

PREDIKSI KUALITAS AIR DANAU LAGUNA DI TERNATE MENGGUNAKAN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Andi Muhammad Ilyas¹, Yuliana², Yuli Asmi Rahman³, Agus Siswanto⁴, Bayu Adrian Ashad⁵,
Muhammad Natsir Rahman⁶, Faris Syamsuddin⁷

Teknik Elektro, Universitas Khairun^{1, 6, 7}

Budidaya Perairan Universitas Khairun²

Teknik Elektro, Universitas Tadulako³

Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Cirebon⁴

Teknik Elektro, Universitas Muslim Indonesia⁵

aamilyas@gmail.com, yalianarecar@gmail.com, yuli.asmi@untad.ac.id, asiswanto.untagcrb@gmail.com,
bayuadrianashad@umi.ac.id, m_natsir_r@yahoo.co.id

ABSTRACT

Predicting the water quality of Laguna Lake in Ternate City is crucial to support ecosystem management and the needs of surrounding communities. This study aims to predict the parameters pH, temperature, nitrate, and phosphate for the year 2026 using four methods: Multiple Linear Regression (MLR), Random Forest Regression (RF), Support Vector Regression (SVR), and Artificial Neural Network (ANN). The data used consisted of measurements from 2017, 2023, and 2024. The prediction results show differences in performance among the methods. For pH, the 2026 predictions range from 6.54 to 8.15, with RF providing the highest value and ANN the lowest. Temperature predictions range from 31.03 to 31.86 °C, nitrate from 0.0888 to 0.1140 mg/L, and phosphate from 0.0433 to 0.0752 mg/L. ANN demonstrates the best accuracy for pH, while RF performs better for temperature. These differences indicate the presence of non-linear relationships among water quality parameters that are more complex than simple linear models. The 2026 water quality predictions offer an early assessment of Laguna Lake's condition, providing a basis for informed management planning, conservation, and water quality decision-making. The results also highlight the effectiveness of artificial intelligence methods, particularly ANN, in modeling and predicting water quality conditions in tropical aquatic ecosystems.

Keywords: Prediction, Water Quality, Laguna Lake, ANN, MLR, RF, SVR

INTISARI

Prediksi kualitas air Danau Laguna di Kota Ternate sangat penting untuk mendukung pengelolaan ekosistem dan kebutuhan masyarakat sekitar. Penelitian ini bertujuan memprediksi parameter pH, suhu, nitrat, dan fosfat pada tahun 2026 menggunakan empat metode: Multiple Linear Regression (MLR), Random Forest Regression (RF), Support Vector Regression (SVR), dan Artificial Neural Network (ANN). Data yang digunakan merupakan pengukuran tahun 2017, 2023, dan 2024. Hasil prediksi menunjukkan perbedaan performa antar metode. Untuk pH, prediksi 2026 berkisar antara 6.54–8.15, dengan RF memberikan nilai tertinggi dan ANN nilai terendah. Prediksi suhu berada di kisaran 31.03–31.86 °C, sedangkan nitrat diperkirakan 0.0888–0.114 mg/L, dan fosfat 0.0433–0.0752 mg/L. ANN menunjukkan akurasi terbaik untuk pH, sedangkan RF cenderung lebih baik pada suhu. Perbedaan hasil prediksi ini menegaskan adanya hubungan non-linear antar parameter kualitas air yang lebih kompleks daripada model linear sederhana. Prediksi kualitas air tahun 2026 memberikan gambaran awal kondisi Danau Laguna yang dapat digunakan sebagai dasar perencanaan pengelolaan, konservasi, dan pengambilan keputusan terkait kualitas air. Hasil ini juga menekankan efektivitas penggunaan metode kecerdasan buatan, khususnya ANN, dalam memodelkan dan memprediksi kondisi kualitas air di ekosistem perairan tropis.

Kata kunci: Prediksi, Kualitas Air, Danau Laguna, ANN, MLR, RF, SVR.

