

IoT-Based Water Quality Monitoring System Using ESP32 with NSF-WQI Method on Various Water Sources

Ulfa Niswatul Khasanah ^{1*)}, Moh. Mimbar Fauzi ²⁾, Fatra Nonggala Putra ³⁾, Imroatul Fatikha Kurniati ⁴⁾, Januar Gilang Ramadhan ⁵⁾

¹⁾Program Studi Fisika, Fakultas Ilmu Eksakta, Universitas Nahdlatul Ulama Blitar

²⁾Program Studi Peternakan, Fakultas Ilmu Eksakta, Universitas Nahdlatul Ulama Blitar

^{*}Correspondence author: ulfaniswatul13@gmail.com, Blitar, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.37012/jtik.v12i1.3185>

Abstract

Water quality is an important indicator in maintaining environmental health and ecosystem sustainability. Direct water quality monitoring would be challenging for determining the quality of water sources. Therefore, it is necessary to design a real-time Water Quality Index (WQI) monitoring system based on the Internet of Things (IoT) using the ESP32 microcontroller with sensors for pH, temperature, turbidity (NTU), Total Dissolved Solids (TDS), and electrical conductivity (EC). The system is designed to be portable with a battery power source and is capable of sending data in real-time to a server for display via a web interface, as well as providing automatic notifications through Telegram. Water quality assessment is performed using the National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) method with four main parameters: pH, temperature, NTU, and TDS. The system is also capable of classifying water quality into 5 categories: Excellent, Good, Medium, Bad, and Very Bad. Laboratory tests were conducted on various liquids (coffee, soap, and milk), followed by field tests at three locations: Tempur River, Paddy Field Irrigation Flow, and Mbelik Tirta Wening Minggirsari Water Source. The measurement results show WQI values of 65–69 (Medium category) for Tempur River, 75–83 (Good category) for Paddy Field Irrigation Flow, and 93–98 (Excellent category) for Mbelik Tirta Wening Minggirsari Water Source. The system successfully demonstrated accurate, responsive, and reliable performance, making it suitable for sustainable water quality monitoring.

Keywords: Water Quality Index, Internet of Things (IoT), Sustainability of Water Resource, NSF-WQI

Abstrak

Kualitas air merupakan salah satu indikator penting dalam menjaga kesehatan lingkungan dan keberlanjutan ekosistem. Pemantauan kualitas air secara langsung akan sulit untuk mengetahui kualitas sumber air, maka perlu dirancang sistem monitoring Indeks Kualitas Air (IKA) secara real time berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, suhu, kekeruhan (turbidity), padatan terlarut (TDS) dan konduktivitas listrik (EC). Sistem dirancang portable dengan sumber daya baterai, serta mampu mengirimkan data secara real-time ke server untuk ditampilkan melalui antarmuka web dan memberikan notifikasi otomatis melalui Telegram. Penilaian kualitas air dilakukan menggunakan metode *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF-WQI) dengan empat parameter utama: pH, suhu, NTU, dan TDS. Serta mampu mengklasifikasikan kualitas air menjadi 5 kategori yaitu : sangat baik, baik, cukup baik, buruk, sangat buruk. Pengujian laboratorium dilakukan pada berbagai cairan (kopi, sabun, dan susu), diikuti uji lapangan pada tiga lokasi: Sungai Tempur, Aliran Irigasi Sawah, dan Sumber Air Mbelik Tirta Wening Minggirsari. Hasil pengukuran menunjukkan nilai IKA 65–69 (kategori Sedang) untuk Sungai Tempur, 75–83 (kategori Baik) untuk Aliran Irigasi Sawah, dan 93–98 (kategori Sangat Baik) untuk Sumber Air Mbelik Tirta Wening Minggirsari. Sistem berhasil menunjukkan performa akurat, responsif, dan reliabel sehingga layak digunakan untuk monitoring kualitas air secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Indeks Kualitas Air, Internet of Things, Kelestarian Sumber Air, NSF-WQI

PENDAHULUAN

Kualitas air merupakan salah satu indikator penting dalam menjaga kesehatan lingkungan dan keberlanjutan ekosistem. Peningkatan aktivitas industri, domestik, dan pertanian berdampak pada penurunan kualitas air sungai maupun sumber air bersih (Utami et al., 2024; Velasco-Muñoz et al., 2018). Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan kualitas air yang bersifat real-time, portable, murah, dan mudah diakses.

Perkembangan Internet of Things (IoT) memungkinkan pengembangan perangkat monitoring yang mampu mengirimkan data secara kontinu dan terintegrasi dengan platform digital. Metode penilaian kualitas air *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF-WQI) banyak digunakan karena komprehensif dan mudah diaplikasikan (Cristable et al., 2020; Noori et al., 2019).

Untuk mengatasi kompleksitas data, konsep Indeks Kualitas Air (IKA) atau Water Quality Index (WQI) telah dikembangkan dan digunakan secara luas di seluruh dunia. WQI mengintegrasikan berbagai parameter pengukuran menjadi satu nilai tunggal yang merepresentasikan tingkat kualitas air secara keseluruhan. Salah satu metode WQI yang paling banyak diterima dan diakui secara internasional adalah National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI). NSF-WQI menimbang sembilan parameter kritis untuk menghasilkan skor antara 0 hingga 100, yang kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas (Marselina et al., 2022).

Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem pemantauan kualitas air kini dapat diintegrasikan dengan teknologi Internet of Things (IoT). Pemanfaatan *platform* mikrokontroler berdaya rendah seperti ESP32 yang dikombinasikan dengan sensor digital, memungkinkan data pengukuran pH, suhu, kekeruhan (NTU), dan Total Dissolved Solids (TDS) dikumpulkan dan dikirimkan secara *real-time* ke *cloud server* melalui koneksi internet (Norsuzila Yaacob et al., 2025; Zafi et al., 2024). Pendekatan berbasis IoT ini menjembatani kesenjangan yang ada pada metode konvensional, yaitu ketidakmampuan untuk memberikan informasi secara *instan* dan *berkelanjutan*.

