

Penilaian Kualitas Air Secara Real-Time Menggunakan IoTWQI dan Internet of Things

Wibowo Harry Sugiharto^{1*}, Ali Bardadi², Eric Alfonsius³

^{1*} Teknik Informatika, Universitas Muria Kudus, Kudus, Indonesia

² Sistem Informasi, Universitas Sriwijaya, Palembang, Indonesia

³ Sistem Informasi, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

^{1*} wibowo.harrys@umk.ac.id, ² alibardadi@unsri.ac.id, ³ ericalfonsius@unsrat.ac.id

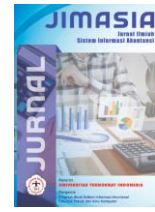
Submitted	Accepted	Publish
1-June-2025	10-June-2025	15-June-2025

Abstrak: Pemantauan kualitas air sangat penting dalam pengelolaan lingkungan, namun metode tradisional yang melibatkan pengambilan sampel secara manual dan analisis laboratorium memerlukan waktu lama, biaya tinggi, serta rentan terhadap keterlambatan, sehingga membatasi pengambilan keputusan secara tepat waktu. Penelitian ini mengatasi tantangan tersebut dengan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas air secara real-time yang memanfaatkan sensor berbasis IoT dan kerangka kerja Internet of Things Water Quality Index (IOTWQI). Sistem ini mengintegrasikan berbagai sensor, termasuk pH, TDS, suhu, kekeruhan, dissolved oxygen (DO), dan electrical conductivity (EC), untuk mengumpulkan data secara kontinu. Data tersebut diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke server cloud untuk divisualisasikan melalui dashboard daring. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap pencemaran dan mendukung pengelolaan sumber daya air secara proaktif. Pengujian dilakukan pada skala laboratorium dan menunjukkan akurasi tinggi pada berbagai parameter. Sensor suhu (DS18B20) mencatat rata-rata galat sebesar 1,46% dengan akurasi 98,54%, sementara sensor pH mencapai akurasi 96,85% dengan galat 3,15%. Sensor EC menunjukkan kinerja tertinggi dengan akurasi 99,81% dan galat 0,189%, sedangkan sensor DO mencapai akurasi 98,14% dengan galat 1,86%. Hasil ini memvalidasi keandalan sistem untuk pemantauan secara real-time. Pekerjaan selanjutnya akan difokuskan pada uji lapangan dan integrasi dengan kerangka kerja pengelolaan air yang lebih luas guna meningkatkan skalabilitas dan penerapan praktis.

Kata Kunci: Pemantauan Real-Time, Internet of Things (IoT), Indeks Kualitas Air (WQI), Komputasi Awan, Pengelolaan Lingkungan

Abstract: Water quality monitoring is essential for environmental management, yet traditional methods involving manual sampling and laboratory analysis are time-consuming, costly, and prone to delays, limiting timely decision-making. This study addresses these challenges by implementing a real-time water quality monitoring system leveraging IoT-based sensors and the Internet of Things Water Quality Index (IOTWQI) framework. The system integrates multiple sensors, including pH, TDS, temperature, turbidity, dissolved oxygen (DO), and electrical conductivity (EC), to collect data continuously. The data is processed by a microcontroller and transmitted to a cloud server for visualization on an online dashboard. This enables early detection of pollution and supports proactive water resource management. The system was tested on a laboratory scale, achieving high accuracy across various parameters. The





temperature sensor (DS18B20) recorded an average error of 1.46% with 98.54% accuracy, while the pH sensor achieved 96.85% accuracy with a 3.15% error. The EC sensor showed the highest performance with 99.81% accuracy and a 0.189% error, and the DO sensor achieved 98.14% accuracy with a 1.86% error. These results validate the system's reliability for real-time monitoring. Future work will focus on field trials and integration with broader water management frameworks to enhance scalability and practical deployment.

Keywords: Real-Time Monitoring, Internet of Things (IoT), Water Quality Index (WQI), Cloud computing, Environmental Management

1. Pendahuluan

Kualitas air merupakan faktor krusial dalam menjaga kesehatan ekosistem [1], mendukung kehidupan manusia [2], dan memastikan keberlanjutan aktivitas pertanian serta industri [3]. Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya tingkat pencemaran dan degradasi lingkungan telah menyoroti pentingnya sistem pemantauan yang efektif untuk menyediakan data kualitas air secara real-time [4]. Metode tradisional dalam penilaian kualitas air [5], yang umumnya melibatkan pengambilan sampel secara manual dan analisis laboratorium, memerlukan waktu lama, biaya tinggi, serta rentan terhadap keterlambatan [6]. Keterbatasan-keterbatasan ini menghambat pengambilan keputusan dan respons yang tepat waktu terhadap isu kualitas air.

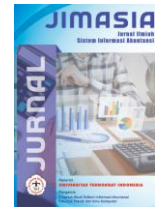
Munculnya teknologi Internet of Things (IoT) telah merevolusi pemantauan lingkungan [7], memungkinkan penerapan jaringan sensor terdistribusi yang dapat mengumpulkan, mentransmisikan, dan menganalisis data secara real-time [8]. Sistem berbasis IoT menawarkan berbagai keunggulan, termasuk pemantauan berkelanjutan [9], akses jarak jauh [10], dan kemampuan untuk terintegrasi dengan sumber data serta sistem manajemen lainnya [11]. Salah satu sistem tersebut adalah Internet of Things Water Quality Index (IOTWQI), yang menyediakan pendekatan terstandarisasi untuk menilai kualitas air dengan memanfaatkan sensor IoT.

