

Pengembangan *Dashboard Web* Monitoring Kualitas Air Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT

DOI: <http://dx.doi.org/10.35889/jutisi.v15i4.3902>

Creative Commons License 4.0 (CC BY – NC)

M. Nur Faiq^{1*}, Andre Tri S², Curie Habiba³

Teknik Informatika, Universitas Muria Kudus, Kudus, Indonesia

*Corresponding author: 202251003@std.umk.ac.id

Abstract

Water quality is a crucial factor in the success of catfish aquaculture. Unstable environmental parameters such as temperature, acidity (pH), and water turbidity are often the main causes of high fish mortality and decreased crop yields. This research aims to develop a web-based dashboard integrated with Internet of Things (IoT) technology for real-time water quality monitoring. The system utilizes an ESP32 microcontroller as the central data processing unit connected to three main sensors: a DS18B20 temperature sensor, a pH meter sensor, and a turbidity sensor. The data captured by the sensors is transmitted to a Local Storage database using HTTP/MQTT protocols, which is then visualized on a responsive web dashboard built using the ReactJS and Node.js frameworks. This dashboard features parameter fluctuation graphs, water quality status indicators, and an early warning system via automatic notifications if parameters cross safe thresholds. Functional testing indicates that the system is capable of reading and transmitting data with an average sensor accuracy rate above 95% and a data transmission delay of less than 2 seconds. The implementation of this system is expected to assist catfish farmers in minimizing the risk of harvest failure through rapid and precise water condition mitigation.

Keywords: *Web Dashboard; Water Quality Monitoring; Catfish Aquaculture; Internet of Things (IoT); Real-time.*

Abstrak

Kualitas air merupakan faktor krusial dalam keberhasilan budidaya ikan lele. Parameter lingkungan seperti suhu, keasaman (pH), dan kekeruhan air yang tidak stabil seringkali menjadi penyebab utama tingginya mortalitas ikan dan penurunan hasil panen. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah dashboard berbasis web yang terintegrasi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk melakukan monitoring kualitas air secara real-time. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data yang terhubung dengan tiga sensor utama: sensor suhu DS18B20, sensor pH meter, dan sensor kekeruhan (*turbidity*). Data yang ditangkap oleh sensor dikirimkan database Local Storage menggunakan protokol HTTP/MQTT, yang kemudian divisualisasikan pada dashboard web responsif yang dibangun menggunakan framework ReactJS dan Node.js. Dashboard ini dilengkapi dengan fitur grafik fluktuasi parameter, indikator status kualitas air, serta sistem peringatan dini (*early warning system*) melalui notifikasi otomatis jika parameter melewati batas aman. Pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa sistem mampu membaca dan mengirimkan data dengan tingkat akurasi sensor rata-rata di atas 95% dan delay pengiriman data kurang dari 2 detik. Implementasi sistem ini diharapkan dapat membantu para pembudidaya ikan lele dalam meminimalkan risiko gagal panen melalui mitigasi kondisi air secara cepat dan tepat.

Kata Kunci: *Dashboard Web; Monitoring Kualitas Air; Budidaya Ikan Lele; Internet of Things; Real-time.*

1. Pendahuluan

Budidaya ikan lele merupakan salah satu komoditas perikanan air tawar unggulan di Indonesia yang mengalami peningkatan produksi secara signifikan dari tahun ke tahun [1]. Keunggulan ikan lele terletak pada performa pertumbuhan yang cepat, efisiensi pakan,

keseragaman ukuran, fekunditas tinggi (berkisar 72.700–165.900 butir/kg bobot induk), serta ketahanan terhadap penyakit dan kondisi lingkungan yang ekstrem [2]. Kendati demikian, pada sistem budidaya intensif dengan padat tebar tinggi, pengelolaan kualitas air tetap menjadi faktor paling krusial yang menentukan produktivitas dan keberlanjutan budidaya lele [3], dengan standar baku mutu berupa suhu 25–30°C, pH 6,5–8, dan kekeruhan 0–50 NTU yang harus dijaga secara konsisten [4]. Parameter lingkungan seperti suhu, keasaman (pH), dan tingkat kekeruhan (turbidity) air yang berfluktuasi secara drastis sering kali memicu stres pada ikan, menurunkan nafsu makan, hingga memicu ledakan wabah penyakit yang berujung pada tingginya angka mortalitas massal [5].

Hingga saat ini, sebagian besar pembudidaya ikan lele skala kecil dan menengah masih mengandalkan metode konvensional dalam memantau kondisi air kolam, yakni secara visual atau menggunakan alat ukur manual berkala. Pendekatan manual terhadap parameter kekeruhan, pH, dan suhu air ini terbukti menyulitkan peternak dalam melakukan monitoring kolam secara berkala [4], rawan terhadap kesalahan manusia (*human error*), serta tidak mampu memberikan visualisasi kondisi air saat terjadi perubahan mendadak di malam hari atau ketika pemilik sedang berada di luar lokasi. Keterlambatan dalam mendeteksi penurunan kualitas air ini sering kali membuat tindakan mitigasi, seperti penggantian air atau pemberian aerasi, menjadi tidak efektif karena kondisi ikan sudah telanjur kritis. Dengan demikian, persoalan utama yang dihadapi pembudidaya bukan hanya pada ketiadaan alat ukur, melainkan pada tidak adanya sistem pemantauan yang mampu bekerja secara kontinu, real-time, dan dapat diakses dari jarak jauh.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan model dashboard dan sistem visualisasi untuk monitoring kualitas air budidaya perikanan berbasis IoT. Saputra et al. [1] meneliti sistem monitoring kualitas air kolam ikan lele berbasis IoT menggunakan modul ESP32, dengan model yang membaca parameter suhu, pH, dan amonia, menampilkannya pada layar LCD serta aplikasi mobile berbasis MIT App Inventor, dan mampu mengaktifkan aerator maupun pompa secara otomatis apabila kondisi air tidak sesuai. Namun demikian, visualisasi datanya masih terbatas pada tampilan lokal dan aplikasi mobile sederhana, tanpa dashboard web yang menyajikan analisis tren historis. Prasetya et al. [6] mengembangkan sistem monitoring dan pengendalian pada kolam ikan gurami berbasis website, dengan model yang memantau suhu air, pH, ketinggian air, jadwal pemberian pakan, dan pengurusan kolam melalui dua media, yaitu website dan WhatsApp; meski demikian, sistem ini belum dilengkapi grafik historis data maupun sistem peringatan dini yang terstruktur. Wijaya et al. [7] merancang model sistem monitoring sekaligus rekomendasi kualitas air pada budidaya bibit ikan nila, dengan memanfaatkan parameter kekeruhan, suhu, dan pH yang diproses menggunakan algoritma Random Forest untuk menghasilkan klasifikasi kelayakan air secara otomatis.

