

Sistem Monitoring Kualitas Air Akuarium Berbasis IoT Menggunakan Metode Fuzzy Logic Mamdani

IoT-Based Aquarium Water Quality Monitoring System Using Mamdani Fuzzy Logic Method

Saifullah Hidayat ^{*1}, Agung Siswopranoto²,

^{1,2} Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, 15310, Banten, Indonesia

¹saifullah1108@gmail.com, ²dosen02690@unpam.ac.id

Received: July 13, 2026 | Revised: July 16, 2026 | Accepted: August 28, 2026 | Published: September 30, 2026



COSIE is licensed a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License

Abstrak

Kualitas air merupakan faktor utama yang memengaruhi kesehatan dan kelangsungan hidup ikan hias air tawar. Pemantauan secara manual sering kali kurang efektif karena perubahan kondisi air dapat terjadi secara cepat dan sulit diinterpretasikan hanya berdasarkan nilai numerik. Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan metode Fuzzy Logic Mamdani pada sistem monitoring kualitas air akuarium berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan sensor Total Dissolved Solids (TDS) dan sensor suhu. Data hasil pembacaan sensor diproses menggunakan metode Fuzzy Mamdani melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi berbasis *rule base*, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan kategori kualitas air berupa buruk, normal, atau baik. Selanjutnya, hasil pengolahan ditampilkan secara *real-time* melalui dashboard berbasis web. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor TDS memiliki rata-rata kesalahan sebesar 3%, sensor suhu sebesar 2,6%, sedangkan implementasi metode Fuzzy Mamdani menghasilkan rata-rata kesalahan sebesar 0,6% dibandingkan hasil simulasi MATLAB. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring kualitas air secara akurat serta membantu pengguna dalam mengambil keputusan mengenai kondisi kualitas air akuarium secara cepat dan mudah dipahami. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi metode Fuzzy Mamdani pada sistem monitoring berbasis IoT yang diimplementasikan langsung pada mikrokontroler ESP32 untuk melakukan inferensi secara *real-time*, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya memproses data fuzzy pada server atau cloud. Pendekatan ini menghasilkan tingkat akurasi yang sebanding dengan simulasi MATLAB dengan rata-rata error hanya 0,6%.

Kata kunci: Internet of Things, Fuzzy Logic Mamdani, Monitoring Kualitas Air, TDS, Suhu.

Abstract

Water quality is a crucial factor affecting the health and survival of freshwater ornamental fish. Manual monitoring is often ineffective because changes in water conditions can occur rapidly and numerical sensor readings are difficult to interpret directly. This study aims to implement the Mamdani Fuzzy Logic method in an Internet of Things (IoT)-based aquarium water quality monitoring system using Total Dissolved Solids (TDS) and temperature sensors. Sensor data are processed through fuzzification, rule-based inference, and defuzzification to classify water quality into three categories: poor, normal, and good. The monitoring results are then displayed in real time through a web-based dashboard. Experimental results indicate that the TDS sensor achieved an average error of 3%, while the temperature sensor achieved an average error of 2.6%. Furthermore, the implementation of the Mamdani Fuzzy Logic method produced an average error of only 0.6% compared with MATLAB simulation results. These findings demonstrate that the proposed system is capable of monitoring aquarium water quality accurately and providing clear decision support for users in maintaining optimal water conditions. The main contribution of this study is the integration of the Mamdani Fuzzy method into an IoT-based monitoring system, implemented directly on the ESP32 microcontroller for real-time inference, unlike previous studies that typically process fuzzy data on servers or cloud platforms. This approach achieves accuracy comparable to MATLAB simulation with an average error of only 0.6%.

Keywords: Internet of Things, Mamdani Fuzzy Logic, Water Quality Monitoring, Total Dissolved Solids, Temperature.

1. PENDAHULUAN

Ikan hias air tawar menjadi komoditas akuakultur yang banyak diminati karena memiliki nilai ekonomi sekaligus nilai estetika yang tinggi. Keberhasilan pemeliharaan ikan sangat dipengaruhi oleh kualitas air sebagai media hidupnya. Apabila kondisi air mengalami perubahan yang tidak terkendali, ikan berpotensi mengalami stres, penurunan daya tahan tubuh, hingga peningkatan risiko kematian. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa sebagian besar gangguan kesehatan pada ikan berkaitan dengan perubahan kondisi lingkungan perairan yang tidak dipantau secara optimal [1]. Dalam penelitian ini, kualitas air dievaluasi menggunakan dua parameter utama, yaitu Total Dissolved Solids (TDS) dan suhu. Nilai TDS menunjukkan konsentrasi zat terlarut yang terdapat di dalam air dan berpengaruh terhadap keseimbangan osmotik ikan, sedangkan suhu memengaruhi proses metabolisme serta berbagai aktivitas fisiologis yang berlangsung pada ikan [2], [3].

Kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang untuk melakukan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan melalui koneksi internet. Dengan memanfaatkan teknologi tersebut, data hasil pembacaan sensor dapat dikirim dan diakses dari lokasi yang berbeda secara real-time. Meskipun demikian, sebagian besar sistem monitoring yang telah dikembangkan masih menyajikan hasil pengukuran dalam bentuk angka sehingga pengguna harus menafsirkan sendiri kondisi air berdasarkan nilai yang ditampilkan [4], [5]. Bagi pengguna yang belum memahami karakteristik parameter kualitas air, kondisi ini dapat menghambat proses pengambilan keputusan ketika kualitas air mulai mengalami penurunan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini memanfaatkan metode Fuzzy Logic Mamdani sebagai mekanisme pengambilan keputusan. Metode ini mengolah data numerik menjadi informasi linguistik melalui sekumpulan aturan (*rule base*) yang meniru proses penalaran manusia, sehingga hasil yang diperoleh lebih mudah dipahami oleh penggunanya [6]. Dibandingkan pendekatan yang hanya menggunakan batas nilai (*threshold*), Fuzzy Logic Mamdani mampu menghasilkan perubahan keputusan yang lebih bertahap pada area transisi antarparameter. Karakteristik tersebut menjadikannya lebih sesuai untuk mengolah data sensor yang memiliki tingkat ketidakpastian.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengimplementasikan metode Fuzzy Logic Mamdani pada sistem monitoring kualitas air akuarium berbasis IoT menggunakan sensor TDS dan suhu. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada implementasi metode Fuzzy Mamdani yang dijalankan langsung pada mikrokontroler ESP32 untuk melakukan proses inferensi secara real-time, berbeda dengan penelitian sebelumnya [4], [5] yang umumnya melakukan perhitungan fuzzy pada server atau cloud sehingga menimbulkan latensi dan ketergantungan pada koneksi internet. Selain itu, penelitian ini menyajikan validasi kuantitatif hasil inferensi antara implementasi pada ESP32 dan simulasi MATLAB untuk memastikan keakuratan implementasi metode. Sistem yang dikembangkan mampu mengolah data sensor menjadi informasi kualitas air dalam kategori buruk, normal, dan baik secara real-time melalui dashboard web sehingga dapat membantu pengguna melakukan pemantauan kondisi air dengan lebih mudah dan cepat.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Palem Aquarium sebagai lokasi studi kasus. Pengujian sensor dilakukan menggunakan lima jenis sampel air, yaitu air galon isi ulang, air keran, air akuarium, air kopi, dan air garam untuk memperoleh data pembacaan sensor TDS yang kemudian dibandingkan dengan alat ukur referensi. Penelitian ini menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani untuk mengevaluasi kualitas air akuarium berdasarkan parameter Total Dissolved Solids (TDS) dan suhu yang diperoleh melalui sensor. Pemilihan metode tersebut didasarkan pada kemampuannya dalam mengolah data yang mengandung ketidakpastian menjadi informasi yang mudah dipahami melalui tahapan fuzzifikasi, inferensi menggunakan aturan (*rule base*), dan defuzzifikasi. Proses penelitian mencakup perancangan sistem, penyusunan model Fuzzy Logic Mamdani, implementasi sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT), serta pengujian guna mengevaluasi kinerja sistem yang telah dikembangkan.

2.1 Kualitas Air

Kondisi kualitas air memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga kesehatan dan keberlangsungan hidup organisme akuatik. Penilaian terhadap kualitas air dilakukan melalui beberapa parameter yang mencakup aspek fisik, kimia, dan biologis. Parameter fisik meliputi suhu serta tingkat kekeruhan, sedangkan parameter kimia mencakup pH, oksigen terlarut, salinitas, dan Total Dissolved Solids (TDS). Adapun aspek biologis berkaitan dengan keberadaan mikroorganisme di dalam perairan. Kombinasi dari seluruh parameter tersebut memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi lingkungan perairan [7].

Indikator kualitas air pada pemeliharaan ikan hias air tawar meliputi suhu pada kisaran 22–29 °C. dan TDS kurang dari 300 ppm [8]. Nilai tersebut digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini untuk menentukan kondisi kualitas air akuarium. Parameter TDS dan suhu selanjutnya digunakan sebagai variabel masukan pada metode Fuzzy Logic Mamdani.

2.2 ESP 32

NodeMCU ESP32 merupakan mikrokontroler yang memiliki berbagai fungsi dengan kemampuan yang lebih unggul dibandingkan Arduino maupun ESP8266. Modul ini menyediakan jumlah pin dan port yang lebih banyak sehingga mampu mendukung integrasi berbagai perangkat dalam sebuah sistem yang lebih kompleks. Selain memiliki konsumsi daya yang efisien dan biaya yang relatif ekonomis, ESP32 juga telah dilengkapi dengan konektivitas WiFi berkecepatan tinggi serta Bluetooth Low Energy (BLE) dual-mode. Kehadiran fitur komunikasi nirkabel tersebut membuat penggunaan komponen tambahan tidak lagi diperlukan, sehingga dapat menghemat biaya implementasi maupun penggunaan ruang perangkat [9].

2.3 Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang memanfaatkan koneksi internet yang selalu terhubung untuk mendukung komunikasi dan pertukaran data antarperangkat. Melalui teknologi ini, berbagai objek dapat saling terhubung sehingga aktivitas sehari-hari dapat dilakukan dengan lebih efektif dan efisien. Seiring perkembangan teknologi, penerapan IoT semakin luas pada berbagai bidang kehidupan. Dalam implementasinya, IoT memanfaatkan berbagai komponen seperti sensor, jaringan nirkabel, dan kode QR (*Quick Response*) sebagai pendukung proses komunikasi. Istilah Internet of Things terdiri atas dua kata, yaitu Internet yang mengacu pada jaringan beserta pengelolaannya, dan Things yang merujuk pada berbagai objek yang dapat berinteraksi dengan manusia maupun komputer.[10].

