

Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Real-Time Berbasis IoT untuk Mitigasi Pencemaran Lingkungan Perkotaan

Irdina Andriani, Wahyu Hidayat, Muliawan ¹

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things yang mampu bekerja secara real-time untuk mendukung mitigasi pencemaran di lingkungan perkotaan. Sistem dirancang menggunakan sensor untuk mengukur parameter pH, suhu, kekeruhan, dan total dissolved solids yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Data dikirimkan melalui jaringan WiFi ke platform cloud menggunakan protokol MQTT dan divisualisasikan dalam bentuk dashboard interaktif. Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa sistem yang meliputi tahap perancangan, implementasi, dan pengujian kinerja sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pengukuran secara kontinu dengan tingkat akurasi yang tinggi dan kestabilan yang baik. Sistem juga mampu menampilkan data secara real-time serta memberikan notifikasi ketika terjadi perubahan parameter yang melewati ambang batas. Keterbatasan sistem terletak pada ketergantungan terhadap koneksi internet dan belum terintegrasinya analisis prediktif. Secara keseluruhan, sistem ini berpotensi menjadi solusi efektif dalam mendukung pengelolaan kualitas air yang lebih responsif dan berbasis data di wilayah perkotaan.

Kata Kunci: Internet of Things, Kualitas Air, Monitoring Real-Time, Pencemaran Lingkungan, Smart Environment

Abstract: *This study aims to design and develop an Internet of Things-based water quality monitoring system capable of operating in real time to support pollution mitigation in urban environments. The system is designed using sensors to measure pH, temperature, turbidity, and total dissolved solids, integrated with an ESP32 microcontroller. Data are transmitted via WiFi to a cloud platform using the MQTT protocol and visualized through an interactive dashboard. The research adopts a systems engineering approach, which includes the stages of design, implementation, and performance evaluation. The results*

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 (Untag) Surabaya, Surabaya, Indonesia, Irdinaandriani70@gmail.com

indicate that the system is capable of continuous measurement with high accuracy and strong stability. It also provides real-time data visualization and generates notifications when parameter values exceed predefined thresholds. The main limitations of the system lie in its dependence on internet connectivity and the absence of predictive analytics integration. Overall, this system demonstrates strong potential as an effective solution to support more responsive and data-driven water quality management in urban areas.

Keywords: *Internet of Things, Water Quality, Real-Time Monitoring, Environmental Pollution, Smart Environment*

A. Pendahuluan

Pertumbuhan wilayah perkotaan yang pesat telah meningkatkan tekanan terhadap kualitas lingkungan, khususnya pada sumber daya air. Aktivitas domestik, industri, dan komersial menghasilkan limbah yang secara langsung maupun tidak langsung mencemari badan air. Kondisi ini memicu penurunan kualitas air yang berdampak pada kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem. Permasalahan ini semakin kompleks karena sistem pemantauan kualitas air yang digunakan di banyak wilayah masih bersifat konvensional, mengandalkan pengambilan sampel secara manual, serta analisis laboratorium yang memerlukan waktu dan biaya yang tinggi. Pendekatan tersebut tidak mampu memberikan informasi secara real-time sehingga keterlambatan dalam deteksi pencemaran sering terjadi (Zhang et al., 2020; Lakshmikantha, 2021).

Keterbatasan tersebut mendorong kebutuhan akan sistem monitoring yang mampu bekerja secara kontinu, akurat, dan efisien. Perkembangan teknologi Internet of Things menawarkan solusi yang relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut. IoT memungkinkan integrasi antara sensor, perangkat komputasi, dan jaringan komunikasi untuk mengumpulkan serta mengirimkan data secara real-time. Dalam konteks monitoring kualitas air, teknologi ini dapat digunakan untuk mengukur parameter penting seperti pH, kekeruhan, suhu, dan total dissolved solids secara otomatis

(Khatri et al., 2025; John, 2024). Implementasi sistem berbasis IoT tidak hanya meningkatkan kecepatan pengumpulan data, tetapi juga memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui platform berbasis cloud.

Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler seperti Arduino dan ESP32 menjadi pilihan utama dalam pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis IoT. Perangkat ini memiliki keunggulan dalam hal fleksibilitas, biaya yang relatif rendah, serta kemudahan integrasi dengan berbagai jenis sensor (Kumar et al., 2025; Yusri et al., 2024). Selain itu, sistem yang dikembangkan dengan ESP32 memiliki kemampuan komunikasi WiFi yang stabil serta konsumsi daya yang efisien, sehingga cocok untuk implementasi di lingkungan perkotaan (Pavan, 2024). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT mampu memberikan hasil pengukuran yang mendekati akurasi laboratorium, dengan deviasi yang sangat kecil (Bakar et al., 2025; Yusri et al., 2024).

Pengembangan sistem monitoring kualitas air tidak hanya berhenti pada pengumpulan data, tetapi juga mencakup pengolahan dan visualisasi data. Integrasi dengan platform cloud seperti ThingSpeak, Firebase, dan AWS IoT memungkinkan penyimpanan data secara terpusat serta akses data secara real-time melalui dashboard berbasis web atau aplikasi mobile (Karishma et al., 2025; Nuthalapati et al., 2024). Dengan adanya visualisasi data yang interaktif, pengguna dapat dengan mudah memahami kondisi kualitas air dan mengambil keputusan yang tepat. Selain itu, penggunaan protokol komunikasi seperti MQTT dan LoRaWAN memungkinkan transmisi data yang efisien dan stabil, bahkan pada jarak yang jauh (Raman & Martin, 2024; Munoz et al., 2024).

Sejumlah penelitian juga telah mengembangkan sistem monitoring yang lebih kompleks dengan mengintegrasikan teknologi tambahan seperti machine learning dan sistem informasi geografis. Integrasi machine learning memungkinkan sistem untuk melakukan prediksi terhadap kondisi kualitas air serta mengidentifikasi pola pencemaran (Garg et al., 2023; Dahane et al., 2024). Sementara itu, penggunaan GIS memungkinkan pemetaan distribusi pencemaran secara spasial sehingga memudahkan

identifikasi sumber pencemaran (Water Quality Mapping System, 2025). Selain itu, beberapa penelitian mengembangkan perangkat monitoring berbasis kendaraan seperti remote-controlled boat dan unmanned surface vehicle untuk meningkatkan cakupan area pemantauan (Li et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian tersebut telah memberikan kontribusi signifikan, masih terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Sebagian besar sistem yang dikembangkan masih berfokus pada fungsi monitoring tanpa mengintegrasikan mekanisme mitigasi pencemaran secara langsung. Sistem peringatan dini yang mampu memberikan notifikasi otomatis ketika terjadi penyimpangan parameter kualitas air belum diimplementasikan secara optimal. Selain itu, aspek keamanan data dan keandalan sistem juga masih menjadi tantangan, terutama dalam konteks penggunaan jaringan terbuka dan cloud computing (Water Quality Mapping System, 2025). Beberapa penelitian juga belum mengoptimalkan arsitektur sistem agar lebih modular dan scalable untuk implementasi skala luas (Sulistiyanto et al., 2023; Rai et al., 2024).

Permasalahan lain yang muncul adalah kurangnya integrasi antara data monitoring dengan sistem pengambilan keputusan. Data yang dihasilkan sering kali tidak dimanfaatkan secara maksimal untuk mendukung strategi mitigasi pencemaran. Padahal, dengan pengolahan data yang tepat, sistem monitoring dapat menjadi alat yang efektif dalam mendukung pengelolaan kualitas air secara berkelanjutan (Vinayak et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang tidak hanya berfokus pada pengumpulan data, tetapi juga pada pemanfaatan data untuk mendukung tindakan mitigasi yang cepat dan tepat.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang mampu bekerja secara real-time dan mendukung mitigasi pencemaran lingkungan perkotaan. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan berbagai sensor untuk mengukur parameter kualitas air, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan data, serta platform cloud untuk

penyimpanan dan visualisasi data. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis yang akan memberikan peringatan ketika parameter kualitas air melebihi ambang batas yang ditentukan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi antara sistem monitoring real-time dengan mekanisme mitigasi berbasis data. Sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan yang mampu memberikan informasi secara cepat dan akurat. Selain itu, penelitian ini juga mengoptimalkan arsitektur sistem agar lebih modular dan scalable sehingga dapat diterapkan pada berbagai skala implementasi. Penguatan aspek keamanan data juga menjadi bagian penting dalam pengembangan sistem untuk memastikan integritas dan keandalan data yang dihasilkan.

