

Analisis Kelayakan Kualitas Air untuk Mengoptimalkan Pertumbuhan Ikan Lele Berbasis Fuzzy Logic Mamdani

Water Quality Feasibility Analysis to Optimize Catfish Growth Based on Fuzzy Logic Mamdani

Riem Rahayu Rahman^{1*}, Adhitya Wibisono², Rahmah Mulanti³, Hadiano Nur Fadhl⁴, Ghaida Refiana Zahra⁵, Anisa⁶, Novayanti Magdalena Gultom⁷, Resti Dwi Anjani⁸, Azkal Muhammad Azkiya⁹, Sofyan Alhaq¹⁰, Saeful Anwar¹¹, Naufal Ridho Setyo Laksono¹², Rahma Amelia Purnama¹³, M Danang Mukti Darmawan¹⁴, Rifqi Nurfadillah¹⁵, Ester Angeline¹⁶, Nanda Octavia¹⁷, Wiyoto Wiyoto¹⁸, Ridwan Siskandar^{19*}.

^{1-13, 18} *Fish Hatchery Technology and Management, College of Vocational Studies, IPB University, Bogor, Indonesia*
^{14, 15, 16, 17, 19} *Software Engineering Technology, College of Vocational Studies, IPB University, Bogor, Indonesia*

Article Info:

Received: 17-12-2023

in revised form: 23-12-2023

Accepted: 04-04-2024

Available Online: 10-04-2024

Keywords: Matlab, kualitas air, ikan lele

Corresponding Author:

riemrahayurahman@apps.ipb.ac.id;
ridwansiskandar@apps.ipb.ac.id

Abstract: The aim of this research is to analyze the suitability of water quality in catfish ponds to optimize catfish growth. Water is a reference parameter that needs to be considered for the continued growth of catfish. Water conditions in ponds that are less than optimal can cause slow growth and can threaten crop failure. In this research, the fuzzy logic method was used to measure water quality parameters in catfish ponds based on pH, temperature and ammonia. This research was conducted on April 30 - May 14 2024 at the Fisheries Hatchery, IPB Sukabumi Vocational School on Jalan Sarasa No. 45 Cibeureum District, Sukabumi City, West Java. Data is obtained from data collection and data analysis. The results of this research are that the water quality in tank 9 is in the inadequate category with a value of 25%, while the other tanks are still in the quite adequate category with a value of 50-60%. This can be a reference for optimizing growth by monitoring and properly handling water quality.

Abstrak: Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan kualitas air di kolam lele untuk mengoptimalkan pertumbuhan ikan lele. Air merupakan acuan parameter yang perlu diperhatikan untuk keberlangsungan pertumbuhan ikan lele, dengan kondisi air pada kolam yang kurang optimal dapat menyebabkan lambatnya pertumbuhan dan dapat mengancam kegagalan panen. Pada penelitian ini digunakan metode *fuzzy logic* untuk mengukur parameter kualitas air pada kolam ikan lele berdasarkan pH, suhu dan amonia. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 30 April - 14 Mei 2024 di Hatchery Perikanan, Sekolah Vokasi IPB Sukabumi di Jalan Sarasa No. 45 Kecamatan Cibeureum, Kota Sukabumi, Jawa Barat. Data didapatkan dari pengumpulan data dan analisis data. Hasil dari penelitian ini yaitu kualitas air dalam bak 9 memiliki kategori tidak layak dengan nilai 25% sedangkan untuk bak lainnya masih dalam kategori cukup layak dengan nilai 50-60%. Hal ini dapat menjadi acuan untuk mengoptimalkan pertumbuhan dengan cara monitoring serta penanganan yang baik terhadap kualitas air.

PENDAHULUAN

Ikan adalah organisme dengan tingkat trofik tertinggi dalam suatu perairan. Kelangsungan hidupnya dipengaruhi oleh faktor fisika, kimia, dan biologi. Hidupnya berada di perairan tawar, payau, dan laut (Fauzia *et al.*, 2020). Pemanfaatan potensi perikanan budidaya saat ini belum diketahui karena tingkat pengembangannya masih cukup rendah. Produksi ikan yang dihasilkan dengan menggunakan metode konvensional membutuhkan biaya yang besar dan waktu yang cukup lama (Faridah *et al.*, 2019). Ikan lele termasuk ikan yang tahan terhadap kualitas air yang minim atau kualitas air yang kurang baik bahkan ikan lele dapat hidup pada kondisi oksigen yang sangat rendah, hal ini dapat disebabkan karena ikan lele mempunyai alat bantu pernapasan berupa *arborescent* yang dapat mengambil oksigen langsung dari udara (Augusta, 2016).

Budidaya perikanan merupakan suatu usaha untuk memelihara dan membudidayakan ikan atau organisme perairan lainnya. Keberhasilan budidaya ikan air tawar terutama ditentukan oleh lingkungan seperti pH, suhu, dan amonia yang merupakan beberapa parameter kunci dalam kegiatan budidaya (Siskandar *et al.*, 2023). Oleh karena itu, kualitas lingkungan harus selalu menjadi perhatian agar budidaya ikan air tawar dapat optimal (Siskandar *et al.*, 2023). Keberhasilan budidaya ikan air tawar terutama ditentukan oleh lingkungan yaitu suhu, pH, dan amonia (Wiyoto *et al.*, 2022). Kualitas suatu perairan merupakan syarat penting yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup perkembangan, pertumbuhan, dan tingkat produksi ikan. Hal dasar yang menyebabkan gagal panen dalam usaha budidaya ikan lele adalah cuaca, pemahaman teknik yang masih minim dan kualitas air yang buruk (Kusumah *et al.*, 2021). Dengan kualitas air yang baik, maka perkembangan dari ikan pun akan semakin baik pula dan tidak akan mengalami gangguan perkembangan. Pada kondisi air yang buruk akan mengganggu perkembangan ikan bahkan hal yang lebih buruk lagi adalah dapat menyebabkan kematian. Jumlah oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*) dalam air, derajat keasaman (pH) dan suhu merupakan parameter-parameter yang harus diperhatikan untuk menjaga kualitas air dalam proses budidaya. Beberapa penelitian yang telah dilakukan guna mengatasi masalah kualitas air, khususnya sistem yang dapat mengatur kandungan oksigen terlarut dalam air yaitu pada penelitian (Yusvarina *et al.*, 2016) yang menggunakan bak budidaya pembenihan ikan lele dengan memanfaatkan sistem kendali *loop* tertutup untuk mempertahankan oksigen yang terlarut sebesar 5 ppm. Sistem ini telah dibuat, namun perlu adanya pengembangan guna mengoptimalkan pemanfaatannya. Salah satu pengembangan yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan sistem kendali berbasis logika *fuzzy* (Ardiansyah *et al.*, 2019).

