

Terakreditasi SINTA Peringkat 3

Surat Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Nomor 225/E/KPT/2022
masa berlaku mulai Vol.7 No. 1 tahun 2022 s.d Vol. 11 No. 2 tahun 2026

Terbit online pada laman web jurnal:
<http://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/jointecs>



Vol. 9 No. 3 (2024) 101 - 108

JOINTECS (Journal of Information Technology and Computer Science)

e-ISSN:2541-6448

p-ISSN:2541-3619

Model *Fuzzy Mamdani* untuk Kontrol Takaran Pakan Lobster Air Tawar

Ahmad Haidar Abdullah^{1*}, Aviv Yuniar Rahman², Gigih Priyandoko³

^{1,2}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama Malang

³Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama Malang

¹ahmadhaidar2872@gmail.com, ²aviv@widyagama.ac.id, ³gigihp@gmail.com

Abstract

Freshwater lobster farming, particularly *Cherax quadricarinatus* (redclaw crayfish), has significant economic potential due to high market demand. However, a key challenge is determining the optimal feed dosage to support growth while minimizing waste and environmental impact. This study proposes an IoT-based automatic feed control system using the Mamdani fuzzy model, incorporating input from temperature, water pH, and lobster weight, along with synthetic data for sensitivity analysis. The results show that the fuzzy logic model provides dynamic feed recommendations based on input variations, demonstrating a nonlinear relationship between temperature, pH, and feed dosage. For example, in the 23°C–25°C range, a 2°C increase raises the feed dosage by 15.183%, while in the 29°C–31°C range, the same increase reduces it by 13.18%. The centroid defuzzification method is used to generate precise feed dosage values.

This research contributes to the application of IoT-based fuzzy logic systems in freshwater lobster farming, improving feeding efficiency, reducing waste, and promoting sustainable production. Future research is recommended to include additional parameters and integrate machine learning for better growth prediction and mortality risk mitigation, further enhancing the efficiency and sustainability of the aquaculture industry.

Keywords: fuzzy logic, internet of things (IoT), automated feeding control, *cherax quadricarinatus*, sensitivity analysis.

Abstrak

Budidaya lobster air tawar, khususnya *Cherax Quadricarinatus* (redclaw crayfish), memiliki potensi ekonomi besar karena tingginya permintaan pasar. Namun, tantangan utama adalah menentukan takaran pakan optimal untuk mendukung pertumbuhan lobster sekaligus mengurangi pemborosan yang dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini mengusulkan sistem berbasis IoT dengan logika *fuzzy logic* untuk kontrol pakan otomatis, menggunakan model *fuzzy Mamdani*. Model ini menggunakan input berupa data historis suhu, pH air, dan berat lobster, serta data sintetis untuk analisis sensitivitas. Hasil menunjukkan bahwa model logika *fuzzy* mampu memberikan rekomendasi takaran pakan yang dinamis berdasarkan variasi input, dengan hubungan tidak linear antara suhu dan pH terhadap takaran pakan. Misalnya, pada rentang suhu 23°C –25°C, kenaikan 2°C meningkatkan takaran pakan sebesar 15,183%, sedangkan pada rentang 29°C –31°C, kenaikan yang sama mengurangi takaran pakan sebesar 13,18%. Proses defuzzifikasi dengan metode centroid menghasilkan nilai tegas yang mempertimbangkan distribusi keanggotaan dari seluruh istilah linguistik. Penelitian ini berkontribusi pada penerapan sistem IoT berbasis logika *fuzzy* untuk kontrol pakan otomatis pada budidaya lobster air tawar, meningkatkan efisiensi pemberian pakan, mengurangi pemborosan, dan mendukung produktivitas yang berkelanjutan. Penelitian lanjutan disarankan untuk menambahkan parameter lain dan menggunakan machine learning untuk peramalan pertumbuhan serta mitigasi risiko kematian.

Kata kunci: fuzzy logic, internet of things (IoT), kontrol pakan otomatis, *cherax quadricarinatus*, analisis sensitivitas.



1. Pendahuluan

Budidaya lobster air tawar, seperti *Cherax quadricarinatus*, terus menunjukkan potensi ekonomi yang tinggi dengan permintaan pasar yang meningkat, baik untuk konsumsi lokal maupun ekspor. Teknik budidaya yang inovatif, seperti sistem resirkulasi, memberikan efisiensi operasional yang lebih baik dan menjadikan usaha ini semakin menarik bagi pembudidaya [1]. Lobster air tawar menunjukkan kemampuan adaptasi yang luar biasa terhadap berbagai kondisi lingkungan, sehingga cocok untuk dibudidayakan di berbagai wilayah. Kemampuan adaptasi ini ditingkatkan oleh teknologi dan metode akuakultur inovatif yang mengoptimalkan kondisi pembiakan dan pertumbuhannya. Bagian berikut menguraikan aspek-aspek utama budidaya lobster air tawar [2].

