

# Perancangan Platform Internet of Things sebagai Sistem Komunikasi Dua Arah untuk Pemantauan pH Air

Joniwarta <sup>1</sup>, Prio Kustanto <sup>1,\*</sup>, Ridwan <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Informatika, Fakultas Ilmu Komputer; Universitas Bhayangkara Jakarta Raya; Jl. Raya Perjuangan No.81 Margamulya, Kota Bekasi, Jawa Barat, Telp. (021) 7231948; e-mail: [joniwarta@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:joniwarta@dsn.ubharajaya.ac.id), [pkustanto@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:pkustanto@dsn.ubharajaya.ac.id)

<sup>2</sup> Teknik Informatika; Sekolah Tinggi Teknologi Pekerjaan Umum; Jl. Laksamana Malahayati No.6 6, Duren Sawit, Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta; e-mail: [ridwansamm@sttpu.ac.id](mailto:ridwansamm@sttpu.ac.id)

\* Korespondensi: [pkustanto@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:pkustanto@dsn.ubharajaya.ac.id)

Diterima: 6 Jan 2026 ; Review: 7 Jan 2026; Disetujui: 9 Jan 2026 ; Diterbitkan: 9 Jan 2026

## Abstract

*Water quality monitoring is a critical component in ensuring environmental sustainability and public health. The degree of acidity (pH) is one of the key parameters used to assess water quality, as it directly affects the suitability of water for domestic and industrial applications. Conventional water pH measurement systems are typically local and rely on manual data recording, resulting in limited data accessibility, susceptibility to human error, and the absence of structured historical records. This study presents the design of an Internet of Things (IoT) platform as a two-way communication system between water pH sensing hardware and a cloud-based digital platform. The proposed system consists of a pH sensor, a network-enabled microcontroller, a cloud platform for centralized data management, and a web-based dashboard as the user interface. Two-way communication enables the system not only to transmit real-time measurement data but also to receive configuration commands from users. Experimental results indicate that the proposed IoT platform improves the efficiency of water pH monitoring, reduces reliance on manual data recording, and provides structured historical data to support long-term analysis.*

**Keywords:** *Water quality monitoring, Water pH, Internet of Things (IoT), Two-way communication system, pH sensor*

## Abstrak

Pemantauan kualitas air merupakan aspek penting dalam menjaga kesehatan lingkungan dan masyarakat. Salah satu parameter utama kualitas air adalah derajat keasaman (pH), yang memengaruhi kelayakan air untuk kebutuhan domestik maupun industri. Sistem pengukuran pH air konvensional umumnya masih bersifat lokal dan bergantung pada pencatatan manual, sehingga data sulit diakses secara luas, rentan terhadap kesalahan, dan tidak terdokumentasi secara historis. Penelitian ini bertujuan merancang platform *Internet of Things* (IoT) sebagai sistem komunikasi dua arah antara perangkat keras pengukur pH air dan platform digital berbasis cloud. Sistem terdiri dari sensor pH, mikrokontroler berkemampuan jaringan, platform cloud sebagai pusat pengelolaan data, serta dashboard berbasis web sebagai antarmuka pengguna. Komunikasi dua arah memungkinkan sistem tidak hanya mengirimkan data pengukuran secara real-time, tetapi juga menerima perintah konfigurasi dari pengguna. Hasil perancangan menunjukkan bahwa platform IoT mampu meningkatkan efisiensi pemantauan pH air, mengurangi ketergantungan pada pencatatan manual, serta menyediakan data historis yang terstruktur untuk analisis jangka panjang.

