



Analisis Dampak Aktivitas Keramba Jaring Apung Terhadap Kualitas Air Danau Maninjau

^{1*} Rima Novira, ²Nurhasan Syah

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*corresponding author: nurhasan@unp.ac.id

Abstract

Lake Maninjau in Agam Regency, West Sumatra, is a volcanic lake that plays a vital role as a source of raw water, energy, tourism, and freshwater fisheries, particularly through fish farming using floating net cages (FNCs). However, the rapid and uncontrolled expansion of FNCs has exerted significant pressure on the lake's water quality. Organic waste from uneaten fish feed and excretion contributes to increased nutrient loads, particularly phosphate and ammonia, triggering eutrophication and a decline in dissolved oxygen (DO) levels. Ecological phenomena such as *tubo* (mass fish deaths), which occur almost annually, further indicate the disruption of the aquatic ecosystem's balance. This study aims to analyze the impact of FNC activities on the physical and chemical parameters of Lake Maninjau's water quality and formulate mitigation solutions based on civil engineering approaches. The research employs a quantitative-descriptive method by measuring five key water quality parameters: temperature, pH, total dissolved solids (TDS), electrical conductivity (EC), and oxidation-reduction potential (ORP), across 16 sampling points that include areas near FNCs and control zones. Primary field data are supported by secondary data from the Environmental Agency of Agam Regency (2021–2024) and are compared with Class II water quality standards set by Government Regulation No. 22 of 2021 and Regional Regulation No. 5 of 2014. The findings indicate that pH values exceed the threshold, DO levels have decreased significantly, and both phosphate and BOD concentrations have increased over the years. As mitigation, civil engineering solutions are proposed, including environmentally friendly FNC redesign, micro-scale wastewater treatment units (IPAL), real-time water quality monitoring systems, shoreline rehabilitation, and aquaculture zoning adjustments. This study is expected to serve as a scientific reference for supporting adaptive, integrated, and sustainable lake management strategies.

Keywords: floating net cages, water quality, lake maninjau, eutrophication, civil engineering

Abstrak

Danau Maninjau di Kabupaten Agam, Sumatera Barat merupakan danau vulkanik yang berperan penting sebagai sumber air baku, energi, pariwisata, dan perikanan, khususnya melalui budidaya ikan menggunakan sistem Keramba Jaring Apung (KJA). Namun, pertumbuhan KJA yang masif dan tidak terkendali telah menimbulkan tekanan serius terhadap kualitas air danau. Limbah organik dari sisa pakan ikan dan ekskresi menyebabkan peningkatan beban nutrisi seperti fosfat dan amonia, yang memicu proses eutrofikasi dan penurunan kadar oksigen terlarut (DO). Fenomena ekologis seperti *tubo* (kematian massal ikan) yang terjadi hampir setiap tahun memperkuat indikasi terganggunya keseimbangan ekosistem perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak aktivitas KJA terhadap parameter fisik dan kimia kualitas air Danau Maninjau serta menyusun solusi mitigasi berbasis teknik sipil. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif-deskriptif melalui pengukuran lima parameter utama, yaitu suhu, pH, total padatan terlarut (TDS), konduktivitas listrik (EC), dan potensial oksidasi-reduksi (ORP), pada 16 titik sampling yang mencakup area budidaya dan area kontrol. Data primer dari pengukuran lapangan diperkuat dengan data sekunder dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam (2021–2024) dan dibandingkan dengan baku mutu air kelas II sesuai PP No. 22 Tahun 2021 serta Perda Kabupaten Agam No. 5 Tahun 2014. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai pH melebihi ambang batas, DO mengalami penurunan signifikan, dan terdapat peningkatan konsentrasi fosfat dan BOD dari tahun ke tahun. Solusi berbasis teknik sipil meliputi desain ulang KJA, pembangunan IPAL mikro, sistem pemantauan kualitas air real-time, rehabilitasi sempadan dan zonasi ulang area budidaya. Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan ilmiah dalam mendukung pengelolaan danau yang adaptif, terintegrasi, dan berkelanjutan.

Kata kunci: keramba jaring apung; kualitas air; danau maninjau; eutrofikasi; teknik sipil

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

1. Pendahuluan

Danau Maninjau di Kabupaten Agam, Sumatera Barat, merupakan salah satu danau vulkanik penting di Indonesia yang berfungsi sebagai sumber air baku, pembangkit listrik tenaga air, habitat keanekaragaman hayati, serta pusat kegiatan budidaya perikanan Masyarakat [1]. Kebutuhan air bersih bagi Masyarakat semakin meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas perikanan [2]. Dalam beberapa tahun terakhir, Keramba Jaring Apung (KJA) berkembang pesat sebagai sektor ekonomi lokal unggulan. Namun, perkembangan ini tidak diiringi dengan pengelolaan lingkungan yang memadai. Aktivitas budidaya yang intensif menghasilkan limbah organik dari sisa pakan dan ekskresi ikan, yang memicu penurunan kadar oksigen terlarut dan munculnya fenomena *tubo* — kematian massal ikan yang terjadi berulang setiap tahun [3]. Beban pencemaran dari KJA telah melampaui daya tampung danau, mencapai lebih dari 20.000 unit KJA dari batas maksimal 6.000 unit [4]. Permasalahan kualitas air permukaan sebagai sumber daya terbatas telah menjadi perhatian berbagai studi sebelumnya [5]. Sementara itu, regulasi seperti Peraturan Daerah Kabupaten Agam No. 5 Tahun 2014 belum mampu dikawal secara optimal dalam implementasinya [6].