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah alat monitoring kualitas air berbasis ESP32 yang dilengkapi sensor pH, suhu, kekeruhan (turbidity), TDS, dan EC. Data pengukuran dikirimkan ke server dan ditampilkan melalui web, serta sistem memberikan notifikasi

kondisi kualitas air melalui Telegram. Kinerja alat diuji pada berbagai cairan dan pada tiga lokasi sumber air sehingga diperoleh gambaran performa sistem dalam kondisi nyata.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian rekayasa dengan pendekatan menerapkan metode Agile sebagai kerangka pengembangan sistem. Metode Agile dipilih karena memungkinkan proses pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan secara iteratif, bertahap, dan adaptif, khususnya dalam integrasi perangkat keras, perangkat lunak, serta proses pengujian. Tahapan metode Agile terdiri dari 5 (lima) tahapan, yaitu: 1) Perencanaan (*Planning*), 2) Perancangan, (*Design*), 3) Pengembangan (*Development*), 4) Pengujian (*Testing*), dan 5) Peluncuran (*Deployment*).

1. Perencanaan (*Planning*)

Tahap perencanaan bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan, menetapkan tujuan penelitian, serta menentukan kebutuhan sistem. Pada tahap ini dilakukan studi literatur terkait kualitas air, metode NSF-WQI, dan teknologi Internet of Things (IoT). Selain itu, ditentukan parameter kualitas air yang akan diukur serta kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam sistem monitoring.

2. Perancangan (*Design*)

Tahap perancangan meliputi perancangan arsitektur sistem monitoring kualitas air yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras mencakup integrasi mikrokontroler ESP32 dengan sensor suhu, pH, TDS, EC, dan kekeruhan (turbidity), serta perancangan casing alat. Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan firmware ESP32, sistem basis data, antarmuka web, dan mekanisme notifikasi melalui Telegram.

3. Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan dilakukan dengan mengimplementasikan hasil perancangan secara bertahap. Pengembangan mencakup pemrograman firmware ESP32 untuk akuisisi data sensor, pengolahan data awal, serta pengiriman data ke server melalui

jaringan Wi-Fi. Selain itu, dikembangkan aplikasi web untuk visualisasi data dan sistem notifikasi Telegram. Setiap modul dikembangkan secara iteratif sesuai prinsip Agile.

4. Pengujian (*Testing*)

Tahap pengujian bertujuan untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian meliputi kalibrasi dan uji akurasi sensor menggunakan larutan standar dan larutan uji, pengujian fungsional sistem komunikasi data, serta pengujian keandalan sistem notifikasi. Pengujian lapangan juga dilakukan pada beberapa sumber air untuk memvalidasi kinerja sistem dalam kondisi nyata.

5. Peluncuran (*Deployment*)

Tahap peluncuran merupakan tahap penerapan sistem monitoring kualitas air pada lokasi pengujian lapangan. Pada tahap ini sistem dioperasikan secara penuh untuk melakukan pemantauan kualitas air secara real-time, menampilkan data pada antarmuka web, serta mengirimkan notifikasi otomatis melalui Telegram. Data hasil deployment digunakan sebagai bahan analisis untuk menentukan nilai Indeks Kualitas Air (IKA) menggunakan metode NSF-WQI dan mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perencanaan (*Planning*)

Dalam penelitian ini menggunakan data sifat fisik dan kimia dari 3 titik sumber air yaitu Sungai Tempur, irigasi sawah dan sumber air Mbelik Tirta Wening. Sensor yang digunakan terdiri dari 5 jenis sensor yaitu: Sensor suhu, Sensor *Total Dissolved Solid* (padatan terlarut), Sensor *Electrical Conductivity* (konduktifitas listrik), pH (tingkat keasaman) dan Sensor Turbidity (kekeruhan). Berikut adalah daftar sensor utama yang digunakan untuk mengukur parameter kualitas air yang telah ditetapkan:

Tabel 1. Daftar Sensor Alat Monitoring Kualitas Air

No.	Parameter	Nama Sensor	Kode Modul	Satuan Pengukuran	Keterangan
1	Suhu (Temperature)	Sensor suhu digital DS18B20	DS18B20	°C (Celcius)	DS18B20 adalah sensor digital yang akurat dan tahan air
2	Electrical Conductivity (EC)	Sensor EC Analog (K=1.0)	SEN0244 (DFRobot Gravity)	μS/cm (microSiemens per cm)	EC mengukur konsentrasi ion terlarut
3	Total Dissolved Solid (TDS)	Sensor TDS (Metode EC)	SEN0244 (DFRobot Gravity terintegrasi dengan sensor EC)	ppm (part per million)	TDS mengukur padatan terlarut dalam air
4	pH (Tingkat Keasaman)	Elektroda pH+Modul Konversi	SEN0161 (DFRobot Gravity)	pH	Mengukur tingkat keasaman air
5	Kekeruhan (Turbidity)	Sensor kekeruhan	SEN0189(DFRobot Gravity)	NTU (Nephelometric Turbidity Unit)	Mengukur tingkat dispersi cahaya akibat padatan tersuspensi dalam air.

