

Analisis Status Mutu Air di Danau Toba Menggunakan Metode STORET (Studi Kasus Keramba Jaring Apung di Desa Tongging)

Hidayati Hidayati^{1,*}, Meidina Zulfa Hanie¹, Kevin Heickel Kenza Ginting¹, Fadhila Fadhila¹, Ferdy Ashari Syawal²

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara
Jl. Dr. T. Mansyur No. 9, Kel. Padang Bulan, Medan, Indonesia

²Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Riau
KM. 12,5, Simpang Baru, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Indonesia
E-mail: hidayati@usu.ac.id*

Abstract

Toba Lake as the largest volcanic lake in Southeast Asia faces a serious threat in the form of water pollution due to the activities of Floating Net Cages (KJA). This study aims to evaluate the status of water quality in the waters of Lake Toba, especially in Tongging Village, Karo Regency. The evaluation was carried out using the STORET method approach. Water samples were taken at three different time conditions (before, during, and after feeding) at five strategic points representing KJA, around KJA, and river inlets. The results showed that the concentrations of phosphate and nitrate had exceeded the quality standards of PP No. 22 of 2021, reaching 0.072 mg/L and 9.950 mg/L, respectively. The highest STORET method score was -35, indicating severely polluted water conditions. These findings emphasize the need for sustainable fisheries management in Lake Toba.

Keywords: floating net cages, storet method, toba lake, water pollution

Abstrak

Danau Toba sebagai danau vulkanik terbesar di Asia Tenggara menghadapi ancaman serius berupa pencemara air akibat aktivitas Keramba Jaring Apung (KJA). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi status mutu air di wilayah perairan Danau Toba, khususnya di Desa Tongging, Kabupaten Karo. Evaluasi dilakukan dengan pendekatan metode STORET. Sampel air diambil pada tiga kondisi waktu yang berbeda (sebelum, saat, dan setelah pemberian pakan) di lima titik strategis yang merepresentasikan KJA, sekitar KJA, dan inlet sungai. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat dan nitrat telah melampaui baku mutu PP No. 22 Tahun 2021, masing-masing mencapai 0,072 mg/L dan 9,950 mg/L. Skor metode STORET tertinggi adalah -35 yang mengindikasikan kondisi perairan tercemar berat. Temuan ini menegaskan perlunya pengelolaan budidaya perikanan secara berkelanjutan di Danau Toba.

Kata kunci: danau toba, keramba jaringan apung, metode storet, pencemaran air

1. Pendahuluan

Danau Toba, sebagai danau vulkanik terbesar di Asia Tenggara dengan luas permukaan 112.400 hektar dan kedalaman maksimum 508 meter (BPS Sumut, 2023), merupakan aset strategis nasional yang ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Pariwisata Nasional (KSPN) melalui Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2011. Selain memiliki nilai ekologis sebagai habitat bagi biota air tawar, danau ini berperan penting dalam

mendukung kehidupan masyarakat, antara lain sebagai sumber air bersih, penopang ekonomi melalui budidaya ikan sistem Keramba Jaring Apung (KJA), sektor pariwisata, transportasi perairan, serta penyedia air bagi industri pembangkit listrik [1], [2].

Aktivitas budidaya ikan intensif di Danau Toba telah berkembang pesat, dengan jumlah KJA mencapai 11.000 unit berdasarkan citra satelit SPOT VII tahun 2016, dimana 80%

terkonsentrasi di Kabupaten Simalungun (Manik et al., 2020). Pertumbuhan KJA yang masif ini memberikan dampak signifikan terhadap kualitas perairan, terutama akibat akumulasi limbah pakan dan kotoran ikan. Dampak tersebut semakin diperparah oleh operasi KJA skala besar yang cenderung kurang memperhatikan aspek lingkungan [2].

Masuknya nutrisi berlebihan, khususnya fosfat (P_2O_5) dan nitrat (NO_3^-), ke dalam perairan Danau Toba telah memicu pertumbuhan fitoplankton secara masif dan mengakibatkan eutrofikasi. Fenomena ini mencerminkan ketidakseimbangan ekosistem akuatik, dimana akumulasi bahan organik dan sedimen mempercepat proses penuaan danau. Eutrofikasi menjadi penyebab utama degradasi ekosistem, yang ditandai dengan: penurunan kapasitas ekologis perairan, perubahan parameter kualitas air seperti berkurangnya kecerahan air dan kadar oksigen terlarut, serta gangguan biogeokimia berupa peningkatan keasaman, anoksia di zona dasar, dan akumulasi senyawa beracun seperti hidrogen sulfida [3].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh konsentrasi fosfat (P_2O_5) dan nitrat (NO_3^-) terhadap penurunan kualitas air Danau Toba, mengevaluasi ancaman terhadap kelestarian ekosistem Danau Toba, khususnya di wilayah Desa Tongging. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi penyusunan kebijakan pengelolaan Danau Toba yang berkelanjutan, khususnya dalam mengendalikan aktivitas KJA dan memulihkan kualitas perairan.