Sejumlah studi sebelumnya mendukung hal ini. Penelitian oleh Rahayu (2024) memetakan peningkatan kekeruhan air Danau Maninjau akibat aktivitas antropogenik menggunakan citra satelit Sentinel-2 [7]. Sementara itu, Soejarwo et al. (2022) menyoroti lonjakan jumlah KJA sebagai faktor utama pencemaran,

serta merekomendasikan moratorium KJA baru [8]. Penelitian sebelumnya (Rahayu, 2024; Soejarwo et al., 2022) lebih menekankan aspek pemetaan kekeruhan dan kebijakan pengelolaan, namun belum mengkaji secara teknis bagaimana rekayasa sipil dapat diterapkan untuk pengendalian limbah KJA. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa integrasi analisis kualitas air dengan solusi rekayasa teknik sipil yang aplikatif.

Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengusulkan solusi teknis seperti desain ulang struktur KJA, pembangunan unit IPAL mikro, dan pemanfaatan sistem monitoring kualitas air berbasis teknologi *Internet of Things (IoT)*, yang belum banyak dikaji dalam konteks Danau Maninjau. Meski program “*save maninjau*” telah diluncurkan sebagai bentuk intervensi sosial dan kebijakan, keberhasilannya masih terbatas karena belum didukung pendekatan teknik yang memadai.

Permasalahan utama penelitian ini adalah ketiadaan pendekatan teknik sipil terintegrasi, khususnya bidang sumber daya air, untuk mengendalikan penurunan kualitas air akibat aktivitas KJA. Analisis kondisi eksisting kualitas air dilakukan bukan sebagai tujuan akhir, tetapi sebagai dasar perancangan solusi rekayasa teknik sipil yang aplikatif, penelitian ini menawarkan solusi berbasis Teknik sipil untuk pengendalian pencemaran air.

Rekomendasi teknik sipil dalam penelitian ini merujuk pada solusi fisik dan struktural yang dirancang dengan pendekatan teknik sipil bidang sumber daya air. Rekomendasi ini mencakup desain unit IPAL mikro, modifikasi

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

struktur KJA, dan penataan zonasi ruang budidaya sesuai karakteristik perairan Danau Maninjau.

Saat ini belum tersedia sistem budidaya yang ramah lingkungan, infrastruktur pengelolaan limbah yang efisien, maupun sistem pemantauan kualitas air yang berkelanjutan. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa aktivitas KJA secara signifikan menurunkan kualitas air Danau Maninjau, dan penurunan tersebut dapat dianalisis dari perspektif teknik sipil bidang sumber daya air untuk merancang solusi mitigasi yang aplikatif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara kuantitatif pengaruh aktivitas KJA terhadap parameter kualitas air yaitu suhu, pH, *Total Dissolved Solids* (TDS), *Electrical Conductivity* (EC), dan *Oxidation Reduction Potential* (ORP), serta merancang solusi mitigasi berbasis teknik sipil. Metode yang digunakan mencakup pengukuran lapangan, analisis data sekunder, dan perancangan sistem teknis pengelolaan kualitas air yang aplikatif, seperti unit IPAL mikro, struktur KJA yang dimodifikasi untuk mengurangi beban limbah, dan zonasi budidaya yang disesuaikan dengan daya dukung lingkungan berdasarkan distribusi kepadatan KJA.

Nilai kebaruan dalam penelitian ini terletak pada integrasi pendekatan lingkungan dan teknik sipil melalui perancangan sistem budidaya yang efisiensi serta pemantauan kualitas air berbasis teknologi, misalnya dengan menggunakan sensor Dissolved Oxygen (DO) dan *Total Dissolved Solids* (TDS) yang hasil pembacaannya dikirim secara otomatis melalui teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk

pemantauan parameter kualitas air secara *real-time*.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan perbandingan antara wilayah terpapar aktivitas Keramba KJA dan wilayah kontrol di danau Maninjau. Tujuan dari metode ini adalah untuk mengidentifikasi perubahan parameter kualitas air yang ditimbulkan oleh intensitas budidaya perikanan di area penelitian. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan, dan diperkuat dengan data sekunder dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam periode 2021–2024 [9], [10], [11], [12]. Perbandingan hasil dilakukan mengacu pada baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 [13] dan Peraturan Daerah Kabupaten Agam No. 5 Tahun 2014 [6].