2. Perancangan (*Design*)

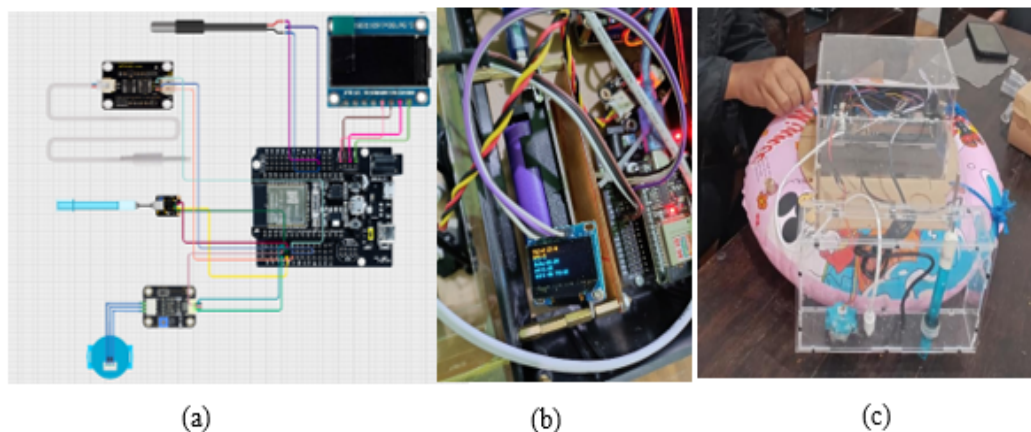
Sistem yang akan dirancang dalam penelitian ini terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu perangkat lunak (aplikasi) dan Perangkat keras (hardware).

a) Perancangan Perangkat Keras (*Hardware Design*)

Unit Pengambilan Data: Merancang sirkuit antarmuka (interface circuit) untuk mengkondisikan dan mengintegrasikan sensor Suhu, Electrical Conductivity (EC), Total Dissolved Solid (TDS), pH, dan Turbidity dengan mikrokontroler.

Unit Pemrosesan dan Komunikasi: Menggunakan mikrokontroler ESP32 yang memiliki kemampuan untuk memproses data sensor dan mengirimkannya melalui modul komunikasi Wi-Fi ke server (*Zafi et al., 2024*).

Desain Kemasan (Enclosure): Merancang wadah pelindung (*casing*) yang kedap air (*waterproof*) dan tahan kondisi lingkungan untuk menempatkan semua komponen perangkat keras di lokasi monitoring.

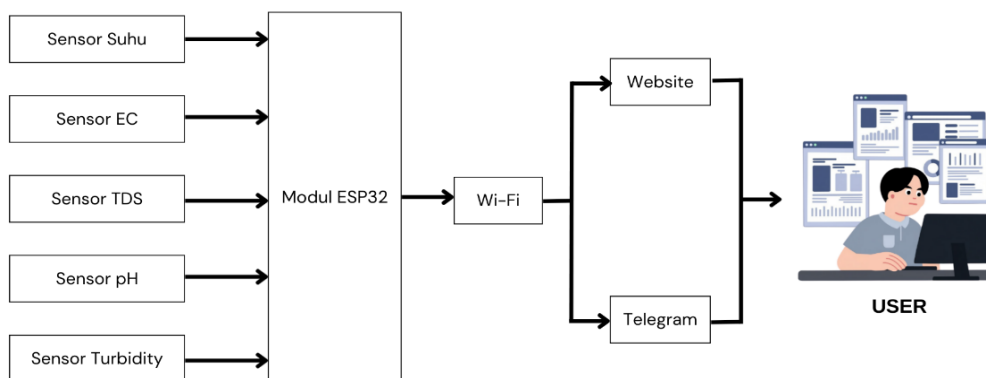


Gambar 1. (a) Skema Rangkaian (b) Implementasi Perangkat Keras (c) Casing

b) Perancangan Perangkat Keras (Hardware Design)

Sistem dirancang portable dengan sumber daya baterai, serta mampu mengirimkan data secara real-time ke server untuk ditampilkan melalui antarmuka web dan memberikan notifikasi otomatis melalui Telegram. Penilaian kualitas air dilakukan menggunakan metode *National Sanitation Foundation Water Quality Index* (NSF-WQI) dengan empat parameter utama: pH, suhu, NTU, dan TDS (Noori et al., 2019). Serta mampu mengklasifikasikan kualitas air menjadi 5 kategori yaitu : sangat baik, baik, cukup baik, buruk, sangat buruk. Pengujian laboratorium dilakukan pada berbagai cairan (kopi, sabun, dan susu), diikuti uji lapangan pada tiga lokasi: Sungai Tempur, Aliran Irigasi Sawah, dan Sumber Air Mbelik Tirta Wening Minggirsari.

Untuk memberikan gambaran yang jelas dan sistematis mengenai alur kerja penelitian ini, Diagram Blok pada Gambar 1 menyajikan keseluruhan arsitektur sistem yang diusulkan. Diagram ini secara visual membagi metode menjadi tiga tahapan utama yang saling terintegrasi: Modul Akuisisi Data IoT (mencakup sensor pH, TDS, EC, dan Turbidity serta mikrokontroler), Modul Transmisi Data (melibatkan komunikasi nirkabel menuju *cloud server*) (Chauhan et al., 2023; Jayaraman et al., 2024). Secara keseluruhan, Diagram Blok ini berfungsi sebagai peta jalan yang menunjukkan bagaimana data dari sumber air dikonversi menjadi informasi kelestarian air yang prediktif.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

3. Pengembangan (*Development*)

Tahap ini merupakan lanjutan dari tahap perancangan yang fokus pada:

- 1) **Pemrograman Mikrkontroler ESP32:** Arduino IDE digunakan untuk memprogram ESP32 dengan bahasa pemrograman C++. Program yang dikembangkan mencakup pembacaan data dari sensor suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), Electrical Conductivity (EC), dan kekeruhan (turbidity). Nilai pembacaan sensor ditampilkan ke LCD dan dikirimkan ke database server.
- 2) **Pemrograman Aplikasi Web:** Data nilai sensor yang dikirim ke database server, ditampilkan dan divisualisasikan dalam aplikasi berbasis web dengan bahasa pemrograman PHP dan Java Script. Aplikasi web dirancang untuk menampilkan parameter kualitas air dalam bentuk nilai numerik, grafik, dan indikator status berdasarkan nilai Indeks Kualitas Air (IKA). Sistem ini juga mendukung pemilihan lokasi monitoring sehingga pengguna dapat memantau kondisi kualitas air dari berbagai titik pengukuran.
- 3) **Integrasi dengan Telegram:** Integrasi dengan Telegram dilakukan sebagai sistem notifikasi otomatis bagi pengguna. Bot Telegram dikembangkan untuk mengirimkan informasi kondisi kualitas air berdasarkan hasil perhitungan Indeks Kualitas Air (IKA). Notifikasi dikirimkan secara real-time ketika terjadi perubahan signifikan atau ketika nilai kualitas air berada pada kategori tertentu, sehingga pengguna dapat segera memperoleh informasi dan melakukan tindak lanjut.

4. Pengujian (*Testing*)

Tahap berikutnya setelah development yaitu pengujian yang dilakukan dengan menguji akurasi sensor. Dalam sistem monitoring Indeks Kualitas Air (IKA) real-time berbasis IoT, keandalan data sangat bergantung pada akurasi sensor yang digunakan(Pavan, 2024; Uddin et al., 2021). Oleh karena itu, kalibrasi secara berkala pada sensor kritis seperti pH, suhu, Total Dissolved Solids (TDS), Konduktivitas Listrik (EC), dan kekeruhan (turbidity) adalah langkah metodologis fundamental. Kalibrasi ini penting untuk memastikan setiap sensor memberikan respons yang tepat dan konsisten terhadap nilai standar referensi(Sahu & Maldhure, 2025), sehingga nilai eror (deviasi antara nilai ukur dan nilai sebenarnya) dapat diidentifikasi dan diminimalkan, yang pada akhirnya menjamin validitas dan akurasi nilai IKA yang dihasilkan.

Tabel 2. Pengujian pH Meter

No.	Nilai Referensi	Data Pengukuran					Rata-rata	Δerror (%)
		1	2	3	4	5		
Larutan Buffer								
1	7	6,88	6,9	6,89	6,88	6,99	6,908	1,3
2	4	3,99	4,01	3,97	3,98	4,01	3,992	0,2
Larutan Deterjen								
1	5 gram	11.17	11.16	11.18	11.18	11.17	11.172	
2	10 gram	11.24	11.24	11.23	11.24	11.24	11.238	
Larutan Pupuk								
1	5 gram	6.2	6.2	6.21	6.22	6.2	6.206	
2	10 gram	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	6.04	
Larutan Kopi								
1	5 gram	6.51	6.49	6.51	6.48	6.51	6.5	
2	10 gram	5.99	6.01	5.99	6.01	6.02	6.004	
Larutan Susu								
1	10 gram	6.49	6.5	6.49	6.5	6.49	6.494	

Pengujian sensor pH dilakukan dengan menggunakan dua metode, metode yang pertama yaitu membandingkan kemampuan baca sensor pH dengan larutan pH standard yaitu larutan pH buffer 4 dan 7. Metode yang kedua yaitu mengukur kemampuan baca sensor pH pada larutan asam dan basa. Hasil pengujian metode pertama, yang disajikan secara rinci dalam Tabel 2, menunjukkan capaian yang signifikan dalam akurasi. Nilai *error* yang diperoleh, yakni 1,3% dan 0,2%, berada pada rentang yang dapat diterima (*acceptable range*). Tingkat *error* yang kecil ini membuktikan validitas dan kelayakan sensor pH. Hasil pengujian metode kedua telah sesuai dimana pengujian pada larutan deterjen menghasilkan pH 11,1 dan 11,2 yang menunjukkan larutan tersebut bersifat basa. Sifat basa ini berasal dari penambahan senyawa *builder* dan senyawa pengalkali (NaOH atau KOH) yang berfungsi untuk meningkatkan efektivitas pembersihan (Hausmann et al., 2021; Yehia & Said, 2021). Pengujian larutan pupuk menghasilkan pH sebesar 6,2 dan 6,04, yang secara jelas mengindikasikan larutan tersebut bersifat asam. Sifat asam ini muncul karena pupuk yang digunakan kemungkinan besar berbasis Amonium (misalnya Urea atau Amonium Sulfat). Larutan kopi yang diuji menunjukkan nilai pH 6,5 dan 6,004. Hasil ini mengonfirmasi sifat kopi sebagai asam lemah, yang disebabkan oleh kandungan berbagai jenis asam organik seperti asam klorogenat (Ayelign & Sabally, 2013; Narko et al., 2020). Pengujian susu menghasilkan pH 6,494, menempatkan susu pada kategori asam lemah menuju netral. Nilai ini konsisten dengan karakteristik susu segar.