Pertumbuhan lobster air tawar, khususnya *Cherax quadricarinatus*, sangat dipengaruhi oleh pola makannya, yang harus dikelola dengan cermat untuk mencegah kontaminasi dan memastikan pertumbuhan yang optimal. Nutrisi yang tepat tidak hanya meningkatkan laju pertumbuhan tetapi juga menjaga kualitas air, yang sangat penting bagi kelangsungan hidup lobster. Kualitas air juga merupakan faktor krusial yang mempengaruhi kesehatan dan pertumbuhan lobster, dengan parameter seperti suhu, pH, oksigen terlarut, dan kekeruhan yang harus dijaga dalam rentang optimal [3].

Teknologi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning (ML) semakin banyak digunakan dalam akuakultur. Penerapan teknologi ini membantu mengatasi tantangan seperti pemantauan kualitas air, pemberian pakan, dan deteksi penyakit. Sistem berbasis IoT menggunakan perangkat seperti Arduino dan Raspberry Pi yang terhubung dengan sensor. Dengan teknologi ini, kualitas air dapat dipantau, pemberian pakan diatur, dan air didaur ulang secara efisien. [4].

Penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring suhu, pH, dan pakan otomatis pada budidaya lobster air tawar berbasis IoT menggunakan metode K-Nearest Neighbor (KNN). Alat ini menggunakan mikrokontroler Wemos D1 yang terhubung dengan aplikasi dan sensor suhu serta pH meter, memungkinkan monitoring otomatis dari jarak jauh [5]. Penelitian lain menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266 untuk mengembangkan alat pemberi pakan ikan otomatis yang dikendalikan melalui aplikasi Telegram, memberikan efisiensi dalam pengelolaan pemberian pakan [6]. Mikrokontroler ESP32 juga digunakan dalam pengembangan sistem pemberi pakan ikan otomatis dan monitoring kualitas air berbasis IoT, yang

mengintegrasikan mekanik, elektronik, dan algoritma kontrol untuk pemberian pakan otomatis berdasarkan kualitas air [7].

Penelitian lain telah mengembangkan sistem monitoring kualitas air dan pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele berbasis IoT menggunakan algoritma *Artificial Neural Network* (ANN). Sistem ini mampu memantau parameter vital seperti suhu, pH, ketinggian air, dan kekeruhan secara real-time, memberikan informasi kepada pengguna melalui antarmuka website dan aplikasi mobile [8]. Penelitian lain menggunakan algoritma *Proportional-Integral-Derivative* (PID) untuk mengembangkan alat kontrol kualitas air dan penebar pakan otomatis pada tambak udang, yang meningkatkan efisiensi budidaya dengan kontrol yang lebih presisi [9]. Sistem pemberian pakan ikan nila otomatis dengan *fuzzy logic* juga telah dikembangkan, menunjukkan fleksibilitas dalam pengaturan parameter pemberian pakan yang adaptif terhadap kondisi lingkungan [10]. Penelitian terakhir menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan aplikasi Blynk untuk merancang alat pemberi pakan ikan otomatis yang dapat dikontrol melalui aplikasi mobile, memberikan kemudahan bagi peternak [11].

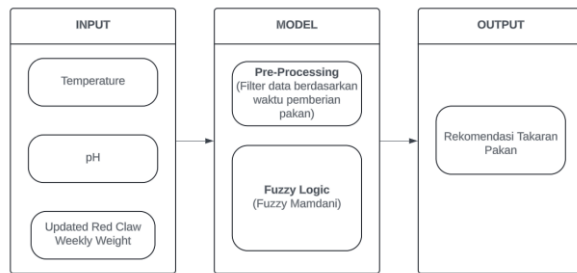
Penelitian ini bertujuan untuk menyimulasikan model sistem IoT dalam pemberian takaran pakan otomatis pada budidaya lobster air tawar berbasis fuzzy logic. Hasil perhitungan dari model ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah analisis. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis sensitivitas variabel input pada model fuzzy logic dalam menentukan rekomendasi takaran pakan sebagai variabel output. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada bidang akuakultur dengan membantu pembudidaya mengontrol pakan secara otomatis guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas budidaya..

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan model *fuzzy logic* dengan metode inferensi *Fuzzy Mamdani*. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data historis dari proses monitoring yang diambil pada rentang waktu 10 Agustus 2024 – 26 September 2024 di website monitoring lobster air tawar yang memuat informasi temperatur, ph, dan waktu saat data sensor pada kolam budidaya dipublikasi ke website serta data sintesis dengan kolom Temperature, pH, dan *LobsterWeight* yang digunakan untuk mengukur sensitivitas variabel input pada model *fuzzy* yang telah dibuat dalam menentukan rekomendasi takaran pakan sebagai variabel output. Tempat penelitian berlokasi di tempat budidaya lobster air

tawar CV. Rumah Alam Jaya Organik (RAJ) Kota Malang.