2.1. Lokasi dan desain sampling

Sampel air diambil dari 16 titik pengamatan yang terbagi menjadi dua kelompok utama: delapan titik yang berada di sekitar KJA sebagai area budidaya intensif, dan delapan titik kontrol yang berlokasi jauh dari aktivitas budidaya. Penentuan titik pengambilan dilakukan secara *purposive* berdasarkan distribusi spasial KJA dan kemudahan akses lokasi. Koordinat titik ditentukan menggunakan aplikasi Avenza Maps dan perangkat GPS untuk memastikan akurasi posisi serta mendukung pemetaan geospasial lokasi sampling.

Gambar 1 memperlihatkan sebaran titik pengamatan yang digunakan dalam penelitian ini.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025



Gambar 1. Peta Lokasi Titik Sampling Kualitas Air Danau Maninjau

Peta ini menunjukkan distribusi 16 titik sampling yang terdiri dari 8 titik di sekitar KJA (berwarna merah) dan 8 titik kontrol (berwarna biru). Titik-titik tersebut ditentukan secara *purposive* untuk merepresentasikan variasi kondisi perairan dan dianalisis menggunakan pendekatan spasial.

2.2. Parameter kualitas air

Parameter yang diukur dalam penelitian ini mencakup aspek fisik dan kimia, yang terdiri atas suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan total padatan terlarut atau TDS (mg/L) sebagai parameter fisik, serta pH, konduktivitas listrik atau EC ($\mu\text{S/cm}$), dan potensial oksidasi-reduksi atau ORP (mV) sebagai parameter kimia.

Pemilihan parameter didasarkan pada kesesuaiannya dengan indikator degradasi perairan akibat aktivitas budidaya ikan, sebagaimana ditetapkan dalam PP No. 22 Tahun 2021 dan standar mutu air nasional [13].

2.3. Alat dan perangkat pendukung

Pengukuran dilakukan menggunakan beberapa perangkat pendukung. *Water Quality Tester*

digital multiparameter digunakan untuk mengukur parameter pH, suhu, konduktivitas listrik (EC), total padatan terlarut (TDS), dan potensial oksidasi-reduksi (ORP). Penentuan lokasi pengambilan sampel dibantu oleh perangkat GPS dan aplikasi Avenza Maps untuk memastikan akurasi koordinat. Dokumentasi kegiatan lapangan dilakukan menggunakan smartphone dan kamera, sedangkan proses analisis serta visualisasi data dilakukan melalui Microsoft Excel.

2.4. Prosedur penelitian

Penelitian dilakukan di Danau Maninjau pada bulan April 2025 dengan pengambilan sampel di 16 titik pengamatan yang tersebar di wilayah danau. Sampel dipilih menggunakan pendekatan *purposive*, yaitu pemilihan lokasi berdasarkan karakter yang relevan dengan tujuan penelitian. Kriteria utama yang digunakan adalah tingkat kepadatan unit KJA, sehingga ditetapkan dua kategori lokasi: area padat KJA dan area dengan kepadatan rendah. Pendekatan *purposive* ini umum digunakan dalam penelitian kualitas air untuk menyoroti perbedaan kondisi akibat aktivitas manusia, sekaligus menyesuaikan dengan keterbatasan lapangan.

Kalibrasi alat dilakukan di laboratorium sebelum pengukuran lapangan, terutama untuk parameter pH, EC, dan suhu. Pengambilan sampel dilaksanakan pada pagi hari (07.00–10.00 WIB) guna mengurangi pengaruh suhu harian terhadap parameter kualitas air.

Pengukuran parameter dilakukan secara langsung di lapangan menggunakan *Water Quality Tester* digital. Parameter yang dicatat meliputi suhu, pH, TDS, EC, dan ORP. Hasil pengukuran dicatat secara sistematis dan

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

didokumentasikan secara visual. Upaya menjaga keandalan data dilakukan melalui kalibrasi alat di laboratorium sebelum pengambilan data lapangan, serta pengulangan pengukuran pada beberapa titik untuk menguji konsistensi hasil. Karena tidak tersedia data pembanding dari titik yang sama, penelitian ini tidak melakukan validasi langsung, melainkan menggunakan verifikasi konsistensi antar titik sampling. Metode verifikasi konsistensi ini sesuai dengan praktik umum pada penelitian kualitas air di perairan terbuka, sebagaimana digunakan oleh penelitian terdahulu. Solusi yang ditawarkan dalam penelitian ini masih berupa konsep perancangan awal, sehingga implementasinya memerlukan kajian kelayakan teknis dan sosial-ekonomi lebih lanjut sebelum dapat diterapkan secara penuh di Danau Maninjau.

2.5. Validasi dan pengolahan data

Dalam penelitian ini, validitas pengukuran dilakukan melalui kalibrasi alat di laboratorium sebelum kegiatan lapangan, khususnya untuk parameter pH, EC, dan suhu. Validasi adalah pembuktian akurasi data dengan membandingkan terhadap data acuan dari titik yang sama, sedangkan verifikasi konsistensi adalah pengecekan kesesuaian pola antar titik dalam satu pengukuran.

Selain itu, keandalan data diperkuat dengan pengulangan pengukuran pada beberapa titik sampling untuk memeriksa konsistensi alat dan operator. Karena tidak tersedia data pembanding dari titik yang sama, maka validasi langsung tidak dilakukan, melainkan menggunakan verifikasi konsistensi antar titik pengamatan.