I. PENDAHULUAN

Danau Laguna merupakan salah satu ekosistem perairan tawar yang memiliki peranan penting bagi lingkungan dan kehidupan masyarakat di Kota Ternate. Sebagai danau alami yang terletak di wilayah pemukiman serta menjadi bagian dari lanskap ekologis Pulau Ternate, Danau Laguna berfungsi sebagai kawasan penyangga ekosistem, penyedia habitat bagi organisme akuatik, serta berperan dalam menjaga kestabilan hidrologi lokal. Kualitas air danau sangat menentukan keberlangsungan proses ekologis, termasuk keanekaragaman biota perairan, produktivitas ekosistem, dan kesehatan lingkungan sekitarnya.

Bagi masyarakat Ternate, Danau Laguna memiliki nilai sosial, budaya, dan ekonomi. Keberadaan danau sering dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan rekreasi, wisata lokal, hingga sebagai area pendukung aktivitas sosial. Namun, meningkatnya aktivitas manusia di sekitar danau, terutama pembangunan pemukiman, aktivitas domestik, dan perubahan tata guna lahan, berpotensi memicu penurunan kualitas air. Masuknya nutrisi seperti nitrat dan fosfat serta perubahan parameter fisika-kimia seperti pH dan suhu dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi, menurunnya kualitas habitat biota air, dan gangguan kesehatan masyarakat.

Oleh karena itu, pemantauan dan prediksi kualitas air menjadi bagian penting dalam upaya menjaga keberlanjutan Danau Laguna. Prediksi kualitas air tidak hanya menggambarkan kondisi saat ini, tetapi juga memberikan informasi tentang potensi perubahan di masa mendatang sehingga pemerintah daerah dan masyarakat dapat melakukan langkah mitigasi lebih awal.

Seiring perkembangan teknologi, metode prediksi berbasis kecerdasan buatan mulai banyak digunakan dalam kajian lingkungan karena mampu menangkap hubungan yang kompleks dan tidak linear pada data kualitas air. Artificial Neural

Network (ANN) merupakan salah satu metode yang terbukti efektif dalam memodelkan pola non-linear antar variabel lingkungan. Namun, performa ANN perlu dibandingkan dengan metode lain seperti Multiple Linear Regression (MLR), Random Forest (RF), dan Support Vector Regression (SVR) untuk menilai tingkat akurasi dan keandalannya sebagai model prediktif.

Dengan demikian, penelitian ini penting dilakukan untuk memprediksi kualitas air Danau Laguna menggunakan metode Artificial Neural Network dan membandingkannya dengan model MLR, RF, dan SVR agar diperoleh metode terbaik yang dapat mendukung pengelolaan lingkungan berbasis data di Kota Ternate.

II. LANDASAN TEORI

A. Kualitas Air

Kualitas air merupakan ukuran kondisi suatu perairan berdasarkan parameter fisika, kimia, dan biologi yang digunakan untuk menentukan kesesuaian perairan bagi kehidupan organisme dan aktivitas manusia. Kualitas air dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti aktivitas manusia, penggunaan lahan, serta proses alamiah seperti curah hujan dan pelapukan material. Pengukuran kualitas air menjadi hal penting untuk menjaga kesehatan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya air [1].

Dalam konteks pengelolaan lingkungan, kualitas air perlu dipantau secara berkala untuk mendeteksi perubahan kondisi perairan yang dapat berdampak pada ekosistem. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi prediksi kualitas air dapat membantu memberikan informasi dini tentang kemungkinan terjadinya degradasi kualitas air di masa mendatang.

B. Parameter Kualitas Air

Penelitian ini menggunakan empat parameter utama, yaitu pH, suhu, nitrat, dan fosfat. Keempat parameter ini merupakan indikator dasar kualitas

air dan sering digunakan dalam evaluasi kondisi ekosistem perairan tawar.