Tabel 3. Pengujian TDS

No.	Nilai Referensi	Data Pengukuran					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Larutan Deterjen							
1	5 gram	1415	1417	1415	1417	1416	1416
2	10 gram	1420	1422	1420	1420	1422	1420,8
Larutan Pupuk							
1	5 gram	1410	1410	1410	1410	1410	1410
2	10 gram	1423	1424	1425	1417	1422	1422,2
Larutan Kopi							
1	5 gram	717	717	717	717	717	717
2	10 gram	1312	1310	1307	1310	1310	1309,8
Larutan Susu							
1	10 gram	1419	1421	1419	1421	1419	1419,8

Hasil Tabel 3 menunjukkan bahwa larutan pupuk dan deterjen memiliki nilai TDS yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa deterjen dan pupuk merupakan bahan yang mudah larut dalam air. Larutan kopi memiliki nilai (TDS) yang signifikan (lebih tinggi dari air minum biasa), tetapi umumnya jauh lebih rendah dibandingkan deterjen atau pupuk. Susu menunjukkan nilai TDS yang cukup tinggi hal ini disebabkan padatan terlarut pada susu utamanya terdiri dari laktosa (gula), protein, dan mineral (seperti kalsium dan fosfor)(Adams et al., 2015; Rizqiati et al., 2025).

Tabel 4. Pengujian EC

No.	Nilai Referensi	Data Pengukuran					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Larutan Deterjen							
1	5 gram	2274	2274	2274	2274	2274	2274
2	10 gram	2270	2273	2274	2274	2273	2272.8
Larutan Pupuk							
1	5 gram	2270	2270	2270	2270	2270	2270
2	10 gram	2274	2274	2274	2274	2274	2274
Larutan Kopi							
1	5 gram	1147	1147	1147	1147	1147	1147
2	10 gram	2037	2037	2037	2037	2037	2037
Larutan Susu							
1	10 gram	2270	2270	2270	2270	2270	2270

Hasil pengujian menunjukkan karakteristik *Electrical Conductivity* (EC) yang kontras antar jenis sampel, yang mencerminkan perbedaan profil kimia masing-masing larutan. Deterjen dan pupuk menunjukkan nilai EC tertinggi karena proses ionisasi sempurna dari senyawa pengalkali (seperti natrium karbonat) dan garam mineral (seperti nitrogen dan fosfor) yang terkandung di dalamnya (Cancellier et al., 2018; Sulaiman et al., 2021). Hal ini membuktikan bahwa EC dapat berfungsi sebagai indikator utama dalam mendeteksi polutan ionik anorganik yang memiliki daya hantar listrik lebih kuat dibandingkan polutan organik. Di sisi lain, nilai moderat pada kopi dan susu memberikan batasan (*threshold*) yang jelas bahwa tidak semua zat terlarut bersifat polutan berbahaya, melainkan kontribusi dari asam organik dan mineral alami.

Diferensiasi nilai yang tajam ini memperkuat argumen bahwa sistem monitoring berbasis IoT tidak hanya sekadar mengumpulkan data, tetapi juga mampu melakukan klasifikasi awal terhadap tingkat pencemaran air secara presisi. Selain analisis terhadap parameter muatan ionik, pengujian tingkat kekeruhan (*turbidity*) juga dilakukan untuk mengevaluasi kualitas fisik dari masing-masing sampel uji. Hasil pengukuran sensor

turbidity terhadap berbagai variasi sampel mulai dari air baku dengan tingkat kejernihan tinggi hingga larutan dengan konsentrasi partikel padat yang pekat disajikan secara detail pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Turbidity

No.	Nilai Referensi	Data Pengukuran					Rata-rata
		1	2	3	4	5	
Larutan Deterjen							
1	5 gram	220	218	222	217	219	219.2
2	10 gram	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Larutan Pupuk							
1	5 gram	0	0	0	0	0	0
2	10 gram	0	0	0	0	0	0
Larutan Kopi							
1	5 gram	0	0	0	0	0	0
2	10 gram	0	0	0	0	0	0
Larutan Susu							
1	10 gram	1000	1000	1000	1000	1000	1000

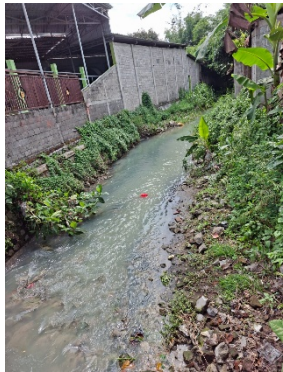
Pengujian Turbidity (NTU) menunjukkan bahwa semua larutan sampel memiliki tingkat kekeruhan yang signifikan, di mana kopi dan susu menghasilkan nilai (NTU) tertinggi karena merupakan suspensi koloid alami (protein, lemak, dan partikel halus). Sementara itu, kekeruhan tinggi pada deterjen dan pupuk disebabkan oleh partikel *builder* dan padatan tidak larut yang berkontribusi pada polusi tersuspensi.

5. Deployment

Tahap akhir dari penelitian ini adalah implementasi sistem (*deployment*) guna memastikan kesiapan operasional secara penuh dalam kondisi lingkungan yang tidak terkendali (*uncontrolled environment*). Setelah melalui serangkaian uji akurasi di laboratorium, sistem dioperasikan pada lokasi uji lapangan yang mencakup tiga sumber air strategis di Blitar, yaitu Sungai Tempur, Aliran Irigasi Sawah, dan Mbelik Tirta Wening (Minggirsari, Kecamatan Kanigoro). Pemilihan lokasi ini dilakukan untuk

mengevaluasi konsistensi sensor dan stabilitas transmisi data pada karakteristik air yang berbeda, mulai dari air sungai dengan beban polutan variatif, air irigasi yang mengandung residu pertanian, hingga mata air alami yang relatif bersih. Langkah ini krusial untuk memvalidasi bahwa arsitektur IoT yang dibangun mampu menyediakan data telemetri yang andal secara berkelanjutan.