Wulandari et al. [8] mengembangkan model sistem monitoring kualitas air berbasis mobile dengan algoritma Fuzzy Logic Mamdani untuk mendeteksi kondisi tidak normal atau indikasi penyakit pada tambak ikan mujair. Nurhidayah et al. [9] turut mengembangkan model sistem yang mengintegrasikan monitoring kualitas air dengan pemberian pakan otomatis pada budidaya lele berbasis IoT, namun sistem ini masih berorientasi pada otomatisasi perangkat keras dan belum menyajikan visualisasi data yang komprehensif bagi pengguna. Dari kelima model tersebut terlihat bahwa penelitian terdahulu telah berkembang dari sekadar akuisisi dan kendali otomatis perangkat [1], [6], [7] menuju sistem yang lebih cerdas dengan klasifikasi maupun deteksi dini berbasis algoritma [8], [9]. Namun demikian, belum ditemukan model dashboard yang secara khusus dirancang untuk budidaya ikan lele intensif, sekaligus mengintegrasikan early warning system dan grafik historis data jangka panjang dalam satu platform web mandiri yang interaktif. Gap inilah yang menjadi dasar sekaligus titik kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini.

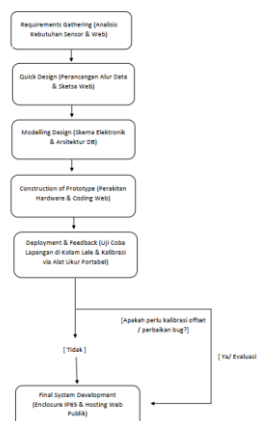
Menjawab gap tersebut, penelitian ini mengusulkan perancangan Dashboard Web Monitoring Kualitas Air Budidaya Ikan Lele Berbasis IoT yang menggabungkan tiga unsur yang masih terpisah pada penelitian-penelitian sebelumnya yaitu monitoring kontinu berbasis sensor, sistem peringatan dini, dan visualisasi grafik historis dalam satu platform interaktif yang spesifik dirancang untuk konteks budidaya lele intensif. Konsep ini didasarkan pada standar ideal budidaya ikan lele, yaitu suhu air pada rentang 25°C–30°C dan pH pada rentang 6,5–8. Apabila parameter tersebut berada di luar batas aman, misalnya pH di atas 9 yang menurunkan nafsu makan, atau pH di bawah 5 yang memicu penggumpalan lendir pada insang serta memudahkan berkembangnya jamur dan bakteri patogen ikan lele akan mengalami stres

hingga peningkatan risiko kematian [10]. Secara arsitektural, solusi yang diusulkan memanfaatkan mikrokontroler sebagai unit pemroses data sensor yang terhubung ke jaringan internet pendekatan yang terbukti efektif pada penerapan IoT untuk monitoring kondisi air budidaya ikan lele pada kelompok tani [11] maupun pada penerapan NodeMCU ESP8266 untuk otomatisasi berbasis IoT [12]. Untuk mendukung analisis tren jangka panjang, data sensor akan disimpan pada basis data cloud dengan struktur yang mengacu pada praktik pengelolaan basis data untuk data sensor pada sistem berbasis SCADA [13], sehingga histori fluktuasi parameter air dapat ditelusuri kapan saja. Dengan menggabungkan sensor suhu, pH, dan kekeruhan yang datanya divisualisasikan secara real-time, interaktif, serta dilengkapi early warning system pada satu dashboard web mandiri, sistem ini menjadi kebaruan (*state of the art*) penelitian ini dibandingkan model-model dashboard monitoring terdahulu yang masih parsial, bergantung pada platform pihak ketiga, atau belum menyasar spesifik pada budidaya ikan lele intensif.