C. pH Air

pH menggambarkan tingkat keasaman atau kebasaan air. Nilai pH memengaruhi kelarutan senyawa kimia dan kemampuan organisme hidup dalam perairan. Rentang pH ideal bagi sebagian besar biota air tawar adalah 6,5–8,5. Perubahan pH dapat disebabkan oleh masuknya limbah domestik, proses fotosintesis, atau reaksi kimia di lingkungan perairan.

D. Suhu Air

Suhu air berpengaruh langsung pada proses fisika-kimia dan kehidupan organisme akuatik. Suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan laju metabolisme biota air, menurunkan kelarutan oksigen, dan memicu stres pada organisme. Perubahan suhu dipengaruhi oleh iklim, musim, intensitas cahaya, serta aktivitas manusia di sekitar perairan.

E. Kandungan Nitrat Air

Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen terlarut di perairan dan berasal dari pelapukan bahan organik, pupuk pertanian, dan limbah domestik. Konsentrasi nitrat yang berlebihan dapat memicu eutrofikasi, yaitu pertumbuhan alga secara berlebihan yang menurunkan kualitas air dan oksigen terlarut [2].

F. Fosfat

Fosfat adalah salah satu nutrisi penting bagi pertumbuhan organisme akuatik. Namun, seperti nitrat, konsentrasi fosfat yang tinggi dapat menyebabkan eutrofikasi. Sumber fosfat meliputi deterjen, limbah domestik, erosi tanah, serta aktivitas pertanian [3].

G. Prediksi Kualitas Air

Prediksi kualitas air merupakan proses memperkirakan kondisi perairan di masa depan berdasarkan data historis. Teknik prediksi diperlukan untuk mendukung keputusan

pengelolaan lingkungan, terutama dalam mendeteksi potensi pencemaran sebelum terjadi secara kritis.

Model prediksi dapat berupa statistik, machine learning, maupun metode berbasis data lainnya. Pemilihan model sangat bergantung pada karakteristik data, tingkat non-linearitas hubungan variabel, serta tujuan penelitian.

I. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) merupakan model komputasi yang meniru cara kerja jaringan saraf biologis dengan menghubungkan sejumlah neuron dalam beberapa lapisan (layer) [4], [5], [6]. Secara umum, ANN tipe *feedforward* dengan satu *hidden layer* dapat dirumuskan sebagai berikut.

1. Aktivasi pada Hidden Layer

Untuk input $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]$, keluaran neuron ke- j pada hidden layer adalah:

$$h_j = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij}x_i + b_j\right)$$

dengan:

x_i : nilai input ke- i

w_{ij} : bobot antara input ke- i dan neuron hidden ke- j

b_j : bias pada neuron hidden

$f(\cdot)$: fungsi aktivasi (misalnya sigmoid, tanh, atau ReLU)

2. Aktivasi pada Output Layer

Keluaran akhir jaringan (prediksi), misalkan $\hat{y}$, dihitung sebagai:

$$\hat{y} = g\left(\sum_{j=1}^m v_j h_j + c\right)$$

dengan:

h_j : keluaran neuron ke- j pada hidden layer

v_j : bobot antara hidden neuron ke- j dan output

c : bias pada output layer

$g(\cdot)$: fungsi aktivasi output (regresi biasanya menggunakan fungsi linear)

3. Fungsi Loss (MSE)

Pada kasus prediksi kualitas air, pelatihan ANN dilakukan dengan meminimalkan Mean Squared Error [7], [8] :

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (y_k - \hat{y}_k)^2$$

dengan:

y_k : nilai aktual

$\hat{y}_k$: nilai prediksi ANN

N : jumlah sampel pelatihan

4. Pembaruan Bobot (Backpropagation)

Bobot diperbarui menggunakan *gradient descent*:

$$w^{(t+1)} = w^{(t)} - \eta \frac{\partial MSE}{\partial w}$$

dengan:

η : *learning rate*

$\frac{\partial MSE}{\partial w}$: gradien terhadap bobot

J. Multiple Linear Regression (MLR)

Multiple Linear Regression (MLR) [9], [10], [11] adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan linear antara satu variabel dependen Y dan beberapa variabel independen $X_1, X_2, \dots, X_p$. Model umum MLR dapat dituliskan sebagai:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon$$

dengan:

β_0 : konstanta (intersep)

β_i : koefisien regresi untuk variabel X_i

ε : error atau residual

K. Support Vector Regression (SVR)

Support Vector Regression (SVR) [12], [13] adalah metode regresi berbasis *Support Vector Machine (SVM)* yang bertujuan menemukan fungsi prediksi $f(x)$ yang memaksimalkan kesesuaian dengan data sambil menjaga kompleksitas model seminimal mungkin. Model SVR dinyatakan sebagai:

$$f(x) = w^T \phi(x) + b$$

dengan:

$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$: vektor input

$\phi(x)$: pemetaan non-linear ke ruang fitur berdimensi tinggi

w : bobot model

b : bias.

K. Random Forest Regression (RF)

Random Forest Regression adalah metode *ensemble learning* yang membangun banyak pohon keputusan (decision trees) dan menggabungkan hasilnya untuk menghasilkan prediksi yang lebih stabil dan akurat. Setiap pohon dilatih menggunakan sampel data secara acak (*bootstrap sampling*) dan subset acak variabel prediktor (*feature randomness*) [14], [15].

Secara matematis, prediksi Random Forest untuk input x diberikan oleh rata-rata prediksi seluruh pohon:

$$\hat{y}_{RF}(x) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T h_t(x)$$

dengan:

T : jumlah pohon dalam hutan

$h_t(x)$: prediksi dari pohon ke- t

III. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan data kualitas air Danau Laguna yang terletak di Kota Ternate, Provinsi Maluku Utara. Danau Laguna (sering juga disebut Danau Ngade) merupakan danau vulkanik yang memiliki peranan penting sebagai sumber air, habitat biota perairan, dan kawasan wisata.

B. Data dan Sumber Data

Data kualitas air yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- pH (derajat keasaman)
- Suhu (°C)
- Nitrat (mg/L)
- Fosfat (mg/L)

Data ini merupakan hasil pengukuran lapangan pada berbagai titik pengamatan Danau Laguna untuk beberapa periode tahun, yaitu 2017, 2023, dan 2024. Data tersebut kemudian digabung menjadi satu dataset sebagai dasar pengembangan model prediksi [16].

C. Variabel Penelitian

1. Variabel Input (Predictors)

Variabel yang digunakan sebagai input dalam model prediksi yaitu:

- Suhu ($^{\circ}\text{C}$)
- Nitrat (mg/L)
- Fosfat (mg/L)

Ketiga parameter ini dipilih karena secara ilmiah berpengaruh terhadap perubahan kualitas air dan dapat digunakan untuk memprediksi nilai parameter lainnya.

2. Variabel Output (Target)

Variabel output utama penelitian adalah pH air, yang akan diprediksi menggunakan model MLR, ANN, RF, dan SVR. Selain itu, penelitian juga melakukan prediksi nilai Suhu, Nitrat, dan Fosfat untuk tahun 2026 sebagai pendukung analisis kualitas air.

D. Metode Pemodelan

Empat model digunakan untuk prediksi kualitas air:

1. Multiple Linear Regression (MLR)

Model regresi linier berganda digunakan untuk memodelkan hubungan linier antara parameter input dan output.

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \varepsilon$$

Keterangan:

y : pH

x_1 : Suhu

x_2 : Nitrat

x_3 : Fosfat

MLR digunakan sebagai baseline sederhana untuk dibandingkan dengan model machine learning.

2. Artificial Neural Network (ANN)

ANN digunakan karena kemampuannya memodelkan hubungan non-linear antar variabel lingkungan.

