

Kajian Awal Pemanfaatan Sistem Cerdas untuk Pemantauan Kualitas Air dalam Konteks Pembangunan Pabrik AMDK

¹Irfan Wahyu Ramadhan, ²Firdaus

^{1,2} Program Studi Magister Rekayasa Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

¹23925002@students.uii.ac.id, ²firdaus@uui.ac.id

Abstract - This study represents an in-depth preliminary investigation into scholarly literature addressing the utilization of smart systems in monitoring water quality, with a specific focus on the context of developing Bottled Drinking Water Plant (AMDK). Through a review of various journals, this research explores diverse methods and technologies used in monitoring and controlling critical water parameters. Several studies propose solutions based on the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence for data processing, where key parameters such as pH, turbidity, temperature, and Total Dissolved Solids (TDS). The study's results indicate that the implementation of smart systems provides effective solutions to address critical challenges related to water quality, including pollution, real-time monitoring, and efficient water resource management. The analysis in this study focuses on water quality parameters, adopted smart systems, methods for establishing water quality standards, and the standards applied in the reviewed literature. The utilization of smart systems in water quality monitoring demonstrates significant potential for effectively detecting, analyzing, and responding to changes in water quality through the automation of sensor usage, control systems, data processing, data storage, and user interfaces.

Keywords: *IoT, Water Quality, AMDK Plant, Smart Systems*

Abstrak - Penelitian ini merupakan kajian awal yang mendalam terhadap literatur ilmiah yang membahas pemanfaatan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air, dengan fokus pada konteks pembangunan pabrik Air Minum Dalam Kemasan (AMDK). Melalui tinjauan berbagai jurnal, penelitian ini menyelidiki berbagai metode dan teknologi yang digunakan dalam pemantauan serta pengendalian parameter kritis air. Beberapa penelitian menawarkan solusi berbasis *Internet of Things (IoT)* dan kecerdasan buatan untuk pengolahan data, dengan parameter utama seperti pH, kekeruhan, suhu, dan *Total Dissolved Solids (TDS)*. Hasil kajian menunjukkan bahwa implementasi sistem cerdas memberikan solusi yang efektif dalam mengatasi tantangan kritis terkait kualitas air, seperti pencemaran, pemantauan *real-time*, dan pengelolaan sumber daya air yang efisien. Analisis dalam kajian ini terfokus pada parameter kualitas air, sistem cerdas yang diadopsi, metode penetapan standar kualitas air, serta standar kualitas air yang diterapkan dalam literatur yang ditinjau. Penggunaan sistem cerdas pada pemantauan kualitas air menunjukkan potensi besar dalam mendeteksi, menganalisis, dan merespons perubahan kualitas air secara efektif melalui otomatisasi penggunaan sensor, sistem kontrol, pengolahan data, penyimpanan data, serta antarmuka pengguna.

Kata kunci: *IoT, Kualitas Air, Pabrik AMDK, Sistem Cerdas*

I. Pendahuluan

Pada tahun 2021, hasil perhitungan Indeks Kualitas Air di Indonesia menunjukkan angka 52,82, mengindikasikan penurunan dibandingkan tahun sebelumnya sebesar 53,53 [1]. Kualitas air yang terus menurun merupakan tantangan serius yang dapat membawa dampak negatif terhadap kesehatan manusia, termasuk risiko penyakit kulit, keracunan, dan gangguan dalam rantai makanan suatu ekosistem [2], [3]. Faktor-faktor seperti kurangnya kesadaran masyarakat, keterbatasan anggaran pembangunan sistem pengolahan limbah air, dan lemahnya penegakan hukum terkait pembuangan limbah menjadi penyebab utama menurunnya kualitas air permukaan [1].

Metode pemantauan kualitas air tradisional seringkali terkendala oleh pengambilan sampel air dan pengujian secara manual di laboratorium, sehingga memakan waktu, mahal dan tidak memberikan informasi secara *real-time* [4]. Keterbatasan data dan jumlah titik pemantauan juga sering dialami [5]. Dalam merespons tantangan ini, pengembangan sistem cerdas untuk memantau kualitas air menjadi solusi yang menjanjikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi sensor dapat menjadi solusi potensial. Namun, hambatan seperti ukuran yang besar dan biaya yang tinggi masih perlu diatasi.

Sejalan dengan itu, teknologi sensor untuk pemantauan kualitas air telah mengalami perkembangan signifikan, tetapi masih terdapat kesenjangan dalam pengumpulan dan analisis data [6]. Pada konteks lain, pemantauan kualitas air sangat penting untuk menjaga ekosistem akuakultur. Implementasi teknologi seperti *Internet of Things (IoT)*, kecerdasan buatan, dan analisis data telah meningkatkan sistem akuakultur menjadi sistem cerdas [7]. Selain itu, organisasi internasional seperti PBB dan UNESCO telah menggunakan *IoT* untuk mengatasi masalah ketersediaan sumber daya hidrologi planet. Kombinasi *IoT* dengan *big data*, kecerdasan buatan serta *machine learning* menjanjikan solusi untuk memonitor kualitas air [8].

Pemanfaatan jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Networks*) juga telah diungkapkan sebagai solusi yang superior dibandingkan metode pemantauan konvensional. Kecepatan tanggapan yang tinggi, biaya yang efektif, dan pengukuran yang dapat diandalkan menjadikan jaringan sensor nirkabel sebagai alternatif yang efisien [5]. Tidak hanya relevan untuk air permukaan, pemantauan kualitas air juga penting untuk air tanah. Pemantauan *online* secara *real-time* dan analisis data

canggih dapat meningkatkan pemahaman terhadap kualitas air tanah [9]. Dalam distribusi air, sistem cerdas dengan sensor pintar dapat membantu menghemat biaya operasional dan meningkatkan keamanan pasokan air minum [10]. Penelitian lebih lanjut terhadap teknologi sensor untuk pemantauan kualitas air dapat membuka potensi baru dalam mendeteksi perubahan parameter kualitas air [11].

