



Sistem Inferensi Fuzzy Tsukamoto Untuk Menentukan Tingkat Kualitas Air Pada Kolam Budidaya Ikan Lele

Muhammad Yudi Abdul Syawari¹, Hartono^{2*}

m.yudi.as@umko.ac.id¹, hartono@umko.ac.id²

¹Universitas Muhammadiyah Kotabumi, Indonesia

² Universitas Muhammadiyah Kotabumi, Indonesia

*Korespondensi: ✉

Abstrak

This study explores the position of catfish as a major aquaculture commodity in Indonesia. In 2013, Indonesia dominated global catfish production with a market share of 75.6%. Despite the higher growth rate of catfish farming compared to other commodities, production did not meet the set targets. The government is working to strengthen national catfish production and enhance its role as a leading commodity in Indonesia. The advantages of catfish lie in its content of leucine and lysine, which are important for children's growth and nitrogen balance. Environmental factors such as freshwater pH (6.5-8.6), optimal temperature (23-30°C), oxygen levels (2-5 mg/L), and ammonia levels (5-7 mg/L) affect the water quality in catfish farming ponds. Natural and human factors such as extreme weather and overfeeding can impact the living conditions and growth of catfish. This study aims to investigate the relationship between pond water quality and catfish growth. The methods used include confusion matrix and Tsukamoto fuzzy logic to determine the accuracy of the water quality assessment system. The main objective of this research is to provide solutions and benefits for the community or the field of study.

Status Artikel:

Diterima: 07-06-2024

Direvisi: 21-06-2024

Diterima: 11-07-2024

Kata Kunci:

Fuzzy Logic Tsukamoto

Ikan Lele

Confusion Matrix



© 2024 Muhammad Yudi Abdul Syawari, Hartono

This work is licensed under a

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

PENDAHULUAN

Penulisan berikut ini menjelaskan mengenai posisi Ikan Lele sebagai salah satu komoditas budidaya utama di Indonesia. Pada tahun 2013, Indonesia menempati peringkat teratas dalam produksi lele dunia dengan pangsa pasar sebesar 75,6%. Ikan lele berada pada peringkat ketiga setelah ikan gurame dan rumput laut sebagai komoditas budidaya utama di negara tersebut. Pertumbuhan budidaya ikan lele di Indonesia juga memiliki tingkat pertumbuhan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan komoditas unggulan lainnya, seperti ikan gurame dan rumput laut, yakni 47,21%.

Namun, meskipun produksi ikan lele mengalami peningkatan, produksi yang dihasilkan tidak sepenuhnya memenuhi target produksi yang telah ditentukan. Dalam kurun waktu 2010 hingga 2012, produksi lele hanya mencapai 90,35% dari target yang ditetapkan dan meningkat pada tahun

2013 menjadi 108,35%, tetapi kembali menurun pada tahun 2015 menjadi 67,99%. Oleh karena itu, pemerintah saat ini berupaya untuk memperkuat produksi ikan lele nasional dan meningkatkan ikan lele sebagai komoditas unggulan di Indonesia.

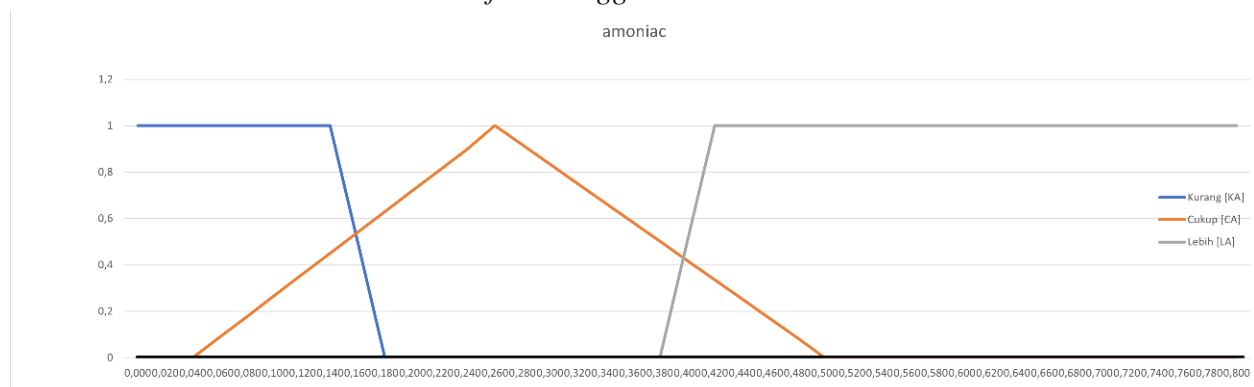
Ikan lele memiliki keunggulan karena kaya akan Leusin dan Lisin. Leusin adalah asam amino esensial yang sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan anak-anak dan mempertahankan keseimbangan nitrogen. Lingkungan hidup ikan lele adalah perairan air tawar dengan pH ideal sebesar 6,5-8,6 dan suhu optimal pertumbuhan sekitar 23-30°C dengan Kadar oksigen 2-5mg/L dan kadar amonia 5-7mg/L. Namun, kualitas air pada kolam budidaya ikan lele bisa terpengaruh oleh faktor alam seperti cuaca ekstrem dan faktor manusia seperti pemberian pakan yang berlebihan. Hal ini dapat mempengaruhi kondisi hidup dan pertumbuhan ikan lele. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menemukan hubungan antara tingkat kualitas air pada kolam budidaya ikan lele dan pertumbuhan ikan lele.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah confusion matrix untuk mengukur akurasi sistem penentu kualitas air budidaya ikan lele dengan metode fuzzy logic Tsukamoto. Tujuan akhir penelitian ini adalah untuk mendapatkan solusi atau hasil yang bermanfaat bagi masyarakat atau bidang yang diteliti.

