

Pengaruh Aktivitas Keramba Jaring Apung Terhadap Daya Tampung Beban Pencemar Total Fosfor

Vega Valentine Bangun¹, Alexander Ternala Barus¹, Hamidah Harahap¹

¹ Prodi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20222.

<p>Received 28 April 2025</p> <p>Revised 5 May 2025</p> <p>Accepted 20 May 2025</p>	<p>Abstrak</p> <p>Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung daya tampung beban pencemaran total fosfor dari aktivitas keramba jaring apung kemudian menggambarkan persebaran total fosfor dan pengelolaan yang tepat untuk aktivitas budidaya menggunakan keramba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun. Metode perhitungan daya tampung beban pencemar danau berdasarkan PermenLH No. 28 Tahun 2009 dan metode pengambilan sampel berdasarkan SNI 6989 57 2008. Selanjutnya digambarkan persebaran total fosfor menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan rekomendasi pengelolaan keramba jaring apung dirumuskan dengan analisa SWOT. Nilai daya tampung beban pencemaran total fosfor sebesar – 1.279.719 gr P/tahun. Persebaran total fosfor paling tinggi berada di titik yang paling dekat dengan aktivitas manusia seperti aktivitas domestik, aktivitas pertanian / perkebunan maupun aktivitas yang berasal dari keramba jaring apung sendiri. Pencemaran total fosfor di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon termasuk kedalam polusi antropogenik. Maka harus dirumuskan rekomendasi pengelolaan yang tepat bagi aktivitas keramba jaring apung. Rekomendasi pengelolaan keramba jaring apung antara lain menggantikan keramba yang ada dengan menggunakan kolam buatan.</p> <p>Kata kunci: Total Fosfor, Keramba Jaring Apung (KJA), Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA), SWOT</p>
<p>*Correspondence Alexander Ternala Barus Email: ternala58@gmail.com</p>	<p>Abstract</p> <p><i>The purpose of this study was to calculate the total phosphorus pollution load capacity from floating net cage activities and then describe the distribution of total phosphorus and proper management for cultivation activities using floating net cages in Lake Toba, Girsang Sipangan Bolon District, Simalungun Regency. The method for calculating the lake's pollution load capacity is based on PermenLH No. 28 of 2009 and the sampling method is based on SNI 6989 57 2008. Furthermore, the distribution of total phosphorus is described using the Geographic Information System (GIS) and recommendations for floating net cage management are formulated with a SWOT analysis. The value of the total phosphorus pollution load capacity is -1,279,719 gr P/year. The highest distribution of total phosphorus is at the point closest to human activities such as domestic activities, agricultural / plantation activities or activities originating from floating net cages themselves. Total phosphorus pollution in Lake Toba, Girsang Sipangan Bolon District is included in anthropogenic pollution.</i></p> <p>Keywords: Total Phosphorus, Floating Net Cages (KJA), Water Pollution Load Capacity (DTBPA), SWOT</p>

PENDAHULUAN

Keramba jaring apung merupakan jenis sektor budidaya ikan yang menggunakan

jaring yang lokasinya di laut ataupun air tawar seperti danau atau waduk yang lebih dalam maupun sungai dan kolam (Hutajulu & Rahma, 2023). Usaha budidaya ini terus

meningkat sepanjang waktu dikarenakan peningkatan permintaan akan kebutuhan ikan air tawar. Kegiatan budidaya ini menggunakan pakan komersial dalam proses pembesaran ikan yang ditempatkan di badan air dalam (Adhar dkk, 2021). Pemberian pakan yang tidak efisien dalam budidaya ikan menyebabkan banyaknya pakan yang terbuang dan terakumulasi di dasar perairan (Warsa & Joni, 2019). Sisa pakan yang tidak dikonsumsi dan hasil metabolisme ikan berupa feses dan urine akan menurunkan kualitas perairan danau.

Di Sumatera Utara, aktivitas budidaya keramba jaring apung dilakukan di Danau Toba. Danau Toba merupakan danau tektovulkanik terbesar di dunia dengan luas permukaan kurang lebih 1.132 km² dengan kedalaman maksimum 529 m. Berdasarkan PP Nomor 26 Tahun 2008 tentang Tata Ruang Wilayah Nasional, Kawasan Danau Toba ditetapkan sebagai Kawasan Strategis Nasional untuk kepentingan fungsi dan daya dukung lingkungan hidup. Berdasarkan status kriteria trofik danau, Danau Toba ditetapkan sebagai danau oligotrof dengan kadar rata-rata total fosfor (TP) sebesar < 10 µg/l.

Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Sumatera Utara (2022), jumlah keramba jaring apung yang terdapat di Huta Panahatan, Desa Sibaganding, Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun yang dimiliki oleh

PT. Aquafarm Nusantara sebesar 304 petak dengan luas total 10.944 m² serta kapasitas 2.584.000 ekor ikan. Pengujian kualitas air Danau dilakukan di lokasi yang sama pada tahun 2016 didapat bahwa rata-rata total fosfor sebesar 57 µg/l.