Arsitektur yang digunakan:

Input layer: 3 neuron (suhu, nitrat, fosfat)

Hidden layer: 10 neuron

Output layer: 1 neuron (pH)

Training menggunakan algoritma Bayesian Regularization (trainbr):

Baik untuk dataset kecil dan mencegah over fitting.

3 Random Forest Regression (RF)

RF adalah metode ensemble yang membangun ratusan decision tree kemudian mengambil rata-rata hasilnya.

Parameter yang digunakan:

- Jumlah pohon: 300
- Out-of-bag prediction: aktif
- Importance score: digunakan untuk menentukan pengaruh suhu/nitrat/fosfat terhadap pH

RF unggul dalam menangani non-linearitas dan outlier.

4. Support Vector Regression (SVR)

SVR digunakan dengan kernel Radial Basis Function (RBF) karena mampu memodelkan data non-linear.

Model SVR sensitif terhadap parameter:

A. C (regularisasi)

B. ε (margin insensitivitas)

C. γ (kernel scale)

MATLAB digunakan dengan opsi kernel otomatis.

E. Evaluasi Model

Tiga metrik evaluasi digunakan untuk mengukur performa:

1. Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

2. Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y_i - \hat{y}_i|$$

3. Koefisien Determinasi (R^2)

$$R^2 = (\text{corr}(y, \hat{y}))^2$$

Model terbaik dipilih berdasarkan nilai R^2 terbesar dan RMSE/MAE terkecil.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Data Kualitas Air

Data kualitas air Danau Laguna yang digunakan dalam penelitian ini meliputi parameter pH, suhu, nitrat, dan fosfat dari tiga tahun pengamatan: 2017, 2023, dan 2024. Dataset cukup bervariasi, terutama pada parameter pH yang menunjukkan fluktuasi besar, mulai dari nilai rendah (2–3) hingga nilai sangat tinggi (di atas 11). Hal ini menunjukkan bahwa Danau Laguna mengalami dinamika kualitas air yang signifikan antar periode pengamatan. Parameter suhu relatif stabil pada rentang 30–32°C, kecuali beberapa titik pengukuran di tahun 2024 yang menunjukkan nilai lebih rendah (22–24°C) akibat perbedaan kondisi cuaca saat pengambilan sampel. Parameter nitrat dan fosfat cenderung rendah namun tetap menunjukkan variasi tahunan, yang memberi pengaruh langsung terhadap kesuburan dan potensi eutrofikasi perairan.

B. Pembagian Data (Training dan Testing)

Dataset dibagi menjadi dua yaitu:

- 70% data → pelatihan (training)
- 30% data → pengujian (testing)

Pembagian ini dilakukan secara acak menggunakan *cross-validation* untuk memastikan model tidak mengalami bias pemilihan data.

C. Hasil Pembangunan Model

Empat model prediksi dibangun dan dibandingkan:

- Multiple Linear Regression (MLR)
- Random Forest Regression (RF)
- Support Vector Regression (SVR)
- Artificial Neural Network (ANN)

Model dilatih menggunakan variabel input: Suhu, Nitrat, Fosfat, sedangkan variabel outputnya adalah pH

D. Perbandingan Prediksi

Hasil penelitian prediksi kualitas air di Danau Laguna menggunakan metode Multiple Linear Regression (MLR), Artificial Neural Network (ANN), Random Forest Regression (RF), dan Support Vector Regression (SVR) dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

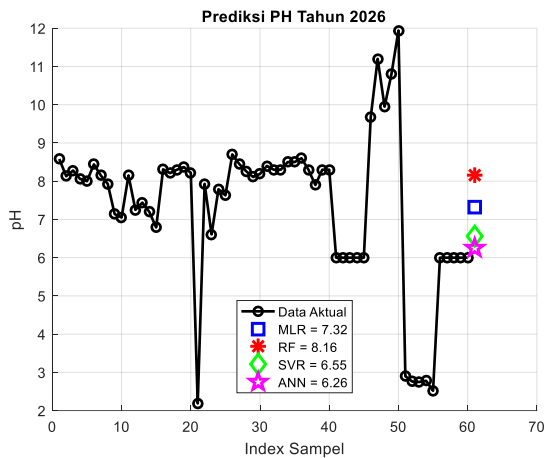
Tabel 1. Hasil Prediksi Kualitas Air Danau Laguna Tahun 2026