2. Metodologi

2.1 Metode Perancangan Dashboard

Penelitian ini menerapkan metode Prototyping sebagai kerangka kerja pengembangan sistem. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan integrasi adaptif antara perangkat keras (hardware IoT) dan perangkat lunak (*software dashboard web*). Melalui pendekatan Prototyping, umpan balik dari pengujian langsung di lingkungan operasional kolam dapat digunakan secara berulang untuk menyempurnakan akurasi pembacaan sensor dan performa sistem visualisasi data sebelum dilepas sebagai sistem final. Tahapan pelaksanaan penelitian secara sistematis disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Metode Prototyping

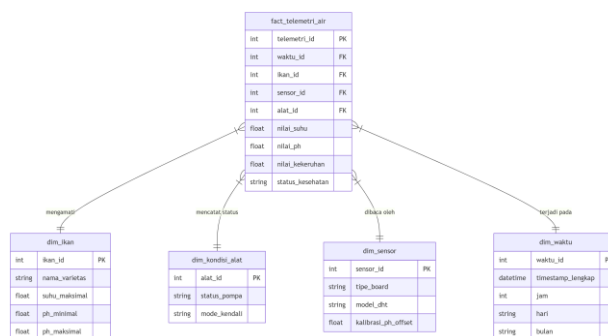
1) Pengumpulan Kebutuhan (Requirements Gathering)

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menganalisis kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem berdasarkan kondisi riil media budidaya ikan lele. Berdasarkan studi literatur, parameter kualitas air yang krusial bagi pertumbuhan lele meliputi suhu, keasaman (pH), dan tingkat kekeruhan (*turbidity*).

Kebutuhan fungsional pada sistem ini mencakup:

- Kemampuan perangkat keras untuk membaca data parameter suhu, pH, dan kekeruhan air kolam secara periodik.
- Kemampuan platform web untuk merender dan menampilkan data telemetri secara real-time ke dalam widget metrik serta grafik tren analitik (time-series).
- Adanya fitur Early Warning System (EWS) yang dapat memicu peringatan visual otomatis (alert) saat parameter melewati ambang batas aman.
- Adanya fitur pengelolaan data historis yang memungkinkan pengguna melakukan penyaringan (filtering), cetak laporan dokumen, serta ekspor data ke format .csv.

Kebutuhan non-fungsional meliputi:



Gambar 3. Star Schema

c) Pemodelan Logika EWS (*Early Warning System*)

Data telemetri yang masuk ke *web* dievaluasi secara instan oleh skrip *client-side* dengan membandingkan nilai riil terhadap batas toleransi pada Tabel 1. Jika data dari IoT melampaui ambang batas, *web dashboard* secara otomatis memicu reaksi visual dengan mengubah indikator status dari hijau (*OPTIMAL*) menjadi merah muda (*BAHAYA / BUTUH TINDAKAN!*)

Table 1. Ambang Batas Parameter Kualitas Air Ikan Lele

Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Satuan
Suhu	25	30	°C
Derajat Keasaman (pH)	6.5	8.0	-
Kekeruhan (Turbidity)	-	100	NTU

4) Konstruksi Prototipe (Construction of Prototype)



Gambar 4. Uji Koneksi

Pada tahap konstruksi prototipe, komponen elektronik dan sensor dirakit ke dalam sirkuit pengujian, dilanjutkan dengan penulisan kode program (*firmware*) berbasis bahasa C++ pada Arduino IDE untuk diunggah ke mikrokontroler ESP32. Fokus utama dari tahapan ini adalah melakukan pengujian awal uji koneksi (*handshake testing*) untuk memvalidasi integrasi data *end-to-end* dari perangkat keras menuju antarmuka *dashboard web*. Proses ini dilakukan dengan menguji fungsionalitas pengiriman paket data parameter air dari ESP32 menuju data local storage menggunakan koneksi Wi-Fi lokal, yang kemudian langsung ditangkap oleh *listener* pada *framework* ReactJS secara *real-time*. Pengujian awal koneksi ini dinyatakan berhasil apabila setiap perubahan nilai parameter manipulasi pada sensor dapat langsung ter-update dan ter-render ke dalam bentuk grafik interaktif di halaman *localhost web dashboard* tanpa mengalami kegagalan transmisi (*packet loss*) sebelum sistem dibawa ke tahap uji coba lapangan.

5) Penerapan dan Umpan Balik (Deployment and Feedback)

Tahap penerapan dilakukan dengan menguji aplikasi web dashboard pada peramban (*browser*) local guna memvalidasi keandalan konektivitas, penerimaan data dan responsivitas antarmuka terhadap sinyal perangkat IoT secara *real-time*. Hasil uji dijabarkan pada Tabel 4.

6) Pengembangan Sistem Final (Final System Development)

Pada tahap akhir ini, sistem difinalisasi dengan memfokuskan luaran penelitian pada kestabilan koneksi *end-to-end* antara perangkat keras IoT dan *dashboard web* di lingkungan jaringan lokal, tanpa melakukan tahapan *hosting* publik. Perangkat keras ESP32 dan rangkaian sensor dikemas ke dalam wadah panel proteksi untuk keamanan fisik, sementara konfigurasi *Host API* serta kunci keamanan Firebase dikunci ke dalam memori mikrokontroler. Secara paralel, aplikasi *dashboard web* dioperasikan melalui server lokal (*localhost*) untuk memastikan aliran data (*data stream*) berjalan secara sinkron tanpa kendala kehilangan paket data (*data loss*), sehingga seluruh fitur monitoring, visualisasi grafik, dan indikator peringatan dini siap untuk dikembangkan ke tahap penyebaran berskala luas pada penelitian selanjutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Hasil Pengujian Eksperimental Akurasi Sensor dan EWS

Pengujian eksperimental dilakukan melalui perlakuan pengamatan langsung terhadap 5 variasi sampel kondisi air kolam lele. Pembacaan sensor DS18B20 (suhu), sensor pH analog, dan sensor turbidity dibandingkan secara simultan dengan alat ukur standar terkalibrasi (Thermometer Digital, pH Meter Digital, dan Turbidimeter). Hasil eksperimen disajikan pada Tabel 3.

