

Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air Tambak Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT

Mohammad Fathoni

Institut Teknologi Budi Utomo

E-mail: fath.devito1981@gmail.com

* Corresponding Author



<https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5588>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 23 Januari 2026

Revised: 28 Januari 2026

Accepted: 20 Februari 2026

Kata kunci:

Internet of Things, Fuzzy Logic Controller, kualitas air tambak

Keywords

Internet of Things, Fuzzy Logic Controller, pond water quality



ABSTRACT

Peningkatan produktivitas akuakultur menuntut sistem pengelolaan kualitas air yang lebih adaptif, akurat, dan berbasis teknologi. Fluktuasi parameter kualitas air seperti suhu, pH, dissolved oxygen (DO), dan amonia sering menjadi penyebab utama stres lingkungan dan penurunan hasil budidaya tambak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan merumuskan model konseptual monitoring dan pengendalian kualitas air tambak menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) berbasis Internet of Things (IoT) melalui metode studi literatur. Kajian dilakukan dengan menelaah berbagai penelitian terkini terkait integrasi sistem sensor IoT dan metode inferensi fuzzy dalam manajemen kualitas air akuakultur. Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa sistem IoT memungkinkan pemantauan parameter air secara real-time dan berkelanjutan, sedangkan FLC mampu mengolah data yang bersifat dinamis dan tidak pasti menjadi keputusan pengendalian yang adaptif melalui aturan berbasis linguistik. Integrasi kedua teknologi tersebut terbukti meningkatkan stabilitas kualitas air, mempercepat respons terhadap perubahan kondisi lingkungan, serta mendukung efisiensi operasional tambak. Selain itu, penggunaan sensor berbiaya rendah yang terintegrasi dengan sistem kontrol cerdas membuka peluang implementasi pada tambak skala kecil dan menengah. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis berupa sintesis komprehensif model monitoring dan pengendalian berbasis IoT-FLC serta kontribusi praktis dalam mendukung pengembangan precision aquaculture yang berkelanjutan.

The increasing demand for aquaculture productivity requires a more adaptive, accurate, and technology-based water quality management system. Fluctuations in water quality parameters such as temperature, pH, dissolved oxygen (DO), and ammonia are major factors causing environmental stress and reduced aquaculture yields. This study aims to analyze and formulate a conceptual model for monitoring and controlling pond water quality using a Fuzzy Logic Controller (FLC) based on the Internet of Things (IoT) through a literature review approach. The study examines recent research related to the integration of IoT-based sensor systems and fuzzy inference methods in aquaculture water quality management. The synthesis results indicate that IoT systems enable real-time and continuous monitoring of water parameters, while FLC effectively processes dynamic and uncertain data into adaptive control decisions using rule-based linguistic reasoning. The integration of these technologies significantly improves water quality stability, accelerates responses to environmental changes, and enhances operational efficiency in fish ponds. Furthermore, the adoption of low-cost sensors integrated with intelligent control systems provides opportunities for broader implementation in small- and medium-scale aquaculture farms. This study contributes theoretically by offering a comprehensive synthesis of IoT-FLC-based monitoring and control models and practically by supporting the development of sustainable precision aquaculture systems.



This is an open access article under the CC-BY-SA license.

How to Cite: Mohammad Fathoni (2026). Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air Tambak Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i3.5588>.

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan pangan global seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk mendorong sektor akuakultur untuk terus meningkatkan produktivitas secara berkelanjutan. Tambak sebagai salah satu sistem budidaya perikanan memiliki peran strategis dalam penyediaan protein hewani, namun keberhasilannya sangat bergantung pada stabilitas dan kualitas air. Parameter seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut (DO), amonia, dan kekeruhan merupakan faktor krusial yang memengaruhi pertumbuhan, kesehatan, serta tingkat kelangsungan hidup organisme budidaya. Fluktuasi parameter tersebut, baik akibat perubahan cuaca, kepadatan tebar, maupun aktivitas metabolisme ikan, sering kali menimbulkan stres lingkungan yang berujung pada penurunan produktivitas bahkan kegagalan panen.