2.1. Rekomendasi Takaran Pakan berdasarkan Data Historis



Gambar 1. Diagram Alur Pengerjaan

Gambar 1 menggambarkan proses atau tahapan dalam menentukan rekomendasi takaran pakan berdasarkan data historis. Kemungkinan besar, diagram ini menampilkan langkah-langkah dari pengumpulan data, analisis, hingga pemberian rekomendasi. Setiap tahapan mungkin dihubungkan dengan panah yang menunjukkan alur kerja dari awal hingga akhir. Dengan demikian, diagram ini membantu memahami bagaimana data diolah untuk menghasilkan rekomendasi takaran pakan yang optimal.

Tahap pertama adalah tahap pra-pemrosesan, di mana data yang diperoleh dari proses monitoring difilter berdasarkan waktu pemberian pakan. Data yang digunakan adalah data dalam rentang dua jam sebelum atau setelah waktu pemberian pakan, yaitu pukul 08:00 dan 18:00 setiap hari. Langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa hanya data yang relevan yang akan diolah, sehingga mengurangi perhitungan data yang tidak diperlukan.

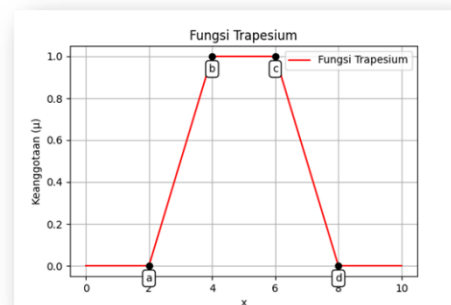
Tahap berikutnya adalah tahap fuzzifikasi, di mana nilai crisp (tegas) yang berasal dari hasil penelitian diubah menjadi nilai fuzzy (samar). Rentang temperatur dan pH digunakan sebagai referensi, berdasarkan perilaku lobster air tawar saat mencari makanan. Nilai crisp ini kemudian dikonversi ke dalam rentang keanggotaan 0 hingga 1, yang mencerminkan tingkat ketidakpastian dalam sistem fuzzy logic.

Pertumbuhan dan kelangsungan hidup lobster air tawar sangat dipengaruhi oleh suhu dan tingkat pH. Pertumbuhan optimal terjadi dalam kisaran suhu 25-29°C, sedangkan suhu di bawah 23°C menyebabkan pertumbuhan terhambat dan di atas 29°C dapat mematikan. Selain itu, kisaran pH 6,5-9 adalah ideal; nilai di bawah 5 dapat berakibat fatal, dan di atas 9 dapat mengurangi nafsu makan, yang selanjutnya menghambat pertumbuhan [12], [13].

Takaran pakan yang diberikan untuk lobster adalah sekitar 3–5% dari berat tubuhnya per hari. Misalnya, jika berat lobster mencapai 100 gram, maka jumlah

pakan yang dibutuhkan berkisar antara 3 hingga 5 gram setiap harinya. Pemberian pakan dalam rentang ini bertujuan untuk memastikan pertumbuhan lobster tetap optimal tanpa menyebabkan pemborosan atau pencemaran lingkungan. [14]. Dengan perhitungan ini, kebutuhan pakan dapat disesuaikan berdasarkan berat lobster yang terus berkembang seiring waktu.

Dengan demikian, himpunan fuzzy ditentukan menggunakan fungsi keanggotaan trapesium/trapezoid pada semua variabel linguistik yang berkaitan dengan suhu, pH, dan takaran pakan. Suhu dikategorikan menjadi RENDAH pada rentang 14–25°C, NORMAL pada rentang 23–31°C, dan TINGGI pada rentang 29–40°C, sementara pH dibagi menjadi ASAM pada rentang 4–6,5, NETRAL pada rentang 5–9, dan BASA pada rentang 7,5–14. Takaran pakan juga diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu SEDIKIT dengan rentang 3–3,75% dari berat lobster, SEDANG pada rentang 3,5–4,5%, dan BANYAK pada rentang 4,25–5%. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menentukan rekomendasi takaran pakan yang lebih fleksibel berdasarkan kondisi lingkungan dan kebutuhan lobster.



Gambar 2. Grafik Fungsi Keanggotaan Trapesium/Trapezoid

Gambar 2 menunjukkan bagaimana variabel input seperti suhu, pH air, dan berat lobster dikonversi menjadi nilai keanggotaan dalam fuzzy logic menggunakan fungsi keanggotaan berbentuk trapesium. Grafik ini memiliki sumbu horizontal yang menunjukkan variabel input (misalnya berat badan ternak) dan sumbu vertikal yang menunjukkan tingkat keanggotaan (0 hingga 1). Fungsi ini berperan dalam menentukan bobot masing-masing variabel sebelum diproses lebih lanjut dalam model fuzzy Mamdani.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \text{ atau } x \geq d, \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b, \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{x-a}{b-a} & c < x < d \end{cases} \quad (1)$$

Nilai keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1 disimbolkan dengan $\mu(x)$ pada rumus 1. Titik a, b, c, dan d menunjukkan perubahan nilai keanggotaan pada grafik. Titik-titik ini menandai transisi antara grafik mendatar, menaik, dan menurun.

