



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pemodelan ANFIS Optimalisasi Pengendalian Oksigen Terlarut dan Suhu pada Akuakultur Ikan Koi dengan Venturi Aerator, Peltier, dan IoT

ANFIS Modeling for Optimization of Dissolved Oxygen and Temperature Control in Koi Fish Aquaculture Using a Venturi Aerator, Peltier Module, and Based IoT System

Muhamad Taufik Kurohman¹ A. Tossin Alamsyah² Murie Dwiyantri³

^{1,2,3} Rekayasa Kontrol Industri, Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Jawa Barat

muahamadtaufikkurohman.te23@stu.pnj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan sistem akuakultur pintar untuk mengoptimalkan pengendalian oksigen terlarut (DO) dan suhu air pada budidaya ikan koi. Sistem mengintegrasikan teknologi Venturi Aerator untuk aerasi efisien, modul Peltier untuk kontrol suhu, serta Internet of Things (IoT) untuk pemantauan real-time. Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) digunakan sebagai kontrol adaptif berdasarkan data sensor. Hasil pengujian menunjukkan model ANFIS memiliki kinerja tinggi dengan nilai R^2 sebesar 0,8622 untuk aerator dan 0,9618 untuk Peltier, serta RMSE masing-masing 10,90 dan 6,47. Sistem mampu menjaga DO rata-rata 5,84 mg/L dan suhu 27,84°C dalam kisaran optimal untuk ikan koi. Integrasi IoT memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui platform Blynk dan pencatatan otomatis ke Google Sheets. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem akuakultur otomatis yang adaptif dan mudah dioperasikan, serta membuktikan efektivitas ANFIS dalam pengelolaan kualitas air secara dinamis untuk mendukung budidaya ikan koi berkelanjutan.

Kata kunci: *Venturi Aerator, modul Peltier, Internet of Things (IoT), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)*

ABSTRACT

This study develops a smart aquaculture system to optimize the control of dissolved oxygen (DO) and water temperature in koi fish farming. The system integrates Venturi Aerator technology for efficient aeration, Peltier modules for temperature control, and the Internet of Things (IoT) for real-time monitoring. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) is applied as an adaptive controller to regulate actuator performance based on sensor data. The model achieved high accuracy, with R^2 values of 0.8622 for the aerator and 0.9618 for the Peltier, and RMSE values of 10.90 and 6.47, respectively. The system maintained an average DO of 5.84 mg/L and temperature of 27.84°C, within the optimal range for koi. IoT integration enables remote monitoring via Blynk and automatic data logging to Google Sheets. This research contributes to the development of an adaptive, user-friendly aquaculture system, demonstrating the effectiveness of ANFIS in managing water quality dynamically and supporting sustainable koi farming.

Keywords: *Venturi Aerator, Peltier module, Internet of Things (IoT), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS).*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. PENDAHULUAN

Akuakultur memegang peran sentral dalam penyediaan protein hewani bagi populasi global yang terus meningkat. Keberhasilan budidaya perikanan sangat bergantung pada parameter kualitas air, terutama oksigen terlarut (DO) dan suhu, yang merupakan faktor krusial bagi kesehatan dan produktivitas ikan. Ketidakseimbangan kadar DO dapat memicu hipoksia, menghambat metabolisme, dan bahkan menyebabkan kematian massal, seperti kadar di bawah 3 mg/L yang menimbulkan stres dan di bawah 1 mg/L yang berakibat fatal [1]. Kekurangan oksigen juga dapat melemahkan sistem imun, meningkatkan kerentanan terhadap penyakit, serta mengurangi pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan hingga 30-40% [2]. Di Indonesia, bisnis ikan koi menunjukkan potensi besar, namun fluktuasi permintaan dan keterbatasan kapasitas produksi menjadi tantangan [3]. Mengingat pentingnya kualitas air, pengelolaan DO dan suhu yang presisi sangat vital untuk pertumbuhan, kesehatan, dan kelangsungan hidup ikan koi [4].

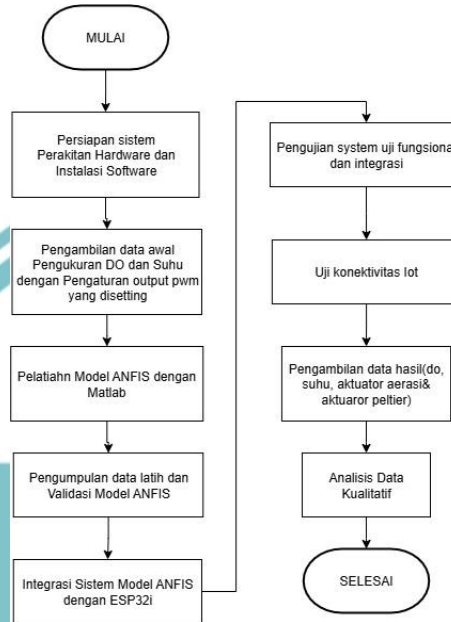
Dalam upaya mengelola kualitas air, Venturi Aerator telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi transfer oksigen, memperbaiki kondisi air, serta mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup ikan [4]. Teknologi ini bekerja berdasarkan prinsip tekanan fluida untuk pencampuran udara ke air secara optimal, menghasilkan oksigenasi efisien yang lebih hemat energi dibanding metode konvensional [5][6]. Selain aerasi, pengendalian suhu menggunakan modul termoelektrik seperti Peltier menawarkan solusi efisien dan ramah lingkungan untuk menjaga stabilitas suhu air dalam akuakultur [7]. Lebih lanjut, kemajuan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan pemantauan dan pengendalian kualitas air secara *real-time*, di mana data lingkungan (suhu, DO) dikumpulkan kontinu melalui sensor [8], [9].