**Kata kunci:** Pemantauan kualitas air, pH air, *Internet of Things* (IoT), Sistem komunikasi dua arah, Sensor pH

## **1. Pendahuluan**

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mendorong transformasi signifikan dalam berbagai sektor, termasuk pemantauan lingkungan. Teknologi ini memungkinkan terciptanya platform digital yang berfungsi sebagai penghubung antara perangkat fisik dan sistem informasi berbasis jaringan (Xu et al., 2014). Dalam konteks pengawasan lingkungan, khususnya pemantauan kualitas air, perancangan platform IoT menjadi komponen kritis yang tidak hanya berperan sebagai alat visualisasi data, tetapi juga sebagai pusat komunikasi, manajemen, dan kontrol perangkat secara terintegrasi (Khan et al., 2022). Platform IoT yang dirancang dengan baik mampu mengelola aliran data secara real-time, menyediakan penyimpanan terpusat berbasis cloud, serta mendukung interaksi efektif antara pengguna dan perangkat keras di lapangan (Erawati et al., 2025; Zulkifli et al., 2022).

Namun, penelitian terkini menunjukkan bahwa sebagian besar implementasi sistem IoT masih mengadopsi arsitektur komunikasi satu arah, di mana perangkat hanya bertindak sebagai pengirim data tanpa mekanisme umpan balik yang memadai (Kraemer et al., 2020). Keterbatasan ini menyebabkan platform IoT menjadi kurang responsif terhadap perubahan kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan yang dinamis. Komunikasi dua arah, sebaliknya, menjadi elemen fundamental dalam pengembangan platform IoT modern karena memungkinkan sistem tidak hanya menerima data, tetapi juga mengirimkan perintah dan konfigurasi ke perangkat secara jarak jauh (Cloete & Malekian, 2016; Forhad et al., 2024). Kemampuan ini sangat relevan dalam aplikasi pemantauan real-time yang memerlukan penyesuaian parameter secara dinamis.

Sektor pemantauan kualitas air merupakan salah satu bidang yang paling diuntungkan dengan penerapan platform IoT berkomunikasi dua arah. Air merupakan sumber daya vital yang kualitasnya langsung memengaruhi kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekosistem (Budiarti et al., 2019). Parameter tingkat keasaman (pH) menjadi indikator utama karena menentukan kesesuaian air untuk berbagai keperluan domestik, industri, dan pertanian. Nilai pH yang berada di luar rentang 6,5–8,5 dapat menyebabkan korosi pada pipa distribusi air, mengurangi efektivitas proses desinfeksi, dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia serta kehidupan akuatik (Rahman et al., 2021; Raut & Patil, 2023).

Sistem pengukuran pH konvensional yang masih dominan digunakan saat ini cenderung bersifat lokal dan bergantung pada pencatatan manual. Metode ini memiliki beberapa keterbatasan mendasar: pertama, akses data terbatas hanya pada lokasi pengukuran; kedua, rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*) dalam pencatatan; ketiga, tidak menyediakan arsip data historis yang terstruktur untuk analisis tren jangka panjang (Al-Fuqaha et al., 2015). Selain itu, sistem tradisional tidak memungkinkan kontrol jarak jauh terhadap perangkat pengukuran, sehingga penyesuaian parameter harus dilakukan secara fisik

di lokasi—proses yang tidak efisien dan berpotensi menunda respons terhadap perubahan kondisi yang mendadak.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan platform IoT dengan kemampuan komunikasi dua arah untuk pemantauan pH air secara real-time. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan sensor pH, mikrokontroler berkemampuan jaringan, platform cloud untuk manajemen data, dan dashboard berbasis web sebagai antarmuka pengguna. Melalui pendekatan ini, penelitian berupaya mengatasi keterbatasan sistem konvensional dengan menyediakan akses data jarak jauh, mengurangi ketergantungan pada pencatatan manual, serta memungkinkan kontrol dan konfigurasi perangkat secara remote. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas air yang lebih efisien, akurat, dan responsif terhadap kebutuhan pengguna.

## **2. Metode Penelitian**

### **2.1 Arsitektur Sistem**

Sistem *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan pH air pada penelitian ini dirancang menggunakan arsitektur tiga lapisan (*three-layer architecture*) yang terdiri dari lapisan perangkat keras (*hardware layer*), lapisan platform cloud (*cloud layer*), dan lapisan antarmuka pengguna (*application layer*). Arsitektur ini dipilih karena mampu mendukung proses pengukuran pH air secara real-time, penyimpanan data historis yang terstruktur, serta mekanisme komunikasi dua arah antara pengguna dan perangkat IoT.