Pembagian variabel linguistik dilakukan berdasarkan referensi yang diperoleh peneliti mengenai aturan fuzzy dalam kontrol takaran pakan. Aturan ini digunakan untuk mengelompokkan variabel seperti suhu, pH, dan berat lobster ke dalam kategori tertentu, seperti rendah, sedang, atau tinggi. Dengan pembagian ini, sistem dapat menerjemahkan data numerik menjadi nilai linguistik yang lebih mudah diproses dalam model fuzzy. Pendekatan ini memastikan bahwa rekomendasi takaran pakan yang dihasilkan lebih sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

Tabel 1. Aturan Fuzzy Teknik Kontrol Pakan [15]

No	Aturan
R1	IF (suhu air is Normal) AND (pH air is Asam) THEN takaran is Sedang
R2	IF (suhu air is Normal) AND (pH air is Netral) THEN takaran is Banyak
R3	IF (suhu air is Normal) AND (pH air is Basa) THEN takaran is Sedang
R4	IF (suhu air is Rendah) AND (pH air is Asam) THEN takaran is Sedikit
R5	IF (suhu air is Rendah) AND (pH air is Netral) THEN takaran is Sedang
R6	IF (suhu air is Rendah) AND (pH air is Basa) THEN takaran is Sedikit
R7	IF (suhu air is Tinggi) AND (pH air is Asam) THEN takaran is Sedikit
R8	IF (suhu air is Tinggi) AND (pH air is Netral) THEN takaran is Sedang
R9	IF (suhu air is Tinggi) AND (pH air is Basa) THEN takaran is Sedikit

Tahap berikutnya adalah proses inferensi fuzzy yang ditunjukkan pada Tabel 1, di mana aturan fuzzy diterapkan pada input fuzzy untuk menghasilkan output fuzzy. Aturan fuzzy, yang terstruktur sebagai pernyataan "IF-THEN", sangat penting dalam sistem logika fuzzy, yang memungkinkan pemetaan input fuzzy ke output fuzzy. Aturan ini menggunakan operator fuzzy seperti AND dan OR untuk menggabungkan kondisi, sehingga meningkatkan proses pengambilan keputusan di berbagai domain. Integrasi logika fuzzy dengan pembelajaran mesin telah menghasilkan pendekatan inovatif untuk menghasilkan aturan ini, yang meningkatkan kualitas sistem inferensi fuzzy (FIS) dan aplikasinya dalam sistem kontrol [16], [17].

Metode inferensi fuzzy Mamdani menggunakan pendekatan min-max, memanfaatkan operator AND (Minimum) untuk memperoleh keluaran fuzzy dari aturan yang terpenuhi, diikuti oleh operator OR (Maksimum) untuk menggabungkan keluaran ini menjadi hasil akhir. Proses ini merupakan dasar dalam sistem logika fuzzy, yang memungkinkan pengambilan keputusan yang bernuansa berdasarkan masukan yang tidak tepat. Tahap terakhir adalah proses defuzzifikasi, di mana output fuzzy dikonversi menjadi nilai crisp yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan. Dalam metode Mamdani, defuzzifikasi biasanya dilakukan menggunakan metode centroid. Metode ini menghitung rata-rata tertimbang dari semua output fuzzy untuk menghasilkan nilai akhir yang lebih akurat [18], [19].

$$z^* = \frac{\int \mu(z)z \, dz}{\int \mu(z) \, dz} \quad (2)$$

Pada rumus 2, nilai crisp diperoleh dengan menentukan titik pusat (z^*) dari daerah fuzzy. Nilai tersebut dihitung sebagai jumlah integral dari momen (M) sebagai pembilang, dibandingkan dengan jumlah integral dari area (A) sebagai penyebut. Pendekatan ini memastikan bahwa hasil defuzzifikasi mencerminkan distribusi keanggotaan fuzzy secara akurat [20].

2.2. Pengujian Sensitivitas Variabel Input

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur sensitivitas jumlah takaran pakan yang direkomendasikan berdasarkan perubahan variabel Temperature dan pH. Pendekatan yang digunakan adalah dengan menjadikan Temperature dan pH sebagai variabel independen, sementara jumlah takaran pakan sebagai variabel dependen. Penelitian dilakukan dalam dua tahap: pertama, mengukur sensitivitas Temperature pada pH 8 dan berat lobster 100 gram dengan nilai Temperature yang dinamis dan pH serta berat lobster yang statis. Kedua, mengukur sensitivitas pH pada Temperature 24°C dan berat lobster 100 gram dengan nilai pH yang dinamis dan Temperature serta berat lobster yang statis.