Logika *fuzzy* digunakan untuk memungkinkan sistem mengambil keputusan dari nilai sensor yang terbaca dengan mentransformasikan nilai tersebut ke dalam himpunan *fuzzy*. Pendekatan logika fuzzy dapat dikembangkan menjadi model pemrograman yang fleksibel karena himpunan keanggotaan fuzzy dikembangkan secara objektif untuk dapat menilai secara pasti variabel input dan output fuzzy sehingga memudahkan dalam pengambilan keputusan (Hidayat *et al.*, 2021). Model logika fuzzy adalah sistem pengambilan keputusan dan model optimasi yang memberikan solusi untuk input parameter kompleksitas (Santosa *et al.*, 2021). Himpunan keanggotaan fuzzy digunakan untuk menentukan setiap parameter yang digunakan pada variabel yang mempunyai area fuzzy. Himpunan keanggotaan yang digunakan untuk dapat menentukan pH, suhu dan amonia perairan dengan tipe segitiga dan trapesium (Siskandar *et al.*, 2023). Penelitian ini juga memperluas pengembangan dengan menambahkan sensor untuk mengukur amonia, tingkat keasaman (pH), dan suhu karena semua parameter tersebut berperan penting dalam mempengaruhi kualitas air yang mempengaruhi kelangsungan hidup ikan lele. Penelitian ini mengusulkan integrasi sistem logika *fuzzy* dengan internet agar pembudidaya dapat memantau

kualitas air dengan mudah. Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis kelayakan kualitas air di bak lele dengan menggunakan *fuzzy* untuk mengoptimalkan pertumbuhan ikan lele.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 30 April - 14 Mei 2024 di Hatchery Perikanan, Sekolah Vokasi IPB Sukabumi di Jalan Sarasa No. 45 Kecamatan Cibeureum, Kota Sukabumi, Jawa Barat. Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem kendali yang digunakan untuk mengatur pH, suhu, dan amonia, dalam air menggunakan pengendali logika *fuzzy* dan monitoring kualitas air pada budidaya ikan lele berbasis web.

Metode Pengumpulan Data

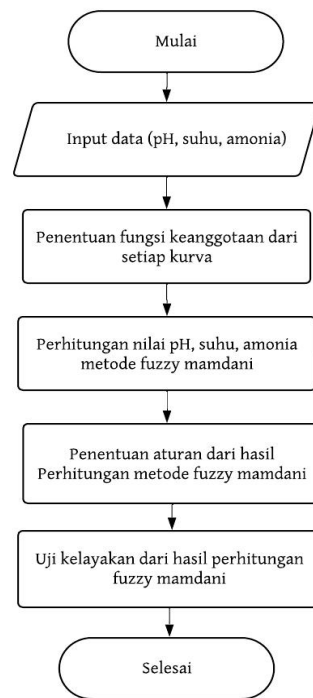
Metode pengumpulan data yang digunakan yaitu dengan observasi yang dimana peneliti mengamati mencatat perilaku, aktivitas, atau kejadian yang terjadi di lingkungan yang diteliti. Adapun dalam penelitian ini observasi yang dilakukan yaitu pada 10 bak ikan lele yang sedang dibudidayakan dengan mengumpulkan data terkait kualitas air yaitu pH, suhu, dan kadar amonia.

Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan pada sistem pemantauan kualitas air yaitu menggunakan data kualitatif. Metode analisis data kualitatif adalah pendekatan pengolahan secara mendalam data hasil pengamatan, wawancara, data literatur. Metode analisis data kualitatif terdiri dari berbagai teknik analisis, seperti: (1) Mengorganisir data kualitatif menjadi lebih rapi; (2) Melakukan koding data dengan tujuan menyeragamkan beberapa hal yang memiliki makna yang sama; (3) Mengkoneksikan satu konsep dengan konsep yang lain yang mungkin saling mempengaruhi; (4) Legitimasi terhadap hasil yang ada dengan membandingkan konsep lain yang diperkirakan bertentangan dengan hasil kesimpulan. Metode analisis data selanjutnya yang dilakukan yaitu dengan pemodelan, dimana metode ini menggunakan model sistematis dan matematik dengan acuan pada sistem kognitif dalam logika *fuzzy* yang melibatkan beberapa variabel terkait dengan kualitas air.

Diagram Alir proses Fuzzy Logic

Perancangan logika fuzzy dibagi menjadi tiga bagian yaitu penentuan himpunan keanggotaan, fuzzy rule-based, dan proses defuzzifikasi (Maghfiroh *et al.*, 2020). Aturan ini digunakan dalam menentukan tindakan oleh komponen yang ada dalam sistem yang nantinya untuk diproses. Dalam fungsi keanggotaan himpunan fuzzy mamdani sendiri ditentukan oleh derajat keanggotaan, yang mempunyai peran untuk menentukan tingkat kesesuaian di setiap anggota. Flowchart dalam metode fuzzy yang digunakan memiliki 3 input yaitu pH, suhu dan amonia yang memiliki 1 output berupa persentase kelayakan dari kualitas air yang dianalisis. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Siskandar *et al.*, 2020) untuk menentukan kondisi suhu dan kelembaban rumah kaca yang ideal, mereka menggunakan nilai defuzzifikasi kontrol suhu dan kelembaban untuk menentukan lamanya waktu *exhaust fan* menyala. Model fuzzy yang digunakan pada penelitian ini adalah model *fuzzy* mamdani, selanjutnya model lainnya yang dapat digunakan yaitu Fuzzy AHP yang membantu pelaku pengelola dalam menyusun strategi yang tepat untuk menjaga keseimbangan supply dan demand. Dengan adanya transformasi dari manualisasi ke digitalisasi dapat membantu mendukung pengambilan keputusan secara real-time (Hidayat *et al.*, 2023). Berikut diagram alir untuk proses *fuzzy* mamdani.



Grafik 1. Diagram alir proses *fuzzy mamdani*

Fuzzyfikasi

Prosedur metode *fuzzy mamdani* adalah pembentukan himpunan *fuzzy* atau dikenal dengan istilah fuzzifikasi. Fuzzifikasi merupakan proses yang dilakukan dengan mentransformasi input himpunan tegas (*crisp*) ke dalam himpunan *fuzzy*. Hal ini dilakukan karena input yang digunakan awalnya adalah dalam bilangan tegas (*real*) dari suatu himpunan tegas (*crisp*).

