E-ISSN: 3031-8521
P-ISSN: 3032-1867

Halaman 1841-1850
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Implementasi Sistem Pemantauan Tambak Lele Berbasis IoT dengan Sumber Daya Mandiri dan Dashboard Web Real-Time

Arief Andy Soebroto[1], **Nurul Hidayat**[2], **Nurussa'adah**[3], **Renanda Baghaz DSP**[4]

[1,2,3,4]Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia
e-mail: ariefas@ub.ac.id

Abstrak

Pemantauan pH dan suhu air secara berkala diperlukan untuk mendukung pengelolaan kolam lele, terutama ketika pengamatan masih dilakukan secara manual. Artikel ini menguraikan implementasi prototipe pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32, sensor pH dan suhu, server penyimpanan data, serta dashboard web. Sistem dirancang dengan catu daya mandiri yang terdiri atas panel surya 5 Wp, pengontrol maximum power point tracking (MPPT), dan baterai VRLA 12 V 18 Ah. Pengujian awal dilakukan dengan membandingkan lima pembacaan setiap sensor terhadap pH meter dan termometer digital. Hasilnya menunjukkan rata-rata galat absolut sebesar 0,10 satuan pH dan 0,12 °C. Dokumentasi implementasi memperlihatkan pengiriman data ke basis data dan penyajiannya pada dashboard. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi dasar pengukuran dan pencatatan sudah dapat dijalankan, meskipun pengujian masih terbatas. Validasi kalibrasi menggunakan larutan buffer standar, pengukuran latensi jaringan, serta pengujian kontinuitas pasokan energi masih diperlukan sebelum sistem digunakan secara berkelanjutan.

Kata kunci: *dashboard web, IoT, sistem pemantauan, sumber daya mandiri, tambak lele*

Abstract

Regular measurements of water pH and temperature support catfish pond management, particularly where monitoring still relies on manual observations. This article presents the implementation of an Internet of Things (IoT) monitoring prototype comprising an ESP32 controller, pH and temperature sensors, a data server, and a web dashboard. The proposed stand-alone power supply combines a 5 Wp solar panel, a maximum power point tracking (MPPT) controller, and a 12 V 18 Ah VRLA battery. Preliminary tests compared five readings from each sensor with those of a digital pH meter or thermometer. The mean absolute errors were 0.10 pH units and 0.12 °C, respectively. Implementation records show data transmission to the database and display through the dashboard. These results indicate that basic measurement and data logging functions

have been implemented, although the evaluation remains limited. Standard-buffer calibration, network latency measurements, and power autonomy tests are required before sustained field operation can be established.

Keywords: *catfish pond, IoT, monitoring system, stand-alone power, web dashboard*

LATAR BELAKANG

Kualitas air merupakan salah satu faktor penting dalam pemeliharaan ikan lele. Perubahan pH dan suhu yang tidak teramati dapat memengaruhi kondisi lingkungan pemeliharaan, sedangkan pemeriksaan manual hanya memberikan gambaran pada waktu tertentu. Pemanfaatan sensor yang terhubung dengan jaringan memungkinkan data dicatat lebih teratur dan ditinjau kembali melalui antarmuka digital. Tinjauan oleh Flores-Iwasaki et al. (2025) dan Chandramenon et al. (2024) menunjukkan bahwa pH dan suhu menjadi parameter yang umum diamati dalam pengembangan sistem pemantauan akuakultur berbasis Internet of Things (IoT).

Integrasi perangkat sensor, mikrokontroler, layanan penyimpanan, dan dashboard telah diterapkan dalam berbagai sistem budidaya. Hemal et al. (2024) mengembangkan platform pemantauan kualitas air kolam yang dilengkapi layanan rekomendasi, sedangkan Zamnuri et al. (2024) membahas pemanfaatan IoT pada akuaponik skala kecil. Ketersediaan informasi secara daring memberi peluang bagi pembudidaya untuk mengetahui perubahan parameter air tanpa terus-menerus berada di lokasi kolam. Namun, nilai praktisnya tetap bergantung pada kemudahan pengoperasian, kestabilan sensor, dan kemampuan sistem berfungsi pada lingkungan sebenarnya.