Menurut penelitian Kaban (2015) menyatakan bahwa kandungan total fosfor (TP) pada pakan di keramba jaring apung Penahatan sebesar 1,2 % dengan total fosfor (TP) di air sebesar 0,02-0,03 mg/L sedangkan kandungan fosfor yang diperbolehkan sebesar < 10 µg/L. Menurut penelitian Panjaitan dan Manullang (2022) menyatakan bahwa jumlah pemberian pakan ikan per hari sebanyak 200 ton mengandung 1,48% fosfor. Limbah fosfor yang terbuang ke perairan Danau Toba sebesar 0,09%. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa jumlah limbah fosfor yang terbuang sebesar 180 kg per hari sedangkan kandungan fosfor yang diperbolehkan sebesar < 10 µg/L. Sudah dapat dipastikan di perairan Danau Toba terjadi akumulasi fosfor setiap hari sehingga mengendap lama di air dan menurunkan kualitas air. Maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh aktivitas keramba jaring apung (KJA) terhadap daya dukung dan daya tampung beban pencemaran total fosfor, kemudian pola persebaran beban pencemar total fosfor digambarkan dalam bentuk spasial dan pengelolaan terhadap keramba jaring apung yang tepat agar sesuai

dengan daya tampung beban pencemaran total fosfor.

METODOLOGI

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2024. Lokasi penelitian dilakukan di Danau Toba, Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun. Penentuan lokasi pengambilan sampel air mengacu pada SNI 6989.57:2008. Lokasi pengambilan sampel air berasal dari 3 stasiun pengamatan yaitu Desa Sualan, Desa Sibaganding dan Desa Panahatan (Gambar 1).

Penentuan Daya Tampung Beban Pencemar Air

Perhitungan daya Dusun Sibaganding₁ pencemar air untuk budidaya perikanan berpedoman pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 28 Tahun 2009. Rumus perhitungan daya tampung danau Dusun Sualan budidaya perikanan adalah sebagai berikut.

1. Menghitung morfologi dan hidrologi danau

$$\hat{Z} = 100 \times V/A$$

dimana :

$$\hat{Z} = \text{Kedalaman rata-rata danau (m)}$$

$$V = \text{Volume air danau (juta m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Luas perairan danau (Ha)}$$

$$\rho = Q_0 / V$$

$$\rho = \text{Laju penggantian air danau (per tahun)}$$

$$Q = \text{Jumlah debit air keluar danau (juta m}^3\text{/tahun)}$$

2. Menghitung alokasi beban pencemaran unsur fosfor (P)

- a. Menghitung beban pencemaran dari limbah domestik

$$B P_{\text{domestik}} = \text{Jumlah penduduk} \times$$

$$\text{Faktor beban} \times \text{Koefisien run off} \times f$$

- b. Menghitung beban pencemaran dari berbagai jenis pemanfaatan lahan

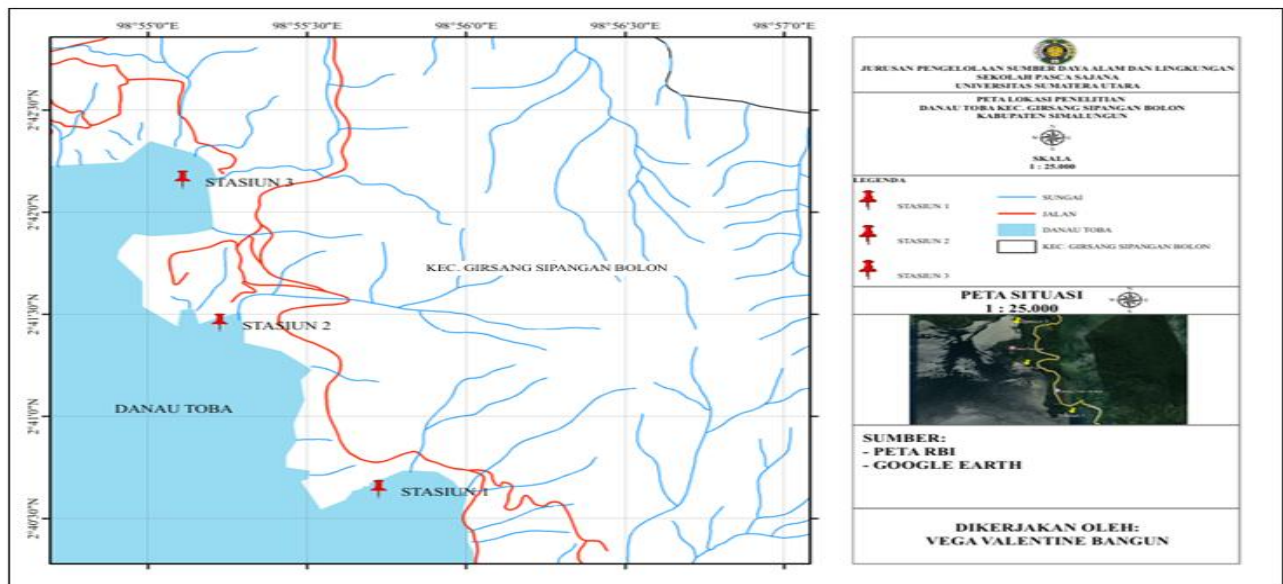
$$BP = A \times Q_p \times C(j)$$

- c. Menghitung beban pencemaran dari peternakan

$$BP_{\text{ternak}} = \text{Jumlah ternak} \times Q_p \times C(j)$$

- d. Menghitung beban pencemaran dari perairan

$$P_{LP} = FCR \times P_{\text{pakau}} - P_{\text{ikan}}$$



Gambar 1. Lokasi Penelitian Pengambilan Sampel Kualitas Air Danau Toba

- e. Menghitung potensi pencemaran dari curah hujan
 - f. Menghitung pemanfaatan danau serbaguna termasuk penampung limbah DAS dan kadar P dibatasi Baku Mutu Air atau Kelas Air
3. Menghitung Daya tampung beban pencemaran air limbah budidaya ikan

$$L_{ikan} = \Delta [P]_d \frac{\hat{z}\rho}{1-R_{ikan}}$$

$$R_{ikan} = x + [(1-x) R]$$

$$R = \frac{1}{1+0,747 \rho^{0,507}}$$

$$L_{a\ ikan} = L_{ikan} \times A$$

Penentuan Sebaran Pencemar Total

Fosfor (TP)