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem monitoring kualitas air yang lebih efektif dan efisien. Sistem yang dihasilkan diharapkan mampu membantu pemerintah dan masyarakat dalam mengelola kualitas air secara lebih baik serta mendukung upaya mitigasi pencemaran lingkungan di wilayah perkotaan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistem dengan tujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things yang mampu bekerja secara real-time. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak secara sistematis untuk menghasilkan solusi yang fungsional dan aplikatif. Metode pengembangan sistem yang digunakan adalah model Waterfall yang terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian dan evaluasi (Kurniawan & Anwar, 2025).

Tahap pertama adalah analisis kebutuhan sistem. Pada tahap ini dilakukan identifikasi parameter kualitas air yang akan dimonitor, yaitu pH, kekeruhan, suhu, dan total dissolved solids. Parameter tersebut dipilih karena merupakan indikator utama dalam menentukan kualitas air dan sering

digunakan dalam berbagai penelitian sebelumnya (Pavan, 2024; Patel et al., 2025). Selain itu, dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan untuk membangun sistem, termasuk pemilihan sensor, mikrokontroler, serta platform cloud yang akan digunakan.

Tahap kedua adalah perancangan sistem. Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem secara keseluruhan yang mencakup tiga komponen utama, yaitu input, proses, dan output. Komponen input terdiri dari sensor-sensor yang digunakan untuk mengukur parameter kualitas air. Sensor tersebut dihubungkan dengan mikrokontroler yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Dalam penelitian ini, mikrokontroler yang digunakan adalah ESP32 karena memiliki kemampuan komunikasi WiFi yang terintegrasi serta konsumsi daya yang efisien (Yusri et al., 2024; Pavan, 2024).

Komponen proses mencakup pengolahan data yang diperoleh dari sensor. Data yang telah dikumpulkan akan diproses oleh mikrokontroler sebelum dikirimkan ke platform cloud. Proses ini meliputi konversi sinyal analog menjadi data digital, kalibrasi sensor, serta pengolahan data awal untuk memastikan akurasi hasil pengukuran. Kalibrasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan data referensi dari laboratorium untuk memastikan tingkat akurasi yang tinggi (Bakar et al., 2025).

Komponen output terdiri dari sistem visualisasi data dan notifikasi. Data yang telah diproses akan dikirimkan ke platform cloud seperti ThingSpeak atau Firebase untuk disimpan dan ditampilkan dalam bentuk dashboard. Dashboard ini memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi kualitas air secara real-time melalui perangkat komputer atau smartphone (Karishma et al., 2025). Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis yang akan memberikan peringatan ketika terjadi penyimpangan parameter kualitas air dari batas yang telah ditentukan.

Tahap implementasi dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen sistem yang telah dirancang. Sensor dihubungkan dengan mikrokontroler sesuai dengan konfigurasi yang telah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan pengembangan perangkat lunak untuk mengatur

proses pengambilan data, pengolahan data, serta pengiriman data ke platform cloud. Protokol komunikasi yang digunakan dalam sistem ini adalah MQTT karena memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan kecepatan transmisi data (Raman & Martin, 2024). Selain itu, sistem juga memanfaatkan jaringan WiFi untuk menghubungkan perangkat dengan internet.

Tahap berikutnya adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Pengujian dilakukan pada beberapa aspek, yaitu akurasi sensor, kestabilan sistem, serta kecepatan transmisi data. Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor dengan hasil pengujian laboratorium. Pengujian kestabilan dilakukan dengan mengoperasikan sistem dalam jangka waktu tertentu untuk melihat konsistensi kinerja sistem. Sementara itu, pengujian kecepatan transmisi data dilakukan untuk memastikan bahwa data dapat dikirimkan secara real-time tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung dari sensor yang digunakan dalam sistem monitoring. Data ini dikumpulkan secara kontinu dan disimpan pada platform cloud untuk dianalisis lebih lanjut. Data sekunder diperoleh dari standar kualitas air yang ditetapkan oleh organisasi kesehatan atau pemerintah sebagai acuan dalam menentukan batas aman parameter kualitas air.

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan nilai parameter kualitas air yang diperoleh dengan standar yang telah ditetapkan. Selain itu, dilakukan analisis threshold untuk menentukan kondisi normal dan kondisi tercemar. Ketika nilai parameter melebihi batas yang ditentukan, sistem akan mengirimkan notifikasi sebagai bentuk peringatan dini. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk tidak hanya melakukan monitoring, tetapi juga mendukung upaya mitigasi pencemaran secara langsung (Vinayak et al., 2025).