Meskipun teknologi IoT telah berkembang pesat, masih terdapat kesenjangan dalam penerapannya untuk pemantauan kualitas air secara real-time. Tantangan ini menuntut pengembangan indeks standar yang dirancang khusus untuk kerangka kerja IoT, seperti Internet of Things Water Quality Index (IOTWQI), guna memfasilitasi penilaian kualitas air yang disesuaikan dengan keterbatasan parameter sensor yang tersedia dalam sistem IoT.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem penilaian kualitas air secara real-time dengan memanfaatkan IOTWQI dan teknologi IoT. Sistem yang diusulkan ini berupaya mengatasi keterbatasan metode tradisional dengan menyediakan solusi pemantauan kualitas air yang efisien, skalabel, dan akurat secara berkelanjutan. Integrasi IOTWQI dengan perangkat IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time, yang dapat digunakan untuk menghasilkan wawasan yang dapat ditindaklanjuti serta mendukung pengelolaan kualitas air secara proaktif.

Berbagai pendekatan terhadap penilaian kualitas air dan penerapan teknologi IoT telah banyak diteliti sebelumnya. Beberapa indeks kualitas air seperti NSF-WQI, CCME-WQI, INA-WQI, dan DOE-WQI telah digunakan secara luas dalam mengukur kualitas air di berbagai negara [12][13][14][15]. Namun, indeks-indeks tersebut belum sepenuhnya terintegrasi dengan kemampuan real-time dari sistem IoT. Dalam konteks pemantauan real-time, beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem berbasis sensor IoT untuk mengukur parameter seperti pH, suhu, DO, TDS, dan EC [18][19][20][21]. Misalnya, Adeleke et al. [20] menggabungkan IoT dan machine learning untuk pemantauan kualitas air, sementara Daconte et al. [18] dan Jayaraman et al. [25] menunjukkan prototipe sistem IoT yang akurat dan efisien untuk mengamati parameter fisikokimia air. Studi-studi tersebut memberikan landasan penting bagi pengembangan sistem





pemantauan kualitas air yang lebih adaptif, efisien, dan skalabel berbasis Internet of Things.

Struktur makalah ini disusun sebagai berikut: Bagian II membahas penelitian terkait. Bagian III menjelaskan metodologi penelitian. Bagian IV menyajikan hasil dan pembahasan. Bagian V memberikan kesimpulan dan arahan untuk penelitian selanjutnya.

2. Landasan Teori

2.1. Indeks Kualitas Air dan Integrasi Sensor IoT

Beberapa Water Quality Index (WQI) telah digunakan secara luas untuk menilai dan mengkomunikasikan kondisi kualitas air. Indeks-indeks tersebut meliputi NSF WQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index) [12], INA WQI (Indonesia Water Quality Index) [13], CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index) [14], NWQS Malaysia (National Water Quality Standards for Malaysia) [15], WQI Vietnam [16], dan DOE WQI (Department of Environment Water Quality Index – Malaysia) [17]. Masing-masing indeks menekankan aspek kualitas air yang berbeda dengan menggunakan kombinasi parameter seperti pH, suhu, dissolved oxygen (DO), total dissolved solids (TDS), kekeruhan, dan electrical conductivity (EC), sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1. Indeks-indeks ini memberikan nilai numerik tunggal yang mencerminkan kondisi keseluruhan kualitas air, sehingga memudahkan para pembuat kebijakan, ilmuwan, dan masyarakat umum dalam menafsirkan serta mengkomunikasikan temuan di berbagai badan air dan lokasi geografis yang berbeda.

Meskipun WQI tersebut memberikan penilaian yang bermakna, tantangan muncul saat diterapkan untuk pemantauan secara real-time. Beberapa parameter, meskipun penting dalam penilaian kualitas air, belum memiliki sensor yang dapat menangkap data secara andal dalam waktu nyata. Oleh karena itu, Tabel 2 menyoroti beberapa studi yang telah berhasil menggunakan sensor berbasis IoT untuk memantau parameter-parameter utama kualitas air, termasuk pH, suhu, DO, TDS, dan kekeruhan, yang dapat diukur melalui sensor yang tersedia secara komersial. Penelitian ini berfokus pada parameter-parameter inti tersebut, dengan memastikan bahwa sistem pemantauan tidak hanya selaras dengan WQI yang ada, tetapi juga memanfaatkan teknologi IoT untuk memungkinkan penilaian yang berkelanjutan dan real-time. Integrasi teknologi IoT ini mengatasi keterbatasan dalam metode penilaian kualitas air tradisional, serta menawarkan solusi yang skalabel dan otomatis untuk pengelolaan lingkungan.

Tabel 1. Indeks Kualitas Air dan Parameter yang digunakan

Parameter	NSF WQI	INA WQI	CCME WQI	DOE WQI (Malaysia)	RWQI (River)	NZWQI (New Zealand)
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Temperatur	✓			✓	✓	
DO	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TDS	✓	✓	✓		✓	✓
Turbidity		✓	✓	✓		✓
EC				✓	✓	
Nitrate	✓	✓	✓	✓	✓	
BOD	✓	✓	✓	✓	✓	

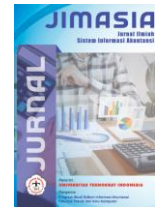
Tabel 1. Sistem Pemantauan Air dan Parameter dan Sensor yang digunakan

Peneliti	pH	DO	Temp	TDS	Turb	EC	ORP
Daconte, et al., 2024 [18]	✓	✓	✓			✓	

Wibowo Harry Sugiharto, : *Penulis Korespondensi



Copyright © 2025, Wibowo Harry Sugiharto, Ali Bardadi, Eric Alfonsius.