Penelitian ini tidak menggunakan regresi linier karena output dari *fuzzy logic* tidak bersifat linear. Sebagai alternatif, peneliti menganalisis perubahan output dengan menghitung persentase selisih antara nilai maksimum dan minimum dalam rentang yang ditentukan. Perhitungan ini didasarkan pada perubahan derajat keanggotaan istilah linguistik pada variabel input [20].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil dan Pembahasan dari Data Historis

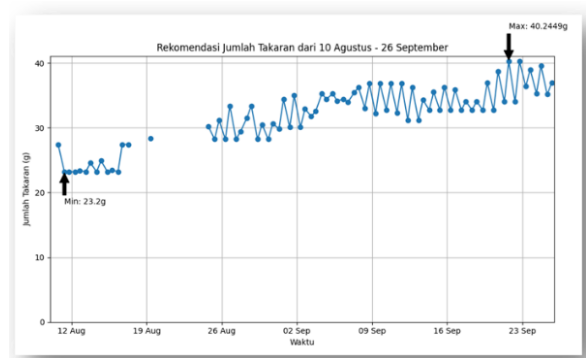
Tabel 2 merupakan perbandingan antara penelitian sebelumnya dengan penelitian yang sedang dilakukan:

Tabel 2. Tabel Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Penulis	Metode	Hasil
Anamika et al. (2022) [5]	<i>IoT dan K-Nearest Neighbor (KNN)</i>	Sistem monitoring suhu, pH, dan pakan otomatis berbasis IoT menggunakan mikrokontroler Wemos D1, memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui aplikasi.
Nurhadi et al. (2023) [6]	<i>IoT dengan Telegram</i>	Pengembangan alat pemberi pakan ikan otomatis menggunakan Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266 yang dikendalikan melalui aplikasi Telegram untuk efisiensi pengelolaan pakan.
Setiawan et al. (2024) [7]	<i>IoT dengan ESP32</i>	Sistem pemberian pakan otomatis berbasis IoT yang mengintegrasikan mekanik, elektronik, dan algoritma kontrol berdasarkan kualitas air.
Ihtisyamuddin & Zakaria (2023) [8]	<i>IoT dan Artificial Neural Network (ANN)</i>	Sistem monitoring kualitas air dan pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele berbasis IoT, memungkinkan pemantauan parameter vital secara real-time.
Gunawan et al. (2022) [9]	<i>IoT dan PID (Proportional-Integral-Derivative)</i>	Sistem kontrol kualitas air dan alat penyebar pakan otomatis pada tambak udang, meningkatkan efisiensi dengan kontrol presisi.
Maryam et al. (2023) [10]	<i>IoT dan Fuzzy Logic</i>	Pemberian pakan ikan nila otomatis berbasis fuzzy logic yang memungkinkan adaptasi terhadap kondisi lingkungan.
Fernanda & Wellem (2022) [11]	<i>IoT dengan aplikasi Blynk</i>	Sistem pemberi pakan ikan otomatis berbasis IoT yang dikontrol melalui aplikasi mobile, memberikan kemudahan bagi peternak.
Penelitian ini	<i>IoT dan Fuzzy Logic (Mamdani)</i>	Model IoT otomatisasi pakan lobster menggunakan fuzzy Mamdani untuk rekomendasi takaran berdasar suhu, pH, dan berat dengan analisis sensitivitas input.

Tabel 2 menunjukkan bahwa penelitian ini berkontribusi dalam penerapan *fuzzy logic* untuk mengoptimalkan pemberian pakan pada lobster air tawar. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang lebih banyak menggunakan metode seperti *K-Nearest Neighbor* (KNN), *Artificial Neural Network* (ANN), dan *Proportional-Integral-Derivative* (PID). Selain itu, beberapa penelitian lain mengandalkan IoT berbasis aplikasi, seperti Telegram atau Blynk, untuk mengontrol sistem pemberian pakan secara otomatis. Dengan menggunakan *fuzzy logic*, penelitian ini mampu menghasilkan rekomendasi takaran pakan yang lebih adaptif terhadap perubahan suhu, pH, dan berat lobster.

Berdasarkan rekomendasi jumlah takaran pakan yang diberikan oleh model *fuzzy logic* dari data input berupa data historis yang dikumpulkan dari website *monitoring*, rekomendasi jumlah takaran pakan mengalami perubahan naik dan turun yang dipengaruhi oleh variabel input Temperature dan pH air kolam. Selain itu, peningkatan jumlah takaran pakan yang direkomendasikan juga dipengaruhi oleh peningkatan berat lobster air tawar dari waktu ke waktu secara konsisten seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.