2.4 Sensor TDS

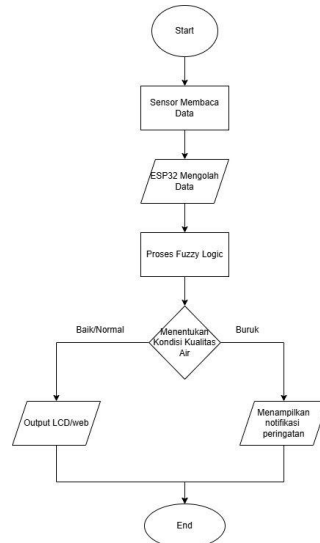
TDS (Total Dissolved Solids) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah keseluruhan zat padat terlarut di dalam air, baik berupa mineral, garam, maupun senyawa organik dan anorganik. Besarnya nilai TDS berpengaruh terhadap kualitas air karena berkaitan dengan tingkat kebersihan serta kelayakan air untuk mendukung kehidupan organisme maupun kebutuhan manusia [7]. Sensor TDS bekerja dengan memanfaatkan prinsip konduktivitas listrik, yaitu melalui dua elektroda yang dialiri tegangan AC untuk mengukur arus listrik yang dihasilkan oleh ion-ion terlarut di dalam air. Peningkatan konsentrasi TDS akan menyebabkan konduktivitas listrik dan tegangan keluaran sensor (sensitivitas 0,924–7,933 mV/ppm) ikut meningkat. Selanjutnya, sinyal analog tersebut diubah menjadi data digital oleh mikrokontroler agar dapat diproses pada tahap berikutnya [11].

2.5 Sensor Suhu

Sensor DS18B20 adalah sensor suhu digital yang menggunakan protokol 1-Wire untuk melakukan pengukuran suhu. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan thermistor internal, kemudian hasil pengukuran dikonversi menjadi data digital melalui ADC 12-bit dengan tingkat akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ serta resolusi $0,0625^{\circ}\text{C}$. Selain itu, DS18B20 memiliki kode identitas unik 64-bit yang memungkinkan beberapa sensor dihubungkan ke satu pin mikrokontroler secara bersamaan. Sensor ini juga memiliki konsumsi daya yang rendah, yaitu sekitar 1–4 mA, serta dilengkapi probe tahan air (waterproof) sehingga sesuai digunakan untuk pemantauan suhu air pada kolam budidaya ikan secara real-time [12].

2.6 Arsitektur Sistem

Sistem yang dirancang memanfaatkan sensor TDS dan sensor suhu DS18B20 sebagai perangkat untuk memperoleh data yang dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32. Data yang diperoleh dari kedua sensor kemudian diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kualitas air sebelum dikirim ke database MySQL melalui REST API. Setelah proses penyimpanan selesai, informasi hasil pemantauan ditampilkan pada dashboard berbasis web agar pengguna dapat memonitor kondisi kualitas air secara real-time. Pemanfaatan aplikasi berbasis web dipilih karena dapat memudahkan penyajian informasi, pengelolaan data, serta memberikan akses yang lebih mudah kepada pengguna dalam memantau sistem melalui jaringan internet [13].



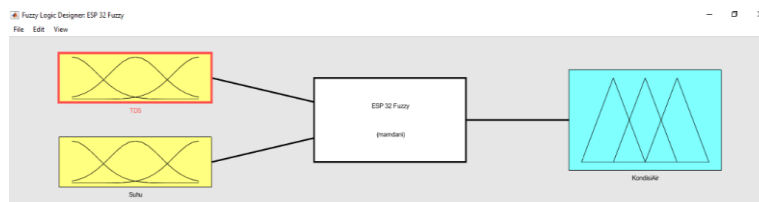
Gambar 1 Flow chart alur sistem

2.7 Perancangan Fuzzy Mamdani

Metode Fuzzy Mamdani adalah salah satu metode dalam sistem inferensi fuzzy yang dikembangkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini banyak diterapkan pada sistem kendali dan sistem pendukung keputusan karena mekanisme penalarannya meniru cara manusia dalam melakukan pengambilan keputusan. Hasil proses inferensi berupa himpunan fuzzy kemudian diubah menjadi nilai tegas (crisp value) melalui tahap defuzzifikasi agar dapat dijadikan dasar dalam menentukan suatu keputusan [14].

2.7.1 Variable Input dan Output

Pada penelitian ini, sistem fuzzy menggunakan dua variabel masukan (input), yaitu Total Dissolved Solids (TDS) dan suhu, serta satu variabel keluaran (output) berupa kualitas air. Variabel TDS berfungsi untuk menunjukkan jumlah zat terlarut yang terdapat di dalam air, sedangkan variabel suhu digunakan untuk menggambarkan kondisi temperatur air akuarium. Selanjutnya, kedua variabel tersebut diolah menggunakan metode Fuzzy Mamdani sehingga menghasilkan keputusan dalam bentuk kategori kualitas air.