Menentukan sebaran total fosfor (TP) dengan menggunakan analisis spasial Sistem Informasi Geografis (SIG). Metode spasial yang digunakan dalam penentuan Sebaran pencemaran total fosfor (TP) yaitu interpolasi spasial Inverse Distance Weight (IDW).

Penentuan Pengelolaan Keramba Jaring Apung (KJA)

Metode yang digunakan untuk pengelolaan keramba jaring apung (KJA) menggunakan analisis SWOT. Adapun metode analisis SWOT terdiri atas:

1. Penentuan faktor strategi internal
2. Penentuan faktor strategi eksternal
3. Pembuatan matriks SWOT
4. Pembuatan tabel ranking alternatif strategi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban Pencemaran Total Fosfor

Adapun sumber beban pencemaran total fosfor yang berada di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon berasal dari aktivitas domestik, penggunaan lahan, hewan ternak, perhotelan dan keramba jaring apung.

1. Beban Pencemar Total Fosfor dari Limbah Domestik

Nilai beban pencemar total fosfor dari limbah domestik sebesar 35,8 kg/hari. Sesuai dengan baku mutu untuk kualitas air danau kelas I didapat bahwa kadar maksimal total fosfor sebesar 10 µg/l, sedangkan jumlah total fosfor dari hasil data yang diperoleh (pada tabel 1) telah melebihi batas baku mutu, yaitu 10 µg/l (PP 22 Tahun 2021). Hal tersebut menunjukkan total fosfor telah mencemari air Danau Toba yang disebabkan beban pencemaran dari aktivitas domestik setiap hari dibuang ke Danau Toba sehingga akan menurunkan kualitas danau tersebut. Adapun penyebab total fosfor yang tinggi ini diperoleh dari limbah yang dibuang ke lingkungan akan atau ke Danau Toba yang berasal dari deterjen, air limbah mandi, cuci, kakus (MCK) (Indriani dkk, 2016).

Tabel 1. Beban Pencemaran Total Fosfor Dari Limbah Domestik Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Desa	Jumlah penduduk (jiwa)	Beban P-Total (kg/hari)
1	Sibaganding	1.864	3,6
2	Tigaraja	2.167	4,2
3	Girsang	2.884	5,5
4	Sipangan Bolon Mekar	1.627	3,1
5	Sipangan Bolon	1.162	2,2
6	Parapat	8.920	17,1
Total		18.624	35,8

Sumber : Hasil Analisis, 2024

2. Beban Pencemar Total Fosfor dari Penggunaan Lahan

Nilai beban pencemar total fosfor dari penggunaan lahan sebesar 934,7 kg/hari. Sesuai dengan baku mutu untuk kualitas air danau kelas I didapat bahwa kadar maksimal total fosfor sebesar 10 µg/l, sedangkan jumlah total fosfor dari hasil data yang diperoleh (pada tabel 2) telah melebihi batas baku mutu, yaitu 10 µg/l (PP 22 Tahun 2021). Pencemaran yang disebabkan dari penggunaan lahan menyumbang total fosfor

nomor satu dari semua aktivitas di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon.

Kandungan total fosfor yang berasal dari aktivitas manusia di beberapa pemanfaatan lahan seperti sawah, ladang dan perkebunan. Kegiatan budidaya diatas menggunakan pupuk, pestisida yang akan mencemari tanah dan terbawa ke badan air (danau). Pencemaran pupuk anorganik yang sudah melewati ambang baku mutu disebut pencemaran zat kimia. Pencemaran itu mengakibatkan degradasi atau penurunan kualitas lingkungan.

Tabel 2. Beban Pencemaran Total Dari Berbagai Jenis Pemanfaatan Lahan Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

Jenis Pemanfaatan Lahan	Luas (Ha)	Beban P-Total kg/hari
Sawah	265,3	20,8
Hutan	6.005,9	491
Ladang	2.087,2	163,9
Perkebunan	1.269	99,6
Semak Belukar	1.469,2	159,3
Total	11.096,6	934,7

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3. Beban Pencemar Total Fosfor dari Hewan Ternak

Nilai beban pencemar total fosfor dari hewan ternak sebesar 5,8 kg/hari. Sesuai

dengan baku mutu untuk kualitas air danau kelas I didapat bahwa kadar maksimal total fosfor sebesar 10 µg/l, sedangkan jumlah total fosfor dari hasil data yang diperoleh

(pada tabel 3) telah melebihi batas baku mutu, yaitu 10 µg/l (PP 22 Tahun 2021). Penyumbang total fosfor paling besar dari kotoran hewan ternak berasal dari kotoran sapi, kerbau, kambing dan domba. Secara

umum kandungan fosfor yang ada di kotoran sapi, domba dan kuda sebesar 0,2% (Lingga, 1991), 0,3% dan 0,3 %. Kotoran hewan ternak di beberapa feses dan urine yang terbawa ke perairan danau.

