

## PREDIKSI KUALITAS AIR PADA TAMBAK UDANG MENGGUNAKAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

**Fithrotul Irda Amaliah, As'ad Shidqy Aziz, Nur Vidia Laksmi B., Daeng Rahmatullah**

**Abstrak:** Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) banyak dibudidayakan di Indonesia karena memiliki peluang usaha yang baik. Dalam kegiatan akuakultur, terdapat beberapa faktor penentu keberhasilan, salah satunya adalah kualitas air yang baik. Kualitas air pada tambak sangat memengaruhi tingkat kelangsungan hidup dan kualitas udang. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kualitas air tambak udang dengan empat parameter, yaitu suhu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut (DO). Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi tingkat kualitas air pada tambak udang menggunakan data kualitas air tambak udang. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *soft computing*. Metode *soft computing* telah banyak digunakan, salah satunya adalah model ANFIS yang dapat memprediksi tingkat kualitas air. Pada penelitian ini, model ANFIS dijalankan dengan 4 input dan 1 output. Hasil prediksi tingkat kualitas air menggunakan model ANFIS menunjukkan bahwa nilai error terkecil pada tahap pelatihan diperoleh menggunakan *generalized bell* dengan 4 fungsi keanggotaan per input pada epoch ke-1320 dengan nilai error sebesar 1,7. Selanjutnya, untuk parameter pengujian diperoleh nilai rata-rata error relatif sebesar 2,9597%.

**Kata kunci:** ANFIS, Kualitas Air, Tambak Udang, Soft Computing.

**Abstract:** *White-leg shrimp (Litopenaeus vannamei) is widely cultivated in Indonesia because it has good business opportunities. In aquaculture activities, there are several critical success factors, one of them is great water quality. Water quality in ponds dramatically affects the survival and quality of shrimp. This study aims to determine the quality of shrimp pond water with four parameters i.e temperature, pH, salinity, and dissolved oxygen (DO). The purpose of this study is to predict the level of water quality in shrimp ponds using data on shrimp pond water quality. The approach itself uses the soft computing method. Soft computing method has been widely used, one of them is the ANFIS model which can predict the level of water quality. In this study, the ANFIS model was carried out with a 4 input and 1 output. The results of predicting water quality levels using the ANFIS model show that the smallest training error is obtained in the form of a generalized bell with 4 membership functions per input at the 1320th epoch, which is 1.7. Then for the test parameter the average relative error valuation is 2,9597%.*

**Keywords:** ANFIS, Water Quality, Shrimp Pond, Soft Computing

Indonesia merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia setelah Kanada, sehingga memiliki potensi yang sangat besar dalam pengembangan sektor akuakultur (Aldhyani, Al-Yaari, Alkahtani, & Maashi, 2020). Sebagai contoh, Indonesia dapat menjadi produsen perikanan yang besar apabila para pembudidaya akuakultur di Indonesia dapat memanfaatkan potensi tersebut secara optimal (Fadlan, 2020).

Indonesia juga merupakan salah satu negara dengan kapasitas perikanan udang terbesar di dunia. Pada tahun 2014, Indonesia menjadi negara produsen udang terbesar kedua di dunia dengan total produksi mencapai 598.000 ton (Saputri, 2017). Potensi ini menunjukkan bahwa sektor budidaya udang memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan pangan nasional serta peningkatan perekonomian masyarakat pesisir. Untuk mempertahankan dan meningkatkan produktivitas budidaya udang, salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan adalah pengelolaan kualitas air pada tambak, mengingat

---

Fithrotul Irda Amaliah, As'ad Shidqy Aziz, Nur Vidia Laksmi B., dan Daeng Rahmatullah adalah akademisi Fakultas Vokasi Universitas Negeri Surabaya.  
Email: fithrotulamaliah@unesa.ac.id

kualitas air memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang yang dibudidayakan (Kurniaji, et al., 2024).

Udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) merupakan komoditas budidaya yang saat ini banyak dibudidayakan di Indonesia (Arsad, et al., 2017). Pemilihan komoditas ini didasarkan pada teknik budidayanya yang cukup mudah, pertumbuhan cepat, rasio konversi pakan rendah dan didukung oleh kemampuan hidup pada kepadatan tinggi (Syah, Makmur, & Fahrur, 2017). Udang vaname termasuk dalam famili *Penaeidae* dan berasal dari perairan Amerika Latin. Udang vaname diketahui memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap suhu rendah, toleransi yang tinggi terhadap perubahan salinitas, laju pertumbuhan yang relatif cepat, tingkat kelangsungan hidup yang tinggi, serta memiliki pasar yang luas (Anam, Khumaidi, & Muqsith, 2016).

