

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING DAN KENDALI KADAR OKSIGEN DAN PH AIR TAMBAK UDANG VANAME DI BUMI DIPASENA MENGGUNAKAN METODE *FUZZY LOGIC* BERBASIS IOT

Arya Nugraha^{1*}, Umi Murdika², Ageng Sadnowo Repelianto³, Syaiful Alam⁴

^{1,2,3,4}Jurusan teknik Elektro, Universitas Lampung; Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung

Keywords:

Monitoring System;
Internet of Things (IoT);
Fuzzy Logic;
ESP32;
Vannamei Shrimp Pond;

Correspondent Email:

aryagrhl1@gmail.com



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstrak. Perubahan kadar oksigen dan pH air tambak yang terlambat terdeteksi, dapat menimbulkan masalah serius bagi udang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode *fuzzy logic* untuk menampilkan data kualitas air melalui *smartphone* atau *desktop*. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor DO SEN 0237, sensor pH SEN0161, platform Thingspeak untuk menampilkan nilai kualitas air, dan Telegram untuk mengirimkan notifikasi secara *real-time* kepada petambak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berfungsi dengan baik. Pengujian kesesuaian informasi dan kendali membuktikan bahwa terdapat kesesuaian 100% pengendalian relay antara alat yang dirancang dengan tampilan pada platform Thingspeak. Pengujian akurasi dilakukan di dua lokasi yang berbeda, dan hasilnya menunjukkan bahwa nilai rata-rata persentase selisih tertinggi yang terukur adalah 1,3% untuk sensor pH dan 4,37% untuk sensor DO, yang keduanya masih berada di bawah batas toleransi selisih maksimum sebesar 10%.

Abstract. Delayed detection of changes in oxygen levels and pH in the shrimp pond water can cause serious problems for the shrimp. This research aims to design and build a monitoring and control system based on the Internet of Things (IoT) using fuzzy logic methods to display water quality data through smartphones or desktops. The system uses an ESP32 microcontroller, DO sensor SEN 0237, pH sensor SEN0161, the Thingspeak platform to display water quality values, and Telegram to send real-time notifications to shrimp farmers. The test results show that the developed system functions properly. Information and control conformity testing proved 100% consistency in relay control between the designed device and the display on the Thingspeak platform. Accuracy testing was conducted at two different locations, and the results showed that the highest measured average percentage difference was 1.3% for the pH sensor and 4.37% for the DO sensor, both of which are below the maximum tolerance limit of 10%.

1. PENDAHULUAN

Monitoring merupakan proses rutin pengumpulan data dan pengukuran kemajuan atas suatu objektif program memantau perubahan kadar pH dan oksigen air yang berfokus pada proses dan *output*. Monitoring membantu mengumpulkan data dasar yang berguna untuk memahami suatu masalah. Selain itu, monitoring juga memberikan

informasi tentang kondisi saat ini dan perubahan yang terjadi seiring waktu melalui pengukuran dan evaluasi yang dilakukan secara berkala [1]. Monitoring biasanya dilakukan untuk tujuan tertentu, yaitu memeriksa suatu proses atau menilai kondisi yang berguna untuk melihat sejauh mana kemajuan telah dicapai. Tujuannya adalah memastikan bahwa tindakan yang diambil memiliki efek yang diharapkan

dan membantu menjaga agar manajemen tetap berjalan dengan baik. Pada penelitian ini, aktivitas monitoring bertujuan untuk mengetahui perubahan kadar oksigen dan pH air pada tambak udang vaname.

Sistem monitoring adalah sebuah kegiatan yang mencakup pengumpulan, peninjauan ulang dan tindakan atas sesuatu proses yang berjalan pada sebuah sistem. Pada dasarnya pemantauan atau monitoring digunakan untuk memastikan sebuah sistem dapat berjalan sesuai dengan keadaan yang telah ditetapkan [2]. Dengan pemantauan diharapkan sebuah sistem dapat menghasilkan *output* monitoring berupa peningkatan kualitas yang terjadi terhadap suatu objek yang dipantau, dengan menerapkan sistem kendali dan pemantau kualitas air tambak udang berbasis kadar oksigen, dan pH air.

Permasalahan yang sering dihadapi oleh petambak udang di Bumi Dipasena adalah kesulitan dalam memantau parameter kualitas air secara *real-time* dan berkelanjutan. Metode pengukuran konvensional yang masih manual dan periodik tidak dapat memberikan informasi yang akurat tentang perubahan mendadak pada kondisi air tambak, yang dapat berakibat fatal bagi kesehatan dan pertumbuhan udang [3]. Keterlambatan dalam mendeteksi perubahan parameter kualitas air, khususnya kadar oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dan derajat keasaman (pH), dapat menyebabkan stres pada udang, menurunkan tingkat pertumbuhan, bahkan kematian massal yang berujung pada kerugian ekonomi.

Seiring dengan berkembangnya teknologi, sistem monitoring kualitas air pada tambak udang semakin mengalami inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemantauan parameter-parameter penting, seperti kadar oksigen terlarut (DO) dan pH air. Kualitas air tambak yang optimal memiliki nilai kadar oksigen lebih dari 4 mg/L, dan nilai pH air berada pada 7,5 sampai 8,5 [4][5]. Kualitas air yang optimal juga sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang vaname, sehingga diperlukan sistem monitoring yang dapat memberikan data secara *real-time* serta mampu melakukan analisis untuk menentukan tindakan yang tepat guna demi menjaga keseimbangan kadar oksigen dan pH air tambak [6].

Internet of Things (IoT) merupakan salah satu teknologi yang dapat diterapkan dalam sistem monitoring kualitas air. Dengan menggunakan sensor yang terintegrasi dengan IoT, data mengenai kadar oksigen dan pH air dapat dikumpulkan secara otomatis dan dikirimkan ke platform digital untuk dianalisis serta ditampilkan dalam antarmuka yang mudah diakses oleh petambak. Penggunaan metode Fuzzy Logic dalam sistem ini juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih adaptif berdasarkan kondisi kualitas kadar oksigen dan pH air tambak, sehingga dapat memberikan peringatan dini yang lebih akurat dalam menjaga stabilitas kualitas air [7].

Menurut peneliti [8] membuat alat sistem monitoring kadar oksigen berbasis IoT untuk budidaya udang vaname. Sistem ini mengukur kadar oksigen terlarut yang sangat penting bagi pertumbuhan udang, dengan kadar oksigen optimal lebih dari 3 mg/L dan batas toleransi minimal 2 mg/L. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT yang dilengkapi indikator lampu hijau, LCD, dan platform Thingspeak dapat meningkatkan produktivitas budidaya udang vaname secara efektif. Lalu menurut peneliti [9], peneliti mengembangkan alat untuk memantau suhu dan pH air dalam budidaya lobster air tawar menggunakan algoritma *fuzzy logic* dan IoT. Alat ini bertujuan untuk mengatasi masalah ketidakstabilan suhu dan pH yang dapat mempengaruhi frekuensi molting (proses pergantian kulit yang dilakukan udang untuk tumbuh) dan meningkatkan kanibalisme antar lobster, yang berpengaruh pada produktivitas. Hasil uji menunjukkan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 0,40% untuk sensor suhu dan 0,22% untuk sensor pH.