Tabel 3. Beban Pencemaran Total Fosfor Dari Hewan Ternak Di Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Kelurahan	Jumlah Ternak							Total	Beban P-Total (kg/hari)
		Sapi	Kerbau	Kambing	Babi	Ayam	Itik			
1	Sibaganding	0	5	0	40	750	425	1220	0.6	
2	Tigaraja	0	0	0	205	330	70	605	0.9	
3	Girsang	5	20	15	86	1650	410	2186	1.4	
4	Sipangan Bolon Mekar	5	10	10	72	1250	280	1627	1.0	
5	Sipangan Bolon	7	25	7	72	910	265	1286	1.2	
6	Parapat	0	0	0	96	1350	380	1826	0.8	
Total		17	60	32	571	6240	1830	8750	5.8	

Sumber : Hasil Analisis, 2024

4. Beban Pencemar Total Fosfor dari Perhotelan

Nilai beban pencemar total fosfor dari perhotelan sebesar 4,6 kg/hari. Sesuai dengan baku mutu untuk kualitas air danau kelas I didapat bahwa kadar maksimal total fosfor sebesar 10 µg/l, sedangkan jumlah total fosfor dari hasil data yang diperoleh

(pada tabel 4) telah melebihi batas baku mutu, yaitu 10 µg/l (PP 22 Tahun 2021). Air buangan perhotelan berupa deterjen, air limbah mandi, cuci, kakus (MCK) mengandung total fosfor (Indriani dkk, 2016).

Tabel 4. Beban Pencemaran Total Fosfor Dari Perhotelan Di Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Nama Hotel	Kelurahan	Jumlah Wisatawan	Beban P-Total
				kg/hari
1	Surya Niagara Indah Hotel	Parapat	680	1,3
2	Inna Parapat Hotel	Tigaraja	408	0,8
3	Danau Toba International Cottage	Tigaraja	432	0,8
4	Atsari Hotel	Parapat	136	0,3
5	Parapat View Hotel	Parapat	80	0,2
6	Siantar Hotel	Parapat	184	0,4
7	Patra Comfort	Sibaganding	216	0,4
8	Wisata Bahari TNI AL	Parapat	120	0,2
9	Toba Shanda Hotel	Tigaraja	120	0,2
Total			2.376	4,6

Sumber : Hasil Analisis, 2024

5. Beban Pencemar Total Fosfor dari Keramba Jaring Apung

Nilai beban pencemar total fosfor dari perhotelan sebesar 14 kg/hari. Sesuai dengan baku mutu untuk kualitas air danau kelas I didapat bahwa kadar maksimal total fosfor sebesar 10 µg/l, sedangkan jumlah total fosfor dari hasil data yang diperoleh (pada tabel 5) telah melebihi batas baku mutu, yaitu 10 µg/l (PP 22 Tahun 2021). Tingginya konsentrasi total fosfor yang berasal dari KJA menunjukkan adanya akumulasi total fosfor di perairan yang berasal dari limbah KJA sebagai salah satu

sumber pasokan unsur hara yang masuk ke danau. Hal ini disebabkan karena penggunaan pakan ikan yang dimakan ikan maupun yang terbuang ke dasar perairan. Selain itu, hasil dari feses dan urine ikan yang terbuang ke perairan menyumbang total fosfor. Aktivitas budidaya perikanan menyumbang 62,6% (TP) dalam bentuk terlarut sedangkan pakan menyumbang 71,4% fosfor ke lingkungan perairan dan sisanya dimakan oleh ikan (Morris & Price, 2015).

Tabel 5. Beban Pencemaran Total Fosfor Dari Keramba Jaring Apung Di Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Desa yg ada KJA	Total Produksi/Tahun (ton/tahun)	Total Pakan		Kandungan P dalam pakan kg P/ton Pakan	Total Fosfor (kg/hari)
			(kg/hari)	(ton/tahun)		
1	Desa Sualan	1.462	1.230 kg/hari	449	12,7	10,6
2	Desa Sibaganding	59	12 kg/hari	4,4		2,6
3	Desa Panahatan	500	30 kg/hari	11		0,8
Total						14

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Tabel 6. Beban Pencemaran Total Fosfor Dari Berbagai Sumber Di Danau Toba Di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Sumber Pencemar	Beban Pencemar (kg/hari)
1	Domestik Permukiman	35,8
2	Pemanfaatan Lahan	934,7
3	Hewan Ternak	5,8
4	Perhotelan	4,6
Total		980,8
5	Budidaya Ikan (KJA)	14
Grand Total		994,8

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Daya Tampung Beban Pencemaran Total

Fosfor

Alokasi beban pencemar total fosfor (TP) dari DAS sebesar 0,98 mg/m³ yang

didapat dari hasil perhitungan sumber beban pencemar total fosfor (TP). Alokasi beban

total fosfor dari budidaya sebesar – 19,98 mg/m³. Berdasarkan perhitungan nilai daya tampung beban pencemar, beban pencemar aktual untuk parameter total fosfor adalah sebesar – 1.138,54 gr P/m².tahun. Jumlah daya tampung total fosfor limbah ikan pada danau sebesar – 1.279.719 gr P/tahun.