Jabbar et al., 2024	[19]			✓	✓	✓		
Adeleke et al., 2023	[20]	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Lakshmikaet al., 2021	[21]	✓		✓		✓	✓	
Vasudev et al., 2021	[22]	✓		✓		✓		
Huan, et al., 2020	[23]	✓		✓				
J. Huan, et al., 2020	[24]	✓	✓	✓				
Jayaraman, et al., 2024	[25]	✓	✓	✓		✓		
Chowdury et al., 2019	[26]	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Islam, 2023	[27]	✓		✓		✓		
Sugiharto, et al., 2023	[6]	✓		✓	✓	✓		

2.2. Proses Komputasi Awan

Cloud computing mengacu pada suatu model yang memungkinkan akses sesuai permintaan terhadap jaringan berbasis internet dan dapat melakukan komputasi cepat untuk interaksi antara penyedia layanan. Layanan ini dapat mencakup aplikasi, sistem penyimpanan, jaringan, dan platform bagi para pengguna [28]. *Cloud computing* merupakan aktivitas mengakses informasi dari berbagai sumber tanpa batasan waktu, menggunakan platform web dengan konektivitas jaringan yang stabil [29].

Cloud computing menawarkan fleksibilitas dan efisiensi dalam menyediakan data dan layanan yang dibutuhkan. Teknologi ini mengatasi keterbatasan server konvensional dengan menyediakan layanan yang cepat dan efisien, mendukung implementasi sistem pendukung secara cepat [30]. *Cloud computing* hanya mengizinkan akses bagi pengguna yang berwenang sesuai dengan layanan yang tersedia, memungkinkan penyimpanan dan akses file secara cepat, sehingga sistem ini fleksibel dan efisien dalam pengelolaan sumber daya [31]. Model layanan *cloud computing* dibagi menjadi tiga: PaaS (*Platform as a Service*), IaaS (*Infrastructure as a Service*), dan SaaS (*Software as a Service*). PaaS memungkinkan pengguna untuk melakukan pengembangan tanpa membangun infrastruktur, sedangkan SaaS menyediakan perangkat lunak dan infrastruktur yang dijalankan oleh penyedia layanan [32].

2.3. Arsitektur Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah jaringan dari objek-objek yang memiliki identitas unik dan mampu bertukar data tanpa intervensi manusia. Sistem IoT dibangun dengan menghubungkan sensor, aktuator, penyimpanan data, dan prosesor. Data yang dikumpulkan oleh sensor diproses oleh prosesor untuk pengambilan keputusan, yang kemudian dijalankan oleh aktuator [33]. Penerapan IoT telah dilakukan di berbagai bidang, termasuk agribisnis [34], layanan kesehatan [35], pengelolaan lingkungan [33], dan pencegahan bencana [36].

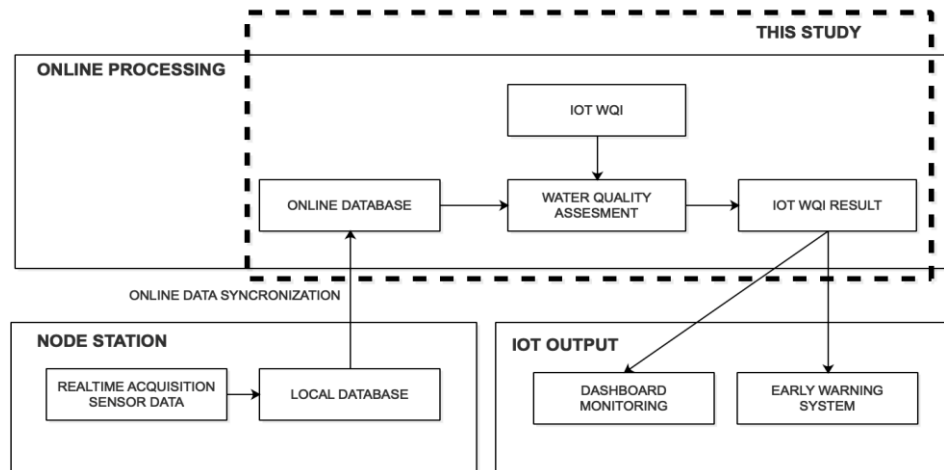
IoT dapat menghubungkan sejumlah besar objek di seluruh dunia melalui internet, sehingga membutuhkan arsitektur yang fleksibel dan berlapis. Data yang dikumpulkan dianalisis oleh server dan menghasilkan keluaran berdasarkan layanan IoT yang digunakan [37]. IoT memerlukan sistem keamanan berlapis untuk melindungi sistem, yang terdiri dari tingkat keamanan data, *edge*, *fog*, dan *cloud*, dengan keamanan data sebagai tingkat tertinggi dan keamanan *cloud* sebagai yang terendah [38].

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada implementasi IoT WQI dengan menggunakan *Internet of Things* (IoT) untuk sistem pemantauan kualitas air seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tahapan utama mencakup pengumpulan data secara real-time dari sensor di *Node Station*



dan penyimpanannya dalam basis data lokal. Data ini kemudian disinkronkan dengan basis data daring untuk memungkinkan penilaian kualitas air lebih lanjut. Penilaian dilakukan dengan menghitung *Water Quality Index* (WQI) menggunakan IoT, sehingga menghasilkan informasi mengenai status kualitas air saat ini. Hasil penilaian ditampilkan pada *dashboard* untuk pemantauan visual dan diintegrasikan dengan sistem peringatan dini yang memberikan notifikasi cepat saat terdeteksi kondisi kualitas air yang mengkhawatirkan. Studi ini menawarkan solusi komprehensif untuk pemantauan kualitas air secara berkelanjutan dan respons cepat terhadap potensi pencemaran.