Himpunan *fuzzy* ini didasarkan pada tingkatan linguistiknya yang dikelompokkan dalam suatu variabel *fuzzy*. Untuk variabel *fuzzy* kualitas air mempunyai himpunan sebagai berikut :

Rumus Perhitungan manual

$$\mu_{Kurang\ Baik}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; \quad a \leq x \leq b \\ 0; & \geq b \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Cukup\ Baik}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; \quad a \leq x \leq b \\ 0; & \geq b \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Baik}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ (x - a)/(b - a) & ; \quad a \leq x \leq b \\ 0; & \geq b \end{cases} \quad (3)$$

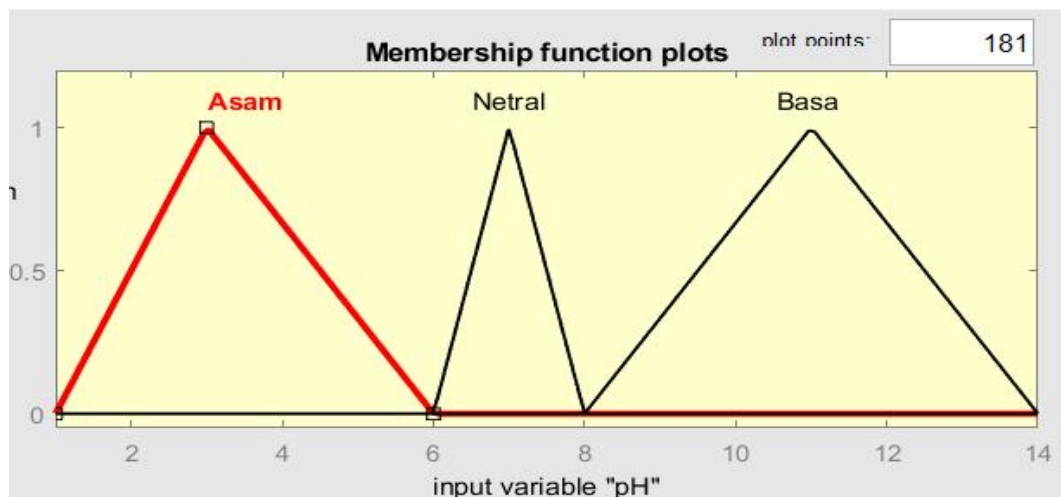
Kondisi pH

Dilihat dari tabel dibawah ini variabel pH dengan domain yang sudah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 1. Kondisi pH

Himpunan	Domain
<u>Asam</u>	0 - 6
<u>Netral</u>	6 - 8
<u>Basa</u>	8 - 14

Berdasarkan data yang ada pada tabel dapat dilihat kurva himpunan *fuzzy* kondisi pH sebagai berikut:



Gambar 1. Kurva Variabel Kondisi pH

Berdasarkan pada gambar 1 menunjukkan bahwa variabel pH untuk kategori kurang baik asam yaitu pada kurva 1 - 6, kategori cukup baik berada pada kisaran kurva 5 - 7, kategori baik berada pada kisaran kurva 6,5 - 8,5, dan kategori kurang baik basa berada pada kisaran kurva 8 - 12.

Rumus perhitungan pH :

$$\mu_{Asam}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 0 \\ (x - 0)/(6 - 0) & ; \quad 0 \leq x \leq 6 \\ 0; & \geq 6 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Netral}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 6 \\ (x - 6)/(8 - 6) & ; \quad 6 \leq x \leq 8 \\ 0; & \geq 8 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Basa}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 8 \\ (x - 8)/(14 - 8) & ; \quad 8 \leq x \leq 14 \\ 0; & \geq 14 \end{cases} \quad (3)$$

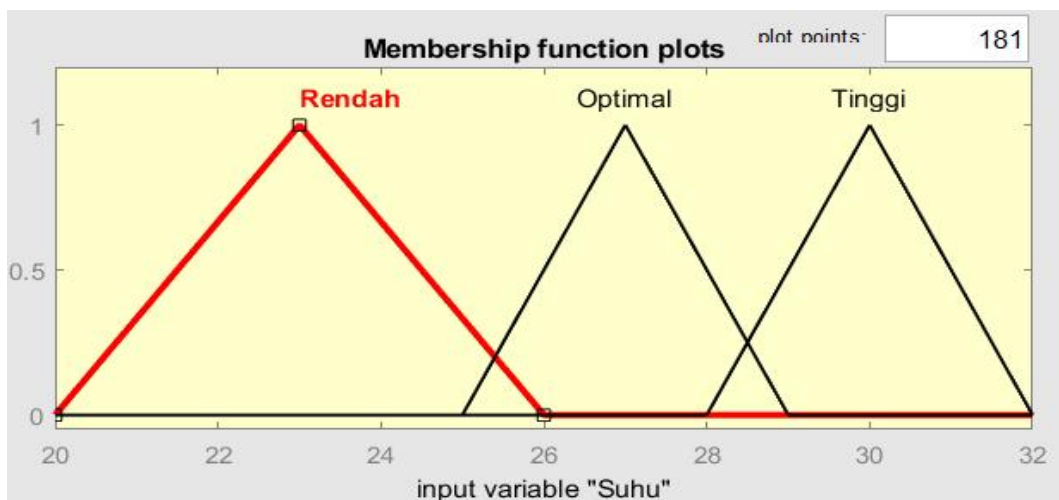
Kondisi Suhu

Dilihat dari tabel dibawah ini variabel suhu dengan domain yang sudah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 2. Kondisi suhu

Himpunan	Domain (°C)
Rendah	20 - 26
Optimal	25 - 29
Tinggi	28 - 32

Berdasarkan data yang ada pada tabel dapat dilihat kurva himpunan fuzzy kondisi suhu sebagai berikut :



Gambar 2. Kurva Variabel Suhu (°C)

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa variabel suhu untuk kategori kurang baik yaitu pada kurva 20 – 26. Untuk kategori cukup baik berada pada kisaran 25 – 29 serta pada kategori sangat baik berada pada kisaran 28 – 32.

Rumus perhitungan suhu :

$$\mu_{Rendah}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 20 \\ (x - 20)/(26 - 20) & ; \quad 20 \leq x \leq 26 \\ 0; & \geq 26 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Optimal}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 25 \\ (x - 25)/(29 - 25) & ; \quad 25 \leq x \leq 29 \\ 0; & \geq 29 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Tinggi}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 28 \\ (x - 28)/(32 - 28) & ; \quad 28 \leq x \leq 32 \\ 0; & \geq 32 \end{cases} \quad (3)$$

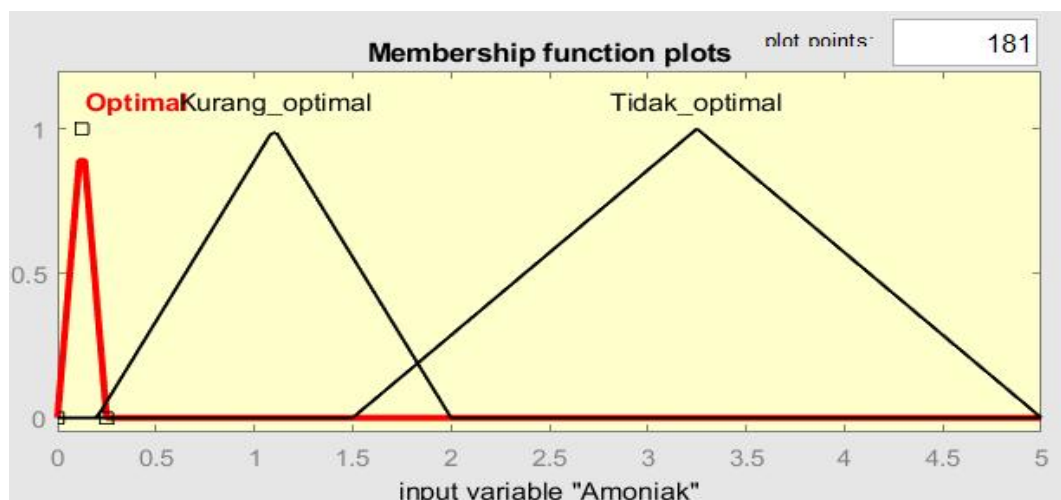
Kondisi Amoniak (NH₃)

Dilihat dari tabel dibawah ini variabel suhu dengan domain yang sudah ditentukan sebagai berikut :

Tabel 3. Kondisi Amoniak (NH₃)

Himpunan	Domain (mg/L)
Kurang Optimal	0,2 - 1,2
Optimal	0 - 0,25
Tidak Optimal	1,5 - 5

Berdasarkan data yang ada pada tabel dapat dilihat kurva himpunan *fuzzy* kondisi Flok sebagai berikut :



Gambar 3. Kurva Variabel Amoniak (NH₃)

Berdasarkan gambar di atas kadar amoniak menunjukkan status kurang baik pada rentang angka 1.5 - 5 selanjutnya untuk kategori cukup baik berada pada rentang 0.2 - 2 dan pada rentang 0 - 0.25 memiliki kategori baik.

