

Identifikasi Intensitas Makan Ikan Budidaya Akuaponik berdasarkan Kualitas Air dan Pergerakan Ikan

MULKI REZKA BUDI PRATAMA¹, REZA FIKRI ALFATAH², JAYA KUNCARA ROSA SUSILA¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Bandung

²Program Studi Agribisnis, Universitas Muhammadiyah Bandung

Email : mulki.rezka@umbandung.ac.id

Received 19 November 2024 | Revised 25 Desember 2024 | Accepted 27 Desember 2024

ABSTRAK

Pemberian pakan ikan dapat ditentukan melalui pengamatan perilaku, kualitas air, dan ukuran ikan. Salah satu metode otomatisasi yang digunakan adalah ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), dengan masukan berupa kualitas air (kekeruhan dan NH₃) serta aktivitas gerak ikan menggunakan inframerah (IR). Sistem ini mendukung keputusan pemberian pakan secara optimal. Validasi alat dilakukan menggunakan model regresi linier dan evaluasi kinerja berdasarkan Mean Relative Error (MRE). Hasil menunjukkan akurasi perangkat mencapai 95,77%, lebih tinggi 6,55% dibandingkan perangkat tanpa kualitas air (89,22%). Model ini terbukti andal dan dapat diterapkan pada sistem akuaponik berbasis industri untuk meningkatkan efisiensi pemberian pakan ikan.

Kata kunci: *Akuaponik; biologi otomatis; rekayasa sistem; robotika; instrumentasi*

ABSTRACT

Fish feeding can be determined by observing behavior, water quality, and fish size. One automation method used is ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), which uses inputs such as water quality (turbidity and NH₃) and fish movement activity detected by infrared (IR). This system supports optimal feeding decision-making. The tool validation was conducted using a linear regression model, and its performance was evaluated based on the Mean Relative Error (MRE). The results showed that the device achieved an accuracy of 95.77%, 6.55% higher than devices without water quality input (89.22%). This model has proven reliable and can be applied to industry-based aquaponic systems to enhance the efficiency of fish feeding.

Keywords: *Aquaponics; automated biology; systems engineering; robotics; instrumentation*

1. PENDAHULUAN

Akuaponik merupakan perpaduan antara sistem akuakultur dan hidroponik yang berkelanjutan dan efisien untuk produksi pangan. Kesehatan dan pertumbuhan ikan sangat penting pada sistem akuaponik, dikarenakan dapat secara langsung memengaruhi pasokan nutrisi bagi tanaman **(Verma, dkk, 2023)**. Salah satu aspek penting dalam menjaga kesehatan ikan adalah memastikan pemberian pakan yang tepat. Pemberian pakan secara manual dalam sistem akuaponik memiliki keterbatasan, diantaranya tidak konsisten dan membutuhkan tenaga kerja yang lebih banyak **(Quagraine, dkk, 2018)**.

Keterbatasan pemberian pakan ikan secara manual dalam sistem akuaponik, memunculkan penelitian dan pengembangan sistem pemberian pakan secara otomatis. Pemberian pakan secara otomatis dapat memberikan konsistensi dan ketepatan waktu dalam pemberian pakan ikan pada akuaponik. Pemberian pakan secara otomatis dapat mempengaruhi kesehatan ikan dan produktivitas sistem secara keseluruhan. Integrasi antara pergerakan ikan dan kondisi lingkungan akuarium dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan pemberian pakan ikan yang akurat **(Eneh, dkk, 2023)**.

Automasi pada hidroponik telah meningkatkan produksi pertanian dengan ruang yang kecil di pertanian perkotaan, namun memiliki biaya operasional dan investasi yang tinggi **(Mamatha, dkk, 2023)**. Automasi pada hidroponik yang dilengkapi dengan perangkat lunak dan perangkat pemantauan off-the-shelf, yang mampu menghimpun informasi tentang parameter ekosistem secara real-time. Beberapa perangkat tersebut diantaranya adalah pH, suhu, kelembaban relatif (RH), dan Total Padatan Terlarut (TDS). Namun, perangkat hidroponik belum mampu untuk menangani sistem pengaturan pakan ikan pada aquaponik **(Kyaw, dkk, 2017)(Taha, dkk, 2022)(Yanes, dkk, 2020)**. Penerapan automasi pada akuaponik perlu perangkat eksternal berupa Dissolved Oxygen (DO), ammonia (NH₃) dan nitrit (NO₂) untuk memantau ikan dan mengendalikan variabel pemberian pakan secara pintar **(Bartley, 2022)**.

Studi tentang intensitas pemberian pakan (konsumsi makanan dan tingkat kenyang) berfokus pada ukuran ikan, siklus reproduksi, musim, dan lingkungan. Ikan yang lebih kecil seringkali memiliki tingkat makan yang lebih tinggi daripada ikan yang lebih besar **(Le Roy, dkk, 2021)**. Jumlah konsumsi umpan ikan, selama pemberian pakan ditentukan dengan mengamati perilaku, lingkungan dan ukuran ikan **(Del Pozo, dkk, 2011)(Rubin, dkk, 2024)**. Perangkat sensor inframerah (IR) merupakan alat sederhana yang memungkinkan untuk merekam aktivitas alat gerak **(Måløy, dkk, 2019)**. Namun akhir-akhir ini, banyak penelitian menggunakan video pengawasan dalam waktu yang nyata banyak untuk mengamati perilaku ikan **(Pylatiuk, dkk, 2019)(Ubina, dkk, 2021)**.

