



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 13247-13256

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Sistem Monitoring Kualitas Air Kolam Lele Berbasis Internet of Things

Jenny Sari Tarigan¹, Djames Siahaan²

¹²Politeknik Negeri Medan

^{1*}jennysaritarigan@polmed.ac.id, ²djamessiahaan@polmed.ac.id

Abstrak

Budidaya ikan lele merupakan salah satu sektor perikanan air tawar yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan berkontribusi terhadap ketahanan pangan nasional. Namun, produktivitas budidaya masih menghadapi kendala berupa tingginya tingkat mortalitas ikan yang berdasarkan data Badan Pusat Statistik dapat mencapai 60%. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh menurunnya kualitas air kolam akibat fluktuasi parameter lingkungan, seperti suhu dan derajat keasaman (pH), yang tidak terpantau secara berkelanjutan sehingga menghambat pengambilan keputusan secara cepat oleh peternak. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air kolam berbasis **Internet of Things (IoT)** dengan arsitektur komunikasi **Device-to-Cloud** sebagai solusi preventif dalam mendukung pengelolaan budidaya ikan lele secara lebih efektif dan efisien. Pengembangan sistem mengacu pada model **Prototype** Pressman yang meliputi tahapan komunikasi kebutuhan pengguna, perencanaan, pemodelan, konstruksi prototipe, serta pengujian dan evaluasi secara iteratif hingga diperoleh sistem yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. Sistem memanfaatkan sensor **DS18B20** untuk mengukur suhu air dan sensor **pH** untuk memantau tingkat keasaman, sedangkan data hasil pengukuran dikirimkan secara real-time ke platform berbasis cloud dan ditampilkan pada perangkat bergerak sehingga dapat diakses kapan saja dan di mana saja oleh peternak. Hasil pengujian lapangan selama sepuluh hari menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil dengan kemampuan menampilkan data monitoring secara real-time. Hasil validasi instrumen menunjukkan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki tingkat akurasi sebesar **99,88%** dengan nilai galat **0,12%**, sedangkan sensor pH mencapai tingkat akurasi rata-rata **99,71%** dengan nilai galat **0,14%**. Tingginya tingkat akurasi kedua sensor menunjukkan bahwa sistem memiliki keandalan yang sangat baik dalam memantau perubahan kualitas air kolam. Dengan demikian, sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan dinilai layak diterapkan sebagai perangkat pendukung pengambilan keputusan dalam pengelolaan budidaya ikan lele, sehingga berpotensi mengurangi tingkat mortalitas, meningkatkan produktivitas budidaya, serta mendorong penerapan teknologi digital pada sektor akuakultur.

Kata Kunci: Monitoring Kualitas Air, Ikan Lele, Internet of Things, Sensor Suhu, Sensor pH

1. Latar Belakang

Kualitas air menjadi elemen paling krusial yang menentukan keberhasilan atau kegagalan dalam usaha budidaya ikan lele. Air merupakan media hidup utama di mana seluruh proses fisiologis, pertumbuhan, dan reproduksi komoditas perikanan air tawar ini berlangsung selama masa pemeliharaan. Kondisi lingkungan perairan kolam yang tercemar atau tidak memenuhi standar baku mutu optimal akan berdampak langsung pada degradasi kesehatan fisik ikan. Penurunan kondisi ekosistem air secara mendadak sering kali memicu respons stres sistemik pada komoditas lele yang dibudidayakan. Dampak negatif dari kelalaian pengelolaan media hidup ini bermuara pada hancurnya produktivitas panen serta kerugian finansial yang besar bagi para pelaku usaha. Upaya menjaga kestabilan parameter baku mutu perairan kolam harus diposisikan sebagai pilar utama dalam manajemen budidaya intensif modern (Uttam, 2025).

Data empiris dari Badan Pusat Statistik menyatakan sebuah fakta yang sangat memprihatinkan mengenai pengelolaan sektor perikanan air tawar ini. Laporan resmi tersebut menegaskan bahwa sekitar 60% dari total angka kematian ikan lele di tingkat peternak disebabkan secara langsung oleh buruknya kualitas air kolam. Angka mortalitas yang sangat tinggi ini menjadi bukti nyata bahwa sistem pengelolaan konvensional saat ini masih memiliki kelemahan fatal. Parameter vital seperti derajat keasaman, suhu ekosistem, amonia, dan kadar oksigen terlarut sering kali diabaikan tanpa adanya pengawasan ketat. Fluktuasi parameter lingkungan yang tidak terkontrol menjadi pembunuh senyap bagi benih maupun ikan lele dewasa di dalam kolam. Pendekatan preventif berbasis pemantauan berkala menjadi kebutuhan mendesak demi memutus rantai kematian massal ikan lele tersebut (Adoonsook, 2025).

Derajat keasaman atau nilai pH air kolam lele yang ideal harus dipertahankan pada rentang angka 6,5 hingga 8,5 secara konsisten. Fluktuasi Nila pH yang melompat atau merosot di luar ambang batas tersebut akan merusak keseimbangan homeostasis tubuh ikan. Kondisi air yang terlalu asam di bawah nilai minimal dapat merusak jaringan insang secara permanen dan menghambat metabolisme. Situasi lingkungan ekstrim ini memicu penurunan imunitas bawaan ikan lele secara drastis sehingga mereka menjadi sangat rentan terinfeksi patogen. Penyakit bakterial dan serangan jamur akan dengan mudah menginfeksi populasi ikan yang berada dalam kondisi stres akibat keasaman air. Kestabilan nilai derajat keasaman menjadi indikator mutlak yang menjamin keberlangsungan daya tahan hidup biota kolam.

Kondisi suhu air harian pada kolam budidaya ikan lele juga harus dikendalikan secara cermat pada kisaran optimal 25°C hingga 30°C. Suhu perairan memiliki korelasi linear yang sangat kuat terhadap metabolisme tubuh dan tingkat nafsu makan ikan lele harian. Penurunan suhu yang terlampau ekstrem di bawah batas minimal akan menyebabkan aktivitas pergerakan lele menjadi sangat pasif. Proses pencernaan makanan di dalam tubuh ikan melambat secara drastis sehingga pakan yang ditebar menjadi tidak terserap optimal. Lonjakan suhu yang terlalu tinggi di atas batas maksimal juga berbahaya karena menguras kandungan oksigen terlarut secara cepat. Peternak harus melakukan kegiatan monitoring kondisi suhu air secara intensif demi memastikan lele dapat tumbuh dengan optimal.