2. Metodologi

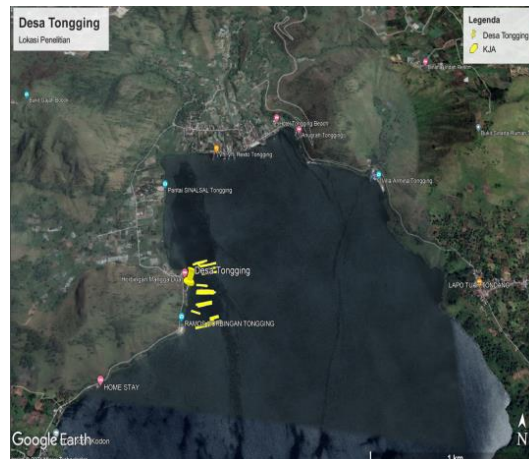
2.1 Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di perairan Danau Toba, khususnya di Desa Tongging, Kecamatan Merek, Kabupaten Karo, dengan koordinat geografis $2.88^{\circ}LU-2.35^{\circ}LU$ dan $98.52^{\circ}BT-99.1^{\circ}BT$. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada tingginya aktivitas budidaya ikan menggunakan Keramba Jaring Apung (KJA), di mana terdapat sekitar 500 unit KJA yang beroperasi (Data KJA, 2019). Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juli 2024, tepatnya pada waktu pemberian pakan pertama, yaitu antara pukul 13.00 hingga 14.00.

2.2 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air permukaan mengacu pada SNI 6989.57:2008 tentang Metode Pengambilan Contoh Air Permukaan untuk Uji Fisika-Kimia. Sampel diambil dari lokasi budidaya Keramba Jaring Apung (KJA) di perairan Danau Toba menggunakan water sampler pada kedalaman 20–50 cm dari

permukaan air. Sebelum pengambilan sampel, botol polietilen (HDPE) dibilas tiga kali dengan air lokasi untuk mencegah kontaminasi. Sampel kemudian diawetkan dalam es box ($4^{\circ}C$) dan segera dibawa ke laboratorium untuk analisis.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel
Sumber: Google Earth, 2024

2.3 Analisis Data

Pengukuran parameter kualitas air dilakukan dengan dua pendekatan:

1. Pengukuran *in situ* menggunakan alat portabel water quality meter az 86031.
2. Analisis laboratorium untuk nitrat (NO_3^-) dilakukan di Laboratorium Teknik Kesehatan Lingkungan Medan dengan metode spektrofotometri.

Hasil pengukuran dibandingkan dengan baku mutu air Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51/2004 dan dianalisis menggunakan indeks STORET untuk menentukan tingkat pencemaran.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengamatan kualitas air dilakukan di beberapa titik lokasi sekitar Keramba Jaring Apung (KJA) setelah pemberian pakan ikan satu kali. Parameter yang dianalisis meliputi pH, suhu, DO dan nitrat (NO_3^-), kemudian dievaluasi menggunakan metode STORET berdasarkan baku mutu air kelas I sesuai PP No. 22 Tahun 2021.

3.1. Derajat Keasaman

pH (derajat keasaman) merupakan parameter kunci dalam penilaian kualitas air, menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, rentang pH air yang diperbolehkan adalah 6-9. Hasil pengukuran menunjukkan nilai bervariasi antara 6,93–8,2. Nilai pH minimum di bawah baku mutu (7), sehingga mendapatkan skor -2.

Tabel 1.
Hasil Pengukuran pH

No	Lokasi pengambilan	Baku Mutu	Setelah Pakan 1 Kali
1	Hilir Sungai/Inlet	6 - 9	8,2
2	KJA I	6 - 9	6,93
3	KJA II	6 - 9	7,41
4	100 m dari KJA	6 - 9	7,42
5	200 m dari KJA	6 - 9	7,45

3.2. Suhu Air

Suhu perairan merupakan parameter krusial yang memengaruhi produktivitas budidaya perikanan melalui proses fisiologis biota air (Muariff, 2019). Fluktuasi suhu harian di Danau Toba dipengaruhi faktor meteorologis dan antropogenik. Hasil penelitian menunjukkan Suhu air berkisar antara 21,5–30,1°C. Deviasi suhu masih dalam ambang batas ($\leq 3^\circ\text{C}$ dari suhu alami), dengan skor maksimum 0.