Pembahasan pada penelitian ini mencakup berbagai aspek sistem cerdas untuk pemantauan kualitas air, kami menganalisis berbagai pendekatan, teknologi, dan aplikasi yang dikembangkan oleh peneliti sebelumnya untuk meningkatkan efektivitas pemantauan kualitas air. Dalam konteks ini, kajian awal pemanfaatan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air menjadi langkah krusial, terutama dalam perspektif pembangunan pabrik Air Minum Dalam Kemasan (AMDK).

Tujuan dari literatur *review* ini adalah untuk mengevaluasi dan menyajikan perkembangan terkini dalam pemanfaatan sistem cerdas untuk *monitoring* kualitas air, khususnya dalam merealisasikan sistem informasi pengambilan dan pengolahan data untuk setiap parameter kualitas air. Pemahaman yang lebih baik tentang penggunaan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pengembangan sistem cerdas yang lebih efektif di masa depan, terutama dalam konteks pembangunan pabrik AMDK.

II. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan literatur atau kajian literatur (*literature review*) dengan metode *Systematic Literature Review (SLR)*. *SLR* adalah metode penelitian yang dirancang untuk mengumpulkan, meninjau, dan menganalisis secara kritis literatur yang relevan dengan topik penelitian tertentu. Sedangkan tujuan utama penggunaan metode *SLR* pada penelitian ini adalah mengumpulkan, mengevaluasi, meninjau, dan menganalisis kritis gagasan, pengetahuan, dan temuan yang terdapat pada literatur akademik terpilih yang berkaitan dengan pemanfaatan sistem cerdas dalam *monitoring* kualitas air. Metode *SLR* juga membantu menyusun dan menyajikan informasi dari berbagai sumber jurnal secara terstruktur [12], [13].

A. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat sekunder, berasal dari artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam suatu *database* akademis. Dalam penelitian ini, dilakukan pengumpulan jurnal dari tiga sumber utama, yaitu ScienceDirect, IEEE Xplore, dan GoogleScholar, dengan kata kunci "*water quality monitoring*" dan "*monitoring kualitas air*".

Tabel 1. Sumber Pencarian Jurnal.

No	Sumber	Total Pencarian
1	ScienceDirect	790043
2	IEEE Xplore	3888
3	GoogleScholar	62400

Pemilihan ScienceDirect, IEEE Xplore, dan Google Scholar sebagai sumber *database* untuk pengumpulan jurnal disebabkan oleh beberapa pertimbangan. Terutama kredibilitas dan kualitas ScienceDirect dan IEEE Xplore sebagai sumber informasi terpercaya dalam penelitian akademis dan teknis sudah teruji. Keduanya sering memberikan akses ke jurnal berlangganan dan menawarkan dukungan institusional. Sementara itu, Google Scholar, dengan akses gratisnya, memudahkan peneliti untuk menelusuri literatur ilmiah tanpa batasan langganan.

B. Seleksi Kriteria Jurnal

Kriteria seleksi jurnal melibatkan pertimbangan terhadap relevansi, metodologi dan fokus penelitian pada sistem pengolahan air khususnya pada pemanfaatan sistem cerdas dalam *monitoring* kualitas air. Dimana terdapat ketersediaan informasi tentang sistem cerdas sebagai alat ukur kualitas air, sistem cerdas sebagai pengolah data kualitas air atau sistem cerdas sebagai media informasi tentang kualitas air. Pemilihan jurnal juga dilakukan dengan menilai setiap jurnal berdasarkan rentang tahun publikasi 2015-2023, penggunaan Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris, jenis artikel penelitian asli dan ketersediaan dalam format *full text*. Sehingga jurnal yang tidak sesuai dengan topik atau tidak memenuhi standar kualitas tertentu telah dikecualikan dari penelitian ini.

C. Pengumpulan dan Pengelompokan

Proses pengumpulan literatur dilakukan secara sistematis menggunakan protokol *PRISMA (Preferred Reporting Item for Systematic Reviews and Meta-Analyses)*. Tahapan ini melibatkan definisi kriteria kelayakan literatur, penentuan sumber informasi, seleksi literatur dengan kata kunci, pengumpulan data secara manual, dan pemilihan item data dari jurnal yang terpilih.

Dari total hasil pencarian yang disajikan pada tabel 1, dipilih 35 jurnal yang dianggap relevan dengan fokus penelitian dan sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. 35 jurnal ini terdiri atas 9 jurnal dari ScienceDirect, 20 jurnal dari IEEE Xplore, dan 6 jurnal dari GoogleScholar. Kemudian pengelompokan atau sintesis data dilakukan secara naratif dengan mengelompokkan data berdasarkan parameter, sistem cerdas, metode penetapan dan standar kualitas air yang digunakan.

Pendekatan naratif ini memungkinkan untuk melihat kesamaan dan perbedaan antar jurnal, serta mengidentifikasi pola-pola yang muncul dalam pemanfaatan sistem cerdas dalam *monitoring* kualitas air. Ringkasan jurnal disusun dengan mencakup informasi peneliti, judul penelitian dan temuan atau tinjauan yang akan dibahas pada jurnal terpilih.

D. Instrumen dan Proses Analisis

Pada tahapan ini, hasil literatur *review* yang telah dikumpulkan melalui metode *Systematic Literature Review (SLR)* akan dianalisis lebih lanjut untuk merinci

pemanfaatan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air, khususnya dalam konteks pembangunan pabrik AMDK. Fokus utama penelitian ini adalah mengidentifikasi gagasan, pengetahuan, dan temuan yang relevan dengan implementasi sistem cerdas pada berbagai aspek pemantauan kualitas air.

Penulis akan memaparkan temuan-temuan utama yang berkaitan dengan pemanfaatan sistem cerdas dalam mendukung proses pemantauan kualitas air, mencakup aspek-aspek seperti sensor fisik, kimia, biologis, serta integrasi teknologi *Internet of Things (IoT)*, *big data analytics*, dan *machine learning*. Analisis juga akan difokuskan pada penerapan teknologi sensor untuk pemantauan air permukaan dan tanah, serta dalam konteks distribusi air untuk pabrik AMDK.

