



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 in catfish cultivation

Herryawan Pujiharsono^{*)}, Danny Kurnianto

Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Jl. D.I. Panjaitan No. 128, Purwokerto, Indonesia 53147

Cara sitasi: H Pujiharsono and D. Kurnianto, "Sistem inferensi fuzzy Mamdani untuk menentukan tingkat kualitas air pada kolam bioflok dalam budidaya ikan lele," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 84-88, 2020. doi: [10.14710/jtsiskom.8.2.2020.84-88](https://doi.org/10.14710/jtsiskom.8.2.2020.84-88), [Online].

Abstract - The government has launched a program to increase the production of catfish by using biofloc ponds. The biofloc ponds can maintain the quality of water biologically to maximize the growth of fish. However, the level of water quality monitoring is generally only divided into good or bad categories so that it cannot represent the condition of fish growth. Therefore, this study aims to get the level of water quality (0–100 %) using the Mamdani fuzzy inference system (FIS) algorithm based on pH, temperature, and dissolved oxygen (DO). The level of water quality was correlated based on catfish growth conditions. The results showed that the range of values of the water quality level for each condition of catfish growth was 100 % for normal-living fish, 83–99 % for stunted fish growth, and < 83% for threatened fish. The FIS algorithm had 89.92 % of accuracy.

Keywords – Mamdani FIS; pH level; temperature monitoring; dissolved oxygen concentration; catfish biofloc

Abstrak - Penerapan kolam bioflok menjadi salah satu program pemerintah untuk meningkatkan produksi ikan lele. Kolam bioflok mempunyai kemampuan untuk menjaga kualitas air secara biologis agar pertumbuhan ikan maksimal. Namun, penentuan kualitas air umumnya hanya dikategorikan ke dalam kondisi baik atau buruk saja sehingga kurang mewakili kondisi pertumbuhan ikan lele. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai dari tingkat kualitas air (0–100 %) menggunakan sistem inferensi fuzzy (FIS) Mamdani yang didasarkan dari parameter pH, suhu, dan oksigen terlarut (DO). Nilai tingkat kualitas air dipetakan sesuai dengan kondisi pertumbuhan ikan lele. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rentang nilai dari tingkat kualitas air untuk setiap kondisi pertumbuhan ikan lele adalah 100 % untuk ikan hidup normal, 83–99 % untuk

pertumbuhan ikan terhambat, dan < 83 % untuk ikan terancam mati. Algoritme FIS yang dihasilkan mempunyai akurasi sebesar 89,92 %.

Kata kunci – FIS Mamdani; level pH; pemantauan suhu; kadar oksigen terlarut; bioflok ikan lele

I. PENDAHULUAN

Ikan lele merupakan salah satu dari sepuluh komoditas budidaya unggulan Indonesia. Pada tahun 2013, Indonesia mendominasi produksi lele dunia dengan *share* sebesar 75,6 % terhadap total produksi ikan lele dunia [1]. Kondisi ini menjadikan ikan lele sebagai salah satu komoditas budidaya unggulan Indonesia peringkat ketiga setelah ikan gurame dan rumput laut. Selain itu, perkembangan budidaya ikan lele di Indonesia memiliki peningkatan rata-rata yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan produksi komoditas unggulan teratas seperti ikan gurame dan rumput laut, yaitu sebesar 47,21 %. Selain itu, produksi ikan lele nasional pada tahun 2015 mengalami peningkatan yang paling tinggi jika dibandingkan dengan sepuluh komoditas unggulan teratas, yaitu sebesar 18,88 % [2].