#### **1. Lapisan Perangkat Keras (*Hardware Layer*)**

Lapisan perangkat keras berfungsi sebagai lapisan akuisisi data, yaitu lapisan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan fisik. Pada lapisan ini digunakan sensor pH air untuk mengukur tingkat keasaman air secara langsung. Sensor pH menghasilkan sinyal analog yang merepresentasikan nilai pH air, kemudian sinyal tersebut dibaca dan diproses oleh mikrokontroler berkemampuan jaringan internet, seperti ESP32 atau NodeMCU.

Mikrokontroler berperan sebagai pusat kendali pada sisi perangkat, yang bertugas:

- a. Membaca data dari sensor pH air.
- b. Melakukan pemrosesan awal data.
- c. Mengirimkan data pH air ke platform cloud melalui jaringan internet.
- d. Menerima perintah konfigurasi dari platform cloud sebagai bagian dari mekanisme komunikasi dua arah.

Dengan adanya mikrokontroler berkemampuan jaringan, sistem dapat beroperasi secara mandiri dan mengirimkan data pH air tanpa intervensi manual dari pengguna.

#### **2. Lapisan Platform Cloud (*Cloud Layer*)**

Lapisan platform cloud berfungsi sebagai pusat pengelolaan data dan komunikasi sistem IoT. Data pH air yang dikirimkan oleh perangkat keras diterima oleh server cloud melalui layanan Web API. Selanjutnya, data tersebut disimpan secara otomatis ke dalam basis data cloud sehingga membentuk data historis yang tersusun berdasarkan waktu pengukuran.

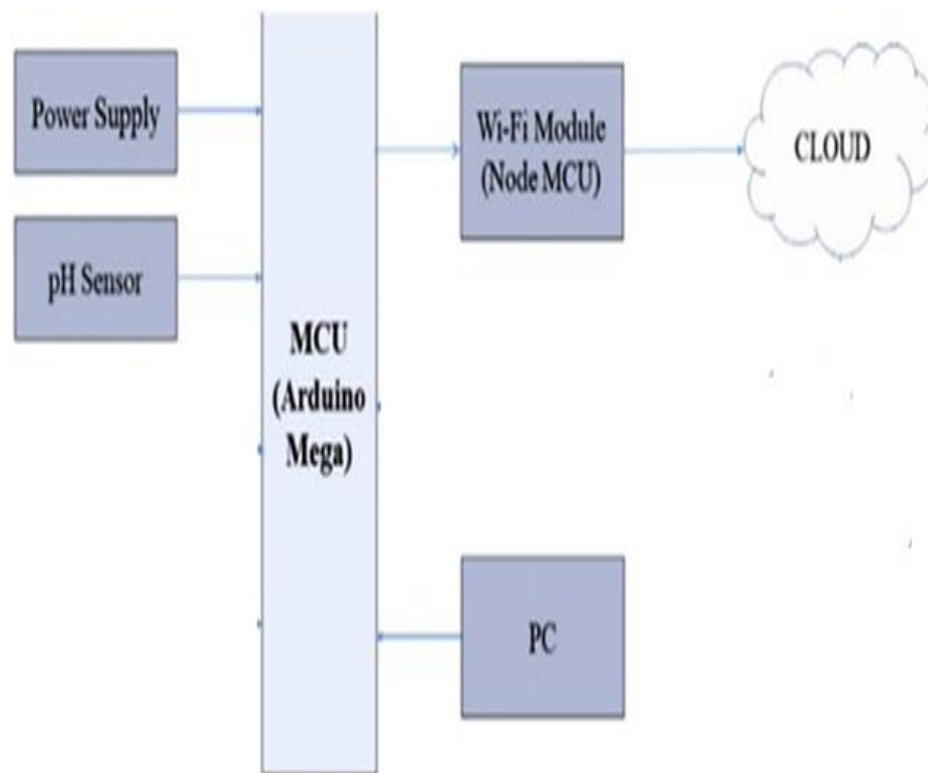
Selain sebagai penyimpanan data, lapisan cloud juga memiliki peran penting sebagai perantara komunikasi dua arah antara perangkat keras dan antarmuka pengguna. Perintah atau konfigurasi yang dikirimkan oleh pengguna melalui dashboard akan diteruskan oleh platform cloud ke mikrokontroler untuk dieksekusi. Dengan demikian, lapisan cloud tidak hanya berfungsi sebagai penyimpan data, tetapi juga sebagai pengendali alur komunikasi sistem.