Data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Agam periode 2021–2024 tidak digunakan untuk validasi langsung karena perbedaan lokasi sampling, tetapi dimanfaatkan sebagai verifikasi tren kualitas air secara temporal. Sementara itu, untuk memastikan integritas data primer yang diperoleh, dilakukan pula verifikasi pola antar titik pengamatan dengan cara membandingkan nilai dari setiap titik terhadap kecenderungan umum titik lainnya dalam parameter yang sama. Misalnya, nilai pH di titik 1 dibandingkan terhadap nilai-nilai dari titik 2 hingga titik 16. Proses ini membantu mengidentifikasi data yang menyimpang ekstrem dan memastikan tidak terjadi kesalahan sistematis dalam pengukuran lapangan.

Secara umum, analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data penelitian, sedangkan analisis komparatif dipakai untuk menilai perbedaan antar kelompok data. Dalam penelitian ini, pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan distribusi nilai setiap parameter kualitas air, sedangkan pendekatan komparatif digunakan untuk menilai perbedaan kondisi air antara lokasi padat KJA dan lokasi kontrol. Analisis ini tidak menggunakan uji statistik inferensial seperti t-test atau ANOVA, karena tujuan penelitian lebih menekankan pada penggambaran perbedaan kecenderungan kualitas air antar lokasi, bukan pada pengujian signifikansi statistik.

Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi sejauh mana aktivitas budidaya KJA berkorelasi dengan penurunan kualitas air.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

Nilai rata-rata dihitung menggunakan Persamaan (1):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

Sedangkan standar deviasi dihitung menggunakan Persamaan (2):

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

Di mana:

“ $\bar{X}$ adalah nilai rata-rata parameter kualitas air”

“ X_i adalah nilai parameter pada titik ke- i ”

“ n adalah jumlah total titik sampel”

“ SD adalah standar deviasi dari kumpulan data”

Hasil penghitungan ini digunakan untuk mendukung visualisasi dalam bentuk grafik batang dan boxplot, serta untuk mengidentifikasi potensi pelanggaran terhadap baku mutu kualitas air menurut PP No. 22 Tahun 2021. Metodologi ini disusun agar objektif, sistematis, dan dapat direplikasi oleh peneliti lain pada lokasi dengan karakteristik dan permasalahan yang serupa.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menganalisis lima parameter utama kualitas air Danau Maninjau, yakni suhu, pH, total padatan terlarut (TDS), konduktivitas listrik (EC), dan potensial oksidasi-reduksi (ORP), untuk mengevaluasi pengaruh aktivitas Keramba Jaring Apung (KJA). Kelima parameter tersebut dipilih karena mewakili indikator fisis dan kimia dasar kualitas air yang umum digunakan dalam studi budidaya perairan, serta relevan terhadap dampak langsung aktivitas KJA seperti dekomposisi limbah organik dan konsumsi oksigen terlarut.

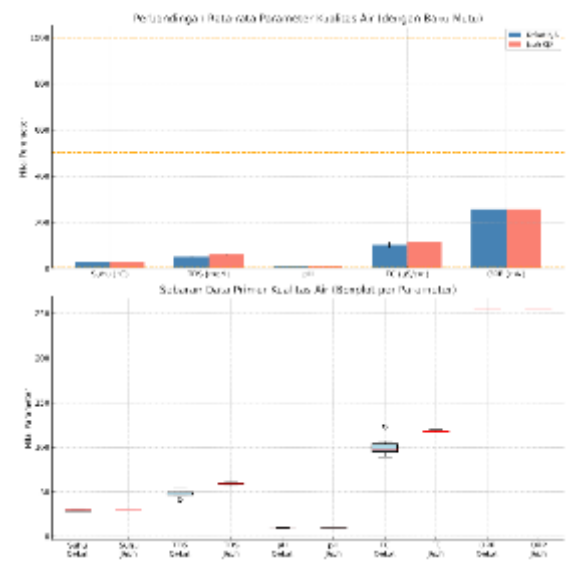
Penelitian ini hanya menganalisis lima parameter utama (suhu, pH, TDS, EC, dan ORP). Parameter lain seperti nutrisi, logam berat, dan faktor hidrodinamika tidak disertakan, sehingga menjadi batasan penelitian dan rekomendasi untuk studi lanjutan. Pengambilan data dilakukan pada 16 titik sampling dan dibandingkan secara spasial (dekat dan jauh dari KJA) serta temporal (tren data 2021–2024 dari DLH Kabupaten Agam).