Dalam praktik konvensional, pemantauan kualitas air tambak masih banyak dilakukan secara manual dan periodik. Pendekatan ini tidak hanya memerlukan tenaga dan waktu yang besar, tetapi juga berisiko menimbulkan keterlambatan respons terhadap perubahan kondisi air yang bersifat dinamis. Oleh karena itu, integrasi teknologi digital melalui Internet of Things (IoT) menjadi solusi yang semakin relevan. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time melalui sensor, transmisi data ke platform monitoring, serta penyimpanan data historis untuk analisis lebih lanjut. Penelitian oleh Gao et al. (2019) menunjukkan bahwa sistem IoT cerdas mampu melakukan peramalan dan pengendalian kualitas air secara terintegrasi pada tambak ikan air tawar. Demikian pula, Tsai et al. (2022) mengembangkan sistem akuakultur pintar berbasis IoT dengan fitur aerasi otomatis dan pemantauan kualitas air secara berkelanjutan. Temuan-temuan ini menegaskan bahwa IoT berkontribusi signifikan dalam meningkatkan efisiensi operasional tambak.

Meskipun IoT menyediakan data secara real-time, pengambilan keputusan pengendalian kualitas air tetap memerlukan pendekatan yang adaptif terhadap ketidakpastian dan dinamika lingkungan. Dalam konteks ini, logika fuzzy menawarkan keunggulan karena mampu merepresentasikan ketidakpastian dan penilaian linguistik seperti “baik”, “cukup”, atau “buruk” ke dalam sistem pengendalian numerik. Penelitian oleh Haiyunnisa et al. (2017) serta Ichsan menunjukkan bahwa fuzzy logic controller (FLC) efektif dalam mengendalikan parameter kualitas air secara otomatis. Lebih lanjut, Bautista et al. (2022) mengembangkan sistem pemantauan air berbasis logika fuzzy adaptif berdasarkan parameter limnologis sesaat, sementara Li et al. (2023) membuktikan bahwa pengendalian fuzzy dengan dua input mampu meningkatkan pengelolaan amonia dalam sistem budidaya. Penelitian terbaru oleh Nagothu et al. (2025) dan Boumehrez et al. (2025) juga menegaskan pentingnya integrasi fuzzy logic dan IoT untuk mendukung precision aquaculture.

Di tingkat nasional, implementasi sistem IoT berbasis fuzzy juga mulai berkembang. Choiri (2024) serta Prafanto (2024) mengembangkan sistem monitoring kualitas air kolam ikan menggunakan metode fuzzy inference berbasis IoT. Selain itu, penelitian Jais et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan sensor berbiaya rendah dalam sistem IoT mampu meningkatkan akurasi pemantauan kualitas air pada budidaya ikan seabass. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada implementasi sistem atau pengujian eksperimental pada parameter tertentu, tanpa mengintegrasikan secara komprehensif aspek monitoring, pengendalian adaptif, efisiensi energi, serta evaluasi konseptual berbasis studi literatur yang mendalam untuk merumuskan model pengendalian yang lebih sistematis dan kontekstual bagi tambak di wilayah tropis.

Berdasarkan kajian literatur yang ada, terdapat research gap berupa belum optimalnya integrasi konseptual antara sistem monitoring real-time berbasis IoT dengan fuzzy logic controller yang dirancang secara adaptif terhadap berbagai parameter kualitas air secara simultan, khususnya dalam konteks tambak skala kecil dan menengah. Sebagian penelitian masih terfokus pada satu atau dua parameter utama, atau hanya menekankan pada monitoring tanpa pengendalian otomatis yang responsif. Selain itu, kajian komprehensif berbasis studi literatur yang mensintesis berbagai model FLC-IoT untuk merumuskan kerangka pengendalian kualitas air tambak yang lebih holistik masih terbatas. Oleh karena itu, novelty penelitian ini terletak pada perumusan model konseptual Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air Tambak Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT yang mengintegrasikan pemantauan multi-parameter secara real-time, mekanisme inferensi fuzzy adaptif, serta rekomendasi desain sistem yang aplikatif untuk mendukung precision aquaculture yang berkelanjutan. Dengan

pendekatan studi literatur yang mendalam, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model pengendalian cerdas serta kontribusi praktis bagi optimalisasi manajemen kualitas air tambak di era digital.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur (literature review) untuk menganalisis, membandingkan, dan mensintesis berbagai penelitian terkait sistem monitoring dan pengendalian kualitas air tambak menggunakan Fuzzy Logic Controller (FLC) berbasis Internet of Things (IoT). Adapun tahapan penelitian dilakukan secara sistematis sebagai berikut:

