



Smart Aquarium Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Kualitas Air dan Prediksi Waktu Pergantian Air Menggunakan Gradient Boosting

Duwi Prayetno

Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received Jul 20, 2026
Revised Jul 30, 2026
Accepted Aug 05, 2026

Keywords:

Internet of Things,
Smart Aquarium,
Gradient Boosting,
Water Quality Monitoring,
Decision Tree

ABSTRACT

Water quality is a critical factor in ornamental fish maintenance because it directly affects fish health and aquarium ecosystem stability. Parameters such as pH, temperature, and turbidity must be monitored regularly to maintain suitable water conditions. However, water quality monitoring and water replacement scheduling are often performed manually, which may lead to delayed responses when water quality deteriorates. This study aims to develop an Internet of Things (IoT) and Machine Learning-based Smart Aquarium system for real-time water quality monitoring and water replacement prediction. The system utilizes pH, DS18B20 temperature, and turbidity sensors connected to an ESP32 microcontroller to continuously collect water quality data. Sensor data are transmitted to a Flask-based server and stored in a MySQL database for further analysis. A Decision Tree algorithm is employed to classify water conditions into ideal and non-ideal categories, while a Gradient Boosting Regressor is used to predict the remaining days before water replacement is required. Experimental results show that the Decision Tree model achieved an accuracy of 100%, while the Gradient Boosting Regressor obtained a Root Mean Squared Error (RMSE) of 0.44. The developed system is capable of monitoring water quality and providing water replacement predictions, providing information about water conditions, and assisting users in determining the optimal time for water replacement more effectively and efficiently.

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license.



Corresponding Author:

Duwi Prayetno,
Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi,
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Indonesia,
Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20238.
Email: dwiprayetno15.dp@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) telah mendorong berbagai inovasi dalam sistem pemantauan lingkungan berbasis sensor, termasuk pada bidang akuakultur dan pemeliharaan ikan hias. Akuarium merupakan lingkungan buatan yang membutuhkan pengelolaan kualitas air secara berkelanjutan untuk menjaga kesehatan ikan dan kestabilan ekosistem di dalamnya. Penelitian terbaru oleh Sugiarto dkk. [7] menunjukkan bahwa implementasi sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things pada budidaya ikan koi mampu meningkatkan efisiensi pemantauan kualitas air secara real-time serta membantu pengambilan keputusan dalam proses pemeliharaan kolam. Parameter kualitas air seperti derajat keasaman (pH), suhu, dan tingkat kekeruhan merupakan faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan serta kelangsungan hidup ikan [1]. Nuangpirom dkk. [8] mengembangkan sistem prediksi kualitas air menggunakan Machine Learning

yang dijalankan pada perangkat edge berbiaya rendah. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa model Machine Learning dapat memberikan hasil prediksi secara cepat sehingga sesuai diterapkan pada sistem monitoring kualitas air berbasis IoT. Perubahan parameter tersebut di luar rentang ideal dapat menyebabkan stres, gangguan kesehatan, hingga kematian ikan. Penelitian Mohd Jais dkk. [9] menunjukkan bahwa penggunaan sensor berbiaya rendah yang dipadukan dengan Internet of Things mampu menghasilkan data kualitas air dengan tingkat akurasi yang baik untuk mendukung kegiatan budidaya ikan.

Pada praktiknya, pemantauan kualitas air dan penentuan waktu pergantian air masih banyak dilakukan secara manual berdasarkan pengamatan visual atau pengalaman pemilik akuarium [2]. Pendekatan tersebut memiliki keterbatasan karena tidak mampu memberikan informasi kondisi air secara real-time dan berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan perawatan. Penelitian Sundararajan dkk. [10] memanfaatkan kombinasi Internet of Things dan Deep Learning untuk memprediksi kualitas air pada sistem akuaponik. Pendekatan tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor IoT dengan model prediksi mampu meningkatkan akurasi pemantauan kualitas air secara berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air secara otomatis sekaligus memberikan rekomendasi waktu pergantian air berdasarkan kondisi aktual akuarium.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT. Abdurrohman dkk. mengembangkan sistem kontrol akuarium berbasis IoT yang memanfaatkan algoritma Decision Tree Regression untuk mendukung pengelolaan kualitas air secara otomatis [3]. Prasetyo dkk. mengimplementasikan sensor turbidity dan sensor ultrasonik pada sistem Smart Aquarium berbasis Arduino Uno untuk membantu pemantauan kondisi akuarium [4]. Wasito dkk. menerapkan teknologi IoT pada budidaya ikan nila dengan sistem bioflok untuk meningkatkan efektivitas monitoring lingkungan perairan [5]. Penelitian lain oleh Sugiarto dkk. menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas pengawasan kualitas air secara real-time pada budidaya ikan koi [7].