### **3. Lapisan Antarmuka Pengguna (*Application Layer*)**

Lapisan antarmuka pengguna berfungsi sebagai media interaksi antara sistem IoT dan pengguna. Pada penelitian ini, antarmuka pengguna dikembangkan dalam bentuk dashboard berbasis web yang dapat diakses melalui perangkat desktop. Dashboard menampilkan nilai pH air secara real-time, status koneksi perangkat, serta waktu pembaruan data terakhir.

Melalui dashboard ini, pengguna dapat melakukan pemantauan kondisi pH air secara jarak jauh tanpa harus berada di lokasi perangkat. Selain itu, dashboard juga menyediakan fitur pengiriman perintah konfigurasi, seperti pengaturan interval pengukuran pH air, yang dikirimkan ke perangkat melalui platform cloud. Hal ini mendukung fungsi sistem sebagai alat monitoring sekaligus kendali jarak jauh.

Gambaran Arsitektur Sistem IoT Pemantauan pH Air



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar1. Arsitektur Sistem.

Pada gambar 1 menunjukkan arsitektur sistem IoT pemantauan pH air yang terdiri dari tiga lapisan utama. Pada lapisan perangkat keras, sensor pH air terhubung dengan

mikrokontroler berkemampuan jaringan internet untuk melakukan pengukuran dan pengiriman data. Pada lapisan platform cloud, data pH air diterima melalui Web API dan disimpan ke dalam basis data sebagai data historis. Pada lapisan antarmuka pengguna, dashboard berbasis web digunakan untuk menampilkan nilai pH air secara real-time dan memungkinkan pengguna mengirimkan perintah konfigurasi ke perangkat. Mekanisme ini mendukung komunikasi dua arah antara perangkat IoT dan pengguna.

## 2.2 Perangkat Keras

Perangkat keras terdiri dari sensor pH air dan mikrokontroler berkemampuan jaringan internet seperti ESP32 atau NodeMCU. Sensor pH berfungsi mengukur tingkat keasaman air, sedangkan mikrokontroler membaca data sensor, melakukan pemrosesan awal, serta mengirimkan data pH ke platform cloud melalui jaringan internet.

## 2.3 Platform Cloud dan Basis Data

### Platform Cloud dan Basis Data

Platform cloud pada sistem IoT pemantauan pH air ini berfungsi sebagai pusat pengelolaan data dan komunikasi yang menghubungkan perangkat keras di lapangan dengan antarmuka pengguna. Lapisan ini memiliki peran strategis karena menjadi penghubung utama antara proses akuisisi data pH air dan penyajian informasi kepada pengguna secara real-time.

Data pH air yang diperoleh dari sensor dan dikirimkan oleh mikrokontroler diterima oleh platform cloud melalui layanan Web API menggunakan protokol komunikasi berbasis HTTP. Setiap data yang diterima akan diproses dan disimpan secara otomatis ke dalam basis data cloud, sehingga membentuk data historis pH air yang tersusun berdasarkan waktu pengukuran. Penyimpanan data secara terstruktur ini memungkinkan sistem untuk melakukan pencatatan jangka panjang tanpa ketergantungan pada pencatatan manual.