Rumus perhitungan amonia :

$$\mu_{Kurang\ optimal}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 0,2 \\ (x - 0,2)/(1,2 - 0,2) & ; \quad 0,2 \leq x \leq 1,2 \\ 0; & \geq 1,2 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{Optimal}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 0 \\ (x - 0)/(0,25 - 0) & ; \quad 0 \leq x \leq 0,25 \\ 0; & \geq 0,25 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{Tidak\ optimal}[x] = \begin{cases} 1; & x \leq 1,5 \\ (x - 1,5)/(5 - 1,5) & ; \quad 1,5 \leq x \leq 5 \\ 0; & \geq 5 \end{cases} \quad (3)$$

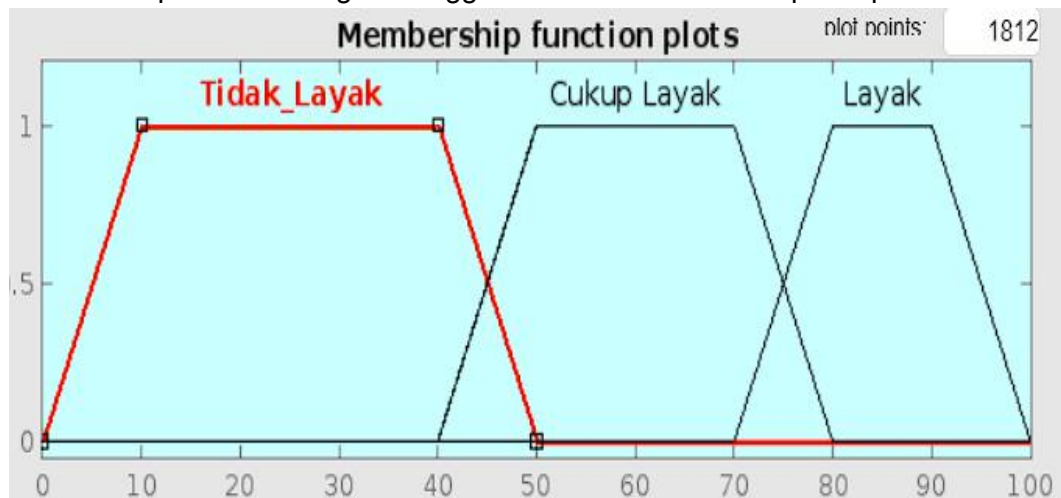
Variabel Output

Untuk variabel *output* dalam sistem ini adalah kelayakan, di mana variabel *output* kelayakan dibagi ke dalam tiga bagian yaitu : layak, cukup layak, dan tidak layak. Klasifikasinya dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 4. Persentase Kelayakan kualitas air

Himpunan	Domain (%)
Layak	70 - 100
Cukup Layak	40 - 80
Tidak Layak	0 - 50

Dari tabel di atas dapat dibuat fungsi keanggotaan untuk variabel output seperti dibawah ini :



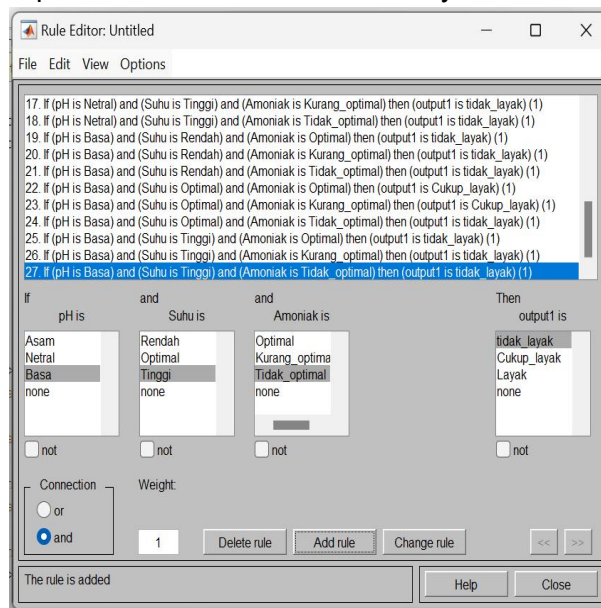
Gambar 4. Kurva Variabel Output

Berdasarkan pada gambar diatas menunjukkan bahwa kondisi parameter yang tidak layak berada pada kisaran 0 - 50 %, pada kondisi parameter yang cukup layak berada pada angka 40 - 80 % dan kategori kondisi parameter yang layak pada kisaran 70 - 100%.

Tahap kedua dari prosedur metode fuzzy Mamdani adalah penerapan fungsi implikasi. Fungsi implikasi merupakan struktur logika yang terdiri atas kumpulan premis dan satu konklusi. Fungsi implikasi berguna untuk mengetahui hubungan antara premis-premis dan konklusinya. Bentuk dari fungsi implikasi ini adalah dengan pernyataan IF is THEN is, dengan dan adalah skalar, serta A dan adalah himpunan fuzzy.

Dalam istilah logika fuzzy, proposisi yang mengikuti IF disebut dengan anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut dengan konsekuen. Proposisi atau aturan fuzzy ini dapat diperluas dengan menggunakan penghubung fuzzy AND (interseksi). Setelah dilakukan tahap analisa data dan data sudah dikelompokkan, maka pada tahap ini akan membahas tentang perancangan sistem dengan menentukan rancangan input, rule-rule, dan output yang akan diperlukan.

Berikut merupakan rancangan input, rule-rule, dan output yang akan diperlukan dalam penentuan kelayakan suhu, pH, dan amoniak di bak budidaya ikan lele.



