

PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR BERBASIS IOT MENGGUNAKAN ALGORITMA NAIVE BAYES PADA SUNGAI CILIWUNG KALIMALANG JAKARTA TIMUR

IOT-BASED WATER POLLUTION CONTROL USING THE NAIVE BAYES ALGORITHM ON THE CILIWUNG RIVER, KALIMALANG, EAST JAKARTA

Dadang Iskandar Mulyana¹, Mesra Betty Yel², Alaqsha Gilang Imantara³

Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Ilmu Komputer Cipta Karya Informatika^{1,2,3}

albiyanardli@gmail.com

ABSTRACT

This study develops an Internet of Things (IoT)-based water quality monitoring system in the Cisindangbarang River, which flows through the Bogor City area. The system utilizes an Arduino ESP32 microcontroller and the Blynk platform to monitor water quality parameters, including temperature, pH, Total Dissolved Solids (TDS), and in real time. The collected data are then processed using the Naive Bayes algorithm. Sensor calibration was conducted to ensure measurement accuracy, and performance evaluation using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) showed good results, particularly for the pH and TDS sensors. Field testing was carried out under rainy and sunny weather conditions to assess measurement stability. The results indicate that TDS values were higher during sunny conditions, pH values were higher during rainy conditions, while temperature remained relatively stable. This system enables the community to independently monitor water quality through a mobile application and supports sustainable water resource management. The implementation demonstrates the potential of IoT technology to monitoring local environmental quality.

Keywords: IoT, ESP32, Wastewater Quality, TDS, pH, Blynk, Naive Bayes, Real-time Monitoring, Water Classification.

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things (IoT) di sungai Cisadane dan Ciliwung yg mengalir di wilayah Kota Bogor. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino ESP32 dan platform Blynk untuk memantau parameter suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS) secara real-time yang kemudian diolah hasilnya menggunakan algoritma Naives Bayes. Sensor-sensor dikalibrasi untuk memastikan akurasi dan evaluasi kinerja menggunakan Mean Absolute Percentage Error menunjukkan hasil baik, khususnya pada sensor pH dan TDS. Pengujian lapangan dilakukan pada kondisi cuaca hujan dan panas untuk menilai stabilitas pengukuran. Hasil menunjukkan nilai TDS lebih tinggi pada kondisi panas, pH lebih tinggi saat hujan, sedangkan suhu relatif stabil. Sistem ini memungkinkan masyarakat memantau kualitas air secara mandiri melalui aplikasi, serta mendukung pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan. Implementasi ini menunjukkan potensi teknologi IoT dalam meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat terhadap kualitas lingkungan lokal.

Kata Kunci: IoT, ESP32, Kualitas Air Limbah, TDS, pH, Blynk Naive Bayes, Monitoring Real-time, Klasifikasi Air.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya vital bagi manusia, makhluk hidup, dan keberlangsungan ekosistem. Kualitas air yang menurun akibat pencemaran dapat berdampak langsung pada kesehatan, lingkungan, serta aktivitas sosial-ekonomi masyarakat. Pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup

oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Pengertian ini menunjukkan bahwa pencemaran air terjadi ketika aktivitas manusia menghasilkan limbah yang melebihi ambang batas yang dapat diterima oleh lingkungan.

Permasalahan pencemaran air umumnya dipicu oleh limbah industri, pertanian, rumah tangga, serta aktivitas perkotaan yang terus meningkat. Badan

Pusat Statistik (BPS) pernah menyatakan bahwa lebih dari 70% sungai di kawasan perkotaan Indonesia berada pada status tercemar ringan hingga berat. Kondisi ini menegaskan perlunya sistem pemantauan kualitas air yang lebih efektif, real-time, dan mudah diakses.