METODE FUZZY LOGIC TSHUKAMOTO

Logika fuzzy merupakan salah satu cara untuk menemukan solusi dari permasalahan yang di anggap samar. Dalam solusinya, logika fuzzy menggunakan bahasa seperti "agak tinggi", "agak tinggi", "agak panas", "panas", dll. Dalam studi ini, kami menggunakan metode fuzzy Tsukamoto untuk terlebih dahulu menentukan fungsi keanggotaan, kemudian menentukan aturan, kemudian mengelompokkan kategori ke dalam masing-masing kelompok sesuai dengan aturan yang diterapkan. Metode Tsukamoto yang digunakan adalah metode "center average defuzzer".

Grafik Keanggotaan Amoniac

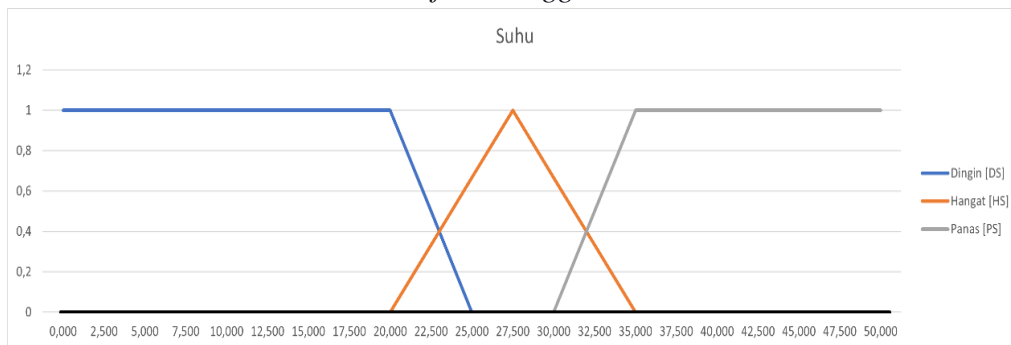


$$\mu[KA] = \begin{cases} AMO \leq 0,140; & 1 \\ 0,140 \leq AMO \leq 0,180; & \frac{(0,180-AMO)}{0,180-0,140} \dots\dots\dots(1) \\ AMO \geq 0,180; & 0 \end{cases}$$

$$\mu[CA] = \begin{cases} AMO \leq 0,040 \text{ OR } AMO \geq 0,500; & 0 \\ 0,040 \leq AMO \leq 0,260; & \frac{(AMO-0,040)}{0,260-0,040} \dots\dots\dots(2) \\ 0,260 \leq AMO \leq 0,500; & \frac{(0,500-AMO)}{0,500-0,260} \end{cases}$$

$$\mu[LA] = \begin{cases} AMO \leq 0,380; & 0 \\ 0,380 \leq AMO \leq 0,420; & \frac{(AMO-0,380)}{0,420-0,380} \dots\dots\dots(3) \\ AMO \geq 0,420; & 1 \end{cases}$$

Grafik Keanggotaan Suhu

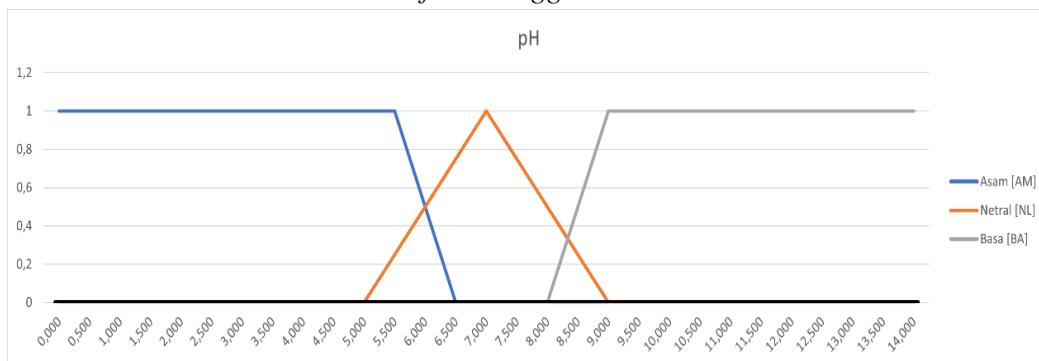


$$\mu[DS] = \begin{cases} SHU \leq 20,0; & 1 \\ 20,0 \leq SHU \leq 25,0; & \frac{(25,0-SHU)}{25,0-20,0} \dots\dots\dots(4) \\ SHU \geq 25,0; & 0 \end{cases}$$