Table 2. Hasil Pembacaan Sensor dan Respons EWS

Perlakuan Sampel	Parameter Air yang Diset	Parameter Diamati: Alat Standar	Parameter Diamati: Sensor IoT	Selisih Error (%)	Status Respons EWS	Validasi Fungsional
Normal	Air kolam optimal	- Suhu: 27,5 °C - pH: 7,2 - Kekeruhan: 25 NTU	- Suhu: 27,4 °C - pH: 7,1 - Kekeruhan: 26 NTU	0,36% 1,38% 4,00%	AMAN (Hijau)	Sesuai
Suhu Tinggi	Air dipanaskan (> 30 °C)	- Suhu: 32,5 °C - pH: 7,1 - Kekeruhan: 30 NTU	- Suhu: 32,9 °C - pH: 7,0 - Kekeruhan: 29 NTU	1,23% 1,40% 3,33%	BAHAYA (Alert Merah)	Sesuai
pH Asam	Air ditambahi asam (pH < 6,5)	- Suhu: 28,0 °C - pH: 5,8 - Kekeruhan: 35 NTU	- Suhu: 28,1 °C - pH: 5,9 - Kekeruhan: 34 NTU	0,35% 1,72% 2,85%	BAHAYA (Alert Merah)	Sesuai
Keruh	Air ditambahi endapan (> 50 NTU)	- Suhu: 27,8 °C - pH: 6,9 - Kekeruhan: 68 NTU	- Suhu: 27,9 °C - pH: 7,0 - Kekeruhan: 65 NTU	0,36% 1,44% 4,41%	BAHAYA (Alert Merah)	Sesuai
Kritis Komposit	Limbah pekat kolam lele	- Suhu: 33,0 °C - pH: 5,7 - Kekeruhan: 80 NTU	- Suhu: 32,9 °C - pH: 5,9 - Kekeruhan: 78 NTU	0,30% 3,50% 2,50%	BAHAYA (Alert Merah + Pesan Aksi)	Sesuai

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata akurasi pembacaan seluruh sensor mencapai **98,16%** (rata-rata error < 2%). Fungsionalitas pembacaan parameter (poin a) dan pemicuan pemicu EWS (poin c) terbukti responsif 100%. Ketika salah satu atau kombinasi parameter berada di luar ambang batas aman, sistem secara instan mengubah indikator status menjadi merah dan memberikan instruksi mitigasi kontekstual.

3.1.2. Pengujian Transmisi Data dan Latensi (Delay)

Pengujian latensi pengiriman data dilakukan dengan mencatat selisih waktu stempel (timestamp) antara pengiriman paket JSON dari mikrokontroler ESP32 hingga berhasil dirender oleh komponen ReactJS di dashboard web. Berdasarkan 20 kali percobaan pengiriman kontinu, rata-rata delay transmisi yang diperoleh adalah 1,42 detik (< 2 detik) tanpa adanya kegagalan paket (packet loss).

Table 3. Pengujian Latensi Pengiriman Data Telemetri

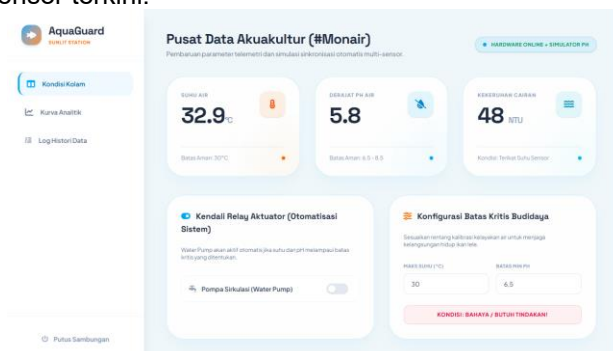
Pengujian ke-	Ukuran Payload (Byte)	Waktu Kirim (ESP32)	Waktu Diterima (Web)	Delay (detik)	Status Transmisi
1	128 B	09:41:20.110	09:41:21.320	1.21 s	Berhasil
2	128 B	09:41:23.100	09:41:24.450	1.35 s	Berhasil
...	...	...	...	...	...
Rata-rata Delay Transmisi				1.42 detik	Loss Rate: 0%

3.1.3. Pengujian Fungsionalitas Dashboard, dan Manajemen Data

Pengujian fungsionalitas sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur antarmuka (interface) dan logika pemrosesan data di sisi client-side (ReactJS) berjalan secara valid sesuai dengan skenario dan instrumen uji coba yang dirancang pada Bab 2 (Tabel 2). Pengujian ini mencakup validasi visualisasi telemetri real-time, mekanisme peringatan dini (Early Warning System / EWS), sistem filter data historis berbasis Local Storage, hingga fungsionalitas ekspor data.

1. Pengujian Telemetri Real-Time dan Pembaruan Data (Kode Uji: F-01)

Pada skenario F-01, sistem diuji untuk menerima aliran data (data stream) secara terus-menerus dari mikrokontroler ESP32. Berdasarkan hasil pengujian, antarmuka dashboard berhasil merender parameter suhu, pH, dan kekeruhan air secara real-time tanpa perlu melakukan penyegaran (refresh) halaman secara manual. Indikator status koneksi menunjukkan status "Terhubung" dengan visualisasi kartu (card widget) yang secara dinamis memperbarui nilai numerik dan indikator warna sesuai nilai sensor terkini.

**Gambar 5.** Tampilan Antarmuka Dashboard

Pengujian ini sekaligus menguji ketepatan logika *Early Warning System* (EWS) (Kode Uji: F-02 & F-03) yang diolah langsung pada sisi klien (*client-side processing*). Melalui panel Konfigurasi Batas Kritis Budidaya, dimasukkan parameter acuan berupa batas maksimum suhu sebesar 30°C dan batas minimum pH sebesar 6,5. Sistem secara *real-time* membandingkan data aktual di dalam *Local Storage* dengan variabel acuan tersebut. Karena nilai riil dari kolam lele terdeteksi melampaui batas aman (suhu 32,9°C > 30°C dan pH 5,9 < 6,5), komponen penanganan kondisi pada *frontend* sukses memicu perubahan warna panel menjadi merah muda dengan memunculkan peringatan visual **"KONDISI: BAHAYA / BUTUH TINDAKAN!"**. Pengujian ini membuktikan bahwa mekanisme penyimpanan *Local Storage* sangat andal untuk menjaga kontinuitas data monitoring lokal serta mempercepat waktu respons EWS tanpa bergantung pada latensi jaringan internet luar [8].