Perkembangan terbaru pada penelitian Internet of Things (IoT) menunjukkan bahwa integrasi sensor cerdas dengan algoritma Machine Learning mampu meningkatkan akurasi prediksi kualitas air secara real-time pada berbagai lingkungan perairan. Pendekatan ini tidak hanya digunakan untuk proses monitoring, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan dalam menentukan tindakan pemeliharaan berdasarkan kondisi lingkungan yang diamati [12], [13].

Selain pemanfaatan IoT, penggunaan Machine Learning pada sistem pemantauan kualitas air juga mulai berkembang. Rashid dkk. mengembangkan sistem prediksi kualitas air berbasis IoT dan Machine Learning untuk lingkungan akuakultur [11]. Nuangpirom dkk. menunjukkan bahwa model Machine Learning dapat dijalankan pada perangkat IoT berbiaya rendah untuk melakukan prediksi kualitas air secara real-time [8]. Penelitian oleh Shete dkk. memanfaatkan beberapa algoritma Machine Learning, termasuk Gradient Boosting, untuk memprediksi kadar oksigen terlarut pada lingkungan akuakultur berbasis IoT [9]. Sementara itu, Alnemari dkk. mengembangkan model Machine Learning yang digunakan sebagai pendukung pengambilan keputusan dalam manajemen kualitas air budidaya ikan [10].

Penelitian terkini juga menunjukkan bahwa algoritma Machine Learning mampu meningkatkan akurasi prediksi kualitas air melalui pemodelan hubungan nonlinier antar parameter lingkungan. Pendekatan tersebut memberikan kemampuan prediksi yang lebih stabil dibandingkan metode konvensional sehingga semakin banyak diterapkan pada sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things [14].

Meskipun berbagai penelitian telah berhasil menerapkan IoT maupun Machine Learning dalam pemantauan kualitas air, sebagian besar penelitian masih berfokus pada monitoring parameter kualitas air atau prediksi parameter tertentu. Penelitian sebelumnya umumnya belum mengintegrasikan fungsi monitoring kualitas air secara real-time, klasifikasi kondisi air, serta prediksi waktu pergantian air dalam satu sistem yang terintegrasi. Selain itu, penelitian yang secara khusus memanfaatkan algoritma Gradient Boosting untuk memprediksi sisa hari menuju pergantian air pada sistem Smart Aquarium masih relatif terbatas [6], [9].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem Smart Aquarium berbasis Internet of Things (IoT) dan Machine Learning yang mampu melakukan pemantauan kualitas air secara real-time menggunakan sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Sistem memanfaatkan algoritma Decision Tree

untuk mengklasifikasikan kondisi air dan algoritma Gradient Boosting Regressor untuk memprediksi sisa hari menuju pergantian air. Seluruh data sensor diproses melalui server Flask, disimpan dalam basis data MySQL, dan divisualisasikan melalui dashboard Node-RED. Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi teknologi IoT dengan pendekatan klasifikasi dan prediksi berbasis Machine Learning untuk menghasilkan sistem pendukung keputusan yang dapat membantu pemilik akuarium menentukan waktu pergantian air secara lebih efektif dan efisien. Oleh karena itu penelitian ini mengintegrasikan teknologi IoT dengan algoritma Decision Tree dan Gradient Boosting untuk menghasilkan sistem monitoring dan prediksi pergantian air yang lebih efektif.

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode observasi sebagaimana digunakan pada penelitian monitoring kualitas air berbasis Internet of Things oleh Sugiarto dkk. [7]. Implementasi data dikumpulkan secara langsung melalui sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. Seluruh data dikirimkan ke server berbasis Flask menggunakan protokol HTTP, kemudian diproses menggunakan algoritma Gradient Boosting untuk memprediksi sisa hari sebelum pergantian air dilakukan. Data hasil pembacaan sensor dan hasil prediksi disimpan pada database MySQL serta divisualisasikan melalui dashboard Node-RED. Metode ini dipilih karena mampu memberikan pengamatan kualitas air secara berkelanjutan berdasarkan data aktual yang diperoleh dari sistem IoT.