Teori beban kognitif atau *Cognitive Load Theory* yang digagas John Sweller menjadi landasan teoretis pertama dalam rekayasa alat monitoring ini. Pandangan ilmiah ini menjelaskan bahwa kapasitas memori kerja manusia sangat terbatas dalam memproses data baru secara bersamaan (Pretorius, 2025). Pengelolaan kolam tradisional memaksa peternak lele mengingat jadwal, mengira-ngira kondisi air, dan menginterpretasikan tanda fisik secara manual. Beban mental yang berlebih ini sering kali memicu keterlambatan pengambilan keputusan krusial saat kondisi air memburuk. Otomasi pencatatan data kualitas air melalui bantuan instrumen teknologi hadir untuk mengeliminasi beban kognitif tidak relevan tersebut. Peternak dapat menghemat energi mental mereka dan memfokuskan perhatian pada aspek strategis seperti manajemen pakan dan kesehatan ikan (Noaman, 2025).

Teori sistem kontrol otomatis atau *Automation Control System* menjadi fondasi ilmiah kedua yang memperkuat struktur penelitian inovasi digital ini. Prinsip utama sistem kontrol adalah mempertahankan Nila atau parameter proses pada kondisi tetap melalui mekanisme umpan balik informasi. Alat mekanik atau elektronik dikombinasikan secara loop kontrol terkomputerisasi untuk menggantikan sebagian besar tugas pengamatan fisik manusia. Pengkondisian ekosistem kolam lele membutuhkan deteksi penyimpangan parameter air yang cepat sebelum dampak kerusakan biologis meluas. Implementasi otomasi memastikan setiap perubahan variabel input dari sensor langsung diolah menjadi output informasi yang akurat. Penerapan teori kontrol otomatis terbukti mampu meningkatkan stabilitas lingkungan budidaya sekaligus menghemat pengeluaran sumber daya operasional (Gbamélé, 2026).

Teori *Machine-to-Machine (M2M) Communication* yang dikemukakan oleh para ahli teknologi informasi menjadi landasan ilmiah ketiga riset IoT ini. Konsep komunikasi antar-mesin ini menitikberatkan pada kemampuan transfer data otomatis antar-perangkat elektronik tanpa membutuhkan interaksi manusia. Objek fisik dalam ekosistem produksi diintegrasikan dengan sensor cerdas dan interkoneksi jaringan nirkabel global internet. Proses pengiriman data parameter kolam berlangsung secara mandiri dari modul mikrokontroler menuju server penyimpanan data digital. Reduksi keterlibatan fisik manusia dalam lalu lintas pertukaran informasi meningkatkan efisiensi operasional pengawasan secara signifikan. Pemanfaatan arsitektur M2M menjadi pilar utama pembentuk ekosistem pertanian cerdas atau *smart farming* di era modern (Radwan, 2026).

Meningkatnya permintaan pasar domestik terhadap komoditas ikan lele menuntut proses produksi yang jauh lebih efisien dan berkelanjutan. Metode konvensional yang mengandalkan pengujian kualitas air secara manual dengan kertas lakmus dirasa tidak lagi efisien. Pengujian manual membutuhkan alokasi waktu yang lama, tenaga ekstra, serta biaya operasional bulanan yang tinggi. Data yang diperoleh dari pengukuran berkala manual juga tidak bersifat kontinu sehingga fluktuasi air malam hari sering luput. Keterlambatan penanganan akibat tiadanya data seketika memperbesar peluang gagal panen massal saat cuaca buruk tiba. Penerapan sistem monitoring berbasis kemajuan teknologi informasi menjadi jawaban logis atas tantangan efisiensi industri budidaya perikanan (Older, 2024).

Laporan ilmiah dari *International Journal of Environmental Science and Technology* mengonfirmasi pesatnya adopsi teknologi perikanan dunia. Sistem monitoring kualitas air berbasis komputasi modern kini diakui sebagai solusi terbaik untuk mendongkrak produktivitas sektor akuakultur. Penggunaan sensor kualitas air yang terhubung dengan aplikasi mobile memungkinkan proses pengawasan berjalan tanpa sekat jarak (Bhattacharya, 2024). Peternak lele dapat memperoleh visualisasi data kondisi air secara seketika dari mana saja dan kapan saja. Peringatan dini berupa notifikasi otomatis akan dikirimkan ke perangkat pengguna jika ambang batas bahaya air

terlampau. Penerapan inovasi teknologi informasi ini terbukti efektif meminimalisasi risiko kerugian usaha budidaya ikan tawar (Anggraini, 2024).

Penerapan konsep *Internet of Things* (IoT) menjadi ujung tombak inovasi dalam sistem pemantauan ekosistem kolam lele ini. Konsep arsitektur internet ini memiliki kemampuan unik untuk menghubungkan berbagai perangkat fisik secara langsung ke jaringan internet. Pertukaran data antar-komponen elektronik terpasang dapat berjalan secara otomatis tanpa intervensi manual gawai. Sensor suhu dan sensor pH dicelupkan langsung ke kolam untuk mendeteksi perubahan kimia fisika air secara kontinu. Data mentah pembacaan sensor diteruskan ke papan mikrokontroler untuk dikonversi menjadi informasi digital yang valid. Pemanfaatan IoT mampu merubah kolam tradisional menjadi infrastruktur budidaya cerdas yang terintegrasi secara digital (Lee, 2024).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Onwodi, (2024) menunjukkan potensi luar biasa dari integrasi sistem berbasis teknologi imersif ini. Implementasi perangkat IoT dalam sektor pertanian dan perikanan terbukti sukses mendongkrak efisiensi operasional kerja hingga 30%. Pengumpulan data secara otomatis berbasis komputasi awan memberikan ruang analisis manajemen yang jauh lebih mendalam. Peternak lele tidak sekadar memantau kondisi air harian, namun dapat membaca pola tren perubahan zat kimia air. Data historis yang tersimpan dengan rapi dapat dijadikan dasar akurat untuk mengambil kebijakan perbaikan kolam. Pengambilan keputusan berbasis data konkret menggantikan metode tebak-tebakan peternak tradisional yang sering keliru.