3.1. Analisis Data Primer Lapangan

Tabel 1. Rata-Rata Parameter Kualitas Air di Lokasi Dekat dan Jauh dari KJA

Parameter	Satuan	Rata-rata Dekat KJA	Rata-rata Jauh KJA	Batu Mutu*	Keterangan
Suhu	°C	28,6 ± 1,30	29 ± 0,0	±3°C dari suhu alami	Sesuai
TDS	Mg/L	51, ± 5,6	59,13 ± 1,25	1,000	Melebihi
pH	-	9,15 ± 0,29	9,26 ± 0,05	6,0-9,0	
EC	µS/cm	102 ± 11,36	118,25 ± 1,28	<500	Sesuai
ORP	mV	256	256	-	Sesuai

* (PP No.22/2021-Kelas II)



Gambar 2. Kombinasi Grafik Batang dan Boxplot untuk Perbandingan Kualitas Air Dekat dan Jauh dari KJA

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

3.1.1 Suhu

Suhu air di sekitar KJA rata-rata 28,63 °C dengan fluktuasi sebesar $\pm 1,30$ °C, sementara suhu di area kontrol relatif konstan pada 29,00 °C. Fluktuasi suhu di area budidaya kemungkinan besar dipengaruhi oleh intensitas aktivitas seperti pemberian pakan, pergerakan perahu, dan minimnya vegetasi peneduh. Meskipun nilai tersebut masih dalam batas wajar (tidak melebihi ± 3 °C dari suhu alami), dinamika suhu dapat memicu penurunan DO (*dissolved oxygen*), mempercepat laju dekomposisi bahan organik, dan memperburuk kondisi stratifikasi termal di kolom perairan.

Untuk mengantisipasi dampak fluktuasi suhu, diperlukan sistem pemantauan berbasis sensor IoT agar perubahan suhu dapat dipantau secara real-time, sehingga pencegahan dini terhadap fenomena tubo dapat dilakukan.

3.1.2 TDS

Rata-rata TDS di sekitar KJA adalah 51,13 mg/L dengan deviasi 5,62, sedangkan area kontrol memiliki nilai lebih tinggi tetapi lebih stabil (59,13 mg/L; SD = 1,25). Meskipun keduanya masih jauh di bawah ambang batas 1.000 mg/L, variasi tinggi di sekitar KJA mencerminkan ketidakteraturan distribusi limbah terlarut dari aktivitas budidaya.

Peningkatan TDS ini berkaitan erat dengan sisa pakan ikan yang mengandung mineral seperti natrium, kalsium, dan magnesium, serta ekskresi yang menghasilkan senyawa terlarut seperti amonium dan fosfat. Tingginya kandungan TDS dapat menurunkan kejernihan air, mengganggu penetrasi cahaya, serta menekan produktivitas primer dan aktivitas fotosintesis.

Kondisi ini menunjukkan perlunya pengendalian limbah padat dan terlarut melalui modifikasi KJA agar sisa pakan dapat diminimalisir, serta penerapan IPAL mikro untuk menurunkan beban nutrisi sebelum limbah masuk ke perairan.

3.1.3 pH

Nilai pH di area KJA dan kontrol sama-sama menunjukkan pelampauan batas atas baku mutu air kelas II (6,0–9,0), yakni masing-masing sebesar 9,15 dan 9,26. Peningkatan ini mengindikasikan adanya tekanan ekologis yang kuat, salah satunya dari akumulasi senyawa nitrogen dan fosfat dari limbah pakan dan ekskresi ikan.

Kondisi pH basa seperti ini meningkatkan rasio amonia bebas (NH_3) dalam air, yang dikenal bersifat toksik bagi organisme air seperti ikan dan plankton. Selain itu, pH tinggi dapat mengganggu stabilitas kimia perairan, serta memperkuat dominasi alga atau fitoplankton yang menyebabkan eutrofikasi [14].

Oleh karena itu, diperlukan solusi pengelolaan limbah organik seperti pembangunan IPAL mikro dan perbaikan desain KJA agar beban nutrisi yang memicu kenaikan pH dapat ditekan secara efektif.

3.1.4 EC

Nilai EC di lokasi KJA sebesar 102,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan fluktuasi yang cukup besar (SD = 11,36), sedangkan di area kontrol nilainya lebih tinggi tetapi lebih stabil (118,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$; SD = 1,28). Perbedaan fluktuasi ini menunjukkan ketidakseimbangan ionik di sekitar lokasi budidaya.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

Konduktivitas meningkat akibat tingginya kandungan ion-ion terlarut, seperti NO_3^- , Cl^- , Na^+ , dan Ca^{2+} , yang dilepaskan dari aktivitas KJA. Selain menjadi indikator potensi pencemaran anorganik, konduktivitas tinggi juga berisiko mempengaruhi proses osmoregulasi pada ikan.

Untuk mengendalikan fluktuasi EC, solusi teknis yang relevan adalah sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT agar perubahan konduktivitas dapat terdeteksi lebih cepat, serta pengaturan zonasi budidaya untuk mengurangi konsentrasi limbah terlarut pada area tertentu.

Penelitian Lestari dan Supriyanto (2020) di Danau Rawapening menunjukkan tren serupa, yakni EC meningkat 17–25% di lokasi dengan aktivitas budidaya intensif. Temuan ini memperkuat bahwa EC dan TDS merupakan indikator awal penting dalam memantau tekanan antropogenik terhadap ekosistem perairan danau.

3.1.5 ORP

ORP tercatat konstan di seluruh titik (256 mV), baik di sekitar KJA maupun kontrol. Nilai ini menunjukkan bahwa perairan masih berada dalam kondisi aerobik yang memungkinkan dekomposisi organik berjalan efisien. Namun demikian, tidak adanya variasi ORP antar lokasi juga bisa menandakan keterbatasan sampling, karena pengambilan data dilakukan hanya pada lapisan permukaan.

