



Pemanfaatan Teknologi *Internet of Things* untuk Monitoring Kualitas Air Sungai di Wilayah Perkotaan

Danang^{1*}, Nuris Dwi Setiawan², Eko Siswanto³

^{1,2,3} Universitas Sains dan Teknologi Komputer, Indonesia

*Penulis Korespondensi danang@stekom.ac.id

Abstract. *The rapid urbanization and industrialization of cities have significantly contributed to the rising pollution levels, especially in urban rivers, where water quality is often compromised. Monitoring water quality in real-time is essential for mitigating the adverse effects of water contamination. This research aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based system for real-time monitoring of water quality in urban rivers, focusing on the continuous collection and analysis of environmental data. The system utilizes a range of sensors to measure critical water quality parameters, including pH, temperature, dissolved oxygen (DO), turbidity, and various contaminants, all of which transmit data wirelessly to a central server for further processing. The study evaluates the accuracy, reliability, and efficiency of the IoT system in detecting water pollution and its ability to deliver real-time insights. Findings demonstrate that the IoT system offers a higher level of precision and faster detection compared to conventional monitoring methods, making it an effective tool for real-time pollution detection and decision-making. Additionally, the integration of the IoT system with a user-friendly visualization platform enhances the accessibility of the data for stakeholders, enabling them to monitor the water quality effectively. The study suggests that IoT-based water quality monitoring systems present a sustainable long-term solution for urban water management, offering cost and time savings. Moreover, the research highlights the importance of cross-sector collaboration to support the development and deployment of IoT technologies and recommends further advancements in sensor technologies to monitor additional water quality parameters.*

Keywords: *IoT-Based Monitoring; Real-Time Data; River Pollution; Sensor Technology; Water Quality.*

Abstrak. Urbanisasi dan industrialisasi kota yang cepat telah berkontribusi secara signifikan terhadap meningkatnya tingkat polusi, terutama di sungai perkotaan, di mana kualitas air sering terganggu. Memantau kualitas air secara real-time sangat penting untuk mengurangi efek buruk dari kontaminasi air. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan kualitas air secara real-time di sungai perkotaan, dengan fokus pada pengumpulan dan analisis data lingkungan secara berkelanjutan. Sistem ini menggunakan berbagai sensor untuk mengukur parameter kualitas air yang penting, termasuk pH, suhu, oksigen terlarut (DO), kekeruhan, dan berbagai kontaminan, yang semuanya mengirimkan data secara nirkabel ke server pusat untuk diproses lebih lanjut. Studi ini mengevaluasi akurasi, keandalan, dan efisiensi sistem IoT dalam mendeteksi polusi air dan kemampuannya untuk memberikan wawasan waktu nyata. Temuan menunjukkan bahwa sistem IoT menawarkan tingkat presisi yang lebih tinggi dan deteksi yang lebih cepat dibandingkan dengan metode pemantauan konvensional, menjadikannya alat yang efektif untuk deteksi polusi dan pengambilan keputusan secara real-time. Selain itu, integrasi sistem IoT dengan platform visualisasi yang ramah pengguna meningkatkan aksesibilitas data bagi pemangku kepentingan, memungkinkan mereka memantau kualitas air secara efektif. Studi ini menunjukkan bahwa sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menghadirkan solusi jangka panjang yang berkelanjutan untuk pengelolaan air perkotaan, menawarkan penghematan biaya dan waktu. Selain itu, penelitian ini menyoroti pentingnya kolaborasi lintas sektor untuk mendukung pengembangan dan penyebaran teknologi IoT dan merekomendasikan kemajuan lebih lanjut dalam teknologi sensor untuk memantau parameter kualitas air tambahan.

Kata kunci: *Data Real-Time; IoT-Based Monitoring; Kualitas Air; Pencemaran Sungai; Teknologi Sensor;*

1. LATAR BELAKANG

Pencemaran air sungai di wilayah perkotaan menjadi masalah yang semakin meningkat seiring dengan pesatnya industrialisasi dan urbanisasi. Proses tersebut mengakibatkan akumulasi polusi, terutama logam berat, di sungai-sungai perkotaan, yang berdampak buruk bagi ekosistem dan kesehatan manusia (Yin, Islam, & Ju, 2021). Sebagai contoh, di kawasan pengembangan ekonomi dan teknologi, konsentrasi logam berat seperti kromium (Cr), timbal

(Pb), dan seng (Zn) dalam sedimen sungai sering kali jauh melebihi nilai latar belakangnya, yang menunjukkan tingkat kontaminasi yang tinggi (He, Huangfu, Liu, & Chen, 2020). Selain itu, pembuangan limbah domestik dan industri yang tidak diolah turut memperburuk kualitas air, yang menyebabkan pencemaran yang lebih parah (Majumder, Nanda, Naik, & Misra, 2019).