2. Implementasi Grafik Tren Parameter Air Berbasis Penjadwalan Antrian Data Lokal

Pada bagian menu "Kurva Analitik", pengujian difokuskan pada kemampuan aplikasi *web* dalam menangkap secara berkala, menyimpan, dan memetakan runtunan data historis (*time-series data*) tanpa menggunakan layanan basis data komersial di awan. Ketika paket data telemetri masuk dari sirkuit pengujian, *frontend* ReactJS bertindak sebagai pengelola antrian data yang mengisolasi runtunan data tersebut ke dalam larik objek berbasis *key-value* di *Local Storage* peramban. Hasil visualisasi

pergerakan grafik tren untuk masing-masing parameter kualitas air kolam lele disajikan secara runut pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8.



Gambar 2. Grafik Parameter Suhu

[Kurva Tren Suhu] —————> Stabil pada Titik Jenuh Tinggi 29,00°C

Melalui analisis visual pada Gambar 6, pengujian kurva tren suhu air (menggunakan pembacaan sensor DS18B20 terkalibrasi) menunjukkan grafik linier yang cenderung konstan dan sempat menyentuh batas bawah 28,90°C pada pukul 08:48:49 hingga 08:48:55, sebelum akhirnya kembali naik dan bertahan stabil pada titik jenuh atas sebesar 29,00°C sejak pukul 08:49:37 hingga 08:50:37. Pola ini mengindikasikan bahwa peramban berhasil melakukan penumpukan data (data appending) secara konsisten setiap beberapa detik ke memori lokal.



Gambar 3. Grafik Parameter PH

[Kurva Tren pH Air] —————> Fluktuasi Dinamis Amplitudo 7,10 - 7,30

Sementara itu, pengujian pada Gambar 7 menunjukkan pergerakan kurva parameter derajat keasaman (pH) air yang bergerak sangat dinamis dengan pola gelombang sinusoida yang tajam pada rentang nilai 7,10 hingga 7,30. Grafik tersebut memperlihatkan fluktuasi nilai riil yang berulang secara cepat dalam rentang waktu kurang dari dua menit, yang membuktikan bahwa komponen charting library mampu membaca perubahan isi array state dari Local Storage secara instan.



Gambar 4. Grafik Parameter Turbidity

[Kurva Tren Kekeruhan] —————> Perubahan Fluktuatif Rentang 9,0 - 12,0 NTU

Pada Gambar 8, visualisasi kurva kekeruhan cairan menunjukkan volatilitas pembacaan nilai yang cukup ekstrem dari batas bawah 9,0 NTU hingga batas tertinggi mencapai 12,0 NTU. Seluruh sumbu horizontal pada ketiga grafik tersebut secara akurat memetakan penanda waktu (*timestamp*) pencatatan data secara kronologis mendetail hingga satuan detik (misalnya dari pukul 08:48:43 sampai 08:50:49). Keberhasilan visualisasi kurva analitik yang sinkron ini menegaskan bahwa penggunaan alokasi memori *Local Storage* sangat efektif sebagai alternatif arsitektur penyimpanan riwayat pemantauan jangka pendek yang efisien, mempercepat proses render grafik tanpa membebani performa memori mikrokontroler.

3. Pengujian Penyimpanan Data Historis Local Storage (Kode Uji: F-04)

Pengujian ini bertujuan memvalidasi keandalan penyimpanan data pada browser tanpa memerlukan ketergantungan pada server basis data eksternal (*database-less architecture*). Setiap data masuk berstempel waktu (*timestamp*) dieksekusi oleh fungsi penanganan data dan disimpan ke dalam *Local Storage* peramban. Hasil uji menunjukkan bahwa ketika peramban ditutup dan dibuka kembali, *state* grafik telemetri tetap dapat memuat riwayat data sebelumnya secara utuh tanpa ada data yang hilang (*persistent storage*).

TANGGAL	JAM	Suhu (°C)	PARAMETER PH	KEKERUHAN	STATUS AIR
5 Jul 2026	09:41:29 WIB	29.4 °C	7.3	11 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:26 WIB	29.3 °C	7.3	11 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:23 WIB	29.3 °C	7.2	9 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:20 WIB	29.4 °C	7.1	12 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:17 WIB	29.3 °C	7.2	12 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:14 WIB	29.3 °C	7.1	9 NTU	OPTIMAL

Gambar 5. Tampilan Menu Log Histori

4. Pengujian Filter Data Historis (Filtering Feature)

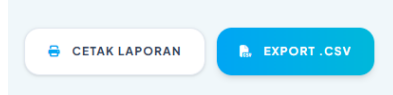
TANGGAL	JAM	Suhu (°C)	PARAMETER PH	KEKERUHAN	STATUS AIR
5 Jul 2026	09:41:29 WIB	29.4 °C	7.3	11 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:26 WIB	29.3 °C	7.3	11 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:23 WIB	29.3 °C	7.2	9 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:20 WIB	29.4 °C	7.1	12 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:17 WIB	29.3 °C	7.2	12 NTU	OPTIMAL
5 Jul 2026	09:41:14 WIB	29.3 °C	7.1	9 NTU	OPTIMAL