Salah satu elemen penting dalam budidaya udang adalah kualitas air. Pemantauan kualitas air sangat penting untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, dan presisi data yang dikumpulkan dalam jangka panjang (Yessy, Ezraneti, & Khalil, 2024). Kualitas air dapat memengaruhi tingkat kesehatan dan tingkat stres komoditas akuakultur, sehingga kualitas air yang buruk dapat menyebabkan munculnya penyakit (Devi, Padmavathy, Aanand, & Aruljothi, 2017). Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam menjaga kualitas air pada tambak udang vaname meliputi oksigen terlarut (DO), pH, suhu, dan salinitas (Putra, et al., 2024).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem yang mampu memprediksi tingkat kualitas air pada tambak udang berdasarkan empat parameter tersebut. Untuk memproses data digunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS), dan penelitian ini dilakukan menggunakan aplikasi Matlab.

## METODE

Penelitian ini mengimplementasikan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk memprediksi tingkat kualitas air pada tambak udang vaname secara otomatis. Pemilihan metode ANFIS didasarkan pada kemampuannya dalam menangani data nonlinier, melakukan pembelajaran adaptif, serta menghasilkan prediksi yang akurat pada sistem yang kompleks (Almunawar, et al., 2024). Sebagai variabel input dalam model ANFIS, digunakan empat parameter utama yang menjadi indikator kualitas air pada sistem budidaya udang vaname, yaitu:

1. Oksigen Terlarut (Dissolved Oxygen/DO), yang berfungsi untuk menentukan kadar oksigen terlarut dalam air dengan satuan part per million (ppm).
2. Potential Hydrogen (pH), yang digunakan untuk menentukan tingkat keasaman air.
3. Suhu, yang digunakan untuk memantau suhu air dengan satuan derajat Celcius (°C).
4. Salinitas, yang digunakan untuk mengetahui kadar garam terlarut dalam air dengan satuan part per thousand (ppt).

Untuk mendukung akurasi prediksi model, penelitian ini menggunakan referensi data standar parameter kualitas air yang sesuai dengan ketentuan budidaya udang vaname sebagai acuan dalam penentuan rentang nilai setiap parameter yang digunakan. Pada penelitian ini, digunakan referensi (Arsad, et al., 2017) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

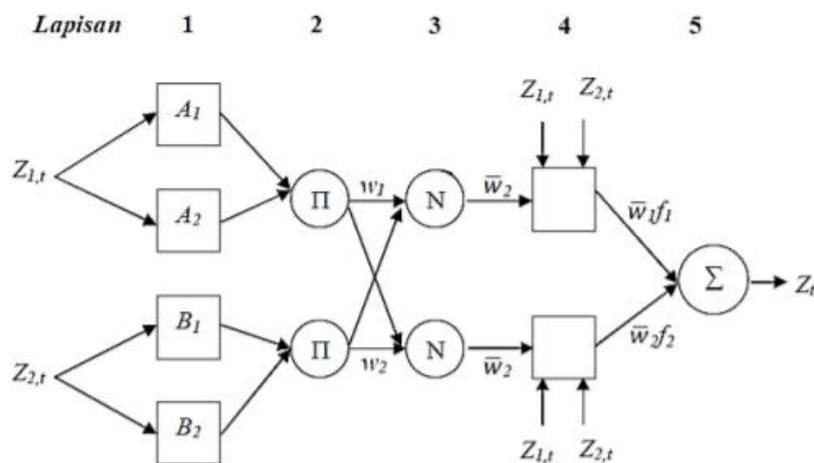
**Tabel 1.** Nilai Optimal Standar Parameter Kualitas Air Tambak Udang

Parameter	Nilai Optimal	Toleransi
DO	>4 ppm	>3 ppm
Suhu	28 – 32°C	26 – 35°C
Salinitas	15 – 32 ppt	0 – 35 ppt
pH	7.5 – 8	7 – 8.5

Pada penelitian ini digunakan metode *Adaptive Neural Fuzzy Inference System* (ANFIS). ANFIS merupakan kombinasi dari dua sistem, yaitu logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan (JST). Logika fuzzy memiliki keunggulan dalam memodelkan aspek kualitatif dari pengetahuan manusia dan proses pengambilan keputusan dengan menerapkan basis aturan (*rule base*) (Fajriani, 2024). Namun, pada sistem yang kompleks, logika fuzzy memerlukan waktu yang lama dan cukup sulit dalam menentukan aturan serta fungsi keanggotaan yang tepat. Logika fuzzy juga tidak memiliki kemampuan untuk belajar dan beradaptasi.