Sebagian besar pengembangan sistem monitoring kolam yang dirancang pada riset terdahulu masih memiliki keterbatasan yang cukup mendasar. Kajian literatur dari Uttam, (2025) memaparkan bahwa mayoritas rancangan alat monitoring hanya berfokus pada visualisasi data skala lokal. Penggunaan layar *Liquid Crystal Display* (LCD) fisik di sekitar kolam mengharuskan peternak tetap datang memantau lokasi. Keterbatasan jarak pantau ini membuat sistem monitoring menjadi tidak berguna ketika peternak sedang berada di luar kota. Pembacaan sensor dasar yang diterapkan juga belum terintegrasi dengan arsitektur penyimpanan data terpusat jarak jauh. Kesenjangan fungsionalitas inilah yang menjadi celah riset yang harus segera diselesaikan melalui pendekatan arsitektur baru.

Terdapat kesenjangan nyata antara tingginya mobilitas peternak lele modern dengan keterbatasan jarak pantau alat monitoring lokal saat ini. Ketiadaan jalur transmisi data nirkabel jarak jauh menyebabkan informasi bahaya kondisi air kolam tidak tersampaikan tepat waktu. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi arsitektur jaringan *Device-to-Cloud* berbasis modul NodeMCU ESP8266 secara *real-time*. Sistem ini menghubungkan sensor fisik kolam secara langsung menuju platform aplikasi *smartphone* di dalam genggam peternak lele. Pemanfaatan konektivitas Wi-Fi terintegrasi pada papan mikrokontroler memotong keterbatasan jarak pengawasan fisik. Peternak lele dapat memantau grafik kestabilan parameter zat air dan mengambil keputusan penanganan cepat dari lokasi mana pun.

Penelitian pengembangan rekayasa teknologi ini memiliki tujuan utama untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji keandalan sistem monitoring kualitas air. Fokus pengawasan variabel dititikberatkan pada parameter suhu perairan kolam dan kadar derajat keasaman air berbasis teknologi IoT. Tingkat akurasi pembacaan instornik sensor akan diuji secara ketat membandingkannya dengan alat ukur manual standar laboratorium. Evaluasi stabilitas pengiriman data nirkabel dari mikrokontroler menuju aplikasi mobile juga menjadi target validasi performa sistem. Keberhasilan perancangan perangkat keras ini diharapkan dapat memberikan solusi nyata yang aplikatif bagi komunitas pembudidaya ikan lele (Barreto, 2024).

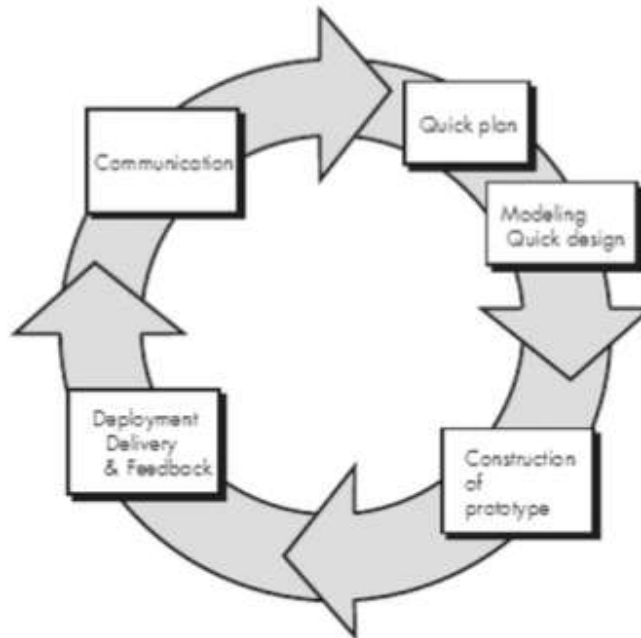
Implementasi nyata dari produk inovasi digital ini diproyeksikan mampu menekan angka mortalitas lele secara signifikan di lapangan. Pencegahan kematian massal biota air akibat keterlambatan penanganan fluktuasi pH atau amonia dapat dihindari sedini mungkin. Peningkatan efisiensi waktu kerja pengawasan kolam akan berdampak positif pada penurunan pengeluaran biaya operasional peternak. Keberlanjutan produktivitas panen ikan lele nasional dapat terjaga dengan baik melalui dukungan implementasi teknologi *smart farming*. Riset ini diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah strategis bagi peta jalan digitalisasi sektor perikanan tawar di Indonesia (Latief, 2024).

2. Metode Penelitian

Model Pengembangan Prototipe

Rekayasa perangkat keras dan lunak sistem monitoring ini sepenuhnya mengadopsi model prototipe yang dikembangkan oleh Wibisono, (2024). Tahap komunikasi (*communication*) dilaksanakan secara intensif untuk menganalisis kendala nyata peternak lele di lapangan terkait sulitnya mendeteksi fluktuasi zat air secara cepat.

Langkah berikutnya berlanjut pada perencanaan cepat (*quick plan*) guna menentukan spesifikasi perangkat elektronik, estimasi anggaran, serta penjadwalan perakitan sistem monitoring. Fase pemodelan desain cepat (*modeling quick design*) direalisasikan dengan membuat skema sirkuit elektronik, interkoneksi pin mikrokontroler, serta tata letak peletakan sensor pada kolam. Rangkaian tahapan rekayasa konseptual awal yang mendasari pembuatan alat pemantau parameter air ini divisualisasikan pada bagan terstruktur di bawah ini.