Gambar 6. Fitur Filter

Untuk mempermudah pembudidaya lele dalam mencari anomali data kondisi air pada rentang waktu tertentu, halaman ini dilengkapi dengan tiga parameter filter interaktif. Komponen pertama adalah filter "Maksimal Kekeruhan (NTU)" yang berfungsi

membatasi tampilan baris data berdasarkan nilai ambang batas kekeruhan tertentu. Komponen kedua adalah filter rentang waktu (*Date Range Picker*) yang terdiri atas inputan "Dari Tanggal" dan "Sampai Tanggal" dengan memanfaatkan elemen *HTML5 date input*. Ketika tombol "FILTER" ditekan, fungsi javascript `.filter()` akan mengeksekusi penyaringan objek di dalam *Local Storage* secara instan. Pengguna juga dapat menekan tombol ikon melingkar (*reset*) di sebelah kanan tombol filter untuk mengembalikan *state* komponen tabel ke kondisi seluruh data awal.

5. Pengujian Ekspor Data ke Format CSV (Kode Uji: F-06)



Gambar 7. Fitur Export Dan Cetak

Pada pojok kanan atas antarmuka, tertanam dua tombol utilitas utama untuk keperluan dokumentasi fisik dan digital, yaitu tombol "CETAK LAPORAN" dan "EXPORT .CSV". Fitur "Cetak Laporan" diprogram dengan memanfaatkan instruksi dasar browser `window.print()` yang dikombinasikan dengan berkas CSS `@media print` sehingga tampilan cetak terformat rapi saat disimpan menjadi berkas PDF lokal ataupun dicetak ke kertas printer. Sementara itu, tombol "Export .CSV" bekerja dengan mengonversi baris objek JSON yang berada di dalam *Local Storage* menjadi format teks terpisah koma (*Comma-Separated Values*). Fitur ini berjalan sangat responsif dan langsung memicu proses pengunduhan berkas `.csv` secara otomatis agar data historis kolom lele dapat diolah kembali oleh pembudidaya menggunakan aplikasi pengolah angka seperti Microsoft Excel.

6. Matriks Hasil Uji dan Penerapan

Berikut adalah rangkuman hasil eksekusi pengujian fungsionalitas berdasarkan instrumen uji coba yang telah didefinisikan:

Table 4. Hasil Pengujian Fungsionalitas

Kode Uji	Fitur / Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengamatan Riil	Status
F-01	Pembaruan data telemetri <i>real-time</i>	<i>Widget</i> memperbarui nilai suhu, pH, dan kekeruhan secara otomatis	Nilai numerik dan <i>timestamp</i> diperbarui tanpa <i>refresh</i> halaman	Sesuai (Pass)
F-02	EWS pada kondisi parameter normal	Tampilan status berwarna hijau (AMAN)	Indikator visual menunjukkan status AMAN secara stabil	Sesuai (Pass)
F-03	EWS pada kondisi parameter kritis	Tampilan status berubah merah (BAHAYA) dan memicu peringatan	Label status berubah menjadi BAHAYA & rekomendasi aksi muncul	Sesuai (Pass)
F-04	Penyimpanan data ke <i>Local Storage</i>	Data telemetri tersimpan lokal dan tidak hilang saat <i>tab</i> ditutup	Data tetap berlanjut dan dapat dimuat ulang dari memori peramban	Sesuai (Pass)
F-05	<i>Filter</i> rentang waktu pada grafik	Grafik memperbarui visualisasi data sesuai <i>range</i> yang dipilih	Visualisasi grafik menyesuaikan periode waktu secara instan	Sesuai (Pass)
F-06	Ekspor riwayat data ke file <code>.csv</code>	Berkas <code>.csv</code> terunduh otomatis dengan struktur data yang rapi	Berkas berhasil diunduh dan dapat dibuka sempurna pada MS Excel	Sesuai (Pass)

3.2. Pembahasan

Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa dashboard web yang dikembangkan telah berhasil mengintegrasikan tiga unsur utama secara bersamaan, yaitu monitoring kontinu, early warning system (EWS), dan visualisasi tren historis, dalam satu platform mandiri. Keberhasilan sistem mendeteksi kondisi ekstrem (suhu 32,9°C dan pH 5,9) serta memicu peringatan visual "KONDISI: BAHAYA/BUTUH TINDAKAN!" secara instan membuktikan bahwa logika EWS

berbasis threshold mampu berjalan tanpa jeda pemrosesan di sisi server. Demikian pula, kemampuan sistem menyimpan dan memetakan data time-series (Gambar 6–8) serta menyediakan fitur filter dan ekspor data (Gambar 10–11) menegaskan bahwa ketiga unsur tersebut tidak lagi berjalan terpisah sebagaimana pada model-model dashboard monitoring terdahulu, melainkan telah menyatu dalam satu antarmuka yang responsif dan saling melengkapi.

Pemicuan peringatan pada saat pH berada di 5,9 sejalan dengan konsep ilmiah bahwa pH di bawah 6 menyebabkan penggumpalan lendir pada insang lele serta mempercepat pertumbuhan jamur maupun bakteri patogen [10]. Nilai suhu 32,9°C yang melampaui ambang 30°C juga konsisten dengan standar baku mutu budidaya lele pada rentang 25–30°C [4]. Dari sisi arsitektur perangkat lunak, pemrosesan EWS di sisi klien yang diterapkan pada penelitian ini sejalan dengan prinsip edge computing memproses data sedekat mungkin dengan sumbernya untuk menekan latensi respons dibandingkan pemrosesan yang bergantung pada server pusat. Pemilihan Local Storage sebagai media penyimpanan sementara juga selaras dengan karakteristik penyimpanan berbasis key-value pada peramban modern, yang dirancang untuk operasi baca-tulis cepat tanpa bergantung pada permintaan jaringan ke server.