Namun, peningkatan produksi ikan lele tersebut belum mampu memenuhi target produksi yang telah ditetapkan secara konsisten. Capaian produksi produksi lele rata-rata tahun 2010-2012 berada di angka 90,35 % dari target yang telah ditetapkan dan meningkat pada tahun 2013 dengan produksi mencapai 108,35 % dari perencanaan [1], namun kembali menurun pada tahun 2015 menjadi 67,99 % [2]. Hal tersebut membuat pemerintah saat ini berupaya untuk dapat meningkatkan produksi lele nasional dan mendukung penguatan produksi ikan lele sebagai komoditas unggulan Indonesia. Salah satu upaya yang sudah dilakukan adalah dengan mendukung penerapan kolam bioflok pada budidaya ikan lele. Bahkan, pemerintah menargetkan agar kolam bioflok tersebut dapat diterapkan di 24 lokasi budidaya lele pada tahun 2019 melalui rancangan program *quickwins*.

^{*)} Penulis korespondensi (Herryawan Pujiharsono)
Email: herryawan@ittelkom-pwt.ac.id

Kolam bioflok merupakan kolam budidaya ikan/tambak intensif yang menerapkan sistem probiotik untuk mengatasi masalah kualitas air dengan memanfaatkan aktivitas bakteri. Aktivitas bakteri diperlukan untuk mengolah limbah organik dari sisa pakan buatan (pelet) dan feses menjadi kumpulan mikroorganisme yang berbentuk flok sehingga limbah tersebut tidak menghasilkan gas toksik yang mempunyai dampak negatif bagi metabolisme ikan, namun membuat kualitas air tetap terjaga baik dan sekaligus menjadi makanan alami untuk ikan [3]. Kolam yang mengandung bakteri pengolah limbah (probiotik) memiliki kualitas air yang lebih baik dan dapat berdampak positif pada pertumbuhan panjang dan berat ikan [4]-[6].

Walaupun sistem bioflok dapat mengatasi permasalahan kualitas air, namun kualitas air ini juga dapat menurun seiring dengan kepadatan dan pertumbuhan ikan lele di dalam kolam. Bakteri pengolah limbah pada sistem bioflok termasuk dalam jenis bakteri aeraob yang membutuhkan oksigen untuk mengurai limbah menjadi flok. Ketika suplai oksigen berkurang akibat kepadatan dan pertumbuhan ikan lele, maka aktivitas bakteri dalam mengolah limbah dapat menurun sehingga limbah menjadi tidak terurai dan dapat meningkatkan gas toksik di dalam air.

Peningkatan gas toksik tersebut membuat pH air menjadi lebih asam dan suhu air menjadi lebih panas. Hal tersebut menunjukkan kualitas air yang semakin memburuk dan dapat membuat ikan menjadi *stress* yang berakibat pada menurunnya nafsu makan, pertumbuhan terhambat, dan bahkan dapat menyebabkan kematian pada ikan lele. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air perlu dilakukan secara berkala untuk mempertahankan kualitas air pada nilai yang ideal [7]-[10].

Penentuan kualitas air umumnya hanya didasarkan dari satu atau dua parameter saja dan dikategorikan pada dua kondisi saja, yaitu baik dan buruk. Kualitas air dikatakan baik jika parameter yang diukur berada dalam kondisi ideal dan kondisi buruk jika berada di luar kondisi ideal. Akibatnya penilaian kualitas air kurang mewakili kondisi pertumbuhan ikan yang sebenarnya. Sistem inferensi fuzzy (FIS) dapat diterapkan untuk mengatasi penentuan kondisi yang kaku ini, seperti yang telah diterapkan dalam penentuan kualitas air sungai [11], penentuan status gizi balita [12], dan penentuan lokasi pengembangan sentra peternakan rakyat [13].

Chalilulloh dan Syaury [8] mengimplementasikan sistem FIS untuk mengukur kualitas air dalam budidaya ikan lele berdasarkan suhu dan kekeruhan air. Pemantauan kualitas air berdasarkan pH dan ketinggian air juga telah dilakukan dalam [9]. Namun, pemantauan kualitas air menggunakan FIS tersebut tidak mempertimbangkan parameter kandungan oksigen yang terlarut dalam air (DO, *dissolved oxygen*). Padahal, oksigen terlarut dalam air merupakan parameter terpenting yang menentukan kualitas air [14].