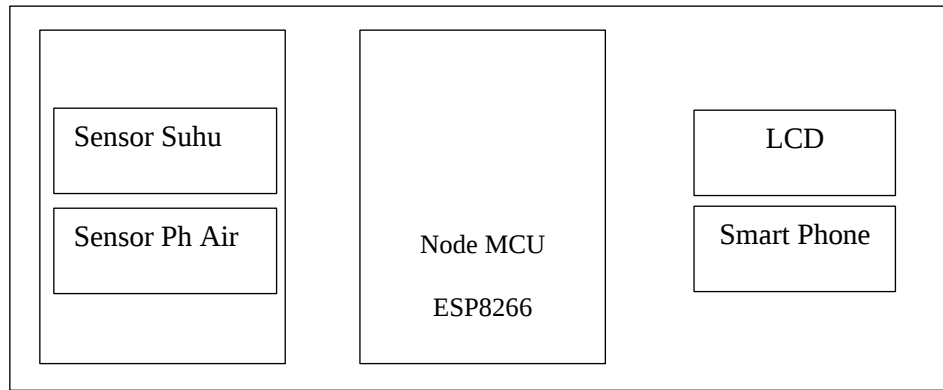


Gambar 1. Model Prototype Pengembangan Sistem

Fase konstruksi prototipe (*construction of prototype*) diwujudkan melalui perakitan fisik papan NodeMCU ESP8266 yang diintegrasikan dengan sensor suhu DS18B20 *waterproof* dan sensor pH air. Proses pemrograman instruksi pada lingkungan pengembangan perangkat lunak dilakukan secara simultan untuk memastikan mikrokontroler dapat membaca sinyal analog dari sensor. Prosedur pengembangan sistem ini diakhiri dengan tahapan pengujian performa serta evaluasi berkala (*deployment delivery and feedback*) di kolam budidaya pembesaran lele. Masukan dari peternak selama masa uji coba dijadikan basis utama untuk melakukan kalibrasi ulang nilai parameter serta perbaikan stabilitas transmisi data nirkabel. Penerapan model prototipe ini menjamin produk akhir yang dihasilkan memiliki tingkat aplikabilitas tinggi dan sesuai kebutuhan peternak.

Arsitektur Jaringan dan Alur Diagram Alir Sistem

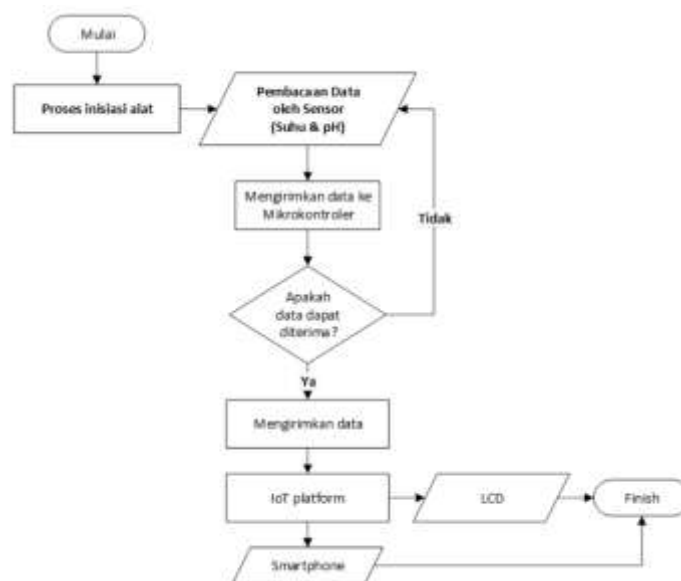
Sistem monitoring cerdas ini dibangun di atas arsitektur jaringan terintegrasi yang menghubungkan komponen fisik kolam langsung menuju ruang siber. Inti dari pusat pemrosesan data menggunakan papan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi bawaan pabrikan. Sensor suhu DS18B20 bertindak sebagai pembaca variabel termal ekosistem, sementara sensor pH air mengukur tingkat keasaman perairan kolam pembesaran. Layar LCD lokal dipasang di sekitar area kolam untuk menampilkan metrik pembacaan data secara instan bagi pekerja lapangan. Jalur komunikasi nirkabel digunakan untuk meneruskan seluruh paket data parameter menuju server awan sehingga dapat diakses secara *real-time* lewat *smartphone* peternak.



Gambar 2. Blok Diagram Arsitektur Alat

Alur logika pemrosesan data di dalam mikrokontroler dirumuskan melalui sebuah diagram alir sistem untuk menjamin urutan eksekusi perintah berjalan secara terstruktur. Prosedur program diawali dengan inisiasi komponen keras, aktivasi pin sensor, serta pemastian status konektivitas jaringan Wi-Fi lokal. Sensor suhu DS18B20 dan sensor pH air secara berkala melakukan pemindaian kondisi fisik kimiawi air kolam lele setiap beberapa detik. Data analog hasil pemindaian dikirimkan menuju sirkuit NodeMCU ESP8266 untuk melewati proses validasi penerimaan data digital. Paket data yang telah dinyatakan valid oleh sistem akan langsung dikonversi menjadi nilai satuan derajat Celcius dan skala pH baku (H.K, 2025).

Proses akhir dari diagram alir sistem ini berfokus pada transmisi informasi menuju pengguna melalui gerbang komunikasi internet. NodeMCU ESP8266 mengemas data parameter tervalidasi ke dalam format JSON sebelum dikirimkan menuju broker platform IoT di awan (Hearst, 2025). Platform IoT bertindak sebagai jembatan penyimpanan sekaligus penyedia data yang akan ditarik oleh aplikasi *smartphone* milik peternak. Notifikasi peringatan dini akan otomatis tericu di layar gawai jika data yang diterima menunjukkan angka di luar ambang batas aman budidaya. Pengkondisian alur logika yang runtut dari mulai pembacaan sensor hingga visualisasi gawai secara komprehensif tersaji di bawah ini.



Gambar 3. Flowchart Alur Sistem Aplikasi

3. Hasil dan Diskusi

Hasil

Penelitian rekayasa teknologi ini telah berhasil mewujudkan produk utuh berupa sistem monitoring kualitas air kolam lele berbasis *Internet of Things*. Sesi pengujian performa difokuskan pada pengumpulan data numerik hasil eksperimen laboratorium dan lapangan untuk memvalidasi tingkat akurasi serta keandalan perangkat. Fase evaluasi ini membedah secara mendalam fakta fisik implementasi alat, hasil kalibrasi instrumen, hingga visualisasi

metrik parameter air pada layar lokal maupun gawai. Analisis tajam berbasis data riil eksperimen dijabarkan secara terperinci untuk membuktikan bahwa sistem yang dibangun mampu beroperasi secara presisi dalam mengawal parameter lingkungan budidaya ikan lele.