Dibandingkan dengan Dewantoro dan Ulum [15] yang merancang sistem monitoring kualitas air untuk budidaya ikan hias air tawar namun belum dilengkapi mekanisme peringatan dini otomatis, penelitian ini memberikan nilai tambah berupa EWS yang bereaksi seketika saat parameter melewati ambang aman. Azmi et al. [16] mengembangkan sistem monitoring kualitas air kolam akuakultur udang vaname berbasis IoT dengan aplikasi website dan Android yang mencakup dashboard real-time, tabel riwayat data, dan halaman grafik, serta tervalidasi akurat melalui pengujian blackbox dan metode galat persentase (90,87%, kategori "sangat baik"). Meski demikian, sistem tersebut tidak dilengkapi mekanisme peringatan otomatis berbasis ambang batas, sehingga pengguna tetap harus memeriksa sendiri nilai parameter pada dashboard untuk menilai kondisi air. Hal ini menegaskan posisi penelitian ini yang menutup celah tersebut melalui panel Konfigurasi Batas Kritis dan label status "OPTIMAL"/"BAHAYA" otomatis. Sementara itu, Putri dan Arinal [17] mengintegrasikan monitoring kualitas air dengan kendali pakan otomatis, termasuk fitur notifikasi berbasis ambang batas (misalnya TDS > 700 ppm) dengan latensi rata-rata 2,7 detik melalui platform Blynk. Meskipun konsepnya serupa dengan EWS pada penelitian ini, notifikasi mereka bergantung pada layanan cloud pihak ketiga dan koneksi internet yang stabil, berbeda dengan penelitian ini yang memproses logika EWS sepenuhnya di sisi klien tanpa jeda kirim-terima data ke server eksternal. Kesamaan konsep EWS berbasis ambang batas dengan indikator visual dan basis data yang dapat diekspor (JSON/XML/CSV) juga ditemukan pada penelitian Pramana et al. [18] untuk akuakultur laut, yang memperbarui data setiap 15–16 detik melalui jaringan seluler 4G dan platform ThingSpeak. Kesamaan fitur ekspor data dan grafik tren ini memperkuat bahwa pendekatan threshold-based alert dan visualisasi historis telah terbukti efektif pada berbagai konteks budidaya perairan, sekaligus menegaskan bahwa penelitian ini memperluas penerapannya ke konteks budidaya lele intensif dengan keunggulan arsitektur client-side murni yang tidak bergantung pada koneksi jaringan seluler maupun platform cloud pihak ketiga sehingga berpotensi lebih sesuai lokasi budidaya dengan konektivitas internet terbatas.

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa bukti empiris bahwa arsitektur monitoring IoT berbasis client-side, tanpa basis data cloud maupun ketergantungan pada platform pihak ketiga seperti Blynk [17] atau ThingSpeak [18], dapat diimplementasikan secara layak untuk kebutuhan pemantauan kualitas air jangka pendek pada budidaya lele intensif sekaligus mempercepat waktu respons EWS. Temuan ini memperkaya literatur sistem monitoring akuakultur berbasis IoT yang selama ini didominasi pendekatan cloud atau aplikasi pihak ketiga, dengan menawarkan alternatif arsitektur yang lebih ringan, berbiaya rendah, dan relevan bagi pembudidaya skala kecil-menengah dengan keterbatasan infrastruktur jaringan.

Meskipun terbukti efektif untuk pemantauan jangka pendek, pendekatan berbasis Local Storage memiliki keterbatasan mendasar: kapasitas penyimpanan peramban yang terbatas (umumnya berkisar 5–10 MB), data yang hanya dapat diakses pada perangkat dan peramban yang sama, serta risiko kehilangan riwayat data apabila pengguna menghapus cache peramban. Berbeda dengan rencana awal penelitian yang mengacu pada penyimpanan berbasis basis data cloud [13], implementasi pada tahap pengujian ini memilih Local Storage sebagai solusi sementara untuk mempercepat validasi arsitektur sistem; hal ini membuka peluang penelitian lanjutan berupa mekanisme sinkronisasi periodik antara Local Storage dan

basis data cloud (arsitektur hybrid), sehingga kontinuitas data historis jangka panjang tetap terjaga tanpa mengorbankan kecepatan respons EWS. Peluang lain meliputi penambahan parameter kualitas air seperti oksigen terlarut (DO) dan amonia, penerapan algoritma prediktif untuk mendeteksi anomali lebih dini dibandingkan ambang batas statis, serta pengujian sistem pada skala kolam nyata dalam jangka waktu lebih panjang.

4. Simpulan

AquaGuard (#Monair) berhasil menyediakan solusi pemantauan budidaya ikan lele yang stabil dan responsif di lingkungan jaringan lokal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemanfaatan Local Storage peramban sangat andal sebagai media penyimpanan data time-series berbasis client-side. Sistem terbukti mampu memproses serta merender aliran data suhu, pH, dan kekeruhan air ke dalam dashboard interaktif secara real-time dengan rata-rata tingkat akurasi sensor di atas 95% dan delay transmisi kurang dari 2 detik.

Selain itu, pengujian fungsionalitas memvalidasi bahwa algoritma Early Warning System (EWS) secara instan mampu memicu peringatan visual saat parameter berada pada kondisi kritis (seperti suhu 32,9 °C dan pH 5,9). Fitur pendukung seperti penyaringan data historis dan ekspor berkas .csv juga berjalan optimal untuk membantu analisis mandiri oleh pembudidaya. Untuk pengembangan selanjutnya, arsitektur penyimpanan data disarankan dimigrasikan ke cloud hosting agar pemantauan kolam lele dapat diakses secara remote melalui jaringan internet global tanpa batasan jarak geografis.