Pencemaran air sungai dapat menyebabkan kerusakan yang parah terhadap ekosistem. Logam berat yang terakumulasi dalam sedimen sungai menyebabkan toksisitas akut pada organisme bentik dan mengganggu keseimbangan ekosistem (Wu et al., 2016). Selain itu, pencemaran air juga berpotensi menyebarkan penyakit yang ditularkan melalui air, seperti kolera, disentri, dan demam tifoid, yang mengancam kesehatan masyarakat. Pencemaran air yang parah bahkan dapat menurunkan kualitas air minum, yang langsung berdampak pada kesehatan manusia dan kualitas hidup masyarakat sekitar.

Pengelolaan kualitas air yang berkelanjutan menjadi kunci untuk mencegah kerusakan lebih lanjut terhadap ekosistem dan kesehatan masyarakat. Pendekatan ini melibatkan penerapan teknologi pengolahan air yang efektif, pengaturan pembuangan limbah industri, dan peningkatan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya menjaga kualitas air (Zahoor & Mushtaq, 2023). Pengembangan sistem pengendalian polusi di daerah aliran sungai dan penerapan teknologi pengolahan air yang canggih dapat secara signifikan mengurangi beban polusi pada sungai-sungai perkotaan (Yin et al., 2021). Kerjasama lintas sektor dan kebijakan yang terintegrasi juga diperlukan untuk memastikan keberlanjutan pengelolaan sumber daya air di masa depan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan dan analisis kualitas air secara *real-time* di sungai perkotaan. Sistem ini akan mengukur berbagai parameter kualitas air, termasuk pH, suhu, kekeruhan, oksigen terlarut, dan total padatan terlarut (TDS) yang penting untuk memastikan kualitas air yang aman (Paul, Raj, Garg, & Jain, 2023). Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini akan dikirimkan secara nirkabel ke platform pusat untuk dianalisis dan divisualisasikan, memberikan informasi yang berguna bagi pengelola sumber daya air dan masyarakat terkait (Kenchannavar, Pujar, Kulkarni, & Kulkarni, 2022).

Sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT memungkinkan pemantauan kualitas air secara terus-menerus dan memberikan peringatan dini tentang kejadian pencemaran. Hal ini penting untuk menjaga kualitas air sungai di wilayah perkotaan, yang rentan terhadap pencemaran akibat urbanisasi dan industrialisasi. Dengan menyediakan data yang akurat dan

real-time, sistem ini mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pengelolaan sumber daya air serta mitigasi pencemaran (Forhad et al., 2024; Kenchannavar et al., 2022).

Implementasi sistem ini memungkinkan reaksi cepat terhadap insiden pencemaran, yang sangat penting untuk menjaga kesehatan masyarakat dan ekosistem (Dutta, Jana, & Sinha, 2024). Sistem ini juga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dengan menyediakan data yang akurat dan *real-time*, yang membantu dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan (Syed Taha et al., 2024). Selain itu, sistem ini membantu dalam konservasi sumber daya air dengan menyediakan informasi yang diperlukan untuk tindakan pencegahan dan mitigasi (Mohammed, Ghayeb, & Sumsudeen, 2024). Dengan demikian, sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT berperan penting dalam memastikan keberlanjutan dan keberhasilan pengelolaan kualitas air di sungai perkotaan.

2. KAJIAN TEORITIS

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang menghubungkan perangkat fisik, kendaraan, bangunan, dan objek lainnya yang dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan konektivitas jaringan untuk mengumpulkan dan bertukar data. IoT memungkinkan pengumpulan data secara *real-time*, analisis, dan transmisi, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi, termasuk monitoring lingkungan (Khokher, Singh, Chaudhary, Joshi, & Vishnoi, 2024). Dalam konteks monitoring lingkungan, IoT memanfaatkan sensor-sensor yang terhubung untuk mengumpulkan data terkait kualitas udara, kelembaban tanah, dan kondisi air, serta mengirimkan data tersebut ke sistem pusat untuk analisis lebih lanjut (Kumar, Shanthakumar, Banerjee, & Hanspal, 2024).