Penelitian ini bertujuan mengimplementasikan algoritme FIS Mamdani untuk menentukan tingkat kualitas air kolam bioflok dalam budidaya ikan lele

menggunakan parameter suhu, pH, dan oksigen terlarut. Tiap parameter tersebut memiliki batasan kondisi ideal yang menunjukkan kualitas air dalam kolam tersebut dalam keadaan baik, yaitu suhu air (25–30 °C), pH air (6,5–8,6), dan oksigen terlarut (>1,7 mg/L) [15]. Berbeda dengan [10] yang menggunakan parameter yang sama dan metode fuzzy SAW untuk pemeringkatan kolam berdasarkan kualitas air, penelitian ini melakukan pemetaan antara hasil nilai kualitas air dengan kondisi pertumbuhan ikan lele sehingga diperoleh hubungan tingkat kualitas air kolam budidaya dengan kondisi ikan. Hasil pemetaan tersebut lebih lanjut dapat digunakan untuk keperluan pemantauan secara jarak jauh dengan menggunakan teknologi *internet of things* (IoT).

II. METODE PENELITIAN

Penentuan tingkat kualitas air pada penelitian ini dilakukan menggunakan algoritme FIS Mamdani berdasarkan tiga parameter masukan, yaitu suhu, pH, dan oksigen terlarut dengan melihat batasan kondisi ideal yang telah ditetapkan sesuai [15]. Langkah-langkah perancangan algoritme FIS meliputi fuzzifikasi parameter masukan dan keluaran, penentuan aturan fuzzy, dan defuzzifikasi.

Fuzzifikasi digunakan untuk memetakan nilai *crisp* ke dalam himpunan fuzzy melalui fungsi keanggotaan fuzzy. Parameter masukan suhu air (T) dibagi menjadi tiga nilai linguistik, yaitu Dingin, Hangat, dan Panas dengan fungsi keanggotaan masing-masing ditunjukkan pada Gambar 1. Suhu ideal untuk pertumbuhan ikan lele dalam kolam bioflok adalah 25–30 °C sehingga pada nilai tersebut dikategorikan sebagai Hangat (1), sedangkan 0–25 °C menjadi daerah abu-abu antara dingin dan hangat, dan 25–50°C menjadi daerah abu-abu antara hangat dan panas.

Parameter masukan pH air (P) dibagi menjadi 3 (tiga) nilai linguistik, yaitu Asam, Netral, dan Basa dengan fungsi keanggotaan masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai pH ideal untuk pertumbuhan ikan lele dalam kolam bioflok adalah 6,5–8,6 sehingga pada nilai tersebut dikategorikan sebagai Netral (1), sedangkan 0–6,5 menjadi daerah abu-abu antara asam dan netral, dan 8,6–14 menjadi daerah abu-abu antara netral dan basa.

Parameter masukan oksigen terlarut (D) dibagi menjadi 2 (dua) nilai linguistik, yaitu Kurang dan Cukup dengan fungsi keanggotaan masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3. Kadar oksigen terlarut yang ideal untuk pertumbuhan ikan lele dalam kolam bioflok adalah > 1,7 mg/L sehingga pada nilai tersebut dikategorikan sebagai Cukup (1), sedangkan 0–1,7 mg/L menjadi daerah abu-abu antara kurang dan cukup.

Parameter keluaran tingkat kualitas air (Q) dibagi menjadi 2 nilai linguistik, yaitu Buruk (0) dan Baik (1) sesuai dengan kebiasaan dalam mengkategorikan tingkat kualitas air sehingga nilai 0–1 menjadi daerah abu-abu antara buruk dan baik. Fungsi keanggotaan masing-

masing nilai linguistik tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.