Data yang diperoleh dari sensor dapat dianalisis menggunakan metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS menggabungkan logika fuzzy dengan kemampuan pembelajaran jaringan saraf tiruan untuk mengoptimalkan pengaturan operasional perangkat seperti aerator dan modul Peltier, sehingga sistem dapat menghasilkan keputusan adaptif yang lebih akurat [10]. Pemilihan ANFIS didasari kemampuannya mengelola hubungan non-linear antar variabel kualitas air, seperti yang ditunjukkan dalam berbagai penelitian untuk prediksi dan kontrol DO serta suhu dalam akuakultur [11], [12]. Studi-studi tersebut berhasil meningkatkan efisiensi aerasi dan mengurangi konsumsi energi, menjaga kondisi optimal bagi ikan.

Namun, penelitian yang ada belum sepenuhnya mengeksplorasi integrasi ANFIS dengan Venturi Aerator, modul Peltier, dan teknologi IoT secara bersamaan dalam satu sistem akuakultur yang komprehensif. Penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan menggabungkan kemampuan prediktif dan adaptif ANFIS dengan perangkat fisik yang efisien (Venturi Aerator untuk oksigenasi dan Peltier untuk stabilisasi suhu) serta akuisisi data *real-time* melalui IoT. Integrasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi, mengurangi biaya operasional, dan memperkuat daya saing industri akuakultur ikan hias seperti koi di pasar global, melalui pengembangan sistem akuakultur cerdas yang mampu mengatur kondisi lingkungan secara adaptif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang digunakan untuk merancang, mengimplementasikan, menguji, dan menganalisis sistem akuakultur pintar yang diusulkan. Pembahasan meliputi rancangan penelitian secara keseluruhan, detail perancangan dan cara kerja sistem, prosedur pengujian, serta metode analisis dan penyajian data.



Gambar 1. Blok Diagram

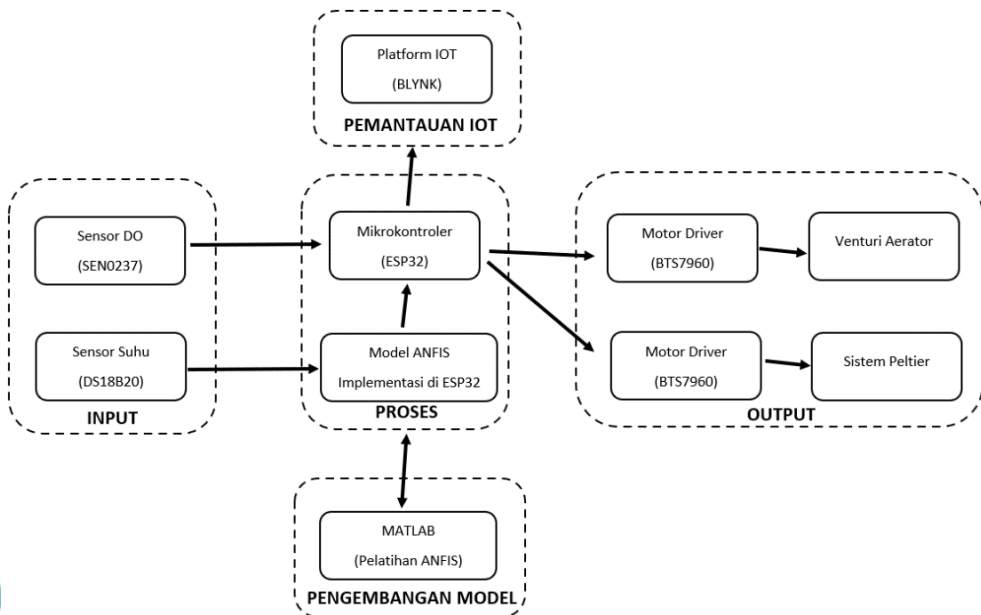
Kerangka konseptual pada Gambar 1 menggambarkan metodologi sistematis dalam pengembangan sistem akuakultur cerdas untuk mengoptimalkan pengendalian oksigen terlarut (DO) dan suhu pada budidaya ikan koi. Proses diawali dengan persiapan sistem, mencakup perakitan perangkat keras seperti sensor DO (SEN0237), sensor suhu (DS18B20), mikrokontroler ESP32, Venturi Aerator, dan modul Peltier, serta instalasi perangkat lunak pendukung. Tahap berikutnya adalah pengambilan data awal melalui pengukuran DO dan suhu secara manual serta pengaturan awal PWM untuk memperoleh data pelatihan yang dibutuhkan dalam pengembangan model ANFIS. Inti dari sistem ini adalah pelatihan model ANFIS di MATLAB, di mana data latih digunakan untuk membangun dan memvalidasi model yang mampu menghasilkan output PWM optimal untuk aktuator. Setelah model tervalidasi, sistem diintegrasikan dengan menyatukan perangkat keras dan perangkat lunak agar ESP32 dapat mengontrol aktuator secara otomatis berdasarkan data sensor. Pengujian menyeluruh kemudian dilakukan, mencakup uji fungsionalitas perangkat, kinerja kontrol DO dan suhu, pengujian dengan ikan koi, serta konektivitas IoT ke platform Blynk dan Google Sheets untuk pemantauan real-time. Selama pengujian, data seperti nilai DO, suhu, status aktuator, dan konsumsi energi dicatat secara berkelanjutan. Selanjutnya, data dianalisis secara kuantitatif menggunakan metrik seperti RMSE, R^2 , MAE, dan NSE serta secara kualitatif melalui observasi perilaku ikan dan kestabilan sistem untuk menyimpulkan efektivitas sistem dan merumuskan rekomendasi lanjutan.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



