

Otomatisasi Pemulihan Kualitas Air pada Budidaya Udang Vaname menggunakan Algoritma KNN dan *Fuzzy Logic*

Automation of Water Quality Recovery in Vannamei Shrimp Aquaculture using the KNN Algorithm and Fuzzy Logic

¹Mudawil Qulub*, ²Muh. Fahrudin, ³Muhamad Sari Rizki, ⁴Adi Saputra

¹Progrjam Studi Rekayasa Perangkat Lunak Aplikasi, Fakultas Teknik, Universitas Bumigora

²Program Studi Ilmu Perikanan, Fakultas Ilmu dan Teknologi Hayati, Universitas Teknologi Sumbawa

^{3,4}Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Bumigora

^{1,3,4}Jl. Ismail Marzuki, Cilinaya, Cakranegara, Kota Mataram, Nusa Tenggara Bar. 83127, Indonesia

²Jl. Raya Olat Maras, Batu Alang, Moyo Hulu, Pernek, Kecamatan Moyo Hulu, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*e-mail: mudawil@universitasbumigora.ac.id

(received: 27 November 2025, revised: 3 March 2026, accepted: 13 March 2026)

Abstrak

Udang vaname sangat penting untuk industri perikanan dan ekspor di Indonesia. Meskipun memiliki potensi besar, budidaya udang ini masih menghadapi masalah, seperti mudah terkena penyakit akibat perubahan kualitas air dan lingkungan tambak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem yang dapat memantau dan memulihkan kualitas air secara otomatis menggunakan algoritma KNN dan fuzzy logic. Metode yang digunakan adalah *research and development* (R&D), yang meliputi analisis masalah, pengumpulan data, perencanaan, pengembangan, pengujian, evaluasi, dan penerapan sistem. Sistem ini memakai algoritma KNN dengan $K=5$ untuk mendiagnosis kualitas air, dan *fuzzy logic* untuk mengontrol aerator, pompa, dan sistem pembuangan secara otomatis. Sensor yang digunakan mencakup salinitas, pH, suhu, oksigen terlarut, dan kekeruhan, yang semuanya terhubung melalui mikrokontroler ESP32 dalam jaringan IoT. Hasil penelitian menunjukkan sistem dapat mendiagnosis kualitas air dengan akurasi 95% dan otomatis mengendalikan perangkat pemulihan. Dengan kerja otomatis dan real-time, sistem ini menjaga kualitas air tambak dengan cepat dan tepat, sehingga meningkatkan produktivitas dan keberhasilan budidaya udang vaname.

Kata kunci: otomatisasi pemulihan, fuzzy logic, KNN, kualitas air, udang vaname

Abstract

Vannamei shrimp play a crucial role in Indonesia's fisheries and export industries. Despite their high potential, shrimp aquaculture still faces significant challenges, particularly disease susceptibility caused by fluctuations in water quality and pond environmental conditions. This study aims to develop a system capable of automatically monitoring and restoring water quality using the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm and fuzzy logic. The research adopts a research and development (R&D) approach, which includes problem analysis, data collection, system design, development, testing, evaluation, and implementation. The system employs the KNN algorithm with $K=5$ to diagnose water quality conditions, while fuzzy logic is used to automatically control aerators, pumps, and drainage systems. The sensors utilized include salinity, pH, temperature, dissolved oxygen, and turbidity, all integrated through an ESP32 microcontroller within an Internet of Things (IoT) network. The results demonstrate that the system achieves a diagnostic accuracy of 95% and is capable of automatically controlling recovery devices. With real-time and automated operation, the system effectively maintains pond water quality, thereby improving productivity and the overall success of vannamei shrimp aquaculture.

Keywords: automatically recovery, fuzzy logic, KNN, water quality, vannamei shrimp

1 Pendahuluan

Komoditas udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Indonesia memiliki peran yang sangat penting dalam industri perikanan dan ekspor. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil udang vaname terbesar di dunia [1]. Pada tahun 2023, produksi udang vaname mencapai 1,19 juta ton dan Sentra produksi udang terbesar di Indonesia terletak di Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan jumlah produksi mencapai 186.368 ton. Lebih dari 75% produksi udang di Indonesia adalah udang vaname. Berdasarkan data dari kementerian kelautan dan perikanan diperkirakan akan tumbuh sebesar 4,01% pertahun hingga periode 2027 dengan diperkirakan meningkat sebesar USD 6,49 Miliar [2]. Meskipun memiliki potensi besar di Indonesia, tetap menghadapi beberapa kendala yang perlu diatasi oleh para pembudidaya seperti rentan penyakit berbahaya pada udang vaname yang diakibatkan oleh fluktuasi kualitas air dan lingkungan budidaya yang dapat menyebabkan penyakit pada udang vaname.

Urgensi dari penelitian ini terletak pada budidaya udang vaname yang sangat bergantung pada kualitas air yang mudah berubah. Kualitas air kolam budidaya udang vaname bergantung pada beberapa parameter diantaranya adalah kadar garam, pH, suhu, kadar oxygen, dan tingkat kekeruhan air yang disebabkan oleh jamur dan amonia yang berlebih. Pemantauan kualitas air secara manual yang sering terlambat dan kurang akurat sangat berisiko sehingga menyebabkan kematian udang dan kerugian ekonomi bagi para pembudidaya. Pemantauan kualitas air kolam dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Sistem pemantauan secara realtime dan perbaikan kualitas air secara otomatis dapat membantu mengurangi resiko tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air pada budidaya udang vaname menggunakan algoritma KNN dan Fuzzy logic berbasis Internet of Things (IoT). Penggunaan algoritma KNN dilakukan untuk mendiagnosa kualitas air sedangkan algoritma Fuzzy logic digunakan untuk melakukan proses pemulihan kualitas air. Seluruh diagnosa dan keputusan pada sistem didasarkan pada standar parameter yang telah ditentukan. Manfaat dalam menerapkan sistem ini adalah dapat mempercepat dan mempermudah proses pemulihan kualitas air secara real-time dan adaptif, serta meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan budidaya.