Tabel 6. Identitas Sumber Air

No.	Nama Lokasi	Kecamatan	Karakteristik	Dokumentasi
1.	Aliran Irigasi	Sukorejo	Saluran terbuka tingkat, yang berfungsi menyalurkan air langsung ke petak-petak sawah. Debit air mengalami fluktuasi signifikan antara musim hujan dan kemarau.	
2.	Sungai Tempur	Sukorejo	Sungai ini memiliki mata air (<i>spring</i>) yang signifikan sebagai sumber utamanya, Dasar sungai terlihat jelas dan didominasi oleh batuan kerikil dan pasir,	
3.	Mbelik Minggirsari Tirta Wening	Kanigoro	Memiliki kualitas fisik yang sangat baik, dengan kejernihan air (<i>clarity</i>) yang tinggi dan tingkat kekeruhan (<i>turbidity</i>) yang sangat rendah, alirannya tenang dan menjadi hulu bagi sebuah anak sungai kecil	

Setelah serangkaian kalibrasi sensor yang berhasil memastikan akurasi data (pH, kekeruhan, dan suhu), langkah selanjutnya adalah merancang dan mengintegrasikan seluruh sistem, termasuk mikrokontroler, modul komunikasi Wi-Fi, dan *logic*

pemrograman untuk website dan Telegram. Pengujian lapangan ini bertujuan untuk memvalidasi kinerja sistem dalam kondisi operasional yang sebenarnya, menguji stabilitas koneksi jaringan di lokasi, serta memverifikasi kemampuan sistem untuk mengirimkan notifikasi *alert* secara *real-time* ke pengguna ketika terjadi perubahan drastis pada kualitas air, sehingga memastikan bahwa rancangan sistem dapat berfungsi secara efektif dan andal sebagai alat monitoring kualitas air di lingkungan aslinya

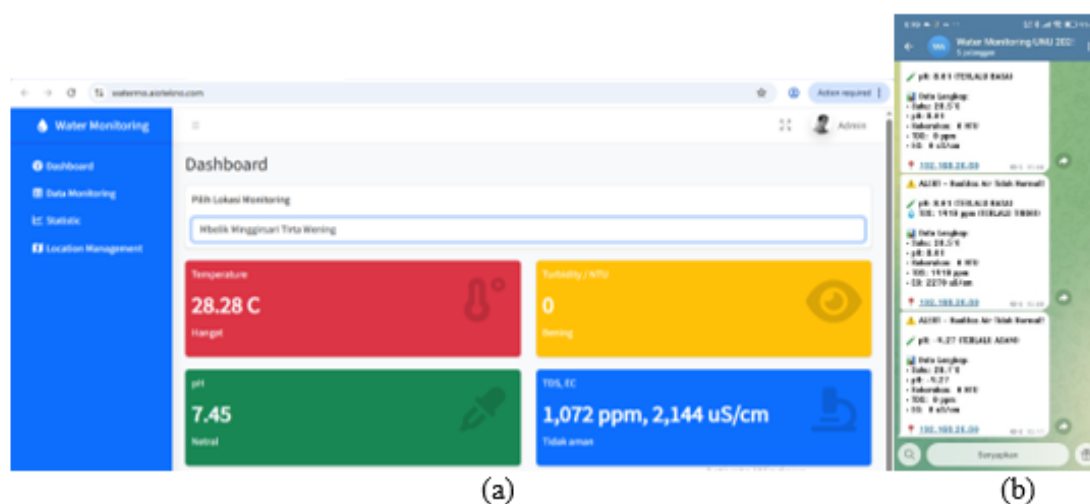
Tabel 7. Hasil Uji Lapangan

No.	Nama Lokasi	Kecamatan	Nilai IKA	Dokumentasi
1.	Aliran Irigasi	Kanigoro	75–83 (kategori Baik)	
2.	Sungai Tempur	Sukorejo	65–69 (kategori Sedang)	
3.	Mbelik Tirta Wening Minggirsari	Kanigoro	93–98 (kategori Sangat Baik)	

Implementasi sistem ini mengandalkan IoT untuk mengakuisisi dan mentransmisikan data sensor secara *real-time* ke *cloud server*. Data tersebut kemudian ditampilkan melalui antarmuka *browser* dalam bentuk grafik dan indikator berwarna, yang menyajikan status Indeks Kualitas Air IKA terkini kepada pengguna. Perancangan

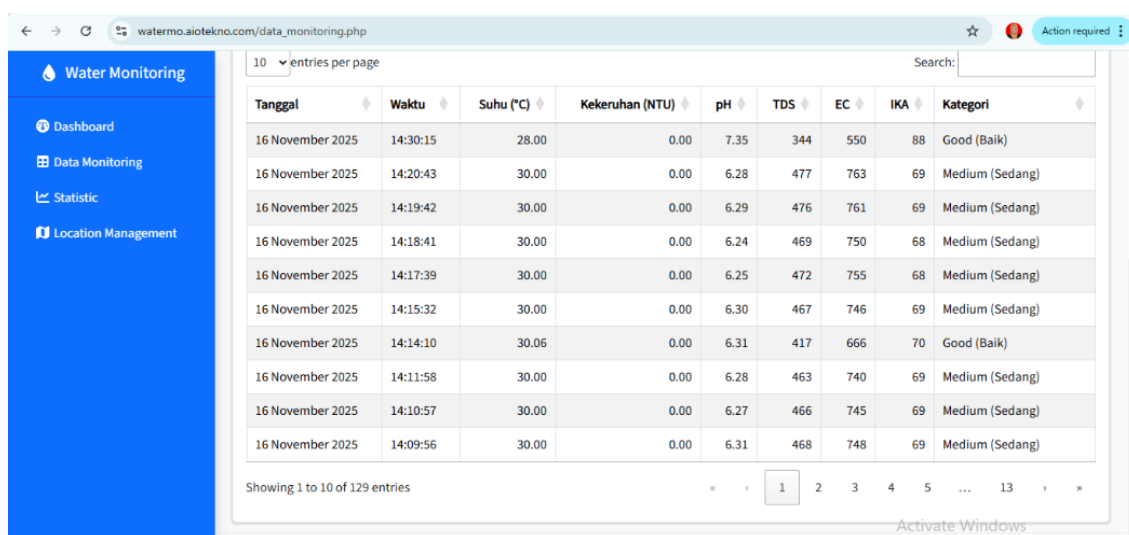
Software ESP32 dikembangkan menggunakan ESP32. Kode program telah mencakup fungsi pembacaan sensor, kalibrasi, pengiriman data ke *server* via Wi-Fi, dan manajemen daya.