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) memiliki keunggulan dalam mengenali pola, melakukan pembelajaran secara adaptif, melatih model, serta beradaptasi dalam menyelesaikan permasalahan nonlinier yang kompleks (Chikatimarla, Prabhavathi, & Rao, 2025). Keunggulan tersebut muncul karena JST mampu menjalankan fungsi-fungsi kompleks yang didasarkan pada proses pembelajaran yang efisien, baik dalam pengenalan pola maupun dalam pengolahan informasi (Ramaj, Elezaj, & Čajić, 2024). Namun demikian, JST tidak memiliki kemampuan penalaran dan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan seperti yang dimiliki oleh logika fuzzy (Siregar & Raynaldi, 2024). Tingkat akurasi prediksi pada model ANFIS sangat dipengaruhi oleh jumlah data sampel yang digunakan serta kualitas data tersebut dalam merepresentasikan kondisi sistem yang sebenarnya (Ibrahim, et al., 2024).

Arsitektur ANFIS secara fungsional sama dengan model logika fuzzy Sugeno yang diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 (Li, et al., 2024). Arsitektur ANFIS terdiri dari lima lapisan dan pada setiap lapisan terdapat node. Node dibagi menjadi dua, yaitu *adaptive node* (dapat berubah melalui proses pembelajaran) yang dilambangkan dengan simbol persegi, serta *fixed node* (tetap) yang dilambangkan dengan simbol lingkaran. Gambar 1 menunjukkan arsitektur ANFIS.



**Gambar 1.** Arsitektur ANFIS

Dalam sistem ANFIS, terdapat lima lapisan proses yang dijelaskan sebagai berikut:

**Lapisan 1: Lapisan Fuzzifikasi**

Lapisan ini mentransmisikan input secara langsung dengan fungsi node sebagai berikut:

$$O_{1,i} = \mu A_i(x) \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu B_i(x) \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (2)$$

Di mana  $x$  adalah nilai input untuk node, dan nilai  $A_i$  serta  $B_i$  adalah himpunan fuzzy. Node pada lapisan ini berfungsi sebagai fungsi keanggotaan untuk menyatakan istilah linguistik dari variabel input. Fungsi keanggotaan yang sering digunakan antara lain berbentuk segitiga (*trimf*), trapesium (*trapmf*), bentuk lonceng (*gbellmf*), dan bentuk Gaussian (*gaussmf*).

**Lapisan 2: Lapisan Produk**

Nilai keluaran pada lapisan ini diperoleh dengan mengalikan semua sinyal input. Keluaran pada setiap node dinyatakan sebagai tingkat aktivasi (*firing strength*) dari aturan fuzzy. Keluaran pada lapisan ini berfungsi sebagai fungsi bobot dengan fungsi node sebagai berikut:

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x) * \mu B_i(x) \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (3)$$

**Lapisan 3: Lapisan Normalisasi**

Pada lapisan ini, setiap node melakukan normalisasi fungsi bobot yang diperoleh dari lapisan sebelumnya atau disebut sebagai fungsi kekuatan aktivasi yang dinormalisasi dengan persamaan:

$$O_{3,i} = W_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (4)$$

**Lapisan 4: Lapisan Defuzzifikasi**

Node pada lapisan ini merupakan operator keluaran untuk setiap aturan dengan persamaan:

$$O_{4,i} = W_i f_i = W_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5)$$

Di mana  $p_i, q_i, r_i$  merupakan parameter pada model fuzzy Sugeno orde pertama atau parameter konsekuen yang divalidasi pada proses pelatihan.

**Lapisan 5: Lapisan Keluaran**

Pada lapisan ini hanya terdapat satu node yang merupakan jumlah dari semua hasil komputasi total keluaran dengan persamaan:

$$O_{5,i} = \frac{\sum W_i f_i}{\sum W_i} \quad (6)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil pengembangan dari data kualitas air tambak udang yang berlokasi di Bali. Data awal yang tersedia sebanyak 18 data, yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung di lapangan pada tambak udang di wilayah tersebut. Untuk meningkatkan jumlah data sehingga dapat memenuhi kebutuhan pemrosesan dan pelatihan pada sistem ANFIS, data awal tersebut kemudian dikembangkan menjadi 1200 data menggunakan metode acak terkontrol, sehingga tetap mempertahankan pola distribusi nilai sesuai dengan kondisi nyata di lapangan.