Gambar 1. Kerangka Kerja Penerapan IoTWQI

3.1. Desain Transmisi Data

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sugiharto et al. [6], data yang dikumpulkan dari probe sensor oleh setiap *Node Station* akan disimpan dan kemudian diproses oleh IOTWQI untuk menentukan apakah kualitas air masih dapat diterima. Setelah data dikirimkan, data tersebut akan diteruskan ke server daring untuk akses global. Tahapan sinkronisasi adalah sebagai berikut:

1. *Node Station* mengumpulkan data dari sensor, memprosesnya menjadi nilai IOTWQI, dan menyimpannya ke dalam basis data lokal.
2. *Node Station* kemudian mengirimkan permintaan ke *Cloud Computing Server* untuk memeriksa apakah ada data baru yang perlu dikirimkan.
3. Jika data di *Node Station* lebih baru, maka data tersebut dikirim ke *Cloud Computing Server*.
4. *Cloud Computing Server* menerima data, menyimpannya ke dalam basis data daring, dan mengirimkan notifikasi kembali ke *Node Station*.
5. *Node Station* menerima notifikasi dan menampilkannya.

3.2. Indeks Kualitas Air Internet of Things (IOTWQI)

Internet of Things Water Quality Index (IOTWQI) adalah sebuah sistem yang mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) untuk pemantauan kualitas air secara real-time. Sistem ini menggunakan sensor yang mampu mengukur parameter kualitas air seperti pH, TDS, suhu, kekeruhan, DO (Dissolved Oxygen), dan EC (Electrical Conductivity) secara langsung dari stasiun pemantauan. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini kemudian dikirimkan ke server dan diperbarui secara real-time pada dashboard pemantauan.

Tabel 3 menyajikan parameter-parameter yang digunakan dalam IOTWQI beserta bobot yang diberikan, yang mencerminkan tingkat kepentingan masing-masing parameter dalam menilai kualitas air.

Tabel 3. IOT WQI Parameters dan Bobot Parameter

No	Parameter	Bobot
1	DO	0.208
2	pH	0.088
3	Temperature	0.209
4	Turbidity	0.334
5	Total Dissolved Solids	0.086
6	Electric Conductivity	0.075
Overall Weight		1

Nilai IOTWQI keseluruhan dihitung menggunakan rumus $IOTWQI = \sum_{i=1}^p W_i I_i$ di mana W_i adalah bobot yang diberikan untuk parameter ke- i , dan I_i adalah nilai parameter yang telah dinormalisasi. **Tabel 4** menunjukkan deskriptor dan rentang nilai WQI yang digunakan untuk menginterpretasikan skor akhir kualitas air. Pendekatan terstruktur ini memastikan bahwa sistem IOTWQI memberikan penilaian yang akurat untuk pemantauan lingkungan secara real-time.

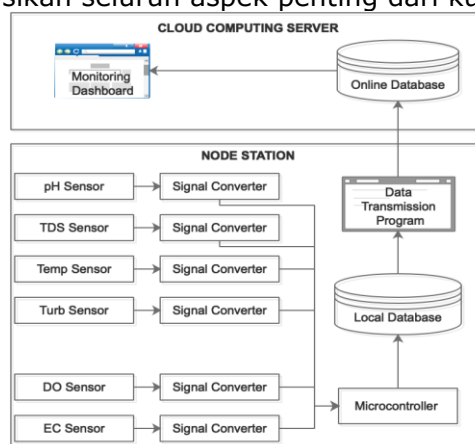
Tabel 4. Rentang Nilai dan Deskripsi

Deskripsi	Nilai
Very Bad	0-25
Bad	26-50
Medium	51-70
Good	71-90
Excellent	91-100

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Perangkat Keras

Dalam studi sebelumnya oleh Sugiharto et al. (2023), sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT berhasil diimplementasikan untuk mengukur parameter-parameter utama seperti pH, TDS, suhu, dan kekeruhan secara real-time [6]. Implementasi ini menunjukkan efisiensi tinggi dalam pengumpulan data lapangan, dengan tingkat akurasi yang memadai serta kemampuan pemantauan yang berkelanjutan selama periode dua jam di Sungai Troso, Indonesia. Namun, studi tersebut masih terbatas pada parameter dasar yang belum sepenuhnya merepresentasikan seluruh aspek penting dari kualitas air.



Gambar 2. Arsitektur IoT dan Sistem Pemantauan Kualitas Air

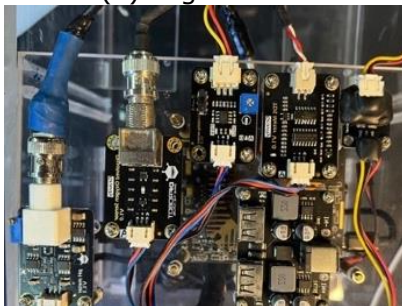
Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, penelitian ini menambahkan dua parameter tambahan, yaitu *Dissolved Oxygen* (DO) (SKU: SEN0237 dari dfrobot.com) dan *Electrical Conductivity* (EC) (SKU: SEN0244 dari dfrobot.com). DO penting karena berfungsi sebagai indikator utama kondisi biologis perairan dan kesehatan ekosistem. Sementara itu, EC memiliki peran krusial dalam mengukur konsentrasi ionik dalam air, yang sering kali terkait dengan keberadaan polutan atau aktivitas manusia. Dengan mengintegrasikan kedua parameter ini, sistem pemantauan menjadi lebih komprehensif, memungkinkan deteksi dini terhadap kondisi pencemaran serta penilaian kualitas air yang lebih akurat.