3.3. DO

Oksigen terlarut merupakan parameter esensial untuk menilai kualitas perairan dan keberlangsungan biota akuatik. Standar minimum DO untuk perairan danau adalah 6 mg/L (PP No. 22/2021). Hasil pengukuran berada dalam kisaran 6,4–7,4 mg/L, masih memenuhi baku mutu (≥ 6 mg/L), sehingga skor 0.

Tabel 2.
Hasil Pengukuran DO

No	Lokasi Pengambilan	Baku Mutu	Setelah Pakan 1 Kali
1	Hilir Sungai/Inlet	6	6,4
2	KJA I	6	7,3
3	KJA II	6	7,4
4	100 m dari KJA	6	7,1
5	200 m dari KJA	6	7,14

3.4. Nitrat (NO_3^-)

Nitrat (NO_3^-), sebagai bentuk nitrogen dominan di perairan alami, merupakan parameter penting untuk menilai kualitas air. Senyawa ini terutama berasal dari konversi ammonium dalam limbah domestik dan pertanian. Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, baku mutu nitrat untuk perairan ditetapkan sebesar 0,65 mg/L.

Tabel 3.
Hasil Uji Nitrat (NO_3^-)

No	Lokasi pengambilan	Baku Mutu	Setelah Pakan 1 kali
1	Hilir Sungai/Inlet	0,65	3,14
2	KJA I	0,65	0,4
3	KJA II	0,65	0,4
4	100 m dari KJA	0,65	0,4
5	200 m dari KJA	0,65	0,4

Dari Tabel 3 diketahui Hasil pengukuran nitrat di area budidaya KJA Danau Toba menunjukkan pola distribusi spasial yang signifikan. Konsentrasi tertinggi di hilir sungai/inlet (3,14 mg/L) yang melebihi baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 (0,65 mg/L) sesuai dengan temuan Camargo & Alonso (2006) tentang pola transport nitrat dari limbah domestik dan pertanian melalui sistem fluvial. Studi mereka membuktikan bahwa inlet sungai berperan sebagai hotspot akumulasi nutrisi akibat masukan antropogenik dari daerah hulu [4].

Nilai nitrat yang relatif rendah di sekitar KJA (0,4 mg/L) dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama menurut Glibert et al. (2016) (1) proses nitrifikasi yang tidak optimal akibat turbulensi air yang memperpendek waktu retensi amonia sebelum teroksidasi menjadi nitrat, dan (2) asimilasi nitrat oleh fitoplankton sebagai sumber nitrogen untuk pertumbuhan [5]. Fenomena ini khususnya relevan di Danau Toba yang memiliki produktivitas primer sedang.

Temuan Bouwman et al. (2013) memberikan konteks penting tentang sumber nitrat di KJA, di mana 20-30% nitrogen dari pakan ikan terbuang sebagai limbah organik [6]. Protein tidak tercerna ini mengalami mineralisasi menjadi amonia yang kemudian teroksidasi menjadi nitrat melalui proses mikrobial. Namun, konsentrasi nitrat di KJA yang tergolong rendah dalam penelitian ini mungkin menunjukkan efisiensi pakan yang lebih baik dibanding sistem budidaya intensif pada umumnya. Konsentrasi nitrat yang terukur di perairan sebesar 3,14 mg/L termasuk dalam kategori mesotrofik menuju eutrofik, dan melebihi ambang yang secara ekologis berpotensi memicu blooming alga di perairan tropis. Hal ini sejalan dengan pernyataan Effendi (2003), bahwa konsentrasi nitrat di atas 2 mg/L mencerminkan pengayaan nutrisi yang signifikan, sementara Vollenweider dalam Wetzel (1975) menetapkan batas eutrofik >5 mg/L. Dengan demikian, meskipun nilai ini belum melewati batas eutrofik, namun cukup tinggi untuk memicu eutrofikasi lokal terutama jika tersedia fosfor dan kondisi

termal yang stabil. Temuan ini selaras dengan PP No. 22 Tahun 2021 yang menetapkan batas nitrat sebagai upaya preventif terhadap eutrofikasi.