Di sisi lain, perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah membuka peluang baru dalam sistem monitoring lingkungan. IoT memungkinkan perangkat sensor terhubung dan mengirimkan data kualitas air secara otomatis.. IoT adalah jaringan besar dari objek fisik yang mampu mengumpulkan dan bertukar data melalui internet tanpa interaksi manusia secara langsung. Dengan konsep ini, pemantauan kualitas air dapat dilakukan secara berkelanjutan dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Untuk meningkatkan akurasi deteksi pencemaran air, diperlukan algoritma klasifikasi yang sederhana namun efektif. Salah satu algoritma yang sering digunakan adalah Naive Bayes. Algoritma ini mampu mengklasifikasikan kondisi kualitas air berdasarkan parameter seperti pH, suhu, DO, TDS, dan lainnya, dengan tingkat efisiensi komputasi yang tinggi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, pengembangan Pengendalian Pencemaran Air Berbasis IoT Menggunakan Algoritma Naive Bayes menjadi relevan untuk menyediakan sistem pemantauan dan deteksi dini pencemaran air secara otomatis, cepat, dan akurat. Sistem ini diharapkan mampu membantu pemerintah, industri, maupun masyarakat dalam menjaga kualitas air dan mencegah pencemaran sejak dini.

METODOLOGI PENELITIAN

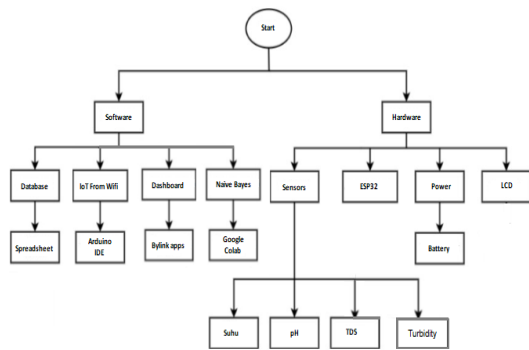
Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah pembuatan rancangan alat untuk memonitor kualitas air berupa perangkat keras seperti Laptop, Smartphone, Power (Power Bank), OLED SSD1306, Arduino ESP32, sensor pH, sensor Temperatur (Suhu), dan sensor TDS. Perangkat lunak yang digunakan

diantaranya Arduino IDE dan aplikasi Blynk. Database dari aplikasi Blynk digunakan untuk menyimpan data dan rekap informasi dari hasil monitoring kualitas air. Arduino IDE digunakan untuk pengkodean IoT untuk berinteraksi dengan koneksi Wi-Fi dan aplikasi seluler. Kemudian data diolah menggunakan algoritma Naives Bayes untuk menentukan kelas kualitas air berdasarkan parameter pH, suhu, dan TDS, sehingga sistem dapat mengidentifikasi apakah air berada pada kategori layak, tidak layak, atau dalam kondisi lainnya.

Penerapan metodologi dalam penelitian ini dilakukan melalui tahapan konfigurasi dan simulasi yang menggambarkan implementasi dengan pendekatan penelitian secara sistematis. Setiap tahapan dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pengendalian pencemaran air berbasis IoT berjalan sesuai tujuan penelitian, mulai dari pengumpulan data sensor kualitas air hingga proses klasifikasi menggunakan algoritma Naive Bayes. Adapun tahapan-tahapan dalam proses ini adalah sebagai berikut:

Perancangan Topologi Jaringan

Tahap pertama adalah merancang arsitektur sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT. Arsitektur ini menggambarkan kondisi lingkungan perairan pada umumnya, di mana terdapat beberapa titik pengukuran yang dilengkapi sensor kualitas air seperti pH, suhu, TDS dan . Setiap sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler sebagai pengolah awal data, kemudian data dikirimkan ke server secara real time melalui modul komunikasi nirkabel. Seluruh komponen sistem terhubung ke platform cloud sebagai pusat penyimpanan dan proses analitik. Perancangan ini memungkinkan simulasi dan implementasi nyata terhadap proses monitoring pencemaran air tanpa memerlukan pengukuran manual pada setiap titik secara langsung.



Gambar Rancangan Topologi

Flowchart dimulai dengan adanya empat sensor (suhu, TDS, pH dan) yang mendeteksi temperatur air, tingkat keasaman atau kebasaan air, kekeruhan dan mengukur jumlah partikel atau zat terlarut didalam air.