Aturan fuzzy digunakan untuk memetakan beberapa kemungkinan keluaran yang dihasilkan dari kombinasi parameter yang dimasukkan. Aturan fuzzy yang digunakan pada perancangan FIS ini adalah sebanyak tiga buah aturan seperti dinyatakan dalam Algoritme 1. Ketiga aturan tersebut menggunakan metode implikasi MAX sesuai dengan asumsi bahwa kualitas air dikatakan buruk ketika salah satu parameter tidak ideal.

Algoritme 1. Aturan FIS kualitas air

- 1: **if** (T is Dingin) **or** (P is Asam) **or** (D is Kurang) **then** (Q is Buruk)
- 2: **if** (T is Panas) **or** (P is Basa) **then** (Q is Buruk)
- 3: **if** (T is Hangat) **or** (P is Netral) **or** (D is Cukup) **then** (Q is Baik)

Hasil dari setiap aturan fuzzy dikombinasikan dengan metode agregasi MAX sehingga menjadi sebuah area himpunan fuzzy tunggal. Dari area tersebut, dapat diperoleh nilai kualitas air menggunakan metode centroid yang dinyatakan dalam Persamaan 1.

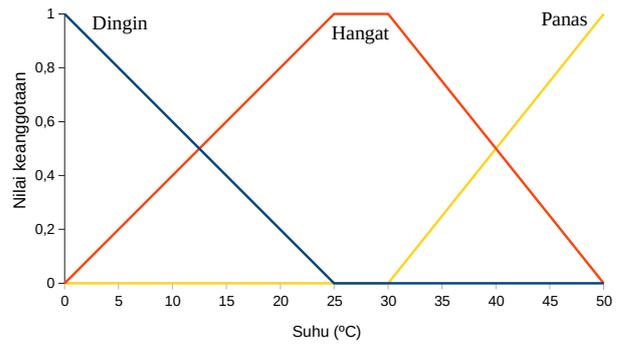
$$Z^i = \frac{\int z \cdot \mu_c(z) dz}{\int \mu_c(z)} \quad (1)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

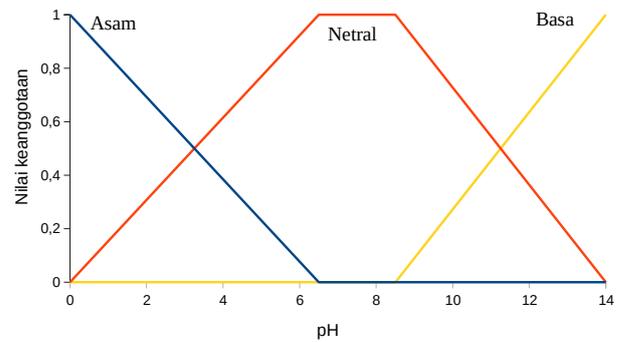
Penelitian ini melakukan pemetaan antara hasil nilai kualitas air dengan kondisi pertumbuhan ikan lele di dalam kolam sehingga diperoleh hubungan tingkat kualitas air dengan kondisi ikan. Kondisi ikan dipetakan berdasarkan tiap parameter suhu, pH, dan kadar DO.

Hasil pemetaan kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan suhunya ditunjukkan dalam Tabel 1. Kondisi ikan hidup dan tumbuh normal saat suhu antara 25 °C sampai dengan 30 °C. Ikan mengalami hambatan tumbuh saat suhu 16–24 °C atau suhu 31–32 °C. Kondisi ikan mati saat suhu di bawah 16 °C atau di atas 32 °C. Hal ini bersesuaian dengan [14] yang menyatakan bahwa suhu 24–31 °C merupakan kisaran suhu normal untuk pertumbuhan *Daphnia spp.* yang dimanfaatkan sebagai pakan alami saat pembenihan ikan. Lebih lanjut, jangkauan suhu ini sesuai dengan [6] sebagai suhu yang dapat membuat benih lele bioflok bertambah lebih panjang dibandingkan kolam konvensional.