Lebih lanjut, penelitian ini akan membahas perbandingan dan analisis terhadap sistem cerdas yang telah diimplementasikan dalam literatur terpilih. Dalam konteks pembangunan pabrik AMDK, informasi ini akan memberikan wawasan kritis terkait keefektifan dan keunggulan masing-masing sistem cerdas yang telah diusulkan atau diterapkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya.

Pendekatan naratif akan digunakan untuk menyusun informasi dari literatur *review* ini, memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana pemanfaatan sistem cerdas dapat menjadi landasan penting dalam pengembangan pabrik AMDK yang efisien dan sesuai dengan standar kualitas air. Kesimpulan pada bagian ini akan memberikan gambaran awal tentang arah dan implikasi pemanfaatan sistem cerdas dalam konteks pabrik AMDK yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

E. Konsep Rancangan Sistem Cerdas untuk Pemantauan Kualitas Air

Pemantauan kualitas air dalam konteks pembangunan pabrik AMDK memerlukan pendekatan yang terintegrasi dan cerdas. Rancangan sistem cerdas yang ada, diharapkan dapat memberikan solusi efektif dalam mendeteksi perubahan kualitas air secara dini, mengoptimalkan proses produksi, dan memastikan kepatuhan terhadap standar keamanan lingkungan. Pada dasarnya, sistem cerdas merujuk pada suatu sistem yang mampu belajar dan beradaptasi dari pengalaman serta dapat mengambil keputusan secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Dalam konteks pemantauan kualitas air, integrasi sistem cerdas dapat memberikan solusi efektif untuk mendeteksi dan mengatasi perubahan kualitas air yang dapat memengaruhi proses produksi AMDK [3], [8].

1. Sistem Akuisi Data

Inti dari sistem cerdas ini adalah penggunaan sensor yang ditempatkan pada titik-titik kunci dalam pabrik AMDK. Sensor-sensor ini akan mengukur berbagai parameter kualitas air, data yang dihasilkan

oleh sensor ini akan menjadi dasar bagi sistem untuk mengenali pola, tren, dan anomali yang mungkin terjadi selama proses produksi.

2. Sistem Kontrol

Sensor-sensor yang terdistribusi akan terhubung melalui jaringan sensor yang terkontrol. Sistem kontrol akan memastikan bahwa data dari semua sensor dikumpulkan secara teratur dan diteruskan ke sistem pengolahan data dengan efisien. Kontrol ini juga akan memastikan kehandalan jaringan sensor, mengidentifikasi dan mengatasi potensi kegagalan transmisi, serta menjaga ketersediaan data secara real-time.

3. Sistem Pengolahan Data dan Keputusan

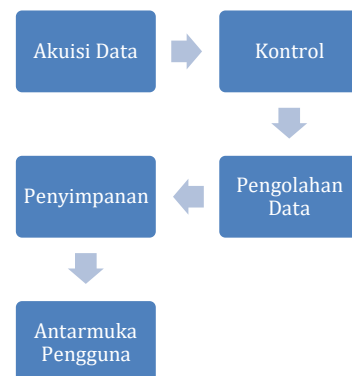
Data yang dikumpulkan dapat diolah menggunakan algoritma kecerdasan buatan, termasuk teknik *machine learning* dan statistika. Proses pengolahan data ini akan memungkinkan sistem untuk mengenali pola, memprediksi perubahan, dan mendeteksi anomali. Keputusan otomatis dapat dihasilkan berdasarkan analisis data, dan sistem dapat memicu respons langsung jika ditemukan potensi risiko terhadap kualitas air.

4. Sistem Penyimpanan

Data yang telah diolah akan disimpan dalam basis data yang aman. Penggunaan teknologi penyimpanan yang memadai akan memastikan integritas data dan memungkinkan akses cepat untuk keperluan analisis lebih lanjut. Keamanan data menjadi prioritas utama untuk melindungi informasi yang sangat penting bagi operasional pabrik AMDK.

5. Sistem Antarmuka Pengguna

Antarmuka pengguna dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan operator pabrik AMDK. Grafik visual, laporan kualitas air, dan notifikasi yang jelas dapat disajikan dalam antarmuka yang intuitif. Operator dapat dengan mudah memantau kondisi kualitas air, merespons peringatan, dan melakukan interaksi dengan sistem sesuai kebutuhan.



Gambar 1. Sistem Cerdas dalam Pemantauan Kualitas Air

III. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2 menunjukkan parameter kualitas air yang telah disusun berdasarkan hasil *review* dari 35 jurnal terkait. Tabel tersebut merupakan hasil sintesis dari informasi yang diperoleh dari setiap jurnal, yang kemudian dikelompokkan agar dapat memberikan gambaran komprehensif tentang parameter-parameter yang umumnya digunakan dalam memonitor kualitas air. Dengan merinci dan menggolongkan parameter tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pandangan yang lebih terperinci mengenai keragaman aspek yang dianggap signifikan dalam pemantauan kualitas air. Tabel parameter ini menjadi landasan untuk analisis dan pembahasan lebih lanjut terkait penerapan sistem cerdas dalam pengembangan metode *monitoring* kualitas air.

Tabel 2. Parameter Kualitas Air.

No	Parameter	Jurnal
1	pH	[3], [4], [5], [6], [7], [9], [11], [14], [21], [23], [25], [26], [27], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38].
2	Suhu	[3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [11], [14], [17], [18], [19], [23], [28], [30], [31], [33], [34], [36], [37], [38].
3	Turbiditas (Kekeruhan)	[3], [5], [6], [11], [14], [18], [20], [22], [23], [26], [27], [29], [30], [31], [34], [38].
4	Dissolved Oxygen (DO)	[5], [6], [7], [9], [11], [14], [17], [19], [20], [30], [31], [33], [36], [37], [38].
5	Konduktivitas (EC)	[3], [4], [5], [9], [11], [30], [31], [32], [33], [35], [36], [38].
6	Debit Air	[4], [8], [18], [22], [23], [24], [26], [28].
7	Total Dissolved Solids (TDS)	[20], [25], [27], [30], [34], [38].
8	Salinity	[5], [6], [7], [9], [14], [37].
9	Oxidation Reduction Potential (ORP)	[4], [11], [30], [38].
10	Klorofil-a (Chl-a)	[14], [16], [20].
11	Radiasi Matahari	[14], [17].
12	Kelembaban	[3], [5].
13	Tekanan air	[10], [19].
14	Karbon Dioksida	[3].
15	Potensial Redoks	[9].
16	Kecepatan Angin	[14].
17	Kedalaman	[14].
18	Fluorescence Index	[15].
19	Biological Index	[15].
20	Total Suspended Solids (TSS)	[20].
21	Logam Berat	[6].
22	Waktu tempuh suara	[26].
23	Oil	[32].
24	Suspended Solids	[32].
25	Waktu	[28].
26	Total Suspended Particles (SSP)	[35].