Rancangan Pengujian Alat

Rancangan pengujian alat dilakukan untuk memastikan bahwa setiap komponen yang diimplementasikan dalam sistem IoT dapat bekerja sesuai fungsi yang telah dirancang. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari pengujian modul perangkat keras, pengujian kode program, hingga integrasi sistem secara menyeluruh. Setiap tahapan pengujian memiliki tujuan tertentu untuk menjamin bahwa sistem mampu melakukan pembacaan sensor, pemrosesan data, dan pengiriman informasi secara akurat dan stabil. Adapun rincian pengujian fungsionalitas adalah sebagai berikut:

a. Pengujian Integrasi Board ESP32 dan Driver Port

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa board ESP32 dapat terdeteksi dengan baik oleh komputer dan dapat berkomunikasi melalui driver port (USB-to-UART). Pengujian dilakukan dengan memverifikasi bahwa port COM muncul di perangkat lunak Arduino IDE serta board dapat menerima dan menjalankan kode sederhana (misal: program Blink). Hasil pengujian ini memastikan bahwa komunikasi antara perangkat keras dan perangkat pemrogram berjalan normal sehingga proses upload program dapat dilakukan tanpa kendala.

b. Pengujian Coding dan Sensor (Suhu, TDS, pH dan)

Pengujian dilakukan untuk memverifikasi bahwa setiap sensor dapat membaca nilai fisik lingkungan secara akurat. Setiap sensor diuji satu per satu menggunakan kode sederhana untuk menampilkan output pada serial monitor. Parameter yang diuji meliputi:

- Sensor Suhu : pembacaan suhu dan konsistensi nilai.
- Sensor TDS: stabilitas nilai konduktivitas serta perubahan nilai saat sampel air berbeda digunakan.
- Sensor : kepekaan terhadap tingkat kekeruhan air (NTU).
- Sensor pH: akurasi nilai pH di rentang asam-basa.

Pengujian ini memastikan bahwa proses pembacaan data dari masing-masing sensor dapat berlangsung dengan benar sebelum digabungkan ke sistem utama.

c. Pengujian Coding dan Modul Clock RTC-DS3231

Pengujian modul RTC bertujuan untuk memastikan bahwa RTC-DS3231 mampu menyediakan data waktu (jam, menit, detik, tanggal) secara stabil dan akurat. Pengujian dilakukan dengan:

- Menyetel waktu pada modul RTC menggunakan Arduino IDE.
- Membaca output waktu melalui serial monitor.
- Memeriksa ketepatan waktu selama beberapa menit untuk memastikan tidak ada pergeseran (time drift).
- Hasil pengujian memastikan bahwa modul RTC dapat digunakan sebagai acuan waktu untuk penandaan data pengukuran (timestamp).

d. Pengujian Coding dan Modul LCD 20x4

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa modul LCD 20x4 dapat menampilkan karakter dengan benar. Tahapan pengujian meliputi:

- Menguji komunikasi I2C antara ESP32 dan LCD.
- Menampilkan karakter statis (teks uji coba).