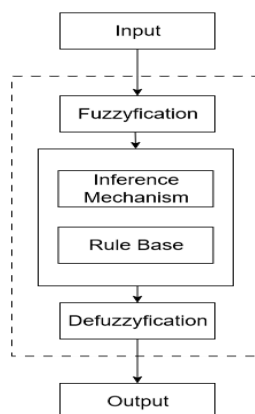
Penelitian ini menawarkan solusi berupa rancang bangun sistem monitoring kendali kadar oksigen dan pH air pada tambak udang vaname di Bumi Dipasena menggunakan metode *Fuzzy Logic* berbasis IoT. Sistem yang ditawarkan menyediakan fitur notifikasi melalui telegram yang akan memberi tahu petambak ketika parameter kualitas air berada di luar rentang yang optimal, sehingga petambak dapat mengambil tindakan dengan cepat. Sistem ini juga dirancang untuk memantau kadar oksigen terlarut dan pH air tambak secara *real-time*, sehingga dapat memberikan informasi yang akurat dan tepat

waktu kepada petambak tentang kondisi kualitas air tambak. Pada sistem ini juga dilengkapi dengan pengendalian *relay* yang berfungsi untuk menghidupkan pompa air serta membuka saluran pembuangan air tambak jika kualitas air berada pada nilai yang sangat buruk.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Metode Fuzzy Logic Mamdani

Metode Mamdani pada penerapannya menggunakan operasi MIN-MAX atau MAX-PRODUCT. Metode Mamdani diperkenalkan oleh Ebrahim H. Mamdani pada tahun 1975. Model Mamdani merupakan model relasional *fuzzy* dimana setiap aturan direpresentasikan dengan hubungan IF-THEN, karena baik anteseden maupun konsekuen merupakan proposisi *fuzzy*, disebut juga sebagai model linguistik atau pengumpulan data. Strukturnya dibuat secara manual [13].



Gambar 1. Diagram Alir Proses Fuzzy Logic

Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem *fuzzy*, yaitu: max, additive dan probabilistik OR.

- Metode Max (Maksimum)
Pada metode ini, himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah *fuzzy*, dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR.
- Metode Additive (Sum)
Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.
- Metode Probabilistik OR (Probor)

Pada metode Probabilistik OR diperoleh dengan cara melakukan *product* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*.

Pada metode Mamdani, terdapat beberapa komposisi aturan pada tahap defuzzyfikasi. Diantaranya, yaitu :

- Metode Centroid (*Composite Moment*)
Pada metode Centroid, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil pada titik pusat (z^*) pada daerah *fuzzy*.
Dengan persamaan :

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

Dimana :

z : Hasil *output crisp* yang ingin dicari
 $\mu(z)$: Derajat keanggotaan *fuzzy* dari nilai z

- Metode Bisektor
Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*.

2.2 Linearisasi Sensor

Linearisasi sensor adalah proses mengubah respons sensor yang tidak linier menjadi lebih linier agar lebih mudah dianalisis dan digunakan dalam sistem elektronik atau kontrol. Banyak sensor memiliki respons yang tidak linier terhadap perubahan parameter pengukuran. Namun, ada beberapa sensor, termasuk sensor elektrokimia tertentu, yang bersifat linier tetapi hanya dalam rentang pengukuran tertentu [14]. Hal ini bisa menyulitkan pembacaan data dan akurasi pengukuran.

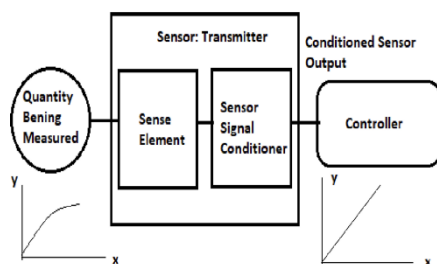
Metode linearisasi dapat digunakan, baik dengan pendekatan perangkat keras seperti rangkaian tambahan, maupun perangkat lunak dengan algoritma koreksi. Dengan linearisasi, sensor dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan mudah dikonversi ke dalam satuan yang diinginkan, sehingga meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Persamaan regresi adalah rumus matematika yang digunakan untuk memperkirakan atau memprediksi nilai suatu variabel yang bergantung (*dependent variable*) berdasarkan nilai variabel yang mempengaruhi atau bebas (*independent variable*). Konsep perhitungan ini

pertama kali diperkenalkan oleh Sir Francis Galton (1822-1911). Untuk memvisualisasikan hubungan antara kedua variabel ini, digunakan diagram pencar (*scatter diagram*), di mana nilai variabel bebas ditempatkan pada sumbu X (*horizontal*), sementara nilai variabel tak bebas ditempatkan pada sumbu Y (*vertical*) [15].

Dalam sensor, persamaan regresi dapat digunakan untuk mencari nilai tegangan atau arus pada sisi masukan sensor (X), dengan menjadikan nilai *output* sensor sebagai acuan (Y) untuk menentukan nilai yang sebenarnya. Dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$y = ax + b$$

Dimana (Y) merupakan variabel dependen, (a) merupakan konstanta, (b) merupakan koefisien variabel (X), dan (X) merupakan variabel independent.



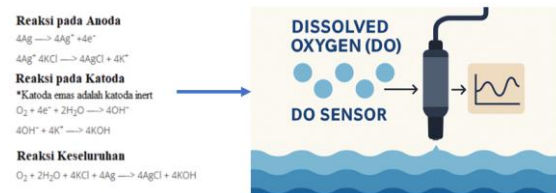
Gambar 2. Proses linearisasi sensor

2.3 Sensor Kadar Oksigen (*Dissolved Oxygen*)

Sensor kadar oksigen (*Dissolved Oxygen*) adalah perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengukur kadar oksigen terlarut dalam air, yang menjadi parameter kualitas air dalam sistem perairan seperti tambak, akuakultur, dan pengolahan air. Sensor ini menggunakan prinsip elektrokimia atau teknologi optik untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi molekul oksigen yang terlarut dalam air, dengan hasil pengukuran biasanya dinyatakan dalam satuan mg/L (*miligram per liter*) [16].

Sensor DO galvanik (*dissolved oxygen*) bekerja berdasarkan prinsip elektrokimia. Sensor ini terdiri dari dua elektroda, yaitu elektroda kerja dan elektroda referensi, yang terendam dalam larutan sampel. Ketika larutan mengandung oksigen terlarut, oksigen tersebut akan berinteraksi dengan elektroda kerja, menghasilkan reaksi reduksi yang

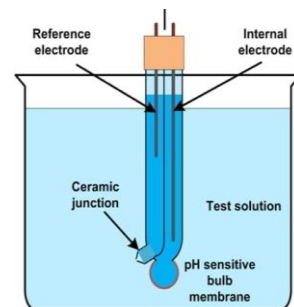
memproduksi aliran arus listrik. Besarnya arus ini sebanding dengan jumlah oksigen terlarut dalam sampel, sehingga memungkinkan pengukuran konsentrasi oksigen. Sensor DO galvanik sering digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas air karena memberikan pembacaan yang akurat dan stabil tanpa membutuhkan kalibrasi yang sering.