Gambar 5. Rule Editor Suhu, pH, dan Amoniak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas air memainkan peran penting dalam budidaya ikan lele karena berhubungan langsung dengan kesehatan dan pertumbuhan ikan tersebut. Parameter amonia, tingkat keasaman (pH), dan suhu, merupakan faktor-faktor yang perlu dipantau secara. Selain itu, aspek teknis juga harus diperhatikan dengan cara pengukuran kualitas air yang nantinya akan mempengaruhi tingkat kehidupan ikan lele (Hitmawati, 2023). Monitoring dan kontrol ini sangat penting bagi penentuan kualitas air pada kolam ikan, untuk menjaga kondisi lingkungan air pada kolam ikan tetap terjaga pada kondisi parameter air yang disesuaikan dengan lingkungan habitat ikan di alam dan untuk menghindari kematian ikan (Farmadi *et al.*, 2021). Tingginya kadar amonia dapat mengakibatkan stres pada ikan, yang dapat menyebabkan kematian massal jika tidak segera diatasi. Limbah yang berasal dari proses budidaya ini dapat menurunkan kualitas air budidaya sehingga dapat memberikan pengaruh buruk terhadap kesehatan ikan (Arfiati *et al.*, 2020). Banyaknya aktivitas domestik dan industri di sepanjang sungai serta adanya dinamika aliran tersebut menimbulkan perubahan kualitas dan kuantitas sungai secara signifikan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air). Diperlukan suatu upaya untuk menjaga kuantitas, kontinuitas, dan kualitas. Hasil pengujian dari masing-masing parameter terdapat pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Parameter

Parameter	Hasil Pengujian
Suhu (°C)	20-32
pH	1- 14
Amonia (mg/L)	0-5

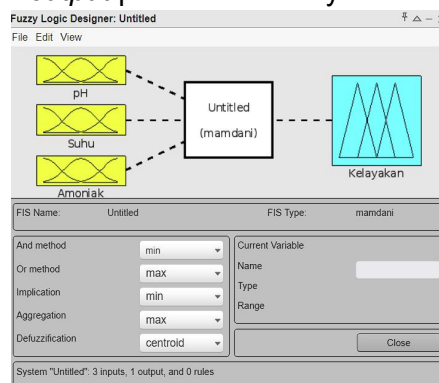
Hasil penilaian setiap variabel yang berbentuk bobot pada masing masing akan dijumlahkan sehingga nilai ini nantinya akan menjadi input pada sistem FIS, data yang digunakan sebanyak 10 bak di Hatchery B, Sekolah Vokasi, IPB University, Kampus Sukabumi, bertempat di Jl. Sarasa No. 45, Babakan, Kec. Cibeureum, Kota Sukabumi, Jawa Barat seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Hasil Parameter Setiap Bak

Bak	Suhu (°C)	pH	Amonia (mg/L)
1	26.2	7.6	0.25
2	26	7	1.5
3	25	7	0.25
4	24	7.8	5.0
5	24	7.8	5.0
6	27	7	0.25
7	24	7	0.25
8	25	7.8	0.25
9	25	7	3.0
10	26	7.6	0.25

Dari tabel diatas dapat diambil data terendah dan tertinggi untuk menentukan nilai *input* pada suhu, pH, dan amoniak yang berada di kolam lele. Tingkat keasaman yang tidak stabil juga dapat mengganggu sistem pencernaan ikan dan menghambat pertumbuhan ikan lele. Suhu air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah juga dapat menyebabkan stres pada ikan dan mempengaruhi metabolisme. Selain itu, tingkat keasaman (pH) juga penting karena dapat mempengaruhi kemampuan ikan untuk mendapatkan makanan dan menghindari predator. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan kualitas air yang tepat sangatlah penting dalam budidaya ikan lele untuk memastikan pertumbuhan yang optimal dan menghindari risiko penyakit (Amanulloh, 2024). Keadaan ini menunjukkan perlu adanya pengelolaan kualitas air sehingga ikan bisa hidup dan tumbuh dengan baik, diantaranya melalui pergantian air (Pratama, 2020).

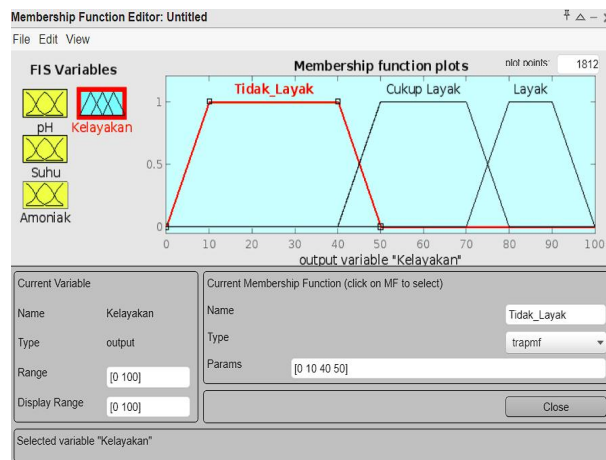
Penentuan variabel *input* yang akan digunakan yaitu pH, suhu, dan amoniak. *Input* yang telah diatur, selanjutnya menentukan *output* persentase kelayakan.



Gambar 6. Fuzzy Logic Designer

Inovasi dalam analisis kualitas air menggunakan logika *fuzzy* menawarkan pendekatan yang canggih dan dapat diandalkan dalam memantau dan mengoptimalkan parameter-parameter penting yaitu amonia, tingkat keasaman (pH), dan suhu dalam budidaya ikan, termasuk budidaya ikan lele. Logika *fuzzy* memungkinkan sistem untuk mengambil keputusan berdasarkan pada nilai sensor yang terbaca dengan cara yang lebih mudah, karena mampu menangani ketidakpastian dan keambiguan dalam data (Zhou *et al.*, 2019). Pendekatan ini memungkinkan interpretasi yang lebih intuitif dan lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Dengan memadukan sensor-sensor berkualitas tinggi dengan algoritma logika *fuzzy* yang canggih, pemantauan kualitas air dapat dilakukan secara real-time dan secara otomatis, memungkinkan tindakan korektif yang cepat dan tepat saat terdeteksi adanya perubahan yang signifikan dalam parameter-parameter kritis (Mukhtar *et al.*, 2018).

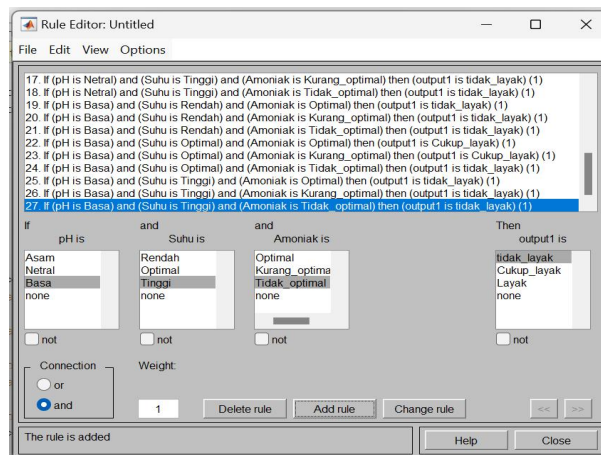
Output persentase kelayakan dikategorikan menjadi 3 kategori, yaitu tidak layak, cukup layak, dan layak.