IoT dalam monitoring lingkungan bekerja dengan menggunakan sensor untuk mengumpulkan data dari lingkungan, seperti kualitas udara, kelembaban tanah, dan kondisi air. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan melalui jaringan nirkabel seperti ZigBee atau LoRa ke sistem pusat (Maulana & Matheus, 2023). Pengolahan data dilakukan menggunakan unit pengolahan data yang kemudian disimpan di cloud untuk analisis lebih lanjut. Setelah itu, data yang diproses divisualisasikan dalam bentuk grafik atau peta geografis untuk memudahkan pemantauan dan pengambilan keputusan (Alashbi, Mohamed, Shayea, El-Saleh, & Ahad, 2024).

IoT telah banyak digunakan di berbagai sektor untuk memantau kondisi lingkungan. Dalam sektor pertanian, IoT digunakan untuk memantau kelembaban tanah, tekanan hidrolik, dan kondisi cuaca guna meningkatkan efisiensi irigasi dan mencegah intrusi air asin (Rao, Sambana, Ramakrishna, Dasaradha, & Ramanaiah, 2024). Dalam sektor kualitas udara, sistem

IoT dapat memantau parameter kualitas udara seperti karbon monoksida, partikel debu, dan kelembaban relatif, yang kemudian diunggah ke cloud untuk analisis dan pelaporan (Sonali & Venkatasubramanian, 2016). Selain itu, dalam sektor kualitas air, IoT digunakan untuk memantau kualitas air dengan mengukur parameter seperti pH, suhu, dan kontaminan lainnya (Yusuf, Kurnia Basuki, Sukaridhoto, Pratama, Bramasta Putra, & Yulianus, 2019). IoT juga memainkan peran penting dalam pengelolaan sumber daya alam dengan memberikan data *real-time* untuk membantu pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya dan kebijakan konservasi (Kumar et al., 2024).

Keuntungan utama dari penggunaan IoT dalam monitoring lingkungan adalah skalabilitas dan efisiensi biaya. IoT memungkinkan pengumpulan data dalam skala besar dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan metode tradisional (Agarwal, Purwar, & Agrawal, 2024). Selain itu, IoT menyediakan data yang lebih akurat dan dapat diakses secara *real-time*, yang memungkinkan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Data yang dikumpulkan dan dianalisis oleh sistem IoT juga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik untuk program pelestarian dan manajemen lingkungan (Khokher et al., 2024). Sistem ini juga membantu dalam pengelolaan sumber daya alam dengan memberikan informasi yang diperlukan untuk tindakan pencegahan dan mitigasi pencemaran (Bhardwaj, Gupta, Gupta, Kumari, & Prajapati, 2024).

Meskipun memiliki banyak keuntungan, implementasi IoT juga menghadapi berbagai tantangan. Salah satunya adalah masalah keamanan data, terutama dalam pengumpulan dan transmisi data sensitif yang terkait dengan kualitas lingkungan (Maulana & Matheus, 2023). Selain itu, kalibrasi sensor yang tepat dan interoperabilitas antara berbagai perangkat dan sistem IoT menjadi tantangan yang perlu diatasi untuk memastikan keakuratan data dan integrasi sistem yang efisien (Khokher et al., 2024).

Pemantauan kualitas air sungai merupakan bagian penting dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya di wilayah perkotaan yang rentan terhadap pencemaran. Pemantauan kualitas air sungai secara konvensional biasanya melibatkan pengambilan sampel air di berbagai titik sepanjang sungai dan analisis laboratorium untuk parameter *fisikokimia* seperti pH, BOD, COD, dan konsentrasi logam berat (Bora & Goswami, 2017). Selain itu, metode konvensional juga melibatkan penggunaan bioindikator seperti diatom dan makroinvertebrata untuk menilai kondisi ekosistem sungai (Barinova & Mamanazarova, 2021).

Namun, metode konvensional memiliki beberapa keterbatasan. Proses pengambilan sampel dan analisis laboratorium memerlukan waktu dan biaya yang signifikan (Mazari-Hiriart et al., 2014). Selain itu, frekuensi pengambilan sampel yang tidak kontinu dapat mengabaikan

fluktuasi kualitas air yang terjadi secara temporal (Bora & Goswami, 2017). Metode ini juga sering kali tidak mencakup seluruh area sungai secara menyeluruh, sehingga ada kemungkinan area tertentu yang terlewatkan (Bi et al., 2022).

