BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Air

Air merupakan komponen esensial yang memegang fungsi fundamental dalam menunjang berbagai proses biologis, kimiawi, serta fisik di lingkungan. Secara molekuler, molekul air tersusun atas dua atom hidrogen dan satu atom oksigen (H_2O) dengan struktur polar yang memberikan kemampuan melarutkan berbagai jenis zat. Karakteristik ini memposisikan air sebagai medium utama bagi berlangsungnya seluruh reaksi biokimia dan siklus ekologis dalam ekosistem perairan (Effendi, 2003; Wetzel, 2001). Ikatan hidrogen antarmolekul air turut memengaruhi sifat fisik khas seperti kapasitas panas yang tinggi, tegangan permukaan, serta titik didih yang relatif besar, yang berperan penting dalam menjaga termoregulasi lingkungan serta stabilitas ekosistem akuatik (Stumm & Morgan, 1996; Effendi, 2003).

Selain dimensi fisik dan kimiawinya, air juga memiliki dimensi ekologis dan sosial-ekonomi yang merekatkan interaksi antara sistem alam dan aktivitas antropogenik. Oleh karena itu, pendekatan pengelolaan sumber daya air mutlak dilakukan secara terpadu dengan mengintegrasikan aspek ekologi, sosial, dan ekonomi guna menjamin kelestarian lingkungan dan kesejahteraan masyarakat (McCarroll & Hamann, 2020).

B. Danau Toba

Danau Toba diidentifikasi sebagai danau vulkanik terbesar di Indonesia sekaligus salah satu kaldera raksasa di tingkat global. Terletak di Provinsi Sumatera Utara pada kawasan Pegunungan Barisan, danau ini terbentuk akibat letusan supervulkanik purba yang terjadi sekitar 74.000 tahun silam (Britannica Editors, 2025; Wikipedia Contributors, 2025). Secara morfometrik, Danau Toba mencakup area seluas kurang lebih 1.140 km^2, panjang sekitar 100 km, lebar mencapai 30 km, serta kedalaman maksimum yang melampaui 500 meter (Britannica Editors, 2025). Danau ini memiliki satu outlet utama berupa Sungai Asahan yang bermuara ke Selat Malaka.

Berdasarkan data *World Lake Database*, Danau Toba berada pada elevasi sekitar 905 meter di atas permukaan laut dengan topografi lereng terjal yang memengaruhi pola stratifikasi termal dan dinamika massa air (International Lake Environment Committee [ILEC], 2023). Di samping signifikansi geologisnya, Danau Toba berfungsi vital sebagai sumber cadangan air tawar, habitat akuatik, pusat perikanan darat, serta kawasan pariwisata strategis, yang kemudian mengantarkannya pada penetapan sebagai *UNESCO Global Geopark* pada tahun 2020 (UNESCO, 2020). Pemahaman mengenai karakteristik morfometri dan ekologis ini menjadi landasan penting dalam menganalisis beban pencemaran akibat aktivitas manusia di wilayah perairan tersebut.

C. Keramba Jaring Apung

Keramba Jaring Apung (KJA) merupakan teknik budidaya ikan intensif di perairan terbuka yang memanfaatkan badan air alami seperti danau dan waduk sebagai media pemeliharaan (Effendi, 2003). Sistem ini digemari oleh para pelaku usaha karena menawarkan efisiensi operasional, kemudahan manajemen, serta produktivitas hasil panen yang tinggi dalam waktu singkat (Boyd & Tucker, 2014). Kendati demikian, sistem KJA sangat bertumpu pada ketersediaan kualitas air yang optimal agar dapat berkelanjutan.

Dalam praktiknya, operasional KJA menyumbang masukan limbah organik berupa sisa pakan yang tidak terkonsumsi (*uneaten feed*) dan ekskreta ikan langsung ke dalam badan perairan. Astuti et al. (2018) menegaskan bahwa residu pakan merupakan sumber beban pencemar utama yang memicu peningkatan konsentrasi nutrien, khususnya senyawa nitrogen dan fosfor. Peningkatan unsur hara ini berisiko mengakibatkan akselerasi eutrofikasi yang ditandai dengan proliferasi alga, peningkatan kekeruhan, serta penurunan konsentrasi oksigen terlarut (Pujiastuti et al., 2021; Panjaitan & Manullang, 2022). Oleh karena itu, tata kelola KJA wajib disesuaikan dengan kapasitas daya dukung lingkungan guna menyeimbangkan aspek keuntungan ekonomi dan konservasi perairan (Boyd & Tucker, 2014; Astuti et al., 2018).