Gambar 4. Prinsip Kerja Sensor Analog Kadar Oksigen

2.4 Sensor pH

Sensor pH adalah perangkat elektronik yang dirancang khusus untuk mengukur tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan, yang dinyatakan dalam skala pH dari 0 hingga 14. Prinsip kerja sensor pH didasarkan pada pengukuran perubahan potensial listrik antara elektroda referensi dan elektroda kaca yang sensitif terhadap konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam larutan. Elektroda kaca memiliki lapisan tipis yang dapat berinteraksi dengan ion H^+ , menyebabkan perbedaan potensial yang proporsional dengan pH larutan. Perbedaan potensial ini diukur dan diubah menjadi nilai pH. Semakin banyak ion H^+ dalam larutan, semakin rendah nilai pH, dan sebaliknya.[17].

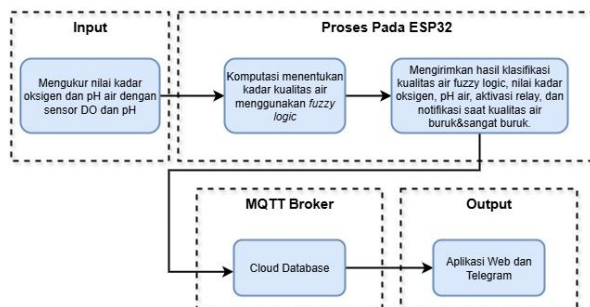


Gambar 3. Sensor pH Air

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah versi mini dari sistem komputer yang dirancang dalam satu chip tunggal namun memiliki fungsi yang lengkap seperti halnya sebuah komputer. Di dalam chip ini terdapat komponen penting seperti prosesor sebagai pusat pemrosesan data,

memori dalam kapasitas terbatas (baik RAM maupun memori program), serta unit *input-output* yang berperan untuk berkomunikasi dengan perangkat lain di sekitarnya. Walaupun ukurannya jauh lebih kecil dibandingkan dengan komputer *desktop* atau *mainframe*, mikrokontroler tetap mengandalkan elemen dasar yang sama dan menjalankan proses kerja serupa, yaitu menerima data masukan, memprosesnya berdasarkan instruksi yang telah diprogram, lalu menghasilkan respon *output* yang sesuai [18].



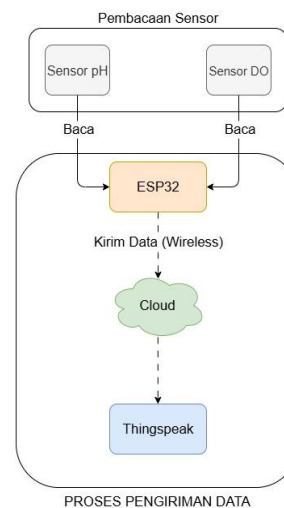
Gambar 5. Mikrokontroler ESP 32

Mikrokontroler ESP32 digunakan untuk mengukur nilai pH dan kadar oksigen terlarut (DO) dalam air dengan bantuan sensor pH dan DO. Data yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan kualitas air menggunakan metode *fuzzy logic*, yang mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan nilai pH dan DO. Hasil klasifikasi ini kemudian dikirimkan ke *cloud database* melalui MQTT broker untuk disimpan dan diakses secara *real-time*. Selain itu, informasi yang terakumulasi, termasuk status kualitas air dan notifikasi jika kualitas air sangat buruk, dapat diakses melalui aplikasi web yang terhubung dengan sistem, memungkinkan pemantauan kualitas air secara efektif dan cepat.

2.6 Intener Of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep dimana objek tertentu mempunyai kemampuan untuk mentransfer data lewat jaringan Internet tanpa memerlukan adanya interaksi dari manusia ke manusia ataupun dari manusia ke perangkat komputer [19]. Oleh karena itu, IoT sebagai salah satu teknologi terbaru yang dapat menjadi solusi untuk memantau dan me-monitoring suatu kondisi secara *real-time*.

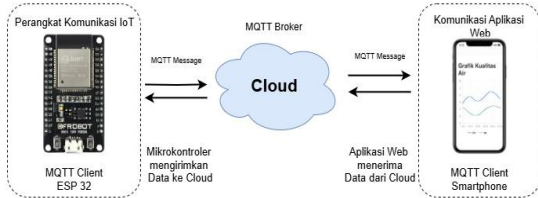
Sistem monitoring kualitas air ini dirancang dengan menggunakan ESP32 sebagai unit pengontrol utama yang terhubung dengan dua sensor, yaitu sensor pH dan sensor DO. Pada lapisan fisik, kedua sensor ini digunakan untuk mengukur kadar pH dan oksigen terlarut dalam air. ESP32 secara berkala membaca data dari kedua sensor tersebut dan mengirimkannya secara *wireless* ke *cloud* melalui koneksi internet. Data yang telah dikirimkan kemudian disimpan di *cloud* dan dapat diakses melalui platform Thingspeak untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Dengan cara ini, sistem memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time* melalui antarmuka web yang terintegrasi.



Gambar 6. Mekanisme Komunikasi Sistem

Proses transmisi data ke lapisan *cloud* dilakukan dengan menggunakan protokol MQTT seperti yang terlihat pada Gambar 7. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai perangkat IoT yang mengirimkan data sensor secara *real-time* melalui pesan *cloud*. Data yang dikirim mencakup parameter kualitas air yang terukur, seperti pH dan kadar oksigen terlarut. Setelah data diterima oleh *cloud*, aplikasi web yang berfungsi sebagai klien kemudian mengakses dan menampilkan data yang telah disimpan. Dengan cara ini, aplikasi web dan aplikasi *smartphone* dapat memperoleh informasi mengenai kualitas air secara langsung melalui grafik dan tampilan yang diperbarui secara berkala. Sistem ini menggunakan protokol *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) untuk mentransmisikan

data dari perangkat ESP32 ke *cloud*. Setiap ESP32 pada lokasi yang berbeda bertindak sebagai MQTT *client* yang membaca data dari sensor pH dan DO, kemudian mengirimkan



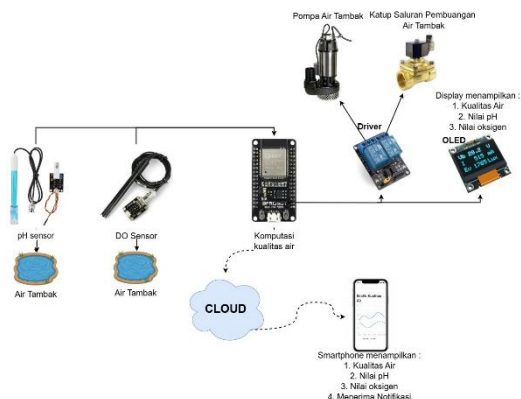
Gambar 7. Protokol Komunikasi Sistem informasi kualitas air melalui pesan MQTT ke *broker cloud*.