Arsitektur Sistem

Sistem Smart Aquarium terdiri atas tiga sensor utama, yaitu sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan yang dihubungkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat akuisisi data. ESP32 membaca nilai sensor secara periodik kemudian mengirimkan data ke server Flask menggunakan metode HTTP POST dalam format JSON. Server melakukan penyimpanan data mentah ke database MySQL serta menjalankan model Machine Learning berbasis Gradient Boosting untuk menghasilkan prediksi hari pergantian air. Selanjutnya hasil prediksi dan data sensor divisualisasikan melalui dashboard Node-RED sehingga pengguna dapat memantau kondisi akuarium secara real-time.

Akuisisi dan Pengolahan Data

Data penelitian diperoleh dari tiga parameter kualitas air, yaitu pH, suhu, dan kekeruhan. Nilai pH ideal ditetapkan pada rentang 6,5–8,5, suhu ideal sebesar 26–30°C, sedangkan nilai kekeruhan berada pada kisaran ≤ 30 NTU. Seluruh data dikirimkan secara otomatis ke server Flask untuk disimpan ke dalam database MySQL sebagai data historis sekaligus digunakan sebagai masukan model prediksi.

Pembentukan Dataset

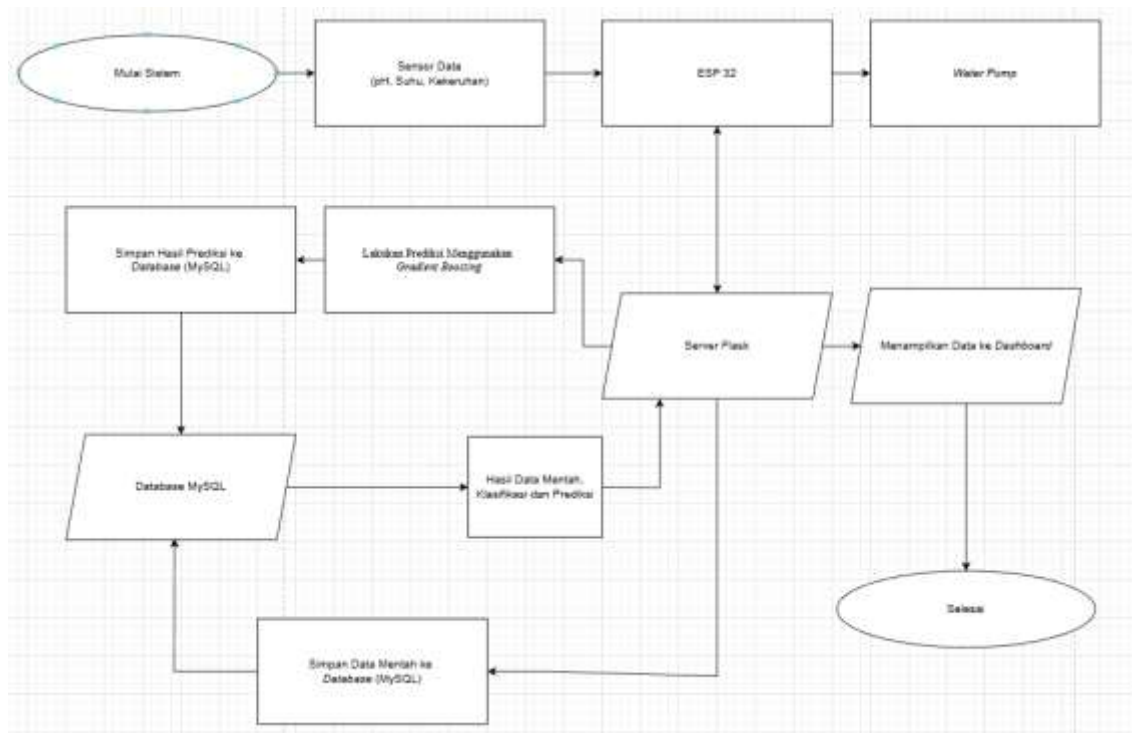
Dataset yang digunakan merupakan dataset sintesis sebanyak 2.500 data yang dibangun berdasarkan variasi parameter pH, suhu, dan kekeruhan. Sebelum proses pelatihan dilakukan, atribut tanggal dihapus karena tidak berkontribusi terhadap proses prediksi. Dataset kemudian dibagi menjadi data latih sebesar 80% dan data uji sebesar 20%. Variabel masukan terdiri atas nilai pH, suhu, dan kekeruhan, sedangkan variabel keluaran berupa hari tersisa sebelum pergantian air dilakukan.