Kandungan pencemar total fosfor di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon telah melebihi daya tampung atau dengan kata lain perairan danau sudah tidak mampu untuk menampung beban pencemar pada Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun. Data daya tampung beban pencemaran total fosfor dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 7. Daya Tampung Beban Pencemaran TP Di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon

No	Keterangan	Simbol	Satuan	Nilai	
1	Morfologi dan Hidrologi Danau	Kedalaman rata-rata danau	Z	m	227,94
		Laju aliran	ρ	/tahun	0,01
2	Alokasi Beban Pencemar Total Fosfor	Alokasi beban Total Fosfor dari DAS	P _{das}	mg/m ³	0,98
		Alokasi beban Total Fosfor dari budidaya	$\Delta[P]d$	mg/m ³	- 19,98
3	Daya Tampung Beban Pencemaran Air Limbah Budidaya Ikan	Proporsi Total Fosfor yang larut ke sedimen setelah ada keramba	R _{ikan}	-	0,96
		Daya tampung Total Fosfor limbah ikan per satuan luas danau	L _{ikan}	gr P/m ² .tahun	- 1.138,54
		Jumlah daya tampung Total Fosfor limbah ikan pada danau	La _{ikan}	gr P/tahun	- 1.279.719
4	Pakan dan Limbah Budidaya Ikan Keramba	Total Fosfor yang masuk danau dari limbah ikan	PLP	kg/ton ikan	13,97
		Feed Conversion Rate	FCR	ton pakan/ton ikan	0,23

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Analisis Kualitas Air Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun

Adapun analisis kualitas air Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun diambil di 3 (tiga) stasiun dan 4 (empat) titik.

1. Stasiun I

Hasil uji kualitas air pada stasiun I di Desa Sualan yaitu *total suspended solid* (TSS), total fosfor dan total nitrogen sudah melebihi baku mutu. *Total suspended solid* tinggi dikarenakan adanya aktivitas perdagangan berupa rumah makan dan rumah penduduk yang cukup padat di atas Desa Sualan (stasiun I). Selain itu, ditambah dengan aktivitas budidaya perikanan yang paling banyak nomor satu di Desa Sualan / stasiun I. Pemberian pakan yang besar per hari sebesar 1.230 kg menambah beban TSS yang terbentuk di perairan Danau Toba. Kandungan total fosfor (TP) yang terdapat pada stasiun I adalah yang paling besar dari semua stasiun dengan rata-rata 32 µg/l. Hal ini dikarenakan stasiun I memiliki jumlah petak keramba jaring apung yang paling banyak dari semua stasiun. Kandungan total nitrogen di stasiun I sudah melebihi baku mutu yang ditetapkan. Ketidakseimbangan nitrogen di alam dapat berdampak negatif langsung dan tidak langsung pada lingkungan hidup dan menimbulkan gangguan lingkungan hidup, karena nitrogen di lingkungan akan mengalami transformasi.

Hasil transformasi ini akan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan biotik (flora dan fauna akuatik).

2. Stasiun II

Hasil uji kualitas air pada stasiun II di Desa Sibaganding yaitu total fosfor, total nitrogen dan pH sudah melebihi baku mutu. Pengukuran pH tertinggi berada di stasiun II, dimana pH yang tertinggi dan sudah melewati baku mutu yaitu 9,22. Menurut Leiwakabessy dkk. (2003) mengatakan bahwa tingkat keasaman pada suatu perairan akan berpengaruh terhadap proses perombakan bahan organik. Semakin tinggi nilai pH maka nilai alkalinitas semakin tinggi dan kadar karbondioksida semakin rendah (Effendi, 2003). Kandungan total fosfor di stasiun II sudah melebihi baku mutu sehingga kualitas air Danau Toba di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon sudah tercemar. Rata-rata kandungan total fosfor di stasiun II sebesar 26,75 µg/l. Kandungan total nitrogen di stasiun II sudah melebihi baku mutu yang ditetapkan. Total fosfor akan mengendap di zona epilimniom yang bersifat aerobik akan mengalami kopresipitasi dan absorpsi dengan partikulat atau logam makro dan senyawaan organik ke bagian yang dalam sehingga terjadi hipernutrifikasi pelepasan fosfor dari unit budidaya ikan yang menyebabkan eutrofikasi (Syandri, 2016).

3. Stasiun III

Hasil uji kualitas air pada stasiun III di Desa Panahatan yaitu total fosfor dan total

nitrogen sudah melebihi baku mutu. Kandungan total fosfor (TP) yang terdapat pada stasiun III merupakan urutan besar kedua dari semua stasiun dengan rata-rata 28 µg/l. Hal ini dikarenakan stasiun III memiliki jumlah petak keramba jaring apung sebanyak 7 (tujuh) dengan total pakan per hari sebesar 30 kg. Kandungan total nitrogen (TN) yang terdapat pada stasiun III adalah yang paling besar dari antara semua stasiun. Hal ini

dikarenakan pakan yang digunakan pada stasiun III adalah Cargill. Jika dilihat dari komposisi pakan Cargill ini mengandung protein sebesar 32-34 % dan kandungan ini merupakan kandungan paling besar. Bahan baku utama penyusun pakan adalah tepung ikan yang merupakan bahan baku utama sumber protein hewani (Priyadi dkk, 2009). Hasil uji laboratorium dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 8. Kualitas Air di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun

Parameter	Satuan	Stasiun			Baku Mutu
		I	II	III	PP 22/2021 Kelas I
TDS	mg/l	88	91	97	1000
TSS	mg/l	103	7	<1	25
Konduktivitas	µs/cm	1,1	1,4	1,9	
Suhu	°C	29	29	29	Dev 3
T-Fosfor	µg/l	32,25	26,75	28	10
Total Nitrogen	µg/l	731	752	762	650
Penetrasi Cahaya (Transparansi)	m				10
Khlorofil-A	µg/l	3,75	3,72	3,72	10
DO	mg/l	1,8	5,6	5,6	>6
BOD	mg/l	0,2	0,4	0,4	2
pH		8,3	8,4	8,2	6-9
Kedalaman	m	10	10	10	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium, 2024

Sebaran Parameter Total Fosfor di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun

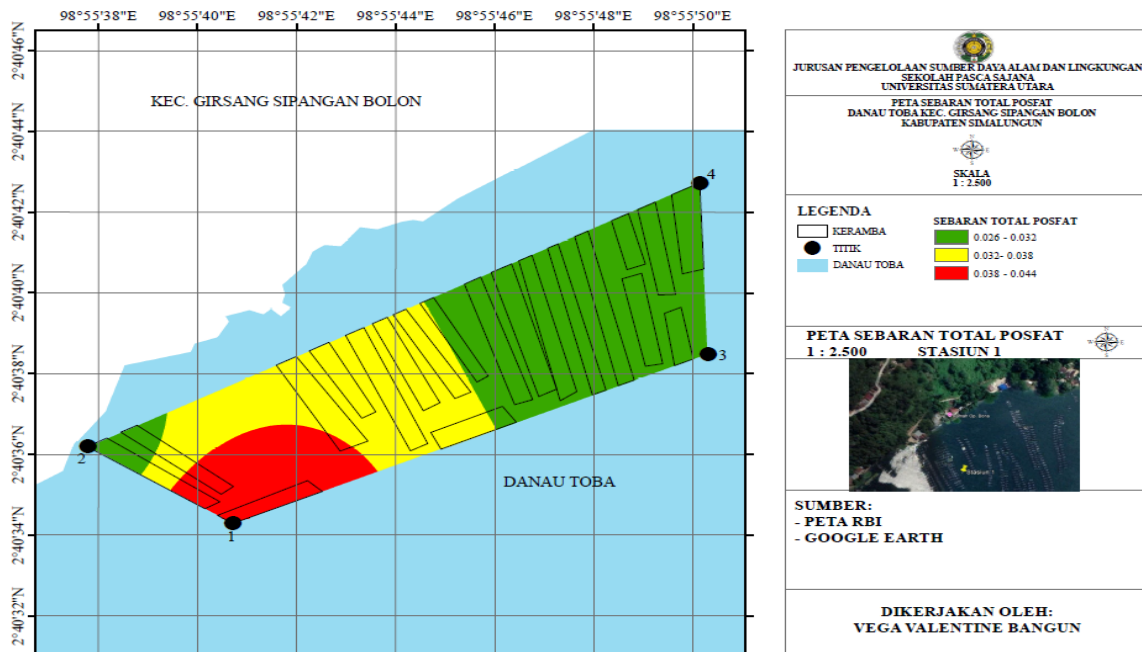
1. Sebaran Parameter Total Fosfor Pada Stasiun I

Stasiun I berada di Desa Sualan dibagi kedalam 4 (empat) titik dan memiliki 20 petak keramba jaring apung (KJA) , dimana terletak pada koordinat yaitu :

- a. Titik 1 dengan koordinat 02°40'34.30" N dan 98°55'40.72" E
- b. Titik 2 dengan koordinat 02°40'36.21"N dan 98°55'37.79" E
- c. Titik 3 dengan koordinat 02°40'38.48" N dan 98°55'50.31" E
- d. Titik 4 dengan koordinat 02°40'42.73" N dan 98°55' 50.15" E

Kandungan total fosfor yang memiliki angka paling besar berada di titik 1. Hal ini dikarenakan rapatnya dan padatnya rumah penduduk sehingga limbah yang dihasilkan langsung dibuang ke danau. Karena aliran

danau membawa massa air dan partikel dari satu tempat ketempat lainnya, kondisi tersebut dapat mempengaruhi sebaran konsentrasi total fosfor di perairan Danau Toba.