Broker MQTT di *cloud* menerima dan menyimpan data yang diterima dari berbagai perangkat secara paralel. Setelah itu, broker mengirimkan pesan konfirmasi untuk menunjukkan bahwa data telah berhasil diterima. Aplikasi web yang terhubung ke *broker cloud* menggunakan MQTT untuk menerima data terbaru secara *real-time*, sehingga dapat menampilkan status kualitas air dengan akurat. Dengan pendekatan ini, MQTT memungkinkan komunikasi yang efisien dan cepat antar perangkat IoT, memastikan pengiriman data berlangsung tanpa hambatan dan informasi kualitas air diperbarui secara langsung.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan konsep sistem yang dibangun dapat dilihat pada gambar 8. berikut :



Gambar 8. Konsep Perancangan Sistem Monitoring

Berdasarkan Gambar 8., sistem pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname berbasis IoT dapat dijelaskan sebagai berikut:

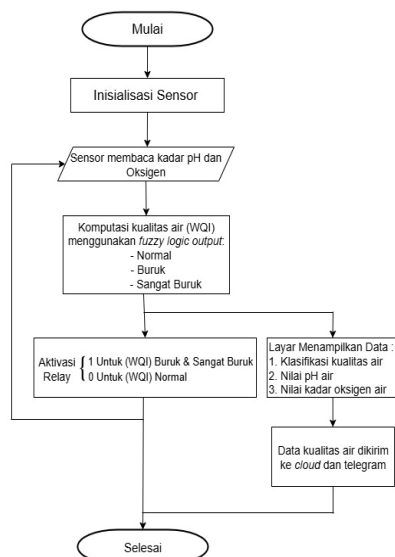
1. Sistem ini menggunakan sensor pH dan DO untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan tingkat keasaman (pH) air pada tambak.
2. Data yang diperoleh dari sensor pH dan DO diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke *cloud* untuk memantau kualitas air *real-time*.
3. Mikrokontroler ESP32 menggunakan metode logika *fuzzy* untuk mengklasifikasikan kualitas air berdasarkan data yang diterima dari sensor, dengan tiga kategori kualitas air: Sangat Buruk, Buruk, dan Baik.
4. Jika kualitas air terdeteksi dalam kondisi buruk, *relay* akan mengaktifkan pompa dan katup saluran pembuangan air untuk menjaga keseimbangan kondisi air.
5. Data yang telah diproses dan diklasifikasikan akan ditampilkan pada layar OLED dan aplikasi *smartphone*, serta dikirimkan ke platform *cloud* dan Telegram untuk memberikan notifikasi kepada petambak jika kualitas air berada pada nilai yang sangat buruk dan buruk.
6. Sistem ini memungkinkan pemantauan yang efisien dan otomatis, serta memberikan peringatan dini untuk mencegah kerugian akibat perubahan kualitas air yang tidak terdeteksi secara tepat waktu.

3.2 Skenario Perancangan Sistem

Skenario sistem dimulai dengan pengukuran pH (*Potential of Hydrogen*) dan DO (*Dissolved Oxygen*) menggunakan sensor yang terhubung ke mikrokontroler ESP32. Jika nilai pH air berada di rentang 7.4 - 8.6, maka kondisinya dianggap baik; jika tidak, maka bernilai buruk. Begitu juga dengan nilai DO, jika berada dalam rentang 3.4 - 10 mg/L, dianggap baik; jika kurang dari itu, maka bernilai buruk. Jika kedua nilai pH dan DO buruk, hasilnya sangat buruk, jika salah satu buruk, hasilnya buruk, dan jika keduanya baik, maka hasilnya baik. Setelah itu, sistem melakukan komputasi menggunakan logika

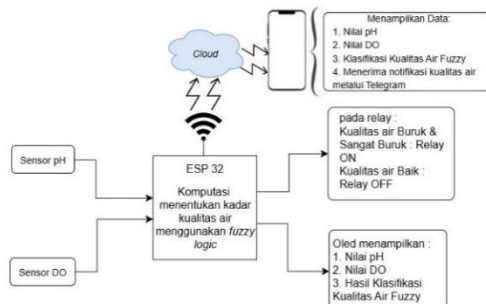
fuzzy untuk mengklasifikasikan kualitas air sebagai Sangat Buruk, Buruk, dan Baik. Jika kualitas air buruk atau sangat buruk, maka *relay* akan mengaktifkan pompa dan katup saluran pembuangan air tambak sampai nilai kualitas air tambak menjadi baik. Sebaliknya, jika kualitas air baik, maka *relay* yang terhubung ke pompa dan katup saluran pembuangan akan dimatikan. Hasil klasifikasi dan status kontrol *relay* kemudian dikirimkan ke *cloud* dan diperbarui secara *real-time*. Petambak dapat mengakses data kualitas air melalui aplikasi di *smartphone* maupun *desktop*, dan akan memberikan notifikasi melalui telegram jika kualitas air buruk atau sangat buruk, serta menampilkan nilai pH dan kadar oksigen pada notifikasi tersebut.

3.3 Perancangan Sistem



Gambar 9. Diagram Alir Logika Fuzzy

3.4 Diagram Blok Sistem



Gambar 11. Diagram Blok Sistem

Gambar 10. di atas memberikan gambaran mengenai penerapan teknologi

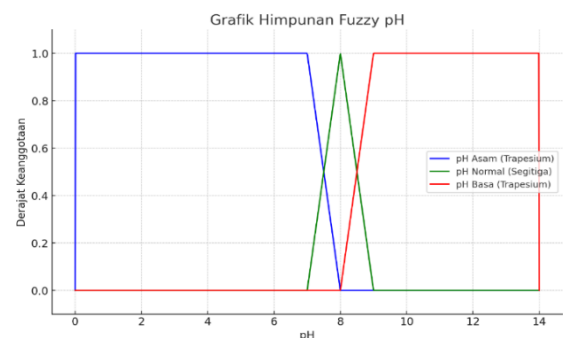
Internet of Things (IoT) dalam sistem pemantauan kualitas air pada tambak udang vaname. Diagram tersebut menyajikan skema hubungan antara berbagai perangkat dan sensor yang terkait dalam penelitian ini. Setiap komponen dalam sistem memiliki peran penting dalam memastikan nilai kualitas air yang dijelaskan berdasarkan tiga tahap utama: *input*, proses, dan *output*. Berikut merupakan penjelasan dari bagian *input*, proses, dan *output*.

3.5 Metode Fuzzy Logic

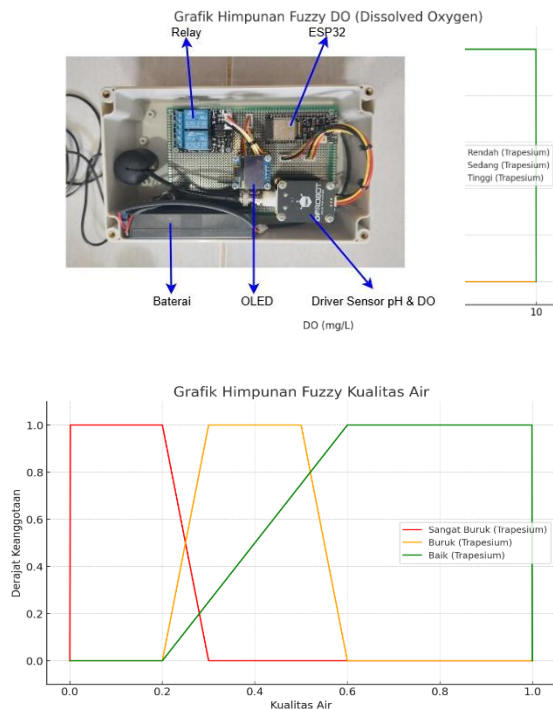
Tabel 1. Fungsi Keanggotaan Input dan Output