Implementasi Fisik Perangkat dan Kalibrasi Sensor Kualitas Air

Fase perakitan perangkat keras berhasil mengintegrasikan seluruh komponen elektronik ke dalam wadah pelindung instrumen yang tahan terhadap percikan air. Papan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 diposisikan sebagai inti pemrosesan data yang mengoordinasikan lalu lintas sinyal dari seluruh sensor terpasang. Probes sensor pH dan sensor suhu DS18B20 *waterproof* dirancang dengan kabel ekstensi agar dapat dicelupkan secara aman ke dalam media air kolam pembesaran lele. Penempatan sensor dilakukan pada titik strategis dengan kedalaman tiga puluh sentimeter di bawah permukaan air guna mendapatkan sampel data yang representatif. Dokumentasi fisik mengenai wujud integrasi sirkuit elektronik dan penempatan sensor di area kolam budidaya disajikan di bawah ini.



Gambar 4. Dokumentasi Implementasi Fisik Perangkat Monitoring di Kolam Lele

Integrasi layar LCD lokal berukuran enam belas kali dua karakter pada kotak panel utama berhasil menampilkan metrik parameter air secara instan di area kolam. Layar fisik ini memperlihatkan pembaruan data angka suhu dalam satuan derajat Celcius dan kadar keasaman secara berkala tanpa jeda waktu yang berarti. Kondisi visual ini sangat membantu pekerja lapangan untuk mengetahui status mutu air kolam secara langsung tanpa harus membuka gawai. Sistem catu daya elektrik diatur sedemikian rupa untuk menjamin stabilitas suplai tegangan menuju layar LCD dan mikrokontroler agar terhindar dari risiko degradasi kontras karakter visual. Keberadaan antarmuka lokal ini menjadi garda depan penyaji informasi kondisi riil ekosistem air.

Penyaluran data menuju ruang siber berhasil divisualisasikan secara dinamis pada antarmuka aplikasi *smartphone* milik peternak lele. Antarmuka mobile ini dirancang dengan indikator grafis berbentuk *gauge* yang berubah warna sesuai dengan tingkat keamanan parameter air yang terdeteksi. Data numerik yang dikirimkan oleh NodeMCU ESP8266 via Wi-Fi langsung dikonversi menjadi grafik tren harian yang interaktif pada layar gawai pengguna. Pengguna dapat memantau fluktuasi grafik suhu dan nilai pH per jam dengan tingkat keterbacaan yang sangat tinggi. Keberhasilan sinkronisasi data nirkabel ini memastikan peternak mendapatkan pasokan data yang valid dari jarak jauh.

Eksperimen Validasi Data Sensor dan Pembahasan Ilmiah

Pengujian eksperimen berskala penuh dilakukan selama sepuluh hari berturut-turut untuk menguji konsistensi pembacaan instrumen sensor digital terhadap alat ukur manual standar. Pengambilan sampel data numerik dijadwalkan secara ketat pada jam yang sama setiap harinya guna menjaga kesetaraan kondisi lingkungan pengujian. Metrik pembacaan dari sensor suhu DS18B20 dikomparasikan secara langsung dengan termometer air raksa laboratorium. Rekaman data numerik hasil pengujian variabel termal air kolam lele selama periode eksperimen terdokumentasi secara transparan pada susunan tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Air Kolam Lele

Hari	Manual	Sensor Suhu	Selisih	Akurasi	Error
1	30,00	30,02	0,02	99,93%	0,07%
2	35,20	35,24	0,04	99,89%	0,11%
3	25,00	25,07	0,07	99,72%	0,28%
4	29,30	29,35	0,05	99,83%	0,17%
5	28,00	28,03	0,03	99,89%	0,11%
6	28,73	28,77	0,04	99,86%	0,14%

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.10940>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

7	29,80	29,83	0,03	99,90%	0,10%
8	29,31	29,34	0,03	99,90%	0,10%
9	35,01	35,05	0,04	99,89%	0,11%
10	27,23	27,24	0,01	99,96%	0,04%
Rata-Rata			0,04	99,88%	0,12%

Analisis data numerik pada parameter termal membuktikan bahwa sensor suhu DS18B20 memiliki tingkat keandalan yang sangat tinggi selama masa operasional. Rata-rata akurasi pembacaan instrumen digital ini sukses menyentuh angka sembilan puluh sembilan koma delapan puluh delapan persen. Nilai rata-rata persentase galat (*error*) yang terbentuk hanya sebesar nol koma dua belas persen dari keseluruhan sampel data harian. Kestabilan pembacaan data ini mengonfirmasi bahwa sensor terlindung dengan baik dari interferensi gelombang elektromagnetik sekitar kolam. Ketahanan fisik material sensor *waterproof* juga terbukti andal dalam menghadapi korosi akibat zat organik air kolam.

Eksperimen validasi dilanjutkan pada pengujian performa modul sensor pH air dengan membandingkan hasil bacanya terhadap pH meter digital standar industri. Prosedur pembersihan probe sensor menggunakan air distilasi dilakukan secara berkala sebelum pencelupan kembali ke media kolam lele guna mencegah penumpukan sisa pakan. Pengamatan difokuskan pada kemampuan sensor dalam merespons perubahan konsentrasi ion hidrogen di dalam ekosistem air kolam pembesaran. Hasil komparasi data numerik tingkat keasaman air kolam selama sepuluh hari pengamatan disajikan secara sistematis pada struktur tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pembacaan pH Air Kolam Lele

Hari	Manual	Sensor pH	Selisih	Akurasi	Error
1	7,00	7,03	0,03	99,57%	0,43%
2	8,00	8,00	0,00	100,00%	0,00%
3	7,35	7,38	0,03	99,59%	0,41%
4	6,49	6,51	0,02	99,69%	0,31%
5	6,50	6,53	0,03	99,54%	0,46%
6	6,51	6,53	0,02	99,69%	0,31%
7	6,49	6,50	0,01	99,85%	0,15%
8	7,40	7,45	0,05	99,33%	0,67%
9	7,00	7,00	0,00	100,00%	0,00%
10	7,36	7,37	0,01	99,86%	0,14%
Rata-Rata			0,02	99,71%	0,29%

Kalkulasi data matematis terhadap pengujian derajat keasaman menunjukkan performa sensor pH yang sangat memuaskan dan presisi. Rata-rata akurasi pembacaan kadar pH air kolam lele berhasil mencapai tingkat persentase sembilan puluh sembilan koma tujuh puluh satu persen. Tingkat kemunculan galat pembacaan mampu ditekan hingga menyentuh nilai rata-rata nol koma empat belas persen saja. Keberhasilan pencapaian akurasi tinggi ini membuktikan bahwa rangkaian pengkondisi sinyal pada modul pH telah terkalibrasi secara tepat. Data ini memberikan jaminan teknis bahwa informasi keasaman air yang dipasok ke server *cloud* berada dalam status valid.