Gambar 2. Peta Sebaran Total Fosfor Di Stasiun I

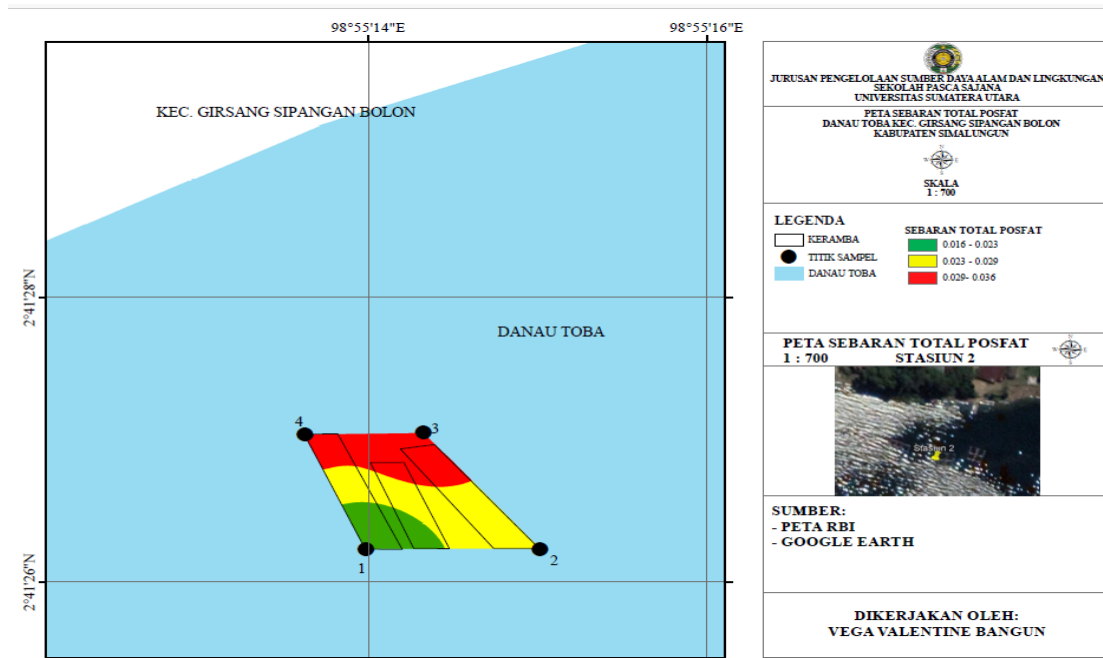
2. Sebaran Parameter Total Fosfor Pada Stasiun II

Stasiun II berada di Desa Sibaganding dibagi kedalam 4 (empat) titik dan memiliki 3 petak keramba jaring apung (KJA), dimana terletak pada koordinat yaitu :

- Titik 1 dengan koordinat 02°41'26.23" N dan 98°55'13.99" E
- Titik 2 dengan koordinat 02°41'26.65" N dan 98°55'15.02" E
- Titik 3 dengan koordinat 02°41'27.05" N dan 98°55'14.33" E

- Titik 4 dengan koordinat 02°41'27.04" N dan 98°55'13.63" E

Kandungan total fosfor yang memiliki angka paling besar berada di titik 3 dan 4. Hal ini dikarenakan rapatnya dan padatnya rumah penduduk sehingga limbah yang dihasilkan langsung dibuang ke danau. Karena aliran danau membawa massa air dan partikel dari satu tempat ketempat lainnya, kondisi tersebut dapat mempengaruhi sebaran konsentrasi total fosfor di perairan Danau Toba.



Gambar 3. Peta Sebaran Total Fosfor Di Stasiun II

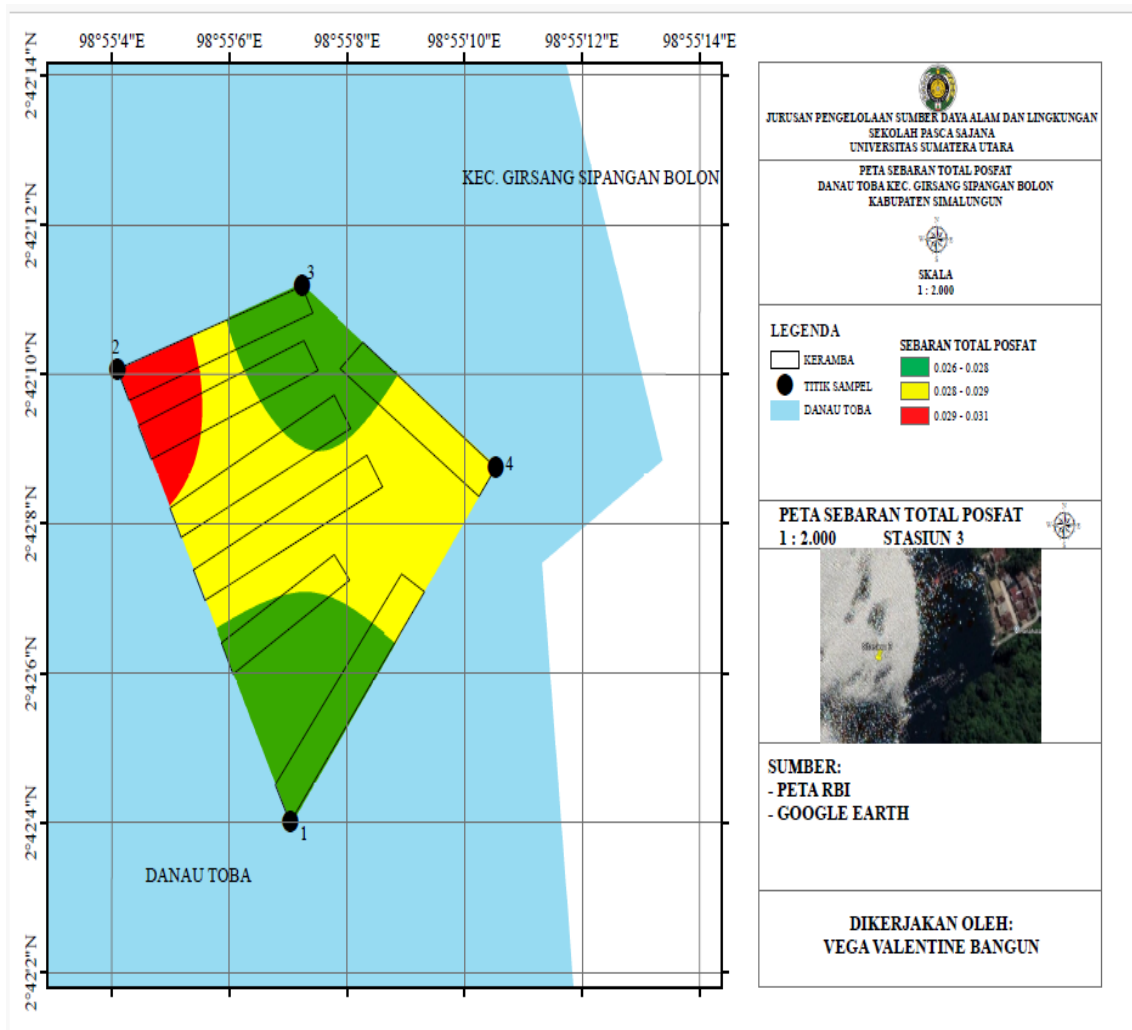
3. Sebaran Parameter Total Fosfor Pada Stasiun III