Fungsi	Variabel	Fungsi Keanggotaan	Himpunan fuzzy	Domain
Input	pH	Trapezium	pH Asam	[0 0 7 8]
		Segitiga	pH Normal	[7 8 9]
		Trapezium	pH Basa	[8 9 14 14]
	DO	Trapezium	DO Rendah	[0 0 3 4]
		Trapezium	DO Sedang	[3 4 5 7]
		Trapezium	DO Tinggi	[5 7 10 10]
Output	K. Air	Trapezium	Sangat Buruk	[0 0 0.2 0.3]
		Trapezium	Buruk	[0.2 0.3 0.5 0.6]
		Trapezium	Baik	[0.2 0.6 1 1]

Berdasarkan Tabel 1, sistem *fuzzy* dalam analisis kualitas air ini menggunakan dua jenis fungsi keanggotaan, yaitu trapezium dan segitiga, untuk mengklasifikasikan nilai-nilai pH dan DO (*Dissolved Oxygen*) ke dalam kategori yang telah ditentukan.



Gambar 12. Grafik Variabel DO



Gambar 14. Grafik Variable Kualitas Air

Setelah mendefinisikan fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk masing-masing variabel, langkah selanjutnya adalah menetapkan aturan logika *fuzzy* yang digunakan untuk menentukan *output* berdasarkan kombinasi nilai *input*. Aturan ini disusun dalam bentuk pernyataan logika IF-THEN yang merepresentasikan hubungan antara variabel *input* pH dan DO terhadap *output* Kualitas Air. Aturannya adalah sebagai berikut:

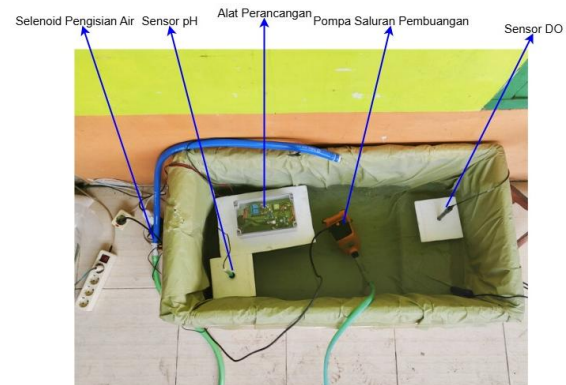
- R1: IF pH is Asam AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk
- R2: IF pH is Asam AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk
- R3: IF pH is Asam AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk
- R4: IF pH is Normal AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Buruk
- R5: IF pH is Normal AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Baik
- R6: IF pH is Normal AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Baik
- R7: IF pH is Basa AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk
- R8: IF pH is Basa AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk
- R9: IF pH is Basa AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi Perancangan

Sistem monitoring kualitas air tambak udang vaname ini dirancang untuk memantau dua parameter penting secara real-time, yaitu kadar oksigen terlarut (DO) dan tingkat keasaman (pH), menggunakan sensor DO dan sensor pH yang hasil pembacaannya diolah dengan metode logika fuzzy

Gambar 16. Realisasi Desain Alat



Gambar 13. Implementasi Pada Kolam

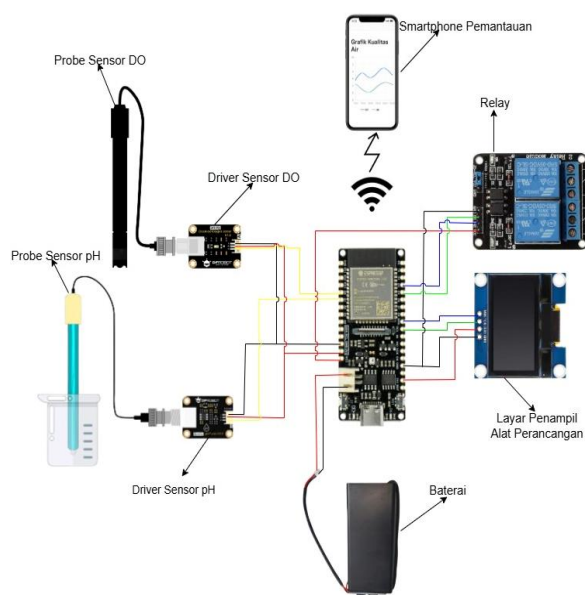


Gambar 15. Implementasi Pada Tambak Udang Vaname

Mamdani untuk menghasilkan penilaian kondisi air secara linguistik. Seluruh komponen, termasuk sensor dan mikrokontroler berbasis IoT (ESP32) yang menjadi pusat kendali, diintegrasikan dalam satu rangkaian di dalam kotak waterproof, dengan OLED untuk menampilkan data di lokasi, relay untuk mengaktifkan pompa saat kualitas air buruk, driver sensor pH dan DO sebagai penghubung ke mikrokontroler, serta baterai 18650 sebagai sumber daya utama. Sistem ini bekerja di atas media apung sehingga dapat memantau dan

mengendalikan kondisi tambak secara otomatis dari jarak jauh melalui internet. Implementasi awal dilakukan di kolam uji untuk mengevaluasi kinerja dan akurasi alat dalam kondisi terkontrol demi menghindari risiko pada udang, kemudian diterapkan langsung di tambak udang vaname di Bumi Dipasena berukuran 40x50 m dengan kedalaman air 120 cm. Alat ditempatkan di dekat sisi tambak dan diikat dengan tali agar tidak hanyut oleh arus kincir, dengan sensor DO dan pH yang ditenggelamkan sebagian ke dalam air untuk pembacaan langsung, sementara unit kontrol dan komponen lainnya tetap terlindungi di atas media apung berbahan styrofoam yang menopang tiga bagian pelampung untuk memastikan sistem dapat bekerja secara kontinu dan andal di lingkungan tambak.

4.2 Prinsip Kerja Rangkaian



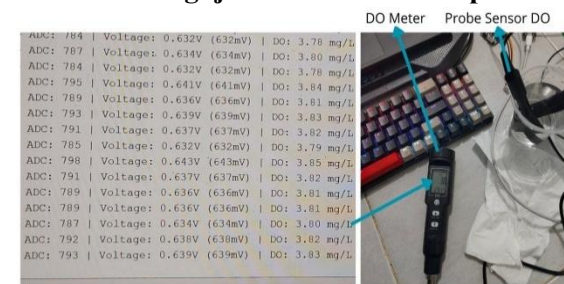
Gambar 17. Wiring Diagram Sistem Rangkaian

Adapun prinsip kerja rangkaian elektronik berdasarkan pada gambar 17. di atas sistem ini dimulai dari pembacaan data oleh ESP32 dari sensor pH dan DO. Nilai-nilai tersebut kemudian diproses menggunakan metode *fuzzy logic* Mamdani untuk mengklasifikasikan kondisi kualitas air menjadi baik, buruk, atau sangat buruk. Berdasarkan hasil klasifikasi ini, sistem akan mengendalikan modul *relay* untuk mengaktifkan perangkat eksternal yaitu pompa air dan solenoid saluran pembuangan, tergantung pada kondisi air yang

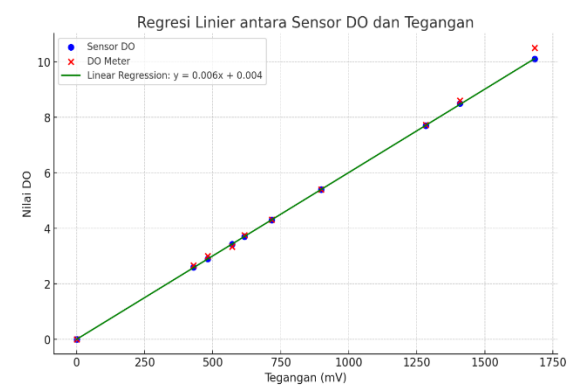
terdeteksi. Jika kualitas air berada pada kondisi buruk dan sangat buruk, maka *relay* yang terhubung ke pompa air serta *solenoid* saluran pembuangan akan menyala sedangkan jika ka air baik, maka *relay* akan mati.