Berbeda dengan pengamatan resolusi tinggi seperti yang digunakan saat ini yaitu rekaman video memerlukan analisis data yang kompleks dan memakan waktu. Terutama ketika merekam kelompok ikan yang banyak. Perekaman perilaku ikan menggunakan IR lebih menguntungkan, karena dalam pengamatan satu bulan hanya menghasilkan data teks <1 MB. Dengan demikian, pengamatan aktivitas jangka panjang dimungkinkan menghasilkan data yang lebih kecil **(Xuelong, dkk, 2023)**. Perangkat sensor kualitas air mendukung akurasi pemberian ikan. Data kualitas air dapat dikombinasikan dengan pergerakan ikan menggunakan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) **(Bucking, 2016)(Wan, dkk, 2022)**. Sehingga dalam penelitian ini memiliki tujuan penggunaan variabel kualitas air dan pergerakan ikan dapat menjadi masukan pada sistem ANFIS untuk mengestimasi Jumlah pakan ikan dengan Tingkat kesalahan prediksi <10%.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang untuk mengeksplorasi korelasi antara intensitas pemberian pakan pada ikan yang dibudidayakan dengan akuaponik dan perubahan parameter kualitas air, serta pembacaan inframerah. Percobaan ini dilakukan di laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Bandung.

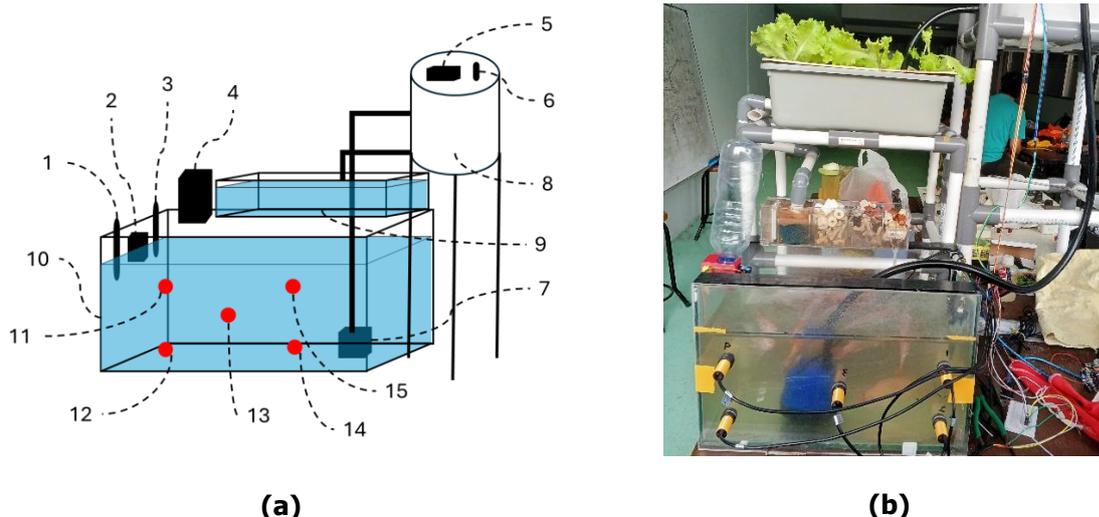
2.1. Pemilihan ikan dan sistem akuaponik

Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dipilih untuk penelitian ini karena penggunaannya yang umum dalam sistem akuaponik. Ikan nila yang digunakan memiliki massa tunggal $(26,5 \pm 1,67)$ g dengan kepadatan pembiakan $78,28 \text{ g/m}^3$, oksigen terlarut $(9 \sim 12) \text{ mg/L}$, dan suhu air $(14 \sim 16)^\circ\text{C}$. Frekuensi pemberian pakan adalah sekali sehari pada pukul 17.00, dan jumlah pemberian pakan setiap tangki pembiakan adalah (100 ± 10) g. Untuk menghilangkan dampak perubahan lingkungan, semua ikan diadaptasi ke budidaya selama satu bulan sebelum percobaan. Selain itu, untuk mensimulasikan lingkungan perkembangbiakan yang sebenarnya, lampu ruangan tetap menyala pada siang hari untuk menghilangkan pengaruh fototaksis ikan pada pengujian **(de Alba, dkk, 2024)**.

Pengaturan akuaponik meliputi akuarium ikan dengan panjang 43,6 cm, lebar 22,9 cm dan kedalaman air 20 cm. Seperti yang diilustrasikan pada gambar 1. (b), akuarium dilengkapi dengan tabung sedimentasi, biofilter, dan bedengan berisi sayuran hijau untuk meniru lingkungan akuaponik standar.

2.2. Instrumentasi dan Kalibrasi

Instrumen berupa sensor elektrokimia digunakan untuk mengumpulkan data kualitas air. Sensor elektrokimia diletakkan pada dua bagian yang terpisah seperti yang digambarkan pada gambar 1. (a): sensor Dallas DS18B20 untuk mengukur suhu (1), pengukur kekeruhan air Gravity: Analog Turbidity Sensor for Arduino (2) dan pengukur pH DFRobot Gravity: Analog pH Sensor / Meter Kit (3) diletakkan pada batas air akuarium. Nilai oksigen terlarut dan amonia berupa kadar Nitrit diukur dengan Analog DO Sensor Meter Kit for Arduino (5) dan Sensor gas MICS-6814 (6) pada tabung sedimentasi (8) **(Del Pozo, dkk, 2011)(Rubin, dkk, 2024)**.



Gambar 1. (a) Rancang Bangun Akuaponik Beserta Sensor. (b) Prototipe Alat

Selain itu, sensor IR dikalibrasi untuk mendeteksi aktivitas pemberian pakan. ikan dipantau oleh sensor fotosel IR (model E3S-AD62, Omron, Kyoto, Jepang) dengan sensitivitas jarak jauh yang ditempatkan di tengah panel depan setiap tangki ikan. Hingga ikan dapat dipantau secara paralel dengan menggunakan 5 sensor IR dengan satu sistem seperti yang tertera pada gambar 1. (a). Peletakan sensor 3 diatur pada bagian tengah akuarium, 10 cm dari dasar air dengan 11 cm dari sisi kiri dan kanan akuarium (13). Sensor 1 (11) dan 2 (12) sama-sama diatur pada posisi 5 cm dari sisi kiri akuarium, namun dengan ketinggian yang berbeda yaitu 15 cm dan 5 cm dari dasar air. Sensor 4 (15) dan 5 (14) diatur pada posisi 5 cm dari sisi kanan akuarium, dengan ketinggian 15 dan 5 cm dari dasar air. Prosedur kalibrasi IR diikuti dengan ketat untuk memastikan keakuratan, dengan standar referensi digunakan untuk validasi (Måløy, dkk, 2019).