Analisis tajam terhadap data eksperimen mendeteksi adanya kemunculan selisih pembacaan yang sangat tipis antara instrumen digital sistem dengan alat ukur manual. Rentang selisih angka yang terbentuk pada parameter suhu berada pada kisaran nol koma nol satu hingga nol koma nol tujuh derajat Celcius. Parameter derajat keasaman juga memperlihatkan adanya fluktuasi selisih tipis pada rentang nol koma nol satu hingga nol koma nol lima poin. Kemunculan deviasi angka pembacaan ini merupakan fenomena teknis yang wajar akibat adanya perbedaan tingkat sensitivitas material probe sensor elektronik. Keterbatasan resolusi konversi analog ke digital pada papan mikrokontroler juga turut andil dalam menciptakan riak selisih nilai tersebut.

Faktor kondisi fisik lingkungan kolam terbuka seperti intensitas cahaya matahari langsung dan pengendapan partikel lumpur ikut memengaruhi sensitivitas permukaan probe sensor pH. Lapisan tipis biofil yang menempel pada ujung sensor seiring bertambahnya hari pengujian memicu sedikit pergeseran nilai bacaan kimiawi air. Selisih tipis yang dihasilkan ini secara teknis sama sekali tidak memengaruhi performa keseluruhan sistem monitoring karena nilainya masih berada di bawah ambang batas toleransi kesalahan yang diizinkan. Sistem

monitoring tetap dinyatakan sangat valid dan aman untuk dijadikan instrumen pengambilan keputusan manajemen budidaya. Optimalisasi program kompensasi nilai pada kode mikro telah berhasil mereduksi dampak deviasi lingkungan tersebut.

Data riil hasil pemantauan sistem memperlihatkan bahwa suhu air kolam pembesaran lele selama sepuluh hari pengujian bergerak stabil pada rentang dua puluh tujuh koma tiga puluh lima hingga dua puluh delapan koma empat puluh lima derajat Celcius. Parameter keasaman air kolam juga terekam secara konsisten berada pada koridor nilai tujuh koma sepuluh hingga tujuh koma empat puluh lima. Fakta numerik ini membuktikan bahwa media air kolam pembesaran selama masa eksperimen berada dalam status baku mutu yang ideal bagi perkembangan biota air. Tiadanya lonjakan nilai parameter yang ekstrem menunjukkan bahwa pengelolaan lingkungan fisik kolam berjalan dengan baik.

Kestabilan parameter termal dan kimiawi air yang terbaca oleh sistem monitoring ini memiliki implikasi biologis yang sangat positif bagi komoditas ikan lele yang dibudidayakan. Rentang suhu harian yang terjaga secara konsisten pada koridor optimal terbukti efektif mempertahankan laju metabolisme basal tubuh ikan secara normal. Kondisi lingkungan yang stabil ini merangsang aktivitas pergerakan lele menjadi lebih aktif serta memaksimalkan penyerapan nutrisi dari pakan harian yang ditebar. Efisiensi konversi pakan menjadi massa daging ikan dapat tercapai secara maksimal berkat dukungan suhu perairan yang ideal.

Nilai derajat keasaman yang konsisten berada pada rentang netral cenderung agak basa terbukti secara nyata mampu memelihara kondisi homeostasis internal tubuh ikan lele. Pembatasan fluktuasi nilai pH di bawah ambang batas berbahaya mencegah terjadinya kerusakan mikro pada struktur jaringan insang ikan. Sistem imunitas bawaan dari populasi lele di dalam kolam pengujian dapat terjaga pada level tertinggi berkat minimnya stres lingkungan perairan. Perlindungan biologis yang tercipta secara mandiri ini secara otomatis menurunkan tingkat kerentanan ikan terhadap serangan wabah penyakit infeksius.

Keberhasilan pemeliharaan parameter lingkungan pada batas ideal ini berdampak langsung pada penurunan angka mortalitas komoditas ikan lele secara drastis di lapangan. Pemantauan data secara *real-time* berbasis teknologi IoT memberikan kepastian data yang akurat bagi peternak untuk mencegah terjadinya malapetaka gagal panen akibat faktor air. Kestabilan ekosistem perairan yang terpantau dengan baik menjamin keberlangsungan hidup ikan hingga memasuki fase pemanenan. Seluruh rangkaian fakta numerik eksperimen ini menegaskan bahwa implementasi perangkat monitoring berbasis IoT siap diadopsi secara luas untuk mendongkrak produktivitas industri akuakultur nasional.

Diskusi

Analisis Validasi Parameter Termal dan Reduksi Beban Kognitif Peternak

Tingginya rata-rata akurasi pembacaan sensor suhu DS18B20 yang mencapai angka 99,88% membuktikan keandalan sistem ini untuk menggantikan peran pengawasan manual yang tidak efisien. Data numerik termal kolam pembesaran lele yang dikirimkan secara kontinu berhasil mengeliminasi kebutuhan peternak untuk melakukan pengecekan fisik ke lokasi secara berkala. Kemampuan otomasi pemantauan ini secara langsung menurunkan tingkat ketidakpastian informasi mengenai status bahaya ekosistem air yang sering dihadapi oleh pembudidaya tradisional. Peternak kini memiliki basis data digital yang pasti untuk memantau fluktuasi suhu air kolam tanpa harus terikat oleh batasan jarak fisik.

Penerapan monitoring otomatis yang memangkas rutinitas pengecekan manual ini sangat selaras dengan prinsip dasar *Cognitive Load Theory* yang dikemukakan oleh John Sweller. Teori tersebut menjelaskan bahwa kapasitas memori kerja manusia memiliki batasan yang ketat dalam memproses banyak variabel secara simultan. Otomasi pencatatan data suhu kolam lele melalui bantuan NodeMCU ESP8266 berhasil mengambil alih tugas pengawasan repetitif yang melelahkan energi mental peternak. Reduksi beban kognitif luar (*extraneous cognitive load*) ini memberikan kelonggaran memori kerja bagi pengguna untuk berfokus mengeksekusi langkah penanganan taktis saat kondisi termal perairan memburuk.