Tahap terakhir adalah evaluasi sistem. Evaluasi dilakukan untuk menilai efektivitas sistem dalam mendukung monitoring kualitas air dan mitigasi pencemaran. Evaluasi

mencakup aspek kinerja sistem, akurasi data, serta kemudahan penggunaan. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut pada sistem.

Melalui tahapan metode yang sistematis ini, diharapkan sistem yang dikembangkan mampu memberikan solusi yang efektif dalam monitoring kualitas air secara real-time. Sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai alat pengumpulan data, tetapi juga sebagai alat pendukung keputusan yang dapat membantu dalam upaya mitigasi pencemaran lingkungan perkotaan secara lebih cepat dan tepat.

C. Temuan dan Pembahasan

Pengembangan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things dalam penelitian ini menghasilkan suatu prototipe yang mampu melakukan pengukuran parameter kualitas air secara real-time dengan tingkat akurasi yang memadai. Sistem yang dirancang terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor kualitas air, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan, modul komunikasi berbasis WiFi, serta platform cloud untuk penyimpanan dan visualisasi data. Integrasi antar komponen tersebut berjalan sesuai dengan desain arsitektur yang telah direncanakan pada tahap metode.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca parameter utama kualitas air, yaitu pH, kekeruhan, suhu, dan total dissolved solids secara kontinu. Sensor yang digunakan berhasil mengirimkan data ke mikrokontroler dengan stabil, kemudian diproses dan dikirimkan ke platform cloud menggunakan protokol MQTT. Penggunaan protokol ini terbukti memberikan efisiensi dalam pengiriman data dengan latensi yang rendah, sehingga data dapat ditampilkan secara real-time pada dashboard pengguna. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa MQTT merupakan protokol yang efektif untuk sistem monitoring berbasis IoT karena mampu mengurangi beban

jaringan dan meningkatkan kecepatan transmisi data (Raman & Martin, 2024).

Dari sisi visualisasi, sistem dashboard yang dikembangkan mampu menampilkan data dalam bentuk grafik dan indikator numerik secara real-time. Pengguna dapat memantau perubahan parameter kualitas air secara langsung melalui perangkat komputer maupun smartphone. Tampilan data yang interaktif ini meningkatkan kemudahan dalam interpretasi kondisi kualitas air, sehingga pengguna dapat segera mengidentifikasi potensi pencemaran. Hasil ini mendukung temuan sebelumnya yang menekankan pentingnya integrasi cloud dan dashboard visual dalam meningkatkan efektivitas monitoring (Karishma et al., 2025; Mohanasundaram et al., 2024).

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan data referensi dari pengujian laboratorium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan deviasi yang relatif kecil. Sensor pH menunjukkan deviasi rata-rata kurang dari 1%, sementara sensor suhu dan TDS menunjukkan deviasi yang tidak signifikan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu memberikan data yang dapat diandalkan untuk keperluan monitoring kualitas air. Temuan ini konsisten dengan penelitian Bakar et al. (2025) dan Yusri et al. (2024) yang menyatakan bahwa sistem berbasis IoT dapat mencapai tingkat akurasi yang mendekati metode laboratorium.

Selain akurasi, kestabilan sistem juga menjadi aspek penting yang diuji dalam penelitian ini. Sistem dioperasikan secara kontinu dalam periode waktu tertentu untuk mengamati konsistensi kinerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil tanpa mengalami gangguan signifikan. Mikrokontroler ESP32 mampu menjaga konektivitas dengan jaringan WiFi secara konsisten, sehingga proses pengiriman data ke cloud berjalan lancar. Stabilitas ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi untuk diimplementasikan dalam jangka panjang pada lingkungan

nyata. Hal ini sesuai dengan penelitian Pavan (2024) yang menegaskan bahwa ESP32 memiliki keunggulan dalam stabilitas koneksi dan efisiensi energi.

Dalam konteks mitigasi pencemaran, sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis berbasis ambang batas. Ketika nilai parameter kualitas air melebihi batas yang telah ditentukan, sistem akan mengirimkan peringatan kepada pengguna melalui dashboard. Fitur ini memungkinkan deteksi dini terhadap potensi pencemaran, sehingga tindakan pencegahan dapat segera dilakukan. Implementasi sistem peringatan dini ini menjadi salah satu keunggulan utama dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada fungsi monitoring (Vinayak et al., 2025).