Penerapan Algoritma Gradient Boosting

Model prediksi dibangun menggunakan algoritma Gradient Boosting Regressor. Algoritma ini dipilih karena menghasilkan nilai kesalahan prediksi yang lebih rendah dibandingkan beberapa algoritma lain yang diuji, seperti Random Forest, XGBoost, SVR, KNN, LightGBM, ElasticNet, dan Neural Network. Model memanfaatkan tiga parameter kualitas air sebagai variabel masukan untuk memprediksi jumlah hari tersisa sebelum air perlu diganti. Kinerja model dievaluasi menggunakan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE).

Alur Kerja Sistem

Proses sistem dimulai dengan pembacaan nilai sensor oleh ESP32, dilanjutkan dengan pengiriman data ke server Flask. Server menyimpan data mentah ke dalam database MySQL kemudian menjalankan model Gradient Boosting untuk menghasilkan prediksi hari pergantian air. Hasil prediksi beserta status kualitas air disimpan kembali ke database dan ditampilkan melalui dashboard Node-RED sebagai media monitoring pengguna.



Gambar 1. Arsitektur Sistem Smart Aquarium

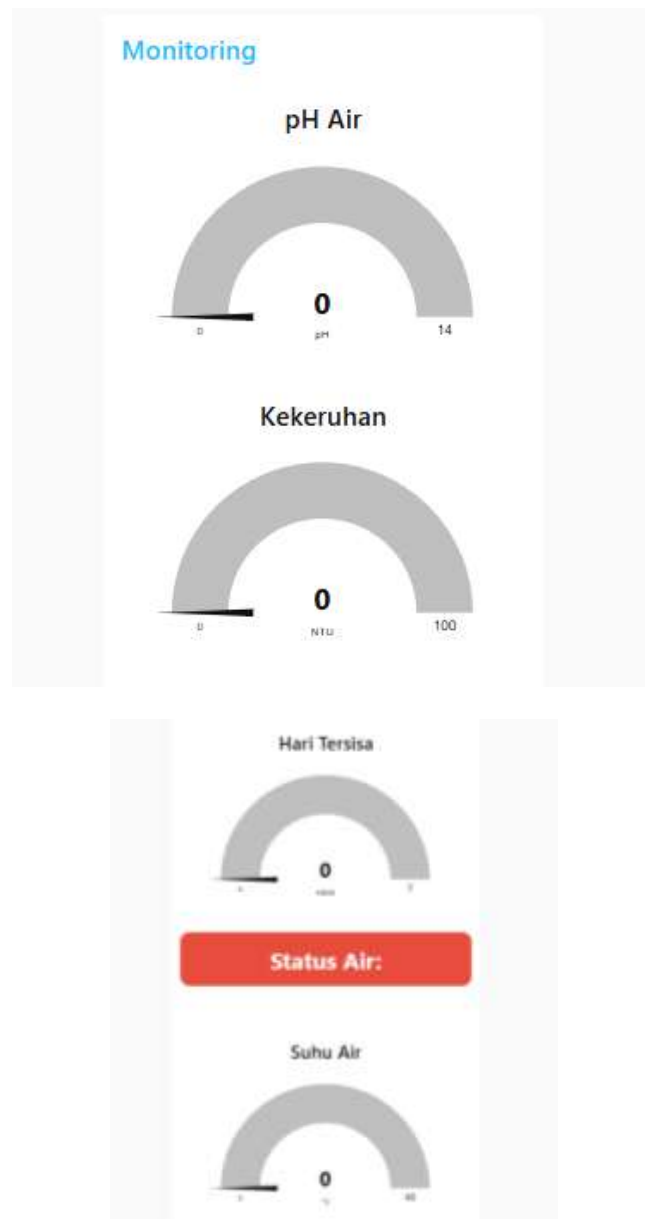
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Sistem

Sistem Smart Aquarium berhasil diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor pH 4502C, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan. ESP32 membaca nilai setiap sensor secara periodik, kemudian mengirimkan data ke server Flask menggunakan protokol HTTP dalam format JSON. Selanjutnya server melakukan validasi data, menyimpan data mentah ke database MySQL, menjalankan model Gradient Boosting Regressor untuk menghasilkan prediksi hari tersisa sebelum pergantian air, dan mengirimkan hasilnya ke dashboard Node-RED untuk ditampilkan secara real-time.