Selanjutnya, data hasil pengembangan ini diproses menggunakan metode logika fuzzy Tsukamoto untuk memperoleh nilai tingkat kualitas air yang sesuai dengan kondisi aktual tambak udang di Bali. Pemrosesan dengan logika fuzzy Tsukamoto dilakukan untuk memberikan nilai keluaran kualitas air berdasarkan parameter-parameter yang telah ditetapkan, sehingga menghasilkan data target yang lebih representatif untuk setiap kombinasi parameter yang ada. Data yang telah diolah ini kemudian digunakan sebagai data input untuk pemrosesan selanjutnya menggunakan

metode Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS), dengan tujuan memprediksi tingkat kualitas air pada tambak udang secara lebih akurat dan efisien.

Dalam proses implementasi ANFIS, penelitian ini menggunakan algoritma hibrida yang mengombinasikan metode *least-square estimator* (LSE) dan *error backpropagation* (EBP). Pada struktur ANFIS, pada Lapisan 1, parameter input dari fungsi keanggotaan himpunan fuzzy bersifat nonlinier terhadap keluaran sistem, sehingga pada tahap ini proses pembelajaran menggunakan metode EBP untuk memperbarui nilai parameter yang digunakan.

Sementara itu, pada Lapisan 4, parameter-parameter yang digunakan merupakan parameter linier terhadap keluaran sistem yang masuk ke dalam basis aturan parameter, sehingga pada tahap ini digunakan metode LSE. Penggunaan kombinasi kedua metode ini memungkinkan proses pembelajaran pada ANFIS dapat berjalan secara efisien, di mana parameter linier dapat dihitung secara langsung menggunakan LSE, sedangkan parameter nonlinier dapat disesuaikan secara bertahap menggunakan EBP untuk meminimalkan nilai error keluaran sistem.

Proses pembelajaran dilakukan dengan menggunakan 1200 data yang terdiri dari 4 input dan 1 output. Data tersebut kemudian dibagi menjadi dua bagian, yaitu data pelatihan (*training data*) dan data pengujian (*testing data*). Penelitian ini menggunakan empat skema pembagian data, yaitu:

1. 60% data pelatihan dan 40% data pengujian
2. 70% data pelatihan dan 30% data pengujian
3. 80% data pelatihan dan 20% data pengujian
4. 90% data pelatihan dan 10% data pengujian

Dari skema pembagian data tersebut, masing-masing model ANFIS dibuat menggunakan perangkat lunak Matlab untuk mengetahui bentuk model terbaik berdasarkan jumlah fungsi keanggotaan (*membership function*) dan jumlah *epoch* yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis jumlah fungsi keanggotaan, yaitu tiga fungsi dan empat fungsi. Hasil performa model ANFIS dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 2.** Performa ANFIS dengan Tiga Fungsi Keanggotaan Input

Shape	60% Data Training		70% Data Training		80% Data Training		90% Data Training	
	Training Error	Epoch						
<u>Trimf</u>	4.0976	800	4.1389	400	4.5537	450	3.8485	1700
<u>Trapmf</u>	5.7066	600	5.7438	600	5.7522	600	3.5124	2700
<u>Gbellmf</u>	3.512	1300	4.0318	800	3.6733	1200	3.7342	1200
<u>Gaussmf</u>	3.9021	1500	4.1865	900	3.9463	2370	4.0673	2550

**Tabel 3.** Performa ANFIS dengan Empat Fungsi Keanggotaan Input

Shape	60% Data Training		70% Data Training		80% Data Training		90% Data Training	
	Training Error	Epoch						
<u>Trimf</u>	3.2292	210	3.0355	220	3.1395	200	3.4089	300
<u>Trapmf</u>	4.4522	600	5.1736	100	4.4297	900	5.7038	10
<u>Gbellmf</u>	1.9201	900	1.7	1320	1.7333	1450	1.8594	1200
<u>Gaussmf</u>	2.2472	900	2.4725	600	2.4955	600	2.734	500

Dari hasil yang diperoleh, diketahui bahwa nilai error pelatihan terkecil sebesar 1,7 berhasil dicapai saat menggunakan 70% data sebagai data pelatihan dan 30% sebagai data pengujian. Konfigurasi ini menggunakan 4 fungsi keanggotaan per input dengan bentuk *generalized bell* pada *epoch* ke-1320. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan

jumlah fungsi keanggotaan, bentuk fungsi keanggotaan, serta proporsi data pelatihan dan pengujian memiliki pengaruh signifikan terhadap akurasi model ANFIS dalam memprediksi tingkat kualitas air tambak udang.