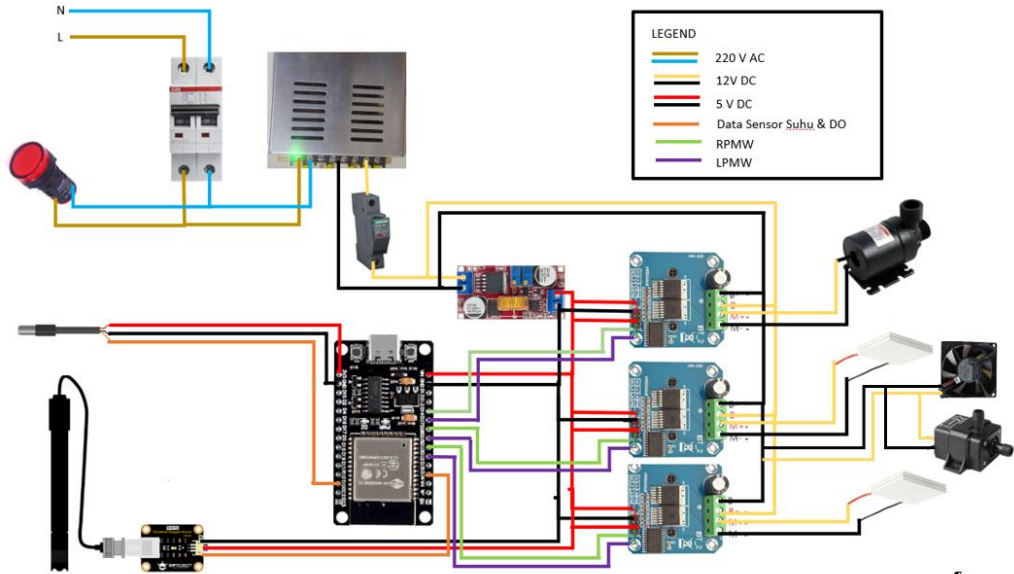
Gambar 2. Blok Diagram

Blok diagram pada gambar 2 menggambarkan arsitektur sistem akuakultur cerdas yang dirancang untuk mengoptimalkan pengendalian oksigen terlarut (DO) dan suhu air pada budidaya ikan koi. Sistem terdiri dari lima komponen utama: input, proses, output, pengembangan model, dan pemantauan IoT. Pada bagian input, digunakan dua sensor utama yaitu sensor DO (SEN0237) untuk mengukur kadar oksigen terlarut dan sensor suhu DS18B20 untuk mengukur temperatur air. Data dari kedua sensor ini dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan. Di dalam ESP32, diterapkan model ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) yang sebelumnya telah dikembangkan dan dilatih menggunakan MATLAB untuk menghasilkan logika kontrol yang optimal. MATLAB digunakan dalam proses pengumpulan data, pelatihan model, dan validasi sistem sebelum logika kontrol ditanamkan ke ESP32. Berdasarkan data sensor secara real-time, model ANFIS memproses informasi dan menghasilkan sinyal PWM untuk mengatur aktuator. Sinyal PWM ini dikirimkan melalui driver motor BTS7960 untuk mengontrol dua perangkat utama pada bagian output: Venturi Aerator untuk meningkatkan kadar DO dan sistem Peltier untuk mengatur suhu air. Selain fungsi kontrol, ESP32 juga terhubung ke platform IoT Blynk dan Google Sheets untuk

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pemantauan jarak jauh secara real-time dan pencatatan data historis, memungkinkan analisis performa sistem secara menyeluruh.