2.3. Pengumpulan data

Protokol Data dikumpulkan selama periode 16 minggu, dengan pengukuran dilakukan tiga kali sehari (pagi, siang, dan malam) untuk menangkap variasi sepanjang hari. Waktu pemberian pakan dikontrol dan dicatat, dan perubahan yang sesuai dalam kualitas air dan pembacaan inframerah dicatat dengan cermat.

2.4. Pengaturan eksperimen

Ikan Nila yang digunakan dalam pengujian adalah 7 ekor setiap perlakuan. Data dasar ditetapkan selama minggu pertama tanpa memasukkan pakan apa pun untuk memahami variasi alami dalam kualitas air. Uji coba pemberian pakan terkontrol dilakukan selanjutnya, dengan tiga frekuensi pakan berbeda, diantaranya "*High*," "*Medium*," dan "*Low*". Tiga frekuensi pakan tersebut digunakan untuk mempelajari dampaknya terhadap kualitas air dan pembacaan inframerah. Kelompok dengan frekuensi pemberian pakan tinggi akan diberi pakan tiga kali sehari. kelompok dengan frekuensi pemberian pakan sedang akan diberi makan dua kali sehari. Sementara kelompok dengan frekuensi pemberian pakan rendah akan diberi makan sekali sehari. Bobot pemberian pakan sebesar 2% dari total biomassa setiap dengan 36% protein kasar ikan (Le Roy, dkk, 2021).

2.5 Analisis data

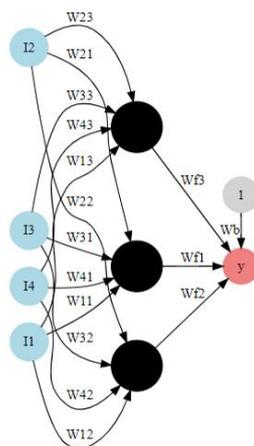
Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan metode statistik, termasuk analisis korelasi untuk mengidentifikasi pola dan hubungan antara intensitas pemberian pakan, parameter kualitas air, dan sinyal inframerah. Alat visualisasi data digunakan untuk menyajikan temuan dengan jelas. Analisis Korelasi telah digunakan untuk menilai tingkat hubungan antara dua variabel kuantitatif. Persamaan yang digunakan untuk analisis korelasi diberikan pada Persamaan (1).

$$r = \frac{n(\sum V_i E) - (\sum V_i) \times (\sum E)}{\sqrt{[n \sum V_i^2 - (\sum V_i)^2] \times [n \sum E^2 - (\sum E)^2]}} \quad (1)$$

di mana, r merupakan representasi dari koefisien korelasi Pearson (PCC), V_i merupakan representasi dari parameter yang mempengaruhi output, E merupakan representasi dari parameter output, n merupakan representasi dari total titik data. Sebanyak 70% data dipilih sebagai dataset pelatihan untuk melatih model, dan 30% data sisanya digunakan untuk menguji model prediksi (Eneh, dkk, 2023).

Hibridisasi jaringan saraf tiruan dan logika fuzzy dilakukan dalam ANFIS. Sistem ini menciptakan hubungan antara himpunan data masukan-keluaran. Untuk proses pembelajaran, ANFIS menggunakan penurunan gradien propagasi balik yang bergantung pada kalkulasi mundur parameter dari simpul keluaran ke simpul masukan (Buckling, 2016).

Cara kerja dasar model ANFIS dijelaskan dalam Gambar 2. Langkah pertama dari metode ANFIS adalah difuzzifikasi, yang mengacu pada pemetaan variabel masukan-keluaran dan peringkatnya dalam ruang fuzzy. Masukan ke sistem inferensi fuzzy (FIS) adalah nilai non-fuzzy yang dibatasi dalam suatu rentang. Fuzzifikasi masukan dilakukan dengan mengubah masukan yang tajam ini menjadi himpunan linguistik tergantung pada aturan fuzzy FIS. Fuzzifikasi input dilakukan menggunakan fungsi keanggotaan Gaussian, yang memberikan hasil efisien dengan waktu komputasi terpotong, kurva halus, dan titik bukan nol (Wan, dkk, 2022).



Gambar 2. Cara Kerja Dasar Model ANFIS

Setelah proses fuzzyfikasi, proses pengambilan keputusan dilakukan oleh *Fuzzy Inference System* (FIS) model ANFIS yang berbasis pada inferensi paralel dari basis data aturan fuzzy dan pengetahuan pakar. Untuk model ini, struktur Sugeno diadaptasi sebagai FIS karena kemudahan pembentukan aturan, teknik defuzzifikasi, dan pembangkitan output dengan interpretasi yang efektif. Langkah selanjutnya adalah agregasi yang merupakan kombinasi keluaran himpunan fuzzy dari semua aturan untuk menghasilkan keluaran himpunan fuzzy. Tahap agregasi menerima masukan sebagai semua keluaran yang dipersingkat untuk setiap aturan dari FIS. Proses ini mendukung metode-metode berikut: a. Maksimum (maks) b. OR Probabilistik (probOr) c. Jumlah himpunan keluaran setiap aturan (jumlah) Defuzzifikasi mengubah himpunan nilai fuzzy yang merupakan keluaran dari proses agregasi menjadi nilai yang tajam sebagai keluaran yang diprediksi. Metode defuzzifikasi sentroid yang digunakan dalam model ANFIS ini memberikan titik pusat area di bawah kurva. Jaringan fuzzy yang digunakan ini dapat meningkatkan nilai parameter aturan fuzzy dan fungsi keanggotaan sebagai nilai pusat, dan lebar fungsi keanggotaan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik (Susila, dkk, 2021).