Halaman utama website digunakan untuk menampilkan hasil monitoring sensor yang telah ditransmisikan secara real time. Pengguna dapat memilih lokasi monitoring yang diinginkan, sehingga dapat menampilkan data pH, TDS, EC, kekeruhan dan suhu. Rancang bangun sistem monitoring kualitas air ini menunjukkan keberhasilan fungsional dalam mengintegrasikan sensor kualitas air dengan mikrokontroller ESP32 dan Telegram sebagai antarmuka notifikasi utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah proses kalibrasi, sensor mampu membaca parameter air dengan tingkat akurasi yang dapat diterima, ditunjukkan oleh nilai *error* relatif yang rendah saat dibandingkan dengan alat ukur standar. Selain itu, pengujian komunikasi data memverifikasi bahwa sistem mampu mengirimkan data *real-time* ke *cloud* dan memicu notifikasi peringatan (*alert*) ke aplikasi Telegram dengan waktu respons yang cepat dan stabil. Keberhasilan implementasi ini menegaskan bahwa sistem monitoring berbasis Telegram merupakan solusi yang efisien dan *user-friendly* untuk memantau kondisi kualitas air secara otomatis dari jarak jauh.



Gambar 3. (a) Tampilan Halaman Utama Website (b) Tampilan Halaman Utama Telegram

Rancang bangun sistem monitoring kualitas air ini menunjukkan keberhasilan fungsional dalam mengintegrasikan sensor kualitas air dengan mikrokontroller ESP32 dan Telegram sebagai antarmuka notifikasi utama. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setelah proses kalibrasi, sensor mampu membaca parameter air dengan tingkat akurasi yang dapat diterima, ditunjukkan oleh nilai *error* relatif yang rendah saat dibandingkan dengan alat ukur standar. Selain itu, pengujian komunikasi data memverifikasi bahwa sistem mampu mengirimkan data *real-time* ke *cloud* dan memicu notifikasi peringatan (*alert*) ke aplikasi Telegram dengan waktu respons yang cepat dan stabil. Keberhasilan implementasi ini menegaskan bahwa sistem monitoring berbasis Telegram merupakan solusi yang efisien dan *user-friendly* untuk memantau kondisi kualitas air secara otomatis dari jarak jauh.



Tanggal	Waktu	Suhu (°C)	Kekeruhan (NTU)	pH	TDS	EC	IKA	Kategori
16 November 2025	14:30:15	28.00	0.00	7.35	344	550	88	Good (Baik)
16 November 2025	14:20:43	30.00	0.00	6.28	477	763	69	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:19:42	30.00	0.00	6.29	476	761	69	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:18:41	30.00	0.00	6.24	469	750	68	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:17:39	30.00	0.00	6.25	472	755	68	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:15:32	30.00	0.00	6.30	467	746	69	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:14:10	30.06	0.00	6.31	417	666	70	Good (Baik)
16 November 2025	14:11:58	30.00	0.00	6.28	463	740	69	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:10:57	30.00	0.00	6.27	466	745	69	Medium (Sedang)
16 November 2025	14:09:56	30.00	0.00	6.31	468	748	69	Medium (Sedang)

Gambar 4. Hasil Pembacaan Kualitas Air

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Sistem monitoring Indeks Kualitas Air (IKA) *real-time* berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor pH, suhu, TDS, EC, dan *turbidity* telah berhasil diimplementasikan. Perangkat yang dirancang portabel ini mampu mengirimkan data secara *real-time* ke *server* dan memberikan notifikasi via Telegram, sekaligus menerapkan Metode National Sanitation Foundation Water Quality Index (NSF-WQI) untuk mengklasifikasikan kualitas air ke dalam lima kategori. Pengujian lapangan <https://journal.thamrin.ac.id/index.php/jtik/article/view/3185/2746>

menunjukkan hasil yang variatif namun sesuai dengan kondisi lingkungan: Sungai Tempur menunjukkan IKA Sedang (65–69), Aliran Irigasi Sawah Baik (75–83), dan Sumber Air Mbelik Tirta Wening Minggirsari Sangat Baik (93–98). Secara keseluruhan, sistem ini terbukti akurat, responsif, dan reliabel, menjadikannya solusi yang layak dan efektif untuk pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

Pada penelitian ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi atas dana hibah penelitian melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP), LPPM dan Pimpinan Universitas Nahdlatul Ulama Blitar atas dukungan dan fasilitas selama penelitian dan semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini bermanfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan.