Seluruh data sensor berhasil dikirim dari ESP32 menuju server Flask tanpa kehilangan paket selama proses pengujian. Server kemudian menyimpan data ke MySQL sebelum diproses oleh model Gradient Boosting dan ditampilkan pada dashboard Node-RED. Hal ini menunjukkan integrasi antarperangkat berjalan dengan baik sehingga sistem mampu melakukan monitoring kualitas air secara real-time.

Pengujian menunjukkan bahwa komunikasi antara ESP32, server Flask, database MySQL, dan dashboard Node-RED berjalan dengan baik tanpa kehilangan data selama proses monitoring.



Hasil Monitoring Kualitas Air

Dashboard monitoring menampilkan informasi kondisi kualitas air berdasarkan parameter pH, suhu, dan kekeruhan secara real-time. Selain itu, sistem juga menampilkan hasil prediksi jumlah hari tersisa sebelum pergantian air dilakukan.

Pada salah satu pengujian diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Pengujian Sensor pH dengan pH Buffer 6.8

No	Waktu Pengujian	Suhu Terbaca	pH	NTU	Status Prediksi	Status Rule
1	2026-01-21 20:38:43	30.25	6.9	33	Ideal	Ideal
2	2026-01-21 20:38:45	30.18	6.9	33	Ideal	Ideal
3	2026-01-21 20:38:56	30.25	6.7	33	Ideal	Ideal

4	2026-01-21 20:39:06	30.25	6.7	33	Ideal	Ideal
5	2026-01-21 20:39:08	30.25	6.8	33	Ideal	Ideal
6	2026-01-21 20:39:19	30.18	6.8	33	Ideal	Ideal

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, sensor pH mampu membaca nilai pH larutan buffer 6,8 dengan hasil pembacaan yang relatif stabil, berada pada rentang pH 6,74 hingga 6,95. Selisih pembacaan yang kecil menunjukkan bahwa sensor pH memiliki tingkat akurasi yang baik dalam membaca pH mendekati nilai netral.

Nilai pH yang berada pada rentang tersebut diklasifikasikan oleh sistem sebagai Ideal, baik berdasarkan hasil klasifikasi machine learning maupun rule-based logic. Hal ini sesuai dengan kondisi pH buffer 6,8 yang mendekati rentang pH ideal untuk aquarium. Dari hasil pengujian ini dapat disimpulkan bahwa sensor pH bekerja dengan baik pada kondisi pH netral dan layak digunakan sebagai parameter utama dalam sistem Smart Aquarium.

Hasil Prediksi Menggunakan Gradient Boosting Regressor

Model prediksi dikembangkan menggunakan algoritma Gradient Boosting Regressor dengan memanfaatkan tiga variabel masukan, yaitu pH, suhu, dan kekeruhan. Dataset sintetis sebanyak 2.500 data dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data uji.

Kinerja model dievaluasi menggunakan Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE).

Tabel 2. Perbandingan Performa Algoritma Regresi Berdasarkan Nilai MSE dan RMSE

No	Model	MSE (Mean Squared Error)	RMSE (Root Mean Squared Error)
1	<i>Random forest</i>	0,22	0,47
2	<i>Gradient bosting</i>	0.20	0.44
3	<i>XGBoost</i>	0.26	0.51
4	SVR	0.24	0.49
5	<i>Neural Network</i>	0.58	0.76
6	KNN	0.56	0.75
7	<i>LightGBM</i>	0.20	0.45
8	<i>ElasticNet</i>	0.60	0.77

Berdasarkan Tabel 2, dilakukan perbandingan performa beberapa algoritma regresi menggunakan metrik Mean Squared Error (MSE) dan Root Mean Squared Error (RMSE). Kedua metrik tersebut digunakan untuk mengukur tingkat kesalahan prediksi, di mana nilai yang lebih kecil menunjukkan performa model yang lebih baik.