Dari hasil analisis literatur terdapat sejumlah pertimbangan dan pendekatan yang relevan dalam merencanakan pembangunan pabrik AMDK. Pemilihan parameter kualitas air menjadi langkah awal yang krusial, dan beberapa penelitian menekankan parameter tersebut untuk mendeteksi potensi polusi air secara dini [3], [11]. Adanya konsistensi dan keragaman parameter yang menjadi fokus utama, seperti pH, turbiditas, suhu, dan *dissolved oxygen*, mengindikasikan bahwa pabrik AMDK harus memonitor dan mengontrol parameter-parameter ini secara efektif.

Pemantauan suhu air, konduktivitas, pH, ORP, dan sensor aliran air [4] dengan pemilihan teknologi seperti LoRaWAN, Sigfox, dan NB-IoT [5] memberikan gambaran holistik tentang kualitas air dari aspek fisik dan kimia. Ini menunjukkan pentingnya melibatkan teknologi sensor yang beragam untuk memberikan pemahaman menyeluruh tentang kondisi air. Sebagai tambahan, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *IoT* bersama dengan *machine learning* atau *deep learning* dapat meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam *monitoring* kualitas air [7] [14] [31].

Dalam konteks pembangunan pabrik AMDK, penggunaan teknologi seperti Arduino, Node-MCU, dan ESP8266 dengan sensor-sensor cerdas seperti pH, kekeruhan, dan konduktivitas dapat menjadi solusi yang efisien dan terintegrasi [3] [7] [25] [27]. Penggunaan sensor-sensor inovatif seperti sensor turbiditas, sensor ultrasonik, dan sensor fluoresensi juga dapat memberikan dimensi tambahan dalam pemantauan kualitas air [15], [26], [28], [29]. Pemilihan teknologi dan sensor harus disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi spesifik pabrik AMDK, dengan tujuan memberikan solusi yang optimal dan responsif.

Dalam merencanakan pabrik AMDK, penting untuk menentukan tujuan spesifik, seperti pemantauan kualitas air mentah, irigasi, atau konsumsi manusia [8], [35]. Pemilihan parameter tertentu seperti pH, turbiditas, dan kekeruhan juga perlu diperhatikan sesuai dengan kebutuhan dan standar yang berlaku [21], [22], [29]. Beberapa penelitian menunjukkan perhatian khusus pada aspek keselamatan dan kesehatan, dengan fokus pada parameter kritis seperti TDS dan pH [25], [31]. Keseluruhan, perencanaan pembangunan pabrik AMDK harus mempertimbangkan tujuan spesifik penggunaan air dan memilih parameter yang sesuai.

A. Pemilihan Parameter Kualitas Air

Terdapat konsistensi dan keragaman dalam pemilihan parameter kualitas air. Misalnya, pH, turbiditas, suhu, dan *dissolved oxygen* seringkali menjadi fokus utama [3], [11]. Ini mencerminkan upaya untuk mencakup aspek fisik, kimia, dan mikrobiologi dalam pemantauan. Beberapa penelitian menerapkan pendekatan holistik dengan melibatkan serangkaian parameter, seperti suhu, konduktivitas, pH, ORP, dan *dissolved oxygen* [4], [7], [15], [20], [30]. Pendekatan ini memberikan gambaran

menyeluruh tentang kondisi air dari berbagai aspek. Penggunaan teknologi seperti LoRaWAN, GNSS, dan drone memengaruhi pemilihan parameter. Penelitian menggunakan teknologi ini menekankan efisiensi pemantauan [5], [19], [36]. Pengaruh teknologi tersebut menunjukkan bahwa pemantauan tidak hanya mencakup parameter klasik tetapi juga teknologi canggih.

B. Teknologi yang Digunakan

Sistem cerdas cenderung menggunakan *Internet of Things (IoT)* sebagai kerangka kerja utama. Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino, Node-MCU, dan ESP8266 bersama dengan sensor-sensor cerdas seperti pH, kekeruhan, dan konduktivitas umum ditemukan [3], [4], [7], [9], [11]. Ini menunjukkan tren penggunaan *IoT* sebagai solusi *monitoring*. Terdapat variasi dalam teknologi sensor, mencakup sensor turbiditas, ultrasonik, dan fluoresensi [15], [26], [28], [29], [31]. Penggunaan teknologi sensor yang inovatif menunjukkan adaptasi terhadap perkembangan teknologi untuk meningkatkan akurasi dan ketepatan pengukuran. Beberapa penelitian mengintegrasikan kecerdasan buatan (*AI*) dan teknologi *deep learning* untuk analisis data dan prediksi kualitas air [3], [7], [14], [16], [31]. Ini menunjukkan upaya untuk meningkatkan kemampuan analisis dan prediksi dalam sistem *monitoring*.

C. Aplikasi Sistem Monitoring Kualitas Air

Beberapa penelitian berfokus pada parameter yang relevan untuk air di rumah sakit, seperti TDS dan pH [25]. *Monitoring* ini penting untuk memastikan air memenuhi standar kesehatan dan kebersihan yang diperlukan di lingkungan kesehatan. Beberapa penelitian fokus pada parameter yang relevan untuk budidaya udang, seperti oksigen terlarut, pH, salinitas, dan suhu [37]. Ini menunjukkan bahwa aplikasi *monitoring* kualitas air dapat sangat bervariasi tergantung pada konteks dan tujuan. Penelitian khusus pada *monitoring* air tambang mencakup parameter seperti EC, pH, oil, suspended solids, dan level air [32]. Dalam konteks ini, *monitoring* air bertujuan untuk mengelola dampak lingkungan dan keberlanjutan operasi tambang.