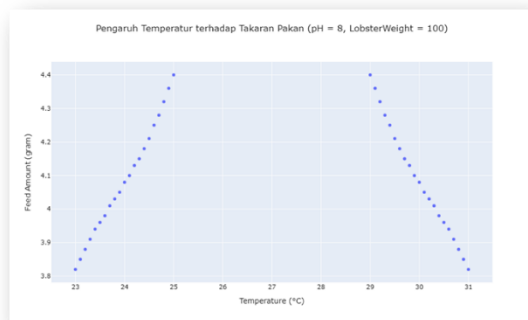


Gambar 3. Rekomendasi Jumlah Takaran Pakan pada 10 Agustus – 26 September 2024

Setelah data diproses, sistem menghasilkan rekomendasi takaran pakan berdasarkan kondisi lingkungan dan berat lobster. Gambar 3 menampilkan hasil rekomendasi jumlah pakan yang diberikan secara otomatis selama periode 10 Agustus – 26 September 2024. Grafik ini menunjukkan pola pemberian pakan yang berubah sesuai dengan variasi suhu dan pH, membantu pembudidaya dalam mengoptimalkan efisiensi pakan harian. Rekomendasi jumlah takaran minimum yang diberikan pada rentang waktu tersebut adalah 23,2 gram dan rekomendasi maksimum adalah 40,2449 gram, yang menggambarkan adaptasi sistem terhadap perubahan lingkungan secara dinamis untuk menjaga pertumbuhan dan kesehatan lobster tetap optimal.

3.2. Hasil dan Pembahasan dari Pengujian Sensitivitas Variabel Input

Sensitivitas variabel temperatur terhadap jumlah takaran pakan dianalisis berdasarkan perubahan suhu dalam rentang tertentu. Pada kondisi pH 8 dan berat lobster 100 gram, takaran pakan maksimum dan minimum dibandingkan dalam rentang suhu 23°C – 25°C dan 29°C – 31°C. Hasilnya menunjukkan bahwa jumlah pakan mencapai 4,4 gram pada suhu 25°C dan 29°C, sementara pada suhu 23°C dan 31°C jumlahnya 3,82 gram. Analisis ini menunjukkan bahwa perubahan suhu mempengaruhi takaran pakan secara non-linear dalam model *fuzzy logic*.



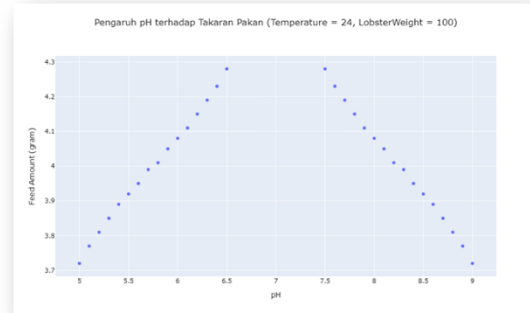
Gambar 4. Pengaruh Temperatur terhadap Takaran Pakan (pH = 8, LobsterWeight = 100)

Analisis sensitivitas dilakukan untuk memahami dampak perubahan suhu dan pH terhadap takaran pakan. Gambar 4 menunjukkan pengaruh temperatur terhadap jumlah pakan pada kondisi pH 8 dan berat lobster 100 gram. Hasilnya menunjukkan bahwa hubungan antara suhu dan takaran pakan bersifat non-linear, di mana kenaikan suhu pada rentang tertentu dapat meningkatkan atau justru menurunkan jumlah pakan. Pola ini mengindikasikan bahwa faktor lingkungan memiliki pengaruh kompleks terhadap kebutuhan pakan lobster.

Pada rentang suhu 23°C – 25°C, terjadi peningkatan suhu sebesar 2°C, yang diikuti oleh peningkatan jumlah takaran pakan sebesar 0,58 gram. Artinya, setiap kenaikan suhu 2°C dalam rentang ini akan meningkatkan takaran pakan sebesar 0,58 gram atau sekitar 15,183%, dari 3,82 gram menjadi 4,4 gram. Sebaliknya, pada rentang suhu 29°C – 31°C, meskipun suhu meningkat 2°C, jumlah takaran pakan justru mengalami penurunan sebesar 0,58 gram. Ini berarti bahwa setiap kenaikan suhu 2°C dalam rentang ini akan mengurangi takaran pakan sebesar 0,58 gram atau sekitar 13,18%, dari 4,4 gram menjadi 3,82 gram.

Analisis sensitivitas dilakukan untuk memahami pengaruh pH air terhadap jumlah takaran pakan pada kondisi suhu 24°C dan berat lobster 100 gram. Hasilnya menunjukkan bahwa pada rentang pH 5 – 6,5 dan 7,5 – 9, jumlah takaran pakan maksimum dan minimum

mengalami variasi. Takaran pakan mencapai 4,28 gram pada pH 6,5 dan 7,5, yang merupakan titik tengah dalam masing-masing rentang. Sementara itu, pada pH 5 dan 9, takaran pakan turun menjadi 3,72 gram, menunjukkan bahwa kondisi pH ekstrem cenderung mengurangi kebutuhan pakan lobster.



