158	17/06/2025 14:01	6.20	26.94	318.49	0.00	0	4.39	KurangBaik
159	17/06/2025 14:02	6.25	27.00	316.79	0.00	0	4.25	KurangBaik
160	17/06/2025 14:03	6.22	27.00	315.43	0.00	0	4.33	KurangBaik
161	17/06/2025 14:04	6.24	27.00	317.47	0.00	0	4.27	KurangBaik
162	17/06/2025 14:05	6.25	27.00	316.45	0.00	0	4.24	KurangBaik
163	17/06/2025 14:06	6.30	27.06	317.13	0.00	0	4.1	KurangBaik
164	17/06/2025 14:08	6.26	27.06	315.09	0.00	0	4.21	KurangBaik
165	17/06/2025 14:09	6.30	27.06	317.13	0.00	0	4.1	KurangBaik
166	17/06/2025 14:10	6.33	27.06	317.47	0.00	0	4.02	KurangBaik
167	17/06/2025 14:11	6.28	27.06	315.77	0.00	0	4.15	KurangBaik
168	17/06/2025 14:12	6.30	27.06	316.11	0.00	0	4.1	KurangBaik

No	Waktu	Ph	Suhu	Tds	Kekeruhan	Pompa	Z_score	Kualitas
169	17/06/2025 14:13	6.36	27.06	315.09	0.00	0	3.92	SangatBaik
170	17/06/2025 14:14	6.33	27.13	313.73	0.00	0	4	SangatBaik
171	17/06/2025 14:15	6.34	27.13	308.62	0.00	0	3.98	SangatBaik
172	17/06/2025 14:16	6.36	27.06	311.34	0.00	0	3.91	SangatBaik
173	17/06/2025 14:17	6.38	27.13	312.36	0.00	0	3.85	SangatBaik
174	17/06/2025 14:19	6.40	27.13	314.41	0.00	0	3.81	SangatBaik
175	17/06/2025 14:20	6.40	27.13	313.38	0.00	0	3.79	SangatBaik
176	17/06/2025 14:21	6.38	27.19	312.02	0.00	0	3.86	SangatBaik
177	17/06/2025 14:22	6.42	27.19	315.09	0.00	0	3.73	SangatBaik
178	17/06/2025 14:23	6.42	27.19	316.45	0.00	0	3.74	SangatBaik
179	17/06/2025 14:24	6.40	27.19	315.09	0.00	0	3.81	SangatBaik
180	17/06/2025 14:25	6.47	27.19	314.07	0.00	0	3.6	SangatBaik
181	17/06/2025 14:26	6.46	27.19	313.04	0.00	0	3.61	SangatBaik
182	17/06/2025 14:27	6.46	27.25	311.68	0.00	0	3.61	SangatBaik
183	17/06/2025 14:28	6.44	27.19	309.98	0.00	0	3.69	SangatBaik
184	17/06/2025 14:30	6.47	27.19	312.02	0.00	0	3.58	SangatBaik
185	17/06/2025 14:31	6.47	27.19	310.66	0.00	0	3.58	SangatBaik