D. Metode Pengolahan Data dan Penetapan Standar Kualitas Air

Banyak penelitian menggunakan metode pemodelan statistik seperti *Random Forest*, *Support Vector Machine*, dan *Logistic Regression* untuk pengolahan data [35]. Pemilihan metode ini menunjukkan kecenderungan menuju pendekatan statistik untuk mengevaluasi dan memproses data. Terdapat variasi dalam penerapan standar, termasuk fisikokimia, hidrologi, analisis isotop air stabil, dan sekuensing amplicon 16S rRNA [9], [16], [29]. Penerapan standar yang beragam mencerminkan kompleksitas kualitas air dan kebutuhan untuk mempertimbangkan berbagai

aspek. Beberapa penelitian memilih pendekatan kombinasi, seperti menggabungkan *IoT* dengan *machine learning* atau *deep learning* [7], [14], [31]. Pendekatan ini bertujuan untuk memanfaatkan keunggulan masing-masing teknologi untuk hasil yang lebih baik.

E. Evaluasi Metrik dan Validasi Metodologi

Beberapa penelitian mencakup evaluasi metrik seperti persentase *error* dan akurasi untuk mengukur kinerja sistem *monitoring* [24]. Ini menunjukkan kebutuhan untuk menilai sejauh mana sistem cerdas dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Penelitian juga mencakup validasi metodologi, termasuk penggunaan metode seperti *fuzzy logic* untuk mengukur kualitas air berdasarkan parameter tertentu [37]. Validasi ini penting untuk memastikan bahwa metodologi yang digunakan dapat memberikan hasil yang sah. Beberapa penelitian memfokuskan pada pengukuran debit air sebagai parameter kritis, terutama dalam konteks sistem distribusi air [10]. Pengukuran ini diperlukan untuk memahami transien tekanan hidrolik dan mencegah masalah dalam sistem distribusi air.

F. Tujuan Penelitian untuk Kualitas Air

Setiap penelitian memiliki tujuan spesifik, mencakup pemantauan kualitas air mentah, irigasi, atau konsumsi manusia [8], [35]. Ini mencerminkan beragamnya aplikasi dan kebutuhan pemantauan. Aspek keselamatan dan kesehatan diperhatikan dengan pemilihan parameter kritis seperti TDS dan pH [25], [31]. Fokus ini menunjukkan bahwa beberapa penelitian lebih menekankan pada pemantauan kualitas air untuk keperluan kesehatan manusia. Diversifikasi pengukuran terlihat dalam penelitian yang mencakup *monitoring* hidrolik, klorofil-a, dan parameter fisikokimia [10], [14], [32]. Diversifikasi ini mencerminkan kebutuhan untuk memantau aspek kualitas air yang beragam.

G. Penggabungan Teknologi Cerdas

Beberapa penelitian menggabungkan teknologi *IoT* dengan *machine learning* atau *deep learning* [7], [14], [31]. Penggabungan ini mencerminkan upaya untuk meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam *monitoring* kualitas air. Penggabungan teknologi bertujuan untuk meningkatkan keakuratan dan efisiensi dalam pemantauan kualitas air. Ini membuktikan bahwa pendekatan gabungan dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam analisis data dan prediksi.

H. Pemilihan Standar dan Peraturan

Pemilihan standar kualitas air bervariasi, mencakup standar lokal, internasional, dan gabungan [3], [9], [15]. Variasi ini mencerminkan keragaman persyaratan dan batasan yang harus dipertimbangkan. Beberapa penelitian menggabungkan beberapa standar dari sumber yang

berbeda, menunjukkan pendekatan yang komprehensif [20]. Penggabungan ini dapat memberikan gambaran kualitas air yang lebih lengkap dan akurat. Penggunaan standar kualitas air domestik dan standar lokal menunjukkan upaya menjaga kualitas air di tingkat lokal [22]. Pentingnya standar lokal menekankan relevansi dan adaptasi terhadap kondisi spesifik wilayah.

I. Rekomendasi Perancangan Pabrik AMDK

Berdasarkan analisis hasil literatur *review*, bahwa pembangunan pabrik AMDK yang efektif memerlukan pemahaman mendalam terhadap pemilihan parameter kualitas air, penerapan teknologi sensor dan sistem cerdas, serta pematuhan terhadap standar kualitas air yang berlaku. Sebagai hasilnya, kami menyusun sejumlah rekomendasi pengembangan yang ditujukan untuk mendukung perancangan pabrik AMDK yang optimal:

1. Rekomendasi pertama untuk pengembangan pabrik AMDK adalah pemilihan parameter yang bijak. Pemantauan kualitas air yang efektif memerlukan pemilihan parameter yang paling relevan dengan karakteristik air dan kebutuhan penggunaan akhirnya. Oleh karena itu, pabrik AMDK disarankan untuk melakukan evaluasi menyeluruh terhadap sifat fisik, kimia, dan biologis air yang akan diolah. Parameter-parameter seperti pH, turbiditas, suhu, dan *dissolved oxygen* dapat dianggap sebagai fokus utama, sesuai dengan temuan literatur *review*. Namun, disarankan juga untuk mempertimbangkan karakteristik khusus air di lokasi pembangunan, seperti keberadaan logam berat atau zat-zat kimia tertentu yang mungkin memerlukan perhatian khusus.
2. Rekomendasi selanjutnya adalah mengenai integrasi teknologi sensor yang tepat. Dalam pengembangan pabrik AMDK, pemilihan teknologi sensor harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dan karakteristik air yang diolah. Penelitian literatur menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *Internet of Things (IoT)* dengan mikrokontroler seperti Arduino, Node-MCU, dan ESP8266 memberikan kerangka kerja yang efisien dan fleksibel. Namun, pabrik AMDK disarankan untuk tidak hanya mengikuti tren umum, tetapi juga mempertimbangkan teknologi sensor inovatif seperti sensor turbiditas, sensor ultrasonik, dan sensor fluoresensi. Pemilihan teknologi yang sesuai dengan karakteristik air dan tujuan pemantauan dapat meningkatkan akurasi dan ketepatan waktu dalam mendeteksi perubahan kualitas air.
3. Rekomendasi ketiga adalah pentingnya pematuhan terhadap standar kualitas air yang berlaku. Pabrik AMDK perlu memahami dan mengadopsi standar yang ditetapkan oleh otoritas kesehatan dan lingkungan di tingkat nasional atau lokal. Evaluasi

