

Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Tambak Ikan Bandeng Menggunakan Fuzzy Sugeno

Muh. Imam Quraisy^{*1}, Ismaun Rusman², Fahril Hidayat³ Farid Wajidi⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Informatika, Universitas Sulawesi Barat

E-mail: ^{*1}imam27@unsulbar.ac.id, ²maunkalmaliki@unsulbar.ac.id,

³fahrilalhidayat@gmail.com, ⁴faridwajidi@unsulbar.ac.id

Abstrak

Kualitas air merupakan faktor krusial dalam budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) untuk mendukung pertumbuhan optimal sekaligus meminimalkan risiko kematian. Fluktuasi parameter utama seperti pH, suhu, kekeruhan, dan Total Dissolved Solids (TDS) pada tambak menjadi tantangan yang memerlukan sistem pemantauan andal. Penelitian ini bertujuan merancang sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode Fuzzy Sugeno. Sistem ini mengintegrasikan sensor-sensor yang terhubung ke NodeMCU untuk membaca parameter air, kemudian memproses data menggunakan logika fuzzy guna mengklasifikasikan kondisi air menjadi kategori LAYAK atau TIDAK LAYAK. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menyajikan informasi secara real-time melalui aplikasi Android, sehingga mendukung petambak dalam pengambilan keputusan yang cepat dan tepat. Namun, akurasi sensor pH masih perlu ditingkatkan agar hasil pemantauan lebih optimal. Dengan demikian, sistem ini berpotensi menjadi solusi teknologi yang efektif dalam mendukung akuakultur berkelanjutan serta mengurangi risiko kerugian ekonomi pada budidaya bandeng.

Kata kunci— Ikan bandeng, Fuzzy Sugeno, kualitas air, monitoring, tambak

Abstract

Water quality is a crucial factor in milkfish (*Chanos chanos*) aquaculture to support optimal growth and minimize the risk of mortality. Fluctuations in key parameters such as pH, temperature, turbidity, and Total Dissolved Solids (TDS) in ponds present challenges that require a reliable monitoring system. This study aims to design an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system using the Fuzzy Sugeno method. The system integrates sensors connected to a NodeMCU to measure water parameters and processes the data using fuzzy logic to classify water conditions into SUITABLE or UNSUITABLE categories. Implementation results show that the system can provide real-time information through an Android application, thereby assisting farmers in making timely and accurate decisions regarding pond management. However, the accuracy of the pH sensor still needs improvement to achieve more optimal results. Thus, this system has the potential to serve as an effective technological solution to support sustainable aquaculture and reduce the risk of economic losses in milkfish farming.

Keywords— Milkfish, Fuzzy Sugeno, water quality, monitoring, pond

1. PENDAHULUAN

Kualitas air merupakan faktor fundamental dalam kegiatan akuakultur karena sangat mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidup ikan. Parameter penting seperti pH, suhu, kekeruhan, dan total dissolved solids (TDS) bersifat fluktuatif sehingga membutuhkan pemantauan berkelanjutan untuk menjaga kestabilan ekosistem [1], [2]. Hal ini sejalan dengan tren global, di mana perubahan kualitas air yang tidak terkendali menjadi salah satu penyebab utama kegagalan dalam budidaya perikanan di berbagai negara berkembang. Keberhasilan akuakultur modern sangat ditentukan oleh ketersediaan teknologi pemantauan kualitas air yang akurat, real-time, dan adaptif.

Ikan bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu komoditas utama akuakultur di Indonesia, khususnya pada tambak air payau yang memiliki kondisi lingkungan dinamis akibat pengaruh pasang surut [3]. Ketidakstabilan lingkungan tersebut dapat berdampak negatif terhadap produktivitas, sebagaimana ditunjukkan oleh variasi iklim lokal di Kabupaten Pangkep, dimana peningkatan curah hujan dan naiknya muka air laut mengakibatkan penurunan hasil panen [4]. Hal serupa juga terjadi di wilayah pesisir Majene–Polewali, ketika para petambak mengalami kegagalan panen akibat musim kemarau panjang yang menyebabkan kekeruhan air meningkat dan suhu tambak naik [5]. Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor iklim dan lingkungan eksternal memiliki kontribusi besar terhadap keberhasilan budidaya bandeng, sehingga strategi mitigasi berbasis teknologi menjadi kebutuhan yang mendesak.