3.5. Status Mutu Air Menggunakan Metode STORET

Tabel 4.
Skor Storet

Parameter	Baku Mutu Kelas I	Skor Minimum	Skor Maksimum	Skor Rata-rata
pH	7	-2	-2	-6
Suhu	Deviasi $\leq 3^{\circ}\text{C}$	-1	0	0
DO	≥ 6 mg/L	0	0	0
Nitrat (NO_3^-)	0,65 mg/L	0	-2	-6
Total Skor	-	-3	-4	-19

Tabel 5.
Interpretasi Skor STORET
(Berdasarkan Permen LH 115/2003)

Rentang Skor Total	Kategori Status Mutu	Keterangan
0	A (Baik)	Tidak tercemar
-1 s.d -10	B (Sedang)	Tercemar ringan
-11 s.d -30	C (Buruk)	Tercemar sedang
< -30	D (Sangat Buruk)	Tercemar berat

Pengamatan kualitas air dilakukan di beberapa titik lokasi sekitar Keramba Jaring Apung (KJA) setelah pemberian pakan ikan satu kali. Parameter yang dianalisis meliputi pH, suhu, oksigen terlarut (DO), dan nitrat (NO_3^-), kemudian dievaluasi menggunakan metode STORET berdasarkan baku mutu air kelas I sesuai PP No. 22 Tahun 2021. Hasil Analisis:

- Parameter pH menunjukkan nilai bervariasi antara 6,93–8,2. Nilai pH minimum di bawah baku mutu (7), sehingga mendapatkan skor -2.
- Suhu air berkisar antara 21,5–30,1°C. Deviasi suhu masih dalam ambang batas ($\leq 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu alami), dengan skor maksimum 0.
- Oksigen terlarut (DO) berada dalam kisaran 6,4–7,4 mg/L, masih memenuhi baku mutu (≥ 6 mg/L), sehingga skor 0.
- Konsentrasi nitrat (NO_3^-) melebihi baku mutu (0,65 mg/L) pada satu titik, yaitu 3,14 mg/L (skor -2), sementara titik lainnya masih dalam batas.

Total skor kumulatif dari seluruh parameter adalah -19. Berdasarkan kriteria dalam metode STORET, nilai ini termasuk dalam kategori C,

yang menunjukkan bahwa status mutu air tergolong **tercemar sedang**.

Kondisi ini mengindikasikan bahwa aktivitas pemberian pakan ikan pada KJA berkontribusi terhadap peningkatan beban nutrisi, khususnya nitrat, serta menyebabkan penurunan kestabilan pH perairan. Meskipun kadar oksigen terlarut (DO) masih berada dalam batas aman, diperlukan pemantauan kualitas air secara berkala dan pengelolaan limbah organik yang lebih baik untuk mencegah penurunan mutu air lebih lanjut. Temuan ini juga menunjukkan bahwa satu kali pemberian pakan saja sudah cukup untuk menimbulkan pencemaran sedang. Oleh karena itu, apabila pemberian pakan dilakukan lebih dari satu kali dalam sehari—seperti yang umum terjadi di lapangan—maka risiko pencemaran berat sangat mungkin terjadi, sehingga dibutuhkan pengendalian yang lebih ketat terhadap praktik budidaya di KJA.

4. Simpulan

Daftar Pustaka

- [1] A. A. Damayanti, H. D. Wahjono, and A. D. Santoso, "Pemantauan Kualitas Air Secara Online dan Analisis Status Mutu Air di Danau Toba, Sumatera Utara," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 9, no. 3, pp. 113–120, 2022, doi: 10.21776/ub.jsal.2022.009.03.4.
- [2] J. S. T. Manik and R. S. Astuti, "Ancaman Keberlanjutan Pariwisata Danau Toba (Evaluasi Kebijakan Keramba Jaring Apung)," *Conf. Public Adm. Soc.*, vol. 1, no. 1, pp. 54–70, 2019.
- [3] S. Adhar, R. Rusydi, M. Mainisa, E. Erlangga, M. Khalil, and E. Ayuzar, "Analisa Limbah Fosfor Kegiatan Keramba Jaring Apung di Danau Laut Tawar Aceh Tengah," *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 3, pp. 2024–2032, 2021, doi: 10.32672/jse.v6i3.3051.
- [4] J. A. Camargo and Á. Alonso, "Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment," *Environ. Int.*, vol. 32, no. 6, pp. 831–849, 2006, doi: 10.1016/j.envint.2006.05.002.
- [5] A. Caswell, J. J. Schmidt, N. Matthews, and M. S. Grant, "WORK AND COMMITMENT DURING THE INTERN- Letter From The Deputy Editor Upcoming and Recently- Published Books Seeking MESSAGE From the Business Office," no. november, pp. 112–113, 2017.

- [6] L. Bouwman *et al.*, “Mariculture: Significant and expanding cause of coastal nutrient enrichment,” *Environ. Res. Lett.*, vol. 8, no. 4, 2013, doi: 10.1088/1748-9326/8/4/044026.
- [7] Effendi, H. (2003). Limnologi perairan darat tropis di Indonesia. Yayasan Obor Indonesia.
- [8] Wetzel, R. G. (1975). Limnology: Lake and River Ecosystems (Vollenweider, klasifikasi trofik). Academic Press.