D. Kualitas Air

Kualitas air merepresentasikan parameter ukuran yang mencakup karakteristik fisik, kimia, dan biologis suatu badan air dalam menopang peruntukannya bagi organisme akuatik maupun kepentingan manusia (Maizar et al., 2022; Journal of Water, 2023). Parameter-parameter utama yang lazim dianalisis meliputi suhu, derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen* / DO), total padatan tersuspensi (*Total Suspended Solids* / TSS), serta konsentrasi nutrien seperti amonia, nitrat, dan fosfat (Susanti & Wihyuningrum, 2021). Fluktuasi nilai parameter ini memberikan indikasi langsung terhadap tingkat pencemaran serta kesehatan ekosistem perairan, yang apabila melampaui batas toleransi dapat mengancam kelangsungan hidup biota budidaya (Putri et al., 2022).

E. Dampak KJA terhadap Kualitas Air

Meskipun efisien dari segi pemanfaatan ruang, ekspansi kegiatan KJA terbukti memberikan tekanan ekologis yang signifikan terhadap penurunan mutu perairan apabila tidak dikelola secara berwawasan lingkungan (Garno, 2023). Akumulasi bahan organik dari sisa metabolisme ikan dan pakan mendongkrak konsentrasi nitrogen dan fosfor, yang memicu eutrofikasi serta penurunan tingkat kecerahan air (Lubembe et al., 2024).

Di samping itu, proses dekomposisi bahan organik meningkatkan nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD), yang secara langsung memangkas kadar oksigen terlarut (DO) di dalam air dan menciptakan kondisi anaerobik di dasar perairan yang memicu terbentuknya senyawa beracun seperti amonia dan hidrogen sulfida (Syandri et al., 2022). Peningkatan kekeruhan dan padatan tersuspensi juga membatasi penetrasi cahaya matahari yang esensial bagi proses fotosintesis fitoplankton (Hutajulu, 2023). Oleh sebab itu, pengendalian padat tebar, efisiensi pakan, dan pemantauan kualitas perairan secara berkala menjadi kunci utama mitigasi dampak negatif KJA (Syandri et al., 2022; Garno, 2023).

F. Baku Mutu Kualitas Air

Baku mutu air adalah batas ambang konsentrasi zat atau komponen yang diperbolehkan berada di dalam badan air agar fungsi peruntukannya tetap terjaga

(KLHK, 2021). Di Indonesia, penetapan standar baku mutu air diatur secara komprehensif dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VI, yang merevisi regulasi terdahulu (PP No. 82 Tahun 2001). Baku mutu berfungsi sebagai instrumen evaluasi tingkat pencemaran melalui parameter fisika, kimia, dan biologi (Effendi, 2003; Boyd & Tucker, 2014).

Berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021, peruntukan badan air diklasifikasikan ke dalam empat kategori:

1. **Baku Mutu Air Kelas I:** Diperuntukkan sebagai air baku air minum atau pemanfaatan lain dengan persyaratan kualitas yang sangat ketat (misadi DO minimal 6 mg/L, BOD maksimal 2 mg/L, COD maksimal 10 mg/L) (KLHK, 2021; APHA, 2017).
2. **Baku Mutu Air Kelas II:** Merupakan standar peruntukan yang meliputi prasarana/sarana rekreasi air, budidaya ikan air tawar, peternakan, dan irigasi. Ambang batas parameter kelas ini meliputi DO minimal 4 mg/L, BOD maksimal 3 mg/L, COD maksimal 25 mg/L, fosfat maksimal 0,2 mg/L, dan amonia maksimal 0,5 mg/L (KLHK, 2021). Mengingat karakteristik Danau Toba yang dimanfaatkan untuk rekreasi dan budidaya ikan serta mengalami tekanan antropogenik akibat KJA, Kelas II menjadi standar acuan yang paling representatif digunakan dalam evaluasi ini (Situmorang et al., 2020; Lumbanraja et al., 2021).
3. **Baku Mutu Air Kelas III:** Diperuntukkan bagi budidaya ikan air tawar, peternakan, dan irigasi tanpa mencakup rekreasi air, dengan standar yang lebih longgar (DO minimal 3 mg/L, BOD maksimal 6 mg/L) (KLHK, 2021). Kelas ini dinilai kurang relevan karena Danau Toba juga berfungsi sebagai kawasan pariwisata.
4. **Baku Mutu Air Kelas IV:** Diperuntukkan bagi penyiraman tanaman dan peruntukan lain yang mensyaratkan mutu air rendah, sehingga tidak sesuai dengan fungsi ekologis Danau Toba (KLHK, 2021).