Selain itu, sistem ini juga mengirimkan data kualitas air ke platform *cloud* yaitu ThingSpeak melalui koneksi internet yang menggunakan protokol MQTT, sehingga pengguna dapat memantau kondisi air tambak secara *real-time* melalui *smartphone* maupun perangkat *desktop*. Sebagai tambahan, sistem ini dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis melalui aplikasi Telegram yang akan memberikan peringatan jika parameter kualitas air berada di luar batas yang aman. Dengan mengintegrasikan seluruh komponen ini, maka sistem mampu memberikan solusi monitoring dan kendali air tambak yang adaptif, responsif, dan efisien.

4.3 Hasil Pengujian Sensor DO dan pH



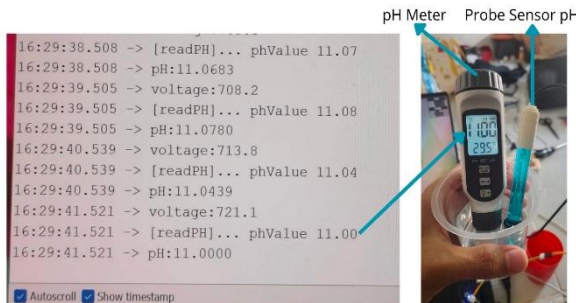
Gambar 19. Proses Kalibrasi Sensor DO



Gambar 18. Grafik Regresi Linier Nilai Sensor DO dan Nilai DO Meter

Pada Gambar 19. di atas ditampilkan grafik hasil regresi linier antara nilai tegangan (dalam satuan miliVolt) yang dibaca dari sensor DO dan nilai DO aktual yang diukur menggunakan DO meter. Grafik ini diperoleh dari hasil pengambilan data sebanyak 10 kali, dengan memasukkan sensor ke dalam larutan air yang telah diaerasi serta larutan 0 oksigen

dan mencatat tegangan yang terbaca oleh ESP32 serta nilai pH aktual dari pH meter yang menghasilkan nilai rata-rata *error* sebesar 1.78%.

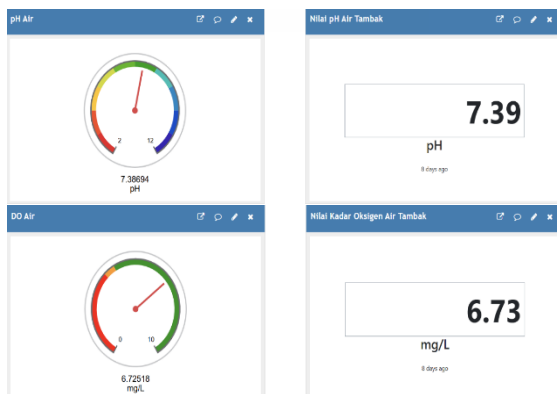


Gambar 21. Proses Pengujian Sensor pH

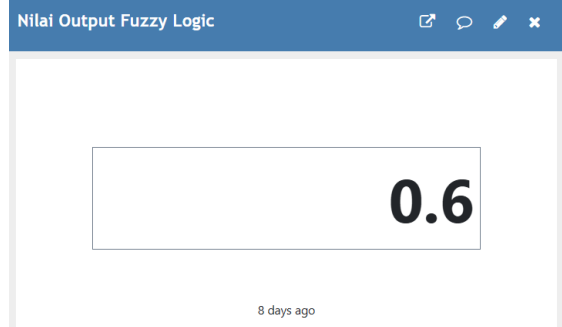
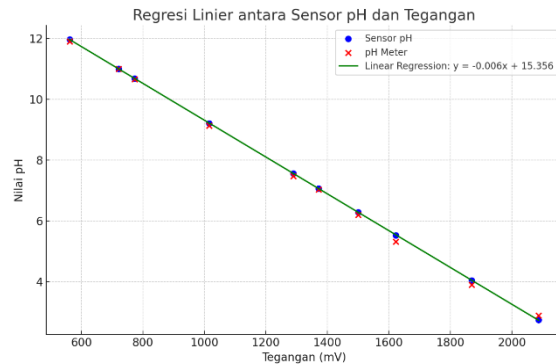
Pada Gambar 20. di atas ditampilkan grafik hasil regresi linier antara nilai tegangan (dalam satuan miliVolt) yang dibaca dari sensor pH dan nilai pH aktual yang diukur menggunakan pH meter. Grafik ini diperoleh dari hasil pengambilan data sebanyak 10 kali, dengan memasukkan sensor ke dalam larutan buffer standar dan mencatat tegangan yang terbaca oleh ESP32 serta nilai pH aktual dari pH meter yang menghasilkan nilai rata-rata *error* sebesar 1.69%.

Gambar 20. Grafik Regresi Linier Nilai Sensor pH dan pH Meter

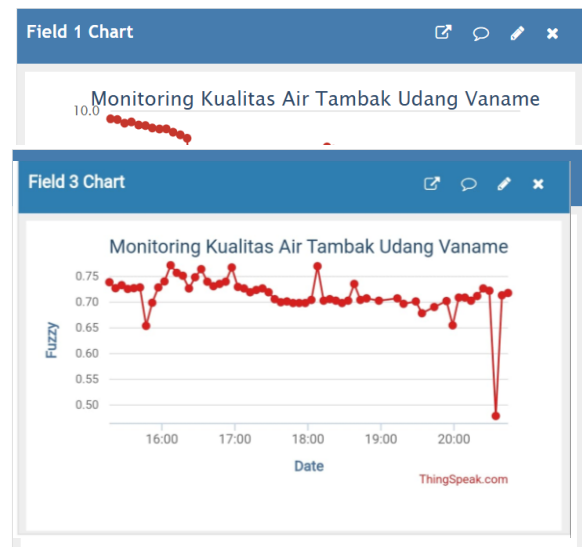
4.4 Pengujian Sistem *Internet of Things* (IoT)