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan kondisi kualitas air secara cepat. Ketika terjadi perubahan nilai parameter, data yang ditampilkan pada dashboard akan diperbarui dalam waktu yang relatif singkat. Respons cepat ini sangat penting dalam konteks lingkungan perkotaan yang dinamis, di mana perubahan kualitas air dapat terjadi secara tiba-tiba akibat aktivitas manusia. Temuan ini memperkuat pernyataan bahwa sistem monitoring real-time memiliki peran penting dalam mendukung pengelolaan kualitas air yang lebih responsif (Khati et al., 2025; John, 2024).

Dari sisi efisiensi, sistem yang dikembangkan menunjukkan keunggulan dalam hal biaya dan kemudahan implementasi. Penggunaan komponen seperti ESP32 dan sensor berbasis Arduino memungkinkan pembangunan sistem dengan biaya yang relatif rendah tanpa mengurangi kinerja. Selain itu, desain sistem yang modular memudahkan proses pengembangan dan perawatan. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Karishma et al. (2025) yang menyatakan bahwa sistem IoT dapat menjadi solusi monitoring yang scalable dan ekonomis.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu keterbatasan utama adalah ketergantungan sistem pada koneksi internet. Ketika koneksi jaringan tidak stabil, proses pengiriman data ke cloud dapat terganggu. Hal ini dapat mengurangi efektivitas monitoring secara real-time. Permasalahan ini juga diidentifikasi dalam penelitian sebelumnya yang menggunakan jaringan berbasis WiFi (Nuthalapati et al., 2024). Oleh karena itu, pengembangan sistem ke depan dapat mempertimbangkan penggunaan teknologi komunikasi alternatif seperti LoRaWAN untuk meningkatkan jangkauan dan stabilitas.

Selain itu, sistem yang dikembangkan masih terbatas pada monitoring parameter fisik dan kimia dasar. Parameter lain seperti dissolved oxygen dan kandungan logam berat belum diintegrasikan dalam sistem. Padahal, parameter tersebut juga memiliki peran penting dalam menentukan kualitas air secara keseluruhan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor dapat meningkatkan akurasi dan kelengkapan data monitoring (Sulistiyanto et al., 2023; Munoz et al., 2024). Oleh karena itu, pengembangan sistem ke depan perlu mempertimbangkan penambahan jenis sensor untuk meningkatkan cakupan monitoring.

Dalam aspek pengolahan data, sistem yang dikembangkan masih menggunakan pendekatan deskriptif berbasis threshold. Pendekatan ini efektif untuk deteksi awal, tetapi belum mampu memberikan analisis prediktif terhadap tren pencemaran. Integrasi teknologi machine learning dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam melakukan prediksi dan analisis pola pencemaran. Penelitian Garg et al. (2023) dan Dahane et al. (2024) menunjukkan bahwa penggunaan algoritma machine learning dapat meningkatkan akurasi dalam klasifikasi kualitas air serta membantu dalam pengambilan keputusan.

Dari perspektif keberlanjutan, sistem monitoring yang dikembangkan memiliki potensi besar untuk mendukung pengelolaan kualitas air di wilayah perkotaan. Data yang

dihasilkan dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kebijakan lingkungan serta pengambilan keputusan yang berbasis data. Selain itu, sistem ini juga dapat meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kualitas air. Hal ini sejalan dengan konsep smart environment yang menekankan penggunaan teknologi untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui pengelolaan sumber daya yang lebih efisien.

Pembahasan lebih lanjut menunjukkan bahwa keberhasilan sistem tidak hanya ditentukan oleh aspek teknis, tetapi juga oleh integrasi dengan sistem manajemen lingkungan yang lebih luas. Sistem monitoring perlu diintegrasikan dengan sistem pengambilan keputusan agar data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal. Penelitian Vinayak et al. (2025) menekankan pentingnya integrasi antara monitoring dan decision support system untuk meningkatkan efektivitas mitigasi pencemaran.