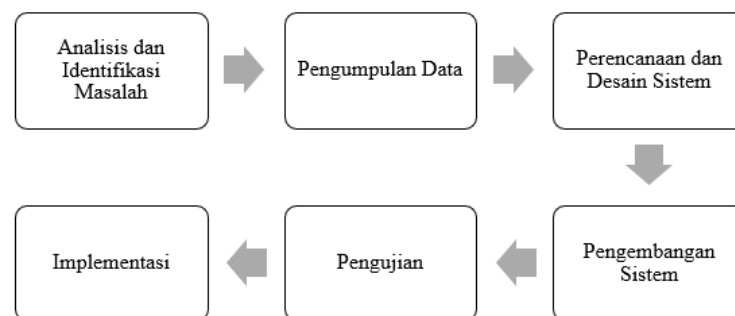
2 Tinjauan Literatur

Sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air adalah salah satu solusi yang memberikan dampak pada proses budidaya udang vaname. Terdapat beberapa penelitian yang berkaitan dengan masalah monitoring kualitas air dari sensor seperti yang dilakukan oleh [3], [4], [5], [6], [7]. Pada beberapa penelitian tersebut hanya memantau nilai sensor yang dipasang pada kolam budidaya yang kemudian ditindak lanjuti oleh pembudidaya secara manual atau konvensional untuk menjaga kualitas airnya. Cara ini masih bergantung pada tenaga manusia dalam proses pemulihan kualitas airnya. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh [8], [9] yaitu terkait monitoring berbasis sensor dan kontrol kualitas air berbasis perintah yang diinstruksi langsung oleh operator melalui sistem seperti mengaktifkan aerator dengan algoritma fuzzy [8], mengaktifkan pompa dan kincir angin dengan menggunakan algoritma mamdani fuzzy-based [9]. Meskipun sudah menggunakan sistem kontrol, cara ini masih menunggu proses verifikasi atau instruksi langsung dari manusia dalam proses pemulihan kualitas airnya. Penelitian lainnya yaitu terkait sistem diagnosa kualitas air, dimana sistem ini hanya mendiagnosa kualitas air berdasarkan kalkulasi seluruh parameter dari sensor sistem diagnosa menggunakan algoritma Fuzzy [10], algoritma decision tree, naive bayes dan k-nearest neighbor [11], algoritma klasifikasi fuzzy [12]. Beberapa penelitian ini masih terbatas pada sistem diagnosa kualitas air, tidak dilengkapi dengan sistem pemulihan kualitas air. Penelitian selanjutnya yaitu sistem diagnosa dan kontrol otomatis dengan komponen output yang terbatas seperti hanya aktifkan pompa menggunakan algoritma fuzzy [13], proses kontrol pergantian air menggunakan algoritma fuzzy [14]. Penelitian ini mengusulkan kebaruan yaitu sistem pemulihan otomatis dengan menggunakan kombinasi metode KNN dan fuzzy logic. Metode KNN digunakan sebagai sistem diagnosa kualitas air tambak dari sumber data berupa sensor salinitas, suhu, oksigen terlarut, pH, dan kekeruhan air, sedangkan fuzzy logic digunakan dalam mengatur dan menyesuaikan komponen output yang lebih banyak dari penelitian-penelitian sebelumnya seperti pompa, aerator dan sistem pembuangan. Komponen output akan otomatis berhenti ketika kualitas

dalam keadaan normal atau optimal. Seluruh proses pemulihan ini akan berjalan secara otomatis dengan menyesuaikan kualitas air sebagai sumber inputan pemulihan.

3 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode R&D (*Research and Development*). Adapun alur yang digunakan dalam metode R&D dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Metode penelitian

3.1. Analisis dan Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini dilakukan analisis dan identifikasi masalah. Sumber informasi pada tahapan ini adalah pelaku budidaya udang vaname, laboratorium perikanan universitas mataram dan kajian pustaka. Berdasarkan hasil analisis, keberhasilan budidaya sangat bergantung pada kualitas air kolam, yang menjadi faktor utama dalam menunjang pertumbuhan dan kesehatan udang. Permasalahan umum yang sering terjadi adalah fluktuasi parameter kualitas air, seperti suhu, pH, kadar oksigen terlarut (DO), salinitas, dan tingkat kekeruhan air yang bersumber dari jamur dan amonia. Ketidakseimbangan dalam parameter ini dapat menyebabkan stres pada udang, meningkatkan risiko penyakit, menurunkan tingkat pertumbuhan, bahkan kematian massal.

3.2. Pengumpulan Data

Pada tahapan pengumpulan data ini dilakukan untuk menentukan parameter yang perlu dipantau, alat yang dibutuhkan, dan teknologi yang sesuai. Proses ini terbagi dalam tiga bagian utama: data parameter kualitas air (seperti suhu, pH, oksigen, salinitas, dan kekeruhan), data produk sensor kualitas air (seperti sensor pH, Dissolved Oxygen, suhu, Electrical Conductivity, dan turbidity), serta kajian literatur untuk memahami metode dan teknologi yang telah digunakan sebelumnya. Dari beberapa literatur, suhu ideal 25-32 °C [15], pH aman 7-8 [16], oxygen terlarut aman >4 mg/l [17], salinitas ideal 10-25 ppt (parts per thousand) [15], 15-30 ppt [18], tingkat kekeruhan ideal < 30 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [19], dari kajian literatur ini nantinya digunakan untuk membuat dataset dalam pengembangan model deteksi.