Untuk danau terdalam seperti Maninjau yang memiliki potensi stratifikasi vertikal, pengambilan data multi-lapisan sangat disarankan pada studi lanjutan guna memperoleh gambaran distribusi oksigen dan redoks lebih representatif.

Ke depan, solusi pemantauan ORP dapat diintegrasikan ke dalam sistem monitoring berbasis IoT agar pengukuran tidak hanya terbatas pada permukaan, tetapi juga dapat dilakukan pada berbagai kedalaman.

3.2 Pembahasan data sekunder DLH

Data sekunder yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Agam selama periode 2021 hingga 2024 menunjukkan tren penurunan kualitas air Danau Maninjau secara konsisten. Lima parameter utama dianalisis, yakni suhu, pH, oksigen terlarut (DO), kebutuhan oksigen biologis (BOD), dan konsentrasi fosfat.

Nilai pH meningkat dari 8,9 pada tahun 2021 menjadi 9,4 pada tahun 2024, melampaui ambang batas atas untuk air kelas II, yakni 9,0 menurut PP No. 22 Tahun 2021. Peningkatan ini merupakan indikator awal dari proses eutrofikasi aktif, yang biasanya dipicu oleh tingginya konsentrasi nutrisi, terutama nitrogen dan fosfat.

Sementara itu, nilai DO menurun secara signifikan dari 5,2 mg/L pada tahun 2021 menjadi hanya 3,5 mg/L pada tahun 2024. Nilai ini sudah mendekati ambang batas kritis minimum (3,0 mg/L) yang dibutuhkan untuk mendukung kehidupan ikan dan biota air lainnya. Penurunan DO ini menjadi salah satu indikator utama bahwa kondisi perairan mengalami tekanan oksidatif yang berat, akibat tingginya beban organik dan dekomposisi massa alga mati.

Kondisi tersebut diperparah dengan peningkatan BOD, dari 3,6 mg/L (2021) menjadi 5,2 mg/L (2024). BOD yang tinggi menunjukkan bahwa semakin banyak oksigen yang dibutuhkan untuk menguraikan bahan organik

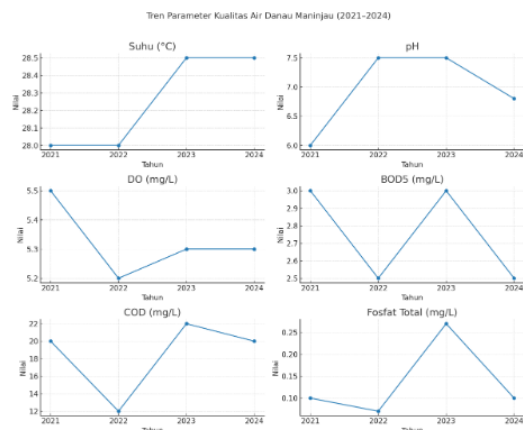
Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

dalam air, menandakan beban pencemaran yang terus meningkat. Dalam waktu bersamaan, kadar fosfat naik dari 0,15 menjadi 0,25 mg/L, yang artinya telah melampaui batas baku mutu 0,2 mg/L. Fosfat yang berlebih merupakan pemicu utama pertumbuhan alga berlebihan yang menyebabkan eutrofikasi nitrogen dan fosfat.

Tabel 2. Tren Parameter Kualitas Air Danau Maninjau Berdasarkan Data DLH Kabupaten Agam (2021–2024)

Tahun	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	BOD5 (mg/L)	COD (mg/L)	Total Fosfat (mg/L)
2021	28	6,0	5,5	3,00	20	0,10
2022	28	7,5	5,2	2,5	12	0,07
2023	28,5	7,5	5,8	5,8	20	0,27
2024	28,5	6,8	5,3	5,3	22	0,10



Gambar 3. Tren Parameter Kualitas Air Danau Maninjau Berdasarkan Data DLH (2021–2024)

Secara kronologis, tahun 2022 menjadi titik awal pergeseran kondisi danau, ditandai dengan naiknya pH menjadi 9,1 dan turunnya DO menjadi 4,8 mg/L. Pada tahun 2023, tren ini semakin menguat dengan lonjakan BOD ke 4,8 mg/L dan konsentrasi fosfat mencapai 0,22 mg/L. Tahun 2024 menjadi fase paling kritis, di mana seluruh parameter mencapai level yang

mendekati atau bahkan melebihi ambang batas kualitas air yang diperbolehkan.

Faktor-faktor penyebab dari penurunan kualitas air antara lain seperti peningkatan jumlah unit KJA yang tidak diimbangi dengan pengelolaan limbah terintegrasi, minimnya efektivitas implementasi Peraturan Daerah Kabupaten Agam No. 5 Tahun 2014 terkait tata kelola danau, kontribusi limbah domestik dari pemukiman padat di sekitar danau yang belum terkelola dengan baik.