$$\mu[HS] = \begin{cases} SHU \leq 20,0 \text{ OR } SHU \geq 35,0; & 0 \\ 20,0 \leq SHU \leq 27,5; & \frac{(SHU-20,0)}{27,5-20,0} \dots\dots\dots(5) \\ 27,5 \leq SHU \leq 35,0; & \frac{(35,0-SHU)}{35,0-27,5} \end{cases}$$

$$\mu[PS] = \begin{cases} SHU \leq 30,0; & 0 \\ 30,0 \leq SHU \leq 35,0; & \frac{(SHU-30,0)}{35,0-30,0} \dots\dots\dots(6) \\ SHU \geq 35,0; & 1 \end{cases}$$

Grafik Keanggotaan PH

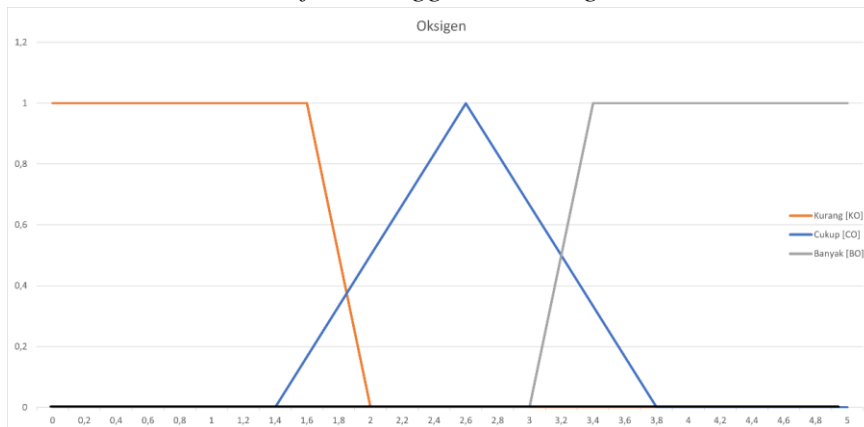


$$\mu[AM] = \begin{cases} PH \leq 5,5; & 1 \\ 5,5 \leq PH \leq 6,5; & \frac{(6,5-PH)}{6,5-5,5} \dots\dots\dots(7) \\ PH \geq 6,5; & 0 \end{cases}$$

$$\mu[NL] = \begin{cases} PH \leq 5,0 \text{ OR } PH \geq 9,0; & 0 \\ 5,0 \leq PH \leq 7,0; & \frac{(PH-5,0)}{7,0-5,0} \dots\dots\dots(8) \\ 7,0 \leq PH \leq 9,0; & \frac{(9,0-PH)}{9,0-7,0} \end{cases}$$

$$\mu[BA] = \begin{cases} PH \leq 8,0; & 0 \\ 8,0 \leq PH \leq 9,0; & \frac{(PH-8,0)}{9,0-8,0} \dots\dots\dots(9) \\ PH \geq 9,0; & 1 \end{cases}$$

Grafik Keanggotaan Oksigen

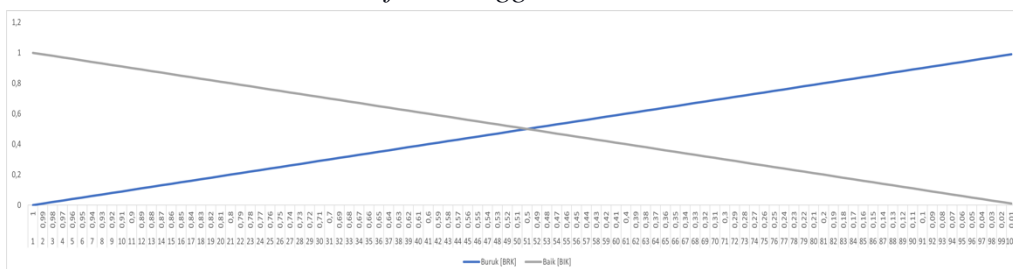


$$\mu[KO] = \begin{cases} OGN \leq 1,6; & 1 \\ 1,6 \leq OGN \leq 2; & \frac{(2-OGN)}{2-1,6} \dots\dots\dots(10) \\ OGN \geq 2; & 0 \end{cases}$$

$$\mu[CO] = \begin{cases} OGN \leq 1,4 \text{ OR } OGN \geq 3,8; & 0 \\ 1,4 \leq OGN \leq 2,6; & \frac{(OGN-1,4)}{2,6-1,4} \dots\dots\dots(11) \\ 2,6 \leq OGN \leq 3,8; & \frac{(3,8-OGN)}{3,8-2,6} \end{cases}$$

$$\mu[BO] = \begin{cases} OGN \leq 3; & 0 \\ 3 \leq OGN \leq 3,4; & \frac{(OGN-3)}{3,4-3} \dots\dots\dots(12) \\ OGN \geq 3,4; & 1 \end{cases}$$