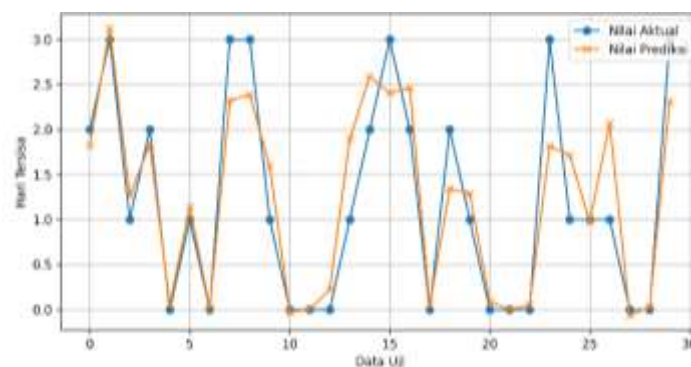
Hasil pengujian menunjukkan bahwa Gradient Boosting Regressor memperoleh nilai MSE sebesar 0,20 dan RMSE sebesar 0,44, yang merupakan nilai RMSE terendah dibandingkan algoritma lain yang diuji. Meskipun LightGBM memiliki nilai MSE yang sama sebesar 0,20, algoritma tersebut menghasilkan nilai RMSE yang lebih tinggi, yaitu 0,45. Hal ini menunjukkan bahwa Gradient Boosting Regressor memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih kecil dan menghasilkan prediksi yang lebih konsisten.

Sementara itu, Random Forest menghasilkan nilai MSE sebesar 0,22 dan RMSE sebesar 0,47, sedangkan XGBoost memperoleh nilai MSE sebesar 0,26 dan RMSE sebesar 0,51. Algoritma SVR menunjukkan performa yang cukup baik dengan nilai MSE sebesar 0,24 dan RMSE sebesar 0,49, namun masih berada di bawah performa Gradient Boosting Regressor. Di sisi lain, algoritma KNN, Neural Network, dan ElasticNet menghasilkan nilai MSE dan RMSE yang relatif lebih tinggi sehingga tingkat kesalahan prediksinya lebih besar.

Berdasarkan hasil evaluasi tersebut, Gradient Boosting Regressor dipilih sebagai model utama dalam penelitian ini karena memberikan performa prediksi terbaik dengan tingkat kesalahan yang paling rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma tersebut mampu memodelkan hubungan antara parameter pH, suhu, dan kekeruhan terhadap hari tersisa sebelum pergantian air secara lebih akurat dibandingkan algoritma pembanding.

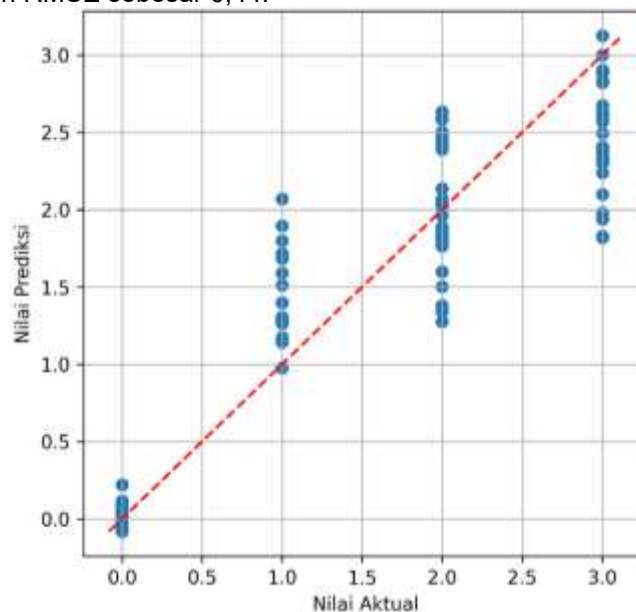
Berdasarkan hasil evaluasi, Gradient Boosting memberikan nilai RMSE terkecil sebesar 0,44 sehingga dipilih sebagai model utama pada penelitian ini. Nilai tersebut lebih baik dibandingkan Random Forest, SVR, KNN, Neural Network, maupun ElasticNet. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nuangpirom dkk. [8] yang menyatakan bahwa Gradient Boosting memiliki kemampuan generalisasi yang baik pada prediksi kualitas air.

Nilai tersebut mengindikasikan bahwa model memiliki tingkat kesalahan prediksi yang lebih rendah dibandingkan algoritma pembanding. Kemampuan ini diperoleh karena proses boosting dilakukan secara bertahap untuk memperbaiki kesalahan prediksi pada setiap iterasi, sehingga model mampu mempelajari hubungan nonlinier antara parameter pH, suhu, dan kekeruhan terhadap estimasi waktu pergantian air secara lebih akurat. Hasil ini sejalan dengan penelitian terbaru yang melaporkan bahwa pendekatan Machine Learning mampu meningkatkan akurasi prediksi kualitas air pada sistem IoT berbasis sensor [12], [14].