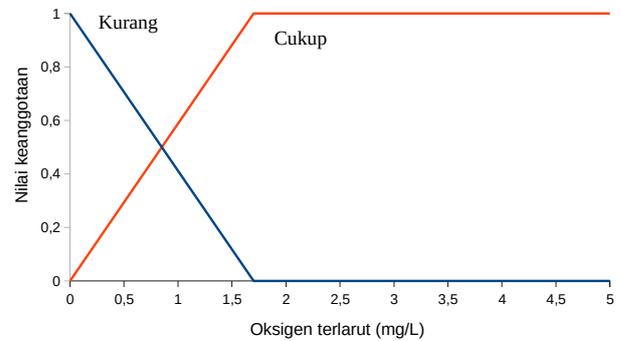
Hasil pemetaan kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan pH-nya ditunjukkan dalam Tabel 2. Kondisi ikan hidup dan tumbuh normal saat pH antara 6,5 sampai dengan 8,5. Ikan mengalami hambatan tumbuh saat pH 4–6,4 atau pH 8,6–11 °C. Kondisi ikan mati saat suhu di bawah 4 atau di atas 11. Hal ini bersesuaian dengan [14] yang menyatakan bahwa pH 6,5–7,8 merupakan kisaran pH yang normal untuk pertumbuhan *Daphnia spp.*. Lebih lanjut, jangkauan pH ini sesuai dengan [6] sebagai pH yang terukur dalam kolam bioflok benih lele yang dapat membuat pertumbuhannya lebih panjang.



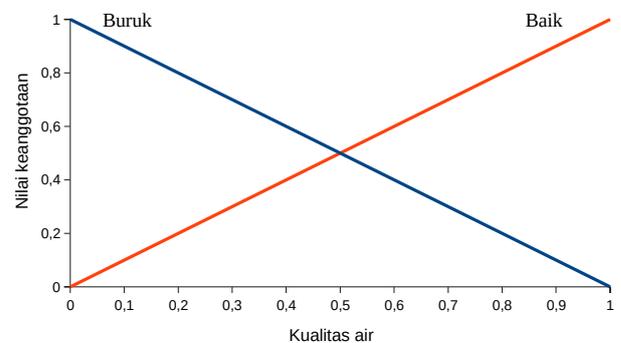
Gambar 1. Fungsi keanggotaan parameter suhu



Gambar 2. Fungsi keanggotaan parameter pH



Gambar 3. Fungsi keanggotaan parameter oksigen terlarut



Gambar 4. Fungsi keanggotaan tingkat kualitas air

Hasil pemetaan kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan oksigen terlarutnya ditunjukkan dalam Tabel 3. Ikan hidup dan tumbuh normal di kadar DO lebih dari 1,7 mg/L. Ikan mengalami hambatan tumbuh saat kadar DO 0,5–1,7 mg/L. Kondisi ikan mati saat kadar DO di bawah 0,5 mg/L. Kadar DO yang lebih

tinggi dapat meningkatkan pertumbuhan ikan seperti dalam [6].

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai secara acak (*random*) untuk tiap parameter masukan dengan mengkombinasikan semua kemungkinan nilai suhu, nilai pH, dan kadar DO. Nilai-nilai tersebut dimasukkan pada algoritme FIS untuk mendapatkan nilai yang merepresentasikan tingkat kualitas air. Nilai tersebut dibandingkan dengan pemetaan kondisi pertumbuhan ikan lele untuk mendapatkan rentang nilai dari tingkat kualitas air berdasarkan kondisi ikan lele.

Hasil pemetaan tingkat kualitas air terhadap masukan suhu, pH, dan kadar DO secara acak tersebut ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai tingkat kualitas air diperoleh dari hasil normalisasi nilai FIS dengan menggunakan normalisasi *min-max*. Nilai *min* dan *max* dari nilai FIS yang diperoleh dari hasil perancangan adalah 0,33 dan 0,67, sedangkan nilai *min* dan *max* dari tingkat kualitas air adalah 0 dan 100 yang menunjukkan nilai persentase (%).