Grafik Keanggotaan Kualitas Air



$$\mu[BRK] = \begin{cases} KW \leq 1; & 1 \\ 1 \leq KW \leq 51; & \frac{(51-KW)}{51-1} \\ KW \geq 51; & 0 \end{cases} \dots\dots\dots(13)$$

$$\mu[BIK] = \begin{cases} KW \leq 51; & 0 \\ 51 \leq KW \leq 100; & \frac{(KW-51)}{100-51} \\ KW \geq 100; & 1 \end{cases} \dots\dots\dots(14)$$

Table Tiga aturan fuzzy yang dibentuk dari table FAM

| No | Keterangan |
|----|--|
| 1 | IF AMO = CA, AND SHU = PS, AND PH = AM, AND OGN = KO, THEN KW= BRK |
| 2 | IF AMO = LA, AND SHU = HS, AND PH = BA, AND OGN = CO, THEN KW= BRK |
| 3 | IF AMO = KA, AND SHU = DS, AND PH = NM, AND OGN = CO, THEN KW= BK |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian sistem inferensi fuzzy (FIS) menunjukkan bahwa sistem ini akurat dalam menentukan kualitas air kolam ikan lele, baik dalam kondisi air baik maupun buruk. FIS juga efektif menangani masukan yang tidak pasti atau di luar batas normal parameter oksigen, pH, amonia, dan suhu, memberikan keputusan yang tepat. Secara keseluruhan, FIS terbukti mampu meningkatkan kualitas air kolam budidaya ikan lele.

TABEL KONDISI KUALITAS AIR KOLAM BUDIDAYA IKAN LELE DARI PAKAR

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °C | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System |
|----|---------------|---------|-----|----------------|------|----------------|--------------------------|
| 1 | 0,40 | 24 | 5 | 3,3 | 0,2 | 20 | MATI |
| 2 | 0,40 | 23 | 5,2 | 3,3 | 0,4 | 40 | MATI |
| 3 | 0,60 | 23 | 4 | 3,6 | 0,16 | 16,66 | MATI |
| 4 | 0,86 | 23 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI |
| 5 | 0,76 | 22 | 5,4 | 3,3 | 0,41 | 41,66 | MATI |
| 6 | 0,22 | 25 | 6,4 | 3,4 | 0,33 | 66,66 | MATI |
| 7 | 0,11 | 25 | 6,5 | 3,5 | 0,25 | 75 | MATI |
| 8 | 0,75 | 21 | 5,7 | 2,6 | 0,8 | 45 | MATI |
| 9 | 0,50 | 22 | 6 | 3,2 | 0,5 | 50 | MATI |
| 10 | 0,40 | 24 | 5,1 | 3,4 | 0,2 | 20 | MATI |
| 11 | 0,86 | 24 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI |
| 12 | 0,40 | 25 | 6,4 | 2,2 | 0,41 | 58,53 | MATI |
| 13 | 0,41 | 26 | 4,2 | 2,3 | 0,70 | 29,26 | MATI |
| 14 | 0,50 | 27 | 4 | 2,5 | 0,79 | 20,83 | MATI |
| 15 | 0,55 | 27 | 5 | 2,6 | 0,66 | 33,33 | MATI |
| 16 | 0,75 | 28 | 5,7 | 2,6 | 0,54 | 45,83 | MATI |
| 17 | 0,45 | 28 | 6,2 | 2,7 | 0,45 | 54,16 | MATI |
| 18 | 0,40 | 29 | 6,4 | 2,8 | 0,41 | 58,33 | MATI |
| 19 | 0,22 | 30 | 6,2 | 2,9 | 0,37 | 62,5 | MATI |
| 20 | 0,03 | 32 | 7,5 | 3 | 0,29 | 70,83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 21 | 0,04 | 27 | 7 | 3,6 | 0,16 | 83,33 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 22 | 0,04 | 28 | 7,1 | 3,7 | 0,08 | 91,66 | NORMAL |
| 23 | 0,04 | 28 | 7,8 | 2,7 | 0,1 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 24 | 0,05 | 27 | 7,5 | 3,5 | 0,18 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 25 | 0,03 | 24 | 7,5 | 3,7 | 0,07 | 92,68 | NORMAL |
| 26 | 0,03 | 20 | 7,5 | 2,6 | 0,95 | 95 | NORMAL |
| 27 | 0,3 | 31 | 5 | 2,1 | 0,37 | 46,66 | MATI |
| 28 | 0,09 | 21 | 7,2 | 2,7 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 29 | 0,05 | 20 | 7,3 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 30 | 0,02 | 20 | 7,5 | 2,6 | 1 | 100 | NORMAL |
| 31 | 0,03 | 20 | 7,4 | 2,6 | 0,97 | 97,5 | NORMAL |
| 32 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,91 | 91,66 | NORMAL |
| 33 | 0,04 | 19 | 7,2 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 34 | 0,03 | 20 | 7 | 2,6 | 0,92 | 92,5 | NORMAL |
| 35 | 0,03 | 20 | 7,1 | 2,7 | 0,91 | 91,66 | NORMAL |
| 36 | 0,04 | 20 | 7 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 37 | 0,05 | 20 | 7 | 2,5 | 0,87 | 87,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 38 | 0,09 | 21 | 7,1 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 39 | 0,05 | 20 | 7,1 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |

| | | | | | | | |
|----|------|----|-----|-----|------|----|-----------------------|
| 40 | 0,08 | 21 | 7,2 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 41 | 0,10 | 21 | 7,6 | 2,9 | 0,7 | 70 | MATI |
| 42 | 0,05 | 20 | 7,2 | 2,5 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 43 | 0,10 | 21 | 6,5 | 2,5 | 0,75 | 75 | MATI |
| 44 | 0,06 | 20 | 6,7 | 2,8 | 0,83 | 83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 45 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °C | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|----|---------------|---------|-----|----------------|------|----------------|-------------------------|
| 1 | 0,40 | 24 | 5 | 3,3 | 0,2 | 20 | MATI |
| 2 | 0,40 | 23 | 5,2 | 3,3 | 0,4 | 40 | MATI |
| 3 | 0,40 | 23 | 4 | 3,6 | 0,16 | 16,66 | MATI |
| 4 | 0,76 | 23 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI |
| 5 | 0,76 | 22 | 5,4 | 3,3 | 0,41 | 41,66 | MATI |
| 6 | 0,22 | 25 | 6,4 | 3,4 | 0,33 | 66,66 | MATI |
| 7 | 0,11 | 25 | 6,5 | 3,5 | 0,25 | 75 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 8 | 0,75 | 21 | 5,7 | 2,6 | 0,8 | 45 | MATI |
| 9 | 0,50 | 22 | 6 | 3,2 | 0,5 | 50 | MATI |
| 10 | 0,40 | 24 | 5,1 | 3,4 | 0,2 | 20 | MATI |
| 11 | 0,86 | 24 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI |
| 12 | 0,40 | 25 | 6,4 | 2,2 | 0,41 | 58,53 | MATI |
| 13 | 0,41 | 26 | 4,2 | 2,3 | 0,70 | 29,26 | MATI |
| 14 | 0,50 | 27 | 4 | 2,5 | 0,79 | 20,83 | MATI |
| 15 | 0,55 | 27 | 5 | 2,6 | 0,66 | 33,33 | MATI |
| 16 | 0,75 | 28 | 5,7 | 2,6 | 0,54 | 45,83 | MATI |
| 17 | 0,45 | 28 | 6,2 | 2,7 | 0,45 | 54,16 | MATI |
| 18 | 0,40 | 29 | 6,4 | 2,8 | 0,41 | 58,33 | MATI |
| 19 | 0,22 | 30 | 6,2 | 2,9 | 0,37 | 62,5 | MATI |
| 20 | 0,03 | 32 | 7,5 | 3 | 0,29 | 70,83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 21 | 0,04 | 27 | 7 | 3,6 | 0,16 | 83,33 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 22 | 0,04 | 28 | 7,1 | 3,7 | 0,08 | 91,66 | NORMAL |
| 23 | 0,04 | 28 | 7,8 | 2,7 | 0,1 | 90 | NORMAL |
| 24 | 0,05 | 27 | 7,5 | 3,5 | 0,18 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 25 | 0,03 | 24 | 7,5 | 3,7 | 0,07 | 92,68 | NORMAL |

**TABEL ANALISIS KUALITAS AIR KOLAM BUDIDAYA IKAN LELE YANG DI ISI
 OLEH PAKAR**

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °c | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|-----------|--------------------------|--------------------|-----------|---------------------------|------------|---------------------------|--|
| 26 | 0,03 | 20 | 7,5 | 2,6 | 0,95 | 95 | NORMAL |
| 27 | 0,3 | 31 | 5 | 2,1 | 0,37 | 46,66 | MATI |
| 28 | 0,09 | 21 | 7,2 | 2,7 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 29 | 0,05 | 20 | 7,3 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 30 | 0,02 | 20 | 7,5 | 2,6 | 1 | 100 | NORMAL |
| 31 | 0,03 | 20 | 7,4 | 2,6 | 0,97 | 97,5 | NORMAL |
| 32 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,91 | 91,66 | NORMAL |
| 33 | 0,04 | 19 | 7,2 | 2,5 | 0,9 | 90 | NORMAL |
| 34 | 0,03 | 20 | 7 | 2,6 | 0,92 | 92,5 | NORMAL |
| 35 | 0,03 | 20 | 7,1 | 2,7 | 0,91 | 91,66 | NORMAL |
| 36 | 0,04 | 20 | 7 | 2,5 | 0,9 | 90 | NORMAL |
| 37 | 0,05 | 20 | 7 | 2,5 | 0,87 | 87,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 38 | 0,09 | 21 | 7,1 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 39 | 0,05 | 20 | 7,1 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 40 | 0,08 | 21 | 7,2 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 41 | 0,10 | 21 | 7,6 | 2,9 | 0,7 | 70 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 42 | 0,05 | 20 | 7,2 | 2,5 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 43 | 0,10 | 21 | 6,5 | 2,5 | 0,75 | 75 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 44 | 0,06 | 20 | 6,7 | 2,8 | 0,83 | 83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 45 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,9 | 90 | NORMAL |