Setelah diperoleh model ANFIS dengan konfigurasi terbaik, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pada data tambak menggunakan FIS yang telah dibangun. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja model dalam memprediksi kualitas air berdasarkan parameter suhu, pH, salinitas, dan oksigen terlarut, serta untuk memastikan model dapat diaplikasikan pada kondisi nyata tambak udang dengan tingkat akurasi yang baik. Hasil pengujian prediksi tingkat kualitas air menggunakan model ANFIS dapat dilihat pada Tabel 4.

Selanjutnya, untuk mengevaluasi kinerja model dalam memprediksi tingkat kualitas air, dilakukan perhitungan nilai error antara hasil prediksi metode Tsukamoto dan metode ANFIS. Perhitungan error ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana akurasi model ANFIS dibandingkan dengan metode Tsukamoto yang telah digunakan sebelumnya, sehingga dapat memberikan gambaran tentang efektivitas penggunaan metode soft computing dalam prediksi kualitas air tambak udang.

**Tabel 4.** Hasil Kualitas Air Menggunakan Metode Tsukamoto dan ANFIS

DO	Temperature	pH	Salinity	Water Quality <sup>T</sup> (Tsukamoto)	Water Quality <sup>O</sup> (ANFIS)
4.72	28.5	8	40	57.99	60.8
4.75	28.8	8.3	41	62.79	64.7
5.09	28.4	7.9	38	63.55	64.5
4.31	28.6	8.3	39	73.79	71.1
4.45	28.3	8	40	57.99	61
4.49	28.7	8.2	40	63.97	65.4
4.7	28.7	7.9	40	58.34	59.6
4.59	28.9	8	40	58.93	62.1
4.64	29.7	7.9	40	61.33	60.9
4.8	29.8	8.4	41	66.11	65.4
4.78	29.5	8	40	61.33	62.5
4.53	29.8	8.4	41	66.11	64.7
4.9	29.5	8	40	61.33	62.5
4.55	29.8	8.5	41	66.33	65.2
5.1	29.4	8	40	59.29	62.2
4.66	29.6	8.5	41	66.33	65.4
4.8	29.5	7.8	40	61.33	59.5
4.72	29.6	8.5	41	66.33	65.7

Nilai error dihitung berdasarkan selisih antara nilai hasil prediksi (ANFIS) dengan nilai referensi kualitas air (Tsukamoto) yang digunakan sebagai acuan, dengan memanfaatkan persamaan berikut.

$$Error = \Sigma \left| \frac{WaterQuality^T - WaterQuality^O}{WaterQuality^T} \right| \times 100\% \quad (8)$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh nilai error sebesar 2,64798%. Nilai ini menunjukkan tingkat perbedaan antara hasil prediksi tingkat kualitas air menggunakan metode ANFIS dibandingkan dengan metode Tsukamoto. Nilai error yang relatif kecil ini mengindikasikan bahwa model ANFIS mampu memprediksi kualitas air tambak udang dengan tingkat akurasi yang baik dan dapat

dijadikan sebagai alternatif dalam pemantauan kualitas air secara otomatis pada sistem budidaya udang.

## KESIMPULAN

Penelitian ini membahas penerapan metode prediksi kualitas air pada tambak udang vaname menggunakan ANFIS. Dalam penelitian ini, formulasi tipe ANFIS yang sesuai ditentukan berdasarkan nilai error pelatihan terkecil yang diperoleh selama proses pelatihan model. Untuk menurunkan nilai error pelatihan, langkah yang dapat dilakukan antara lain dengan meningkatkan jumlah *epoch* atau menambah jumlah fungsi keanggotaan pada setiap input yang digunakan dalam model.

Pada penelitian ini digunakan 4 fungsi keanggotaan per input dengan proporsi data pelatihan sebesar 70% dari total data, yang menghasilkan nilai error pelatihan sebesar 1,7. Selanjutnya, pada tahap pengujian model, diperoleh nilai error sebesar 2,6%. Nilai error yang relatif kecil ini menunjukkan bahwa model ANFIS memiliki performa yang baik dan dapat digunakan sebagai alat bantu dalam memprediksi kualitas air pada tambak udang vaname secara otomatis dengan akurasi yang memadai. Dengan demikian, metode ANFIS dapat dijadikan sebagai alternatif yang efektif dalam membantu petambak untuk memantau dan mengendalikan kualitas air secara lebih efisien.