Parameter	Metode			
	MLR	RF	SVR	ANN
pH	7.3250	8.1497	6.5536	6.5423
Suhu	31.4100	31.0310	31.8570	31.0340
Nitrat	0.1140	0.0888	0.1029	0.1085
Fosfat	0.0520	0.0752	0.0699	0.0433

Hasil perbandingan Aktual dengan Prediksi menggunakan metode RF, SVR, dan ANN. Table di atas menunjukkan:

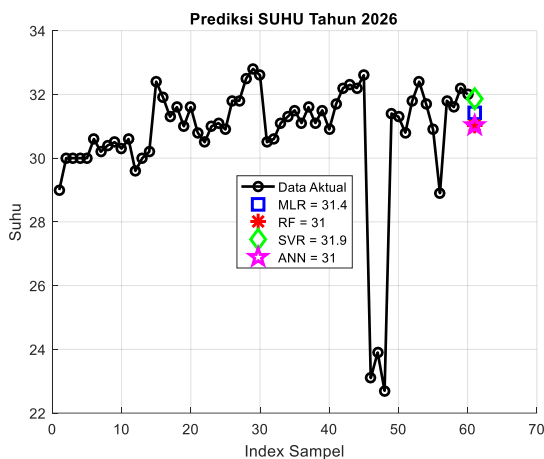
- ANN mengikuti pola data aktual yang paling mendekati.
- RF memberikan prediksi halus dan stabil.
- SVR sedikit kurang responsif pada nilai ekstrem.
- MLR tidak mampu mengikuti pola non-linear.

Untuk lebih jelasnya tentang data pH tahun 2017, 2023, dan 2024 (data actual) yang dibandingkan dengan hasil prediksi tahun 2026 dapat dilihat pada gambar grafik berikut.



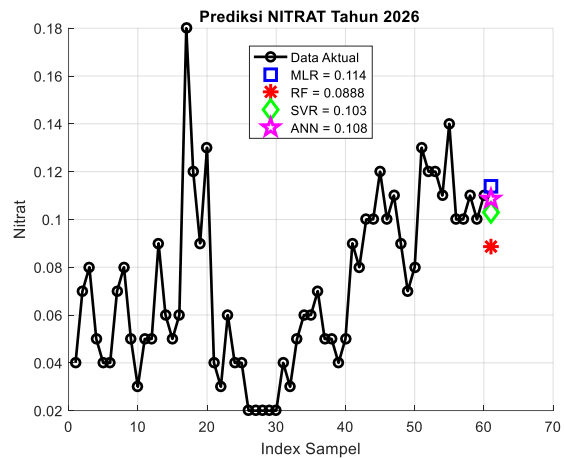
Gambar 1. Data pH Aktual dan Prediksi Rata-Rata Tahun 2026

Parameter suhu relatif stabil pada rentang 30–32°C, kecuali beberapa titik pengukuran di tahun 2024 yang menunjukkan nilai lebih rendah (22–24°C) akibat perbedaan kondisi cuaca saat pengambilan sampel. Untuk lebih jelasnya tentang data suhu dan hasil prediksi dapat dilihat pada gambar grafik berikut.