Gambar 3 Skematik Diagram Sistem

Gambar 3 menjelaskan Sistem ini menggunakan sumber listrik utama 220V AC yang dihubungkan melalui MCB (*Miniature Circuit Breaker*) sebagai proteksi utama, kemudian dialirkan ke *power supply* 12V DC untuk dikonversi menjadi tegangan 12V DC, dengan lampu indikator merah sebagai penanda panel aktif. Tegangan 12V DC dari *SMPS* (*Switched-Mode Power Supply*) digunakan untuk menyalakan tiga *driver motor* BTS7960 yang mengendalikan aktuator pompa air dan sistem pendingin *Peltier*, sekaligus diturunkan menjadi 5V DC menggunakan modul *step-down converter* untuk memberi daya pada mikrokontroler ESP32 serta sensor-sensor seperti sensor suhu digital DS18B20 (terhubung via komunikasi *1-Wire* ke pin digital ESP32) dan sensor DO analog DFRobot (terhubung ke pin ADC ESP32). ESP32 berfungsi sebagai pusat kontrol yang membaca data sensor dan menghasilkan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*, ditandai kabel ungu dan hijau muda) untuk mengatur kecepatan pompa dan sistem pendingin melalui *driver* BTS7960, sementara kabel oranye menandai jalur data sensor. Legenda warna kabel meliputi biru dan cokelat untuk 220V AC, kuning untuk 12V DC, merah untuk 5V DC, dan hitam sebagai *ground*.

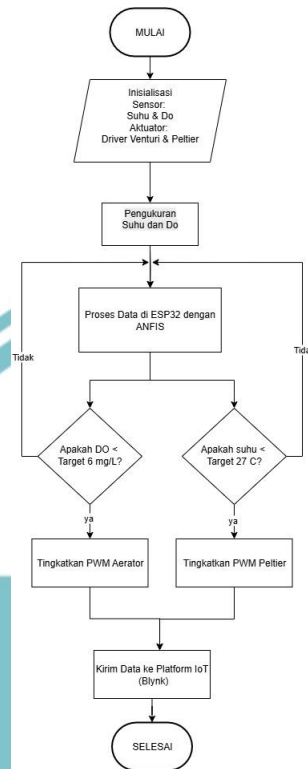
Flowchart pada Gambar 4 menggambarkan alur kerja sistem kontrol cerdas berbasis ESP32 yang dirancang untuk memantau dan mengatur kualitas air secara otomatis dengan fokus pada dua parameter utama, yaitu kadar oksigen terlarut (*DO/Dissolved Oxygen*) dan suhu. Proses diawali dengan inisialisasi komponen sistem, termasuk sensor suhu dan DO serta aktuator berupa *driver Venturi* (*aerator*) dan modul *Peltier*. Setelah sistem siap, tahap pengukuran dilakukan untuk memperoleh data aktual dari kedua sensor tersebut. Data mentah yang didapat kemudian diproses menggunakan algoritma ANFIS (*Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System*) pada ESP32, yang berfungsi sebagai otak sistem dengan menggabungkan kecerdasan *fuzzy* dan kemampuan pembelajaran mesin untuk menentukan respons kontrol yang optimal.

Selanjutnya, sistem melakukan evaluasi kondisi melalui dua pertanyaan keputusan: pertama, memeriksa apakah kadar DO di bawah target *6 mg/L*, dan kedua, memeriksa apakah suhu melebihi target 27°C. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem akan menjalankan aksi korektif jika diperlukan. Jika kadar DO terlalu rendah (y_3), sistem meningkatkan PWM (*Pulse Width Modulation*) pada *driver Venturi* untuk meningkatkan aerasi. Jika suhu terlalu tinggi (y_2), sistem meningkatkan PWM pada modul *Peltier* untuk mendinginkan air. Seluruh data, termasuk pembacaan sensor dan tindakan kontrol yang diambil, kemudian dikirimkan ke platform *IoT*.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Blynk untuk pemantauan jarak jauh, memungkinkan pengguna mengawasi dan mengontrol sistem secara *real-time*. Dan berikut gambar actual system bisa dilihat pada gambar 5.



Gambar 4. Flowchart Sistem



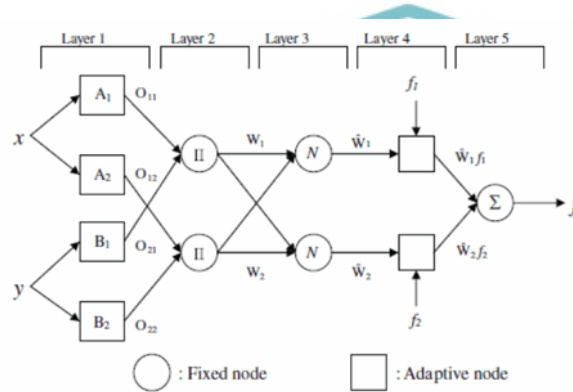
Gambar 5. Aktual sistem

ANFIS adalah metode pengendalian cerdas yang menggabungkan keunggulan jaringan saraf tiruan (ANN) dan sistem logika *fuzzy*. Dalam konteks akuakultur, ANFIS digunakan untuk mengelola parameter penting seperti suhu, oksigen terlarut, dan pH air secara adaptif. Sistem ini mampu belajar dari data historis untuk menghasilkan keputusan optimal, sekaligus menangani ketidakpastian dalam proses pengendalian. Penerapan ANFIS membantu meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan kondisi lingkungan tetap mendukung pertumbuhan ikan secara berkelanjutan. [13].