G. Parameter Kualitas Air

Kualitas air ditentukan berdasarkan sejumlah parameter utama yang dikelompokkan menjadi dua,yaitu parameter fisika,kimia.

1. Parameter Fisika

Parameter fisika mencakup suhu,dan total padatan terlarut (TDS).

a. Total Dissolved Solids (TDS): Merepresentasikan jumlah total partikel padat terlarut di dalam air.
b. Suhu: Faktor lingkungan yang mengendalikan tingkat kelarutan gas (termasuk oksigen) serta laju metabolisme organisme akuatik

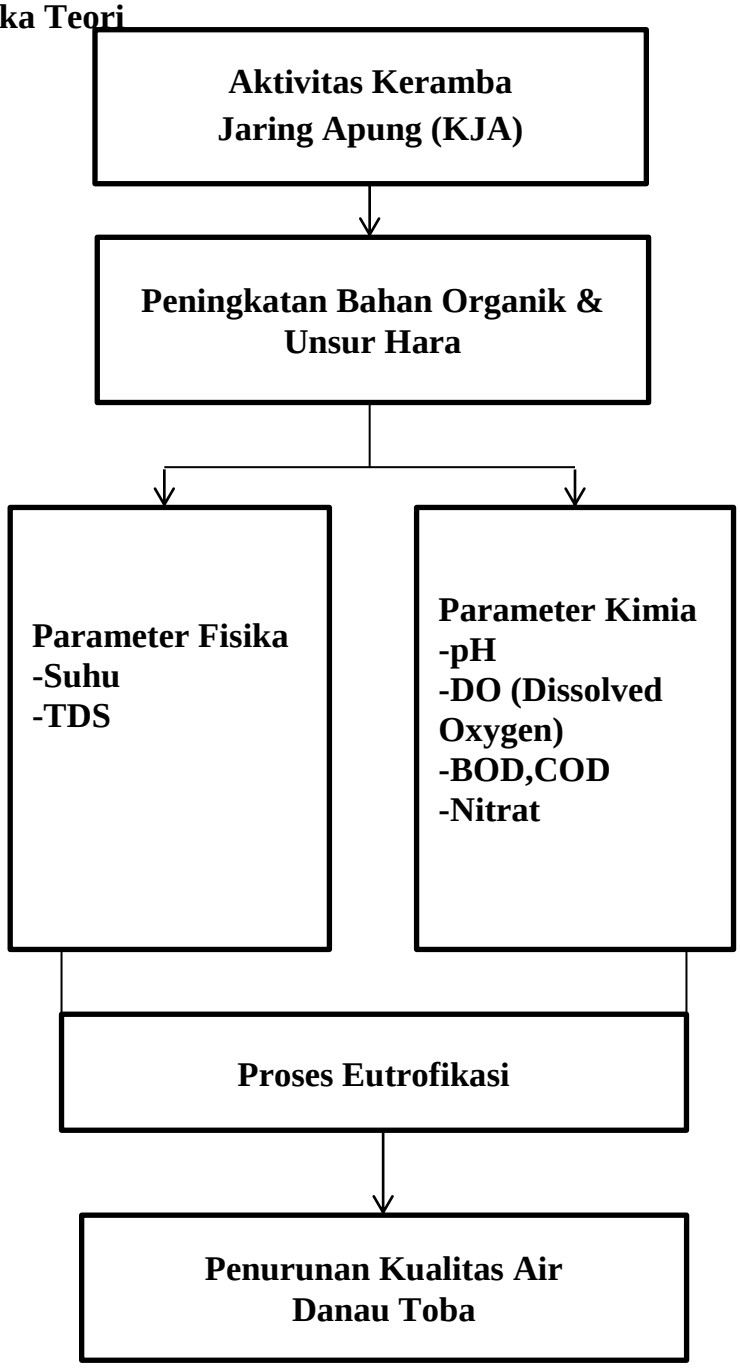
(Boyd, 2015).