standar ini menjadi kunci untuk memastikan bahwa air yang dihasilkan memenuhi persyaratan kesehatan dan kebersihan yang diperlukan. Rekomendasi ini juga mencakup kepatuhan terhadap regulasi lingkungan yang dapat berdampak pada operasional pabrik dan menjaga keberlanjutan usaha. Dengan demikian, pabrik AMDK disarankan untuk berkolaborasi dengan otoritas setempat dan memahami perubahan regulasi yang mungkin terjadi seiring waktu.

4. Rekomendasi terakhir adalah adopsi inovasi dalam evaluasi kualitas air. Pabrik AMDK dapat mempertimbangkan penggunaan metode evaluasi inovatif seperti Indeks Kualitas Air (*WQI*) atau teknologi kecerdasan buatan (*AI*) untuk meningkatkan pemahaman tentang kondisi kualitas air. Penerapan teknologi kecerdasan buatan dapat membantu dalam analisis data yang kompleks dan prediksi perubahan kualitas air. Sementara itu, penggunaan *WQI* dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kualitas air secara keseluruhan. Keberlanjutan penggunaan teknologi inovatif ini harus dipertimbangkan dalam rencana jangka panjang untuk memastikan bahwa pabrik AMDK tetap responsif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.
5. Selain rekomendasi spesifik di atas, kami juga mendorong pengembangan kolaboratif dan riset lanjutan dalam bidang ini. Kolaborasi dengan institusi riset, pemerintah, dan industri dapat memberikan sumber daya dan perspektif tambahan untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan pabrik AMDK. Riset lanjutan juga diperlukan untuk menggali potensi teknologi terbaru dan menyesuaikannya dengan kebutuhan spesifik pabrik AMDK.
6. Kami juga merekomendasikan penerapan sistem *monitoring* terintegrasi. Pabrik AMDK dapat mempertimbangkan untuk mengembangkan sistem yang dapat terhubung secara langsung dengan pusat kontrol, memungkinkan pengambilan keputusan yang cepat dan responsif terhadap perubahan kondisi air. Integrasi dengan teknologi informasi dan komunikasi modern dapat memberikan keuntungan tambahan dalam manajemen data, pelaporan, dan analisis.

J. Dampak terhadap Pembangunan Berkelanjutan

Pemberdayaan Keberlanjutan Air Bersih akan menjadi fokus utama dalam mengintegrasikan sistem cerdas untuk *monitoring* kualitas air dalam konteks pembangunan pabrik AMDK. Melalui integrasi sistem cerdas, pabrik dapat memastikan bahwa air yang digunakan dalam proses produksi memenuhi standar kualitas tertinggi. Pengelolaan yang lebih efektif menjadi hasil langsung dari implementasi

ini, dengan data *real-time* memungkinkan respons cepat terhadap perubahan kondisi. Keberlanjutan air bersih tidak hanya tercapai melalui pengelolaan yang optimal tetapi juga melalui pengambilan keputusan yang cepat dan tepat.

Kontribusi pada Inisiatif Lingkungan terlihat dalam pelestarian ekosistem air dan perlindungan sumber daya alam. Pabrik AMDK dapat lebih baik memahami dampak operasionalnya pada ekosistem sekitar melalui pemantauan parameter seperti suhu, kekeruhan, dan kadar oksigen terlarut. Selain itu, integrasi teknologi canggih membantu melindungi sumber daya alam dengan mendeteksi potensi polusi atau perubahan signifikan dalam kualitas air.

Penekanan pada Tanggung Jawab Sosial tercermin dalam pengelolaan yang bertanggung jawab dan pemberdayaan komunitas lokal. Pabrik AMDK yang berinvestasi dalam teknologi ini menunjukkan komitmen terhadap tanggung jawab sosial perusahaan terhadap lingkungan dan masyarakat. Pemberdayaan komunitas lokal melalui keberlanjutan sumber daya air menciptakan dampak positif pada kesejahteraan mereka.

Pentingnya Keterlibatan Pemangku Kepentingan melibatkan dukungan masyarakat, keterlibatan pemerintah, dan kolaborasi dengan organisasi lingkungan. Kesuksesan implementasi sistem cerdas tergantung pada dukungan pemangku kepentingan, termasuk masyarakat lokal, pemerintah, dan organisasi lingkungan. Dukungan ini menciptakan lingkungan yang kondusif untuk penerapan teknologi ini dan menciptakan kerangka kerja yang diperlukan untuk pertumbuhan yang berkelanjutan.

IV. Kesimpulan

Penelitian ini menyoroti pentingnya dan implikasi pemanfaatan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air dalam konteks pembangunan pabrik AMDK. Penelitian ini menegaskan bahwa pemanfaatan sistem cerdas memiliki implikasi signifikan dalam pemantauan kualitas air, khususnya dalam konteks pabrik AMDK. Hal ini diperkuat oleh tinjauan literatur yang menyajikan perspektif mendalam tentang tantangan dan peluang dalam mengimplementasikan teknologi ini. Dalam kesimpulan ini, kami akan merinci beberapa point penting yang muncul dari hasil penelitian ini, antara lain:

1. Pabrik AMDK dapat mengambil manfaat maksimal dari sistem cerdas untuk memastikan air yang dihasilkan memenuhi standar kualitas tertinggi. Fokus pada parameter kritis seperti pH, kekeruhan, suhu, dan TDS menunjukkan bahwa implementasi sistem cerdas dapat memberikan solusi efektif terhadap tantangan kritis terkait kualitas air, termasuk pencemaran, pemantauan *real-time*, dan pengelolaan sumber daya air yang efisien.
2. Trend penggunaan teknologi sensor cerdas didukung oleh kerangka kerja *Internet of Things (IoT)*, penggunaan mikrokontroler serta penerapan kecerdasan buatan dan teknologi *deep learning* muncul sebagai pendekatan untuk meningkatkan kemampuan analisis dan prediksi kualitas air dalam sistem *monitoring*.