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

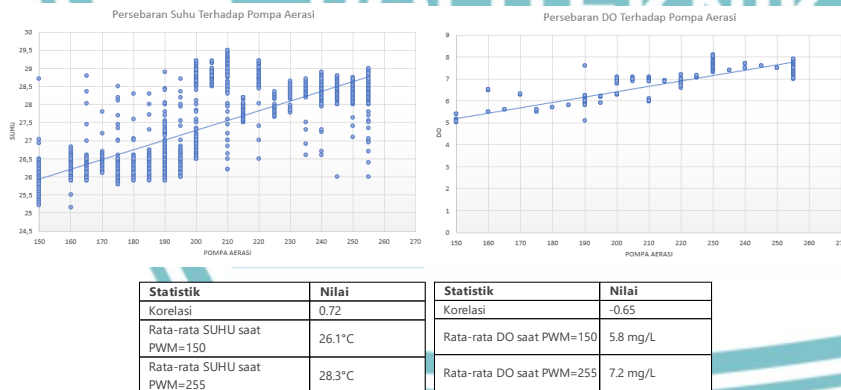
ANFIS digunakan untuk mengatur Venturi Aerator dan modul *Peltier* secara otomatis berdasarkan parameter seperti suhu dan oksigen terlarut yang diukur melalui sensor IoT. Penelitian menunjukkan bahwa ANFIS mampu mempelajari pola perubahan parameter kualitas air dan menyesuaikan pengoperasian perangkat secara **real-time**, sehingga dapat menjaga lingkungan budidaya tetap optimal [14]. Keunggulan ANFIS meliputi kemampuannya dalam menangani hubungan non-linear, adaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan, dan peningkatan efisiensi energi dalam pengelolaan sistem akuakultur. Arsitektur jaringan ANFIS memiliki kesamaan dengan sistem inferensi fuzzy model Sugeno [15].



Gambar 6. Struktur ANFIS

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan temuan-temuan kunci dari penelitian, diikuti dengan interpretasi, perbandingan dengan literatur sebelumnya, serta implikasi praktis dan teoritis. Akuisisi Data dan Pengujian Awal, Pengujian awal dilakukan untuk memahami karakteristik aktuator (aerator Venturi dan modul Peltier) terhadap parameter kualitas air (DO dan suhu) dalam lingkungan terkontrol. Data dikumpulkan selama periode 3 hari dengan variasi siklus kerja (PWM) untuk kedua aktuator.

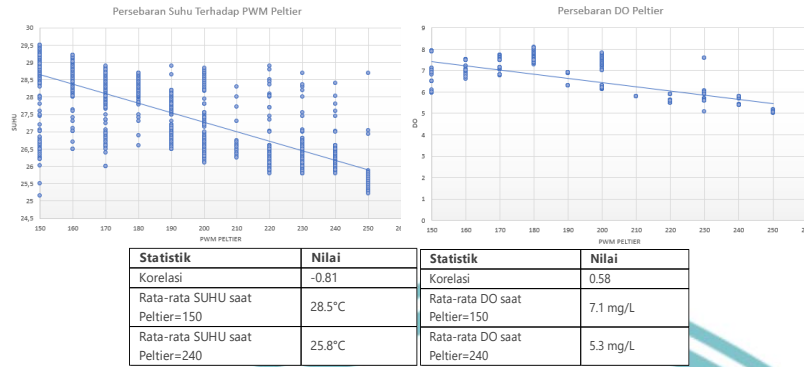


Gambar 7. Grafik dan Statistik PWM Aerator terhadap DO dan Suhu

Analisis data pada Gambar 7 menunjukkan bahwa peningkatan nilai PWM pompa aerasi dari 150 hingga 255 memiliki dua efek utama: (1) kenaikan suhu air sebesar 2,2°C (dari 26,1°C menjadi 28,3°C) akibat pelepasan energi panas dan gesekan, dengan korelasi positif kuat (+0,72), serta (2) peningkatan kadar oksigen terlarut (DO) dari 5,8 mg/L menjadi 7,2 mg/L meskipun secara statistik terdapat korelasi negatif (-0,65), menunjukkan bahwa efek aerasi intensif lebih dominan dalam transfer oksigen dibandingkan pengaruh negatif kenaikan suhu. Oleh karena itu, dalam operasionalnya, diperlukan penyeimbangan antara pengaturan PWM pompa aerasi dan sistem pendingin (seperti Peltier) untuk mempertahankan stabilitas suhu dan kadar DO optimal bagi kesehatan ikan koi.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