- Memeriksa apakah seluruh baris dan kolom LCD berfungsi tanpa dead pixel.
 - Pengujian berhasil apabila teks dapat muncul jelas tanpa gangguan tampilan.
- e. Pengujian Coding Tampilan LCD (Progres 80%)
Pengujian ini merupakan kelanjutan dari pengujian sebelumnya, yaitu memastikan tampilan data sensor pada LCD sudah sesuai desain antarmuka. Parameter yang diuji:
- Format tulisan (layout data TDS, pH, suhu, kekeruhan).
 - Pembaruan nilai setiap beberapa detik (refresh rate).
 - Pembacaan real-time tanpa flicker (kedipan layar).
 - Progres 80% menunjukkan bahwa sebagian besar tampilan sudah sesuai, dan sisa penyempurnaan dilakukan pada tata letak serta sinkronisasi data.
- f. Pengujian Coding dan Modul Keypad
Pengujian ini dilakukan untuk memastikan modul keypad dapat berfungsi sebagai input sistem, misalnya untuk navigasi menu atau pengaturan batas nilai. Uji dilakukan dengan:
- Mendeteksi setiap tombol yang ditekan.
 - Mencocokkan hasil pembacaan pada serial monitor.
 - Memastikan tidak ada tombol yang error, double input, atau tidak terbaca.
- g. Pengujian Coding dan Modul WiFi (ESP32 WiFi Test)
Pengujian ini dilakukan untuk memastikan kemampuan ESP32 dalam melakukan koneksi WiFi. Tahapannya meliputi:
- Menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi lokal.
 - Menguji stabilitas ping dan latency.
 - Mengirim data dummy untuk memastikan bahwa koneksi berjalan tanpa packet loss.
 - Keberhasilan pengujian menunjukkan bahwa ESP32 dapat digunakan untuk mengirim data sensor ke platform IoT seperti Blynk.
- h. Pengujian Integrasi Dashboard Blynk
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan sistem dapat mengirim data sensor secara real-time ke dashboard Blynk. Pengujian meliputi:
- Menghubungkan ESP32 ke server Blynk menggunakan token autentikasi.
 - Mengirim data sensor (TDS, pH, suhu,) ke widget dashboard.
 - Memeriksa apakah data tampil akurat dan stabil pada aplikasi.
 - Menguji notifikasi otomatis jika nilai sensor melewati batas tertentu.
 - Pengujian ini memastikan bahwa sistem IoT dapat berfungsi secara end-to-end, mulai dari pembacaan sensor hingga tampilan data secara online.
- i. Pengujian Coding Algoritma Naive Bayes
Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa proses klasifikasi menggunakan algoritma Naive Bayes dapat berjalan dengan benar. Pengujian meliputi:
- **Mengimplementasikan rumus probabilitas** Naive Bayes pada kode (prior, likelihood, dan posterior).
 - **Mengolah data sensor** (TDS, pH, suhu,) menjadi dataset terstruktur untuk proses klasifikasi.
 - **Menghitung probabilitas setiap kelas** (misalnya: *baik*, *sedang*, *tercemar*) berdasarkan input data sensor yang diterima.
- Naïve Bayes Classifier merupakan sebuah metode klasifikasi yang berakar pada teorema Bayes. Data diolah menggunakan algoritma Naives Bayes untuk menentukan kelas kualitas air berdasarkan parameter pH, suhu, dan TDS, sehingga sistem dapat mengidentifikasi apakah air berada pada kategori layak, tidak layak.
- Secara keseluruhan, narasi klasifikasi ini menjelaskan bagaimana sistem IoT mampu mengevaluasi kondisi air

berdasarkan batasan-batasan nilai sensor. Setiap parameter memberikan kontribusi penting dalam menilai kelayakan air, sehingga kombinasi pembacaan sensor dapat digunakan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai kualitas air pada suatu lokasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.2 Hasil Pengumpulan Data Lapangan

Hasil perangkaian dengan mengintegrasikan sensor TDS, suhu, dan pH menghasilkan sebuah sistem monitoring kualitas air yang mampu bekerja secara *real-time* dan memberikan data akurat terkait kondisi air pada Sungai Cisadane dan Ciliwung Bogor.



Sungai Cisadane Bogor



Hasil Rangkaian Sistem Monitoring Kualitas Air

Proses berikutnya yaitu dilakukan monitoring pada dua sungai yang berbeda yaitu Sungai Cisadane dan Sungai Ciliwung dengan menggunakan sensor TDS, suhu, dan pH sebagai parameter. Sungai Cisadane adalah salah satu sungai utama yang mengalir di wilayah Bogor, Jawa Barat. Sungai ini berhulu di daerah Gunung

Pangrango dan Gunung Salak, lalu mengalir melalui Kota Bogor. Kami menjadikan sungai Cisadane sebagai objek penelitian karena pengaruh aktivitas permukiman, pertanian, dan industri di sepanjang alirannya.