Berdasarkan data Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Majene, penyimpangan parameter kualitas air dari kisaran ideal sering menjadi penyebab utama kerugian produksi. Batas ideal yang direkomendasikan meliputi suhu 20–40 °C, pH 7–9, kekeruhan 15–25 NTU, dan TDS 400–1500 ppm. Nilai TDS yang tinggi tidak selalu menandakan perlunya penggantian air, tetapi dapat diatasi dengan penambahan koagulan. Kompleksitas hubungan antar parameter tersebut menyulitkan proses evaluasi manual, khususnya ketika variabel lingkungan berubah secara cepat. Oleh karena itu, logika fuzzy, khususnya model Sugeno, dipilih karena mampu menangani ketidakpastian serta memodelkan fungsi non linier secara lebih fleksibel [6] [7] [8]. Fuzzy Sugeno juga memiliki keunggulan dalam menghasilkan output numerik yang lebih presisi, sehingga cocok digunakan untuk sistem pengambilan keputusan otomatis di bidang akuakultur.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring berbasis *fuzzy*, namun relevansinya terhadap akuakultur masih terbatas. Yosefa Stefania Fono et al. [9] merancang sistem monitoring berbasis *fuzzy* untuk tanaman krisan, sementara Nanda Cahaya Putra menerapkan metode Sugeno pada kualitas air higiene–sanitasi, tetapi ruang lingkupnya terbatas pada air tanah [6]. Penelitian yang lebih dekat dengan konteks akuakultur dilakukan oleh Imaniya Rosyidah [10] dan Sholihah Ayu Wulandari [11] yang menggunakan *fuzzy Mamdani* untuk pengendalian kualitas air pada tambak bandeng dan mujair. Sementara itu, penelitian oleh Ahmad et al. [2] mengembangkan sistem monitoring dan kontrol kualitas air berbasis IoT pada budidaya ikan koi, dan Hikmah dan Misbah [12] merancang sistem kontrol kualitas air berbasis *fuzzy logic* pada kolam pendederan ikan bandeng. Meskipun efektif, metode *Mamdani* dinilai kurang efisien untuk menghasilkan keluaran numerik yang dibutuhkan dalam sistem otomatisasi. Sementara itu, sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) yang dikembangkan oleh Prisma Megantoro [13] dan Tuanku Muhammad Raihan [14] terbukti efektif dalam pengambilan data, namun masih bergantung pada platform pihak ketiga seperti Blynk yang membatasi fleksibilitas dan skalabilitas. Hal ini menunjukkan adanya *research gap* pada penerapan metode *fuzzy* yang lebih efisien serta integrasi IoT yang mandiri (Disesuaikan sitasinya).

Penelitian ini menawarkan kontribusi pada empat aspek utama. Pertama, penerapan metode Fuzzy Sugeno secara spesifik pada pengelolaan tambak bandeng, yang lebih sesuai untuk menghasilkan keluaran numerik presisi. Kedua, pengembangan sistem mandiri tanpa ketergantungan pada platform pihak ketiga, sehingga memberikan kontrol penuh dan kustomisasi. Ketiga, fokus pada parameter kualitas air yang relevan dengan budidaya pesisir di Indonesia, khususnya Sulawesi Barat. Keempat, sistem dirancang untuk bekerja secara real-time dan adaptif,

serta memberikan peringatan dini berbasis kondisi aktual sehingga petambak dapat segera mengambil tindakan.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air pada tambak bandeng yang terintegrasi dengan aplikasi Android. Pendekatan yang diajukan diharapkan dapat mendukung praktik akuakultur berkelanjutan, mengurangi risiko kerugian, serta memperkaya literatur penerapan logika fuzzy di bidang perikanan berbasis Internet of Things (IoT). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menawarkan solusi teknis, tetapi juga berpotensi memberikan dampak sosial-ekonomi positif bagi masyarakat pesisir yang menggantungkan hidupnya pada budidaya bandeng.

2. METODE

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan eksperimen terapan yang bertujuan merancang dan menguji sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng berbasis Fuzzy Sugeno. Penelitian dilakukan di tambak ikan bandeng Kecamatan Alu, Sulawesi Barat, dengan pengujian langsung parameter suhu, pH, TDS, dan kekeruhan, serta perbandingan hasil sensor dengan standar kualitas air ideal.

2.2 Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dilakukan secara langsung di lapangan untuk memperoleh data akurat yang merepresentasikan kondisi nyata tambak ikan bandeng. Beberapa metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

2.2.1 Studi Pustaka

Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari buku, jurnal ilmiah, dan artikel daring yang relevan terkait topik fuzzy logic, monitoring kualitas air, serta parameter lingkungan tambak ikan bandeng. Hasil studi pustaka digunakan untuk menyusun dasar teori, menentukan parameter penelitian, serta merancang struktur sistem berbasis Fuzzy Sugeno.

2.2.2 Observasi

Observasi dilakukan secara langsung di tambak ikan bandeng untuk memahami kondisi lingkungan dan variasi parameter kualitas air. Pengamatan ini meliputi pencatatan suhu, tingkat keasaman (pH), kekeruhan air, dan jumlah partikel terlarut (TDS). Selain itu, observasi juga digunakan untuk menentukan titik pengambilan sampel air, serta waktu terbaik untuk pengukuran agar hasil data sensor merepresentasikan kondisi aktual tambak (pagi, siang, dan sore hari).

2.2.3 Wawancara

Wawancara dilakukan dengan petambak lokal untuk memperoleh informasi kebutuhan sistem monitoring, kesulitan yang sering dihadapi dalam menjaga kualitas air, serta batas ambang ideal untuk parameter lingkungan tambak ikan bandeng.