Gambar 7. Membership Function Editor

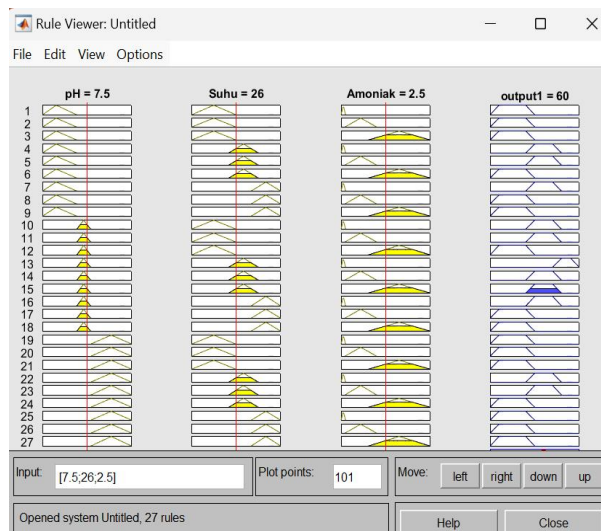
Penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang ini akan terus menghasilkan inovasi-inovasi baru yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam budidaya ikan, serta memberikan kontribusi yang berarti dalam menjaga kesehatan lingkungan perairan. Salah satu inovasi lainnya yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh (Kusumah *et al.*, 2021) yang menerapkan teknologi E-Ox Level pada kolam budidaya ikan lele dengan menghasilkan nilai yang positif. Keunggulan dari E-Ox Level adalah menggunakan energi matahari sebagai pembangkit tenaganya (Kusumah *et al.*, 2022). Selanjutnya yaitu inovasi pada bidang perikanan yaitu sistem pemantauan akuaponik yang berjalan dengan logika dan fungsinya ketika ada arus listrik pada mikrokontroler. Jika terdapat arus listrik maka mikrokontroler akan mengkonfigurasi jaringan untuk mengirimkan data kondisi (Siskandar *et al.*, 2020). Selain pada ikan, inovasi selanjutnya yaitu pada budidaya udang yaitu penelitian yang dilakukan oleh (Wiyoto *et al.*, 2022) yang mengembangkan sensor pendeteksi potensial redoks pada wadah berisi air yang bernama sensor ORP dengan menentukan kualitas air sehingga dalam proses budidaya udang sangat diperlukan. Pada sensor suhu telah dikembangkan yaitu berbasis bahan ferroelektrik film BST yang berbantuan mikrokontroler ATmega8535 dengan tingkat sensitivitas, akurasi, dan presisi yang tinggi untuk membaca perubahan lingkungan (Siskandar, 2013).

Variabel input dan uotput yang telah diatur selanjutnya dilakukan pemilihan rules dengan jumlah 27 rules. Seperti gambar berikut:



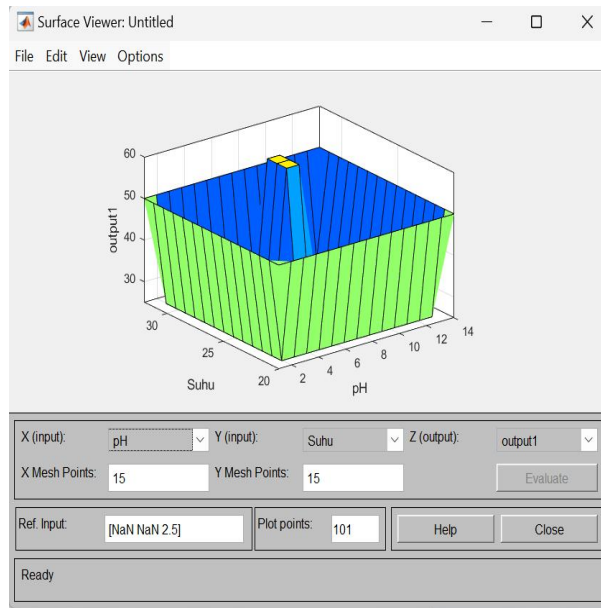
Gambar 8. Rule Editor Suhu, pH, Amoniak

Didapatkan hasil dengan input 7.5, 26, dan 5 adalah 60. Seperti gambar hasil berikut:



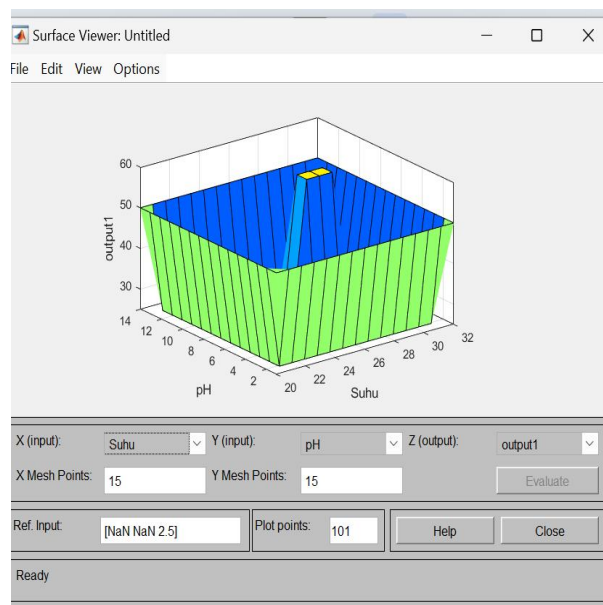
Gambar 9. Rule Viewer

Tingkat keasaman yang tidak stabil juga dapat mengganggu sistem pencernaan ikan dan menghambat pertumbuhan ikan lele. Suhu air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah juga dapat menyebabkan stres pada ikan dan mempengaruhi metabolisme. Selain itu, tingkat keasaman (pH) juga penting karena dapat mempengaruhi kemampuan ikan untuk mendapatkan makanan dan menghindari predator. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan kualitas air yang tepat sangatlah penting dalam budidaya ikan lele untuk memastikan pertumbuhan yang optimal dan menghindari risiko penyakit (Amanulloh, 2024). Keadaan ini menunjukkan perlu adanya pengelolaan kualitas air sehingga ikan bisa hidup dan tumbuh dengan baik, diantaranya melalui pergantian air (Pratama, 2020).