TABEL KONDISI KUALITAS AIR BUDIDAYA IKAN LELE DARI SISTEM DAN DARI PAKAR

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °C | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|----|---------------|---------|-----|----------------|------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 1 | 0,40 | 24 | 5 | 3,3 | 0,2 | 20 | MATI | MATI |
| 2 | 0,40 | 23 | 5,2 | 3,3 | 0,4 | 40 | MATI | MATI |
| 3 | 0,60 | 23 | 4 | 3,6 | 0,16 | 16,66 | MATI | MATI |
| 4 | 0,86 | 23 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI | MATI |
| 5 | 0,76 | 22 | 5,4 | 3,3 | 0,41 | 41,66 | MATI | MATI |
| 6 | 0,22 | 25 | 6,4 | 3,4 | 0,33 | 66,66 | MATI | MATI |
| 7 | 0,11 | 25 | 6,5 | 3,5 | 0,25 | 75 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 8 | 0,75 | 21 | 5,7 | 2,6 | 0,8 | 45 | MATI | MATI |
| 9 | 0,50 | 22 | 6 | 3,2 | 0,5 | 50 | MATI | MATI |
| 10 | 0,40 | 24 | 5,1 | 3,4 | 0,2 | 20 | MATI | MATI |
| 11 | 0,86 | 24 | 3 | 3,7 | 0,08 | 8,33 | MATI | MATI |
| 12 | 0,40 | 25 | 6,4 | 2,2 | 0,41 | 58,53 | MATI | MATI |
| 13 | 0,41 | 26 | 4,2 | 2,3 | 0,70 | 29,26 | MATI | MATI |
| 14 | 0,50 | 27 | 4 | 2,5 | 0,79 | 20,83 | MATI | MATI |
| 15 | 0,55 | 27 | 5 | 2,6 | 0,66 | 33,33 | MATI | MATI |
| 16 | 0,75 | 28 | 5,7 | 2,6 | 0,54 | 45,83 | MATI | MATI |
| 17 | 0,45 | 28 | 6,2 | 2,7 | 0,45 | 54,16 | MATI | MATI |
| 18 | 0,40 | 29 | 6,4 | 2,8 | 0,41 | 58,33 | MATI | MATI |
| 19 | 0,22 | 30 | 6,2 | 2,9 | 0,37 | 62,5 | MATI | MATI |
| 20 | 0,03 | 32 | 7,5 | 3 | 0,29 | 70,83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 21 | 0,04 | 27 | 7 | 3,6 | 0,16 | 83,33 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 22 | 0,04 | 28 | 7,1 | 3,7 | 0,08 | 91,66 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |

| | | | | | | | | |
|----|------|----|-----|-----|-----|----|-----------------------|--------|
| 23 | 0,04 | 28 | 7,8 | 2,7 | 0,1 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
|----|------|----|-----|-----|-----|----|-----------------------|--------|

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °C | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|----|---------------|---------|-----|----------------|-------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 24 | 0,05 | 27 | 7,5 | 3,5 | 0,18 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 25 | 0,03 | 24 | 7,5 | 3,7 | 0,073 | 92,68 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 26 | 0,03 | 20 | 7,5 | 2,6 | 0,95 | 95 | NORMAL | NORMAL |
| 27 | 0,3 | 31 | 5 | 2,1 | 0,37 | 46,66 | MATI | MATI |
| 28 | 0,09 | 21 | 7,2 | 2,7 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 29 | 0,05 | 20 | 7,3 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 30 | 0,02 | 20 | 7,5 | 2,6 | 1 | 100 | NORMAL | NORMAL |
| 31 | 0,03 | 20 | 7,4 | 2,6 | 0,975 | 97,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 32 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,916 | 91,66 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 33 | 0,04 | 19 | 7,2 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 34 | 0,03 | 20 | 7 | 2,6 | 0,925 | 92,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 35 | 0,03 | 20 | 7,1 | 2,7 | 0,916 | 91,66 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 36 | 0,04 | 20 | 7 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 37 | 0,05 | 20 | 7 | 2,5 | 0,875 | 87,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 38 | 0,09 | 21 | 7,1 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 39 | 0,05 | 20 | 7,1 | 2,6 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |

| NO | Amonia (mg/L) | Suhu °C | PH | Oksigen (mg/L) | FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|----|---------------|---------|-----|----------------|-------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 40 | 0,08 | 21 | 7,2 | 2,6 | 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 41 | 0,10 | 21 | 7,6 | 2,9 | 0,7 | 70 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 42 | 0,05 | 20 | 7,2 | 2,5 | 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 43 | 0,10 | 21 | 6,5 | 2,5 | 0,75 | 75 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 44 | 0,06 | 20 | 6,7 | 2,8 | 0,833 | 83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 45 | 0,04 | 20 | 7,1 | 2,5 | 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |

PENGUKURAN TINGKAT AKURASI

Bagian ini menjelaskan pengukuran akurasi sistem inferensi kualitas air kolam ikan lele menggunakan metode fuzzy logic Tsukamoto. Pengukuran akurasi dilakukan dengan confusion matrix 3x3 untuk tiga kategori: mati, pertumbuhan terhambat, dan normal. Hasilnya menunjukkan akurasi sistem sebesar 82,2% dan error rate 17,7%, menunjukkan bahwa sistem ini efektif dalam menentukan kualitas air.

| FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|-------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 0,2 | 20 | MATI | MATI |
| 0,4 | 40 | MATI | MATI |
| 0,166 | 16,66 | MATI | MATI |
| 0,083 | 8,33 | MATI | MATI |
| 0,416 | 41,66 | MATI | MATI |
| 0,333 | 66,66 | MATI | MATI |
| 0,25 | 75 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,8 | 80 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,5 | 50 | MATI | MATI |
| 0,2 | 20 | MATI | MATI |
| 0,083 | 8,33 | MATI | MATI |
| 0,414 | 58,53 | MATI | MATI |
| 0,707 | 29,26 | MATI | MATI |
| 0,791 | 20,83 | MATI | MATI |
| 0,666 | 33,33 | MATI | MATI |
| 0,541 | 45,83 | MATI | MATI |
| 0,458 | 54,16 | MATI | MATI |
| 0,416 | 58,33 | MATI | MATI |
| 0,375 | 62,5 | MATI | MATI |
| 0,291 | 70,83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,166 | 83,33 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,083 | 91,66 | NORMAL | NORMAL |

| FIS | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|-------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 0,8 | 80 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,7 | 70 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,75 | 75 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,833 | 83 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |

| NO | Kualitas Air % | Kondisi Ikan Lele System | Kondisi Ikan Lele Pakar |
|-------|----------------|--------------------------|-------------------------|
| 0,1 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,073 | 92,68 | NORMAL | NORMAL |
| 0,95 | 95 | NORMAL | NORMAL |
| 0,370 | 46,66 | MATI | MATI |
| 0,8 | 80 | MATI | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 1 | 100 | NORMAL | NORMAL |
| 0,975 | 97,5 | NORMAL | NORMAL |
| 0,916 | 91,66 | NORMAL | NORMAL |
| 0,9 | 90 | NORMAL | NORMAL |
| 0,925 | 92,5 | NORMAL | NORMAL |
| 0,916 | 91,66 | NORMAL | NORMAL |
| 0,9 | 90 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | NORMAL |
| 0,875 | 87,5 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,8 | 80 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |
| 0,85 | 85 | PERTUMBUHAN TERHAMBAT | PERTUMBUHAN TERHAMBAT |

**TABEL PENGUKURAN TINGKAT
AKURASI SISTEM**

Keterangan:

1. Data Testing = 45
2. Mati = 18
3. Pertumbuhan Terhambat = 10
4. Normal = 9

Berikut ini adalah tabel dari confusion matrix:

TABEL CONFICION MATRIX

| Confusion Matrix | Predicted Class | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|--------|
| | Mati | Pertumbuhan Terhambat | Normal |
| Mati | 18 | 6 | 0 |
| Pertumbuhan Terhambat | 0 | 10 | 2 |
| Normal | 0 | 0 | 9 |

Setelah aplikasi melakukan klasifikasi, lalu hitung nilai accuracy dan error rate dengan rumus 2.3 untuk menghitung accuracy dan rumus 2.4 untuk menghitung error rate:

$$\begin{aligned} \text{Accuracy} &= \frac{18+10+9}{18+0+6+10+0+0+2+9} \times 100\% \\ &= \frac{37}{45} \times 100\% = 82,2\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Error Rate} &= \frac{6+0+0+2+0+0}{18+0+6+10+0+0+2+9} \times 100\% \\ &= \frac{8}{45} \times 100\% = 17,7\% \end{aligned}$$

Penelitian ini menggunakan sistem fuzzy Tsukamoto untuk menentukan kualitas air kolam budidaya ikan lele. Metode yang digunakan adalah Confusion Matrix Multi-class Classification

3x3 yang digunakan untuk mengklasifikasikan kualitas air kolam budidaya ikan lele. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan tingkat akurasi sebesar 82,2% dan error rate sebesar 17,7%, yang dapat dikategorikan sebagai hasil yang baik dalam menentukan kualitas air kolam budidaya ikan lele.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan metode fuzzy logic Tsukamoto membuktikan efektivitasnya dalam menentukan tingkat kualitas air pada kolam budidaya ikan lele. Analisis akurasi yang dilakukan dengan metode confusion matrix menunjukkan hasil yang baik, dengan nilai akurasi sebesar 82,2% dan error rate sebesar 17,7%. Ini menegaskan bahwa metode ini merupakan opsi yang layak dan dapat dipertimbangkan sebagai metode alternatif dalam pengukuran tingkat kualitas air