Kebutuhan pasokan energi perlu dipertimbangkan, khususnya pada kolam yang jauh dari jaringan listrik. Jamroen et al. (2023) melaporkan rancangan pemantauan kualitas air menggunakan kombinasi fotovoltaik dan baterai, sementara Qian et al. (2023) mengembangkan sistem pemantauan kualitas air nirkabel bertenaga surya. Priyanka et al. (2024) dan Novianarenti et al. (2026) juga menunjukkan pemanfaatan sumber energi surya untuk pemantauan perairan. Penelitian-penelitian tersebut memperlihatkan peluang penerapan perangkat mandiri, tetapi pemilihan kapasitas panel dan baterai tetap perlu disesuaikan dengan konsumsi daya perangkat serta kondisi penyinaran setempat.

Selain ketersediaan energi, akurasi pembacaan dan keandalan komunikasi merupakan persoalan yang perlu diperhatikan. Menurut Rastegari et al. (2023), pengembangan IoT dalam akuakultur menghadapi tantangan berupa kondisi lingkungan, pemeliharaan sensor, dan infrastruktur komunikasi. Karena itu, implementasi prototipe perlu disertai evaluasi terukur terhadap perangkat yang digunakan, bukan hanya demonstrasi tampilan aplikasi.

Kegiatan ini mengimplementasikan sistem pemantauan pH dan suhu tambak lele berbasis ESP32 dengan pengiriman data menuju server serta dashboard web. Sistem dirancang menggunakan panel surya dan baterai sebagai sumber daya mandiri. Artikel ini berfokus pada rancangan sistem, hasil implementasi, dan pembandingan awal

pembacaan sensor terhadap alat ukur digital. Pembahasan juga mengidentifikasi aspek yang masih perlu diuji sebelum perangkat dioperasikan secara terus-menerus pada tambak.

METODE

Arsitektur sistem

Sistem pemantauan terdiri atas node pengukuran, unit pengelola daya, koneksi jaringan, server, dan dashboard web. Node menggunakan ESP32 untuk membaca sensor pH dan suhu. Data kemudian dikirim melalui Wi-Fi dalam format JSON menggunakan metode HTTP POST dengan autentikasi API key. Server menerima dan menyimpan data pengukuran sehingga pengguna dapat meninjau informasi kondisi kolam melalui dashboard. Arsitektur yang ditunjukkan pada Gambar 1 menyediakan rancangan pengembangan beberapa node, namun evaluasi pada artikel ini hanya membahas fungsi yang didukung oleh dokumentasi pengujian.



Gambar 1. Arsitektur sistem pemantauan tambak lele berbasis IoT

Penerapan komunikasi berbasis jaringan untuk pemantauan kualitas air telah dibahas oleh Shete et al. (2024) dan Jabbar et al. (2024). Pada sistem ini, pengiriman data berkala dipilih untuk menyederhanakan integrasi ESP32 dengan penyimpanan server. Kinerja komunikasi, termasuk latensi dan keberhasilan pengiriman paket, belum dihitung sebagai parameter kuantitatif dalam pengujian awal.