REFERENSI

- Adams, M. C., Hurt, E. E., & Barbano, D. M. (2015). Effect Of Soluble Calcium And Lactose On Limiting Flux And Serum Protein Removal During Skim Milk Microfiltration1. *Journal Of Dairy Science*, 98(11). <https://doi.org/10.3168/Jds.2015-9474>
- Ayelign, A., & Sabally, K. (2013). Determination Of Chlorogenic Acids (Cga) In Coffee Beans Using Hplc. *American Journal Of Research Communication*, 1(2).
- Cancellier, E. L., Degryse, F., Silva, D. R. G., Da Silva, R. C., & Mclaughlin, M. J. (2018). Rapid And Low-Cost Method For Evaluation Of Nutrient Release From Controlled-Release Fertilizers Using Electrical Conductivity. *Journal Of Polymers And The Environment*, 26(12). <https://doi.org/10.1007/S10924-018-1309-1>
- Chauhan, K., Abhang, S., & Agrawal, H. (2023). Iot Based Well Water Level Monitoring Using I2c Protocol. *International Journal For Research In Applied Science And Engineering Technology*, 11(5). <https://doi.org/10.22214/Ijaset.2023.52498>
- Cristable, R. M., Nurdin, E., & Wardhana, W. (2020). Water Quality Analysis Of Saluran Tarum Barat, West Java, Based On National Sanitation Foundation-Water Quality Index (Nsf-Wqi). *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 481(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/481/1/012068>

- Hausmann, J. N., Traynor, B., Myers, R. J., Driess, M., & Menezes, P. W. (2021). The Ph Of Aqueous Naoh/Koh Solutions: A Critical And Non-Trivial Parameter For Electrocatalysis. In *Acs Energy Letters* (Vol. 6, Issue 10). <https://doi.org/10.1021/Acsenergylett.1c01693>
- Indrasari, W., Budi, E., Umiatin, Rizqy Alayya, S., & Ramli, R. (2019). Measurement Of Water Polluted Quality Based On Turbidity, Ph, Magnetic Property, And Dissolved Solid. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1317(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1317/1/012060>
- Jayaraman, P., Nagarajan, K. K., Partheeban, P., & Krishnamurthy, V. (2024). Critical Review On Water Quality Analysis Using Iot And Machine Learning Models. *International Journal Of Information Management Data Insights*, 4(1). <https://doi.org/10.1016/J.Jime.2023.100210>
- Marselina, M., Wibowo, F., & Mushfiroh, A. (2022). Water Quality Index Assessment Methods For Surface Water: A Case Study Of The Citarum River In Indonesia. *Heliyon*, 8(7). <https://doi.org/10.1016/J.Heliyon.2022.E09848>
- Narko, T., Wibowo, M. S., Damayanti, S., & Wibowo, I. (2020). Effect Of Kombucha Culture On Caffeine And Chlorogenic Acid Content In Fermentation Of Robusta Green Coffee Beans (*Coffea Canephora* L.). *Rasayan Journal Of Chemistry*, 13(2). <https://doi.org/10.31788/Rjc.2020.1325675>
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F., & Abyaneh, M. R. (2019). A Critical Review On The Application Of The National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244. <https://doi.org/10.1016/J.Envpol.2018.10.076>
- Norsuzila Yaacob, Samzulkamal, N. S. A., Abdul Rahman, A. A., Tajudin, N., Yusof, A. L., & W. Muhamad, W. N. (2025). Iot-Water Quality Monitoring System Using Esp32. *Journal Of Advanced Research In Applied Sciences And Engineering Technology*, 65(1). <https://doi.org/10.37934/Araset.65.1.1426>
- Pavan, K. S. (2024). Iot Based Drinking Water Quality Monitoring With Esp32. *International Journal For Research In Applied Science And Engineering Technology*, 12(11). <https://doi.org/10.22214/Ijras.2024.65515>

- Rizqiati, H., Prayitno, E., & Andani, M. (2025). Influence Of Skim Milk Concentration On The Proximate, Chemical, And Microbiological Properties Of Powdered Buffalo Colostrum Kefir. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 26(1). <https://doi.org/10.21776/Ub.Jtp.2025.026.01.3>
- Sahu, N., & Maldhure, A. (2025). Framework For Evaluating The Performance Of Water Quality Sensors. *Cleaner Water*, 4. <https://doi.org/10.1016/J.Clwat.2025.100144>
- Sulaiman, A. S. S., Ahmad, M. A., Hassim, S. A., & Azman, M. S. A. (2021). Evaluation Of Fertilizer Electrical Conductivity (Ec) And Temperature Distribution Via Vertical Farming System Under Plant Factory. *Basrah Journal Of Agricultural Sciences*, 34(Special Issue 1). <https://doi.org/10.37077/25200860.2021.34.Sp1.7>
- Uddin, M. G., Nash, S., & Olbert, A. I. (2021). A Review Of Water Quality Index Models And Their Use For Assessing Surface Water Quality. In *Ecological Indicators* (Vol. 122). <https://doi.org/10.1016/J.Ecolind.2020.107218>
- Utami, R. R., Geerling, G. W., Salami, I. R. S., Notodarmojo, S., & Ragas, A. M. J. (2024). Mapping Domestic Water Use To Quantify Water-Demand And Water-Related Contaminant Exposure In A Peri-Urban Community, Indonesia. *International Journal Of Environmental Health Research*, 34(1). <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2163986>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J. A., Belmonte-Ureña, L. J., & Román-Sánchez, I. M. (2018). Sustainable Water Use In Agriculture: A Review Of Worldwide Research. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 10, Issue 4). Mdpi. <https://doi.org/10.3390/Su10041084>
- Yehia, H. M. A.-S., & Said, S. M. (2021). Drinking Water Treatment: Ph Adjustment Using Natural Physical Field. *Journal Of Biosciences And Medicines*, 09(06). <https://doi.org/10.4236/Jbm.2021.96005>
- Zafi, A., Saputra, B. D., & Bianto, M. A. (2024). The Monitoring System For Water Quality Is Based On The Internet Of Things (Iot) And Uses A Tds Sensor. *Indonesian Journal Of Engineering, Science And Technology*, 1(2). <https://doi.org/10.38040/Ijenset.V1i2.1015>