Teknologi Internet of Things (IoT) telah membawa revolusi dalam pemantauan kualitas air dengan menyediakan pemantauan secara *real-time* menggunakan sensor yang terhubung ke jaringan. IoT memungkinkan pengukuran parameter kualitas air secara kontinu dan memberikan data yang lebih lengkap dan akurat, karena pengukuran dilakukan secara *real-time* dan mencakup berbagai parameter seperti pH, suhu, dan konsentrasi kontaminan (Rao et al., 2024). Sistem IoT memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time*, sehingga perubahan kualitas air dapat dideteksi segera, dan tindakan cepat dapat diambil untuk mitigasi pencemaran (Rather et al., 2023).

Penggunaan IoT dalam pemantauan kualitas air juga memiliki efisiensi biaya yang lebih tinggi. Meskipun investasi awal untuk teknologi IoT mungkin tinggi, dalam jangka panjang biaya operasional dapat lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional, terutama dalam pengumpulan data dalam skala besar (Kumar et al., 2024). Dengan kemampuan untuk menyediakan data secara terus-menerus dan dalam skala besar, IoT memberikan keuntungan dalam memonitor perubahan kualitas air secara akurat dan cepat, yang sangat penting dalam pengelolaan kualitas air di wilayah perkotaan (Alashbi et al., 2024).

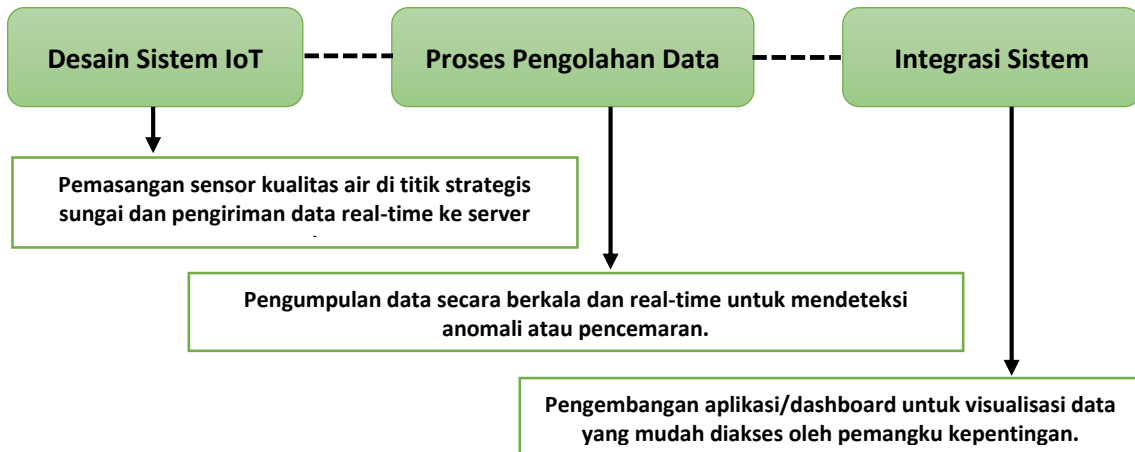
Pencemaran air sungai di wilayah perkotaan disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk limbah domestik dan industri. Jenis-jenis pencemaran yang sering terjadi pada air sungai perkotaan antara lain pencemaran organik, logam berat, *nutrien* berlebih, dan mikroorganisme patogen. Pencemaran organik disebabkan oleh limbah domestik dan industri yang mengandung bahan organik tinggi, yang menyebabkan peningkatan BOD dan COD. Sungai di wilayah perkotaan sering terkontaminasi oleh logam berat seperti besi, seng, mangan, dan timbal, yang berasal dari limbah industri dan *urban runoff* (Zemo et al., 2023). Selain itu, pencemaran oleh *mikroorganisme patogen* dari limbah domestik yang tidak diolah dapat menyebabkan risiko kesehatan yang serius, seperti diare dan infeksi saluran pencernaan (Rather et al., 2023).

Pencemaran air sungai memiliki dampak yang merugikan terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Dalam hal ekosistem, pencemaran air menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati, terutama pada makroinvertebrata dan ikan, yang merupakan bagian penting dari rantai makanan akuatik (Zemo et al., 2023). Eutrofikasi, yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi *nutrien* seperti nitrogen dan fosfor, menyebabkan pertumbuhan alga yang berlebihan, mengurangi oksigen terlarut, dan mengganggu kehidupan akuatik (Bi et al., 2022).