Gambar 4. Kurva Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi Gradient Boosting.

Kurva nilai prediksi mengikuti pola nilai aktual pada sebagian besar data uji. Perbedaan antara kedua kurva relatif kecil, yang menunjukkan bahwa model mampu mempelajari hubungan antara parameter pH, suhu, dan kekeruhan terhadap jumlah hari tersisa sebelum pergantian air dilakukan. Kedekatan pola antara nilai aktual dan nilai prediksi mendukung hasil evaluasi model yang memperoleh nilai MSE sebesar 0,20 dan RMSE sebesar 0,44.



Gambar 5. Scatter Plot Perbandingan Nilai Aktual dan Nilai Prediksi Gradient Boosting Regressor

Gambar menunjukkan hubungan antara nilai aktual dan nilai prediksi pada data uji. Sebagian besar titik berada di sekitar garis diagonal, yang mengindikasikan bahwa hasil prediksi model memiliki

tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap nilai aktual. Penyebaran titik yang relatif dekat dengan garis diagonal menunjukkan bahwa model memiliki kemampuan generalisasi yang baik dalam memprediksi hari tersisa sebelum pergantian air.

Analisis Sistem

Hasil implementasi menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat IoT dan algoritma Machine Learning mampu menghasilkan sistem monitoring yang berjalan secara otomatis. Sensor membaca kondisi air secara kontinu, kemudian data dikirimkan ke server Flask untuk diproses dan disimpan dalam database MySQL. Model Gradient Boosting Regressor selanjutnya menghasilkan prediksi jumlah hari tersisa sebelum pergantian air dilakukan dan hasilnya ditampilkan pada dashboard Node-RED.

Pendekatan ini memberikan beberapa keunggulan dibandingkan pemantauan secara manual. Yang pertama monitoring kualitas air dilakukan secara real-time, data historis tersimpan secara otomatis pada database MySQL, prediksi waktu pergantian air dilakukan secara otomatis menggunakan Machine Learning, dashboard Node-RED memudahkan pengguna memantau kondisi akuarium dari satu antarmuka. Pendekatan serupa juga telah digunakan pada sistem monitoring kualitas air berbasis IoT yang mampu meningkatkan efisiensi pemantauan secara real-time [11].

Pendekatan yang diterapkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi Internet of Things dengan Machine Learning tidak hanya berfungsi sebagai sistem monitoring, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan berbasis data. Dengan memanfaatkan hasil prediksi yang dihasilkan oleh model Gradient Boosting Regressor, sistem mampu memberikan rekomendasi waktu pergantian air secara otomatis berdasarkan kondisi kualitas air terkini. Pendekatan serupa juga telah diterapkan pada penelitian terbaru yang mengintegrasikan teknologi IoT dan algoritma kecerdasan buatan untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan kualitas air secara real-time [13], [15].

Namun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Dataset yang digunakan merupakan dataset sintesis sehingga performa model masih perlu divalidasi menggunakan data hasil pengukuran aktual dalam jangka waktu yang lebih panjang. Selain itu, parameter yang digunakan masih terbatas pada pH, suhu, dan kekeruhan sehingga penelitian selanjutnya dapat menambahkan parameter lain seperti Dissolved Oxygen (DO), Total Dissolved Solids (TDS), maupun amonia untuk meningkatkan akurasi prediksi.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem Smart Aquarium berbasis Internet of Things (IoT) dan Machine Learning untuk melakukan pemantauan kualitas air serta memprediksi waktu pergantian air secara real-time. Sistem memanfaatkan sensor pH, sensor suhu DS18B20, dan sensor kekeruhan yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32 untuk memperoleh data kualitas air. Data sensor dikirimkan ke server berbasis Flask, disimpan pada basis data MySQL, dan divisualisasikan melalui dashboard Node-RED sehingga kondisi akuarium dapat dipantau secara berkelanjutan. Model Decision Tree berhasil digunakan untuk mengklasifikasikan kondisi air ke dalam kategori ideal dan tidak ideal, sedangkan Gradient Boosting Regressor digunakan untuk memprediksi jumlah hari tersisa sebelum pergantian air dilakukan. Berdasarkan hasil evaluasi, model Gradient Boosting Regressor memperoleh nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar 0,20 dan Root Mean Squared Error (RMSE) sebesar 0,44, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan prediksi yang rendah dan mampu menghasilkan estimasi yang mendekati nilai aktual.