Selain itu, aspek keamanan data juga menjadi perhatian penting dalam sistem berbasis IoT. Data yang dikirimkan melalui jaringan internet rentan terhadap ancaman keamanan seperti akses tidak sah dan manipulasi data. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme keamanan yang memadai untuk melindungi integritas data. Penelitian Water Quality Mapping System (2025) menunjukkan bahwa penerapan enkripsi dan autentikasi dapat meningkatkan keamanan sistem monitoring berbasis IoT.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang dikembangkan mampu memenuhi tujuan penelitian, yaitu menyediakan data real-time yang akurat serta mendukung mitigasi pencemaran lingkungan perkotaan. Sistem ini memiliki keunggulan dalam hal kecepatan, akurasi, dan kemudahan akses data. Namun, masih terdapat beberapa aspek yang perlu dikembangkan lebih lanjut, seperti peningkatan stabilitas jaringan, integrasi multi-sensor, serta penerapan analisis berbasis machine learning.

Dengan mempertimbangkan seluruh hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa teknologi IoT memiliki potensi besar dalam mendukung pengelolaan kualitas air secara modern. Implementasi sistem monitoring real-time tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan sistem yang lebih cerdas dan adaptif. Oleh karena itu, penelitian lanjutan diperlukan untuk mengembangkan sistem yang lebih komprehensif dan terintegrasi, sehingga dapat memberikan kontribusi yang lebih signifikan dalam upaya mitigasi pencemaran lingkungan perkotaan.

D. Simpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things yang mampu bekerja secara real-time dalam mendeteksi perubahan parameter kualitas air di lingkungan perkotaan. Sistem yang dikembangkan menunjukkan kinerja yang stabil dengan tingkat akurasi yang tinggi pada pengukuran parameter utama seperti pH, suhu, kekeruhan, dan total dissolved solids. Integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan platform cloud berjalan efektif sehingga memungkinkan pengiriman dan visualisasi data secara cepat dan berkelanjutan.

Keunggulan utama sistem terletak pada kemampuannya dalam menyediakan informasi kualitas air secara langsung dan mudah diakses oleh pengguna. Dashboard yang interaktif mempermudah interpretasi data serta mendukung proses pengambilan keputusan secara cepat. Fitur notifikasi berbasis ambang batas juga meningkatkan fungsi sistem sebagai alat deteksi dini terhadap potensi pencemaran, sehingga langkah mitigasi dapat dilakukan secara lebih responsif. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai instrumen pendukung dalam pengelolaan lingkungan berbasis data.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama pada ketergantungan terhadap koneksi internet dan cakupan parameter yang masih terbatas. Sistem belum mengakomodasi parameter kualitas air yang lebih kompleks serta belum menerapkan analisis

prediktif untuk mengidentifikasi pola pencemaran secara mendalam. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut diperlukan dengan menambahkan sensor yang lebih beragam, memperluas teknologi komunikasi, serta mengintegrasikan metode analitik berbasis kecerdasan buatan.

Secara keseluruhan, sistem yang dikembangkan memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam skala yang lebih luas sebagai solusi monitoring kualitas air di wilayah perkotaan. Pemanfaatan teknologi ini dapat meningkatkan efektivitas pengawasan lingkungan, mendukung kebijakan berbasis data, serta mendorong terciptanya sistem pengelolaan sumber daya air yang lebih adaptif dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Bakar, A. A. A., Bakar, Z. A., Yusoff, Z. M., Mohamed Ibrahim, M. J., Mokhtar, N. A., & Zaiton, S. N. A. (2025). IoT-Based Real-Time Water Quality Monitoring and Sensor Calibration for Enhanced Accuracy and Reliability. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 19(1). <https://doi.org/10.3991/ijim.v19i01.51101>
- Dahane, A., Benameur, R., Naloufi, M., Souihi, S., Abreu, T., Lucas, F. S., & Mellouk, A. (2024). IoT urban river water quality system using federated learning via knowledge distillation. *IEEE International Conference on Communications*, 1515-1520. <https://doi.org/10.1109/icc51166.2024.10622491>
- Garg, P., Raj, R., Paul, T., Jain, S., & Kumar, R. (2023). Indigenous development of water quality monitoring system for urban areas using IoT & ML. *International Conference on Computer, Electronics & Electrical Engineering & their Applications (IC2E3)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ic2e357697.2023.10262502>
- John, D. M. (2024). Internet of Things (IoT) based real time water quality monitoring system. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, 12(1). <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.58106>
- Karishma, S., Basha, M., Asif, S., Bushra, S. N., & Babu, B. B. (2025). Development and deployment of an IoT-enabled water