3. Pengolahan data menggunakan metode pemodelan statistik, seperti *Random Forest* dan *Logistic Regression*, serta variasi dalam penerapan standar kualitas air mencerminkan kompleksitas dan kebutuhan untuk mempertimbangkan berbagai aspek. Evaluasi metrik dan validasi metodologi menjadi penting untuk menilai kinerja sistem *monitoring* dan memastikan keabsahan hasil.
4. Penggunaan sistem cerdas pada pemantauan kualitas air menunjukkan potensi besar dalam mendeteksi, menganalisis, dan merespons perubahan kualitas air secara efektif melalui otomatisasi penggunaan sensor, sistem kontrol, pengolahan data, penyimpanan data, serta antarmuka pengguna.
5. Dampak pemanfaatan sistem cerdas pada pembangunan berkelanjutan sangat signifikan. Ini mencakup pemberdayaan air bersih, kontribusi pada inisiatif lingkungan, dan keterlibatan sosial. Penerapan teknologi ini bukan hanya memajukan efisiensi operasional, tetapi juga menciptakan dampak positif dalam pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan.
6. Pabrik AMDK yang mengadopsi sistem cerdas tidak hanya mengoptimalkan operasionalnya tetapi juga menjadi pelaku positif dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan. Hal ini mencerminkan peran strategis teknologi dalam menjawab tantangan lingkungan global dan membentuk arah positif dalam pengelolaan sumber daya air.

Secara keseluruhan, literatur review menyoroti potensi besar dan beragamnya pemanfaatan sistem cerdas dalam pemantauan kualitas air di pabrik AMDK. Implementasi yang bijak dari rekomendasi pengembangan dapat memberikan kontribusi positif pada efisiensi operasional, keberlanjutan, dan tanggung jawab sosial pabrik AMDK. Dukungan kolaboratif, riset lanjutan, dan adaptasi terhadap inovasi teknologi menjadi kunci dalam menghadapi tantangan dan memaksimalkan manfaat dari penerapan sistem cerdas untuk pemantauan kualitas air.

V. Daftar Pustaka

- [1] "Status Lingkungan Hidup Indonesia." Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Diakses: 10 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: https://www.menlhk.go.id/cadmin/uploads/SLHI_2022
- [2] "Permenkes Nomor 2 Tahun 2023." Badan Pemeriksa Keuangan Republik Indonesia. Diakses: 10 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/245563/permenkes-no-2-tahun-2023>
- [3] V. Lakshmikantha, A. Hiriyannagowda, A. Manjunath, A. Patted, J. Basavaiah, dan A. A. Anthony, "IoT Based Smart Water Quality Monitoring System," *Glob. Transit. Proc.*, vol. 2, no. 2, hlm. 181–186, Nov 2021.
- [4] N. A. Cloete, R. Malekian, dan L. Nair, "Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring," *IEEE Access*, vol. 4, hlm. 3975–3990, 2016.