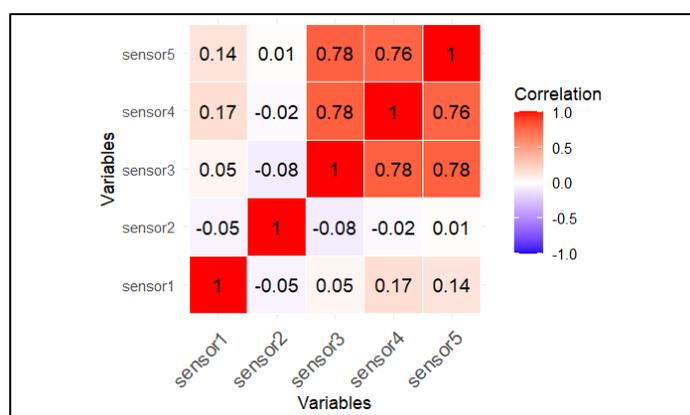
2.6. Validasi dan verifikasi

Hasil divalidasi dengan merujuk silang dengan literatur yang ada dan melakukan uji coba berulang untuk memastikan konsistensi. Keandalan dan keakuratan metodologi dikonfirmasi melalui uji pengulangan dan perbandingan dengan penelitian sebelumnya. Proses identifikasi kombinasi sensor yang paling efektif untuk memprediksi intensitas pemberian makan ikan, peneliti melakukan analisis komparatif berbagai pengaturan sensor. Proses ini melibatkan pengujian berbagai kombinasi parameter kualitas air. bersama data sensor inframerah. Setiap kombinasi dievaluasi berdasarkan kinerja prediktifnya menggunakan metrik *Mean Relative Error* (MRE) dan nilai R-squared (R^2). Analisis tersebut mengungkapkan bahwa kombinasi tertentu, khususnya yang mencakup oksigen terlarut dan kekeruhan, memberikan prediksi

intensitas pemberian makan yang lebih akurat. Langkah ini sangat penting dalam mengoptimalkan pengaturan sensor untuk pemantauan waktu nyata dan memastikan keandalan model prediktif (Susila, dkk, 2021).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan korelasi antara lima sensor inframerah dianalisis menggunakan metode Pearson untuk memahami keterkaitan data yang dihasilkan oleh setiap sensor. Analisis ini memberikan wawasan mendalam mengenai pola pengukuran di lingkungan akuaponik, termasuk bagaimana sensor-sensor tersebut saling mendukung atau memberikan informasi yang berbeda. Pemahaman ini dapat berkontribusi pada pengelolaan sistem yang lebih efisien dengan memanfaatkan data secara optimal.



Gambar 3. Analisis Korelasi Peletakan 5 Sensor Inframerah yang Berbeda

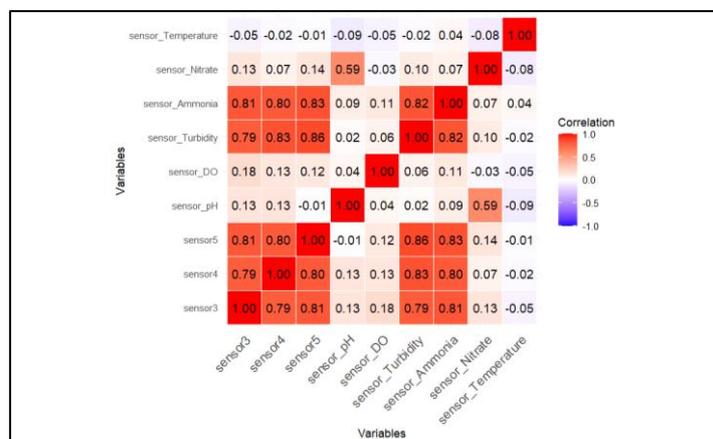
Korelasi Pearson dihitung antara metrik yang berbeda (Gambar 3). Hasil menunjukkan terdapat korelasi positif yang kuat antara sensor 4 dan sensor 5 ($r = 0,76$), serta antara sensor IR3 dan sensor IR4 ($r = 0,78$). Nilai korelasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa sensor-sensor ini kemungkinan mengukur aspek-aspek terkait dari lingkungan akuaponik, yang dapat menjadi penting untuk memprediksi intensitas makan ikan. Sebaliknya, sensor IR2 menunjukkan korelasi yang rendah hingga tidak signifikan dengan sensor lain, yang menunjukkan bahwa sensor tersebut mungkin menangkap informasi unik yang tidak terkait langsung dengan parameter lainnya.

Identifikasi korelasi ini penting untuk mengoptimalkan pengaturan sensor. Dengan berfokus pada sensor IR3, IR4 dan IR5 yang paling berkorelasi kuat, dapat meningkatkan akurasi model prediktif. Korelasi kuat yang diamati antara sensor tertentu juga menyoroti area potensial untuk penyelidikan lebih lanjut, seperti memahami faktor-faktor mendasar yang mendorong hubungan ini dan dampaknya terhadap perilaku ikan.

Hasil peta korelasi antara ketiga sensor (Sensor IR3, IR4 dan IR5) telah dikorelasikan kembali dengan sensor lingkungan (pH, DO, Turbidity, Amonia, Nitrate dan Temperatur) (Gambar 4). Hasil visual menunjukkan terdapat korelasi positif yang kuat antara sensor IR3 sensor IR4 dan sensor IR5 dengan Amonia ($r = 0.81-0.83$), yang menunjukkan bahwa sensor-sensor ini kemungkinan mengukur konsentrasi amonia yang sama dalam sistem akuaponik. Pemberian makanan pada ikan memberikan pengaruh pada produksi amonia. Dalam larutan air, amonia dalam bentuk gas NH_3 dan/atau ion amonium kationik (NH_4^+). NH_3 dan NH_4^+ berada dalam kesetimbangan ($\text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+ \Leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$) (Yanes et al., 2020). Demikian pula, sensor IR3,

Identifikasi Intensitas Makan Ikan Budidaya Akuaponik Menggunakan Perpaduan Kualitas Air dan Inframerah

sensor IR4 dan sensor IR5 dengan Kekeruhan juga menunjukkan korelasi positif yang tinggi ($r = 0.79-0.86$), yang menunjukkan pengukuran kekeruhan yang konsisten di seluruh sensor ini.