2.3 Metode Pengembangan

Metode pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode waterfall. Waterfall merupakan metode pengembangan perangkat lunak atau pembangunan sistem.

2.3.1 Rekayasa Sistem

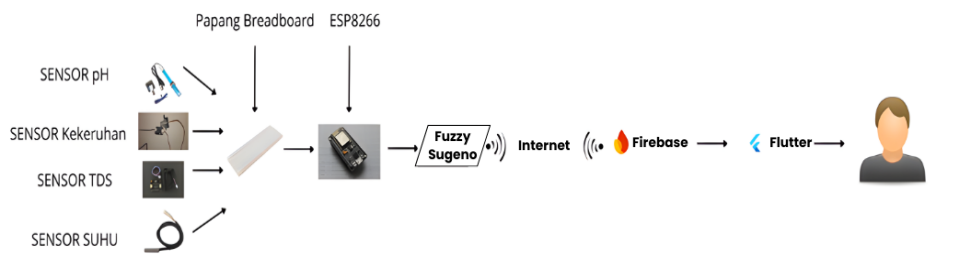
Menentukan kebutuhan sistem dan perangkat keras seperti NodeMCU, sensor pH, TDS, suhu, dan kekeruhan, serta kebutuhan perangkat lunak seperti aplikasi Android berbasis Flutter.

2.3.2 Analisis Sistem

Menentukan parameter kualitas air, logika fuzzy, serta kebutuhan data dari hasil observasi dan wawancara.

2.3.3 Desain Sistem

Desain sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng mengintegrasikan empat sensor utama, yaitu sensor pH, TDS (Total Dissolved Solids), suhu, dan kekeruhan. Seluruh sensor dihubungkan ke NodeMCU ESP8266 sebagai pusat pengendali yang berfungsi membaca, mengolah, dan mengirimkan data hasil pengukuran ke Firebase Realtime Database.



Gambar 1 Alur Data Sistem

Data yang telah dikirimkan disinkronkan secara real-time dan ditampilkan pada aplikasi Android berbasis Flutter sebagai media monitoring bagi pengguna. Sistem ini dirancang agar mampu menampilkan informasi kualitas air tambak secara cepat dan akurat.

Selain itu, hasil pembacaan sensor diproses menggunakan metode Fuzzy Sugeno untuk menentukan status kelayakan air tambak berdasarkan nilai parameter suhu, pH, dan kekeruhan.

2.3.4 Implementasi (Coding)

Tahapan implementasi dilakukan dengan memprogram NodeMCU ESP8266 menggunakan Arduino IDE. Setiap sensor dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan akurasi pengukuran, kemudian diintegrasikan dengan Firebase agar data dapat diperbarui secara real-time. Algoritma Fuzzy Sugeno diimplementasikan untuk mengklasifikasikan kondisi air menjadi Layak atau Tidak Layak melalui tiga proses utama:

- Fuzzifikasi – mengubah data sensor menjadi derajat keanggotaan (rendah, sedang, tinggi).
- Inferensi – mengombinasikan aturan IF–THEN untuk menentukan keluaran parsial sesuai model Sugeno.
- Defuzzifikasi – mengubah hasil inferensi menjadi nilai tegas (crisp value) menggunakan metode rata-rata terbobot untuk menghasilkan keputusan akhir kelayakan air.

2.3.5 Pengujian dan Evaluasi

Pada tahapan ini dilakukan pengujian secara real time pada tambak ikan bandeng dengan mengambil lima sampel air pada kondisi yang berbeda, hal ini dilakukan untuk menguji alat yang dirancang apakah berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Dengan parameter hasil pengujian. adapun patokan dalam pemantauan kualitas air yaitu suhu berkisar antara 25°C-32°C, pH antara 7,0 hingga 9.0. TDS 400-1500 ppm dan kekeruhan 15.25 NTU (Nephelometric Turbidity Units).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kebutuhan

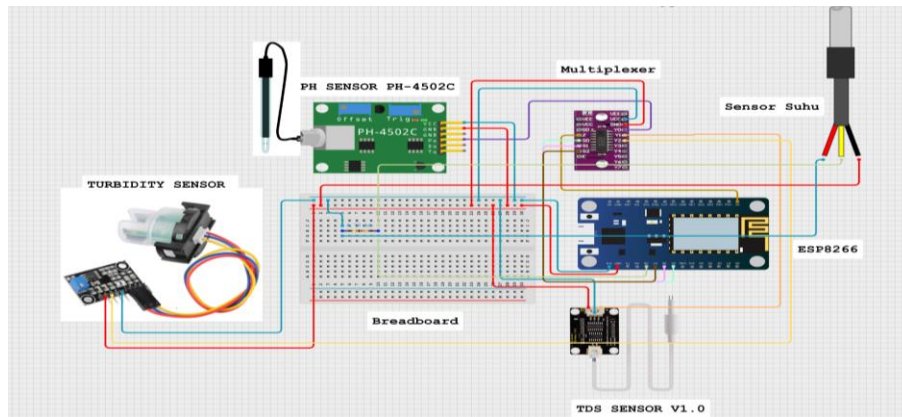
Analisis kebutuhan sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng dilakukan melalui studi pustaka, observasi, dan wawancara untuk menentukan parameter penting yang harus dipantau. Berdasarkan hasil tersebut, ditetapkan sensor dan komponen penunjang agar sistem dapat menyajikan informasi kondisi air secara akurat dan real-time.

- Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*): sensor pH, TDS, suhu, turbidity, NodeMCU ESP8266, USB charger, dan kabel jumper sebagai penghubung.

- b) Perancangan Perangkat Lunak (*Software*): Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, Flutter untuk aplikasi mobile, Visual Studio Code sebagai text editor, Firebase Realtime Database untuk penyimpanan dan sinkronisasi data, serta Android sebagai platform aplikasi.

3.2 Perancangan Elektronika

Perancangan sistem dimulai dengan desain rangkaian elektronika yang terdiri dari NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler utama, serta sensor pH, TDS, suhu, dan turbidity untuk memantau kualitas air tambak secara menyeluruh.



Gambar 2 Rangkaian Elektronika

Komponen utama sistem dijelaskan sebagai berikut:

- NodeMCU merupakan mikrokontroler berbasis WiFi ESP8266 yang dapat terhubung langsung ke internet tanpa modul tambahan. Perangkat ini berfungsi sebagai pusat kendali yang membaca data sensor dan mengirimkannya ke Firebase untuk pemantauan real-time [15].
- Multiplexer digunakan untuk menghubungkan beberapa sensor analog ke satu pin input NodeMCU. Komponen ini memungkinkan pembacaan data dari banyak sensor secara bergantian meskipun jumlah pin analog terbatas [16].
- Sensor pH berfungsi mengukur tingkat keasaman atau kebasaan air (skala 0–14) sebagai indikator utama kualitas lingkungan bagi ikan bandeng [15].
- Sensor TDS mengukur jumlah total partikel terlarut (organik dan anorganik) dalam air. Nilai ditampilkan dalam satuan ppm (parts per million) atau mg/L untuk menunjukkan konsentrasi padatan terlarut [15].
- Sensor turbidity mendeteksi tingkat kekeruhan air berdasarkan intensitas cahaya yang tersebar akibat partikel tersuspensi, sehingga membantu menentukan kejernihan air tambak [15].
- Sensor DS18B20 digunakan untuk memantau suhu air tambak dengan akurasi tinggi dalam rentang -55°C hingga 125°C dan ketelitian sekitar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, untuk memastikan kondisi termal optimal bagi ikan [17].

3.3 Implementasi Sistem

Implementasi sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng menggunakan metode Fuzzy Sugeno dilakukan dengan model Waterfall, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan, hingga implementasi perangkat keras dan perangkat lunak. Pada perangkat keras, sensor pH, TDS, suhu, dan turbidity diintegrasikan dengan NodeMCU ESP8266 melalui multiplexer. Data dari sensor kemudian dikirim secara realtime ke Firebase Realtime Database. Susunan pin elektronika dari setiap komponen utama dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Susunan Pin Elektronika

Komponen	Pin Sensor	Koneksi
Node MCU ESP8266	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
	A0	Z pin Multiplexer
	D5	S0 pin Multiplexer
	D6	S1 pin Multiplexer
Multiplexer 74HC4051	D7	S2 pin Multiplexer
	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
Sensor Suhu	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
	Data	D8 ESP8266
Sensor TDS	Resistor	4.7k Ω antara VCC dan D8
	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
Sensor PH	A (input)	Y0 Multiplexer
	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
Sensor Turbidity	PO (output)	Y1 Multiplexer
	VCC	Breadboard (+)
	GND	Breadboard (-)
	A (output)	Y2 Multiplexer

Pada perangkat lunak, dikembangkan aplikasi Android berbasis Flutter yang terhubung dengan Firebase untuk menampilkan nilai parameter kualitas air dan status kelayakan (layak/tidak layak) berdasarkan perhitungan Fuzzy Sugeno. Dengan rancangan ini, petambak dapat memantau kondisi air tambak secara cepat dan akurat melalui smartphone.

3.3.1 Aplikasi Android

Aplikasi Android menjadi antarmuka utama bagi petambak untuk memantau kualitas air. Pengguna dapat melihat data sensor secara realtime (suhu, pH, TDS, turbidity) dari Firebase Realtime Database. Selain itu, aplikasi menampilkan status kelayakan air berdasarkan metode Fuzzy Sugeno.



Gambar 3 Tampilan Aplikasi Android

Gambar 3 menunjukkan antarmuka aplikasi yang memiliki halaman awal dengan tombol Monitoring Air dan halaman utama yang memuat data sensor serta status kualitas air. Desain sederhana dan responsif memudahkan petambak memantau tambak dan mengambil keputusan secara cepat.