Kondisi ikan pada Tabel 4 dibandingkan dengan kondisi ikan berdasarkan nilai suhu (Tabel 1), kondisi ikan berdasarkan nilai pH (Tabel 2), dan kondisi ikan berdasarkan kadar DO (Tabel 3). Kondisi ikan termasuk pada kategori pertumbuhan terhambat ketika terdapat salah satu nilai parameter berada dalam rentang dimana kondisi ikan mengalami pertumbuhan terhambat (ditunjukkan oleh nilai bertanda *). Namun, ketika terdapat salah satu parameter berada pada rentang nilai terancam kematian (ditunjukkan oleh nilai bertanda **), kondisi ikan termasuk ke dalam kategori ikan mati.

Dari hasil tersebut, hubungan antara kondisi pertumbuhan ikan lele dengan tingkat kualitas air dinyatakan pada Tabel 5. Ikan akan hidup normal hanya saat tingkat kualitas air berada di nilai 100 %. Ketika tingkat kualitas air menurun hingga batas nilai 83 %, ikan dapat bertahan hidup tetapi pertumbuhannya menjadi terhambat. Ketika tingkat kualitas air menurun hingga di bawah 83 %, potensi jumlah ikan yang terancam mati semakin besar.

Mengacu pada rentang nilai tersebut, terdapat tiga nilai tingkat kualitas air pada Tabel 4 yang tidak sesuai dengan kondisi ikan, yaitu 60,00%, 62,35%, dan 90,88%. Dari 28 kondisi suhu, pH, dan kadar DO, terdapat 3 kondisi yang tidak sesuai sehingga akurasi algoritma FIS yang dirancang pada penelitian ini adalah sebesar 89,29 %.

Hasil yang diperoleh dari kajian ini dapat dikombinasikan dengan [10] sehingga diperoleh perangkaan kolam berdasarkan kualitas air yang dapat memberi gambaran kondisi pertumbuhan ikan di kolam tersebut. Kombinasi dapat dilakukan karena rentang nilai pada Tabel 5 juga dapat digunakan pada hasil pemeringkatan yang diperoleh pada penelitian. Analisis perbandingan kinerja pemetaan kualitas air kolam budidaya terhadap kondisi pertumbuhan ikan lele dengan metode FIS lain dapat dilakukan, misalnya dengan Sugeno [8] dan Tsukamoto [9], walaupun FIS Mamdani ini dinyatakan lebih baik daripada Tsukamoto dalam [16].

Tabel 1. Kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan suhu

Suhu (°C)	Kondisi Pertumbuhan Ikan Lele
< 16	Mati
16 – 24	Pertumbuhan terhambat
25 – 30	Normal
31 – 32	Pertumbuhan terhambat
> 32	Mati

Tabel 2. Kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan pH air

pH	Kondisi Pertumbuhan Ikan Lele
< 4	Mati
4 – 6,4	Pertumbuhan terhambat
6,5 – 8,5	Normal
8,6 – 11	Pertumbuhan terhambat
> 11	Mati

Tabel 3. Kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan kadar oksigen terlarut

DO (mg/L)	Kondisi Pertumbuhan Ikan Lele
< 0,5	Mati
0,5 – 1,7	Pertumbuhan terhambat
> 1,7	Normal