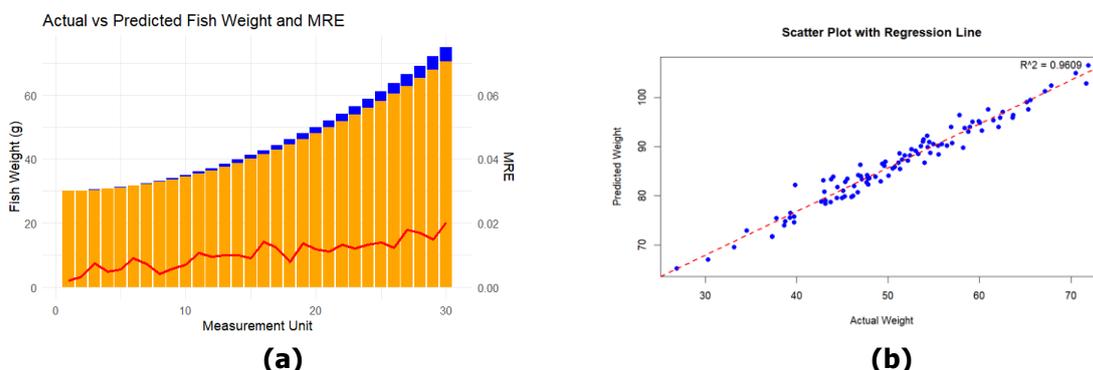
Gambar 4. Analisis Korelasi antara Sensor Pergerakan Ikan dengan Sensor Kualitas Air

Korelasi antara sensor IR3, IR4, dan IR5 dengan temperatur bersifat negatif lemah ($r = -0,01$ hingga -0.05), yang menyiratkan hubungan terbalik yang potensial di mana perubahan suhu mungkin sedikit memengaruhi pergerakan ikan. Selain itu, beberapa variabel menunjukkan korelasi yang dapat diabaikan, seperti sensor DO, sensor Nitrat dan sensor pH, yang menunjukkan tidak ada hubungan linier yang signifikan antara parameter-parameter ini. Amonia merupakan basa lemah yang dikeluarkan oleh ikan. Seharusnya pengaruh pemberian makan akan mengeluarkan lebih banyak basa ke dalam air (**Bucking, 2016**). Meningkatnya tingkat metabolisme pada ikan juga akan meningkatkan suhu lingkungan air. Dengan suhu yang meningkat, akan mempengaruhi kelarutan oksigen pada kolam ikan. Pengukuran suhu dan oksigen sangat diperlukan untuk menentukan jumlah pakan pada ikan (**Hoess et al., 2022**). Pemberian pakan ikan secara intensif mendorong peningkatan mineral, garam, dan ion yang terlarut dalam air sebagai hasil ekskresi ikan dan sisa pakan. Dengan demikian, TDS diperlukan untuk mengukur jumlah padatan terlarut atau konsentrasi jumlah ion kation (bermuatan positif) dan anion (bermuatan negatif) di dalam air (**Coldebella et al., 2017**).

Temuan ini penting untuk mengoptimalkan pengaturan sensor dalam model prediktif dalam penelitian ini. Dengan berfokus pada sensor yang paling berkorelasi kuat, peneliti dapat meningkatkan akurasi prediksi kami untuk intensitas makan ikan. Korelasi kuat yang diamati antara sensor tertentu menyoroti pentingnya mempertimbangkan beberapa parameter untuk pemahaman yang komprehensif tentang kualitas air akuaponik. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menekankan pentingnya memilih kombinasi sensor yang tepat untuk pemantauan dan prediksi lingkungan yang akurat dalam sistem akuaponik. Informasi yang diperoleh dari analisis korelasi ini akan menginformasikan langkah selanjutnya dalam penelitian kami, termasuk pengembangan dan penyempurnaan model ANFIS untuk prediksi intensitas makan ikan secara real-time.

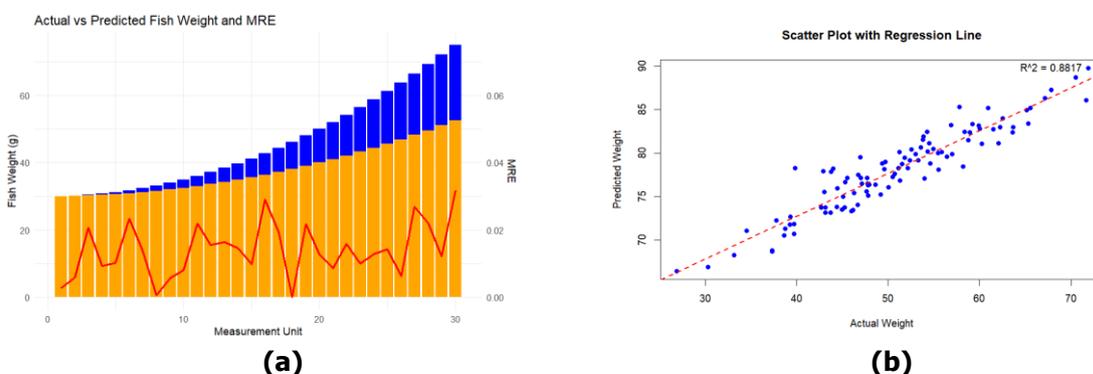
Evaluasi model prediksi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis korelasi sensor dan pengujian data untuk memvalidasi akurasi model. Temuan menunjukkan bahwa dengan memfokuskan pada sensor yang memiliki korelasi kuat, akurasi prediksi intensitas makan ikan dapat ditingkatkan secara signifikan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyoroti pentingnya kombinasi sensor yang tepat untuk pemantauan lingkungan akuaponik. Validasi dilakukan menggunakan 30 sampel data uji, dengan hasil evaluasi ditampilkan melalui

plot grafis pada Gambar 5, yang menunjukkan kesalahan MRE yang minim. Informasi ini akan menjadi dasar pengembangan model ANFIS untuk prediksi intensitas makan ikan secara real-time.