Tabel 4.1 Hasil Data Monitoring Kualitas Air di Sungai Cisadane

No	Waktu	Suhu	pH	TDS (ppm)	Hasil
1	04/01/2026 9:00:04	23.62	7.64	140	Baik
2	04/01/2026 9:00:14	23.62	7.48	158	Baik
3	04/01/2026 9:00:23	23.62	7.49	145	Baik
4	04/01/2026 9:00:34	23.62	7.49	128	Baik
5	04/01/2026 9:00:44	23.62	7.72	101	Baik
6	04/01/2026 9:00:55	23.69	7.61	157	Baik
7	04/01/2026 9:01:04	23.62	7.67	158	Baik
8	04/01/2026 9:01:14	23.62	7.51	158	Baik
9	04/01/2026 9:01:44	23.69	7.68	145	Baik
10	04/01/2026 9:01:55	23.69	7.61	157	Baik
11	04/01/2026 9:02:05	23.69	7.66	157	Baik
12	04/01/2026 9:02:14	23.69	7.67	157	Baik
13	04/01/2026 9:02:25	23.69	7.44	157	Baik
14	04/01/2026 9:02:34	23.69	7.63	140	Baik
15	04/01/2026 9:02:44	23.69	7.67	157	Baik

Proses berikutnya yaitu dilakukan monitoring pada Sungai Ciliwung. Sungai Ciliwung adalah salah satu sungai utama di Provinsi Jawa Barat dan DKI Jakarta yang mengalir dari Kabupaten Bogor hingga bermuara di Teluk Jakarta. Sungai Ciliwung dimanfaatkan sebagai sumber air, saluran drainase alami, irigasi, serta pengendali banjir, khususnya di wilayah Jakarta.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengendalian pencemaran air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan algoritma **Naive Bayes** pada Sungai Ciliwung dan Sungai Cisadane, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dibangun mampu melakukan pengukuran dan pengiriman data kualitas air secara *real-time* serta melakukan klasifikasi kondisi kualitas air dengan tingkat akurasi yang tinggi. Parameter yang digunakan dalam

penelitian ini meliputi suhu, pH, Total Dissolved Solids (TDS), dan kekeruhan (turbidity), yang terbukti relevan dalam menentukan kualitas air.

Hasil pengujian algoritma Naive Bayes menunjukkan tingkat akurasi sebesar **98,84% pada Sungai Ciliwung** dan **96,56% pada Sungai Cisadane**. Nilai akurasi tersebut mengindikasikan bahwa algoritma Naive Bayes mampu mengklasifikasikan kualitas air dengan baik pada kedua lokasi penelitian. Selain itu, sistem IoT yang dirancang berhasil mengintegrasikan sensor, mikrokontroler, dan platform monitoring untuk mendukung proses pengumpulan serta pengolahan data kualitas air secara otomatis.

Namun, berdasarkan hasil *confusion matrix*, diketahui bahwa model cenderung lebih dominan dalam memprediksi kelas kualitas air **BAIK** dan masih memiliki keterbatasan dalam mendeteksi kondisi kualitas air **BURUK**. Hal ini disebabkan oleh ketidakseimbangan jumlah data antar kelas, di mana data kualitas air baik lebih mendominasi dibandingkan data kualitas air buruk. Oleh karena itu, meskipun tingkat akurasi tinggi, performa model dalam mengenali kondisi pencemaran air masih perlu ditingkatkan.