Gambar 5. Pengaruh pH terhadap Takaran Pakan (Temperature = 24, LobsterWeight = 100)

Gambar 5 menunjukkan pengaruh pH terhadap takaran pakan (Temperature = 24, LobsterWeight = 100), dengan pola perubahan yang berbeda tergantung pada kondisi lingkungan. Dengan metode *defuzzifikasi centroid*, sistem ini mampu memberikan rekomendasi pakan yang lebih presisi untuk mendukung efisiensi budidaya. Pada rentang pH 5 – 6,5 mengalami peningkatan sebesar 1,5 dan juga mengalami peningkatan pada sisi jumlah takaran pakan sebesar 0,56 gram yang artinya setiap kenaikan pH air sebesar 1,5 pada rentang pH 5 – 6,5 akan meningkatkan jumlah takaran pakan sebesar 0,56 gram atau sekitar 15,054% dari jumlah takaran sebelumnya yang bernilai 3,72 gram menjadi 4,28 gram. Pada rentang pH 7,5 – 9 mengalami peningkatan pada sisi pH sebesar 1,5 namun mengalami penurunan pada sisi jumlah takaran pakan sebesar 0,56 gram yang artinya setiap kenaikan pH air sebesar 1,5 pada rentang pH 7,5 – 9 akan mengurangi jumlah takaran pakan sebesar 0,56 gram atau sekitar 13,084% dari jumlah takaran sebelumnya yang bernilai 4,28 gram menjadi 3,72 gram.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil rekomendasi jumlah takaran pakan menggunakan data historis, dapat disimpulkan bahwa model *fuzzy logic* mampu memperhitungkan takaran pakan secara real-time berdasarkan suhu (Temperature) dan pH air. Dengan adanya pengukuran berat lobster secara berkala, sistem dapat menyesuaikan jumlah pakan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan lobster. Hal ini memastikan bahwa nutrisi yang dibutuhkan terpenuhi, sehingga mendukung pertumbuhan optimal lobster air tawar. Selain itu, model ini juga membantu meminimalkan limbah pakan, mencegah pemberian pakan berlebihan yang dapat mencemari lingkungan perairan.

Berdasarkan hasil pengukuran sensitivitas pada variabel input Temperature dan pH menggunakan data sintetis, dapat disimpulkan bahwa efek perubahan kedua variabel ini terhadap jumlah takaran pakan bersifat tidak linear. Ketidaklinearan ini dipengaruhi oleh rentang nilai yang ditetapkan dalam model fuzzy untuk setiap istilah linguistik (*linguistic terms*) serta jenis fungsi keanggotaan yang digunakan. Fenomena ini terlihat dari pola perubahan grafik, di mana peningkatan atau penurunan nilai input tidak selalu menghasilkan perubahan output yang proporsional. Hal ini dapat diamati dalam proses penentuan rentang nilai sensitivitas, yang dilakukan tepat pada titik perubahan antara grafik naik dan grafik turun dalam rentang variabel yang dianalisis.