Perangkat keras dan sumber daya

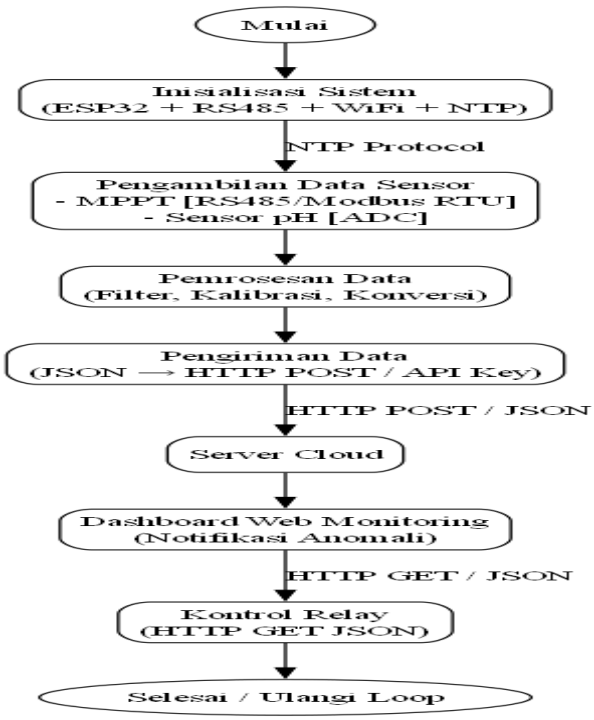
Perangkat yang digunakan meliputi ESP32, sensor pH, sensor suhu, modul MAX485, panel surya 5 Wp, pengontrol MPPT, serta baterai VRLA 12 V 18 Ah. Modul

MAX485 menghubungkan ESP32 dengan pengontrol MPPT melalui komunikasi RS485 menggunakan protokol Modbus RTU. Pada perancangan antarmuka, GPIO17 dan GPIO16 digunakan sebagai pin TX2 dan RX2, sedangkan GPIO2 dan GPIO4 mengendalikan jalur DE dan RE. Data dari pengontrol daya mencakup parameter tegangan panel, arus pengisian, dan kondisi baterai. Rincian model sensor serta spesifikasi komponen lainnya perlu dicantumkan dalam dokumentasi teknis lanjutan agar rancangan dapat direplikasi secara tepat.

Kapasitas nominal energi baterai adalah 12 V × 18 Ah atau 216 Wh. Kapasitas tersebut tidak dapat langsung dianggap sebagai energi yang seluruhnya tersedia, karena operasi baterai dipengaruhi batas pengosongan, rugi konversi, dan kondisi pemakaian. Dengan demikian, kemampuan sistem bekerja tanpa listrik PLN harus dievaluasi melalui pengukuran konsumsi daya, energi yang dihasilkan panel surya, dan durasi operasi ketika tidak terdapat penyinaran (Jamroen et al., 2023).

Alur kerja pemantauan

Gambar 2 memperlihatkan alur pemantauan mulai dari inisialisasi ESP32, antarmuka RS485, dan sinkronisasi waktu menggunakan Network Time Protocol (NTP). Pembacaan sensor diproses melalui pengambilan sampel dan penyaringan sederhana, kemudian dikemas sebagai data JSON untuk dikirim ke server. Dashboard menampilkan data yang telah tersimpan. Rancangan turut memuat permintaan status atau perintah relay dari server melalui HTTP GET. Fungsi notifikasi dan kendali relay masih memerlukan uji skenario tersendiri untuk memastikan ketepatan pemicu, keberhasilan perintah, dan keamanan akses.



Gambar 2. Diagram alir pengambilan dan pengiriman data sensor

Prosedur pengamanan pada sistem mencakup penggunaan API key. Akan tetapi, penerapan enkripsi transport, otorisasi perintah, serta penanganan kegagalan jaringan tidak dievaluasi pada pengujian ini. Shete et al. (2025) mencatat keamanan siber sebagai salah satu isu yang perlu mendapat perhatian pada pengembangan akuakultur berbasis IoT.

Prosedur pengujian sensor

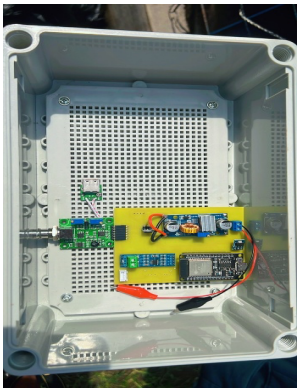
Evaluasi awal dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor pH terhadap pH meter digital serta pembacaan sensor suhu terhadap termometer digital. Tersedia lima pasang hasil pengukuran untuk masing-masing sensor. Penyetelan pembacaan pH pada prototipe dilakukan melalui perbandingan terhadap alat digital, tanpa penggunaan larutan buffer standar. Karena itu, hasilnya dinyatakan sebagai pembandingan awal dan bukan sebagai validasi kalibrasi tertelusur. Jais et al. (2024) menekankan perlunya prosedur pembandingan yang terdokumentasi dan penggunaan instrumen referensi yang sesuai pada evaluasi sensor kualitas air.