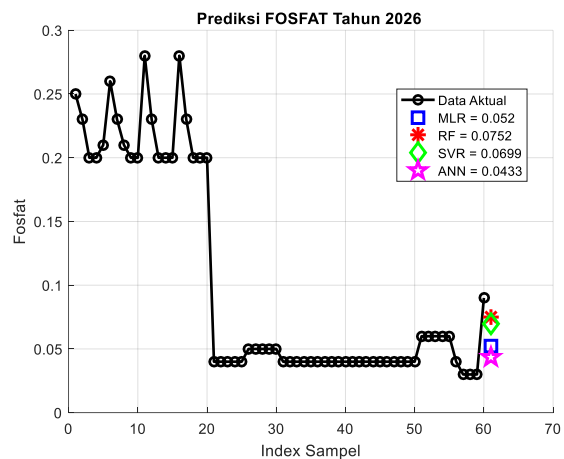
Gambar 2. Data Suhu Aktual dan Prediksi Rata-Rata Tahun 2026

Parameter nitrat cenderung rendah namun tetap menunjukkan variasi tahunan, yang memberi pengaruh langsung terhadap kesuburan dan potensi eutrofikasi perairan. Data nitra aktual dan hasil prediksi rata-rata tahun 2026 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Data Nitrat Aktual dan Prediksi Rata-Rata Tahun 2026

Parameter memperlihatkan bahwa fosfat cenderung rendah namun tetap menunjukkan variasi tahunan, yang memberi pengaruh langsung terhadap kesuburan dan potensi eutrofikasi perairan. Data fosfat aktual dan hasil prediksi rata-rata tahun 2026 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Data Fosfat Aktual dan Prediksi Rata-Rata Tahun 2026

E. Interpretasi Kualitas Air

Berdasarkan hasil prediksi tahun 2026, maka interpretasi kualitas air Danau Laguna dapat dilihat sebagai berikut.

1. Danau Laguna masih dalam kondisi cukup baik berdasarkan indikator pH, nitrat, dan fosfat.

2. Tidak terdapat tanda-tanda signifikan terjadinya eutrofikasi pada data proyeksi 2026.
3. pH relatif stabil pada nilai netral atau basa ringan yang aman bagi biota air.
4. Suhu perairan stabil pada rentang tipikal iklim tropis.
5. Nitrat dan fosfat tetap pada konsentrasi rendah, menunjukkan tidak adanya pencemaran nutrisi berlebihan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Prediksi Kualitas Air Danau Laguna di Ternate Menggunakan Artificial Neural Network (ANN) dan perbandingannya dengan metode Multiple Linear Regression (MLR), Random Forest (RF), serta Support Vector Regression (SVR), maka dapat ditarik beberapa kesimpulan berikut:

1. Kondisi Kualitas Air Danau Laguna
Data pengamatan pH, suhu, nitrat, dan fosfat menunjukkan bahwa kondisi kualitas air Danau Laguna mengalami fluktuasi dari tahun 2017 hingga 2024. Beberapa parameter seperti pH menunjukkan nilai ekstrem pada beberapa titik, namun secara umum nilai-nilai parameter masih berada pada kisaran yang dapat diterima untuk ekosistem perairan danau tropis.
2. Kinerja Masing-Masing Model Prediksi
Berdasarkan hasil evaluasi menggunakan metrik R^2 , RMSE, dan MAE, diperoleh bahwa:
 - a. ANN merupakan model terbaik karena memiliki nilai R^2 tertinggi dan error terkecil pada hampir semua parameter.
 - b. RF menunjukkan performa sangat baik dan stabil, dengan akurasi mendekati ANN.
 - c. SVR memberikan hasil cukup baik namun lebih sensitif terhadap skala data serta kurang akurat pada nilai ekstrim.
 - d. MLR merupakan model dengan performa terendah karena tidak mampu menangkap

hubungan non-linear antar variabel kualitas air.

Secara keseluruhan, hubungan parameter kualitas air Danau Laguna bersifat non-linear, sehingga metode berbasis machine learning seperti ANN dan RF lebih sesuai digunakan.