Temuan data sekunder ini selaras dengan data primer tahun 2025, yang menunjukkan tingginya nilai pH dan fluktuasi besar pada parameter EC dan TDS di lokasi sekitar KJA. Kesesuaian ini menunjukkan bahwa kondisi eutrofikasi dan penurunan kualitas air bukanlah kejadian sesaat, tetapi merupakan tren yang berkelanjutan dan memburuk dari tahun ke tahun, dan perlu penanganan berbasis sains dan teknik secara komprehensif.

3.3 Dampak ekologis dan sosial

Data menunjukkan penurunan DO dan peningkatan pH yang mengindikasikan proses eutrofikasi, selaras dengan dampak ekologis yang sudah dilaporkan sebelumnya.

Secara sosial-ekonomi, kejadian *tubo* menyebabkan penurunan produksi ikan, hilangnya pendapatan nelayan, dan meningkatkan ketidakstabilan ekonomi rumah tangga. Jika tidak dikendalikan, dampak ekologis ini akan menjadi permanen dan memperparah ketimpangan sosial di wilayah sekitar danau [8].

3.4 Solusi teknik sipil terhadap dampak KJA

Solusi yang diusulkan dalam penelitian ini berbasis teknik sipil bidang sumber daya air, meliputi modifikasi KJA, pembangunan IPAL

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

mikro, sistem monitoring kualitas air berbasis IoT, serta zonasi ruang budidaya. Penjelasan masing-masing solusi disajikan pada subbab berikut.

3.4.1 Desain ulang sistem budidaya KJA

Solusi pertama adalah perancangan sistem budidaya yang lebih ramah lingkungan melalui modifikasi desain unit KJA. Desain ini mengintegrasikan struktur jaring berlapis untuk menahan sisa pakan, serta penggunaan material berkualitas tinggi yang tahan terhadap pencemaran dan degradasi, sehingga mengurangi resiko kebocoran limbah ke danau. Untuk memperkuat mitigasi pencemaran, desain ulang unit KJA perlu mengadopsi pendekatan rekayasa struktural. Struktur apung dapat dibuat menggunakan pipa HDPE berdiameter 110 mm dengan kekuatan tarik minimum 22 MPa, dilengkapi jaring nilon multifilamen tahan UV dengan mesh size yang sesuai kebutuhan budidaya. Analisis hidrodinamika sederhana menunjukkan bahwa struktur ini mampu menahan kecepatan arus hingga 0,3 m/s, sesuai dengan karakteristik danau Maninjau. Dengan demikian, risiko kerusakan struktural dan pelepasan limbah ke perairan dapat ditekan. Penambahan penampung limbah padat sementara (*solid waste trap*) pada dasar unit KJA juga direkomendasikan untuk memfasilitasi pengumpulan feses dan pakan sisa sebelum dibuang ke instalasi pengolahan.

3.4.2 IPAL mikro skala komunitas

Solusi kedua yaitu pembangunan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) mikro di zona dengan kepadatan KJA tinggi. IPAL mikro yang diusulkan dirancang untuk menampung debit limbah hingga 0,5 m³ per hari per unit KJA,

terdiri atas tiga tahapan: filtrasi kasar menggunakan kisi-kisi baja ringan, sedimentasi dalam bak beton berdimensi 1 m³, serta biofiltrasi vertikal menggunakan media trickling filter berbasis kerikil dan sabut kelapa. Sistem ini tidak hanya efisien secara biaya dan ruang, tetapi juga memungkinkan replikasi secara modular di zona budidaya padat. Dengan pendekatan ini, pengendalian limbah dilakukan secara terdesentralisasi berbasis komunitas.

3.4.3 Pemantauan kualitas air berbasis IOT

Selanjutnya, solusi monitoring dikembangkan melalui penerapan sistem pemantauan kualitas air berbasis sensor digital dan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem ini berfungsi memantau parameter kunci seperti pH, suhu, dan DO secara real-time, yang terhubung dengan sistem peringatan dini untuk mengantisipasi terjadinya fenomena tubo.

3.4.4 Penerapan *riparian buffer zone*

Sebagai langkah preventif di wilayah daratan, direkomendasikan penerapan riparian buffer zone di sekitar sempadan danau. Buffer vegetatif ini berfungsi sebagai penyaring alami untuk limpasan air dari pemukiman atau lahan pertanian, sehingga beban fosfat dan nitrat yang masuk ke danau dapat ditekan secara alami.

Pendekatan teknik sipil dalam pengelolaan KJA juga mencakup perhitungan daya dukung lingkungan Danau Maninjau, yang secara kuantitatif dapat dinyatakan dengan rumus

$$D = \frac{C}{L} \quad (3)$$

Di mana:

"D adalah daya dukung (jumlah unit KJA yang dapat ditoleransi lingkungan"

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

“C adalah kapasitas asimilasi danau terhadap beban nutrient (kg/tahun)”

“L adalah total beban pencemar aktual (kg/tahun) dari aktivitas budidaya”

Berdasarkan estimasi tahun 2023, beban fosfat dari aktivitas KJA telah melampaui kapasitas asimilasi danau, menandakan tekanan ekologis yang tinggi dan perlunya penyesuaian tata ruang budidaya. Oleh karena itu, solusi berbasis spasial diusulkan melalui zonasi ulang lokasi KJA, dengan mengacu pada daya dukung ekologis yang dianalisis dari parameter kualitas air. Zonasi ini dirancang menggunakan metode interpolasi spasial seperti IDW (Inverse Distance Weighting) atau Kriging berdasarkan data 16 titik pengamatan, guna mendistribusikan beban budidaya secara merata, menghindari konsentrasi pencemaran, dan mendukung pengelolaan danau yang adaptif serta berkelanjutan.