2. Parameter Kimia

Parameter kimia meliputi pH, DO, BOD, COD, fosfat:

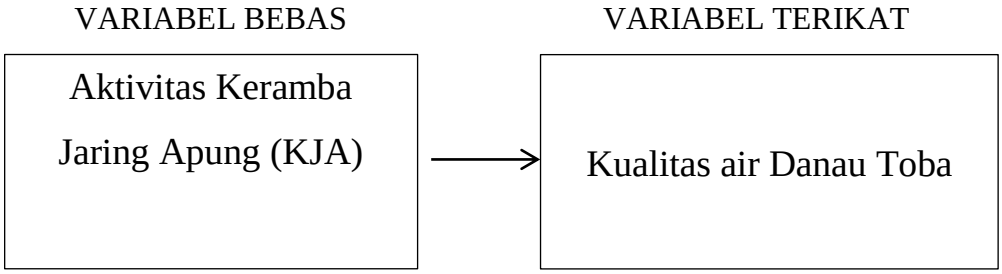
a. pH: Menggambarkan konsentrasi ion hidrogen perairan yang memengaruhi kelarutan dan tingkat toksisitas senyawa kimia (Boyd, 2015).
b. Dissolved Oxygen (DO): Kadar oksigen terlarut yang esensial bagi respirasi biota akuatik, yang cenderung mengalami defisit seiring meningkatnya beban organik (Effendi, 2003).
c. BOD dan COD: BOD mengukur kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik, sementara COD menunjukkan total kebutuhan oksigen untuk oksidasi senyawa organik maupun anorganik secara kimiawi (APHA, 2017).
d. Nitrat dan Fosfat: Unsur hara esensial yang apabila berlimpah di perairan akan memicu terjadinya eutrofikasi (Effendi, 2003

H. Kerangka Teori



Gambar 2.1 Kerangka Teori
Sumber: Effendi (2003); Boyd & Tucker (2014);

I. Kerangka Konsep



Gambar 2.2 Kerangka Konsep

Keterangan:

Variabel dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variable yang dapat dilihat pengaruhnya terhadap variable lain,yang di maksud variabel bebas dalam penelitian ini adalah aktivitas keramba jaring apung (KJA).

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variable yang dipengaruhi oleh variabel bebas.Yang dimaksud variabel terikat dalam penelitian ini adalah kualitas air Danau Toba.

J. Hipotesis:

H_0 (Hipotesis Nol):Tidak terdapat perbedaan signifikan kualitas air Danau Toba antara lokasi dengan kepadatan Keramba Jaring Apung (KJA) tinggi, sedang, dan tanpa KJA di kawasan Haranggaol Horisan.

H_1 (Hipotesis Alternatif):Terdapat perbedaan signifikan kualitas air Danau Toba antara lokasi dengan kepadatan Keramba Jaring Apung (KJA) tinggi, sedang, dan tanpa KJA di kawasan Haranggaol Horisan.

K. Defenisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Skala Ukur
Aktivitas Keramba Jaring Apung (KJA) (Variabel Bebas)	Kegiatan budidaya ikan di Danau yang menggunakan sistem keramba jaring apung, meliputi jumlah unit KJA sebanyak kurang lebih 3500 unit,kepadatan ikan di angka 10.000 ekor/petak, dan frekuensi pemberian pakan pagi 3 kali dan sore sebanyak 3 kali.	Observasi lapangan, data Instansi Pemerintah.	Rasio
Kualitas Air Danau Toba (Variabel Terikat)	Kondisi perairan Danau Toba diukur melalui parameter fisika, kimia, untuk menilai pengaruh	Pengukuran langsung di lapangan dan laboratorium	Rasio

	aktivitas KJA terhadap kelayakan air.		
Suhu(Variabel Terikat)	Ukuran panas atau dinginnya air pada lokasi penelitian.	Termometer air digital	Interval
pH(Variabel Terikat)	Tingkat keasaman atau kebasaan air.	pH meter	Interval
DO (Dissolved Oxygen)(Variabel Terikat)	Jumlah oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan biota air.	DO meter	Rasio
BOD (Biochemical Oxygen Demand)(Variabel Terikat)	Jumlah oksigen yang diperlukan mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik.	Analisis laboratorium	Rasio
COD (Chemical Oxygen Demand)(Variabel Terikat)	Total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dalam air.	Analisis laboratorium	Rasio
Nitrat (NO_3)(Variabel Terikat)	Kadar senyawa nitrogen dalam bentuk nitrat yang	Spektrofotometer (atau *Water Quality*	Rasio

	terlarut di dalam sampel air danau, yang merupakan indikator utama adanya polusi organik dari aktivitas pertanian (pupuk) maupun limbah domestik/pakan ikan di perairan.	*Multiparameter* yang mendukung sensor nitrat).	
TDS(Variabel Terikat)	Jumlah seluruh zat padat terlarut dalam air yang terdiri dari mineral, garam, logam, dan senyawa organik yang berada dalam bentuk ion maupun molekul terlarut.	TDS Meter / Multiparameter Water Quality Meter	Rasio

Tabel 2.1 Defenisi Operasional