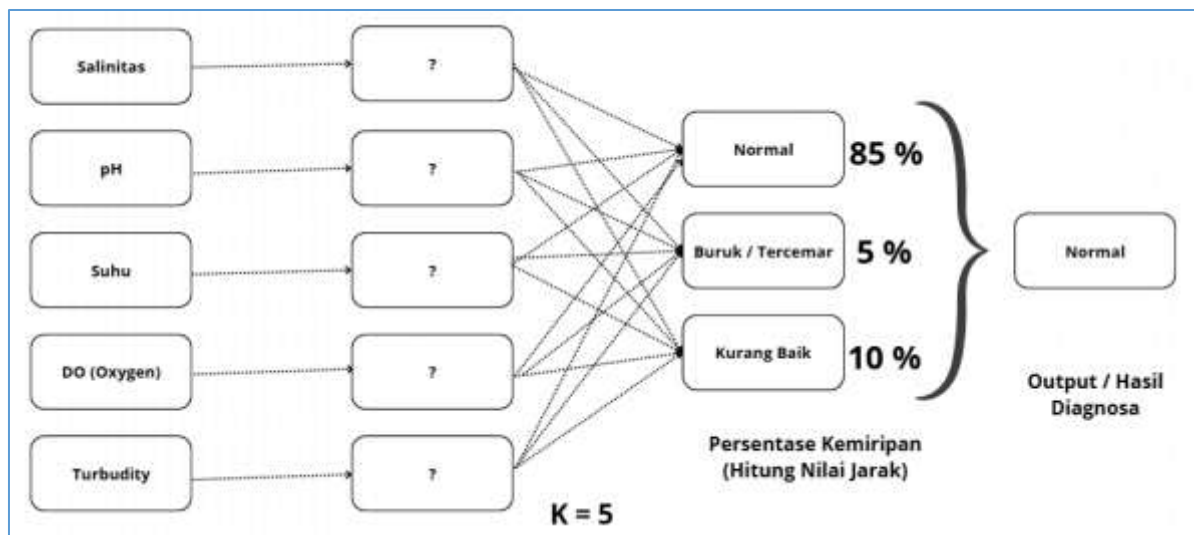
3.3. Perencanaan dan Desain Sistem

Pada tahapan ini dilakukan perencanaan dan desain sistem. Perencanaan berupa sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air kolam budidaya udang vaname. Monitoring mengacu pada sensor yang pasang pada kolam, beberapa sensor yang digunakan yaitu sensor salinitas, pH, suhu, kadar oxygen, dan kekeruhan (turbidity). Selanjutnya adalah penerapan algoritma KNN sebagai sistem diagnosis kualitas air kolam, dan algoritma Fuzzy logic sebagai fungsi yang mengaktifkan proses pemulihan. Algoritma KNN dan Fuzzy logic memanfaatkan nilai sensor sebagai sumber diagnosa dan keputusannya. Seluruh rangkaian ini terdapat pada sistem monitoring berbasis website. Adapun tahapan desain terdiri dari :

3.3.1. Desain Model KNN

Pengembangan model KNN untuk mendiagnosis kualitas air dimulai dengan pengumpulan data berupa pengukuran langsung menggunakan sensor seperti pH, suhu, Salinitas dan DO, diikuti dengan preprocessing, normalisasi, dan pemisahan fitur serta penentuan label menggunakan aturan fuzzy. Dataset kemudian dibagi menjadi data latih dan uji untuk melatih model dalam mengenali pola dan

menentukan kualitas air. Model divalidasi dengan mengukur akurasi dan performa untuk memastikan kinerjanya sebelum digunakan untuk diagnosis otomatis. Adapun gambaran model KNN terdapat pada Gambar 2.

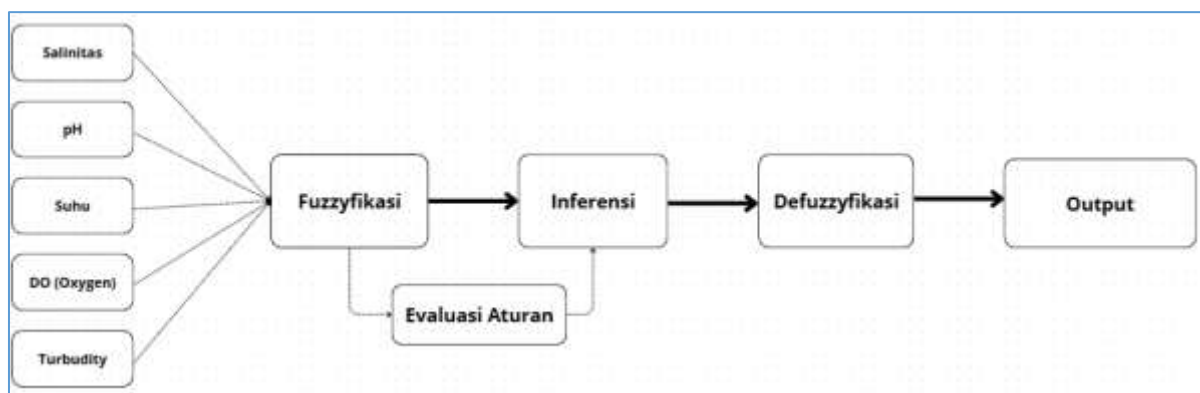


Gambar 2 Gambaran proses model KNN

Model yang dihasilkan dari proses machine learning ini dapat memberikan diagnosa kualitas air secara akurat seperti “Normal”, “Over/tercemar”, dan “kurang baik”., dengan indikator keberhasilan berupa data latih dan uji yang terproses dengan baik, akurasi model di atas 85%, dan hasil prediksi yang konsisten.