Untuk pengembangan lebih lanjut, penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan parameter kualitas air lainnya seperti kandungan amonia dan nitrit guna memperoleh prediksi yang lebih komprehensif, serta melakukan uji implementasi langsung pada sistem pemantauan kualitas air secara *real-time* agar model ANFIS dapat diaplikasikan secara optimal pada kondisi lapangan yang dinamis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aldhyani, T. H., Al-Yaari, M., Alkahtani, H., & Maashi, M. (2020). Water Quality Prediction Using Artificial Intelligence Algorithms. *Applied Bionics and Biomechanics*.
- Almunawar, D., Anto, D. R., Alfitra, M. D., Hasin, M. D., Jami'in, M. A., Adhitya, R. Y., Munadhif, I. (2024). Perancangan Sistem Pendukung Keputusan Mesin e-Fill Berbasis ANFIS. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication*.
- Anam, C., Khumaidi, A., & Muqsith, A. (2016). Manajemen Produksi Naupli Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) di Instalasi Pembenihan Udang (IPU) Gelung Balai Perikanan Budidaya Air Payau (BPBAP) Situbondo Jawa Timur. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 57-65.
- Arsad, S., Afandy, A., Purwadhi, A. P., V, B. M., Saputra, D. K., & Buwono, N. R. (2017). Studi Kegiatan Budidaya Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) dengan Penerapan Sistem Pemeliharaan Berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*.
- Chikatimarla, A. K., Prabhavathi, S., & Rao, A. N. (2025). A Comparative Study of Fuzzy Logic and Neural Networks for Pattern Recognition. *Integral Research*, 129-135.
- Devi, P. A., Padmavathy, P., Aanand, S., & Aruljothi, K. (2017). Review On Water Quality Parameter In Freshwater Cage Fish Culture. *International Journal of Applied Research* , 114-120.
- Fadlan, M. A. (2020). *Perancangan Sistem Pemantauan Parameter Kualitas Air Pada Budidaya Udang*. Surabaya.

- 
- Fajriani, R. N. (2024). *Penerapan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Untuk Pemantauan Status Gunung Merapi*. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Ibrahim, A. M., Lawan, S. M., Abdulkadir, R., Shuaibu, N. S., Uzair, M., Indabawa, M. G., Aliyu, A. M. (2024). Solar Radiation Prediction Using an Improved Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Optimization Ensemble. *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System as a Universal Estimator*.
- Kurniaji, A., Effendi, I., Renitasari, D. P., Supryady, S., Yunarty, Y., & Awaluddin, M. I. (2024). Evaluasi Kegiatan Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Secara Intensif di PT. Dewi Laut Aquaculture Garut, Jawa Barat. *Jurnal Perikanan Unram*, 958-970.
- Li, A., Deng, Z., Zhang, W., Xiao, Z., Choi, K.-S., Liu, Y., Wang, S. (2024). Multiview Transfer Representation Learning With TSK Fuzzy System for EEG Epilepsy Detection. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 38-52.
- Putra, A., Yumna, A. S., Alfiaz, A. T., Nugraha, B. A., Sartika, D., Ramadiansyah, F., Suharyadi, S. (2024). Analisis Kualitas Air Pada Budidaya Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*) Sistem Intensif. *Jurnal Perikanan Unram*, 871-878.
- Ramaj, V., Elezaj, R., & Čajić, E. (2024). Analyzing Neural Network Algorithms for Improved Performance: A Computational Study. *Preprint*.
- Saputri, K. (2017, Juni 15). Peluang Dan Kendala Ekspor Udang Indonesia Ke Pasar Jepang. *Program Studi Ilmu Hubungan Internasional*.
- Siregar, B. O., & Raynaldi, R. (2024). Rancang Bangun Aplikasi Penerima Beasiswa Dengan Menggunakan Metode Adaptive Neuro-Fuzzy Interference System (ANFIS). *Jurnal Teknologi Sistem Informasi*, 242-253.
- Syah, R., Makmur, M., & Fahrur, M. (2017). Budidaya Udang Vaname Dengan Padat Penebaran Tinggi. *Media Akuakultur*, 19.
- Yessy, L. T., Ezraneti, R., & Khalil, M. (2024). Quantitative Analysis of Water Quality Parameters and Their Influence on the Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Culture: A Case Study of Rancong Mariculture Area in Lhokseumawe, Aceh, Indonesia. *Journal of Marine Studies*.