Gambar 5. Plot Grafis dari Bobot Aktual, Bobot Terprediksi, dan Besarnya Kesalahan relatif (a) MRE dan (b) Hasil Linier dari Penggunaan Sensor Pergerakan Ikan dengan Sensor Kualitas Air.

Analisis plot grafik MRE dari model jaringan saraf (Gambar 6) menunjukkan bahwa penggunaan sensor pergerakan ikan dengan sensor kualitas air pada ANFIS memiliki nilai MRE yang lebih kecil berkisar antara 0,018 hingga 0,059, sedangkan penggunaan sensor pergerakan ikan tanpa sensor kualitas air pada ANFIS, yaitu berkisar antara 0,029 hingga 0,0239. Analisis akurasi model menunjukkan bahwa penggunaan sensor pergerakan ikan dengan sensor kualitas air pada ANFIS memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) tertinggi, yaitu 0,9609, daripada penggunaan sensor pergerakan ikan tanpa sensor kualitas air dengan nilai R^2 sebesar 0,8817.



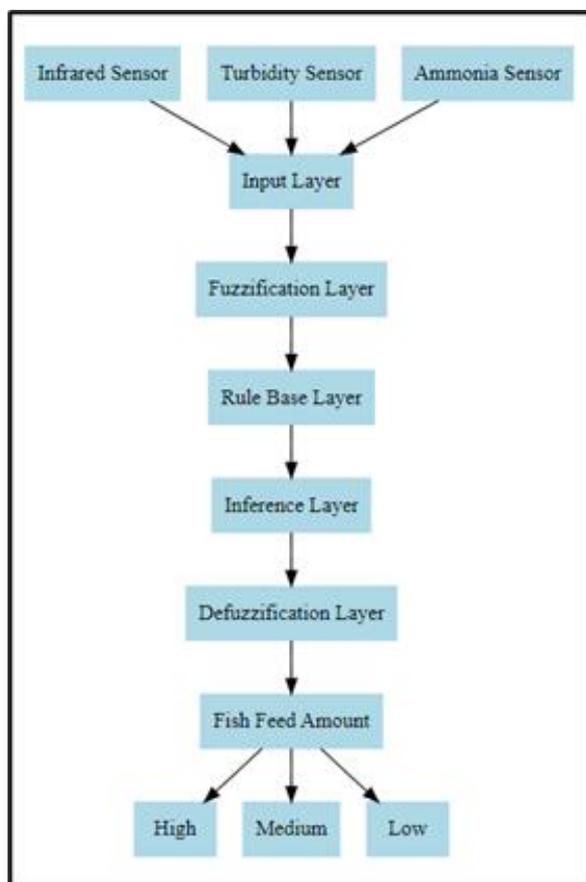
Gambar 6. Plot Grafis dari Bobot Aktual, Bobot Terprediksi, dan Besarnya Kesalahan Relatif (A) MRE dan (B) Hasil Linier dari Penggunaan Sensor Pergerakan Ikan Tanpa Sensor Kualitas Air.

Keselarasan yang erat antara berat ikan aktual dan prediksi menunjukkan efektivitas model prediktif dalam memperkirakan berat ikan berdasarkan data sensor. Nilai MRE yang rendah semakin memvalidasi keakuratan model, yang menunjukkan bahwa prediksi tersebut dapat diandalkan dan konsisten dengan data yang diamati. Tingkat keakuratan ini sangat penting untuk mengoptimalkan jadwal pemberian pakan dan memastikan kesehatan serta pertumbuhan ikan dalam sistem akuaponik.

Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang telah menggunakan model prediktif serupa untuk manajemen akuakultur, yang menyoroti potensi integrasi data sensor dan teknik pembelajaran mesin untuk pemantauan yang tepat dan efisien (Gambar 7). Keberhasilan

Identifikasi Intensitas Makan Ikan Budidaya Akuaponik Menggunakan Perpaduan Kualitas Air dan Inframerah

penerapan model ini dalam penelitian kami menggarisbawahi kegunaannya dalam sistem akuaponik waktu nyata, yang membuka jalan bagi kemajuan lebih lanjut dalam manajemen akuakultur otomatis.

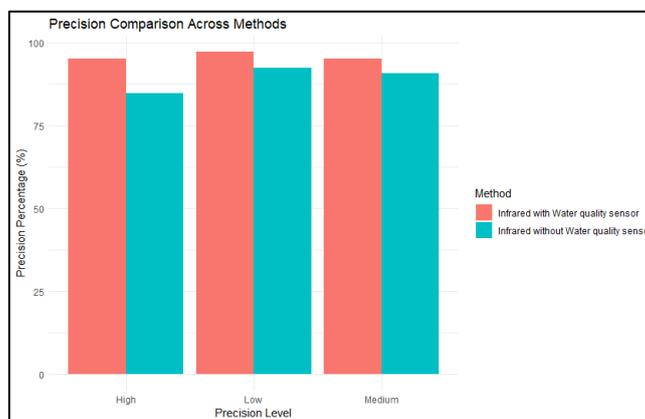


Gambar 7. Arsitektur Model Prediksi Pemberian Pakan Ikan yang Diusulkan pada Sistem Akuaponik