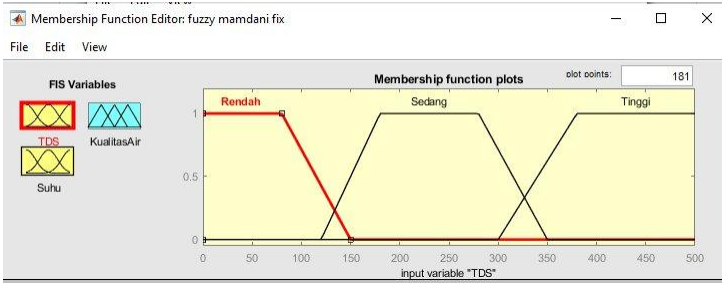


Gambar 2 Himpunan Fuzzy

2.7.2 Himpunan Fuzzy

Masing-masing variabel direpresentasikan ke dalam himpunan fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga (triangular) dan trapesium (trapezoidal). Variabel TDS memiliki tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Sementara itu, variabel suhu dikelompokkan ke dalam tiga himpunan, yaitu dingin, normal, dan panas. Adapun variabel keluaran berupa kualitas air diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu buruk, normal, dan baik. Penentuan rentang nilai pada setiap fungsi keanggotaan mengacu pada literatur mengenai kualitas air ikan hias air tawar serta hasil observasi yang dilakukan pada objek penelitian.

- Variable Input TDS



Gambar 3 Variable input TDS

Berikut rumus matematika untuk fungsi keanggotaan himpunan Fuzzy Rendah, Normal, dan Tinggi berdasarkan parameter yang telah di berikan:

1. TDS Rendah

$$\mu_{Rendah}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 80 \\ \frac{150 - x}{150 - 80} & 80 < x < 150 \\ 0 & x \geq 150 \end{cases} \tag{1}$$

2. TDS Sedang

$$\mu_{Sedang}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 120 \\ \frac{x - 120}{180 - 120} & 120 < x < 180 \\ 1 & 180 \leq x \leq 280 \\ \frac{350 - x}{350 - 280} & 280 < x < 350 \\ 0 & x \geq 350 \end{cases} \tag{2}$$

3. TDS Tinggi

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 3300 \\ \frac{x - 300}{380 - 300} & 300 < x < 380 \\ 1 & x \geq 380 \end{cases} \tag{3}$$

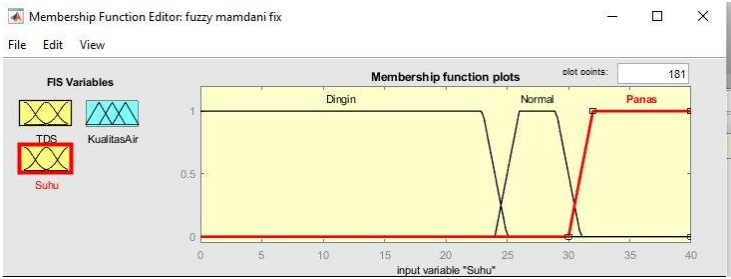
Untuk memperjelas grafik pada gambar 3 ada pada keterangan tabel dibawah ini:

Tabel 1 Himpunan fuzzy TDS

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
0 – 500	- Rendah	[0-150]
	- Sedang	[100-350]
	- Tinggi	[300-500]

Rentang fungsi keanggotaan TDS ditentukan dengan mengacu pada indikator kualitas air tawar, yaitu nilai TDS di bawah 300 ppm sebagai kondisi yang sesuai untuk pemeliharaan ikan air tawar [8]. Berdasarkan indikator tersebut, nilai TDS dikelompokkan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Titik-titik fungsi keanggotaan pada masing-masing himpunan ditentukan untuk merepresentasikan perubahan kondisi TDS secara bertahap serta memberikan area tumpang tindih antarhimpunan. Dengan demikian, batas 120–180 ppm dan 280–350 ppm digunakan sebagai titik transisi antara kondisi rendah, sedang, dan tinggi, sedangkan nilai 300 ppm menjadi salah satu acuan dalam menentukan peralihan menuju kondisi TDS tinggi.

- Variable input Suhu



Gambar 4 Variable input suhu

1. Suhu Dingin

$$\mu_{Dingin}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 23 \\ \frac{25-x}{25-23} & 23 < x < 25 \\ 0 & x \geq 25 \end{cases} \tag{4}$$

2. Suhu Normal

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 24 \\ \frac{x-24}{26-24} & 24 < x \leq 26 \\ 1 & 26 \leq x \leq 29 \\ \frac{31-x}{31-29} & 29 < x < 31 \\ 0 & x \geq 31 \end{cases} \tag{5}$$

3. Suhu Panas

$$\mu_{Panas}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 30 \\ \frac{x-30}{32-30} & 30 < x < 32 \\ 1 & x \geq 31 \end{cases} \tag{6}$$

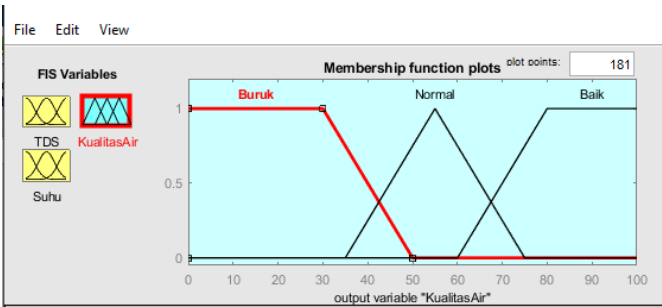
Untuk memperjelas grafik pada gambar 4 ada pada keterangan tabel dibawah ini :