- [5] G. A. López-Ramírez dan A. Aragón-Zavala, "Wireless Sensor Networks for Water Quality Monitoring: A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 11, hlm. 95120–95142, 2023.
- [6] L. Manjakkal dkk., "Connected Sensors, Innovative Sensor Deployment, and Intelligent Data Analysis for Online Water Quality Monitoring," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 18, hlm. 13805–13824, Sep 2021.
- [7] K. P. Rasheed Abdul Haq dan V. P. Harigovindan, "Water Quality Prediction for Smart Aquaculture Using Hybrid Deep Learning Models," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 60078–60098, 2022.
- [8] A. C. D. S. Júnior, R. Munoz, M. D. L. Á. Quezada, A. V. L. Neto, M. M. Hassan, dan V. H. C. D. Albuquerque, "Internet of Water Things: A Remote Raw Water Monitoring and Control System," *IEEE Access*, vol. 9, hlm. 35790–35800, 2021.
- [9] K. J. Lyons dkk., "Monitoring groundwater quality with real-time data, stable water isotopes, and microbial community analysis: A comparison with conventional methods," *Sci. Total Environ.*, vol. 864, hlm. 161199, Mar 2023.
- [10] M. I. M. Mohamed, W. Wu, dan M. Moniri, "Data Reduction Methods for Wireless Smart Sensors in Monitoring Water Distribution Systems," *Procedia Eng.*, vol. 70, hlm. 1166–1172, Jan 2014.
- [11] M. Pule, A. Yahya, dan J. Chuma, "Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 15, no. 6, hlm. 562–570, Des 2017.
- [12] S. Saputra, "Korelasi Panjang Tulang Ekstremitas Dengan Tinggi Badan Dalam Identifikasi Forensik," *Indones. J. Leg. Forensic Sci. IJLFS*, vol. 11, no. 1, hlm. 28–39, Jun 2021.
- [13] T. Hidayat, "Internet of Things Smart Agriculture on ZigBee: A Systematic Review," *InComTech J. Telekomun. Dan Komput.*, vol. 8, no. 1, hlm. 75–86, Des 2017.
- [14] N. A. P. Rostam, N. H. A. H. Malim, R. Abdullah, A. L. Ahmad, B. S. Ooi, dan D. J. C. Chan, "A Complete Proposed Framework for Coastal Water Quality Monitoring System With Algae Predictive Model," *IEEE Access*, vol. 9, hlm. 108249–108265, 2021.
- [15] M. Brandl, T. Posniecek, R. Preuer, dan G. Weigelhofer, "A Portable Sensor System for Measurement of Fluorescence Indices of Water Samples," *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 16, hlm. 9132–9139, Agu 2020.
- [16] Z. Sun, N.-B. Chang, C.-F. Chen, C. Mostafiz, dan W. Gao, "Ensemble Learning via Higher Order Singular Value Decomposition for Integrating Data and Classifier Fusion in Water Quality Monitoring," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 14, hlm. 3345–3360, 2021.
- [17] S. Liu, L. Xu, Q. Li, X. Zhao, dan D. Li, "Fault Diagnosis of Water Quality Monitoring Devices Based on Multiclass Support Vector Machines and Rule-Based Decision Trees," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 22184–22195, 2018.
- [18] K. Chen, X. Wang, dan C. Wang, "High-Precision Monitoring System for Turbidity of Drinking Water by Using Scattering Method," *IEEE Sens. J.*, vol. 23, no. 23, hlm. 29525–29535, Des 2023.
- [19] J. Mendoza-Chok, J. C. C. Luque, N. F. Salas-Cueva, D. Yanyachi, dan P. R. Yanyachi, "Hybrid Control Architecture of an Unmanned Surface Vehicle Used for Water Quality Monitoring," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 112789–112798, 2022.
- [20] G. Hassan, M. E. Goher, M. E. Shaheen, dan S. A. Taie, "Hybrid Predictive Model for Water Quality Monitoring Based on Sentinel-2A L1C Data," *IEEE Access*, vol. 9, hlm. 65730–65749, 2021.
- [21] H. S. Kuncoro, "Computational pH Level of Liquid based on IoT to Support Industry 4.0," *J. Teknol. Proses Dan Inov. Ind.*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, Mar 2021.
- [22] D. Sasmoko, H. Rasminto, dan A. Rahmadani, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kekeruhan Air Berbasis IoT pada Tandon Air Warga," *J. Inform. Upgris*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Jul 2019, Diakses: 14 Desember 2023.
- [23] S. Pasika dan S. T. Gandla, "Smart Water Quality Monitoring System With Cost-Effective Using IoT," *Heliyon*, vol. 6, no. 7, hlm. e04096, Jul 2020.
- [24] N. Rahmah, M. Farhan, A. Hafid, dan R. Ridwang, "Simulasi Pengontrolan dan Pengukuran Jumlah Debit Air Berbasis Programmable Logic Controller," *VERTEX ELEKTRO*, vol. 15, no. 2, Art. no. 2, Agu 2023.
- [25] H. Rosidin, I. A. Mukaromah, dan U. Ghoni, "Otomatisasi Pengukuran TDS Air, pH Air di Tandon Air Rumah Sakit Umum Siti Asiyah Bumiayu Berbasis IoT (Internet of Things)," *J. Tek. Inform. DAN Sist. Inf.*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Jun 2022.
- [26] S. C. Olisa, C. N. Asiegbu, J. E. Olisa, B. O. Ekengwu, A. A. Shittu, dan M. C. Eze, "Smart Two-Tank Water Quality and Level Detection System Via IoT," *Heliyon*, vol. 7, no. 8, hlm. e07651, Agu 2021.
- [27] V. Nathasya, S. Suroso, dan I. Hadi, "Utilization of IoT Technology based on Sensors and Arduino for Observation of Industrial Liquid Waste Pollutants in Environmental Water," *SISTEMASI*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Jan 2023.
- [28] N. Nasruloh dan A. Baswara, "Water Level Control and Monitoring Water Temperature in Open Evaporation Pot," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 3, hlm. 149–162, Okt 2021.
- [29] Y. Wang, S. M. S. M. Rajib, C. Collins, dan B. Grieve, "Low-Cost Turbidity Sensor for Low-Power Wireless Monitoring of Fresh-Water Courses," *IEEE Sens. J.*, vol. 18, no. 11, hlm. 4689–4696, Jun 2018.

-
- [30] J. Fonseca-Campos, I. Reyes-Ramirez, L. Guzman-Vargas, L. Fonseca-Ruiz, J. A. Mendoza-Perez, dan P. F. Rodriguez-Espinosa, "Multiparametric System for Measuring Physicochemical Variables Associated to Water Quality Based on the Arduino Platform," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 69700–69713, 2022.
- [31] Q. Quevy, M. Lamrini, M. Chkouri, G. Cornetta, A. Touhafi, dan A. Campo, "Open Sensing System for Long Term, Low Cost Water Quality Monitoring," *IEEE Open J. Ind. Electron. Soc.*, vol. 4, hlm. 27–41, 2023.
- [32] L. Bo, Y. Liu, Z. Zhang, D. Zhu, dan Y. Wang, "Research on an Online Monitoring System for Efficient and Accurate Monitoring of Mine Water," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 18743–18756, 2022.
- [33] K. Suresh dkk., "Simultaneous Detection of Multiple Surface Acoustic Wave Sensor Tags for Water Quality Monitoring Utilizing Cellular Code-Reuse Approach," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 16, hlm. 14385–14399, Agu 2022.
- [34] M. A. Rahu, A. F. Chandio, K. Aurangzeb, S. Karim, M. Alhussein, dan M. S. Anwar, "Toward Design of Internet of Things and Machine Learning-Enabled Frameworks for Analysis and Prediction of Water Quality," *IEEE Access*, vol. 11, hlm. 101055–101086, 2023.
- [35] O. O. Ajayi, A. B. Bagula, H. C. Maluleke, Z. Gaffoor, N. Jovanovic, dan K. C. Pietersen, "WaterNet: A Network for Monitoring and Assessing Water Quality for Drinking and Irrigation Purposes," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 48318–48337, 2022.
- [36] J. H. Ryu, "UAS-Based Real-Time Water Quality Monitoring, Sampling, and Visualization Platform (UASWQP)," *HardwareX*, vol. 11, hlm. e00277, Apr 2022.
- [37] A. G. Orozco-Lugo dkk., "Monitoring of Water Quality in a Shrimp Farm Using a FANET," *Internet Things*, vol. 18, hlm. 100170, Mei 2022.
- [38] I. A. Adeleke, N. I. Nwulu, dan O. A. Ogbolumani, "A Hybrid Machine Learning and Embedded IoT-Based Water Quality Monitoring System," *Internet Things*, vol. 22, hlm. 100774, Jul 2023.