Secara keseluruhan, korelasi yang kuat antara bobot aktual dan bobot yang diprediksi, sebagaimana dibuktikan oleh nilai R^2 yang tinggi, menggarisbawahi kegunaan model prediktif dalam sistem akuaponik waktu nyata. Tingkat akurasi ini sangat penting untuk mengoptimalkan jadwal pemberian pakan dan memastikan kesehatan serta pertumbuhan ikan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa model prediktif yang digunakan dalam sistem akuaponik waktu nyata memiliki tingkat akurasi yang tinggi, sebagaimana dibuktikan oleh nilai R^2 yang kuat antara bobot aktual dan bobot yang diprediksi. Tingkat akurasi ini berperan penting dalam mengoptimalkan jadwal pemberian pakan, menjaga kesehatan, dan mendukung pertumbuhan ikan. Selain itu, perbandingan tingkat presisi dari lima model menunjukkan bahwa perangkat sensor pergerakan ikan yang dilengkapi dengan sensor kualitas air memiliki akurasi pengenalan lebih tinggi dibandingkan dengan model tanpa sensor kualitas air. Integrasi data kualitas air dengan pembacaan inframerah dapat mengarah pada pengembangan model prediktif untuk memprediksi intensitas pemberian pakan ikan secara "High," "Medium," dan "Low" dengan tingkat akurasi masing-masing 95,12%, 95,12%, dan 97,06% dengan rata-rata 95,77%. Sebaliknya, penggunaan inframerah tanpa perekaman kualitas air tidak mencakup

semua aspek intensitas pemberian pakan ikan secara "High," "Medium," dan "Low", yang berpotensi menghasilkan penilaian yang lebih kecil yaitu 84,71%, 92,42% dan 90,53%. Penggunaan inframerah tanpa perekaman kualitas air lebih sederhana dan lebih murah untuk diterapkan, namun keakuratan memprediksi pakan ikan rata-ratanya hanya 89,22%. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya kombinasi sensor untuk menghasilkan prediksi yang lebih presisi dalam mendukung efisiensi sistem akuaponik.



Gambar 8. Perbandingan Presisi pada Perangkat Sensor Pergerakan Ikan dengan Sensor Kualitas Air dan Tanpa Sensor Kualitas Air.

Dalam percobaan ini, ANFIS mengintegrasikan konsep logika fuzzy ke dalam jaringan saraf dan telah banyak digunakan dalam berbagai ilmu teknik dan aplikasi sistem akuakultur. Penelitian ini telah menunjukkan kelayakan menggunakan ANFIS dengan input pergerakan ikan dan kualitas air untuk kontrol pemberian makan. Aktivitas ikan mengarah pada perubahan konsentrasi amonia dan kekeruhan air, yang dapat digunakan untuk mengukur perilaku makan. Kemudian, indeks kuantifikasi perilaku makan digunakan sebagai masukan FIS untuk mewujudkan kontrol pemberian makan (**de Alba, dkk, 2024**). Selain itu, FIS juga digunakan untuk menilai kualitas air agar dapat mengoptimalkan prediksi pemberian pakan ikan (**Xuelong, dkk, 2023**).

Pakan yang tidak mencukupi dapat mempengaruhi pertumbuhan alami ikan, sedangkan pemberian makan yang berlebihan dapat mengakibatkan pakan yang terbuang dan menyebabkan polusi air dan penyakit ikan (**Buerger, dkk, 2022**)(**Li, , dkk, 2020**). Pemberian pakan ikan sangat bergantung pada pengalaman pribadi dan tidak dapat secara akurat memperhitungkan perubahan dalam persyaratan makan dan faktor lingkungan, sering mengakibatkan kurang makan atau makan berlebih (**Zhou, dkk, 2018**). Penggunaan alat ini, dapat memprediksi kebutuhan pakan ikan pada akuakultur.

4. KESIMPULAN

Integrasi kualitas air berupa kekeruhan dan amonia serta pergerakan ikan mampu memprediksi intensitas pemberian pakan ikan dengan model ANFIS. Akurasi yang dihasilkan adalah 95,77%, jauh lebih tinggi dibandingkan penggunaan data pergerakan ikan yang hanya mencapai 89,22%. Pemanfaatan data terintegrasi mencakup hubungan kekeruhan air dan amonia dengan korelasi 0,82 serta data pergerakan ikan dari Sensor inframerah 3,4, dan 5 dengan korelasi 0,79 – 0,86, yang memperkuat prediksi. Grafik scatter plot menunjukkan bahwa model integrasi memiliki hubungan linear yang sangat kuat $R^2=0,9609$ dengan prediksi yang konsisten. Sebaliknya, model berbasis pergerakan ikan saja menghasilkan $R^2=0,8817$,

dengan penyimpangan lebih besar. Deteksi pergerakan ikan menggunakan teknologi inframerah saja meskipun sederhana dan hemat biaya namun tidak mencakup aspek penting seperti kualitas air. Menggabungkan data pergerakan ikan dengan rekaman kualitas air secara signifikan meningkatkan akurasi sebesar 6,55 poin presentase.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Berkat dukungan yang diberikan kepada peneliti berupa bantuan dana penelitian melalui keputusan nomor 106/E5/PG.02.00.PL/2024 dan Perjanjian/ Kontrak Nomor 048/SP2H/RT-MONO/LL4/2024; 11/LPPM/KONT/H-PDP/II.3.AU/F/2024 yang menunjang berlangsungnya penelitian ini dengan baik.