3.3.2. Desain Fuzzy Logic

Pengembangan sistem pemulihan kualitas air menggunakan logika fuzzy dimulai dengan fuzzyfikasi data sensor (pH, suhu, Salinitas, DO, turbidity) menjadi kategori seperti "rendah", "sedang", atau "tinggi". Selanjutnya, dilakukan evaluasi aturan untuk mencocokkan data fuzzy dengan aturan yang ada, diikuti oleh inferensi untuk menentukan tindakan yang sesuai. Terakhir, defuzzyfikasi mengubah hasil logika fuzzy menjadi nilai yang dapat diterapkan, seperti mengatur aerasi, pompa, dan sistem pembuangan untuk memulihkan kualitas air. Adapun gambaran proses fuzzy terdapat pada Gambar 3.

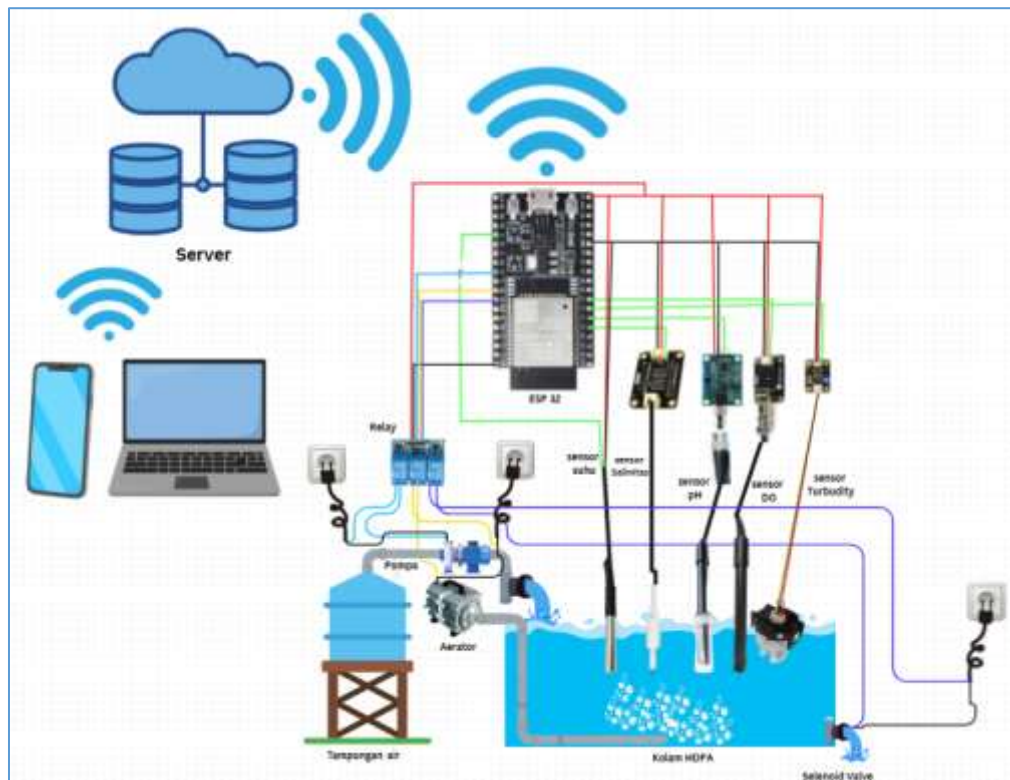


Gambar 3 Gambaran alur fuzzy logic

Pada tahapan ini merupakan terbentuknya sistem yang mampu memberikan respon berupa pemulihan otomatis, dengan indikator keberhasilan output defuzzyfikasi yang dapat diterapkan pada tindakan pemulihan kualitas air.

3.3.3. Desain Integrasi Sistem IoT

Tahapan ini melibatkan pengembangan sistem IoT untuk memantau kualitas air, dimulai dengan pembangunan kolam HDPE dan instalasi sensor untuk mengukur parameter air seperti pH, suhu, DO, salinitas, dan kekeruhan. Setelah instalasi, sensor dikalibrasi untuk memastikan hasil yang sesuai standar. ESP32 kemudian digunakan untuk membaca dan mengirim data ke server melalui internet, serta dapat diakses oleh pengguna. Adapun desain sistem IoT pemulihan kualitas air dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Integrasi sistem IoT

3.4. Pengembangan Sistem

Pada tahapan ini dilakukan pengembangan sistem yang terdiri dari pengembangan model machine learning dengan algoritma KNN sebagai sistem diagnosis kualitas air kolam, pengembangan sistem otomatisasi pemulihan kualitas air menggunakan algoritma fuzzy logic dan integrasi seluruh sistem berbasis sistem IoT yang dapat dimonitoring secara real-time.