Dampak terhadap kesehatan manusia juga sangat signifikan, terutama dalam wilayah perkotaan. Kontaminasi oleh *mikroorganisme patogen* dapat menyebabkan penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare dan infeksi saluran pencernaan (Mazari-Hiriart et al., 2014). Paparan jangka panjang terhadap logam berat juga dapat menyebabkan masalah kesehatan kronis, seperti kerusakan ginjal dan gangguan saraf (Bora & Goswami, 2017).

3. METODE PENELITIAN

Sistem pemantauan kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) dirancang untuk mengukur parameter kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut, kekeruhan, dan kontaminan lainnya secara real-time menggunakan sensor yang dipasang di titik-titik strategis sepanjang sungai. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini dikirimkan secara nirkabel ke server pusat untuk diproses dan dianalisis, dengan tujuan mendeteksi potensi pencemaran atau anomali kualitas air. Pengolahan data ini memungkinkan identifikasi tren dan anomali secara otomatis melalui algoritma pembelajaran mesin. Hasil analisis kemudian divisualisasikan dalam platform pemantauan berbasis aplikasi atau dashboard yang mudah diakses oleh pemangku kepentingan, memberikan data yang akurat untuk pengambilan keputusan dan respons cepat terhadap perubahan kondisi kualitas air.



Gambar 1. Struktur Diagram Alir Metodologi Penelitian.

Desain Sistem IoT untuk Pemantauan Kualitas Air

Sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) dirancang dengan menggunakan sensor-sensor yang mampu mengukur berbagai parameter kualitas air secara *real-time*. Sensor-sensor yang dipilih meliputi pH, suhu, oksigen terlarut (DO), kekeruhan, dan kontaminan lainnya yang relevan untuk kualitas air sungai. Pemilihan titik aliran sungai yang strategis sangat penting untuk memastikan data yang representatif dari seluruh area yang dipantau. Sensor-sensor ini akan dipasang di titik-titik yang telah ditentukan berdasarkan

analisis aliran sungai dan potensi area pencemaran yang tinggi. Selain itu, perangkat IoT digunakan untuk mengirimkan data secara nirkabel ke server pusat melalui jaringan seperti LoRa atau ZigBee, yang memungkinkan pemantauan kualitas air secara *real-time* tanpa memerlukan koneksi fisik yang rumit.

Proses Pengolahan dan Analisis Data

Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor kualitas air akan diproses secara berkala dan *real-time*. Sistem ini memungkinkan pengumpulan data yang kontinu dari berbagai sensor yang dipasang sepanjang sungai. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan algoritma pemrosesan data yang dapat mendeteksi potensi pencemaran atau anomali dalam kualitas air, seperti perubahan mendadak dalam parameter pH atau konsentrasi oksigen terlarut yang menunjukkan adanya pencemaran. Data yang dikumpulkan akan dianalisis untuk mengidentifikasi pola yang dapat menunjukkan fluktuasi kualitas air yang mengindikasikan adanya ancaman pencemaran. Pengolahan data ini juga akan mengandalkan teknik-teknik pembelajaran mesin untuk mendeteksi tren dan anomali secara otomatis.

Integrasi Sistem dengan Platform Pemantauan

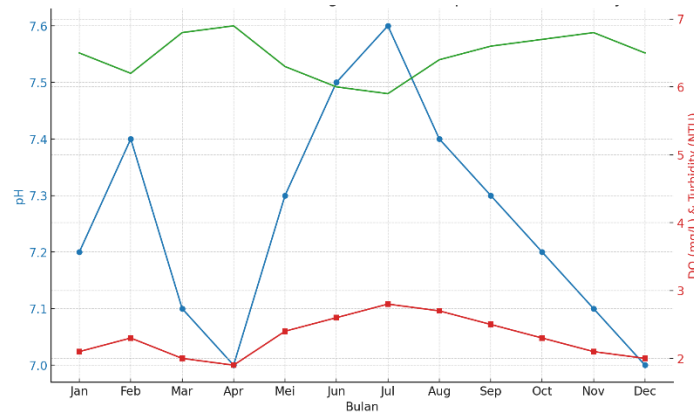
Hasil pengolahan data akan diintegrasikan ke dalam platform pemantauan berbasis aplikasi atau dashboard yang dikembangkan untuk visualisasi data yang mudah diakses oleh pemangku kepentingan. Platform ini akan menampilkan data dalam bentuk grafik, peta geografis, atau indikator visual lainnya untuk mempermudah pemahaman bagi pengelola sumber daya air dan masyarakat. Aplikasi ini memungkinkan pemangku kepentingan untuk melakukan pemantauan kualitas air secara langsung dan memberikan peringatan dini ketika kualitas air menunjukkan tanda-tanda pencemaran. Selain itu, sistem ini dapat diakses melalui perangkat mobile atau komputer, memungkinkan respons cepat terhadap kondisi yang terdeteksi di lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sistem IoT diterapkan pada titik-titik aliran sungai yang strategis untuk memantau kualitas air secara *real-time*. Sensor yang dipasang di titik-titik ini mengukur berbagai parameter kualitas air seperti pH, suhu, oksigen terlarut (DO), kekeruhan, dan kontaminan lainnya. Pemilihan titik pengukuran didasarkan pada analisis risiko pencemaran, seperti area yang berdekatan dengan sumber limbah industri dan pemukiman padat. Keakuratan dan keandalan data yang diterima dari sistem IoT menunjukkan hasil yang konsisten dan akurat, memberikan data yang dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas air secara berkelanjutan.