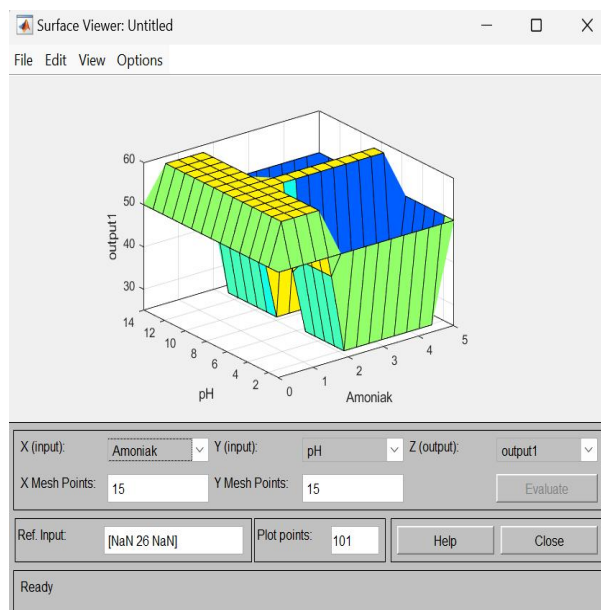
Gambar 10. Surface Viewer pH

Suhu dapat mempengaruhi kelangsungan hidup maupun pertumbuhan panjang dan bobot ikan dengan arah hubungan negatif dimana semakin tinggi suhu hingga batas toleransi yang telah ditentukan maka akan semakin rendah juga kelangsungan hidup dan pertumbuhan panjang maupun bobot ikan lele (Alfatihah *et al.*, 2023), suhu air yang baik bagi ikan lele berkisar pada 25 C - 30 C. Menurut Badan Standar Nasional (2014) kadar pH air yang baik untuk ikan lele berada pada 6.5-8. Kadar pH air yang berada dibawah angka tersebut dapat menyebabkan penggumpalan lendir pada insang. Sedangkan jika pH air yang tinggi akan menyebabkan ikan lele menjadi tidak nafsu makan. Keberadaan amonia mempengaruhi pertumbuhan ikan karena mengganggu proses osmoregulasi dan mengakibatkan kerusakan fisik pada jaringan. Ambang batas kandungan amonia untuk ikan lele yaitu <0.8 mg/L (Pratama *et al.*, 2017).



Gambar 11. Surface Viewer Suhu

Salah satu alternatif dalam mengatasi masalah kualitas air dalam akuakultur yaitu penambahan probiotik. Probiotik dapat bekerja dengan beberapa cara, yaitu berkompetisi dengan mikroorganisme lain untuk mendapatkan tempat melekat pada tubuh inang, meningkatkan respons imun pada inang sehingga tahan terhadap serangan virus, bakteri, jamur maupun parasit, memperbaiki kualitas air, berinteraksi dengan fitoplankton; sebagai sumber nutrisi makro dan mikro, dan memberikan kontribusi enzim pencernaan (Kurniasih *et al.*, 2014). Seperti dalam teknologi bioflok adalah manajemen kualitas air yang didasarkan pada kemampuan bakteri heterotrof untuk memanfaatkan N-organik dan N-anorganik yang terdapat di dalam air. Jika karbon dan nitrogen seimbang dalam air, maka bakteri heterotrof akan memanfaatkan nitrogen, baik dalam bentuk organik maupun anorganik yang selanjutnya digunakan untuk biomassa bakteri (Sumitro *et al.*, 2017).



Gambar 12. Surface Viewer Amoniak

Berikut ini adalah hasil penggunaan fuzzy logic untuk menentukan % kelayakan kualitas air untuk lingkungan yang dihuni oleh ikan lele seperti tabel di bawah ini :

Tabel 7. Hasil *Fuzzy* Setiap Parameter

Bak	Suhu (°C)	pH	Amoniak (mg/L)	Hasil Fuzzy (% Kelayakan)
1	26.2	7.6	0.25	60
2	26	7	1.5	60
3	25	7	0.25	60
4	24	7.8	5.0	50
5	24	7.8	5.0	50
6	27	7	0.25	60
7	24	7	0.25	60
8	25	7.8	0.25	60

9	25	7	3.0	25
Bak	Suhu (°C)	pH	Amoniak (mg/L)	Hasil Fuzzy (% Kelayakan)
10	26	7.6	0.25	60

Nilai pH air dapat menjadi tolak ukur pada kualitas air kolam ikan. Nilai pH optimal untuk ikan lele berada pada kisaran nilai pH 6 – 9 (Imaduddin *et al.*, 2017), hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan yaitu berada pada kisaran 7. Parameter ini merupakan hal utama yang sering dipantau dalam budidaya ikan karena nilai pH akan mempengaruhi proses kimia di perairan, sehingga jika terjadi perubahan drastis dapat menyebabkan ikan stres hingga mati (Zibiene *et al.* 2019). Namun suhu dan amonia juga memiliki peran penting untuk menjaga kualitas air kolam ikan lele (Cholilulloh *et al.*, 2018). Adanya pengelolaan kualitas air sehingga ikan bisa hidup dan tumbuh dengan baik, diantaranya adalah melalui pergantian air (Pratama 2020). Sistem kendali pH dan suhu air dapat meningkatkan pertumbuhan dan menekan kematian ikan lele sehingga dapat mempengaruhi hasil panen ikan lele (Widodo *et al.*, 2023). Hal tersebut perlu diperhatikan untuk menjaga parameter kualitas air agar terjaga dengan baik pada ketepatan yang optimal.

Logika *fuzzy* banyak digunakan dibidang perikanan untuk meningkatkan produksi dan kualitas (Liswardani *et al.*, 2023). Sistem logika *fuzzy* merupakan pendekatan yang efektif dalam pemantauan kualitas air untuk budidaya ikan lele. Dalam penelitian ini, logika *fuzzy* digunakan untuk mengambil keputusan berdasarkan nilai sensor yang terbaca, amonia, tingkat keasaman (pH), dan suhu. Parameter-parameter ini secara langsung mempengaruhi kualitas air yang sangat penting bagi kelangsungan hidup ikan lele. Integrasi sistem logika *fuzzy* dengan internet memungkinkan pembudidaya untuk memantau kualitas air secara real-time melalui halaman web. Hal ini memberikan kemudahan bagi pembudidaya dalam mengontrol dan menjaga kualitas air di bak budidaya, yang pada akhirnya akan berdampak positif pada pertumbuhan ikan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Muchtar *et al.*, 2018), sistem ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi budidaya ikan lele dengan memonitor kualitas air secara terus-menerus. Penelitian ini penting karena memberikan solusi bagi masalah pemantauan yang seringkali dihadapi oleh pembudidaya ikan lele.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis menggunakan sistem fuzzy logic mamdani menunjukan bahwa kualitas air dalam bak ke - 9 memiliki kategori tidak layak dengan nilai 25% sedangkan untuk bak lainnya masih dalam kategori cukup layak dengan nilai 50-60%. Hal ini dapat menjadi salah satu faktor yang dapat menentukan hasil produksi sehingga diperlukan monitoring serta penanganan yang baik terhadap kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standar Nasional. (2014). Ikan lele dumbo (*Clarias sp.*) SNI. Jakarta.
- Alfatihah A, Latuconsina H, Prasetyo HD. 2023. Hubungan antara parameter kualitas air dengan pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus var. Sangkuriang*) pada budidaya sistem akuaponik. *JUSTE (Journal Sci Technol.* 3(2):177–178.
- Amanulloh MFA. 2024. Upaya peningkatan perekonomian masyarakat melalui budidaya ikan air