3.5. Pengujian dan Evaluasi

Pada tahapan ini bertujuan untuk menilai kinerja sistem secara keseluruhan. Evaluasi mencakup analisis data sensor, akurasi model KNN, dan efektivitas sistem pemulihan kualitas air berbasis fuzzy logic. Hasil evaluasi dirangkum dalam laporan yang mencakup data pemantauan, diagnosa, tindakan pemulihan.

3.6. Implementasi

Pada tahapan ini dilakukan penerapan sistem monitoring dan otomatis pemulihan kualitas air. Sistem ini akan diterapkan pada kolam HDPE budidaya udang vaname.

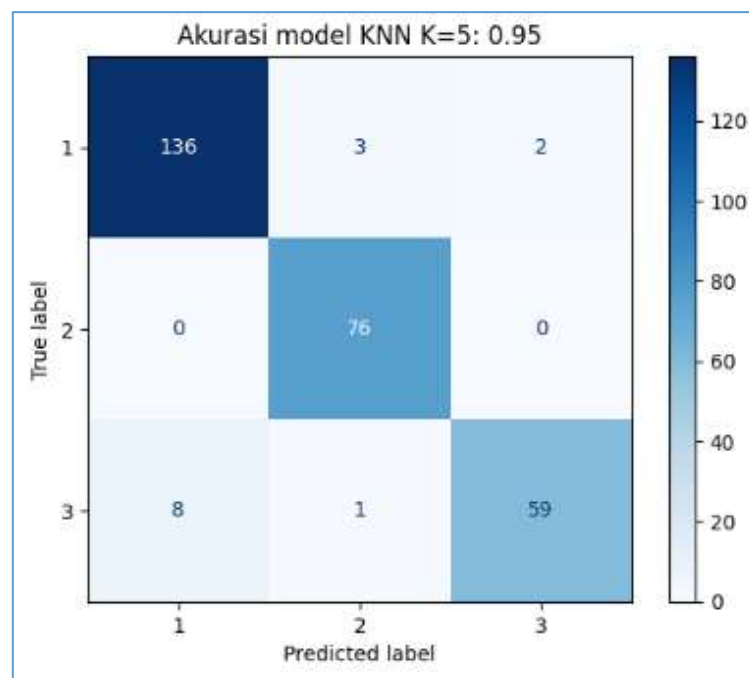
4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengembangan Sistem

Proses pengembangan sistem ini terdiri dari tiga tahapan yaitu Pengembangan model KNN dalam mendiagnosis kualitas air kolam, pengembangan algoritma fuzzy logic dalam melakukan otomatisasi pemulihan kualitas air kolam, serta integrasi seluruh sistem menjadi satu kesatuan sistem berbasis IoT. Berikut hasil dari setiap tahapannya :

4.1.1. Pengembangan model KNN.

Proses pengembangan model KNN sebagai model diagnosis kualitas air kolam ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman python. Dataset yang digunakan sebanyak 1423 data yang terdiri berbagai sensor seperti salinitas pH, suhu, kadar DO (Dissolved Oxygen), serta tingkat kekeruhan (turbidity) sebagai parameter-parameter kualitas air. Data diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori kualitas air: kurang, normal, dan buruk atau over. Seluruh dataset yang digunakan ini merupakan data primer yang dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan berbagai sensor, serta penentuan label dilakukan menggunakan aturan fuzzy dengan megacu standar ukuran dari beberapa penelitian-penelitian sebelumnya. Setelah dilakukan pelatihan model dengan data historis, model KNN dilakukan evaluasi dengan menggunakan confusion matrix. Hasil evaluasi model dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Hasil evaluasi confusion matrix model KNN

Berdasarkan hasil confusion matrik ini dapat dijelaskan bahwa pengujian pada 141 data dengan hasil kurang terdapat ketidaksesuaian diagnosis sebanyak 5 data, sedangkan 136 data berhasil didiagnosis dengan benar, pada 76 data dengan hasil yang normal semua data didiagnosa dengan benar, sedangkan pada 68 data dengan hasil buruk atau over 9 data terjadi kesalahan diagnosis dan 59 data dideteksi dengan baik. Secara keseluruhan akurasi model KNN sebagai sistem diagnosis kualitas air kolam mendapatkan akurasi 95% dengan nilai K=5. Hasil ini kemudian digunakan sebagai model untuk selanjutnya diterapkan pada sistem diagnosis secara real-time berdasarkan input parameter dari sensor.

4.1.2. Pengembangan algoritma fuzzy logic

Setelah diagnosis kualitas air diketahui melalui model KNN, sistem otomatisasi pemulihan air dilakukan menggunakan pendekatan Fuzzy Logic. Sistem ini dirancang untuk merespons nilai parameter air yang keluar dari ambang batas normal dengan mengatur output seperti pompa, aerator dan sistem pembuangan. Berikut merupakan aturan yang diterapkan pada algoritma fuzzy logic.

a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses mengubah nilai masukan yang tegas (crisp) menjadi nilai fuzzy. Ini dilakukan dengan memetakan angka yang jelas ke dalam himpunan fuzzy. Proses penentuan keanggotaan pada proses fuzzifikasi ini berdasarkan kajian literatur dan informasi praktek pembudidaya udang vaname. Bentuk fuzzifikasi yang diterapkan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Penentuan keanggotaan fuzzy logic atau fuzzifikasi

Sensor	Rendah	Normal	Tinggi
Salinitas	<12 ppt	15-25 ppt	>26 ppt
pH	<5 (asam)	7-7.5	>9 (basa)
Suhu	<20 °C	25-29 °C	<31 °C
DO	<4 mg/l	6-8 mg/l	>10 mg/l
Turbidity	30-60 NTU	0-29 NTU	>60 NTU

b. Aturan dan Inferensi

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan aturan untuk memberikan output berdasarkan indikator dari berbagai sensor. Aturan dan inferensi yang diterapkan pada fuzzy logic dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Penentuan aturan fuzzy logic