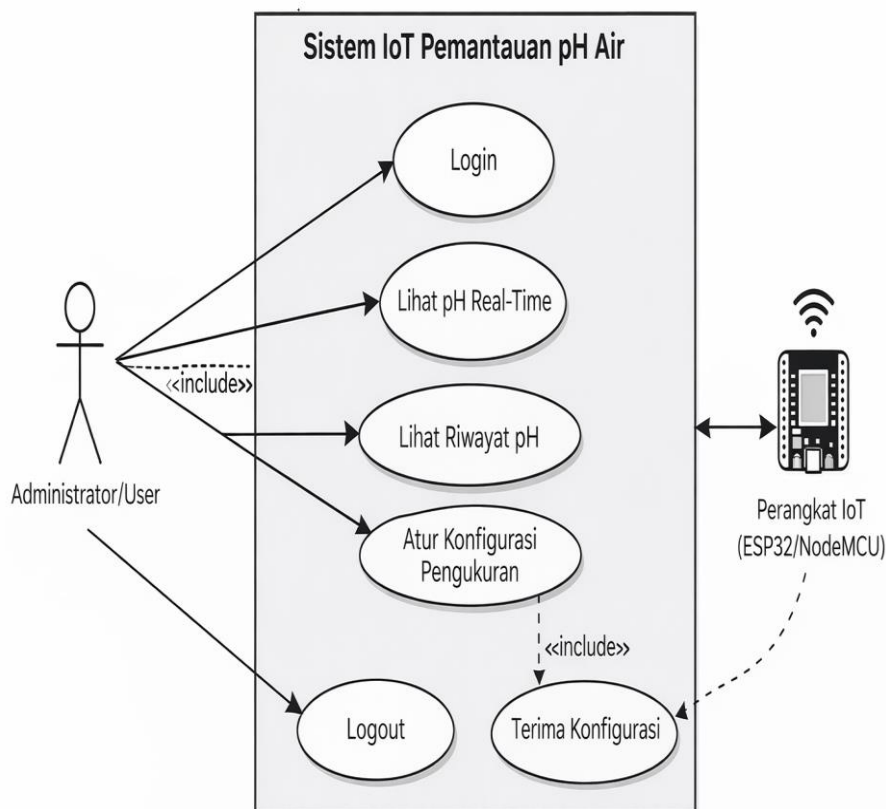
Basis data cloud dirancang untuk menyimpan beberapa informasi utama, meliputi:

- a. Nilai pH air hasil pengukuran.
- b. Waktu dan tanggal pengukuran.
- c. Identitas perangkat pengukuran.
- d. Status koneksi perangkat.

Dengan struktur data tersebut, sistem mampu menyajikan informasi pH air yang akurat dan mudah ditelusuri kembali apabila diperlukan analisis lebih lanjut. Selain itu, penyimpanan data di cloud memberikan keunggulan dari sisi keandalan dan ketersediaan data, karena data dapat diakses kapan saja dan dari lokasi yang berbeda selama terhubung ke jaringan internet.

Selain sebagai media penyimpanan data, platform cloud juga berperan sebagai perantara komunikasi dua arah antara dashboard pengguna dan perangkat IoT. Perintah atau konfigurasi yang dikirimkan oleh pengguna melalui dashboard, seperti pengaturan interval pengukuran pH air, akan diteruskan oleh platform cloud ke mikrokontroler. Mekanisme ini memastikan bahwa setiap perubahan pengaturan dapat dilakukan secara jarak jauh tanpa perlu intervensi langsung pada perangkat.

Dengan mengintegrasikan platform cloud dan basis data sebagai pusat pengelolaan sistem, platform IoT yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan pH air, tetapi juga sebagai sistem yang mendukung manajemen data, kendali jarak jauh, serta ketersediaan informasi secara real-time dan berkelanjutan. Berikut *Use Case Diagram* untuk sistem IoT Pemantauan pH Air.



Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Gambar2. Use Case Diagram

Pada gambar 2 menunjukkan *Use case diagram* sistem IoT pemantauan pH air. Administrator melakukan autentikasi untuk mengakses dashboard, kemudian dapat melihat nilai pH secara real-time dan riwayat data pH. Administrator juga dapat mengatur konfigurasi pengukuran (misalnya interval pengiriman data), yang selanjutnya diteruskan oleh sistem ke perangkat IoT. Perangkat IoT secara berkala mengirim data pH ke sistem dan menerima konfigurasi dari sistem sebagai implementasi komunikasi dua arah.