Perbedaan pembacaan dianalisis menggunakan mean absolute error (MAE), yaitu rata-rata nilai absolut selisih pengukuran sensor terhadap alat pembanding. Root mean square error (RMSE) digunakan untuk menggambarkan besarnya selisih kuadrat rata-rata. Kedua ukuran dihitung dari lima pasangan data yang tersedia dan dipakai sebagai statistik deskriptif pada kondisi uji, tanpa mengekstrapolasikan hasil ke seluruh rentang kerja sensor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi perangkat

Rangkaian perangkat dipasang pada kotak pelindung atau enclosure sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Susunan alat pada saat pengujian ditunjukkan pada Gambar 4. Dokumentasi tersebut menunjukkan realisasi perakitan modul pengukuran dan unit pengelola daya. Namun, ketahanan enclosure terhadap air dan kelembapan masih memerlukan pengujian berdasarkan kondisi pemasangan di tambak.



Gambar 3. Rangkaian perangkat dalam enclosure



Gambar 4. Susunan perangkat saat pengujian

Pengujian pembacaan pH

Tabel 1 menunjukkan hasil pembandingan sensor pH dengan pH meter digital. Pada kelima titik pengukuran, nilai sensor berada 0,10 satuan di atas alat pembanding. Nilai referensi berada pada rentang pH 6,8–7,5, sehingga pengujian hanya menggambarkan kemampuan pembacaan pada rentang yang relatif sempit.

Tabel 1. Hasil pembandingan sensor pH dengan pH meter digital

No.	pH referensi	pH sensor	Selisih (pH)	Galat relatif (%)
1	7,2	7,3	0,10	1,39
2	6,8	6,9	0,10	1,47
3	7,5	7,6	0,10	1,33
4	7,0	7,1	0,10	1,43
5	6,9	7,0	0,10	1,45

Berdasarkan kelima pasangan data, diperoleh MAE sebesar 0,10 pH, RMSE sebesar 0,10 pH, dan bias sebesar +0,10 pH. Selisih yang konsisten pada seluruh sampel menunjukkan adanya kemungkinan offset pembacaan yang belum dikarakterisasi secara menyeluruh. Oleh sebab itu, hasil pengujian sebaiknya ditafsirkan sebagai kesesuaian awal terhadap alat pembanding pada sampel yang diuji. Validasi lebih lanjut memerlukan larutan buffer standar pada beberapa titik serta pengukuran ulang menggunakan sampel independen. Persoalan kalibrasi dan stabilitas sensor pada lingkungan akuakultur juga dibahas oleh Jais et al. (2024) dan Flores-Iwasaki et al. (2025).

Pengujian pembacaan suhu

Pengujian suhu dilakukan dengan membandingkan sensor terhadap termometer digital pada lima kondisi pengukuran, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Selisih absolut berkisar antara 0,10 dan 0,20 °C. Pembacaan sensor seluruhnya lebih tinggi daripada termometer pembanding.