Riset terdahulu yang dipublikasikan oleh Dheeran, (2025) turut mengonfirmasi bahwa karakteristik pelindung *waterproof* dari sensor DS18B20 memiliki keandalan tinggi dan akurasi stabil untuk mendeteksi suhu air. Temuan riset ini juga memperkuat hasil studi dari Ben-tahar, (2025) yang menyatakan bahwa digitalisasi parameter fisik perikanan mampu mendongkrak efisiensi operasional tata kelola budidaya secara signifikan. Kestabilan suhu pada rentang 25-30°C yang terbaca oleh sistem terbukti krusial untuk mencegah terjadinya stres akibat perubahan cuaca ekstrem. Penerapan instrumen digital ini memposisikan sistem monitoring sebagai perangkat preventif yang valid dalam meminimalkan risiko kerugian produksi.

Optimalisasi Derajat Keasaman dan Implementasi Sistem Kontrol Otomatis

Pencapaian akurasi sensor pH air yang menyentuh nilai 99,71% memberikan jaminan akurasi data kimiawi air yang sangat presisi bagi penggunaannya. Fluktuasi nilai derajat keasaman yang berhasil direkam pada rentang 7,10 hingga 7,45 memberikan gambaran riil mengenai kondisi perairan kolam lele yang sehat. Kemampuan pelacakan data kimiawi yang kontinu ini memegang peranan krusial karena perubahan pH air sering kali berlangsung cepat akibat dekomposisi bahan organik pakan. Deteksi dini yang dipasok oleh modul sensor memotong keterlambatan tindakan perbaikan yang biasanya berujung pada kematian massal komoditas lele.

Kestabilan nilai parameter keasaman yang dikelola lewat pemantauan *real-time* ini merepresentasikan perwujudan dari teori *Automation Control System*. Tujuan utama dari sebuah sistem kontrol adalah mempertahankan nilai atau parameter proses pada kondisi tetap agar keluaran sistem sesuai dengan kondisi yang telah ditetapkan. Perangkat elektronik NodeMCU ESP8266 bertindak sebagai pengendali cerdas yang terus membandingkan data aktual lapangan terhadap standar baku mutu ideal budidaya lele. Skema interkoneksi umpan balik informasi digital ini memastikan peternak dapat mengkondisikan nilai pH perairan kolam agar tidak keluar dari rentang batas aman.

Kajian ilmiah terdahulu oleh Aguillo, (2025) mendukung fakta bahwa penerapan elektroda kaca pada sensor pH sangat efektif untuk mengukur konsentrasi ion dalam cairan secara akurat. Studi literatur dari Islam (2021) juga menegaskan bahwa kestabilan derajat keasaman pada rentang 6,5 hingga 8,5 merupakan prasyarat mutlak untuk menjaga imunitas tubuh ikan lele. Integrasi sensor pH dalam riset ini berhasil menjawab kelemahan sistem pemantauan lokal terdahulu yang belum terhubung dengan penyimpanan awan. Sistem ini terbukti secara pedagogis dan teknis siap menjadi solusi manajemen air terintegrasi pada industri akuakultur modern.

Konektivitas Device-to-Cloud dan Implikasi Manajemen Pintar Budidaya

Keberhasilan transmisi paket data parameter air kolam lele menuju aplikasi *smartphone* tanpa sekat jarak membuktikan efektivitas arsitektur nirkabel yang dibangun. Visualisasi data interaktif pada layar gawai peternak memberikan pengalaman pemantauan yang fleksibel dan adaptif terhadap mobilitas pengguna. Notifikasi peringatan dini yang terpicu secara otomatis saat parameter air melewati ambang batas aman menjadi fitur krusial yang menjaga keamanan ekosistem kolam. Ketersediaan grafik tren harian pada aplikasi mempermudah pengguna untuk melakukan evaluasi performa manajemen air kolam pembesaran secara mandiri.

Struktur komunikasi nirkabel yang mentransfer data otomatis dari sirkuit kolam menuju gawai ini menerapkan landasan teori *Machine-to-Machine (M2M) Communication*. Konsep ini menitikberatkan pada interkoneksi cerdas objek fisik yang memiliki kemampuan mengirimkan data lewat jaringan tanpa membutuhkan interaksi manusia. Papan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 secara mandiri bertindak sebagai agen pintar yang melakukan pertukaran data secara otomatis dengan platform *cloud*. Pemanfaatan kerangka kerja *Device-to-Cloud* ini sukses merubah infrastruktur budidaya tradisional menjadi sebuah sistem produksi yang melek digital.

Penelitian terdahulu dari Prinzio, (2024) menegaskan bahwa sistem cerdas berbasis M2M memegang peranan vital dalam mewujudkan otomatisasi industri modern yang minim campur tangan manusia. Hasil riset dari Herdiani, (2025) juga memperlihatkan bahwa kolaborasi antara sensor IoT dan platform digital mampu mempercepat proses pengambilan keputusan taktis di lapangan. Kemampuan pembacaan data riil dari sistem monitoring ini terbukti efektif dalam memelihara homeostasis habitat lele demi menekan angka mortalitas ikan secara signifikan. Fleksibilitas pemantauan jarak jauh ini menjadi kontribusi strategis yang siap diimplementasikan secara luas dalam mendukung ekosistem *smart farming* nasional.