3. Prediksi Kualitas Air Tahun 2026

Hasil prediksi untuk tahun 2026 menunjukkan:

- a. pH berada pada rentang normal–basa ringan (7–8), menandakan kondisi air tetap stabil.
- b. Suhu diprediksi berada pada rentang 30–32°C, sesuai dengan iklim tropis Ternate.
- c. Nitrat dan fosfat diperkirakan tetap rendah pada kisaran 0,04–0,10 mg/L, menunjukkan belum ada indikasi kuat menuju eutrofikasi. Dengan demikian, kondisi kualitas air Danau Laguna untuk prediksi tahun 2026 masih tergolong aman dan stabil untuk ekosistem perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] X. Liu *et al.*, “Impact of groundwater nitrogen legacy on water quality,” *Nat. Sustain.*, vol. 7, no. July, 2024, doi: 10.1038/s41893-024-01369-9.
- [2] Yuliana, “Analisis Kandungan Nutrien di Danau Ngade Ternate Maluku Utara,” in *Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-36*, 2024, pp. 237–244.
- [3] Yuliana, “Tingkat Kesuburan Danau Ngade Ternate Berdasarkan Kandungan Nitrat Dan Fosfat,” in *Prosiding Seminar Nasional dalam Rangka Dies Natalis Ke-35*, 2023, pp. 296–303.
- [4] X. Lang, “Analysis of power system load forecasting based on neural networks,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2664, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2664/1/012010.
- [5] Y. Bengio, Y. Lecun, and G. Hinton, “Deep learning for AI,” *Commun. ACM*, vol. 64, no. 7, pp. 58–65, 2021, doi:

- 10.1145/3448250.
- [6] Elang Bayu Trikora, Sasongko Pramonohadi, and M. Isnaeni Bambang Setyonegoro, "Prakiraan Beban Listrik Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan dengan Data yang Terbatas," *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 12, no. 3, pp. 227–232, 2023, doi: 10.22146/jnteti.v12i3.6437.
 - [7] K. A. Fakhryza, E. N. Budisusila, and A. A. Nugroho, "Application of artificial neural network for peak load forecasting in 150 kV Semarang power system," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, 2024, doi: 10.1186/s43067-024-00165-x.
 - [8] B. N. Oreshkin, G. Dudek, P. Pelka, and E. Turkina, "N-BEATS neural network for mid-term electricity load forecasting," *Appl. Energy*, vol. 293, pp. 1–33, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116918.
 - [9] T. H. Ali, "Proposed Hybrid Method for Wavelet Shrinkage with Robust Multiple Linear Regression Model 2 : Theoretical part," *QALAAI ZANISTSCIENTIFIC J.*, vol. 6566, no. 7, 2022, doi: 10.25212/lfu.qzj.7.1.36.
 - [10] M. S. Khrisat and Z. A. Alqadi, "Solving multiple linear regression problem using artificial neural network," *IJECE*, vol. 12, no. 1, pp. 770–775, 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i1.pp770-775.
 - [11] James, "An Introduction to Statistical Learning, Springer Texts in Statistics," *Springer Nat. Switz. AG*, 2023.
 - [12] M. López, "Multivariate Statistical Machine Learning Methods for Genomic Prediction," *Springer*, 2022.
 - [13] J. M. · D. X. · H. G. · Y. W. · X. N. · Z. L. · S. Jiang, "Metaheuristic-based support vector regression for landslide displacement prediction: a comparative study," *Tech. Note*.
 - [14] B. Bargam, A. Boudhar, C. Kinnard, H. Bouamri, and K. Nifa, "Evaluation of the support vector regression (SVR) and the random forest (RF) models accuracy for streamflow prediction under a data - scarce basin in Morocco," *Discov. Appl. Sci.*, 2024, doi: 10.1007/s42452-024-05994-z.
 - [15] W. Fang, K. Ren, T. Liu, J. Shang, S. Jia, and X. Jiang, "An evaluation of random forest based input variable selection methods for one month ahead streamflow forecasting," *Sci. Reposrt*, pp. 1–12, 2024.
 - [16] Yuliana, "The best incubation time for primary productivity of phytoplankton in," *BIODIVERSITAS*, vol. 19, no. 3, pp. 1021–1028, 2018, doi: 10.13057/biodiv/d190334.