Gambar 23. Dashboard Thingspeak Nilai pH dan DO



Gambar 24 Dashboard Thingspeak Nilai Output Fuzzy



Gambar 22. Dashboard Thingspeak Grafik Nilai pH, DO dan Nilai Fuzzy

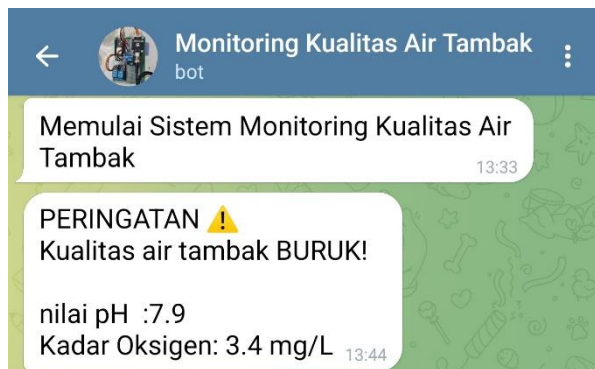
Penelitian ini memanfaatkan platform IoT Thingspeak untuk menampilkan data kualitas air tambak secara real-time dalam bentuk indikator, nilai numerik, dan grafik, sehingga memudahkan pemantauan dan analisis. Nilai pH dan DO ditampilkan melalui jarum indikator dan angka yang telah dibulatkan, sedangkan hasil perhitungan fuzzy logic dari data sensor pH dan DO diolah oleh ESP32 dan ditampilkan sebagai nilai output. Grafik

pada dashboard menunjukkan tren perubahan pH dan DO setiap 5 menit serta output fuzzy setiap 10 menit, memberikan gambaran jelas tentang kondisi air dari waktu ke waktu.

4.5 Data Hasil Pengujian

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Pada Tambak Udang.

Pada tahap perhitungan logika *fuzzy* ini



Gambar 25. Tampilan Pesan Telegram

diambil satu sampel data hasil lapangan pengujian pertama di hari senin jam 07.00 WIB. Sampel data data yang digunakan adalah data pertama pada tabel data hasil pengujian *fuzzy*

No	Waktu (WIB)	Tampilan Thingspeak		
		pH	DO(mg/L)	Fuzzy
1	07.00	7.47	4.29	0.60
2	07.30	7.44	4.70	0.59
3	08.00	7.65	5.29	0.66
4	12.00	7.60	10.4	0.64
5	12.30	7.72	10.4	0.68
6	13.00	7.80	10.6	0.71
7	16.00	7.95	10.54	0.76
8	16.30	8.01	11.64	0.76
9	17.00	8.06	8.24	0.75
10	20.00	7.98	5.29	0.76
11	20.30	7.85	4.70	0.73
12	21.00	7.76	4.11	0.70

logic dengan kondisi nilai pH sebesar 7.47 dan besar nilai DO adalah 4.29. Berikut tahap proses logika *fuzzy* dalam sistem :

1. Proses Fuzzifikasi

Untuk pH = 7.47

$$\mu_{\text{Asam}}(7.47) = \frac{8 - 7.47}{8 - 7} = 0.53$$

$$\mu_{\text{Normal}}(7.47) = \frac{7.47 - 7}{8 - 7} = 0.47$$

$$\mu_{\text{Normal}}(7.47) = 0. \text{ Karena } 7.47 < 8$$

Untuk DO= 4.29

$$\mu_{\text{Rendah}}(4.29) = 0. \text{ Karena } 4.29 > 4$$

$$\mu_{\text{Sedang}}(4.29) = \frac{4.29 - 4}{5 - 4} = 0.29$$

$$\mu_{\text{Tinggi}}(4.29) = 0. \text{ Karena } 4.29 < 5$$

2. Proses Aturan *Fuzzy*

Langkah selanjutnya yaitu menentukan Rules *Fuzzy* yang digunakan dengan cara membandingkan nilai keanggotaan yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya menggunakan nilai terkecil (MIN) seperti yang dijelaskan pada Tabel 3. berikut.

Tabel 3. Proses Aturan Bekerja

No.	Variabel <i>Input</i>
R1	IF pH is Asam AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk $\alpha_1 = \mu_{\text{PredikatR1}}$ $= \text{Min}(\mu_{\text{Asam}}, \mu_{\text{Rendah}})$ $= \text{Min}(0.53, 0)$ $= 0$
R2	IF pH is Asam AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk $\alpha_2 = \mu_{\text{PredikatR2}}$ $= \text{Min}(\mu_{\text{Asam}}, \mu_{\text{Sedang}})$ $= \text{Min}(0.53, 0.29)$ $= 0.29$
R3	IF pH is Asam AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk $\alpha_3 = \mu_{\text{PredikatR3}}$ $= \text{Min}(\mu_{\text{Asam}}, \mu_{\text{Tinggi}})$ $= \text{Min}(0.53, 0)$ $= 0$
R4	IF pH is Normal AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Buruk $\alpha_4 = \mu_{\text{PredikatR4}}$ $= \text{Min}(\mu_{\text{Normal}}, \mu_{\text{Rendah}})$ $= \text{Min}(0.47, 0)$ $= 0$
R5	IF pH is Normal AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Baik $\alpha_5 = \mu_{\text{PredikatR5}}$

	$= \text{Min} (\mu_{\text{Normal}}, \mu_{\text{Sedang}})$ $= \text{Min} (0.47, 0.29)$ $= 0.29$
R6	IF pH is Normal AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Baik $\alpha_6 = \mu_{\text{PredikatR6}}$ $= \text{Min} (\mu_{\text{Normal}}, \mu_{\text{Tinggi}})$ $= \text{Min} (0.47, 0)$ $= 0$
R7	IF pH is Basa AND DO is Rendah THEN Kualitas Air is Sangat Buruk $\alpha_7 = \mu_{\text{PredikatR7}}$ $= \text{Min} (\mu_{\text{Basa}}, \mu_{\text{Rendah}})$ $= \text{Min} (0, 0)$ $= 0$
R8	IF pH is Basa AND DO is Sedang THEN Kualitas Air is Buruk $\alpha_8 = \mu_{\text{PredikatR8}}$ $= \text{Min} (\mu_{\text{Basa}}, \mu_{\text{Sedang}})$ $= \text{Min} (0, 0.29)$ $= 0$
R9	IF pH is Basa AND DO is Tinggi THEN Kualitas Air is Buruk $\alpha_9 = \mu_{\text{PredikatR9}}$ $= \text{Min} (\mu_{\text{Basa}}, \mu_{\text{Tinggi}})$ $= \text{Min} (0, 0)$ $= 0$

Hasil Aturan yang Aktif:

R2: $\alpha_2 = 0.29 \rightarrow$ Kualitas Air is Buruk

R5: $\alpha_5 = 0.29 \rightarrow$ Kualitas Air is Baik

Aturan yang Tidak Aktif ($\alpha = 0$):

R1, R3, R4, R6, R7, R8, R9 = 0

3. Proses Penyederhanaan dan Defuzzifikasi

Penyederhanaan *Output*:

Dari aturan yang aktif, kita mendapatkan:

R2: $\alpha_2 = 0.29 \rightarrow$ Buruk

R5: $\alpha_5 = 0.29 \rightarrow$ Baik

Defuzzifikasi menggunakan Metode Centroid:

kualitasBuruk (dari R2 dengan $\alpha = 0.29$):

Fungsi keanggotaan asli: (0.2, 0.3, 0.5, 0.6)

Dipotong pada tinggi 0.29

kualitasBaik (dari R5 dengan $\alpha = 0.29$):

Fungsi keanggotaan asli: (0.5, 0.6, 1, 1)

Dipotong pada tinggi 0.29

Perhitungan Centroid:

Area dan Centroid kualitasBuruk

(*clipped at 0.29*):

Area trapezoid: $A^1 = 0.29 \times (0.6 - 0.2) = 0.29 \times 0.4 = 0.116$

Centroid: $x^1 = (0.2 + 0.6) / 2 = 0.4$

Area dan Centroid kualitasBaik

(*clipped at 0.29*):

Area trapezoid: $A_2 = 0.29 \times (1 - 0.5) = 0.29 \times 0.5 = 0.145$

Centroid: $x_2 = (0.5 + 1) / 2 = 0.75$

Centroid Gabungan:

Centroid = $(A_1 \times x_1 + A_2 \times x_2) / (A_1 + A_2)$

Centroid = $(0.116 \times 0.4 + 0.145 \times 0.75) / (0.116 + 0.145)$

Centroid = $(0.0464 + 0.10875) / 0.261$

Centroid = $0.15515 / 0.261$

Centroid = 0.595

Fuzzy Output = 0.595

Maka didapatkan hasil saat nilai pH = 7.47 dan DO = 4.29 mg/L, sistem *fuzzy logic* mengevaluasi kualitas air sebagai "Baik" sesuai dengan fungsi keanggotaan *output* yang menghasilkan nilai *fuzzy output* 0.595 atau dibulatkan menjadi 0.6.

5. KESIMPULAN

- Sistem monitoring dan kendali kualitas air tambak udang vaname di Bumi Dipasena telah berhasil dirancang dan dibangun menggunakan metode *fuzzy logic* berbasis IoT. Sistem ini memanfaatkan sensor pH dan DO untuk memantau kadar oksigen terlarut dan pH air secara *real-time*. Data dari sensor diproses melalui logika *fuzzy* untuk menilai kualitas air dan memberikan notifikasi kepada pengguna jika kualitas air tidak aman. Dengan akurasi 100%, sistem ini terbukti efektif dalam

memantau kualitas air, serta meningkatkan efisiensi pengelolaan tambak udang dengan memberikan informasi tepat waktu kepada petambak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, "Sistem Monitoring Kualitas Air dan Suhu pada Kolam Ikan Berbasis IoT," *Journal. Chem. Inf. Model.*, vol. 8, no. 9, pp. 1–58, 2017.
- [2] G. A. Pauzi, O. F. Suryadi, G. N. Susanto, and J. Junaidi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang (*Litopenaeus Vannamei*) Menggunakan Wireless Sensor Sistem (WSS) yang Terintegrasi dengan PLC CPM1A," *Journal. Energy, Mater. Instrum. Technol.*, vol. 1, no. 3, pp. 103–112, 2020.
- [3] I. Nugroho and M. Koprari, "Perancangan Sistem Pemantauan Salinitas Air Untuk Budidaya Udang Menggunakan Tds Sensor Dan Google Studio," *Jurnal. Khatulistiwa Inform.*, vol. 12, no. 1, pp. 59–64, 2024.
- [4] R. S. Wahyuni, R. Rahmi, and H. Hamsah, "Efektifitas Oksigen Terlarut Terhadap Pertumbuhan Dan Sintasan Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal. Perikan. Unram*, vol. 12, no. 4, pp. 536–543, 2022.
- [5] Supriatna, M. Mahmudi, M. Musa, and Kusriani, "Model of pH and its relationship with water quality parameters in intensive vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) ponds in Banyuwangi, East Java," *Jurnal. Fish. Mar. Res.*, vol. 4, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [6] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem Kontrol dan Monitor Kadar Salinitas Air Tambak Berbasis IoT LoRa," *Jurnal. Tek. ITS*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [7] M. F. Firmansyah and R. P. Astutik, "Prototipe Sistem Peringatan dan Kontrol Jaring Otomatis Dengan Metode Fuzzy Untuk Mitigasi Risiko Lepasnya Ikan Saat Banjir di Tambak Berbasis IoT," *Jurnal. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 6, no. 1, p. 37, 2024.
- [8] H. A. Yanti, D. A. Putri, and S. Z. Fajriyah, "Simulasi Sistem Monitoring Oksigen Terlarut (DO) Pada Budidaya Udang Vaname Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Jurnal. Informatics Commun. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2023.
- [9] A. Susilo, Y. Cahyana, S. Arum, P. Lestari, and T. Rohana, "Implementasi Alat Ukur Suhu Dan PH Air Untuk Budidaya Lobster Dengan Algoritma Fuzzy Logic Berbasis IoT," *Jurnal. Tek. Inform. dan Sist. Inform. (JATISI)*, vol. 11, no. 4, pp. 1–10, 2024.
- [10] M. Lafont, S. Dupont, P. Cousin, A. Vallauri, and C. Dupont, "Back to the future: IoT to improve aquaculture: -time monitoring and algorithmic prediction of water parameters for aquaculture needs," *Glob. IoT Summit, GloTS 2019 - Proceeding.*, pp. 1–6, 2019.
- [11] P. L. Tobing and D. Widjaja, "ID : 22 Sistem Pemantauan dan Pengendalian Suhu dan Kadar Oksigen pada Model Tambak Udang Vaname dengan Teknologi IoT Monitoring and Controlling System of Temperature and Oxygen Level in Vaname Shrimp Pond Model with IoT Technology," *Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 1, no. 1, pp. 120–127, 2024.
- [12] Alwansyah and A. Fahrurrozi, "Implementasi Internet of Thing (Iot) Sistem Monitoring Kualitas Air Shrimp Farming Vaname Pada Aplikasi Berbasis Android," *Jurnal. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 29, no. 1, pp. 71–85, 2024.
- [13] Ansar, R. Karim, Salim, and E. Khudriah, "Implementasi Fuzzy Inference System Menggunakan Metode Fuzzy Mamdani Untuk Optimalisasi Produksi Tahu," *G-Tech Jurnal. Teknol. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 276–285, 2023.
- [14] N. Byabarta, "Linearization Techniques of Sensor: a Comparative Study," *Jurnal. Mech. Contin. Math. Sci.*, vol. 17, no. 9, pp. 7–13, 2022.
- [15] Wahyudi, Jumrianto, and A. Syakur, "Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR Info Articles," *Jurnal. Syst. Inf. Technol. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–14, 2020.
- [16] D. Wicaksono, T. L. Bhakti, R. B. Taruno, M. R. S. Subroto, and A. Mustikasari, "A galvanic-based dissolved oxygen level monitoring sensor system in freshwater ponds," *Jurnal. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 83–89, 2021.
- [17] E. Mufida, R. S. Anwar, R. A. Khodir, and I. P. Rosmawati, "Perancangan Alat Pengontrol pH Air untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno," *Jurnal. Inov.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–19, 2020.
- [18] M. A. A. Putra and D. Irawan, "Rancang

- Bangun Sistem Monitoring dan Kontrol Air pada Tambak Budidaya Udang Berbasis ESP32,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan (JITET)*, vol. 13, no. 1, pp. 292–300, Jan. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i1.5588.
- [19] A. R. Halim, M. Saiful, and L. Kertawijaya, “Rancang Bangun Alat Pengukur Suhu Tubuh Pintar berbasis *Internet Of Things*,” *Infotek Jurnal. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 117–127, 2022.