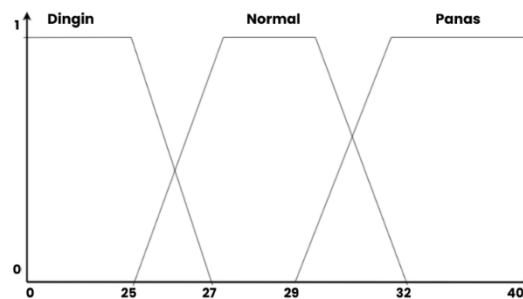
3.3.2 Database Sistem (firebase)

Firebase digunakan sebagai media penyimpanan data antara NodeMCU ESP8266 dan aplikasi Android. Data sensor (suhu, pH, TDS, kekeruhan) dikirim dalam format key-value dan diperbarui secara realtime, sehingga langsung tersinkronisasi ke aplikasi. Struktur ini juga mendukung analisis Fuzzy Sugeno untuk menentukan status kualitas air dengan cepat dan konsisten.

3.4 Implementasi Logika Fuzzy

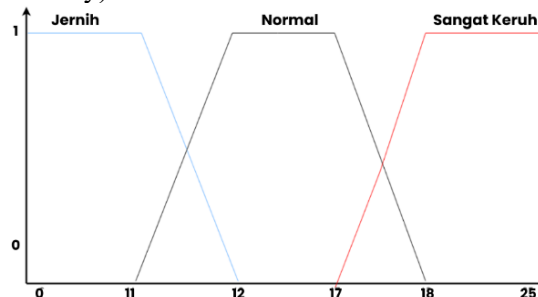
Logika fuzzy diterapkan untuk menentukan kelayakan air pada sistem monitoring kualitas air tambak. Sistem memproses data sensor (suhu, pH, dan kekeruhan) melalui metode Fuzzy Sugeno untuk menghasilkan keluaran berupa status layak atau tidak layak.

a) Sensor Suhu



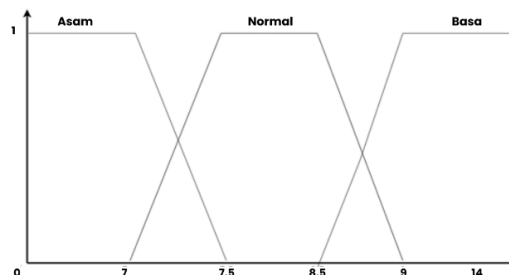
Gambar 4 Grafik keanggotaan suhu

b) Sensor Kekeruhan (turbidity)



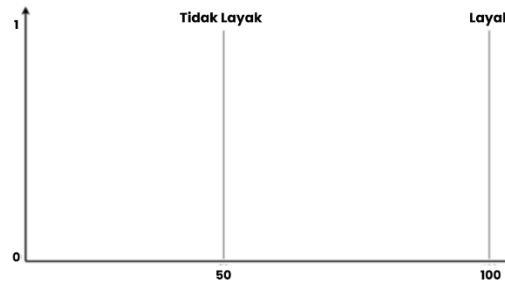
Gambar 5 Grafik keanggotaan kekeruhan turbidity

c) Sensor pH



Gambar 6 Grafik keanggotaan PH

Nilai keluaran fuzzy dikategorikan menjadi dua tingkat kelayakan: layak (100) dan tidak layak (50). Dengan model Sugeno dan fungsi keanggotaan singleton, hasil ditampilkan sebagai batang tunggal, di mana rentang 50–100 merepresentasikan tingkat kelayakan air berdasarkan aturan inferensi [6].



Gambar 7 Diagram output

3.4.1 Fuzzifikasi

Pada tahap fuzzifikasi, nilai sensor (suhu, pH, kekeruhan) digunakan untuk menentukan derajat keanggotaan pada masing-masing himpunan fuzzy. Nilai spesifik dari sensor dipetakan ke fungsi keanggotaan sesuai batas yang telah ditetapkan, seperti terlihat pada Grafik Keanggotaan (Gambar 4–6), sehingga data sensor dapat diinterpretasikan dalam bentuk fuzzy.

a) Suhu

$$\mu_{\text{Dingin}} = \frac{27-26}{27-25} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \frac{26-25}{27-25} = \frac{1}{2} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Panas}} = 0$$

b) Ph

$$\mu_{\text{Asam}} = \frac{7.5-7.3}{7.5-7} = \frac{0.2}{0.5} = 0.4$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \frac{7.3-7}{7.5-7} = \frac{0.3}{0.5} = 0.6$$

$$\mu_{\text{Basa}} = 0$$

c) Kekeruhan

$$\mu_{\text{Jernih}} = \frac{12-11.5}{12-11} = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Normal}} = \frac{11.5-11}{12-11} = \frac{0.5}{1} = 0.5$$

$$\mu_{\text{Sangat Keruh}} = 0$$

Hasil fuzzifikasi ini menunjukkan bahwa setiap nilai sensor dapat direpresentasikan dalam bentuk linguistik dengan derajat keanggotaan tertentu. Tahap selanjutnya adalah menentukan rule base untuk proses inferensi.