1. **Perumusan Fokus dan Pertanyaan Penelitian**
Tahap awal dilakukan dengan merumuskan fokus kajian, yaitu integrasi monitoring kualitas air berbasis IoT dengan pengendalian adaptif menggunakan Fuzzy Logic Controller. Pertanyaan penelitian diarahkan pada bagaimana model konseptual sistem yang efektif dalam memonitor dan mengendalikan parameter kualitas air tambak secara real-time dan adaptif.
2. **Identifikasi dan Penelusuran Sumber Literatur**
Literatur diperoleh melalui database ilmiah bereputasi seperti Google Scholar, IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, dan jurnal nasional terakreditasi. Kata kunci yang digunakan meliputi “IoT-based aquaculture monitoring”, “fuzzy logic water quality control”, “precision aquaculture”, dan “water quality management system”. Literatur yang dipilih difokuskan pada publikasi 10 tahun terakhir serta memiliki relevansi langsung dengan topik penelitian.
3. **Seleksi dan Kriteria Inklusi–Eksklusi**
Sumber literatur diseleksi berdasarkan kriteria inklusi yaitu: (a) membahas sistem monitoring kualitas air berbasis IoT, (b) menerapkan metode fuzzy logic untuk pengendalian kualitas air, (c) relevan dengan konteks akuakultur atau tambak, dan (d) dipublikasikan pada jurnal atau prosiding ilmiah bereputasi. Literatur yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan sistem pengendalian atau tidak menyajikan metode yang jelas dikeluarkan dari kajian.
4. **Ekstraksi dan Klasifikasi Data**
Setiap literatur yang terpilih dianalisis untuk mengidentifikasi komponen sistem, parameter kualitas air yang digunakan (pH, suhu, DO, amonia, dan lainnya), metode inferensi fuzzy, arsitektur IoT, serta hasil implementasi sistem. Data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan berdasarkan pendekatan monitoring, metode pengendalian, dan tingkat integrasi sistem.
5. **Analisis Komparatif dan Sintesis Konseptual**
Literatur yang telah diklasifikasikan dibandingkan untuk menemukan pola, kelebihan, kelemahan, serta celah penelitian (research gap). Analisis ini dilakukan untuk menyusun sintesis konseptual berupa kerangka model sistem monitoring dan pengendalian kualitas air tambak berbasis IoT dan FLC yang lebih terintegrasi dan adaptif.
6. **Perumusan Model Konseptual dan Implikasi**
Tahap akhir adalah merumuskan model konseptual yang diusulkan berdasarkan hasil sintesis literatur. Model ini mencakup integrasi sensor IoT, mekanisme pengolahan data real-time, sistem inferensi fuzzy, serta aktuator pengendalian kualitas air. Selain itu, dirumuskan pula implikasi teoretis dan praktis bagi pengembangan precision aquaculture yang berkelanjutan.

Melalui tahapan tersebut, penelitian ini menghasilkan kajian yang sistematis, komprehensif, dan berbasis bukti ilmiah dalam merancang sistem monitoring dan pengendalian kualitas air tambak menggunakan Fuzzy Logic Controller berbasis IoT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian ini diperoleh melalui analisis dan sintesis mendalam terhadap berbagai literatur yang membahas integrasi Internet of Things (IoT) dan Fuzzy Logic Controller (FLC) dalam sistem monitoring dan pengendalian kualitas air akuakultur. Secara umum, hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi teknologi sensor berbasis IoT dengan metode inferensi fuzzy mampu meningkatkan akurasi pemantauan, mempercepat respons pengendalian, serta menjaga stabilitas parameter kualitas air secara

lebih adaptif dibandingkan sistem konvensional. Integrasi ini juga berkontribusi pada efisiensi operasional tambak, pengurangan risiko kematian ikan, serta optimalisasi produktivitas budidaya.