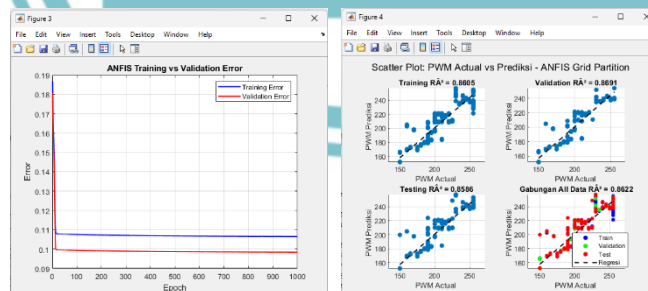


Gambar 8. Grafik dan Statistik PWM Peltier terhadap DO dan Suhu

Analisis data pada gambar 8 menunjukkan bahwa peningkatan nilai PWM modul Peltier (150–255) memiliki dua dampak utama: (1) penurunan suhu air secara signifikan (dari 28,5°C menjadi 25,8°C, $\Delta 2,7^\circ\text{C}$) dengan korelasi negatif kuat (-0,81), membuktikan efektivitas sistem pendinginan, dan (2) penurunan kadar oksigen terlarut (DO) (dari 7,1 mg/L ke 5,3 mg/L) meskipun secara teori suhu rendah seharusnya meningkatkan kelarutan oksigen—fenomena ini diduga akibat berkurangnya aerasi alami atau gangguan dinamika air selama pendinginan intensif. Korelasi positif statistik (+0,58) tidak sejalan dengan data aktual, mengindikasikan adanya faktor lain seperti transfer oksigen yang terhambat. Dengan demikian, pengaturan PWM Peltier perlu dioptimalkan untuk menyeimbangkan suhu ideal tanpa mengorbankan kadar DO, misalnya dengan memadukan aerasi tambahan saat pendinginan intensif.

Kinerja Model Logika Fuzzy ANFIS, Model ANFIS dikembangkan untuk memprediksi dan mengontrol kadar DO dan suhu berdasarkan data akuisisi. Kinerja model dievaluasi menggunakan metrik statistik seperti koefisien determinasi (R^2), *Root Mean Square Error* (RMSE), *Mean Absolute Error* (MAE), dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE).

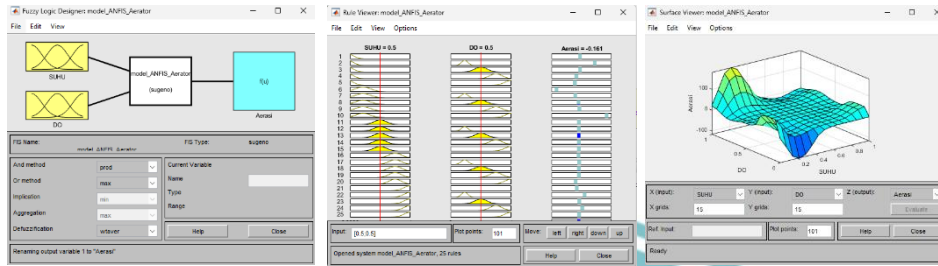
Kinerja model anfis untuk pompa aerasi: Model ANFIS menunjukkan kemampuan prediksi yang kuat untuk parameter kualitas air. Pada fase pelatihan, validasi, dan pengujian, model mencapai R^2 masing-masing sebesar 0.8605, 0.8691, dan 0.8586, dengan nilai RMSE berturut-turut 11.1860, 10.3378, dan 10.5923. Untuk seluruh data gabungan, model mempertahankan kinerja konsisten dengan R^2 0.8622 dan RMSE 10.9037. Nilai-nilai ini menunjukkan akurasi model yang baik dalam memetakan hubungan antara input (PWM aerasi) dan output (suhu dan DO), dengan persamaan regresi $\text{PWM}_{\text{aktual}} = 0.9986 \times \text{PWM}_{\text{prediksi}} + 0.1316$ yang mengkonfirmasi ketepatan prediksi. Hasil ini membuktikan keandalan model ANFIS sebagai sistem kontrol otomatis dalam pengelolaan kualitas air akuakultur. Dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 9 grafik ANFIS *Training vs Validation Error* dan *Scatter Plot*. secara komprehensif memvisualisasikan arsitektur dan kinerja sistem kontrol ANFIS untuk optimasi PWM aerasi berbasis parameter suhu dan DO pada gambar 10.



Gambar 9. Grafik ANFIS Training vs Validation Error dan Scatter Plot Aerasi

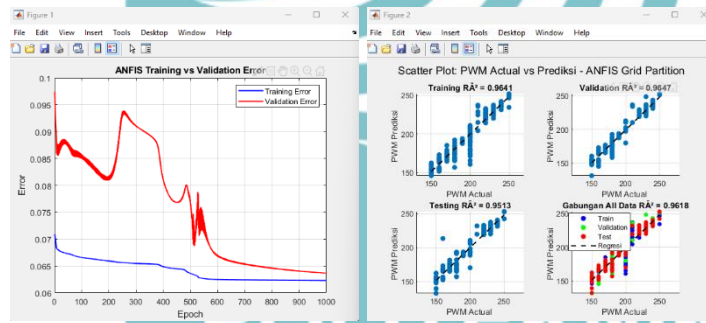
Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 10. Fuzzy Logic Designer, Rules dan Surve Viewer Aerasi