3.4.2 Rulebase

Jumlah himpunan fuzzy yang dimiliki oleh variabel input suhu, pH, dan kekeruhan menghasilkan total 27 aturan fuzzy yang dapat dibentuk melalui model Sugeno. Aturan-aturan tersebut menjelaskan hubungan antara kondisi input dan output yang dihasilkan, sebagaimana disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Rule based

IF	SUHU	pH	Kekeruhan	Output
R1	Dingin	Asam	Jernih	Tidak Layak
R2	Dingin	Asam	Normal	Tidak Layak
R3	Dingin	Asam	Sangat Keruh	Tidak Layak
...	...	...	...	...
R27	Panas	Basa	Sangat Keruh	Tidak Layak

Dalam logika fuzzy, aturan linguistik ini menjadi dasar penentuan keluaran sistem. Proses dimulai dengan mengubah data sensor yang tegas (crisp) ke dalam himpunan fuzzy, kemudian dihitung derajat keanggotaannya. Hanya nilai derajat keanggotaan yang tidak nol yang digunakan dalam inferensi, sehingga sistem dapat menentukan kelayakan air berdasarkan kondisi input secara otomatis.

3.4.3 Inferensi

Tahap inferensi pada sistem fuzzy Sugeno dilakukan dengan mengombinasikan aturan-aturan yang telah dirumuskan berdasarkan variabel input suhu, pH, dan kekeruhan. Nilai predikat (α) dari setiap aturan diperoleh menggunakan metode *min*, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$\alpha_i = \min(\mu_A(x), \mu_B(y), \mu_C(z)) \quad (1)$$

Keterangan:

- $\mu_A(x)$: derajat keanggotaan dari variabel suhu terhadap himpunan fuzzy A (misal: rendah, sedang, tinggi).
- $\mu_B(y)$: derajat keanggotaan dari variabel pH terhadap himpunan fuzzy B.
- $\mu_C(z)$: derajat keanggotaan dari variabel kekeruhan terhadap himpunan fuzzy C.
- α_i : nilai predikat dari aturan ke-i, yang merepresentasikan tingkat aktivasi aturan tersebut.

Selanjutnya, nilai keluaran parsial dihitung dengan mengalikan nilai predikat dengan konsekuen yang sesuai, sebagaimana pada Persamaan (2):

$$z_i = \alpha_i \times z_i \quad (2)$$

Di mana z_i merupakan nilai konsekuen dari aturan ke-i pada model Sugeno, yang umumnya berupa nilai tetap seperti 20 (buruk), 50 (cukup), atau 80 (baik).

Dalam implementasi, terdapat 27 aturan fuzzy, namun hanya aturan dengan derajat keanggotaan tidak bernilai nol yang berkontribusi terhadap hasil akhir. Sebagai contoh, pada kondisi suhu 26°C, pH 7,3, dan kekeruhan 11,5 NTU, beberapa aturan aktif menghasilkan keluaran parsial bernilai 20, 50, dan 50. Nilai-nilai parsial ini selanjutnya digunakan pada tahap defuzzifikasi untuk memperoleh nilai crisp kualitas air. Hasil defuzzifikasi ini akan menentukan kategori akhir kualitas air tambak, seperti baik, cukup, atau buruk, berdasarkan nilai rata-rata berbobot dari seluruh keluaran parsial.

3.4.4 Defuzzifikasi

Tahap selanjutnya adalah defuzzifikasi, dimana output hasil inferensi dari setiap aturan diubah menjadi nilai tegas (crisp) menggunakan metode rata-rata terbobot (weighted average). Proses ini memperhitungkan nilai α -predikat dan keluaran z dari setiap rulebase sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3).

$$Z = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \dots + \alpha_n z_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \quad (3)$$

Di mana:

- Z : nilai crisp hasil defuzzifikasi
- α_i : nilai predikat dari aturan ke-i

- c) z_i : nilai konsekuen dari aturan ke- i
- d) n : jumlah aturan yang aktif.

Pada implementasi sistem dengan kondisi suhu 26°C, pH 7,3, dan kekeruhan 11,5 NTU, diperoleh beberapa aturan aktif dengan hasil inferensi menghasilkan nilai parsial yang kemudian diolah melalui persamaan di atas. Hasil perhitungan ditunjukkan sebagai berikut:

$$z = \frac{240}{2.8} = 85.71$$

Nilai crisp sebesar 85,71 merepresentasikan kualitas air tambak pada kondisi input tersebut. Berdasarkan kategori kelayakan yang telah ditetapkan, di mana nilai 50 merepresentasikan “Tidak Layak” dan nilai 100 merepresentasikan “Layak”, maka nilai 85,71 $\geq$ 50, sehingga sistem mengklasifikasikan kondisi air tambak sebagai “Layak.”.