Tabel 2 Himpunan fuzzy suhu

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
0 – 40	- Dingin	[0-25]
	- Normal	[24-31]
	- Panas	[30-40]

Rentang fungsi keanggotaan suhu ditentukan dengan mengacu pada indikator kualitas air tawar, yaitu kisaran suhu 22–29°C sebagai kondisi yang sesuai untuk pemeliharaan ikan air tawar [8]. Berdasarkan indikator tersebut, nilai suhu dikelompokkan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu dingin, normal, dan panas. Titik-titik fungsi keanggotaan pada masing-masing himpunan ditentukan untuk merepresentasikan perubahan kondisi suhu secara bertahap serta memberikan area tumpang tindih antarhimpunan. Dengan demikian, batas 23–25°C dan 29–31°C digunakan sebagai titik transisi antara kondisi dingin, normal, dan panas, sedangkan nilai 30°C menjadi salah satu acuan dalam menentukan peralihan menuju kondisi suhu panas.

- Output Fuzzy



Gambar 5 Ouput fuzzy

Untuk memperjelas grafik pada gambar 4 ada pada keterangan tabel dibawah ini:

Tabel 3 Output fuzzy

Semesta Pembicaraan	Nama Himpunan Fuzzy	Domain
0 – 100	- Buruk	[0-50]
	- Normal	[35-75]
	- Baik	[60-100]

Rentang fungsi keanggotaan output kualitas air ditentukan untuk merepresentasikan tingkat kondisi kualitas air yang dihasilkan dari proses inferensi Fuzzy Mamdani. Output kualitas air dikelompokkan ke dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu buruk, normal, dan baik, dengan rentang nilai keluaran 0–100. Titik-titik fungsi keanggotaan pada masing-masing himpunan ditentukan untuk memberikan perubahan nilai keluaran secara bertahap serta area tumpang tindih antarhimpunan. Dengan demikian, rentang 0–50 digunakan untuk merepresentasikan kondisi buruk, 35–75 sebagai area transisi dan kondisi normal, sedangkan rentang 60–100 digunakan untuk merepresentasikan kondisi baik. Nilai keluaran akhir kemudian diperoleh melalui proses defuzzifikasi menggunakan metode centroid sehingga menghasilkan nilai kualitas air dalam bentuk angka kontinu pada rentang 0–100.

2.7.3 Rule Base

Tahap inferensi dilakukan menggunakan aturan (rule base) berbentuk IF–THEN yang disusun berdasarkan keterkaitan antara nilai TDS dan suhu terhadap kualitas air. Pada penelitian ini diterapkan sembilan aturan fuzzy yang mencakup seluruh kombinasi variabel masukan, sehingga sistem dapat menentukan kategori kualitas air sesuai dengan kondisi yang terdeteksi.

Tabel 4 Rule Base

No	Rule Fuzzy
1	Jika tds rendah dan suhu dingin maka kualitas air buruk.
2	Jika tds rendah dan suhu normal maka kualitas air normal.
3	Jika tds rendah dan suhu panas maka kualitas air buruk.
4	Jika tds sedang dan suhu dingin maka kualitas air normal.
5	Jika tds sedang dan suhu normal maka kualitas air is baik.
6	Jika tds sedang dan suhu panas maka kualitas air normal.
7	Jika tds tinggi dan suhu dingin maka kualitas air is buruk.
8	Jika tds tinggi dan suhu normal maka kualitas air buruk.
9	Jika tds tinggi dan suhu panas maka kualitas air buruk

2.7.4 Proses Inferensi

Setelah tahap fuzzifikasi selesai, derajat aktivasi pada setiap aturan ditentukan menggunakan operator AND dengan metode minimum (MIN). Seluruh hasil inferensi kemudian dikombinasikan menggunakan metode maximum (MAX) sehingga menghasilkan himpunan fuzzy keluaran yang merepresentasikan kondisi kualitas air.

2.7.5 Deffuzifikasi

Tahap terakhir pada metode Fuzzy Mamdani adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah hasil inferensi yang masih berbentuk himpunan fuzzy menjadi nilai tegas (crisp). Pada penelitian ini digunakan metode Centroid (Center of Area) karena mampu menghasilkan nilai keluaran yang merepresentasikan keseluruhan daerah hasil agregasi. Nilai crisp yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan kategori kualitas air, yaitu buruk, normal, atau baik, dan selanjutnya ditampilkan pada dashboard monitoring secara real-time.

$$= \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz} \quad (7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras pada penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengolah data dari seluruh perangkat. ESP32 dihubungkan dengan sensor TDS untuk mengukur nilai Total Dissolved Solids (TDS), sensor suhu DS18B20 untuk membaca temperatur air, serta LCD 1602 I2C yang digunakan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor secara langsung.