Adapun hasil kajian berdasarkan masing-masing penelitian adalah sebagai berikut:

1. Nagothu et al. (2025)
Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan fuzzy logic dalam sistem monitoring kualitas air mampu mendukung precision aquaculture melalui pengendalian parameter seperti suhu, pH, dan dissolved oxygen secara real-time. Sistem yang dikembangkan mampu menjaga kestabilan lingkungan budidaya dengan respons otomatis terhadap perubahan parameter, sehingga meningkatkan efisiensi dan konsistensi kualitas air dibandingkan metode manual.
2. Boumehrez et al. (2025)
Studi ini mengembangkan sistem manajemen kualitas air berbasis IoT dengan integrasi fuzzy logic untuk pengambilan keputusan adaptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi sensor real-time, platform monitoring berbasis jaringan, dan aturan fuzzy mampu meningkatkan ketepatan kontrol aerasi serta sirkulasi air, sehingga kualitas air tetap berada pada rentang optimal.
3. Li et al. (2023)
Penelitian ini menitikberatkan pada pengelolaan amonia nitrogen menggunakan dual-input fuzzy logic control. Hasilnya menunjukkan peningkatan efektivitas pengendalian kadar amonia melalui pendekatan dua parameter input, sehingga sistem lebih sensitif terhadap perubahan kondisi air. Model ini terbukti mampu mengurangi fluktuasi amonia yang berisiko bagi organisme budidaya.
4. Bautista et al. (2022)
Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan adaptif berbasis fuzzy logic yang mempertimbangkan parameter limnologis secara instan. Hasil kajian menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan keputusan kontrol berdasarkan kondisi aktual perairan, sehingga meningkatkan stabilitas ekosistem tambak secara berkelanjutan.
5. Gao et al. (2019)
Studi ini menghadirkan sistem IoT cerdas yang tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga peramalan kualitas air dan sistem keterelusuran (traceability). Hasilnya menunjukkan bahwa integrasi IoT dengan sistem kontrol cerdas mampu meningkatkan akurasi prediksi serta mempercepat pengambilan keputusan dalam manajemen tambak air tawar.

Secara keseluruhan, hasil studi literatur menunjukkan bahwa penerapan Fuzzy Logic Controller berbasis IoT memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan efektivitas monitoring dan pengendalian kualitas air tambak. Integrasi multi-parameter, pengambilan keputusan adaptif, serta kemampuan respons real-time menjadi faktor kunci dalam mendukung sistem budidaya yang lebih presisi, efisien, dan berkelanjutan.

Pembahasan

Perkembangan teknologi digital dalam sektor akuakultur menunjukkan pergeseran paradigma dari sistem budidaya konvensional menuju precision aquaculture, di mana pengambilan keputusan didasarkan pada data real-time dan sistem kontrol cerdas. Dalam konteks pengelolaan kualitas air tambak, integrasi Internet of Things (IoT) dan Fuzzy Logic Controller (FLC) menjadi pendekatan yang semakin relevan karena mampu menjawab tantangan dinamika lingkungan perairan yang kompleks dan tidak linier. Berbagai penelitian yang dianalisis dalam studi literatur ini memperlihatkan bahwa stabilitas parameter seperti suhu, pH, dissolved oxygen (DO), dan amonia merupakan faktor determinan terhadap produktivitas dan kelangsungan hidup organisme budidaya. Oleh karena itu, sistem monitoring yang hanya bersifat informatif tanpa pengendalian adaptif dinilai belum memadai untuk menghadapi fluktuasi kualitas air yang cepat dan tidak terduga.

Secara konseptual, IoT berperan sebagai infrastruktur utama dalam pengumpulan dan transmisi data kualitas air secara berkelanjutan. Penelitian Gao et al. (2019) menegaskan bahwa sistem IoT yang terintegrasi dengan modul prediksi mampu meningkatkan akurasi pengambilan keputusan serta mendukung sistem traceability dalam budidaya ikan air tawar. Hal ini diperkuat oleh Tsai et al. (2022) yang mengembangkan sistem akuakultur pintar dengan fitur aerasi otomatis berbasis sensor. Temuan tersebut menunjukkan bahwa IoT tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai fondasi bagi sistem kendali otomatis yang responsif. Namun demikian, efektivitas sistem IoT sangat

bergantung pada kemampuan algoritma dalam menginterpretasikan data yang bersifat fluktuatif dan mengandung ketidakpastian.