Nilai hasil defuzzifikasi ini menjadi dasar bagi sistem monitoring untuk memberikan informasi kelayakan secara real-time serta membantu petambak dalam melakukan tindakan preventif, seperti penyesuaian kadar pH atau penggantian air, guna menjaga kualitas air tetap optimal bagi pertumbuhan ikan bandeng.

3.5 Hasil Uji Sensor

Pengujian sensor dilakukan untuk memastikan kinerja sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng. Setiap sensor dibandingkan dengan alat ukur standar sebagai acuan. Parameter yang diuji meliputi pH, suhu, TDS, dan turbidity.

- a) Hasil uji sensor pH

Pengujian dilakukan menggunakan larutan buffer standar pH. Hasil perbandingan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Sensor pH

No	Pembacaan Sensor pH	Nilai Standar (Larutan buffer)	Error
1	4.01	4.01	0.0%
2	5.57	6.86	18.8%
3	9.61	9.18	4.6%
Rata-rata Error			7.8%

Tabel 3 menunjukkan pembacaan sensor pH dibandingkan dengan nilai standar larutan buffer. Kolom error merepresentasikan persentase selisih antara sensor dan standar, dengan rata-rata error 7,8%, menandakan akurasi sensor pH masih perlu ditingkatkan.

- b) Hasil uji sensor suhu

Pengujian dilakukan dengan sampel air hangat, air netral (suhu ruang), dan air panas. Tabel 4 menunjukkan hasil perbandingan dengan termometer digital.

Tabel 4 Hasil uji sensor suhu

No	Pembacaan sensor suhu (°C)	Pembacaan alat uji digital (°C)	Error
1	28.88	28.25	2.2%
2	37.8	37.5	0.8%
3	42.8	42.88	0.2%
Rata-rata Error			1.07%

Pada tabel 4 menampilkan pembacaan sensor suhu dibandingkan dengan larutan buffer sebagai nilai standar. Kolom error menunjukkan persentase perbedaan antara sensor dan

standar untuk mengevaluasi akurasi. Rata-rata error 1,07% menunjukkan sensor suhu masih memiliki deviasi dan perlu peningkatan akurasi agar pemantauan suhu air lebih optimal.

c) Hasil uji sensor TDS

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian menggunakan sampel air garam dan air kerang dengan alat uji TDS & EC meter sebagai acuan.

Tabel 5 Hasil Uji Sensor TDS

No	Sampel	Pembacaan Sensor (ppm)	Alat Uji (ppm)	Error
1	Air Garam	622.7	622.7	0 %
2	Air Kerang	102.93	106.1	2.98 %
Rata-rata Error				1.49%

Tabel 5 menampilkan pembacaan sensor TDS dibandingkan dengan alat ukur standar. Kolom error menunjukkan persentase selisih, dengan rata-rata error 1,49%, menandakan sensor TDS memiliki akurasi baik.

d) Uji sensor Turbidity

Pengujian dilakukan pada tiga sampel air dengan tingkat kejernihan berbeda, yaitu jernih, keruh, dan sangat keruh.

Tabel 6 Hasil Uji Sensor Turbidity

No	Sampel Air	Alat uji (NTU)
1	Jernih	0.00
2	Keruh	38.64
3	Sangat Keruh	100.00

Tabel 6 menunjukkan pengujian sensor turbidity pada sampel air (Jernih, Keruh, Sangat Keruh). Sensor mampu mendeteksi perbedaan kekeruhan, dengan nilai NTU meningkat sesuai tingkat kekeruhan, menandakan sensor berfungsi dengan baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, sistem monitoring kualitas air tambak ikan bandeng berbasis logika Fuzzy Sugeno telah berhasil diimplementasikan dan berfungsi sesuai rancangan. Sistem ini menggunakan sensor suhu, pH, kekeruhan, dan TDS untuk memantau kondisi air secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan kualitas air ke dalam dua kategori, yaitu Layak dan Tidak Layak, berdasarkan hasil defuzzifikasi. Pada kondisi suhu 26°C, pH 7,3, dan kekeruhan 11,5 NTU, diperoleh nilai defuzzifikasi sebesar 85,71 yang termasuk kategori Layak, sesuai dengan kondisi optimal bagi pertumbuhan ikan bandeng. Meski demikian, pada beberapa pengujian awal ditemukan ketidakstabilan pada sensor pH yang diduga dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan cuaca. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja yang baik dalam memonitor dan menentukan kelayakan kualitas air tambak secara otomatis, namun diperlukan kalibrasi lanjutan pada sensor pH untuk meningkatkan akurasi pembacaan data.

