

ABSTRAK

Kualitas air merupakan faktor utama yang menentukan kesehatan dan pertumbuhan ikan arwana, terutama pada media akuarium tertutup yang rentan mengalami perubahan parameter fisik dan kimia. Perubahan pH, suhu, dan tingkat kekeruhan (NTU) yang tidak terkontrol dapat berdampak negatif terhadap metabolisme, sistem imun, bahkan kelangsungan hidup ikan. Sistem pengendalian kualitas air berbasis Fuzzy Logic telah banyak digunakan, namun memiliki keterbatasan dalam hal fleksibilitas adaptasi terhadap variasi data dan presisi pengendalian. Permasalahan ini menjadi landasan penelitian untuk mengembangkan sistem pengendalian kualitas air otomatis berbasis *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang diintegrasikan dengan perangkat IoT, guna meningkatkan akurasi prediksi durasi aktuator dan efektivitas pemulihan kondisi air.

Penelitian ini menggunakan metode *Hybrid Learning* ANFIS, yang memadukan *Least Squares Estimation* (LSE) pada *forward pass* untuk menghitung parameter linear konsekuen dan *backpropagation* pada *backward pass* untuk memperbarui parameter non-linear fungsi keanggotaan. Data diperoleh melalui simulasi pembacaan sensor suhu, pH, dan kekeruhan pada media akuarium ikan arwana menggunakan ESP32 yang terhubung ke server berbasis Python (FastAPI) untuk prediksi durasi aktuator. Lima model ANFIS dibangun secara terpisah untuk mengendalikan aktuator pH UP, pH DOWN, heater, kipas, dan pompa buang. Parameter awal fungsi keanggotaan ditentukan menggunakan metode K-Means clustering. Evaluasi dilakukan dengan skenario input statis dan dibandingkan terhadap sistem berbasis Fuzzy Logic menggunakan metrik RMSE, MAE, dan R^2 . Sistem dilengkapi antarmuka web untuk memantau data sensor dan status aktuator secara real-time.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem ANFIS mampu menurunkan nilai RMSE rata-rata hingga 84,55% dibandingkan *Fuzzy Logic*, dengan MAE yang lebih rendah dan nilai R^2 mendekati 1, menandakan kemampuan prediksi yang lebih presisi. Sistem juga lebih efektif dalam mengembalikan parameter air ke nilai ideal ($\text{pH} \approx 7$, $\text{suhu} \approx 28^\circ\text{C}$, $\text{NTU} < 50$) dengan efisiensi kendali dan urutan aktivasi aktuator yang lebih cerdas. Temuan ini membuktikan bahwa pendekatan ANFIS dapat menjadi solusi unggul dalam pengendalian kualitas air berbasis IoT, yang adaptif terhadap variasi kondisi dan presisi dalam menjaga stabilitas lingkungan hidup ikan arwana.

Kata Kunci: ANFIS, kualitas air, IoT, *Hybrid Learning*, *Fuzzy Logic*

ABSTRACT

Water quality is a critical factor determining the health and growth of Arowana fish, especially in closed aquarium systems that are prone to fluctuations in physical and chemical parameters. Uncontrolled changes in pH, temperature, and turbidity (NTU) can negatively affect metabolism, immune function, and even fish survival. *Fuzzy Logic*-based water quality control systems have been widely applied; however, they have limitations in adaptability to varying data and precision in control. This research addresses these issues by developing an automated water quality control system based on the *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), integrated with Internet of Things (IoT) devices, to improve the accuracy of actuator duration prediction and the effectiveness of restoring optimal water conditions.

This study applies the *Hybrid Learning* method in ANFIS, combining *Least Squares Estimation* (LSE) in the forward pass to calculate the linear consequent parameters and *backpropagation* in the backward pass to update the non-linear parameters of the membership functions. Data were obtained through simulated sensor readings of temperature, pH, and turbidity in an Arowana aquarium using an ESP32 connected to a Python-based (FastAPI) server for actuator duration prediction. Five separate ANFIS models were built to control the pH UP, pH DOWN, heater, fan, and drain pump actuators. Initial membership function parameters were determined using *K-Means clustering*. Evaluation was carried out using static input scenarios and compared to a *Fuzzy Logic*-based system, employing RMSE, MAE, and R^2 metrics. The system is equipped with a web interface for real-time monitoring of sensor data and actuator status.

The results show that the ANFIS-based system reduced average RMSE by up to 84.55% compared to Fuzzy Logic, with lower MAE and R^2 values close to 1, indicating higher prediction accuracy. The system was also more effective in restoring water parameters to their ideal values (pH $\approx$ 7, temperature $\approx$ 28 °C, NTU $<$ 50) with more efficient control and smarter actuator activation sequences. These findings demonstrate that the ANFIS approach can be a superior solution for IoT-based water quality control, being both adaptive to varying conditions and precise in maintaining a stable living environment for Arowana fish.

Keywords: ANFIS, water quality, IoT, *Hybrid Learning*, *Fuzzy Logic*