Daftar Pustaka

- [1] R. A. Azizah, D. Bhagawati, and H. Sastranegara, 'Budidaya Lobster Hias Air Tawar (*Procambarus clarkii*) dengan Sistem Resirkulasi', vol. 5, no. 1, pp. 42–51, 2024, doi: <http://dx.doi.org/10.35726/jvip.v5i1.7344>.
- [2] P. D. D. Istianti, I. J. M. Edward, and H. Fakhurroja, 'Design and Implementation of Internet of Things Based Aquaculture Technology for Freshwater Lobster Cultivation', in *2023 17th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, 2023, pp. 1–4. doi: 10.1109/TSSA59948.2023.10367015.
- [3] P. Jenis, B. Terhadap, and P. Berat, 'The Effect Of Different Feed Types On The Absolute Weight Growth Of Freshwater Lobster Seeds (*Cherax Quadricarinatus*) 1 Month Age', vol. 14, no. 4, pp. 2268–2276, 2024.
- [4] M. M and R. Rajan, 'Precision Aquaculture Using IoT & Machine Learning Techniques', *Agpe The Royal Gondwana Research Journal Of History, Science, Economic, Political And Social Science*, vol. 2, no. 1, pp. 105–111, 2020, Accessed: Aug. 19, 2024. [Online]. Available: <https://agpegondwanajournal.co.in/index.php/agpe/article/view/21>
- [5] S. Anamika, J. Warta, and P. Kustanto, 'Sistem Monitoring suhu, pH dan pakan otomatis pada budidaya Lobster Air Tawar berbasis IoT menggunakan metode K-NN', *Journal of Informatic and Information Security*, vol. 3, no. 2, pp. 137–148, 2022, doi: 10.31599/jiforty.v3i2.1290.
- [6] E. Nurhadi, V. Arinal, A. Patricia, S. S. Wati, and S. Bila, 'Implementasi Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatisasi Menggunakan IoT', *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 6, no. 1, pp. 171–176, 2023, doi: 10.31539/intecom.v6i1.5521.
- [7] A. Setiawan *et al.*, 'Alat Pemberian Pakan Ikan Otomatis Dan Monitoring Kualitas Air Berbasis Iot', *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, vol. 8, no. 1, p. 215, 2024, doi: 10.26798/jiko.v8i1.1261.
- [8] O.: Luthfan Ihtisyamuddin and M. Zakaria, 'Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Air Dan Pemberi Pakan Otomatis Pada Kolam Budidaya Ikan Lele Berbasis Internet of Things Di Mbs (Muhammadiyah Boarding School) Yogyakarta Development of Water Quality Monitoring System and Automatic Feeder in Catfis', *Journal of Electronics and Education (JEED) Pengembangan Sistem Monitoring... (Luthfan Ihtisyamuddin)*, vol. 1, no. 2, pp. 3026–0973, 2023.
- [9] I. Gunawan, M. Sadali, M. Wasil, and I. Fathurrahman, 'Prototipe Alat Kontrol Kualitas Air Dan Penebar Pakan Otomatis Pada Tambak Udang Berbasis Internet Of Things (IOT)', *Infotek : Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 5, no. 2, pp. 348–354, 2022, doi: 10.29408/jit.v5i2.5873.
- [10] M. Maryam, M. Musyrifah, and Muh. F. Mansyur, 'Pemberian Pakan Ikan Nila Otomatis Dan Mengecek Suhu Air Berbasis Internet of Things (Iot)', *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 3s1, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i3s1.3378.
- [11] R. Fernanda and T. Wellem, 'Perancangan dan Implementasi Sistem Pemberi Pakan Ikan Otomatis berbasis IoT', *JATISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, vol. 9, no. 2, pp. 1261–1274, 2022, doi: 10.35957/jatisi.v9i2.2030.
- [12] U. Önal and E. Osman, 'The Growth and Survival of the European Lobster (*Homarus gammarus* Linnaeus, 1758) Larvae and Juveniles in a Recirculating System TT - Avrupa Istakozu (*Homarus gammarus* Linnaeus, 1758) Larva ve Juvenillerinin Kapalı Devre Sistemde Büyüme ve Hayatta Kalmal', *Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries*, vol. 7, no. 2, pp. 154–160, 2024, doi: 10.46384/jmsf.1555887.

- [13] R. V. K., P. Cheruparambath, S. B., V. U., and C. A. Banu, 'Impact of Temperature on the Growth Performance, Survival Rate, Osmoregulation, Dissolved Oxygen and Physiological Changes of Freshwater Tilapia (*Oreochromis mossambicus*)', *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, vol. 45, no. 15, pp. 154–163, 2024, doi: 10.56557/upjoz/2024/v45i154230.
- [14] J. Asnawi¹, W. M. Mingkid², H. Pangkey², C. Lumenta², and J. K. Rangan, 'Pertumbuhan Lobster Air Tawar (*Cherax Quadricarinatus*) (Von Martens, 1868) Yang Diberi Pakan Eceng Gondok Pontederia Crassipes Dan Keong Mas, *Pomacea Canaliculata* (Lammark, 1819)', *E-Journal Budidaya Perairan*, vol. 11, no. 2, pp. 98–104, May 2023, doi: 10.35800/BDP.V11i2.48265.
- [15] S. Y. Sri Handayani, 'Analisis Kualitas Air Minum Berdasarkan Kadar Ph Air Mineral Dan Rebusan Sebagai Sumber Energi Terbarukan', vol. 7, no. 2, pp. 385–395, 2023, doi: <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3334>.
- [16] Y. Qu, J. Wu, Z. Wu, and L. Yang, 'Fuzzy Rule Interpolation with A General Representation of Fuzzy Sets', in *2024 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 2024, pp. 1–8. doi: 10.1109/FUZZ-IEEE60900.2024.10612091.
- [17] A. A. Romanov, A. A. Filippov, and N. G. Yarushkina, 'An Approach to Generating Fuzzy Rules for a Fuzzy Controller Based on the Machine Learning Results Interpretation An Approach to Generating Fuzzy Rules for a Fuzzy Controller Based on the Machine Learning', pp. 0–32, 2024, doi: 10.20944/preprints202411.2362.v1.
- [18] V. I. Variani, 'Performance of Fuzzy Inference System for Calorific Value Predicting by Using The Mamdani Method', *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 11, no. 1, p. 87, 2021, doi: 10.13057/ijap.v11i1.44122.
- [19] I. Baaj, J.-P. Poli, W. Ouerdane, and N. Maudet, 'Min-max inference for Possibilistic Rule-Based System', in *2021 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, IEEE, 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/FUZZ45933.2021.9494506.
- [20] T. Mitsuishi, 'Definition of Centroid Method as Defuzzification', *Formalized Mathematics*, vol. 30, no. 2, pp. 125–134, 2022, doi: 10.2478/forma-2022-0010.