- quality monitoring system. *IEEE Conference*.
<https://doi.org/10.1109/wams64402.2025.11158078>
- Khati, H. S., Vishwakarma, K., Kumar, S., Bahuguna, A. S., Pundir, Y. P., Kumar, K., (2025). IoT-based water quality monitoring system. *IEEE International Conference on Computer, Electronics, Electrical Engineering & their Applications (IC2E3)*, 1-5
<https://doi.org/10.1109/ic2e365635.2025.11167598>
- Kumar, B. S., Rohith, G., & Balaji, A. S., Tanishq, E., (2025). Water quality monitoring system based on IoT. *International Journal of Engineering Technology Research & Management*, 9(3), 532-538.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.15083346>
- Kumar, M., Munaga, M. S. K., Kolli, C. S., et al. (2023). Real-time water quality tracking and alert system with IoT integration. *IEEE Conference Proceedings*.
<https://doi.org/10.1109/icpcsn58827.2023.00172>
- Kurniawan, W. S., & Anwar, M. (2025). Smart water quality measurement system berbasis IoT untuk peningkatan efektivitas pemantauan kualitas sumber air. *MASALIQ*, 5(5).
<https://doi.org/10.58578/masaliq.v5i5.7048>
- Lakshmikantha, V., Hiriyanagowda, A., Manjunath, A., Patted, A., Basavaiah, J., & Anthony, A. A. (2021). IoT based smart water quality monitoring system. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 181-186.
<https://doi.org/10.1016/j.gltip.2021.08.062>
- Mohanasundaram, R., Sagar, R. K., Khandelwal, A., Upadhyay, D., Poddar, H., & Rajagopal, S. (2024). Water quality monitoring and control in urban areas in real-time via IoT and mobile applications. *IEEE*, 1-5.
<https://doi.org/10.1109/aiiot58432.2024.10574594>
- Munoz, M. A. L., Torrealba-Meléndez, R., Arriaga-Arriaga, C. A., et al. (2024). Wireless dynamic sensor network for water quality monitoring based on the IoT. *Technologies*, 12(11).
<https://doi.org/10.3390/technologies12110211>
- Nuthalapati, A., Abubeker, K. M., & Bushara, A. R. (2024, September). Internet of things and cloud assisted LoRaWAN enabled real-time water quality monitoring framework for urban and metropolitan cities. In *2024 IEEE North Karnataka Subsection Flagship International Conference (NKCon)* (pp. 1-6). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/nkcon62728.2024.10775117>

- Patel, D., Koradia, K., & Sharma, P. (2025). IoT-Based Water Quality Monitoring System using ESP32. In *2025 7th International Conference on Energy, Power and Environment (ICEPE)*. 1-5. <https://doi.org/10.1109/icepe65965.2025.11139802>
- Pavan, K. S. (2024). IoT Based Drinking Water Quality Monitoring with ESP32. *Int. J. Sci. Technol. Eng*, *12*(11), 1993-1996. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.65515>
- Rai, S., Poduval, D. S., Anand, U., Verma, V., & Banerjee, S. (2024). An effective smart water quality monitoring and management system using IoT and machine learning. *SN Computer Science*, *5*(7), 846. <https://doi.org/10.1007/s42979-024-03208-2>
- Raman, R., & Martin, N. (2024). IoT-enabled water pollution detection for real-time monitoring and pollution source identification with MQTT protocol. In *2024 International Conference on Advances in Data Engineering and Intelligent Computing Systems (ADICS)* (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/adics58448.2024.10533607>
- Sulistiyanto., Setyobudi, R., Tijaniyah., (2023). Utilization of tds sensors for water quality monitoring and water filtering of carp pools using IoT. *EUREKA: Physics and Engineering*, (6), 69. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002865>
- Vinayak, T., Taneesha, S. M., Yuva, T., Nayak, S. R., & Hiremath, L. (2025). IoT-Powered Household Water Quality Surveillance. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202506.0783.v1>
- Yusri, M., Maulita, Y., & Sembiring, H. (2024). Penerapan IoT dalam monitoring dan pengendalian kualitas air. *Repeater*, *2*(4). <https://doi.org/10.62951/repeater.v2i4.250>
- Zhang, C., Wu, J., & Liu, J. (2020). Water quality monitoring system based on Internet of Things. In *2020 3rd International Conference on Electron Device and Mechanical Engineering (ICEDME)* (pp. 727-730). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEDME50972.2020.00171>