(a) Log Console



(b) Microcontroller LattePanda V1



(c) Signal Converter Board

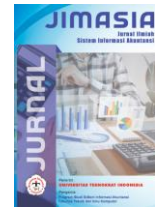


(d) Sensor Probe

Gambar 3. Implementasi Node Station Hardware

Gambar 2 mengilustrasikan arsitektur sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT, yang terdiri dari *Node Station* dan *Cloud Computing Server*. *Node Station* mengintegrasikan sensor pH, TDS, suhu, kekeruhan, DO, dan EC, yang masing-masing dihubungkan ke konverter sinyal untuk memproses sinyal analog, kemudian diteruskan ke mikrokontroler pada papan LattePanda v1. Data yang dikumpulkan disimpan sementara di basis data lokal dan secara berkala dikirimkan melalui program transmisi data ke *Cloud Server*. *Cloud Server* menyimpan data tersebut ke dalam basis data daring, sementara *dashboard* pemantauan menyediakan visualisasi secara real-time serta notifikasi untuk kondisi yang tidak normal, memastikan pemantauan berkelanjutan dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Gambar 3 menunjukkan implementasi perangkat keras dari *node station* yang dirancang untuk pemantauan kualitas air secara real-time. Sistem ini terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu: *Log Console* yang berfungsi sebagai antarmuka pemantauan operasi sistem dan menampilkan log secara real-time; *Single Board Computer* yang mengintegrasikan mikrokontroler (Arduino Leonardo) untuk memproses data dari sensor dan mengelola transmisi data; *Signal Converter Board* yang bertugas mengonversi sinyal analog dari berbagai sensor menjadi data digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler;



serta *Sensor Probe* yang dilengkapi dengan beberapa sensor—termasuk pH, TDS, suhu, kekeruhan, DO, dan EC—untuk memastikan akurasi pengukuran berbagai parameter kualitas air.

4.2. Kalibrasi dan Validasi Sensor

Proses verifikasi dilakukan selama pengujian kalibrasi untuk menentukan tingkat galat (*error*). Persamaan (1) digunakan untuk menghitung persentase galat, sedangkan Persamaan (2) digunakan untuk menghitung akurasi perolehan data dari sensor, di mana *x* adalah variabel yang diamati dan *xix_ixi* adalah variabel hasil prediksi.

$$\left| \frac{(x-xi)}{x} \right| 100\% \quad (1)$$

$$\overline{\% error} = \quad (1)$$

$$Sensor Accuracy = 100\% - \% error \quad (2)$$

$$(2)$$

Proses verifikasi dilakukan selama pengujian kalibrasi untuk mengetahui tingkat galat menggunakan persamaan untuk persentase galat dan akurasi sensor. Sensor suhu DS18B20, yang tidak memerlukan kalibrasi tambahan, diverifikasi menggunakan termometer raksa, dengan hasil rata-rata galat sebesar 1,46% dan akurasi sebesar 98,54%, sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Verifikasi Parameter Suhu

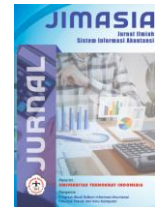
No	Sensor (°C)	Mercury (°C)	% error
1	29.25	29	0.86%
2	30.63	30	2.10%
3	31.75	31	2.41%
4	32.05	32	0.15%
5	33.57	33	1.72%
6	34.8	34	2.35%
7	35.46	35	1.31%
8	36.46	36	1.27%
9	37.86	37	2.32%
10	38.06	38	0.15%
$\overline{\% error}$			1.46%

Sensor pH dikalibrasi menggunakan larutan penyangga dengan pH 4,02; 6,84; dan 9,10. Dalam 15 kali pengujian pada berbagai suhu (15–35°C) dan tingkat pH, diperoleh rata-rata galat sebesar 3,15% dengan tingkat akurasi sebesar 96,85%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Verifikasi Parameter pH

No	Temp	PH Sensor	pH Buffer Solution	% error
1	15	4.08	4.00	2.00%
2	20	4.24	4.00	6.00%
3	25	4.12	4.01	2.74%
4	30	4.26	4.01	6.23%





No	Temp	PH Sensor	pH Buffer Solution	% error
5	35	4.12	4.02	2.49%
6	15	7.16	6.90	3.77%
7	20	7.12	6.88	3.49%
8	25	7.05	6.86	2.77%
9	30	6.93	6.85	1.17%
10	35	7.03	6.84	2.78%
11	15	9.12	9.28	1.72%
12	20	8.88	9.23	3.79%
13	25	8.89	9.18	3.16%
14	30	8.76	9.14	4.16%
15	35	9.01	9.10	0.99%
<i>% error</i>				3.15%

Pengujian EC dilakukan dengan membandingkan data yang diperoleh dari sensor EC dengan nilai referensi EC yang telah diketahui. Untuk memverifikasi akurasi dan keandalan sensor EC, digunakan larutan kalibrasi konduktivitas 12,88 mS/cm pada suhu 25°C, 26°C, dan 30°C. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata galat sebesar 0,189% dan tingkat akurasi sebesar 99,81%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Verifikasi Parameter EC