#### 2.4 Dashboard Pemantauan

Dashboard pemantauan merupakan antarmuka pengguna utama pada sistem Internet of Things (IoT) pemantauan pH air. Dashboard ini berfungsi sebagai media interaksi antara pengguna dan sistem untuk menampilkan hasil pengukuran pH air secara real-time. Seluruh

data yang ditampilkan pada dashboard diperoleh dari platform cloud yang menerima data pH air dari perangkat IoT melalui layanan Web API.

Dashboard dirancang dengan konsep sederhana dan informatif, sehingga pengguna dapat dengan cepat memahami kondisi pH air tanpa memerlukan proses analisis tambahan. Informasi utama yang ditampilkan pada dashboard meliputi nilai pH air terkini, status koneksi perangkat, serta waktu pembaruan data terakhir. Dengan penyajian informasi tersebut, pengguna dapat memastikan bahwa data yang diterima berasal dari perangkat yang aktif dan diperbarui secara berkala.

Selain menampilkan data pH air, dashboard juga mendukung mekanisme komunikasi dua arah. Melalui dashboard, pengguna dapat mengirimkan perintah konfigurasi sederhana ke perangkat IoT, seperti pengaturan interval pengukuran pH air. Perintah tersebut diteruskan oleh platform cloud ke mikrokontroler untuk dieksekusi. Dengan demikian, dashboard tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai sarana pengendalian sistem secara jarak jauh.

Desain dashboard difokuskan pada tampilan desktop berbasis web agar mudah diakses melalui komputer atau laptop. Pemilihan tampilan desktop ini bertujuan untuk memberikan visualisasi data yang lebih jelas dan stabil, khususnya dalam menampilkan nilai pH air dalam ukuran huruf yang besar sehingga mudah dibaca oleh pengguna..

#### **2.5 Mekanisme Komunikasi Dua Arah**

Komunikasi dua arah dalam sistem ini terdiri dari uplink dan downlink.

Pada alur uplink, data pH air dikirimkan dari mikrokontroler ke platform cloud untuk disimpan dan ditampilkan pada dashboard.

Pada alur downlink, pengguna dapat mengirimkan perintah konfigurasi dari dashboard ke mikrokontroler melalui platform cloud, seperti pengaturan interval pengukuran pH.

#### **2.6 Pengujian Sistem**

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan sistem bekerja sesuai dengan perancangan. Pengujian meliputi:

- a. Pengujian fungsional system.
- b. Pengujian komunikasi dua arah.
- c. Pengujian stabilitas pengiriman data.
- d. Pengujian keterlambatan (delay).

### **3. Hasil dan Pembahasan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis konektivitas, sistem IoT yang dikembangkan terbukti mampu mendukung pemantauan pH air secara jarak jauh, real-time, dan berkelanjutan. Keberhasilan komunikasi dua arah memungkinkan pengguna untuk melakukan konfigurasi perangkat tanpa harus berada di lokasi pengukuran, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi operasional sistem.

### 3.1. Pengujian Konektivitas Sistem

Pengujian konektivitas dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pengiriman data pH air dari perangkat IoT ke platform cloud berdasarkan variasi interval pengiriman data dan waktu keterlambatan (delay) hingga data tampil pada dashboard.

Tabel 1. Hasil Pengujian Konektivitas Sistem IoT Pemantauan pH Air

N o	Interval Pengiriman (detik)	Rata-rata Delay (detik)	Status Koneksi	Keterangan
1	5	1,8	Stabil	Data tampil real-time
2	10	1,5	Stabil	Data tampil normal
3	15	1,3	Stabil	Tidak ada kehilangan data
4	30	1,1	Sangat stabil	Koneksi optimal
5	60	1,0	Sangat stabil	Cocok untuk monitoring jangka panjang

Sumber : Hasil Penelitian (2025)

Pada tabel 1 menjelaskan hasil pengujian, sistem IoT pemantauan pH air mampu mempertahankan koneksi jaringan secara stabil pada berbagai interval pengiriman data. Rata-rata keterlambatan pengiriman data berada pada rentang 1,0 hingga 1,8 detik, yang masih dapat diterima untuk kebutuhan pemantauan kualitas air secara real-time.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar interval pengiriman data, rata-rata delay yang dihasilkan cenderung semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya beban pengiriman data secara berulang dalam waktu singkat. Meskipun demikian, pada interval pengiriman yang lebih kecil, sistem tetap mampu mengirimkan data secara konsisten tanpa kehilangan data (*packet loss*).