- tawar di Desa Doroampel Kecamatan Sumbergempol Kabupaten Tulungagung Tahun 2024. *Madani J Ilm Multidisiplin*. 2(1).
- Ardiansyah D, Anjani A. 2019. Model pendeteksi api dalam ruangan berbasis SMS menggunakan logika fuzzy. *JISA (Jurnal Inform dan Sains)*. 2(2):47–50.
- Arfiati D, Lailiyah S, Dina KF, Cokrowati N. 2020. Dinamika jumlah bakteri *Bacillus subtilis* dalam penurunan kadar bahan organik TOM limbah budidaya ikan lele sangkuriang (*Clarias gariepinus*). *JFMR (Journal Fish Mar Res)*. 4(2):222–226.
- Augusta TS. 2016. Dinamika perubahan kualitas air terhadap pertumbuhan ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*) yang dipelihara di kolam tanah. *J Ilmu Hewani Trop (Journal Trop Anim Sci)*. 5(1):41–44.
- Cholilulloh M, Syaury D, Tibyani T. 2018. Implementasi metode fuzzy pada kualitas air kolam bibit lele berdasarkan suhu dan kekeruhan. *J Pengemb Teknol Inf dan Ilmu Komput*. 2(5):1813–1822.
- Faridah F, Diana S, Yuniati Y. 2019. Budidaya ikan lele dengan metode bioflok pada peternak ikan lele konvensional. *CARADDE J Pengabd Kpd Masy*. 1(2):224–227.
- Farmadi A, Kartini D, Muliadi M. 2021. Implementasi fuzzy pada monitoring dan kontrol kualitas air tangki pembibitan ikan menggunakan LabView. *J Komputasi*. 9(2).
- Fauzia SR, Suseno SH. 2020. Resirkulasi air untuk optimalisasi kualitas air budidaya ikan nila nirwana (*Oreochromis niloticus*). *J Pus Inov Masy*. 2(5):887–892.
- Hidayat AP, Santosa SH, Siskandar R, Baskoro RG. 2021. Evaluation of chicken eggs supply with fuzzy AHP Approach Through Development of safea software. *J Logistik Indones*. 5(2):104–110.
- Hidayat AP, Wiyoto W, Pratama AJ, Vibowo H, Santosa SH, Siskandar R. 2023. Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) Model for Chicken Egg Supply and Demand Management Strategies Through SAFCES Application Development. In: *E3S Web of Conferences*. volume454. EDP Sciences. p. 03004.
- Hitmawati S. Sistem pakar penentuan kelayakan usaha budi daya pembesaran ikan gurami.
- Imaduddin G, Saprizal A. 2017. Otomatisasi monitoring dan pengaturan keasaman larutan dan suhu air kolam ikan pada pembenihan ikan lele. *JUST IT J Sist Informasi, Teknol Inf dan Komput*. 7(2):28–35.
- Kurniasih T, Lusiastuti AM, Azwar ZI, Melati I. 2014. Isolasi dan seleksi bakteri saluran pencernaan ikan lele sebagai upaya mendapatkan kandidat probiotik untuk efisiensi pakan ikan. *J Ris Akuakultur*. 9(1):99–109.
- Kusumah BR, Jaya AK, Iftitah D, Siskandar R, Lestari H, Umam K, Supriadi D. 2021. Penerapan teknologi tepat guna (e-ox level) kepada kelompok pembudidaya ikan lele di desa kepongpongan kabupaten cirebon. In: *Unri Conference Series: Community Engagement*. volume3. p. 40–46.
- Kusumah BR, Kosta Jaya A, Siskandar R, Rahim FF. 2022. E-ox level: sustainability test of data storage system and performance test on closed system fish pond. *Aquac Indones*. 23(1):1–8.
- Liswardani F, Ramadhan IR, Shoultan MA, Pratama Y, Chairunisa DY, Siskandar R. 2023. Logika fuzzy untuk menentukan idealitas suhu dan kelembapan pada inkubator telur ayam. *J Ilm Flash*. 9(1):1–8.
- Maghfiroh H, Hermanu C, Ibrahim MH, Anwar M, Ramelan A. 2020. Hybrid fuzzy-PID like optimal control to reduce energy consumption. *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput Electron Control)*. 18(4):2053–2061.
- Muchtar H, Nasirudin MD, Adhitama R. 2018. Perancangan sistem kontrol dan monitoring beban listrik menggunakan raspberry berbasis Ip. *Resist (elektRonika kEndali Telekomun tenaga List kOmputeR)*. 1(1):1–6.
- Mukhtar M, Munawir M. 2018. Aplikasi Decision Support System (DSS) dengan Metode Fuzzy Multiple Attribute Decision Making (FMADM) Studi Kasus: AMIK Indonesia Dan STMIK Indonesia. *J JTIK (Jurnal Teknol Inf dan Komunikasi)*. 2(1):57–70.
- Pratama R. 2020. Kinerja produksi pendederan IV ikan lele dengan pergantian air berbeda pada sistem indoor.
- Pratama WD, Manan A. 2017. Pengaruh pemberian probiotik berbeda dalam sistem akuaponik

- terhadap kualitas air pada budidaya ikan lele (*Clarias* sp.). *J Aquac Sci.* 1(1):27–35.
- Santosa SH, Hidayat AP, Siskandar R. 2021. Safea application design on determining the optimal order quantity of chicken eggs based on fuzzy logic. *Int J Artif Intell ISSN.* 2252(8938):8938.
- Siskandar R. 2013. Sensor suhu berbasis bahan ferroelektrik film ba0, 55 sr0, 45tio3 (bst) berbantuan mikrokontroler atmega 8535. *J Biofisika.* 9(2).
- Siskandar R, Fadhil MA, Kusumah BR, Irmansyah I, Irzaman I. 2020. Internet of Things: Automatic plant watering system using Android. *J Tek Pertan Lampung (Journal Agric Eng.* 9(4):297–310.
- Siskandar R, Wiyoto W, Santosa SH, Hidayat AP, Rifa B, Kusumah MDMD. 2023. Prediction of Freshwater Fish Disease Severity Based on Fuzzy Logic Approach, Arduino IDE and Proteus ISIS. EasyChair.
- Sumitro SB, Widyarti S, Permana S. 2017. Biologi sel. Universitas Brawijaya Press.
- Widodo T, Santoso AB, Ishak SI, Rumeon R. 2023. Sistem kendali proporsional kualitas air berupa pH dan suhu pada budidaya ikan lele berbasis IoT. *JEPIN (Jurnal Edukasi dan Penelit Inform.* 9(1):59–66.
- Wiyoto W, Hendriana A, Siskandar R, Mashita N, Mahendra T, Cahyo AD, Arzi JRA, Aulia SS, Ekasari J. 2022. Analysis of water and sediment quality in Pacific white leg shrimp *Litopenaeus vannamei* culture with different sediment redox potential. *J Akuakultur Indones.* 21(1):59–67.
- Yusvarina M, Sumarna S. 2016. Rancang bangun sistem kontrol kadar oksigen di dalam air pada kolam pembenihan ikan lele mutiara di unit kerja budidaya air tawar (ukbat) Wonocatur Cangkringan, Sleman, Yogyakarta design of dissolved oxygen control system in the water of the mutiara catfish hatchery pond in departement of fisheries wonocatur Cangkringan, Sleman, Yogyakarta. *J Ilmu Fis dan Ter.* 5(7):455–462.
- Zibiene G, Zibas A. 2019. Impact of commercial probiotics on growth parameters of European catfish (*Silurus glanis*) and water quality in recirculating aquaculture systems. *Aquac Int.* 27(6):1751–1766.