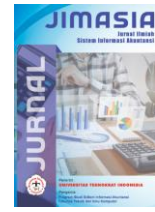
No	Temperature	Sensor EC (mS/cm)	EC Solution (mS/cm)	% error
1	25	12.90	12.88	0.16%
2	25	12.85	12.88	0.23%
3	25	12.87	12.88	0.08%
4	26	13.15	13.13	0.15%
5	26	13.12	13.13	0.08%
6	26	13.14	13.13	0.08%
7	30	14.20	14.12	0.57%
8	30	14.10	14.12	0.14%
9	30	14.15	14.12	0.21%
<i>% error</i>				0.189%

Sensor kekeruhan menggunakan LED inframerah dan fotodiode, yang dikalibrasi dengan standar 0 dan 100 NTU menggunakan air murni. Sementara itu, sensor TDS diverifikasi menggunakan larutan buffer TDS referensi, menghasilkan rata-rata galat sebesar 1,90% dan tingkat akurasi sebesar 98,10%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Verifikasi Parameter TDS

No	Temperature	Sensor TDS (ppm)	TDS Solution	%error
----	-------------	------------------	--------------	--------





1	0	746	758	1.58%
2	5	901	876	2.85%
3	10	983	999	1.60%
4	15	1169	1122	4.19%
5	20	1288	1251	2.96%
6	23	1320	1329	0.68%
7	24	1345	1358	0.96%
8	25	1366	1382	1.16%
9	26	1395	1408	0.92%
10	30	1483	1515	2.11%
$\overline{\% \text{ error}}$				1.90%

Sensor DO diuji terhadap nilai referensi *dissolved oxygen* yang telah diketahui. Pengujian ini menunjukkan bahwa sensor DO memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mengukur kadar oksigen terlarut, dengan rata-rata akurasi sebesar 98,14%, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 9.

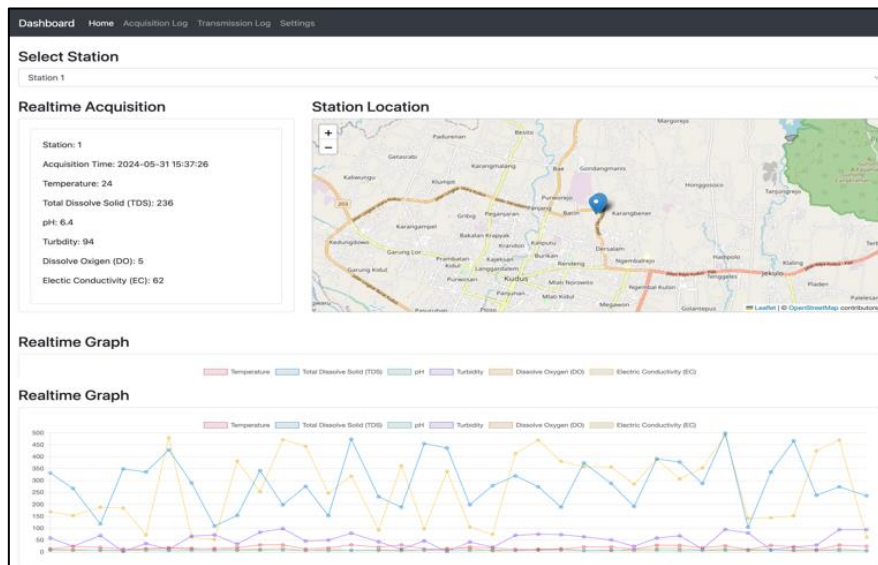
Tabel 9. Verifikasi Parameter DO

No	Temperature	Sensor DO (mg/L)	DO Reference (mg/L)	% error
1	20	8.0	8.2	2.44%
2	22	7.5	7.6	1.32%
3	24	7.2	7.3	1.37%
4	26	6.8	6.9	1.45%
5	28	6.5	6.7	2.99%
6	30	6.3	6.4	1.56%
$\overline{\% \text{ error}}$				1.86%

4.3. Implementasi IOTWQI Secara Real-Time

Sistem *Real-Time IOTWQI (Internet of Things Water Quality Index)* mengintegrasikan teknologi IoT untuk pemantauan kualitas air secara waktu nyata, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Implementasi sistem ini melibatkan beberapa komponen utama, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, yang bekerja secara terpadu untuk mengumpulkan, memproses, dan mentransmisikan data kualitas air.

Perangkat ini telah diuji pada skala laboratorium guna memastikan akurasi dan keandalannya sebelum diterapkan di lapangan. Pengujian laboratorium dilakukan dengan mengumpulkan data kualitas air menggunakan *node station* yang dilengkapi dengan berbagai sensor, seperti sensor pH, suhu, TDS, DO, dan konduktivitas listrik. Data yang diperoleh kemudian dikirim ke server untuk dianalisis dan dipantau secara real-time melalui *dashboard* daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu memberikan pengukuran yang akurat dan konsisten, sehingga layak digunakan untuk pemantauan kualitas air secara real-time di lingkungan nyata.