Tabel 2. Hasil pembandingan sensor suhu dengan termometer digital

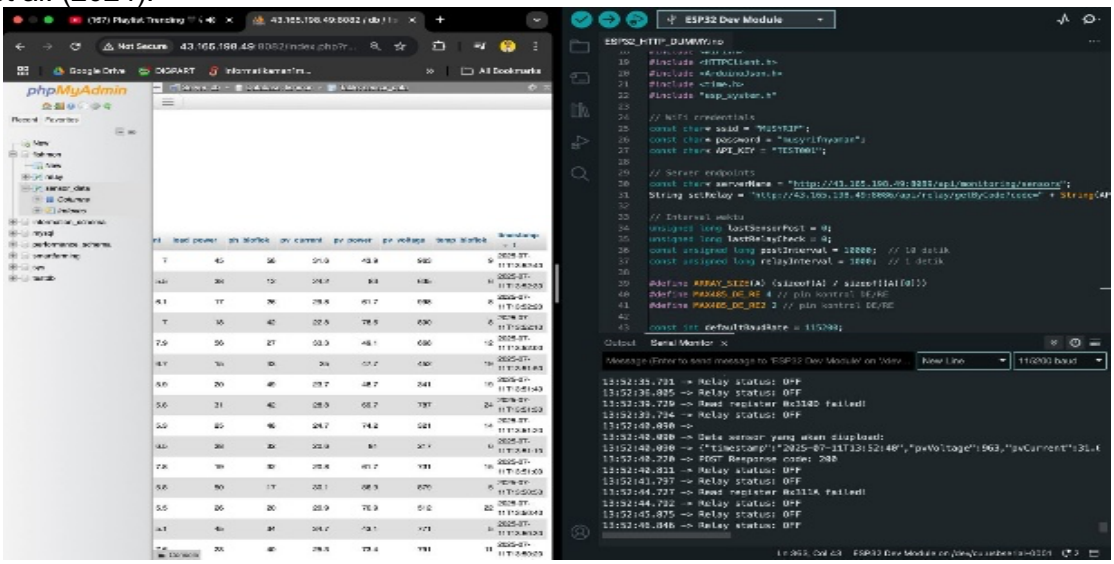
No.	Suhu referensi (°C)	Suhu sensor (°C)	|Selisih| (°C)	Galat relatif (%)
1	28,5	28,7	0,20	0,70
2	29,0	29,1	0,10	0,34
3	28,2	28,3	0,10	0,35
4	29,3	29,4	0,10	0,34
5	28,7	28,8	0,10	0,35

Dari data tersebut diperoleh MAE sebesar 0,12 °C dan RMSE sekitar 0,13 °C, dengan bias +0,12 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa pembacaan kedua alat berdekatan pada kondisi pengukuran yang dilaporkan. Namun, jumlah sampel belum mencukupi untuk menyatakan akurasi di seluruh rentang suhu tambak atau kestabilan dalam penggunaan jangka panjang.

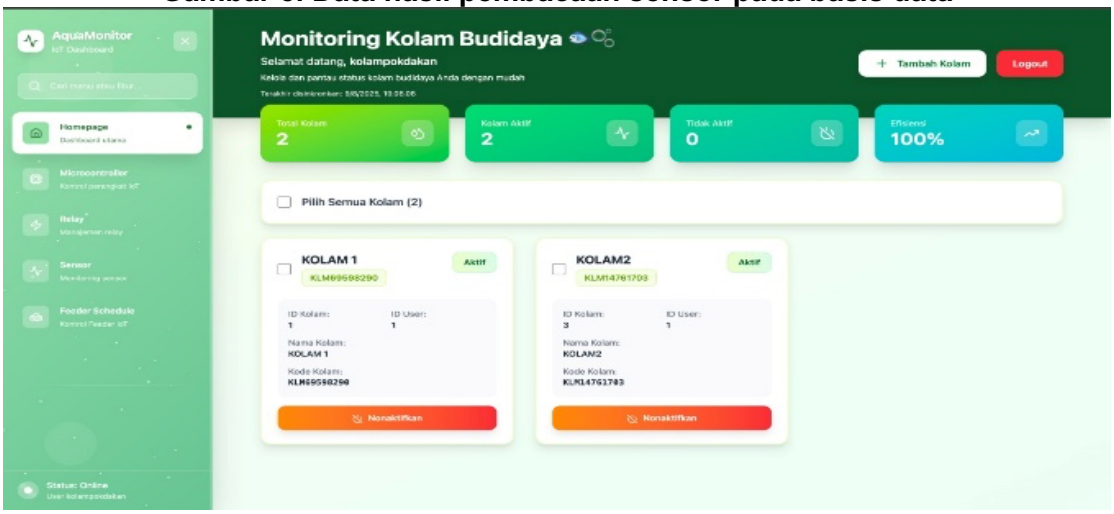
Pengiriman data dan dashboard web

Gambar 5 memperlihatkan dokumentasi data sensor yang tersimpan pada basis data, sedangkan Gambar 6 menunjukkan tampilan dashboard pemantauan. Integrasi

tersebut menunjukkan bahwa hasil pengukuran telah dapat diteruskan dari perangkat menuju penyimpanan dan ditampilkan melalui antarmuka web. Grafik dan informasi kondisi kolam menjadi dasar bagi pengguna untuk melakukan pemantauan jarak jauh, sebagaimana ditemukan pada sistem yang dikembangkan Hemal et al. (2024) dan Shete et al. (2024).