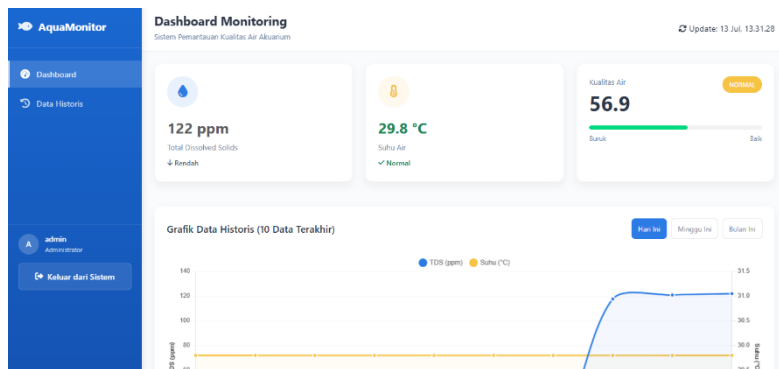


Gambar 6 Rangkaian Alat

3.2 Implementasi perangkat Lunak

Tahap implementasi perangkat lunak dilakukan sebagai proses penerapan hasil perancangan sistem monitoring kualitas air ke dalam bentuk aplikasi yang dapat dijalankan. Pada tahap ini, desain antarmuka dan fungsi sistem diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman PHP, HTML, dan Tailwind CSS sehingga mampu menampilkan data sensor secara dinamis. Antarmuka yang dikembangkan dirancang agar pengguna dapat memantau nilai suhu, kadar TDS, serta status kualitas air berdasarkan hasil perhitungan Fuzzy Mamdani secara real-time dengan lebih mudah.

- Dashboard monitoring



Gambar 7 Dashboard monitoring

Pada Gambar 7, dashboard berbasis web mampu menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real-time sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air dengan lebih mudah. Penggunaan aplikasi berbasis web sebagai media monitoring dinilai efektif dalam menyajikan informasi kepada pengguna karena data dapat diakses dengan cepat dan mudah melalui jaringan internet [15].

- Data Historis

Gambar 8 halaman data historis

Pada Gambar 8, halaman data historis memungkinkan pengguna melihat riwayat hasil pembacaan sensor dalam rentang waktu tertentu. Fitur ini dapat dimanfaatkan untuk melakukan analisis jangka panjang terhadap kondisi kualitas air serta memantau kesehatan ekosistem akuarium dari waktu ke waktu.

3.3 Pengujian Sensor

Pengujian sensor bertujuan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor TDS dan sensor suhu sebelum digunakan sebagai data masukan pada proses Fuzzy Mamdani. Pada tahap ini, hasil pembacaan kedua sensor dibandingkan dengan alat ukur referensi untuk menghitung nilai rata-rata kesalahan (error). Pengujian tersebut dilakukan agar data yang diproses oleh sistem memiliki tingkat keakuratan yang memadai..

Presentase error dihitung menggunakan rumus berikut:

$$error = \frac{\text{Selisih nilai pembacaan}}{\text{Nilai Sensor}} \times 100\% \quad (8)$$

- Sensor TDS

Tabel 5 Pengujian sensor TDS

No	Jenis air	sensor TDS IoT	tds analog	error(%)
1	air galon isi ulang	115	119	3,4%
2	Air Keran	188	191	1,6%
3	Air aquarium	190	191	0,5%
4	air kopi	505	476	6,1%
5	air garam	540	510	5,9%
Total persentase error				17%
Rata-rata persentase error				3%

Pada table pengujian diatas sensor TDS menghasilkan rata – rata error sebesar 3%

- Sensor Suhu

Tabel 6 Pengujian sensor suhu

No	Jenis air	sensor suhu IoT	suhu analog	error(%)
1	air suhu ruangan	28,8	29,7	3,0%
2	Air es	6,8	6,9	1,4%
3	air dingin	19,8	21,2	6,6%
4	air panas	98,1	96,8	1,3%
5	air hangat	37,8	38,1	0,8%
Total persentase error				13%

Rata-rata persentase error

2,6%

Pada table pengujian diatas sensor suhu menghasilkan rata – rata error sebesar 2,6%

3.4 Pengujian Fuzzy Mamdani

Pengujian Fuzzy Mamdani dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menentukan kualitas air berdasarkan parameter TDS dan suhu. Pada tahap ini, hasil inferensi yang dihasilkan oleh implementasi pada ESP32 dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan MATLAB untuk menilai tingkat kesesuaian keluaran sistem. Pengujian tersebut juga bertujuan memastikan bahwa aturan (rule base) dan fungsi keanggotaan telah diimplementasikan sesuai dengan perancangan.

Tabel 7 Pengujian fuzzy mamdani

No	Input		Sistem	Matlab	error (%)
	TDS	Suhu			
1	313	28,4	65,6	65,5	0,2%
2	291	28,7	83,8	84,1	0,4%
3	108	28,8	55	55	0,0%
4	324	38,6	37,6	37,4	0,5%
5	432	30,4	23,6	23,1	2,1%
Total persentase error					3%
Rata-rata persentase error					0,6%

Pada tabel pengujian fuzzy mamdani diatas menghasilkan rata-rata error sebesar 0,6%.

3.5 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dipaparkan, sistem monitoring kualitas air berbasis IoT dengan metode Fuzzy Mamdani menunjukkan performa yang baik. Sensor TDS menghasilkan rata-rata error sebesar 3%, sedangkan sensor suhu menghasilkan error 2,6%. Nilai error ini masih berada dalam toleransi yang dapat diterima untuk aplikasi monitoring lingkungan perairan. sensor TDS DFRobot memiliki tingkat akurasi yang baik dengan rata-rata error sebesar 0,49% pada pengujian larutan standar, sedangkan sensor DS18B20 memiliki akurasi yang stabil dengan rata-rata error di bawah 1% berdasarkan pengujian pada sistem monitoring berbasis IoT [11]. sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi yang baik dalam aplikasi monitoring suhu air dengan rata-rata error sebesar 1,2% [12]. Implementasi metode Fuzzy Mamdani pada ESP32 menghasilkan rata-rata error sebesar 0,6% dibandingkan dengan simulasi MATLAB, yang mengindikasikan bahwa implementasi kode program pada mikrokontroler telah sesuai dengan rancangan metode secara matematis.