Gambar 4. Transmisi Data dari Node Station ke Cloud Server

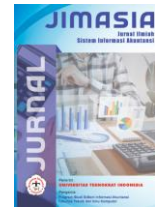
5. KESIMPULAN

Perangkat IOTWQI telah berhasil diimplementasikan dan diuji pada skala laboratorium, menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam pengukuran berbagai parameter kualitas air. Sensor suhu (DS18B20) mencapai akurasi sebesar 98,54% dengan rata-rata galat sebesar 1,46%, sementara sensor pH yang dikalibrasi dengan larutan buffer mencapai akurasi 96,85% dengan galat 3,15%. Sensor konduktivitas listrik (EC) menunjukkan akurasi tertinggi, yaitu 99,81% dengan galat hanya 0,189%. Sensor TDS mencapai akurasi 98,10% dengan galat 1,90%, dan sensor DO mencatat akurasi 98,14% dengan galat sebesar 1,86%. Secara keseluruhan, sistem IOTWQI terbukti sangat andal dalam mengukur parameter pH, TDS, suhu, kekeruhan, DO, dan EC, sehingga menunjukkan potensinya untuk diterapkan dalam pemantauan lingkungan di dunia nyata.

Integrasi dengan teknologi IoT memastikan pengumpulan data secara berkelanjutan, yang memungkinkan deteksi dini terhadap pencemaran dan mendukung pengelolaan sumber daya air yang efektif. Pekerjaan selanjutnya akan difokuskan pada uji coba lapangan yang lebih luas serta integrasi yang lebih dalam dengan kerangka kerja pengelolaan air yang sudah ada guna meningkatkan skalabilitas dan kinerja sistem.

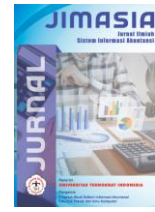
6. REFERENSI

- [1] B. Malarkodi, P. Tarakeswari, and J. Tomy, "A Deep Learning Strategy for Water Quality Monitoring," in *ICSCCC 2021 - International Conference on Secure Cyber Computing and Communications*, 2021. doi: 10.1109/ICSCCC51823.2021.9478174.
- [2] N. E. El-Attar, H. R. Lotfy, and W. A. Awad, "Performance of Artificial Intelligence Models in Analysis and Prediction of Water Potability," in *International Telecommunications Conference, ITC-Egypt 2022 - Proceedings*, 2022. doi: 10.1109/ITC-Egypt55520.2022.9855743.
- [3] A. Mittal, S. Patwal, M. Adhikari, and M. Manu, "A Review of Various Water Quality Prediction Models and Techniques," in *Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2023*, 2023. doi: 10.1109/ICIRCA57980.2023.10220687.
- [4] M. Munara, N. Kumar, and K. Shanmugam, "Recommending IoT based Real-time Water Quality Monitoring System in Malaysia," in *MysuruCon 2022 - 2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference*, 2022. doi: 10.1109/MysuruCon55714.2022.9972745.
- [5] W. J. Hong et al., "Water quality monitoring with arduino based sensors," *Environ. - MDPI*, 2021, doi: 10.3390/environments8010006.



- [6] W. H. Sugiharto, H. Susanto, and A. B. Prasetijo, "Real-Time Water Quality Assessment via IoT: Monitoring pH, TDS, Temperature, and Turbidity," *Ing. des Syst. d'Information*, vol. 28, no. 4, pp. 823–831, 2023, doi: 10.18280/isi.280403.
- [7] M. Govindasamy, K. Jayanthi, and S. Rajagopan, "IoT Product on Smart Water Quality Monitoring System (Iot Wq-Kit) for Puducherry Union Territory," in *2023 2nd International Conference on Advances in Computational Intelligence and Communication, ICACIC 2023*, 2023. doi: 10.1109/ICACIC59454.2023.10435019.
- [8] M. Y. Arafat, S. Pan, and E. Bak, "Distributed Energy-Efficient Clustering and Routing for Wearable IoT Enabled Wireless Body Area Networks," *IEEE Access*, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3236403.
- [9] P. Rewatkar, D. Nath, U. S. Jayapiriya, S. Dudala, and S. Goel, "Self-powered real-time monitoring of environmental conditions by arrayed Al-air origami fuel cell," *J. Power Sources*, 2022, doi: 10.1016/j.jpowsour.2022.232127.
- [10] I. Tasic and M. D. Cano, "Sparking Innovation in a Crisis: An IoT Sensor Location-Based Early Warning System for Pandemic Control," *Appl. Sci.*, 2022, doi: 10.3390/app12094407.
- [11] P. Williams, I. K. Dutta, H. Daoud, and M. Bayoumi, "A survey on security in internet of things with a focus on the impact of emerging technologies," *Internet of Things (Netherlands)*. 2022. doi: 10.1016/j.iot.2022.100564.
- [12] M. G. Uddin, S. Nash, and A. I. Olbert, "A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality," *Ecol. Indic.*, vol. 122, p. 107218, 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2020.107218.
- [13] Ditjen PPKL-KLHK, "Metode Penentuan Indeks Kualitas Air (IKA) di Indonesia," 2017.
- [14] M. Kaur, S. K. Das, and K. Sarma, "Water quality assessment of Tal Chhappar Wildlife Sanctuary using water quality index (CCME WQI)," *Acta Ecol. Sin.*, vol. 43, no. 1, pp. 82–88, 2023, doi: 10.1016/j.chnaes.2021.09.017.
- [15] A. Al-Mamun and Z. Zainuddin, "Sustainable River Water Quality Management in Malaysia," *IIUM Eng. J.*, vol. 14, no. 1, pp. 29–42, 2013, doi: 10.31436/iiumej.v14i1.266.
- [16] T. A. Nguyen and N. H. Bui, "The zoning of surface water quality by WQI index in the Tien Giang province, Vietnam," *Vietnam J. Sci. Technol. Eng.*, vol. 62, no. 4, pp. 71–76, 2020, doi: 10.31276/vjste.62(4).71-76.
- [17] A. A. Abu Bakar, A. M. Pauzi, A. A. Mohamed, S. S. Sharifuddin, and F. M. Idris, "Preliminary analysis on the water quality index (WQI) of irradiated basic filter elements," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 298, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/298/1/012005.
- [18] A. Daconte, M. Sierra, J. Noguera, and N. Rodriguez, "Preliminary results of an IoT-based prototype monitoring system for physicochemical parameters and water level in an aquifer: Case of Santa Marta, Colombia," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 231, no. 2023, pp. 478–483, 2024, doi: 10.1016/j.procs.2023.12.237.
- [19] W. A. Jabbar *et al.*, "Development of LoRaWAN-based IoT system for water quality monitoring in rural areas," *Expert Syst. Appl.*, vol. 242, no. November 2023, p. 122862, 2024, doi: 10.1016/j.eswa.2023.122862.
- [20] I. A. Adeleke, N. I. Nwulu, and O. A. Ogbolumani, "A hybrid machine learning and embedded IoT-based water quality monitoring system," *Internet of Things (Netherlands)*, 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100774.
- [21] V. Lakshmikantha, A. Hiriyanagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, and A. A. Anthony, "IoT based smart water quality monitoring system," *Glob. Transitions Proc.*, vol. 2, no. 2, pp. 181–186, 2021, doi: 10.1016/j.gltp.2021.08.062.
- [22] S. Pasika and S. T. Gandla, "Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, p. e04096, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04096.
- [23] S. K. Vasudevan and B. Baskaran, "An improved real-time water quality monitoring embedded system with IoT on unmanned surface vehicle," *Ecol. Inform.*, 2021, doi: 10.1016/j.ecoinf.2021.101421.
- [24] J. Huan, H. Li, F. Wu, and W. Cao, "Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT," *Aquac. Eng.*, 2020, doi: 10.1016/j.aquaeng.2020.102088.
- [25] P. Jayaraman, K. K. Nagarajan, P. Partheeban, and V. Krishnamurthy, "Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models," *Int. J. Inf. Manag. Data Insights*, vol. 4, no. 1, p. 100210, 2024, doi: 10.1016/j.jjime.2023.100210.
- [26] M. S. U. Chowdury *et al.*, "IoT based real-time river water quality monitoring system," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 155, pp. 161–168, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.08.025.