Tabel 4. Hasil pengujian FIS dengan beragam masukan

Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	FIS	Kualitas air (%)	Kondisi ikan lele
0**	0**	0**	0,33	0	ikan mati
14,54**	13,58**	0,43**	0,454	36,47	ikan mati
48,17**	11,24**	1,02*	0,458	37,64	ikan mati
16,75*	11,67**	0,21**	0,474	42,35	ikan mati
8,97**	4,65*	0,04**	0,476	42,94	ikan mati
1,77**	9,83*	0,36**	0,486	45,88	ikan mati
31,67*	4,72*	0,04**	0,498	49,41	ikan mati
31,82*	13,18**	3,3	0,507	52,05	ikan mati
25,69	5,88*	0,35**	0,513	53,82	ikan mati
23,45*	6,37*	0,59*	0,534	60,00	tumbuh terhambat
20,82*	6,78	0,66*	0,542	62,35	tumbuh terhambat
21,24*	11,57**	9,51	0,556	66,47	ikan mati
27,22	11,33**	1,19*	0,567	69,70	ikan mati
12,73**	5,87*	3,19	0,57	70,58	ikan mati
13,71**	6,67	1,42*	0,581	73,82	ikan mati
14,66**	9,73*	4,82	0,591	76,76	ikan mati
37,03**	9,4*	9,63	0,608	81,76	ikan mati
16,64*	8,8*	6,42	0,613	83,23	tumbuh terhambat
30,78*	4,4*	4,06	0,616	84,11	tumbuh terhambat
18,72*	7,89	14,76	0,634	89,41	tumbuh terhambat
22,37*	4,91*	15,74	0,635	89,70	tumbuh terhambat
34,58**	6,71	7,01	0,639	90,88	ikan mati
27,92	5,04*	4,93	0,64	91,17	tumbuh terhambat
25,03	6,91	1,43*	0,654	95,29	tumbuh terhambat
31,65*	9,3*	3,44	0,659	96,76	tumbuh terhambat
31,64*	8,06	7,23	0,665	98,52	tumbuh terhambat
27,92	8,75*	7,35	0,669	99,70	tumbuh terhambat
27,46	6,65	3,57	0,67	100	ikan hidup normal

Nilai tingkat kualitas air dan rentang nilai tersebut juga dapat digunakan pada kolam ikan lainnya yang memiliki batasan kondisi ideal seperti pada penelitian ini. Jika kondisi ideal pada kolam tersebut tidak sama,

maka perlu dilakukan pemetaan ulang terhadap fungsi keanggotaan algoritme FIS dan kondisi pertumbuhan ikan di kolam untuk parameter suhu, pH, dan kadar DO. Penambahan masukan parameter lain ke dalam FIS ini juga dapat dilakukan, seperti kadar amoniak dan H₂S yang mempengaruhi pertumbuhan ikan dalam kolam probiotik [3], [4].

IV. KESIMPULAN

Tingkat kualitas air pada kolam bioflok untuk budidaya ikan lele dapat diperoleh dari parameter suhu, pH, dan oksigen terlarut dengan menggunakan algoritma FIS Mamdani. Tingkat kualitas air tersebut dapat merepresentasikan kondisi pertumbuhan ikan lele di dalam kolam bioflok menjadi tiga kategori kondisi, yaitu kondisi ikan hidup normal, pertumbuhan terhambat, dan kondisi ikan mati, dengan tingkat akurasi sebesar 89,29 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun pelaksanaan 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] -, "Laporan Tahunan Direktorat Produksi Tahun 2013," Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, KKP, Jakarta, 2014.
- [2] -, "Laporan kinerja 2016," Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya, KKP, Jakarta, 2016.
- [3] N. Adharani, K. Soewardi, A. D. Syakti, and S. Hariyadi, "Manajemen kualitas air dengan teknologi bioflok: studi kasus pemeliharaan ikan lele (*clarias sp.*)," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 21, no. 1, pp. 35-40, 2016. doi: [10.18343/jipi.21.1.35](https://doi.org/10.18343/jipi.21.1.35)
- [4] F. A. Pratama, N. Afiati, and A. Djunaedi, "Kondisi kualitas air kolam budidaya dengan penggunaan probiotik dan tanpa probiotik terhadap pertumbuhan ikan lele sangkuriang (*clarias sp*) di Cirebon, Jawa Barat," *Journal of Management of Aquatic Resources*, vol. 5, no. 1, pp. 38-45, 2016.
- [5] D. Rachmawati, I. Samidjan, and H. Setyono, "Manajemen kualitas air media budidaya ikan lele sangkuriang (*clarias gariepinus*) dengan teknik probiotik pada kolam terpal di desa vokasi Reksosari, kecamatan Suruh, kabupaten Semarang," *Pena Akuatika*, vol. 12, no. 1, pp. 24-32, 2015.
- [6] A. Setiawan, R. Ariqoh, P. Tivani, L. Pipih, and I. Pudjiastuti, "Bioflokulasi sistem teknologi budidaya lele tebar padat tinggi dengan kapasitas 1m³/750 ekor dengan flock forming bacteria," *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, vol. 1, no. 1, pp. 45-49, 2016.
- [7] R. Pramana, "Perancangan sistem kontrol dan monitoring kualitas air dan suhu air pada kolam budidaya ikan," *Sustainable*, vol. 7, no. 1, pp. 13-23, 2018. doi: [10.31629/sustainable.v7i1.435](https://doi.org/10.31629/sustainable.v7i1.435)