Data yang dikumpulkan secara real-time memungkinkan pemantauan perubahan kualitas air dari waktu ke waktu. Hasil analisis menunjukkan fluktuasi pada parameter seperti pH dan oksigen terlarut yang dapat dikaitkan dengan aktivitas industri atau curah hujan yang menyebabkan pencemaran limpasan. Data ini sangat berharga dalam mengidentifikasi area dengan tingkat pencemaran yang tinggi dan memberikan informasi yang penting bagi pengelola sumber daya air untuk mengambil tindakan mitigasi yang lebih cepat dan tepat.



Gambar 2. Diagram Pemantauan Kualitas Air Sungai - Parameter pH, DO, dan Turbidity.

Gambar grafik di atas yang menggambarkan pemantauan kualitas air sungai sepanjang tahun berdasarkan parameter pH, oksigen terlarut (DO), dan kekeruhan (Turbidity). Grafik ini menunjukkan fluktuasi kualitas air dari bulan ke bulan, dengan pH yang relatif stabil, sementara DO dan Turbidity menunjukkan variasi yang lebih besar, yang dapat mengindikasikan perubahan kualitas air yang penting untuk diperhatikan dalam pemantauan real-time menggunakan sistem IoT.

Pembahasan

Salah satu keuntungan utama dari penggunaan sistem IoT adalah pemantauan kualitas air secara real-time. Dengan kemampuan untuk mengidentifikasi perubahan kualitas air secara cepat, sistem ini memungkinkan pengelola sumber daya air untuk mengambil tindakan responsif terhadap pencemaran yang terjadi, misalnya, dalam hal penurunan kadar oksigen terlarut yang dapat berpengaruh besar pada ekosistem akuatik. Deteksi dini semacam ini membantu mencegah kerusakan lingkungan yang lebih parah dan dapat memberikan peringatan kepada masyarakat sekitar.

Sistem IoT juga menawarkan penghematan biaya dan waktu yang signifikan dibandingkan dengan metode pemantauan konvensional. Pengumpulan data secara otomatis dan terus-menerus mengurangi kebutuhan untuk pengambilan sampel manual dan analisis laboratorium, yang memerlukan banyak waktu dan biaya. Dengan sistem ini, data dikirimkan

langsung ke server pusat untuk analisis lebih lanjut tanpa perlu proses yang panjang dan rumit, memungkinkan respons lebih cepat terhadap perubahan kondisi air.

Keuntungan lainnya adalah kemudahan dalam mengelola sumber daya air secara lebih efektif dan berkelanjutan. Data yang dihasilkan dari sensor-sensor IoT membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik terkait dengan alokasi sumber daya dan kebijakan konservasi. Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas air dalam cakupan yang lebih luas, mencakup seluruh area yang sebelumnya sulit diakses menggunakan metode konvensional, dan memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi lingkungan secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dalam pemantauan kualitas air sungai terbukti memberikan data yang lebih akurat dan lebih cepat dalam menangani masalah pencemaran air di wilayah perkotaan. Dengan pemantauan real-time melalui sensor yang terhubung, sistem IoT dapat mendeteksi perubahan kualitas air secara cepat, yang memungkinkan respons yang lebih tepat dan efisien terhadap pencemaran. Selain itu, sistem IoT dapat menjadi solusi jangka panjang yang efektif dalam pengelolaan kualitas air di wilayah perkotaan, mengingat kemampuannya untuk memantau kondisi air secara berkelanjutan dan dengan biaya operasional yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional.