Aturan	Output
If pH asam pH basa turbidity tinggi salinitas tinggi	Pembuangan ON
If Salinitas rendah suhu tinggi & aerator ON pembuangan ON suhu rendah	Pompa ON
If DO rendah suhu tinggi pembuangan ON	Aerator ON
If Salinitas Normal & pH Normal & Suhu Normal & DO Normal & turbidity Normal	Semua Output OFF

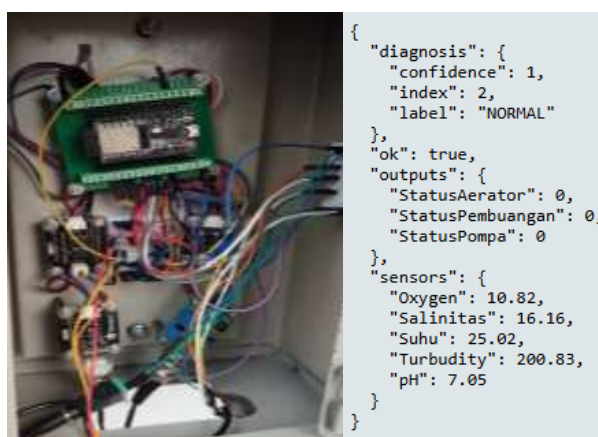
Pada tabel diatas merupakan aturan yang diterapkan pada fuzzy logic. Setelah aturan diterapkan, selanjutnya akan terjadi proses evaluasi aturan dan proses inferensi ketika terdapat nilai inputan dari sensor dan menghasilkan output berupa keputusan.

c. Defuzifikasi

Pada tahapan ini dilakukan proses defuzifikasi atau mengubah output berupa keputusan menjadi output berupa nilai tegas atau nilai numerik. Seperti pompa ON menjadi pompa = 1, pembuangan ON menjadi pembuangan = 1, aerator ON menjadi aerator = 1 serta seluruh output OFF menjadi nilai 0.

4.1.3. Integrasi Sistem IoT

Setelah semua sistem diagnosis dan otomatisasi pemulihan kualitas air dikembangkan, selanjutnya adalah integrasi seluruh sistem tersebut kedalam sistem IoT. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendalinya dan seluruh sensor sudah terhubung. Seluruh nilai sensor dikirim oleh ESP32 ke server untuk ditampilkan ke pengguna sebagai bentuk monitoring. Sistem monitoring ini juga menampilkan hasil diagnosis oleh model KNN serta keputusan sistem otomatisasi pemulihan kualitas air. Hasil integrasi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Integrasi sistem IoT

4.2. Hasil Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pada tahapan ini dilakukan pengujian dan evaluasi sistem yang dikembangkan secara menyeluruh. Pengujian dilakukan dengan menggunakan air tampungan dengan berbagai kualitas yang berbeda-

beda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor dan respon sistem terhadap nilai inputan dari sensor. Proses pengujian dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Proses Pengujian

Pengujian yang dilakukan tersebut berupa pembacaan data dari berbagai sensor yang digunakan dengan cara sensor-sensor dimasukkan kedalam penampungan air, pengiriman data-data sensor ke server, diagnosis kualitas air dengan menggunakan model KNN serta pemantauan respon komponen output terhadap data inputan dari sensor. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian sistem

Inputan					Proses		Output		
Salinitas (ppt)	pH	Suhu (°C)	Oxygen (mg/l)	Kekeruhan (NTU)	Kirim Data	Diagnosis	Pompa	Aerator	Pembuangan
16.05	7.26	28.73	7.05	24.76	Sukses	Normal	OFF	OFF	OFF
18.05	7.95	29.73	8.05	29.76	Sukses	Normal	OFF	OFF	OFF
12.75	7.15	28.79	2.05	27.76	Sukses	Kurang	OFF	ON	OFF
16.85	9.26	28.73	8.09	70.76	Sukses	Over	ON	ON	ON
27.05	7.26	32.93	7.05	25.76	Sukses	Over	ON	ON	ON
16.05	7.26	15.88	7.05	27.76	Sukses	Kurang	ON	OFF	OFF
.....									
19.08	7.35	29.73	6.57	28.96	Sukses	Normal	OFF	OFF	OFF

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sistem ini sangat efektif dan responsif terhadap perubahan kualitas air, serta daignosis yang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya, sehingga dapat diimplementasikan pada kolam budidaya udang vaname.

4.3. Hasil Implementasi

Pada tahapan ini, implementasi dilakukan pada kolam HDPE budidaya udang vaname. Sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air yang telah dikembangkan berhasil diimplementasikan pada kolam budidaya udang vaname berbahan HDPE. Seluruh perangkat keras, seperti sensor salinitas, pH, suhu, dissolved oxygen, dan turbidity, terpasang dengan baik dan mampu mengirimkan data secara real-time ke sistem pusat melalui konektivitas ESP32 berbasis Internet of Things (IoT).