Integrasi antara teknologi IoT, backend Flask, basis data MySQL, dashboard Node-RED, dan algoritma Machine Learning menghasilkan sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas air secara otomatis sekaligus memberikan informasi prediktif mengenai waktu pergantian air. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat membantu pemilik akuarium dalam menjaga kualitas air secara lebih efektif, efisien, dan terukur. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa penerapan algoritma Gradient Boosting Regressor pada sistem Smart Aquarium memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sistem pendukung keputusan yang adaptif terhadap perubahan kondisi kualitas air. Integrasi antara Internet of Things dan Machine Learning memungkinkan proses monitoring tidak hanya bersifat informatif, tetapi juga mampu memberikan rekomendasi tindakan secara otomatis berdasarkan hasil prediksi yang dihasilkan model [13], [15]. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan dataset hasil pengukuran aktual dalam jangka waktu yang lebih panjang serta menambahkan parameter kualitas air lain, seperti dissolved oxygen (DO), total dissolved solids

(TDS), dan amonia, untuk meningkatkan akurasi model dan memperluas kemampuan sistem dalam mendukung pengelolaan kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. T. Tamam, D. N. Aji, and J. K. Ahmad Dahlan Dukuhlawuh Purwokerto, "Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengaturan pH dan Suhu Air pada Kolam Ikan," vol. 5, no. 1.
- [2] I. B. Prasetyo, A. A. Riadi, and A. A. Chamid, "Perancangan Smart Aquarium Menggunakan Sensor Turbidity dan Sensor Ultrasonik Pada Aquarium Ikan Air Tawar Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teknologi*, vol. 13, no. 2, pp. 193–200, 2021.
- [3] M. Abdurrohman, A. G. Putrada, and M. M. Deris, "A Robust Internet of Things-Based Aquarium Control System Using Decision Tree Regression Algorithm," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 56937–56951, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3177225.
- [4] Wasito, E., Prahara, T., Nursyahid, A., Dadi, Anggraeni, S. K., Delaili Muntaha, G. M., & Syaharani. (2024). Implementation of IoT in Nila Fish Cultivation With Bioflock System. *Journal of Applied Information and Communication Technologies (JAICT)*, 9(1).
- [5] P. A. Saputra, S. S. Irawan, R. Rahmadden, R. Prianto, and T. Hidayat, "Prediksi dan Analisis Pola Perubahan Iklim Menggunakan Algoritma Gradient Boosting," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 2, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6230.
- [6] L. Putra Nasyuli, I. Lubis, and A. M. Elhanafi, "Penerapan Model Machine Learning Algoritma Gradient Boosting dan Linear Regression Melakukan Prediksi Harga Kendaraan Bekas," *Jurnal Ilmiah Riset Sistem Informasi*, vol. 2, no. 2, 2023.
- [7] Sugiarto, Nugraha, I., Fahrudin, T. M., Rizqina, A., & Agvenia, K. (2025). IoT-Based Water Quality Monitoring System to Enhance Sustainability and Business Performance in Koi Fish Cultivation. *Journal of Advances in Information and Industrial Technology*, 7(2), 193–206.
- [8] Nuangpirom, P., Pitjarnit, S., Jaikampan, V., Peerakam, C., Nakkiew, W., & Jewpanya, P. (2025). Machine Learning on Low-Cost Edge Devices for Real-Time Water Quality Prediction in Tilapia Aquaculture. *Sensors*, 25(19), 6159.
- [9] Mohd Jais, N. A., Abdullah, A. F., Mohd Kassim, M. S., Abd Karim, M. M., Abdulsalam, M., & Muhadi, N. A. (2024). *Improved Accuracy in IoT-Based Water Quality Monitoring for Aquaculture Tanks Using Low-Cost Sensors: Asian Seabass Fish Farming*. *Heliyon*, 10(8), e29022.
- [10] Sundararajan, S. C. M., Shankar, Y. B., Selvam, S. P., Manogaran, N., Seerangan, K., Natesan, D., & Selvarajan, S. (2025). *IoT-Based Prediction Model for Aquaponic Fish Pond Water Quality Using Multiscale Feature Fusion with Convolutional Autoencoder and GRU Networks*. *Scientific Reports*, 15, Article 1925.
- [11] MSingh, Y., & Walingo, T. (2024). *Smart Water Quality Monitoring with IoT Wireless Sensor Networks*. *Sensors*, 24(9), 2871.