Gambar 5. Data hasil pembacaan sensor pada basis data



Gambar 6. Tampilan dashboard pemantauan kualitas air tambak

Walaupun jalur pengiriman telah didemonstrasikan, kinerja real-time belum diuji berdasarkan selang waktu dari pembacaan sensor hingga informasi muncul di dashboard. Pengukuran end-to-end latency, interval pembaruan tampilan, dan persentase paket yang berhasil disimpan perlu ditambahkan pada pengujian berikutnya. Jabbar et al. (2024) memberikan contoh pengembangan pemantauan kualitas air

berbasis komunikasi jarak jauh yang dapat dijadikan konteks pembanding untuk evaluasi transmisi.

Evaluasi rancangan sumber daya mandiri

Kombinasi panel surya dan baterai memungkinkan perangkat dirancang untuk lokasi yang tidak memiliki pasokan listrik tetap. Namun, data pengukuran konsumsi daya rata-rata, efisiensi pengisian, kondisi state of charge, dan ketahanan operasi pada malam hari belum tersedia pada evaluasi ini. Oleh sebab itu, konfigurasi panel 5 Wp dan baterai 12 V 18 Ah belum dapat dinyatakan mampu menjamin operasi terus-menerus. Pengukuran energi harian dan uji otonomi dalam kondisi penyinaran yang berbeda menjadi tahapan penting berikutnya, sesuai pendekatan evaluasi sistem tenaga mandiri yang dibahas oleh Jamroen et al. (2023) dan Qian et al. (2023).

Secara keseluruhan, hasil implementasi memberikan bukti awal terhadap fungsi pembacaan pH dan suhu, penyimpanan data, dan penyajian informasi pada dashboard. Meskipun demikian, pengujian masih terbatas pada lima pasangan data untuk masing-masing sensor. Sistem belum dievaluasi melalui uji ketahanan lingkungan, pengamatan jangka panjang, ataupun pengukuran perubahan produktivitas budidaya. Pengembangan analitik prediktif sebagaimana dibahas oleh Arepalli dan Naik (2024) baru relevan setelah tersedianya data operasional yang cukup panjang dan konsisten.

SIMPULAN

Sistem pemantauan tambak lele berbasis IoT telah diimplementasikan menggunakan ESP32, sensor pH dan suhu, pengiriman data ke server, serta dashboard web. Pembandingan awal terhadap alat ukur digital menghasilkan MAE 0,10 satuan pH dan 0,12 °C untuk suhu pada masing-masing lima pasangan data. Dokumentasi implementasi juga menunjukkan bahwa data sensor dapat tersimpan pada basis data dan ditampilkan melalui dashboard. Hasil tersebut mendukung keberfungsian dasar sistem, tetapi belum cukup untuk menilai akurasi sensor pada berbagai kondisi ataupun keandalan operasi jangka panjang.

Rancangan catu daya menggunakan panel surya 5 Wp, pengontrol MPPT, dan baterai VRLA 12 V 18 Ah masih memerlukan pengujian neraca energi serta durasi otonomi. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada kalibrasi sensor dengan acuan standar, pengukuran latensi dan keandalan transmisi, evaluasi notifikasi dan kendali, serta pengujian berkelanjutan di lokasi tambak. Parameter kualitas air lain, seperti oksigen terlarut dan kekeruhan, dapat ditambahkan setelah fungsi utama sistem tervalidasi.