Kinerja Model ANFIS PWM Peltier menunjukkan hasil yang sangat akurat dengan nilai R^2 dan NSE konsisten di atas 0.95 pada semua fase (pelatihan: 0.9641, validasi: 0.9647, pengujian: 0.9513), RMSE rendah (6.23–7.26), dan persamaan regresi linear PWMaktual = $0.9959 \times \text{PWMprediksi} + 0.9630$ yang mengkonfirmasi ketepatan prediksi. Model ini terbukti andal dalam memetakan hubungan kompleks antara suhu, DO, dan PWM Peltier untuk kontrol pendinginan yang optimal. Hasil ini membuktikan keandalan model ANFIS sebagai sistem kontrol otomatis dalam pengelolaan kualitas air akuakultur. Dan hasilnya bisa dilihat pada gambar 11 grafik ANFIS Training vs Validation Error dan Scatter Plot. secara komprehensif memvisualisasikan arsitektur dan kinerja sistem kontrol ANFIS untuk optimasi PWM aerasi berbasis parameter suhu dan DO pada gambar 12.



Gambar11. Grafik ANFIS Training vs Validation Error dan Scatter Plot Peltier



Gambar 12. Fuzzy Logic Designer, Rules dan Surve Viewer Peltier

Hasil Pengujian Sistem Terintegrasi dan Analisis : Bagian ini menyajikan data hasil pengujian sistem secara keseluruhan setelah kedua model ANFIS terintegrasi pada ESP32, diikuti dengan analisis mendalam dan penelitian dilakukan selama 2 hari. Sistem ANFIS Terintegrasi berhasil mengoptimalkan kualitas air dengan PWM Venturi (158.28 ± 99) dan Peltier (173.89 ± 105) yang efisien, mempertahankan suhu ($27.84 \pm 3.19^\circ\text{C}$) dan DO ($5.84 \pm 3.73 \text{ mg/L}$) stabil secara real-time yang dijelaskan pada tabel 1.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 1 Statistik

	PWM Venturi	PWM Peltier	Suhu	Disolved Oxygen
MIN	150	150	26,06	4,26
MAX	249	255	29,25	7,99
AVERAGE	158,2824983	173,8971369	27,84	5,847317017
RANGE	99	105	3,19	3,73