- [27] M. M. Islam, "Real-time dataset of pond water for fish farming using IoT devices," *Data Br.*, vol. 51, pp. 4–10, 2023, doi: 10.1016/j.dib.2023.109761.
- [28] P. Mell and T. Grance, "The NIST definition of cloud computing," in *Cloud Computing and Government: Background, Benefits, Risks*, 2011, pp. 171–173. doi: 10.1016/b978-0-12-804018-8.15003-x.
- [29] N. M. Abdulkareem, S. R. M. Zeebaree, M. A. M. Sadeeq, D. M. Ahmed, A. S. Sami, and R. R. Zebari, "IoT and Cloud Computing Issues, Challenges and Opportunities: A Review," *Qubahan Acad. J.*, 2021, doi: 10.48161/qaj.v1n2a36.
- [30] A.-I. Neicu, A.-C. Radu, G. Zaman, I. Stoica, and F. Răpan, "Cloud Computing Usage in SMEs. An Empirical Study Based on SMEs Employees Perceptions," *Sustainability*, vol. 12, no. 12, p. 4960, Jun. 2020, doi: 10.3390/su12124960.
- [31] M. K. Nichat and D. P. V. Ingole, "Modeling and Processing of Cloud Computing and It's Performance Measurement," *IOSR J. Comput. Eng.*, vol. 18, no. 04, pp. 97–100, Apr. 2016, doi: 10.9790/0661-18040297100.
- [32] S. K. Sowmya, P. Deepika, and J. Naren, "Layers of Cloud – IaaS, PaaS and SaaS: A Survey," no. August, 2014.
- [33] K. Haseeb, S. Lee, and G. Jeon, "EBDS: An energy-efficient big data-based secure framework using Internet of Things for green environment," *Environ. Technol. Innov.*, vol. 20, p. 101129, 2020, doi: 10.1016/j.eti.2020.101129.
- [34] B. Miles, E. B. Bourennane, S. Boucherkha, and S. Chikhi, "A study of LoRaWAN protocol performance for IoT applications in smart agriculture," *Comput. Commun.*, vol. 164, no. February, pp. 148–157, 2020, doi: 10.1016/j.comcom.2020.10.009.
- [35] W. Ben Arfi, I. Ben Nasr, T. Khvatova, and Y. Ben Zaied, "Understanding acceptance of eHealthcare by IoT natives and IoT immigrants: An integrated model of UTAUT, perceived risk, and financial cost," *Technol. Forecast. Soc. Change*, no. May, p. 120437, 2020, doi: 10.1016/j.techfore.2020.120437.
- [36] S. K. Sood, R. Sandhu, K. Singla, and V. Chang, "IoT, big data and HPC based smart flood management framework," *Sustain. Comput. Informatics Syst.*, 2018, doi: 10.1016/j.suscom.2017.12.001.
- [37] W. Wilianto and A. Kurniawan, "Sejarah, Cara Kerja Dan Manfaat Internet of Things," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 8, no. 2, p. 36, 2018, doi: 10.31940/matrix.v8i2.818.
- [38] N. A. Gunathilake, W. J. Buchanan, and R. Asif, "Next Generation Lightweight Cryptography for Smart IoT Devices: : Implementation, Challenges and Applications," in *IEEE 5th World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2019 - Conference Proceedings*, 2019, pp. 707–710. doi: 10.1109/WF-IoT.2019.8767250.