Tabel 5. Kondisi pertumbuhan ikan lele berdasarkan tingkat kualitas air

Tingkat Kualitas Air (%)	Kondisi Pertumbuhan Ikan Lele
100	Normal
99 - 83	Pertumbuhan terhambat
< 83	Mati

- [8] M. Cholilulloh and D. Syaury, "Implementasi metode fuzzy pada kualitas air kolam bibit lele berdasarkan suhu dan kekeruhan," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 5, pp. 1813-1822, 2017.
- [9] A. J. Kuswinta, I. G. P. W. Wedashwara, and I. W. A. Arimbawa, "Implementasi IoT cerdas berbasis inference fuzzy Tsukamoto pada pemantauan kadar pH dan ketinggian air dalam akuaponik," *Journal of Computer Science and Informatics Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 65-74, 2019. doi: [10.29303/jcosine.v3i1.245](https://doi.org/10.29303/jcosine.v3i1.245)
- [10] D. M. Sihotang, "Penentuan kualitas air untuk perkembangan ikan lele sangkuriang menggunakan metode fuzzy SAW," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 7, no. 4, pp. 372-376, 2018. doi: [10.22146/jnteti.v7i4.453](https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i4.453)
- [11] G. Mazenda, A. A. Soebroto, and C. Dewi, "Implementasi fuzzy interference system (FIS) metode Tsukamoto pada sistem pendukung keputusan penentuan kualitas air sungai," *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 92-103, 2014. doi: [10.21776/ub.jeest.2014.001.02.4](https://doi.org/10.21776/ub.jeest.2014.001.02.4)
- [12] D. C. Rini, Y. Farida, N. Ulinuha, G. Andriani, and L. Mahfiroh, "Aplikasi fuzzy inference system dengan metode Mamdani untuk menentukan status gizi balita di kota Surabaya," *Jurnal Matematika*, vol. 1, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [13] B. H. Purnowo and Y. Wibowo, "Aplikasi fuzzy inference system untuk menentukan lokasi pengembangan sentra peternakan rakyat (SPR) sapi potong di kabupaten Jember," *Agrointek*, vol. 12, no. 1, pp. 1-15, 2018. doi: [10.21107/agrointek.v12i1.3241](https://doi.org/10.21107/agrointek.v12i1.3241)
- [14] A. S. Mubarak, D. A. Satyari, and R. Kusdarwati, "Korelasi antara konsentrasi oksigen terlarut pada kepadatan yang berbeda dengan skoring warna *Daphnia spp.*," *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, vol. 2, no. 1, pp. 45-50, 2019. doi: [10.20473/jipk.v2i1.11665](https://doi.org/10.20473/jipk.v2i1.11665)
- [15] Produksi benih ikan lele dumbo (*clarias gariepinus x c. fuscus*) kelas benih sebar, SNI: 01-6484.4-2000, 2000.
- [16] K. Oktafianto and F. Nimah, "Analisis perbandingan penentuan waktu simpan beras bansos rastra menggunakan fuzzy inference system (FIS) metode fuzzy Tsukamoto dan fuzzy Mamdani," *Jurnal Matematika*, vol. 1, no. 1, pp. 45-54, 2019.