REFERENSI

- [1] I. Dewa *et al.*, "Prototype of water quality monitoring mobile application as early warning

- system based on internet of things,” *J. Info Sains Inform. dan Sains*, vol. 14, no. 01, hal. 1069–1078, 2024, doi: 10.54209/infosains.v14i01.
- [2] A. H. Ahmad, N. I. M. Yanis, M. N. Nur Irawan, R. Munadi, dan N. Fitriyanti, “Water Quality Monitoring and Control System in Koi Fish Cultivation Based on Internet-of-Things (IoT),” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 21, no. 1, hal. 19–26, 2025, doi: 10.17529/jre.v21i1.40760.
- [3] T. P. Chen, “Culture of Milkfish (*Chanos chanos*) as a Means of Increasing Animal Protein Supply,” *J. Fish. Res. Board Canada*, vol. 33, no. 4, hal. 917–919, 1976, doi: 10.1139/f76-119.
- [4] N. T. Sirajuddin, A. A. Wahditiya, dan V. D. Saleky, “Efek Perubahan Iklim Terhadap Usaha Tambak Ikan Bandeng di Desa Bulu Cindea Biringkassi, Kecamatan Bungoro, Kabupaten Pangkep,” *J. Coast. Deep Sea*, vol. 1, no. 1, hal. 22–30, 2023, doi: 10.30598/jcds.v1i1.11195.
- [5] S. R. I. A. Arfayani, “Status mutu air di pelabuhan baru majene, sulawesi barat,” Universitas Hasanuddin, 2024.
- [6] N. C. Putra, Jayanta, dan Y. Widiastiwi, “Penerapan Logika Fuzzy untuk Mendeteksi Kualitas Air Higiene Sanitasi menggunakan Metode Sugeno (Studi Kasus : Air Tanah Kota Bekasi),” in (*SENAMIKA*) *Seminar Nasional Mahasiswa Ilmu Komputer dan Aplikasinya*, 2020, hal. 693–706.
- [7] M. Marwondo, S. Sardjono, dan U. Riswanto, “Pengendali Kualitas Air Kolam Budidaya Air Tawar Berbasis IoT dan Logika Fuzzy,” *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.*, vol. 12, no. 2, hal. 128, 2024, doi: 10.24036/voteteknika.v12i2.126090.
- [8] Rosmasari, D. Nur Rahmad, A. Prafanto, A. Khoirunnita, dan M. Jamil, “Sugeno Fuzzy Logic for IoT-based Chicken Farm Drinking Water Quality Monitoring,” *Indones. J. Data Sci.*, vol. 6, no. 1, hal. 134–144, 2025, doi: 10.56705/ijodas.v6i1.229.
- [9] Y. Fono, A. Setiawan, dan D. Permatasari, “Penerapan Metode Fuzzy Logic Terhadap Suhu dan Kelembaban Tanah Pada Monitoring Bunga Krisan,” *Blend Sains J. Tek.*, vol. 2, hal. 235–243, Des 2023, doi: 10.56211/blendsains.v2i3.400.
- [10] I. Rosyidah, A. R. Chaidir, dan S. Sumardi, “Sistem Pemantauan dan Kontrol Kualitas Air pada Budidaya Bandeng Menggunakan Metode Fuzzy Logic,” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, hal. 50–55, 2023, doi: 10.23917/emitor.v1i1.21551.
- [11] S. A. Wulandari, A. Sucipto, A. F. Rosyady, M. D. R. Ardana, O. D. P. Cahyono, dan 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,” *Technologica*, vol. 3, no. 1, hal. 42–54, 2024, doi: 10.55043/technologica.v3i1.153.
- [12] M. A. Hikmah dan M. Misbah, “Sistem Kontrol Kualitas Air Berbasis Fuzzy Logic Pada Kolam Pendederan Ikan Bandeng,” *J. Tek. Elektro*, vol. 17, no. 1, hal. 6–10, 2024, doi: 10.9744/jte.17.1.6-10.
- [13] P. Megantoro, A. W. Anugrah, M. H. Abdillah, B. J. Kustanto, M. Fadillah, dan P. Vigneshwaran, “Smart measurement and monitoring system for aquaculture fisheries with IoT-based telemetry system,” *Bull. Electr. Eng. Informatics*, vol. 13, no. 3, hal. 1555–1565, 2024, doi: 10.11591/eei.v13i3.6900.
- [14] T. M. Raihan, “Sistem pemantauan kualitas air menggunakan Esp32 dengan Fuzzy Logic Sugeno Berbasis Android,” Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, 2022. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/65005>
- [15] A. Lestari and A. Zafia, “Penerapan Sistem Monitoring Kualitas Air Berbasis Internet of Things,” *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2022.
- [16] S. Alimsyah and M. Murdiantoro, “Penerapan metoda multiplexing–demultiplexing pada sistem kelistrikan mobil,” *SINUSOIDA*, vol. 23, no. 2, pp. 69–77, 2021.
- [17] H. Muyasaroh, “Sistem Pendeteksi Kualitas Air Berbasis IoT pada Budidaya Tambak di Desa Karangrejo, Kabupaten Demak,” *Undergraduate Thesis*, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2025.