REFERENSI

- [1] H. Pujiharsono, D. Kurnianto, and D. Kurnianto, "Sistem inferensi fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kualitas air pada kolam bioflok dalam budidaya ikan lele Mamdani fuzzy inference system for mapping water quality level of biofloc ponds," vol. 8, no. April, pp. 84–88, 2020, doi: 10.14710/jtsiskom.8.2.2020.84-88.
- [2] R. Pi and F. Budiman, "Monitoring and Control System for Ammonia and pH Levels for Fish Cultivation Implemented on," pp. 68–73, 2019.
- [3] J. N. Mindoro, C. F. Cunanan, E. U. Y. Ii, E. M. Cepe, and M. J. Polinar, "Fuzz-Fish : A Design and Implementation of Fuzzy Fishpond Aquaculture Control Sensing System," 2020.
- [4] A. Shaout and S. G. Scott, "IoT Fuzzy Logic Aquaponics Monitoring and Control Hardware Real-Time System," 2017.
- [5] D. S. Rana and S. Rani, "Fuzzy Logic Based Control System for Fresh Water Aquaculture : A MATLAB based Simulation Approach," vol. 12, no. 2, pp. 171–182, 2015, doi: 10.2298/SJEE1502171R.
- [6] S. Sembiring, A. Rifai, P. Adhi, and K. Tarigan, "Perancangan Sistem Pengatur pH Air Akuarium Menggunakan Kendali Logika Fuzzy," vol. 4221, no. April, pp. 13–24, 2020.
- [7] N. Umar *et al.*, "Monitoring ph air budidaya ikan lele 1)," vol. 2018, pp. 78–82, 2018.
- [8] H. Nur, R. Dhana, B. M. Basuki, M. T. Elektro, D. T. Elektro, and U. I. Malang, "PROTOTYPE PENGATUR KADAR PH DAN PEMBERIAN PAKAN IKAN KOI SECARA OTOMATIS MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER," pp. 1–6.
- [9] O. Monitoring, D. A. N. Pengaturan, and G. Imaduddin, "LARUTAN DAN SUHU AIR KOLAM IKAN PADA PEMBENIHAN IKAN LELE," vol. 7.
- [10] K. C. Bagaskoro, "Pengunaan Arduino uno untuk Pengukuran Suhu , Ph dan Do Air Kolam Ikan Bawal Menggunakan Logika Fuzzy," vol. 6, no. 2, pp. 138–142, 2019.
- [11] F. Ilmu, T. Informasi, U. Gunadarma, J. Margonda, R. No, and J. Barat, "Sistem Kontrol dan Monitoring Kadar pH Air pada Sistem Akuaponik Berbasis NodeMCU ESP8266 Pendahuluan Gambaran Umum Com-," vol. 19, pp. 597–604, 2020.
- [12] A. Hidayat and R. Darmansyah, "Alat Pengatur Takaran Pakan Ikan Otomatis Menggunakan Metoda Fuzzy dengan Sensor Suhu dan pH," vol. 12, no. April, pp. 28–33, 2020.
- [13] YEL, Esra; YALPIR, Sukran. Prediction of primary treatment effluent parameters by Fuzzy

- Inference System (FIS) approach. *procedia computer science*, 2011, 3: 659-665.
- [14] RIZVI, Syed, et al. A fuzzy inference system (FIS) to evaluate the security readiness of cloud service providers. *Journal of cloud computing*, 2020, 9: 1-17.
- [15] AFIFAH, MUKMINATUL. PERANCANGAN SISTEM MANAJEMEN RISIKO RANTAI DINGIN IKAN TUNA BEKU DENGAN PENDEKATAN LOGIKA FUZZY (STUDI KASUS: KLASER INDUSTRI LAMPULO). *ETD Unsyiah*, 2019.
- [16] CAHYANTARA, Alberto Riolly; CORDOVA, Hendra. Rancang Bangun Sistem Pengendali Kadar Oksigen Terlarut dengan Algoritma Fuzzy Logic Controller pada Budidaya Akuaponik. *Jurnal Teknik ITS*, 2017, 6.2: A707-A711.
- [17] RAMDHANI, Ali Husni. *IMPLEMENTASI SISTEM AKUARIUM IKAN LOUHAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC*. 2021. PhD Thesis. Politeknik Harapan Bersama Tegal.
- [18] RAMDHANI, Ali Husni. *IMPLEMENTASI SISTEM AKUARIUM IKAN LOUHAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC*. 2021. PhD Thesis. Politeknik Harapan Bersama Tegal.
- [19] FRADINATA, Edy; ASMADI, Didi; AMMARIZA, Ammariza. Strategi Mitigasi Risiko pada Produksi Ikan Tuna Menggunakan Metode House of Risk dan Fuzzy. *Jurnal Serambi Engineering*, 2022, 7.4.