Saran

Diperlukan kolaborasi yang lebih erat antara pemerintah, masyarakat, dan sektor industri untuk mendukung pengembangan dan implementasi sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT. Kerja sama ini penting untuk memastikan adopsi yang luas dan pengelolaan yang efektif dari sistem tersebut. Selain itu, pengembangan sistem yang lebih canggih dengan sensor tambahan untuk mengukur parameter kualitas air lainnya, seperti konsentrasi logam berat atau mikroorganisme patogen, dapat meningkatkan efektivitas sistem dalam memantau dan mengelola kualitas air dengan lebih komprehensif.

DAFTAR REFERENSI

- Agarwal, V., Purwar, S., & Agrawal, S. (2024). *IoT-driven environmental surveillance to foster sustainable development*. Proceedings of the 2024 3rd Edition of IEEE Delhi Section Flagship Conference, DELCON 2024. <https://doi.org/10.1109/DELCON64804.2024.10866673>
- Alashbi, A., Mohamed, A. H., Shayea, I., El-Saleh, A. A., & Ahad, A. (2024). A review of IoT applications in smart environments: From smart cities to military integration. *Lecture*

Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 211, 176–190.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-59707-7_16

- Barinova, S., & Mamanazarova, K. (2021). Diatom algae-indicators of water quality in the lower Zarafshan river, Uzbekistan. *Water (Switzerland)*, 13(3), 358. <https://doi.org/10.3390/w13030358>
- Bhardwaj, R., Gupta, S. N., Gupta, D., Kumari, S., & Prajapati, U. (2024). Smart agriculture system: A miniaturization approach based on IoT. *Nanotechnology in the Life Sciences* (pp. 327–339). https://doi.org/10.1007/978-3-031-72004-8_16
- Bi, Y.-L., Wang, H.-C., Xia, B., Jiang, C.-C., Wu, W.-Y., Li, Z.-L., Li, S.-M., Su, H., Bai, Z.-H., Xu, S.-J., & Zhuang, X.-L. (2022). Pollution characterization and comprehensive water quality assessment of rain-source river: A case study of the Longgang River in Shenzhen. *Huanjing Kexue/Environmental Science*, 43(2), 782–794. <https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202105119>
- Bora, M., & Goswami, D. C. (2017). Water quality assessment in terms of water quality index (WQI): Case study of the Kolong River, Assam, India. *Applied Water Science*, 7(6), 3125–3135. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0451-y>
- Chauhan, A. S., Panikulangara, L., & Jain, R. (2022). JAL MITRA water quality monitoring and reporting using IoT, cloud & analytics. In *IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)* (pp. 376–381). <https://doi.org/10.1109/R10-HTC54060.2022.9929690>
- Dutta, S. P., Jana, S., & Sinha, P. K. (2024). IoT-based water quality monitoring with floating smart device: A paradigm shift in water standard surveillance. *2nd International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded Systems (SCOPE 2024)*. <https://doi.org/10.1109/SCOPE564467.2024.10991016>
- Forhad, H. M., Uddin, M. R., Chakrovorty, R. S., Ruhul, A. M., Faruk, H. M., Kamruzzaman, S., Sharmin, N., Jamal, A. S. I. M., Haque, M. M.-U., & Morshed, A. M. (2024). IoT-based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs). *Heliyon*, 10(23), e40746. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40746>
- He, Q., Huangfu, X., Liu, C., & Chen, Z. (2020). Water environment protection for reservoirs in mountainous cities: A case study of Longjing Lake in Chongqing. In *Water-Related Urbanization and Locality* (pp. 99–123). https://doi.org/10.1007/978-981-15-3507-9_6
- Kenchannavar, H. H., Pujar, P. M., Kulkarni, R. M., & Kulkarni, U. P. (2022). Evaluation and analysis of goodness of fit for water quality parameters using linear regression through the Internet-of-Things-based water quality monitoring system. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(16), 14400–14407. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3094724>
- Khokher, B., Singh, P., Chaudhary, S., Joshi, N., & Vishnoi, V. (2024). Applications and use cases of Internet of Things (IoT) with case study. *2nd IEEE International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT 2024)* (pp. 1575–1581). <https://doi.org/10.1109/ICICAT62666.2024.10923465>
- Kumar, D., Shanthakumar, S., Banerjee, M., & Hanspal, M. S. (2024). IoT based models in healthy natural resource management: Healthy soils for healthy food productions. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 227, 211–242. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74374-0_11
- Majumder, A., Nanda, B., Naik, A. K., & Misra, S. N. (2019). Assessment of quality of river water in the state of Odisha: A case study of the rivers Kuakhai, Daya, and Bramhani.