Dengan demikian, seluruh solusi yang dirancang berakar pada prinsip teknik sipil bidang sumber daya air, yang meliputi perancangan struktur, pengelolaan limbah, dan rekayasa spasial berbasis data lingkungan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis pengaruh aktivitas KJA terhadap kualitas air Danau Maninjau serta mengusulkan pendekatan teknik sipil di bidang sumber daya air, seperti desain ulang KJA, pembangunan IPAL mikro, dan zonasi budidaya, untuk mendukung pengendalian pencemaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas KJA secara signifikan menurunkan kualitas air, dengan nilai pH melebihi ambang batas, DO mendekati batas

minimum, serta peningkatan BOD dan fosfat yang mengindikasikan proses eutrofikasi aktif.

Analisis data primer dan sekunder mengungkap bahwa penurunan kualitas air bersifat progresif dan terakumulasi, khususnya di area dengan kepadatan budidaya tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa beban pencemaran dari KJA telah melampaui daya tampung lingkungan dan membutuhkan penanganan berbasis sains dan teknologi.

Solusi yang diusulkan meliputi desain ulang KJA, IPAL mikro, Monitoring kualitas air, dan zonasi budidaya. Pendekatan ini menawarkan arah pengelolaan danau yang lebih berkelanjutan, berbasis data aktual dan pendekatan teknis.

Saran yang dapat diajukan adalah perlunya integrasi kebijakan dan teknologi dalam pengelolaan KJA, serta pengujian lebih lanjut terhadap implementasi sistem pengendalian limbah dan pemodelan spasial daya dukung perairan guna mendukung kebijakan zonasi budidaya yang presisi dan adaptif.

Daftar Rujukan

- [1] S. Makmur, D. Muthmainnah, And Subagdja, “Fishery Activities And Environmental Condition Of Maninjau Lake, West Sumatra,” *In Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, Iop Publishing Ltd, Sep. 2020. Doi: 10.1088/1755-1315/564/1/012025.
- [2] M. Djana, “Analisis Kualitas Air Dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Kecamatan Natar Hajimena Lampung Selatan,” 2023.
- [3] W. Sikumbang, “Fenomena Tubo Belerang, Pinggiran Danau Maninjau Dipenuhi Bangkai Ikan,” 2020.
- [4] Dinas Perikanan Dan Ketahanan Pangan Kabupaten Agam, “Data Unit Kja Danau Maninjau,” 2022.
- [5] W. Adi Fadila, “Permasalahan Kualitas Air Permukaan Sebagai Sumber Kehidupan Dalam Menjaga Kelestarian Lingkungan,” 2023.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025

- [6] Kabupaten Agam, Peraturan Daerah Kabupaten Agam Nomor 5 Tahun 2014. Indonesia: 5, 2014. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: https://Peraturan.Go.Id/Files/Perda_No_5_Tahun_2014.Pdf
 - [7] S. Rahayu, "Pemetaan Kekeruhan Air Danau Maninjau Dengan Menggunakan Citra Sentinel-2," 2024.
 - [8] P. A. Soejarwo Et Al., "Pengelolaan Perikanan Budidaya Keramba Jaring Apung (Kja) Dalam Upaya Penyelamatan Danau Maninjau," Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan Dan Perikanan, Vol. 12, No. 1, P. 79, Jun. 2022, Doi: 10.15578/Jksekp.V12i1.10973.
 - [9] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam, "Laporan Pemantauan Kualitas Air Danau Maninjau. Agam: Dlh Agam.," 2021.
 - [10] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam, "Laporan Pemantauan Kualitas Air Danau Maninjau. Agam: Dlh Agam.," 2022.
 - [11] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam, "Laporan Pemantauan Kualitas Air Danau Maninjau. Agam: Dlh Agam.," 2023.
 - [12] Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Agam, "Laporan Pemantauan Kualitas Air Danau Maninjau. Agam: Dlh Agam.," 2024.
 - [13] Republik Indonesia, Lampiran Vi Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggara Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. 2021. Accessed: Jan. 22, 2025. [Online]. Available: <https://id.Scribd.Com/Document/601202164/7-Lampiran-Vi-Salinan-Pp-Nomor-22-Tahun-2021-Baku-Mutu-Air-Nasional>
 - [14] M. Ihsanuddin Mohamed Et Al., "P Perspektif Kisah Eutrofikasi Dan Kesannya Terhadap Hidupan Air Dan Kita," 2024.
-

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 22-05-2025 | Selesai Revisi: 01-09-2025 | Diterbitkan Online: 01-11-2025