Dengan demikian, sistem IoT yang dikembangkan memiliki kinerja konektivitas yang andal dan fleksibel, serta dapat disesuaikan dengan kebutuhan pemantauan pH air baik untuk pemantauan real-time maupun pemantauan jangka panjang.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem Internet of Things (IoT) yang dikembangkan mampu melakukan pemantauan pH air secara real-time dan jarak jauh dengan memanfaatkan komunikasi dua arah antara perangkat IoT dan platform berbasis cloud. Sensor pH yang terhubung dengan mikrokontroler berkemampuan jaringan internet berhasil mengirimkan data pH air secara berkala ke platform cloud dan menampilkannya pada dashboard berbasis web dalam bentuk nilai numerik yang mudah dipahami oleh pengguna.

Hasil pengujian konektivitas menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja komunikasi yang stabil, dengan rata-rata keterlambatan pengiriman data yang masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk kebutuhan pemantauan kualitas air. Mekanisme komunikasi dua arah juga memungkinkan pengguna melakukan konfigurasi pengukuran pH air secara jarak



jauh tanpa perlu melakukan interaksi langsung dengan perangkat di lapangan, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi operasional sistem.

Dengan demikian, platform IoT yang dikembangkan dapat menjadi alternatif solusi pemantauan pH air yang lebih efektif dibandingkan metode konvensional yang masih bergantung pada pencatatan manual dan pengukuran lokal. Sistem ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan integrasi notifikasi otomatis atau penerapan pada skala pemantauan yang lebih luas untuk mendukung pengelolaan kualitas air secara berkelanjutan.

### **Daftar Pustaka**

- Al-Fuqaha, A., Guibene, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Budiarti, R. P. N., Nugroho, A., & Rahayu, S. (2019). Development of IoT for automated water quality monitoring system. Dalam *Proceedings of the International Conference on Mechanical, Electronics, Computer, and Industrial Technology (ICOMITEE)* (hlm. 211–216).
- Cloete, N. A., & Malekian, R. (2016). Design of smart sensors for real-time water quality monitoring. *IEEE Access*, 4, 3975–3990. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2593291>
- Erawati, P., Prasti, D., & Kriswinarso, T. B. (2025). IoT-based water quality monitoring system design for tilapia fish farming ponds. *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, 5(2), 860–869. <https://doi.org/10.47709/brilliance.v5i2.6927>
- Forhad, H. M., Hasan, M. R., Hossain, M. S., & Islam, S. (2024). IoT-based real-time water quality monitoring system in water treatment plants. *Science of The Total Environment*, 907, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168098>
- Khan, S. A. R., Alsamhi, S. H., & Hu, Y. Q. (2022). A comprehensive survey on IoT-based smart water quality monitoring systems: Architectures, sensors, and communication technologies. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(15), 13245–13265. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3174567>
- Kraemer, F. A., Braten, A. E., & Tamkittikhun, N. (2020). A survey of IoT cloud platforms for real-time monitoring and control. *Future Generation Computer Systems*, 105, 909–925. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.021>
- Rahman, M. A., Anwar, S., & Hossain, M. A. (2021). Cloud-based IoT architecture for environmental monitoring applications. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(5), 245–252. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120531>
- Raut, A. R., & Patil, S. S. (2023). Low-cost IoT based system for lake water quality monitoring. *PLOS ONE*, 18(7), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287156>

Xu, L. D., He, W., & Li, S. (2014). Internet of Things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243.  
<https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>

Zulkifli, C. Z., Ahmad, M. A., Harun, N. H., & Rahman, R. A. (2022). IoT-based water monitoring systems: A systematic review. *Water*, 14(22), 1–24.  
<https://doi.org/10.3390/w14223713>