Secara keseluruhan, sistem IoT yang dibangun mampu melakukan pengumpulan dan pengiriman data kualitas air dengan tingkat keberhasilan yang baik. Kualitas data yang diperoleh berada di atas 80% pada kedua lokasi penelitian, serta hasil kalibrasi sensor menunjukkan bahwa sensor suhu dan sensor TDS memiliki akurasi yang memadai untuk mendukung penerapan algoritma Naive Bayes dalam klasifikasi kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Afan *et al.*, “Data-driven water quality prediction for wastewater treatment plants,” *Heliyon*, vol. 10, no. 18, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e36940.
- [2] M. Flores-Iwasaki, G. A. Guadalupe, M. Pachas-Caycho, S. Chapa-Gonza, R. C. Mori-Zabarburú, and J. C. Guerrero-Abad, “Internet of Things (IoT) Sensors for Water Quality Monitoring in Aquaculture Systems: A Systematic Review and Bibliometric Analysis,” Mar. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/agriengineering7030078.
- [3] A. C. P. Fernandes, A. R. Fonseca, F. A. L. Pacheco, and L. F. S. Fernandes, “MethodsX Water quality predictions through linear regression - A brute force algorithm approach,” vol. 10, no. March, 2023, doi: 10.1016/j.mex.2023.102153.
- [4] V. No, T. Zubaidah, S. Hamzani, and A. C. Legowo, “Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Transforming River Water Quality Monitoring : An Advanced IoT and,” vol. 10, no. 1, pp. 31–38, 2024.
- [5] M. G. Uddin, S. Nash, A. Rahman, and A. I. Olbert, “Performance analysis of the water quality index model for predicting water state using machine learning techniques,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 169, pp. 808–828, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.psep.2022.11.073.
- [6] A. Marwa, N. #1, N. Anggis Suwastika, and R. Yasirandi, “Prediksi Kondisi Pencemaran Air Sungai Citarum Berbasis Internet of Things dan Klasifikasi Naive Bayes,” *Ind. J. Comput.*, Mar. 2020, doi: 10.21108/indojc.2020.5.1.317.
- [7] Guo, H., Jeong, K., Lim, J., Jo, J., Kim, Y. M., Park, J., Kim, J. H., & Cho, K. H. (2015). Prediction of effluent concentration in a wastewater treatment plant using machine learning models. *Journal of Environmental Sciences*, 32, 90–101. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.01.007>
- [8] V. Sangwan and R. Bhardwaj, “Machine learning framework for predicting water quality classi fi

- cation,” vol. 19, no. 11, pp. 4499–4521, 2024, doi: 10.2166/wpt.2024.259.
- [9] J. Teknik Lingkungan, T. Zubaidah, S. Hamzani, and A. Cahyo Legowo, “Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan Transforming River Water Quality Monitoring: An Advanced IoT and Sensor-Based”, [Online]. Available: <http://jurnalsaintek.uinsa.ac.id/index.php/alard/index>
- [10] T. M. Mitchell, *Machine Learning*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997.
- [11] A. G. Widowati, N. A. Suwastika, and R. Yasirandi, “Deteksi Lokasi Pencemaran Air Sungai Citarum berbasis IoT menggunakan Fuzzy Inference System,” vol. 4, pp. 1–14, 2019, doi: 10.21108/indoic.2019.4.3.315.
- [12] K. P. Murphy, *A Probabilistic Perspective*, June, 2012. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press, 2012.
- [13] I. Kabir *et al.*, “Production and Evaluation of Quality Characteristics of Edible Fish Powder from Tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*),” vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/2530533.
- [14] P. Boccadoro, I. Student, V. Daniele, P. Di Gennaro, and D. L. Ieee, “Water Quality Prediction on a Sigfox-compliant IoT Device: The Road Ahead of WaterS,” pp. 1–13.
- [15] H. Fakhurroja, E. Triono, and A. Munandar, “Journal of Mechatronics , Electrical Power , Water quality assessment monitoring system using fuzzy logic and the internet of things,” vol. 14, no. 2, pp. 198–207, 2023.
- [16] H. M. Forhad *et al.*, “IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs),” *Heliyon*, vol. 10, no. 23, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40746.
- [17] A. M. Joshi, S. Prabhune, and D. J. B. N, “Sarcasm Detection using Naïve Bayes SVM Hybrid,” no. 3, pp. 1138–1142, 2019, doi: 10.35940/ijrte.C4258.098319.
- [18] P. Jayaraman, K. Krishnan, and P. Partheeban, “International Journal of Information Critical review on water quality analysis using IoT and machine learning models,” *Int. J. Inf. Manag. Data Insights*, vol. 4, no. 1, p. 100210, 2024, doi: 10.1016/j.jjime.2023.100210.
- [19] S. Hwang, J. Park, W. Lee, and Y. Lee, “Evaluation method for probability distribution and prediction models for chlorophyll-a based on statistical models and artificial intelligence-based algorithms”.
- [20] Cloete, N. A., Malekian, R., & Nair, L. (2016). Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring. *IEEE Access*, 4, 3975–3990. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2592958>