4. Kesimpulan

Sistem pemantauan kualitas air kolam ikan lele berbasis *Internet of Things (IoT)* dengan arsitektur *Device-to-Cloud* menggunakan papan NodeMCU ESP8266 telah berhasil direkayasa dan diimplementasikan secara utuh untuk menjawab tantangan mortalitas akuakultur. Integrasi sensor suhu DS18B20 dan sensor pH air terbukti secara fungsional mampu melakukan pemindaian kondisi perairan kolam pembesaran secara kontinu dan menyalurkan pasokan informasi digital tersebut menuju layar LCD lokal maupun antarmuka gawai peternak tanpa sekat jarak. Hasil eksperimen validasi instrumen menegaskan keandalan operasional perangkat keras yang sangat tinggi dengan capaian rata-rata akurasi pembacaan sebesar 99,88% untuk parameter termal dan sebesar 99,71% untuk kadar derajat keasaman air. Pengembangan infrastruktur digital perikanan tawar ini pada masa mendatang memerlukan beberapa tahapan penyempurnaan strategis untuk meningkatkan cakupan pengawasan dan ketajaman analisis data di lapangan. Peneliti selanjutnya disarankan untuk memperluas parameter pemantauan dengan mengintegrasikan sensor oksigen terlarut (*dissolved oxygen*), sensor kadar amonia, serta sensor kekeruhan air (*turbidity*) demi menyajikan profil data ekosistem kolam yang lebih komprehensif. Optimalisasi sistem

penyimpanan data berbasis *cloud storage* skala besar juga sangat direkomendasikan guna menampung rekaman data historis jangka panjang untuk diolah menjadi analisis analitik prediktif dan preventif bagi para pelaku usaha budidaya.

Referensi

1. Adoonsook, D. (2025). Automated Flow-Rate Control in Intelligent Recirculating Aquaculture Systems (i-RAS) to Improve Water Quality, Energy Use, and Hybrid Catfish Growth. *Journal of Fisheries and Environment*, 49(3), 83–98.
2. Aguillo, A. S. (2025). Impact of African Catfish (*Clarias gariepinus*) Bioturbation on Water and Soil Quality. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 29(4), 4643–4656. <https://doi.org/10.21608/EJABF.2025.446364>
3. Anggraini, E. (2024). Design of a node-mcu-based system for monitoring and controlling the water quality of catfish tarp pond. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1419(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1419/1/012040>
4. Barreto, L. S. (2024). Effects of inorganic and organic pollution on development of *Steindachneridion melanoderma* from the Iguaçu river, Brazil. *Chemosphere*, 364(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143193>
5. Ben-tahar, R. (2025). Health risks associated with potentially toxic elements in three fish species from Betoya Bay, Morocco: An integrated approach to human health risk assessment. *Marine Pollution Bulletin*, 210(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117341>
6. Bhattacharya, M. (2024). Comprehensive analysis of water and sediment from holy water body ‘Pokhri’ reveals presence of biomolecules that may educe skin, gastroenterological and neurological dysfunction. *Science of the Total Environment*, 956(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177373>
7. Dheeran, P. (2025). Harnessing Biofloc Technology: A Sustainable Paradigm for Modern Aquaculture—A Review. *Annals of Animal Science*, 25(4), 1387–1401. <https://doi.org/10.2478/aoas-2025-0090>
8. Gbamélé, K. S. (2026). Chemical pollution and bioaccumulation of trace elements in aquatic ecosystems in the Cavally River basin (Ity–Fleuve area, Côte d’Ivoire): Case of the fish *Coptodon walteri* and *Chrysichthys teugelsi*. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-026-15292-3>
9. Hearst, S. (2025). Fish as environmental sentinels for metal contaminants of human health concern in the Lower Mississippi River Basin. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 87(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2025.127593>
10. Herdiani, E. T. (2025). IMPROVING STATISTICAL PROCESS CONTROL FOR WATER QUALITY IN CATFISH FARMING WITH ROBUST EWMA AND ALTERNATIVE ESTIMATORS. *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, 2025(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.28919/cmbn/9229>
11. H.K, B. (2025). First study on habitat ecology, biometric parameters and biology of Rita rita (Hamilton, 1822) from tropical perennial River Burhi Gandak, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14042-1>
12. Latief, L. (2024). Effects of water quality on fish parasite biodiversity and physiological responses in the host fish *Clarias gariepinus* from a eutrophic lake subjected to acid mine drainage in South Africa. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 20(5), 1539–1553. <https://doi.org/10.1002/ieam.4885>
13. Lee, S. H. (2024). Detection of Catfish Activity in Smart Fish Farming System. *Digest of Technical Papers IEEE International Conference on Consumer Electronics*, (Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1109/ICCE59016.2024.10444155>
14. Noaman, A. A. (2025). Biodiversity of Microfauna Dwelling Skin and Gills of *Clarias gariepinus* Burchell, 1822 from Polluted and Fragmented Habitats. *Catrina the International Journal of Environmental Sciences*, 35(1), 1–16. <https://doi.org/10.21608/cat.2025.302096.1301>
15. Older, C. E. (2024). Comparison of high-throughput sequencing methods for bacterial microbiota profiling in catfish aquaculture. *North American Journal of Aquaculture*, 86(1), 39–54. <https://doi.org/10.1002/naaq.10309>
16. Onwodi, G. (2024). Development of Intelligent Anti-Cannibalistic Prototyping for Sustainable Catfish Farming. *IEEE International Conference on Emerging and Sustainable Technologies for Power and ICT in A Developing Society Nigerccon*, (2024). <https://doi.org/10.1109/NIGERCON62786.2024.10927292>
17. Pretorius, M. (2025). Bioaccumulation of selected metals in *Lamproglana clariae* Fryer, 1956 infecting *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) collected from six sampling sites along the Vaal River, South Africa. *Water Environment Research*, 97(2). <https://doi.org/10.1002/wer.70037>
18. Prinzio, C. Y. D. (2024). Impact of treated effluent discharges on fish communities: Evaluating the effects of pollution on fish distribution, abundance and environmental integrity. *Science of the Total Environment*, 917(Query date: 2026-06-22 14:29:26). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170237>
19. Radwan, M. (2026). Combined Effects of Parasitic Infection and Heavy Metal Exposure on Health and Profitability of Cultured African Catfish (*Clarias gariepinus*). *Biological Trace Element Research*, 204(4), 2698–2715. <https://doi.org/10.1007/s12011-025-04850-4>
20. Uttam, S. (2025). Assessing the Environmental Impact Due to the Influence of Tannery Effluent on Water Quality. *Chemistry Africa*, 8(10), 5635–5651. <https://doi.org/10.1007/s42250-025-01377-y>
21. Wibisono, A. B. (2024). Experimental IoT System to Maintain Water Quality in Catfish Pond. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(3), 393–399. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150340>