Model K-Nearest Neighbors (KNN) dengan nilai $K = 5$ yang telah dilatih sebelumnya menunjukkan performa akurasi sebesar 95% dalam mengklasifikasikan kondisi kualitas air menjadi kategori baik, sedang, atau buruk. Model ini digunakan untuk mendiagnosis status kualitas air secara

otomatis berdasarkan data sensor yang diterima. Sistem juga berhasil menerapkan algoritma fuzzy logic dalam pengambilan keputusan untuk mengaktifkan aktuator seperti aerator, pompa, dan sistem pembuangan ketika kualitas air berada dalam kondisi yang tidak optimal. Aktivasi sistem pemulihan berlangsung secara otomatis dan tepat waktu, menyesuaikan dengan parameter kondisi kolam yang berubah-ubah. Hal ini yang menjadikan penelitian ini berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya yang hanya terbatas pada jumlah variabel inputan dan output. Hasil penerapan sistem dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Implementasi sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air pada kolam HDPE

Selain penerapan sistem pada kolam budidaya, implementasi juga dilakukan pada sisi monitoring. Proses monitoring ini dilakukan melalui sebuah aplikasi berbasis website yang telah dikembangkan untuk memfasilitasi pemantauan kualitas air secara real-time dan jarak jauh. Tampilan antarmuka dari aplikasi monitoring ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Tampilan website monitoring sistem otomatisasi pemulihan kualitas air pada kolam HDPE

Pada gambar 9 memperlihatkan hasil pemantauan dari berbagai parameter kualitas air, hasil diagnosis menggunakan model KNN, serta status aktivasi sistem pemulihan (aerator, pompa, dan pembuangan) yang disajikan secara ringkas dan informatif dalam satu halaman tampilan. Selain penyajian dalam bentuk teks dan status, informasi juga ditampilkan dalam bentuk grafik untuk setiap parameter kualitas air. Penyajian dalam bentuk grafik ini memudahkan pengguna dalam mengamati tren perubahan kondisi air dari waktu ke waktu, serta membantu dalam pengambilan keputusan secara lebih cepat dan tepat. Antarmuka aplikasi dirancang agar responsif dan mudah digunakan oleh operator tambak, baik melalui perangkat komputer maupun ponsel pintar.

Penelitian ini memiliki beberapa kelebihan dibandingkan penelitian sebelumnya. Sistem yang dikembangkan tidak hanya memantau dan mendiagnosa kualitas air, tetapi juga mampu melakukan pemulihan secara otomatis tanpa perlu campur tangan manusia. Hal ini dimungkinkan karena penggunaan kombinasi metode KNN untuk diagnosa kualitas air dan fuzzy logic untuk mengatur berbagai perangkat output seperti pompa, aerator, dan sistem pembuangan secara otomatis. Selain itu, sistem ini dapat menghentikan perangkat pemulihan ketika kondisi air sudah kembali normal, sehingga lebih efisien dalam penggunaan energi dan peralatan. Dengan proses yang berjalan secara real-time dan otomatis, sistem ini dapat menjaga kualitas air tambak udang dengan lebih cepat dan tepat, sehingga diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan keberhasilan budidaya udang secara keseluruhan serta mendukung keberlanjutan operasional budidaya udang vaname secara modern dan berbasis teknologi.

5 Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem monitoring dan otomatisasi pemulihan kualitas air pada kolam budidaya udang vaname berbasis Internet of Things (IoT). Metode yang digunakan adalah research and development (R&D) yang mencakup tahapan analisis dan identifikasi masalah, pengumpulan data, perencanaan dan desain sistem, pengembangan, pengujian, evaluasi, serta implementasi. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) dengan nilai $K = 5$ untuk mendiagnosis kualitas air, menggunakan dataset sebanyak 1.423 data dengan rasio pembagian 80:20 antara data latih dan data uji. Model KNN yang digunakan telah menunjukkan tingkat akurasi sebesar 95% dalam mengklasifikasikan kondisi kualitas air. Selain itu, sistem ini mengintegrasikan logika fuzzy untuk mengendalikan proses otomatisasi pemulihan kualitas air melalui perangkat aerator, pompa, dan sistem pembuangan. Sensor yang digunakan meliputi sensor salinitas, pH, suhu, dissolved oxygen, dan kekeruhan (turbidity), yang seluruhnya terhubung dan dikendalikan melalui mikrokontroler ESP32 dalam ekosistem IoT. Data pemantauan dapat diakses secara real-time melalui platform website yang telah dikembangkan. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem terbukti mampu secara efektif mendiagnosis kualitas air dan mengaktifkan sistem pemulihan secara otomatis sesuai kondisi kolam. Seluruh komponen sistem telah berhasil diimplementasikan dan diuji pada kolam budidaya udang vaname berbahan HDPE, menunjukkan potensi besar dalam mendukung keberlanjutan dan efisiensi budidaya akuakultur modern.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek) melalui Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat atas dukungan dan kepercayaan yang telah diberikan pada program Basis Informasi Penelitian dan Pengabdian (BIMA) dengan skema pendanaan hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2025. Bantuan pendanaan yang diberikan sangat berperan penting dalam mendukung kelancaran proses penelitian, mulai dari tahap perencanaan, pengembangan sistem, hingga implementasi di lapangan. Tanpa adanya dukungan dari program ini, penelitian ini tidak akan dapat terlaksana dengan optimal. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang akuakultur dan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dan sistem cerdas.

Referensi

- [1] Jala, "Ranking Indonesia di Peta Persaingan Eksportir Udang Dunia," Jala.Tech Udang smartfarm. [Online]. Available: <https://jala.tech/id/blog/industri-udang/ranking-indonesia-di-peta-persaingan-eksportir-udang-dunia>
- [2] Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan, "Profil Pasar Udang," p. 22, 2023, [Online]. Available: <https://kpk.go.id/download-pdf/Materi - profil-pasar-udang667533620a258.pdf>
- [3] A. Zamzami, O. Fransisco, I. Irwan, and M. I. Nugraha, "Sistem Monitoring Kualitas Air Tambak Udang berbasis *Internet of Things (IoT)*," *Semin. Nas. Inov. Teknol. Terap.*, 2021.