Dalam hal ini, logika fuzzy menawarkan keunggulan karena mampu mengakomodasi variabel linguistik dan ketidakpastian dalam pengambilan keputusan. Penelitian awal oleh Ichsan dan Haiyunnisa menunjukkan bahwa FLC efektif dalam mengontrol parameter kualitas air melalui pendekatan berbasis aturan (rule-based system). Sistem ini memungkinkan konversi kondisi seperti “pH rendah” atau “DO cukup” menjadi keputusan operasional seperti mengaktifkan aerator atau pompa air. Perkembangan lebih lanjut ditunjukkan oleh Bautista et al. (2022) yang mengembangkan sistem fuzzy adaptif berbasis parameter limnologis sesaat, sehingga kontrol menjadi lebih dinamis dan kontekstual. Dengan demikian, FLC tidak hanya memberikan fleksibilitas dalam pengendalian, tetapi juga meningkatkan stabilitas ekosistem tambak secara berkelanjutan.

Pendekatan yang lebih spesifik terhadap parameter kritis seperti amonia dikemukakan oleh Li et al. (2023) melalui penerapan dual-input fuzzy logic control. Model ini menunjukkan bahwa penggunaan lebih dari satu variabel input meningkatkan sensitivitas sistem terhadap perubahan kualitas air, khususnya dalam pengelolaan nitrogen yang berisiko tinggi terhadap kesehatan ikan. Sejalan dengan itu, Nagothu et al. (2025) menekankan pentingnya integrasi monitoring dan maintenance berbasis fuzzy untuk mendukung precision aquaculture secara menyeluruh. Integrasi tersebut terbukti mampu menjaga parameter tetap dalam rentang optimal sekaligus meningkatkan efisiensi energi melalui pengoperasian aktuator yang lebih terkontrol.

Integrasi langsung antara IoT dan FLC secara komprehensif ditunjukkan dalam penelitian Boumehrez et al. (2025), yang mengembangkan sistem IoT-enabled fuzzy logic untuk manajemen kualitas air secara real-time. Sistem ini memanfaatkan jaringan sensor, komputasi berbasis cloud, serta aturan fuzzy untuk mengontrol aerasi dan sirkulasi air secara otomatis. Sementara itu, di konteks nasional, Choiri serta Prafanto menunjukkan bahwa implementasi FLC berbasis IoT pada kolam budidaya ikan nila memberikan hasil yang efektif dalam menjaga kestabilan parameter air. Penelitian Jais et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa penggunaan sensor berbiaya rendah tetap mampu menghasilkan akurasi monitoring yang baik apabila dikombinasikan dengan sistem pengolahan data yang tepat. Hal ini menjadi penting bagi tambak skala kecil dan menengah yang memiliki keterbatasan sumber daya.