DAFTAR PUSTAKA

Arepalli, P. G., & Naik, K. J. (2024). An IoT based smart water quality assessment framework for aqua-ponds management using Dilated Spatial-temporal Convolution Neural Network (DSTCNN). Aquacultural Engineering, 104, 102373. https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2023.102373

Chandramenon, P., Aggoun, A., & Tchuenbou-Magaia, F. (2024). Smart approaches to Aquaponics 4.0 with focus on water quality—A comprehensive review.

Computers and Electronics in Agriculture, 225, 109256. https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109256

Flores-Iwasaki, M., Guadalupe, G. A., Pachas-Caycho, M., Chapa-Gonza, S., Mori-Zabarburú, R. C., & Guerrero-Abad, J. C. (2025). Internet of Things (IoT) sensors for water quality monitoring in aquaculture systems: A systematic review and bibliometric analysis. AgriEngineering, 7(3), 78. https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078

Hemal, M. M., Rahman, A., Nurjahan, Islam, F., Ahmed, S., Kaiser, M. S., & Ahmed, M. R. (2024). An integrated smart pond water quality monitoring and fish farming recommendation Aquabot system. Sensors, 24(11), 3682. https://doi.org/10.3390/s24113682

Jabbar, W. A., Ting, T. M., Hamidun, M. F. I., Che Kamarudin, A. H., Wu, W., Sultan, J., Alsewari, A. A., & Ali, M. A. H. (2024). Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas. Expert Systems with Applications, 242, 122862. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122862

Jamroen, C., Yonsiri, N., Odthon, T., Wisitthiwong, N., & Janreung, S. (2023). A standalone photovoltaic/battery energy-powered water quality monitoring system based on narrowband internet of things for aquaculture: Design and implementation. Smart Agricultural Technology, 3, 100072. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100072

Jais, N. A. M., Abdullah, A. F., Kassim, M. S. M., Karim, M. M. A., Abdulsalam, M., & Muhadi, N. A. (2024). Improved accuracy in IoT-based water quality monitoring for aquaculture tanks using low-cost sensors: Asian seabass fish farming. Heliyon, 10(8), e29022. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29022

Novianarenti, E., Nugroho, P. N. A., Juniani, A. I., Sriwijayasih, I., Leonard, R., Sa'diyah, A., & Putra, Z. M. A. (2026). An integrated IoT and solar energy system for efficient water quality monitoring at sustainable intensive shrimp aquacultures. Engineering, Technology & Applied Science Research, 16(2), 33531–33538. https://doi.org/10.48084/etasr.16962

Priyanka, E. B., Thangavel, S., Mohanasundaram, R., & Anand, R. (2024). Solar powered integrated multi sensors to monitor inland lake water quality using statistical data fusion technique with Kalman filter. Scientific Reports, 14, 25202. https://doi.org/10.1038/s41598-024-76068-8

Qian, J., Dong, Y., & Xiao, X. (2023). Solar powered wireless water quality monitoring system for ornamental fish. Results in Engineering, 17, 101016. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101016

Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S. S., Ikhwanuddin, M., Kasan, N. A., Rahmat, R. F., & Mahari, W. A. W. (2023). Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. Smart Agricultural Technology, 4, 100187. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100187

Shete, R. P., Bongale, A. M., & Dharrao, D. (2024). IoT-enabled effective real-time water quality monitoring method for aquaculture. MethodsX, 13, 102906. https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.102906

Shete, R. P., Bongale, A. M., Laxmikantha, K., Hiremath, S., & Dharrao, D. (2025). Comprehensive analysis of aquaculture research trends focusing on Internet of

Things, machine learning, water quality monitoring, and cybersecurity over two decades using bibliometric data. Results in Engineering, 28, 108266. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.108266

Zamnuri, M. A. H. B., Qiu, S., Rizalmy, M. A. A. B., He, W., Yusoff, S., Roeroe, K. A., Du, J., & Loh, K.-H. (2024). Integration of IoT in small-scale aquaponics to enhance efficiency and profitability: A systematic review. Animals, 14(17), 2555. https://doi.org/10.3390/ani14172555