Penelitian Pada Tabel 1 memperluas kontribusi dari studi sebelumnya dalam bidang akuakultur pintar. Beberapa penelitian terdahulu (misalnya, [16], [17]) telah fokus pada penggunaan IoT untuk pemantauan atau kontrol parameter tunggal. Namun, penelitian kami membedakan diri dengan mengintegrasikan secara simultan aerator Venturi dan modul Peltier, yang jarang ditemukan dalam satu sistem kontrol adaptif. Selain itu, penerapan ANFIS untuk mengelola interaksi kompleks antara DO dan suhu, serta mengoptimalkan penggunaan kedua aktuator secara adaptif, merupakan kontribusi signifikan terhadap strategi kontrol dalam akuakultur. Implementasi model ANFIS langsung pada ESP32 juga menunjukkan kelayakan solusi kontrol cerdas yang kompak dan hemat biaya untuk aplikasi di lapangan. Hasil kami mendukung temuan [18] mengenai potensi logika fuzzy dalam akuakultur, namun kami melangkah lebih jauh dengan mengimplementasikan ANFIS yang menggabungkan pembelajaran jaringan saraf untuk adaptasi yang lebih baik.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem kontrol cerdas berbasis ANFIS yang terintegrasi untuk mengoptimalkan kualitas air dalam akuakultur melalui pengaturan simultan aerator Venturi dan modul Peltier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan PWM aerator Venturi dari 150 hingga 255 mampu meningkatkan kadar oksigen terlarut (DO) dari 5,8 mg/L menjadi 7,2 mg/L meskipun disertai kenaikan suhu air sebesar 2,2°C. Di sisi lain, peningkatan PWM modul Peltier dari 150 hingga 255 efektif menurunkan suhu air sebesar 2,7°C namun menyebabkan penurunan DO menjadi 5,3 mg/L. Model ANFIS yang dikembangkan menunjukkan kinerja prediktif yang sangat baik, dengan nilai $R^2 > 0,85$ untuk aerator dan $R^2 > 0,95$ untuk Peltier, serta error yang rendah (RMSE 10,34-11,19 untuk aerator dan 6,23-7,26 untuk Peltier). Sistem terintegrasi ini berhasil mempertahankan parameter kualitas air dalam rentang optimal (suhu rata-rata 27,84±3,19°C dan DO 5,84±3,73 mg/L) dengan penggunaan energi yang efisien (PWM rata-rata 158,28 untuk Venturi dan 173,89 untuk Peltier). Keberhasilan implementasi ANFIS pada ESP32 ini tidak hanya memberikan solusi kontrol yang adaptif dan real-time, tetapi juga membuka peluang pengembangan sistem akuakultur pintar yang lebih hemat energi dan berkelanjutan. Temuan ini sekaligus menjawab tantangan dalam menjaga keseimbangan antara suhu dan DO, meskipun masih diperlukan pengembangan lebih lanjut untuk mengatasi trade-off antara pendinginan dan kadar oksigen terlarut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Kamil, U. Dindin, dan N. M. Z., "Kualitas air budidaya ikan koi (*Cyprinus rubrofasciatus*) pada sistem Vertiqua menggunakan filter Biofikal atas," *Habitat: Jurnal Ilmiah Ilmu Hewani dan Peternakan*, vol. 2, no. 2, pp. 42–53, Aug. 2024.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [2] Kahartonia dan D. I. Mawarnia, "Kaji eksperimental pengaruh debit udara dan air terhadap peningkatan oksigen terlarut pada air kolam ikan koi," *SIMETRIS*, vol. 17, no. 2, Dec. 2023
- [3] J. P. Nugraha and D. B. Sasongko, "Strategy Implementation and Success Factors of Koi Fish Marketing through Online Media at the Fara Koi Magetan Business Unit," *Int. J. Sci. Multidiscip. Res.*, vol. 1, no. 5, pp. 423- 434, 2023.
- [4] B. F. Kurnianto, D. Azmiraldy, R. H. Cahyo, and D. Agusman, "Implementasi Penggunaan Microbubble Venturi Dalam Sistem Aerasi Untuk Pembibitan Ikan Nila," *Bantenese Jurnal Pengabdian Masyarakat*, vol. 5, no. 1, Jun. 2023, e-ISSN 2656-1840.
- [5] D. Azmiraldy and P. H. Gunawan, "Efektivitas Penggunaan Microbubble Venturi Untuk Sistem Aerasi pada Tempat Pembibitan Nila," *Jurnal Mekanik Terapan*, vol. 05, no. 01, pp. 043-048, 2025, eISSN 2747-1381.
- [6] R. Widodo, "Performance of Venturi Aerator in aquaculture systems," *J. Aquaculture Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 210-220, 2021
- [7] F. Iqbal, M. N. Gull, H. M. Rizwan, D. Amir, A. Saleem, S. U. Haq, and T. A. Cheema, "Uncovering the Cooling Potential by Water Circulation on the Hot Side of a Peltier Module," *Eng. Proc.*, vol. 45, p. 34, 2023, doi: 10.3390/engproc2023045034
- [8] M. Octaviani and N. P. IS, "Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT Untuk Kolam Budidaya Ikan Lele di Agrowisata Tekno 44," *AMPERE*, vol. 9, no. 1, Jun. 2024, ISSN 2477-2755 (P), 2622-2981 (E).
- [9] P. Wijaya and T. Wellem, "Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Suhu dan Ketinggian Air pada Akuarium Ikan Hias berbasis IoT," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, pp. 225-233, Sep. 2022.
- [10] I. Wahyuni et al., "Application of ANFIS in Environmental Parameter Optimization," *J. Sains Teknol.*, vol. 11, no. 1, pp. 15-23, 2021.
- [11] Y. Zhang, X. Li, and J. Wang, "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Based Control of Dissolved Oxygen in Aquaculture Systems," in *Journal of Aquaculture Engineering and Management*, vol. 35, no. 4, pp. 245-252, 2020.
- [12] S. Kumar and R. Patel, "Temperature and Dissolved Oxygen Control in Recirculating Aquaculture Systems Using ANFIS," in *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, vol. 42, no. 3, pp. 175-183, 2019.
- [13] M. Hendra, "ANFIS for quality control in aquaculture," *Smart Systems Tech.*, vol. 15, no. 3, pp. 50-60, 2022.
- [14] A. Matsniya, A. Riski, and A. Kamsyakawuni, "Penerapan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dalam Prediksi Produksi Tembakau di Jember," *InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 13, no. 1, pp. 51-68, Apr. 2023.
- [15] R. Rahayu Rahman, A. Wibisono, R. Mulanti, H. N. Fadhli, G. R. Zahra, A. Anisa, N. M. Gultom, R. D. Anjani, A. M. Azkiya, S. Alhaq, S. Anwar, N. R. S. Laksono, R. A. Purnama, M. D. M. Darmawan, R. N. Fadillah, E. Angeline, N. Octavia, W. Wiyoto, and R. Siskandar, "Analisis Kelayakan Kualitas Air untuk Mengoptimalkan Pertumbuhan Ikan Lele Berbasis Fuzzy Logic Mamdani," *Indonesian Journal of Science*, vol. 5, no. 1, pp. 60-76, pr. 2024
- [16] A. Smith, B. Jones, and C. Davis, "IoT-based water quality monitoring in aquaculture," *J. Aquacult. Eng.*, vol. 15, no. 2, pp. 123-130, 2020.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [17] Badan Litbang, "Studi implementasi sensor pada budidaya ikan," Laporan Penelitian, Jakarta, Indonesia, 2019.
- [18] D. Jones, "Fuzzy logic applications in smart aquaculture systems," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 68, no. 5, pp. 456-467, 2021.