DAFTAR RUJUKAN

- Bartley, D. M. (2022). *World Aquaculture 2020 A Brief Overview*. Rome, Italy :FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb7669en>
- Bucking, C. (2016). A broader look at ammonia production, excretion, and transport in fish: a review of impacts of feeding and the environment. *Journal of Comparative Physiology B* 2016, 187(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/S00360-016-1026-9>
- Burger, A. N., Parente, C. E., Harris, J. P., Watts, E. G., Wormington, A. M., & Bisesi, J. H. (2022). Impacts of diethylhexyl phthalate and overfeeding on physical fitness and lipid mobilization in *Danio rerio* (zebrafish). *Chemosphere*, 295, 1-9.
<https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.133703>
- Coldebella, A., Gentelini, A. L., Piana, P. A., Coldebella, P. F., Boscolo, W. R., & Feiden, A. (2017). Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components. *Sustainability* 2018, 10(1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/SU10010003>
- de Alba, G., Conti, F., Sánchez, J., Godoy, L. M., Sánchez-Vázquez, F. J., López-Olmeda, J. F., & Vera, L. M. (2024). Effect of light and feeding regimes on the daily rhythm of thermal preference in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 578, 1-11.
<https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2023.740122>
- Del Pozo, A., Sánchez-Férez, J. A., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2011). Circadian Rhythms of Self-feeding and Locomotor Activity in Zebrafish (*Danio Rerio*). *Chronobiology International*, 28(1), 39–47. <https://doi.org/10.3109/07420528.2010.530728>
- Eneh, A. H., Udanor, C. N., Ossai, N. I., Aneke, S. O., Ugwoke, P. O., Obayi, A. A., Ugwuishiwu, C. H., & Okereke, G. E. (2023). Towards an improved internet of things sensors data quality for a smart aquaponics system yield prediction. *MethodsX*, 11, 1-8.
<https://doi.org/10.1016/J.MEX.2023.102436>

- Hoess, R., Generali, K. A., Kuhn, J., & Geist, J. (2022). Impact of Fish Ponds on Stream Hydrology and Temperature Regime in the Context of Freshwater Pearl Mussel Conservation. *Water (Switzerland)*, *14*(16), 1-25. <https://doi.org/10.3390/W14162490>
- Susila, J.K.R., Afit, M., & Laksono, P. (2021). Implementation of Back Propagation Artificial Neural Network for Heart Disease Abnormality Diagnosis. *Journal of Physics: Conference Series*, *1764*(1),1-6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1764/1/012165>
- Kyaw, T. Y., & Ng, A. K. (2017). Smart Aquaponics System for Urban Farming. *Energy Procedia*, *143*, 342–347. <https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2017.12.694>
- Le Roy, A., Mazué, G. P. F., Metcalfe, N. B., & Seebacher, F. (2021). Diet and temperature modify the relationship between energy use and ATP production to influence behavior in zebrafish (*Danio rerio*). *Ecology and Evolution*, *11*(14), 9791–9803. <https://doi.org/10.1002/ECE3.7806>
- Li, D., Wang, Z., Wu, S., Miao, Z., Du, L., & Duan, Y. (2020). Automatic recognition methods of fish feeding behavior in aquaculture: A review. *Aquaculture*, *528*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2020.735508>
- Måløy, H., Aamodt, A., & Misimi, E. (2019). A spatio-temporal recurrent network for salmon feeding action recognition from underwater videos in aquaculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *167*, 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2019.105087>
- Mamatha, V., & Kavitha, J. C. (2023). Machine learning based crop growth management in greenhouse environment using hydroponics farming techniques. *Measurement: Sensors*, *25*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/J.MEASEN.2023.100665>
- Pylatiuk, C., Zhao, H., Gursky, E., Reischl, M., Peravali, R., Foulkes, N., & Loosli, F. (2019). DIY Automated Feeding and Motion Recording System for the Analysis of Fish Behavior. *SLAS Technology*, *24*(4), 394–398. <https://doi.org/10.1177/2472630319841412>
- Quagraine, K. K., Flores, R. M. V., Kim, H. J., & McClain, V. (2018). Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest. *Journal of Applied Aquaculture*, *30*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/10454438.2017.1414009>.
- Rubin, A. M., & Seebacher, F. (2024). Feeding frequency does not interact with BPA exposure to influence metabolism or behaviour in zebrafish (*Danio rerio*). *Physiology & Behavior*, *273*, 1-19. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSBEH.2023.114403>
- Taha, M. F., ElMasry, G., Gouda, M., Zhou, L., Liang, N., Abdalla, A., Rousseau, D., & Qiu, Z. (2022). Recent Advances of Smart Systems and Internet of Things (IoT) for Aquaponics Automation: A Comprehensive Overview. *Chemosensors 2022*, *10*(8), 303. <https://doi.org/10.3390/CHEMOSENSORS10080303>

- Ubina, N., Cheng, S. C., Chang, C. C., & Chen, H. Y. (2021). Evaluating fish feeding intensity in aquaculture with convolutional neural networks. *Aquacultural Engineering*, *94*, 1-15. <https://doi.org/10.1016/J.AQUAENG.2021.102178>
- Verma, A. K., Chandrakant, M. H., John, V. C., Peter, R. M., & John, I. E. (2023). Aquaponics as an integrated agri-aquaculture system (IAAS): Emerging trends and future prospects. *Technological Forecasting and Social Change*, *194*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2023.122709>
- Wan, S., Zhao, K., Lu, Z., Li, J., Lu, T., & Wang, H. (2022). A Modularized IoT Monitoring System with Edge-Computing for Aquaponics. *Sensors* *2022*, *22*(23), 1-18. <https://doi.org/10.3390/S22239260>
- Xuelong, H., Wentao, Z., Xinting, Y., Dinghong, W., Liang, P., Yuhao, Z., Chao, Z., Xuelong, H., Wentao, Z., Xinting, Y., Dinghong, W., Liang, P., Yuhao, Z., & Chao, Z. (2023). Identification of feeding intensity in recirculating aquaculture fish using water quality-sound-vision fusion. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, *2023*, *39*(10), 141–150. <https://doi.org/10.11975/J.ISSN.1002-6819.202302041>
- Yanes, A. R., Martinez, P., & Ahmad, R. (2020). Towards automated aquaponics: A review on monitoring, IoT, and smart systems. *Journal of Cleaner Production*, *263*, 1-15. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.121571>
- Zhou, C., Lin, K., Xu, D., Chen, L., Guo, Q., Sun, C., & Yang, X. (2018). Near infrared computer vision and neuro-fuzzy model-based feeding decision system for fish in aquaculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, *146*, 114–124. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.02.006>