- [4] R. Aprilia, D. N. Ramadhan, and I. D. Inawati, "Sistem Monitoring Kualitas Air pada Tambak Udang Vaname di Kecamatan Kalitengah berbasis *Internet of Things*," *e-Proceeding Appl. SCI.*, Vol. 9, No. 1, 2023.
- [5] M. R. U. Albaab, R. Purbanigtyas, M. F. A. Kusuma, J. Vitasari, D. A. Nugroho, and A. P. P. Rudi, "Website Monitoring Pintar Terintegrasi berbasis IoT pada Budidaya Lobster Air Tawar," *J. Apl. Teknol. Inf. dan Manaj.*, Vol. 4, No. 1, 2023, DOI: 10.31102/jatim.v4ino.1.1978.
- [6] D. A. Susilo, J. Maulindar, and M. E. Yuliana, "Perancangan Alat Monitoring Kualitas Air Kolam Ikan Lele berbasis *Internet of Things*," *Innov. J. Soc. SCI. Res.*, Vol. 3, No. 2, 2023.
- [7] A. Putra *et al.*, "Analisis Kualitas Air pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Sistem Intensif," *J. Perikan. Unram*, Vol. 13, No. 3, 2024, DOI: 10.29303/jp.v13i3.569.
- [8] A. Trisna Nugraha, P. Asri, P. Darmajanti, D. I. Y. Agna, and Muhammad U. Amrullah, "Rancang Bangun Monitoring Kualitas Air Tambak Udang Vaname dengan Kontrol *Paddle Wheel* berbasis Mikrokontroler," *J. 7 Samudra*, Vol. 8, No. 2, 2023, DOI: 10.54992/7samudra.v8i2.132.
- [9] M. Qomaruddin, A. Riansyah, and H. M. Hermawan, "Mamdani Fuzzy-based Water Quality Monitoring and Control System in Vannamei Shrimp Farming using the Internet of Things," *Int. J. Adv. Appl. SCI.*, Vol. 13, No. 1, 2024, DOI: 10.11591/ijaas.v13.i1.pp180-187.
- [10] Y. N. Kristiantya, E. Setiawan, and B. H. Prasetio, "Sistem Kontrol dan Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Air Tawar menggunakan Logika Fuzzy berbasis Arduino," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, Vol. 6, No. 7, 2022.
- [11] F. Y. Rahman, I. I. Purnomo, and N. Hijriana, "Penerapan Algoritma Data Mining untuk Klasifikasi Kualitas Air," *Technol. J. Ilm.*, Vol. 13, No. 3, 2022, DOI: 10.31602/tji.v13i3.7070.
- [12] F. I. Amaliah, A. I. Gunawan, T. Taufiqurrahman, B. S. Bayu Dewantara, and F. A. Saputra, "Water Quality Level for Shrimp Pond at Probolinggo Area based on Fuzzy Classification System," *J. Rekayasa Elektr.*, Vol. 19, No. 1, 2023, DOI: 10.17529/jre.v19i1.28631.
- [13] M. F. Akbar and D. Irawan, "Sistem Kontrol Kualitas Air Tambak Udang berbasis Fuzzy Logic," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, Vol. 5, No. 1, 2023, DOI: 10.30595/jrre.v5i1.17547.
- [14] Mdwhi, "Desain dan Analisa E-Fishery Urban Fish Farming untuk mengendalikan Kualitas Air Kolam menggunakan Algoritma Fuzzy," *J. Comput. Electron. Telecommun.*, Vol. 2, No. 2, 2022, DOI: 10.52435/complete.v2i2.179.
- [15] C. Bett and L. Vinatea, "Combined Effect of Body Weight, Temperature and Salinity on Shrimp *Litopenaeus Vannamei* Oxygen Consumption Rate," *Brazilian J. Oceanogr.*, Vol. 57, No. 4, 2009, DOI: 10.1590/S1679-87592009000400005.
- [16] P. E. Jelinda, Y. Jasmanidar, and A. Tjendanawangi, "Pengaruh pH Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Udang Vanname (*Litopenaeus Vannamei*)," *J. Vokasi Ilmu-Ilmu Perikan.*, Vol. 4, No. 2, p. 209, 2024, DOI: 10.35726/jvip.v4i2.7222.
- [17] T. Nonwachai, W. Purivirojku, N. Chuchird, and C. Limsuwan, "Effects of Dissolved Oxygen Levels on Growth, Survival and Immune Response of Juvenile Pacific White Shrimp *Litopenaeus vannamei*," *J. Fish. Environment*, Vol. 35, No. 3, 2011.
- [18] M. H. Labusa, W. Isroni, and N. N. Dewi, "The Effect of Different Salinity on Growth Rate and Survival Rate of Post-Larva (PL-9) Vanname Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*)," *J. Aquac. Dev. Environ.*, Vol. 7, No. 2, pp. 490–495, 2024, DOI: 10.31002/jade.v7i2.2206.
- [19] J.-B. D. de Tailly, G. Bardera, M. A. . Owen, and J. Keitel, "Influence of Turbidity on Group Level Responses to Feeding in the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*)," *Appl. Anim. Behav. SCI.*, Vol. 284, 2025.