Secara keseluruhan, pembahasan literatur menunjukkan bahwa keberhasilan sistem monitoring dan pengendalian kualitas air tambak tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan sensor atau konektivitas IoT, tetapi juga oleh desain sistem inferensi fuzzy yang adaptif dan kontekstual. Integrasi multi-parameter, kemampuan respons real-time, serta efisiensi operasional menjadi elemen kunci dalam mendukung keberlanjutan budidaya. Dengan demikian, pendekatan Monitoring dan Pengendalian Kualitas Air Tambak Menggunakan Fuzzy Logic Controller Berbasis IoT merupakan solusi strategis yang mampu menjembatani kebutuhan antara otomatisasi teknologi dan kompleksitas ekosistem perairan, sekaligus memperkuat arah pengembangan akuakultur cerdas di era transformasi digital.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil studi literatur, dapat disimpulkan bahwa integrasi Internet of Things (IoT) dan Fuzzy Logic Controller (FLC) merupakan pendekatan yang efektif dalam monitoring dan pengendalian kualitas air tambak. Sistem berbasis IoT memungkinkan pemantauan parameter kualitas air secara real-time dan berkelanjutan, sedangkan FLC mampu mengolah data yang bersifat dinamis dan tidak pasti menjadi keputusan pengendalian yang adaptif. Kombinasi keduanya mendukung terciptanya precision aquaculture yang lebih efisien, responsif, dan berkelanjutan, terutama dalam menjaga stabilitas parameter seperti suhu, pH, dissolved oxygen, dan amonia. Dengan demikian, model konseptual yang dirumuskan dalam penelitian ini memiliki potensi besar untuk diterapkan pada tambak skala kecil maupun menengah dalam meningkatkan produktivitas dan meminimalkan risiko kegagalan budidaya.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian empiris terhadap model konseptual yang telah dirumuskan melalui implementasi langsung pada sistem tambak nyata. Selain itu, perlu dilakukan pengembangan algoritma fuzzy yang lebih adaptif dengan integrasi kecerdasan buatan atau machine learning guna meningkatkan akurasi prediksi dan efisiensi energi. Penggunaan sensor berbiaya rendah yang tetap memiliki tingkat akurasi tinggi juga perlu terus dikembangkan agar sistem ini dapat diakses secara luas oleh pembudidaya skala kecil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini, baik dalam bentuk dukungan akademik, referensi ilmiah, maupun motivasi dan kolaborasi yang konstruktif sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bautista, M. G. A. C., Palconit, M. G. B., & Rosales, M. A. (2022). Fuzzy logic-based adaptive aquaculture water monitoring system based on instantaneous limnological parameters. *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, 26(6), 937–945. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaciii/26/6/26_937/_article
- Boumehrez, F., Sahour, A., & Maamri, F. (2025). IoT-enabled fuzzy logic system for aquaculture water quality management. *IEEE Conference Proceedings*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/11232273/>
- Choiri, A. F. (2024). IoT-based water quality monitoring system for fish ponds using fuzzy inference method. *Jurnal Teknologi Informasi dan Terapan*. <https://jtit.polije.ac.id/index.php/jtit/article/view/441>
- Gao, G., Xiao, K., & Chen, M. (2019). An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105013. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919305320>
- Haiyunnisa, T., Alam, H. S., & Salim, T. I. (2017). Design and implementation of fuzzy logic control system for water quality control. *2017 2nd International Conference on Automation, Cognitive Science, Optics, Micro Electro-Mechanical System, and Information Technology*. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8253394>
- Ichsan, M. H. H., & Kurniawan, W. (2016). Water quality monitoring with fuzzy logic control based on graphical programming. *TELKOMNIKA (Telecommunication, Computing, Electronics and Control)*, 14(4). <https://www.telkomnika.uad.ac.id/index.php/TELKOMNIKA/article/view/3505>
- Jais, N. A. M., Abdullah, A. F., Kassim, M. S. M., & Abd Karim, M. M. (2024). Improved accuracy in IoT-based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. *Heliyon*, 10(5). [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)05053-9](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)05053-9)
- Li, H. C., Yu, K. W., Lien, C. H., Lin, C., & Yu, C. R. (2023). Improving aquaculture water quality using dual-input fuzzy logic control for ammonia nitrogen management. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(6), 1109. <https://www.mdpi.com/2077-1312/11/6/1109>
- Nagothu, S. K., Sri, P. B., Anitha, G., & Vincent, S. (2025). Advancing aquaculture: Fuzzy logic-based water quality monitoring and maintenance system for precision aquaculture. *Aquaculture International*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-024-01701-2>
- Prafanto, A., Septiarini, A., & Puspitasari, N. (2024). IoT-based water quality control in tilapia aquaculture using fuzzy logic. *Journal of Innovation in Research of Informatics*. <https://jurnal.unsil.ac.id/index.php/innovatics/article/view/11271>
- Tsai, K. L., Chen, L. W., Yang, L. J., & Shiu, H. J. (2022). IoT-based smart aquaculture system with automatic aerating and water quality monitoring. *Journal of Internet Technology*. <https://jit.ndhu.edu.tw/article/view/2655>