- Maulana, N., & Matheus Edward, I. J. (2023). IoT-enabled LoRa wireless sensor network for real-time air quality monitoring with geographic information system mapping. *2023 International Conference on Informatics, Multimedia, Cyber and Information Systems (ICIMCIS)* (pp. 387–392). <https://doi.org/10.1109/ICIMCIS60089.2023.10349082>
- Mohammed, G., Ghayeb, H. B., & Sumsudeen, R. M. (2024). Solar-powered IoT-enabled smart water quality monitoring system. *IET Conference Proceedings, 2024*(37), 11–16. <https://doi.org/10.1049/icp.2025.0814>
- Nuthalapati, A., Abubeker, K. M., Shafeena Karim, A., & Bushara, A. R. (2024). Internet of Things and cloud-assisted LoRaWAN enabled real-time water quality monitoring framework for urban and metropolitan cities. *Proceedings of NKCon 2024*. <https://doi.org/10.1109/NKCon62728.2024.10775117>
- Paul, T., Raj, R., Garg, P., & Jain, S. (2023). Real-time monitoring of water quality for rural areas: A machine learning and Internet of Things approach. *4th International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM 2023)*. <https://doi.org/10.1109/ICIEM59379.2023.10165824>
- Rao, M. J., Sambana, B., Ramakrishna, B., Dasaradha, A., & Ramanaih, M. (2024). Internet of Things-enhanced intelligent agricultural surveillance and control system. *Engineering Proceedings*, 66(1), 37. <https://doi.org/10.3390/engproc2024066037>
- Rather, R. A., Ara, S., Padder, S. A., Sharma, S., Pathak, S. P., & Baba, T. R. (2023). Seasonal fluctuation of water quality and ecogenomic phylogeny of novel potential microbial pollution indicators of Veshaw River Kashmir–Western Himalaya. *Environmental Pollution*, 320, 121104. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121104>
- Sonali, D., & Venkatasubramanian, K. (2016). A Raspberry-Pi based IoT system for measuring environmental parameters to monitor pollution level using IBM Bluemix. *Pakistan Journal of Biotechnology*, 13, 231–235.
- Syed Taha, S. N., Abu Talip, M. S., Mohamad, M., Azizul Hasan, Z. H., & Tengku Mohmed Noor Izam, T. F. (2024). Evaluation of LoRa network performance for water quality monitoring systems. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(16), 7136. <https://doi.org/10.3390/app14167136>
- Wu, Q., Zhou, H., Tam, N. F. Y., Tian, Y., Tan, Y., Zhou, S., Li, Q., Chen, Y., & Leung, J. Y. S. (2016). Contamination, toxicity and speciation of heavy metals in an industrialized urban river: Implications for the dispersal of heavy metals. *Marine Pollution Bulletin*, 104(1–2), 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.043>
- Yin, H., Islam, M. S., & Ju, M. (2021). Urban river pollution in the densely populated city of Dhaka, Bangladesh: Big picture and rehabilitation experience from other developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 321, 129040. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129040>
- Yusuf, A. A., Kurnia Basuki, D., Sukaridhoto, S., Pratama, Y. P., Bramasta Putra, F., & Yulianus, H. (2019). ArmChain – A blockchain-based sensor data communication for the vehicle as a mobile sensor network. In *International Electronics Symposium (IES 2019)* (pp. 539–543). <https://doi.org/10.1109/ELECSYM.2019.8901530>

- Zahoor, I., & Mushtaq, A. (2023). Water pollution from agricultural activities: A critical global review. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*, 23(1), 164–176. <https://doi.org/10.51470/bca.2023.23.1.107>
- Zemo, M. A. T., Menbohan, S. F., Atchrimi, B. T., Betsi, W. C. N., Nwaha, M., Dzavi, J., Mavunda, C. A., & Lactio, N. (2023). Effect of anthropogenic pressure on the biodiversity of benthic macroinvertebrates in some urban rivers (Yaoundé). *Water (Switzerland)*, 15(13), 2383. <https://doi.org/10.3390/w15132383>