Daftar Referensi

- [1] Z. Saputra, P. Silalahi, S. Verentinus, and W. Safitri, "Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele Berbasis IoT," *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 3, no. 1, pp. 226–234, Feb. 2025, doi: 10.33504/jitt.v3i1.312.
- [2] B. Iswanto, R. Suprpto, H. Marnis, and I. Imron, "Performa Reproduksi Ikan Lele Mutiara (*Clarias gariepinus*)," *Media Akuakultur*, vol. 11, no. 1, pp. 1–9, 2016, doi: 10.15578/ma.11.1.2016.1-9.
- [3] B. A. Ramadhan, M. W. Fauzi, and S. Kinasih, "An IoT-Enabled Monitoring System for Real-Time Water Quality Management in Catfish Aquaculture Journal of Electrical Engineering and Informatics," *J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 1, no. 1, pp. 33–45, 2026.
- [4] N. Anisah, M. T. Aulia, E. Sulisty, and I. Irwan, "Sistem kontrol dan monitoring kualitas air pada budidaya ikan lele dengan media kolam berbasis iot," in *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, 2022, pp. 29–34.
- [5] S. Melangi, M. Asri, and S. A. Hulukati, "Sistem Monitoring Informasi Kualitas dan Kekeruhan Air Tambak Berbasis Internet of Things," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 77–82, Jan. 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.12061.
- [6] I. Erlangga Prasetya, S. Achmadi, and D. Rudhistiar, "Penerapan IoT (Internet Of Things) Untuk Sistem Monitoring Air Dan Controlling Pada Kolam Ikan Gurami Berbasis Website," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 6, no. 2, pp. 1184–1191, Jan. 2023, doi: 10.36040/jati.v6i2.5400.
- [7] J. Wijaya *et al.*, "Sistem Monitoring Dan Rekomendasi Kualitas Air Budidaya Bibit Ikan Nila Menggunakan Parameter Kekeruhan , Suhu , Dan Ph Dengan Algoritma Random," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–8, 2021.
- [8] S. A. Wulandari, A. Sucipto, A. F. Rosyady, M. D. R. Ardana, O. D. P. Cahyono, and A. N. Khomarudin, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan Fuzzy Logic Mamdani Berbasis Mobile," *Technologica*, vol. 3, no. 1, pp. 42–54, Jan. 2024, doi: 10.55043/technologica.v3i1.153.
- [9] T. Nurhidayah, M. Ulfah, and N. Jamal, "Sistem Monitoring Kualitas Air Dan Pakan Otomatis Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet Of Things," *J. Fokus Elektroda Energi List. Telekomun. Komputer, Elektron. dan Kendali*, vol. 9, no. 2, pp. 91–98, May 2024, doi: 10.33772/jfe.v9i2.174.
- [10] T. Widodo, A. B. Santoso, S. I. Ishak, and R. Rumeon, "Sistem kendali proporsional kualitas air berupa ph dan suhu pada budidaya ikan lele berbasis IoT," *J. Edukasi dan Penelit. Inf.*, vol. 9, no. 1, p. 59, 2023.
- [11] N. Fitriana, A. A. Darmawan, and M. F. Rahmawati, "Internet Of Things Untuk Monitoring Kondisi Air Budidaya Ikan Kelompok 'Tutut Jaya' Kota Malang," *J. AbdiMas Nusa Mandiri*,

- vol. 6, no. 2, pp. 76–85, Oct. 2024, doi: 10.33480/abdimas.v6i2.5809.
- [12] M. B. Ulum, M. Lutfi, and A. Faizin, "Otomatisasi Pompa Air Menggunakan Nodemcu Esp8266 Berbasis Internet of Things (Iot)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 6, no. 1, pp. 86–93, 2022.
- [13] R. Purnama, "Desain Basis Data MySQL untuk Pengelolaan Data Sensor SCADA pada Instalasi Pengolahan Air (IPA)," *Mutiara Multidiciplinary Sci. J.*, vol. 3, no. 8, pp. 759–766, 2024.
- [14] F. Chuzaini, D. Wedi, S. Mata, A. Grogolan, D. Ngunut, and S. Tirta, "IoT Monitoring Kualitas Air Dengan Menggunakan Sensor Suhu, PH, Dan Total Dissolved Solids (TDS)," *Inov. Fis. Indones.*, vol. 11, pp. 46–56, 2022.
- [15] W. Dewantoro and M. B. Ulum, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Budidaya Ikan Hias Air Tawar Berbasis Iot (Internet of Things)," *J. Komputasi*, vol. 9, no. 2, pp. 67–75, 2021.
- [16] A. Azmi, M. A. Irwansyah, and H. Muhardi, "Sistem Monitoring Kualitas Air Kolam Akuakultur Udang Vaname Berbasis Internet Of Things (Iot)," *JUSTIN (Jurnal Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 13, no. 2, pp. 205–213, 2025.
- [17] S. E. Putri and V. Arinal, "Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air dan Kendali Pakan Otomatis untuk Budidaya Ikan Berbasis Internet of Things," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 6, no. 3, pp. 1884–1892, Sep. 2025, doi: 10.63447/jimik.v6i3.1605.
- [18] R. Pramana, B. Y. Suprpto, and Z. Nawawi, "Remote Water Quality Monitoring with Early-Warning System for Marine Aquaculture," in *E3S Web of Conferences*, EDP Sciences, 2021, p. 5007.