Meskipun sistem telah menunjukkan performa yang baik, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, sistem hanya menggunakan dua parameter input (TDS dan suhu) sehingga belum mencakup parameter kimia penting lainnya seperti pH, amonia, nitrit, dan oksigen terlarut yang juga berpengaruh signifikan terhadap kualitas air dalam budidaya perairan [7]. Kedua, sistem masih bergantung pada koneksi internet untuk mengirimkan data ke dashboard web; jika terjadi gangguan jaringan, data tidak dapat ditampilkan secara real-time. Ketiga, rentang fungsi keanggotaan yang digunakan bersifat spesifik untuk ikan koi air tawar sehingga belum dapat langsung diaplikasikan pada jenis ikan lain atau kondisi perairan yang berbeda tanpa penyesuaian parameter terlebih dahulu.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Fuzzy Mamdani efektif untuk monitoring kualitas air pada skala laboratorium dengan kondisi air yang terkendali. Namun, untuk diterapkan pada lingkungan budidaya skala besar, tambak terbuka, atau sistem resirkulasi akuakultur (recirculating aquaculture system/RAS), diperlukan validasi tambahan karena karakteristik air dapat bervariasi secara signifikan akibat faktor lingkungan eksternal seperti cuaca, intensitas cahaya, sirkulasi air, kepadatan ikan, serta beban organik dari sisa pakan dan metabolisme ikan [1], [7]. Oleh karena itu, generalisasi hasil penelitian ini perlu dilakukan dengan hati-hati dan disesuaikan dengan konteks spesifik penggunaannya.

Untuk memperkuat analisis, hasil penelitian ini dibandingkan secara kuantitatif dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan pendekatan berbeda pada kasus serupa. Penelitian oleh [5]

mengimplementasikan metode Fuzzy Sugeno berbasis IoT untuk monitoring kualitas air akuarium ikan mas koki dengan menggunakan parameter suhu dan TDS, dan melaporkan rata-rata error sistem sebesar 1,2% dalam penentuan kualitas air dibandingkan dengan perhitungan manual. Sementara itu, penelitian oleh [1] menggunakan metode Fuzzy Logic untuk kontrol kualitas air pada budidaya ikan bandeng dengan parameter suhu, pH, dan oksigen terlarut, namun tidak menyajikan perbandingan error secara kuantitatif.

Pada penelitian ini, metode Fuzzy Mamdani menghasilkan rata-rata error sebesar 0,6% dibandingkan dengan simulasi MATLAB, yang lebih rendah dibandingkan error 1,2% pada metode Fuzzy Sugeno [5]. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan Fuzzy Mamdani memiliki performa yang lebih baik dalam kasus monitoring kualitas air akuarium, terutama karena proses inferensi dan defuzzifikasi pada Mamdani menghasilkan transisi keputusan yang lebih halus pada kondisi batas antarparameter. Namun, perbandingan ini perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena perbedaan jumlah variabel input, jenis ikan, kondisi lingkungan pengujian, serta metode validasi yang digunakan antarpemeriksaan. Meskipun demikian, hasil ini memberikan indikasi bahwa metode Fuzzy Mamdani layak dipertimbangkan sebagai alternatif untuk sistem monitoring kualitas air berbasis IoT.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menerapkan metode Fuzzy Logic Mamdani pada sistem monitoring kualitas air akuarium berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan sensor Total Dissolved Solids (TDS) dan sensor suhu sebagai variabel masukan. Data yang diperoleh dari kedua sensor diolah untuk menghasilkan informasi kualitas air dalam tiga kategori, yaitu buruk, normal, dan baik, kemudian ditampilkan secara real-time melalui dashboard web. Berdasarkan hasil pengujian, sensor TDS memperoleh rata-rata kesalahan sebesar 3%, sedangkan sensor suhu menunjukkan rata-rata kesalahan sebesar 2,6%. Sementara itu, implementasi metode Fuzzy Mamdani menghasilkan rata-rata kesalahan sebesar 0,6% jika dibandingkan dengan hasil simulasi MATLAB. Perlu dicatat bahwa hasil penelitian ini masih terbatas dengan dua parameter input (TDS dan suhu), sehingga generalisasi ke skala budidaya yang lebih luas atau untuk jenis ikan yang berbeda memerlukan penelitian dan validasi tambahan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu memonitor kualitas air dengan tingkat akurasi yang baik sehingga dapat membantu pengguna dalam mengambil keputusan secara cepat dan tepat pada pemeliharaan ikan hias air tawar. Pada penelitian selanjutnya, sistem ini dapat dikembangkan tidak hanya sebagai media monitoring, tetapi juga sebagai sistem kendali otomatis (automated control system) dengan menambahkan aktuatur, seperti pompa penguras air otomatis atau pemanas (heater). Selain itu, penambahan sensor kimia lainnya, seperti sensor pH air, dapat dilakukan untuk menghasilkan analisis kualitas air yang lebih menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pamulang, dosen pembimbing, serta pihak Palem Aquarium yang telah memberikan dukungan, arahan, dan kesempatan selama proses penelitian dan pengujian sistem. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Rosyidah, C. ali rizal, and Sumardi, "Sistem Pemantauan Dan Kontrol Kualitas Air Pada Budidaya Bandeng Menggunakan Metode Fuzzy Logic," pp. 50–55, 2023, doi: 10.23917/emit.v1i1.21551.
- [2] M. S. S. Dwiryo and Endryansyah, "Sistem Kontrol Suhu dan Monitoring TDS Air pada Akuarium Anakan Ikan Koi Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT," pp. 70–81, 2025, doi: <https://doi.org/10.26740/jte.v14n1.p70-81>.
- [3] M. Fikri, A. Musthafa, and F. R. Pradhana, "Design and Build Smart Aquascape Based on PH and TDS With IoT System Using Fuzzy Logic Rancang Bangun Smart Aquascape Berdasarkan PH dan TDS Dengan Sistem IoT Menggunakan Logika Fuzzy," vol. 2, no. 1, pp. 5–7, 2021, doi: <https://doi.org/10.21070/pels.v2i0.1166>.
- [4] S. A. Wulandari, A. Sucipto, A. F. Rosyady, M. D. R. Ardana, O. D. P. Cahyono, and A. N. Khomarudin, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis

- Mobile,” vol. 3, no. 1, pp. 42–54, 2024, doi: <https://doi.org/10.55043/technologica.v3i1.153>.
- [5] M. T. Rahman, F. Yanto, and E. Haerani, “Implementasi Fuzzy Sugeno Berbasis IoT untuk Peringatan Kualitas Air Akuarium Ikan Mas Koki,” vol. 5, no. 4, pp. 573–583, 2025, doi: [10.47065/bulletincsr.v5i4.627](https://doi.org/10.47065/bulletincsr.v5i4.627).
- [6] D. Amni, “Penerapan Metode Fuzzy Mamdani Pada Pemilihan Bidang Pekerjaan Sesuai Kompetensi,” vol. 6, no. 2, 2023.
- [7] C. E. Boyd and A. A. Mcnevin, “Reviews in Fisheries Science & Aquaculture Resource Use and Pollution Potential in Feed- Based Aquaculture Resource Use and Pollution Potential in Feed-Based Aquaculture,” *Rev. Fish. Sci. Aquac.*, vol. 32, no. 2, pp. 306–333, 2024, doi: [10.1080/23308249.2023.2258226](https://doi.org/10.1080/23308249.2023.2258226).
- [8] A. A. H. AlQadry, K. Nisa, M. Adnan, R. Praminasari, and A. A. Nugraha, “Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Air Kolam Ikan Hias Berbasis Internet Of Things (IOT),” pp. 87–91, 2022.
- [9] I. Ruslianto, U. Ristian, H. Hasfani, and K. Sari, “Rekayasa Sistem Fotosintesis dan Ekosistem pada,” vol. 9, no. 1, pp. 136–142, 2023, doi: <https://doi.org/10.26418/jp.v9i1.61746>.
- [10] A. Syahfitri, “Internet of Things (IoT), Sejarah , Teknologi , dan Penerapannya,” vol. 3, 2025, doi: <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i1.667>.
- [11] M. Hidayat, I. Dwitawati, and I. W. Pratiwi, “Monitoring Tanaman Hidroponik Dengan Impementasi Internet Of Things (IT) Di Green House Prodi Biologi Uin Ar-Raniry Pendahuluan Zaman digital telah merubah berbagai kegiatan manusia yang dulunya dilakukan secara konvensional menjadi mungkin dilakukan s,” vol. 4, no. 2, pp. 163–174, 2024, doi: [10.22373/kenanga.v4i2.5661](https://doi.org/10.22373/kenanga.v4i2.5661).
- [12] F. R. Ibrahim, F. T. Syifa, and H. Pujiharsono, “Penerapan Sensor Suhu DS18B20 dan Sensor pH sebagai Otomatisasi Pakan Ikan Berbasis IoT,” vol. 8275, pp. 63–72, 2023, doi: <https://doi.org/10.20895/jtece.v5i2.844>.
- [13] A. Siswopranoto and G. Saputri, “Penerapan Aplikasi E-Cuti Berbasis Web dengan Extreme Programming (Studi Kasus : Pengadilan Agama Jakarta Barat),” vol. 33, no. 4, pp. 70–74, 2023, doi: <https://doi.org/10.37277/stch.v33i4.1801>.
- [14] F. A. Sihombing, “Kajian Fuzzy Metode Mamdani dan Fuzzy Metode Sugeno serta Implementasinya,” vol. 4, pp. 4940–4955, 2024, doi: <https://doi.org/10.31004/innovative.v4i4.13108>.
- [15] A. Siswopranoto and G. Saputri, “Penerapan Aplikasi E-Perkara di Pengadilan Agama Jakarta Barat dengan Model Agile Development,” vol. 18, no. 4, pp. 305–314, 2025, doi: [http://dx.doi.org/10.30998/faktorexacta.v18i4.27915](https://dx.doi.org/10.30998/faktorexacta.v18i4.27915).