Stasiun III berada di Desa Panahatan dibagi kedalam 4 (empat) titik dan memiliki 7 petak keramba jaring apung (KJA) , dimana terletak pada koordinat yaitu :

- a. Titik 1 dengan koordinat 02°42'04.00" N dan 98°55'07.04" E
- b. Titik 2 dengan koordinat 02°42'10.07" N dan 98°55'04.10" E
- c. Titik 3 dengan koordinat 02°42'11.18" N dan 98°55'07.24" E

- d. Titik 4 dengan koordinat 02°42'08.75" N dan 98°55'10.54" E

Kandungan total fosfor yang memiliki angka paling besar berada di titik 2. Dikarenakan adanya aktivitas budidaya pertanian / perkebunan di sekitar titik 2. Aktivitas budidaya pertanian / perkebunan memakai pupuk anorganik untuk budidaya mengakibatkan meningkatnya pencemaran zat kimia. Pencemaran itu menyebabkan degradasi atau penurunan kualitas lingkungan. Hal itu terjadi disebabkan tingginya pemakaian pupuk kimia dan pestisida yang menyebabkan masuknya kandungan nitrat dan fosfor (Nopiantari dkk, 2017).



Gambar 4. Peta Sebaran Total Fosfor Di Stasiun III

Pengelolaan Keramba Jaring Apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun

Analisis SWOT digunakan untuk menghasilkan rekomendasi pengelolaan keramba jaring apung. Dalam analisis SWOT, pemberian bobot masing-masing faktor harus sesuai dengan kriteria penilaian. Sedangkan hasil penilaian faktor-faktor internal dan eksternal digunakan untuk menghitung rating atau tingkat

kepentingan suatu faktor terhadap suatu kegiatan dapat dilihat dalam Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Matriks Faktor Strategi Internal (IFAS)

No	Faktor-faktor strategi Internal	Total	Bobot	Rating	Skor
Strengths					
1	Lokasi yang mudah diakses	55	0.2	4	0.8
2	Masyarakat yang kooperatif dalam mengelola keramba jaring apung	48	0.18	3	0.54
3	Memiliki sarana yang memadai	53	0.2	4	0.8
					2.14
Weakness					
1	Memiliki aroma yang tidak sedap di sekitar keramba jaring apung	40	0.15	3	0,45
2	Air yang berada disekitar keramba jaring apung kotor	29	0.11	2	0.22
3	Memiliki akses jalan rusak dan sempit	44	0.16	3	0.48
Total		269	1.00		1.15

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Tabel 10. Matriks Faktor Strategi Eksternal (EFAS)

No	Faktor-faktor strategi Eksternal	Total	Bobot	Rating	Skor
Opportunities					
1	Tingginya minat pembeli terhadap hasil keramba jaring apung	55	0.18	4	0.72
2	Menambah penghasilan masyarakat sekitar	53	0.17	4	0.68
3	Menghasilkan produk unggulan hasil dari keramba jaring apung	54	0.18	4	0.72
					2.12
Threats					
1	Kurangnya peminat yang datang dalam berwisata	46	0.15	3	0.45
2	Cuaca alam yang kurang mendukung	45	0.15	3	0.45
3	Kurangnya minat investasi luar dalam membangun wisata	52	0.17	3	0.51
Total		305	1.00		1.41

Sumber : Hasil Analisis, 2024

Setelah matriks IFAS dan EFAS selesai, selanjutnya unsur-unsur tersebut dihubungkan dalam matriks untuk memperoleh beberapa strategi alternatif. Matriks SWOT yang dibuat dapat dilihat dalam Tabel 11.

Tabel 11. Matriks SWOT

IFAS	Strengths	Weakness
	EFAS	1. Lokasi yang mudah diakses 2. Masyarakat yang kooperatif dalam mengelola keramba jaring apung 3. Memiliki sarana yang memadai
Opportunities (O)	Strategi S-O	Strategi W-O
1. Tingginya minat pembeli terhadap hasil keramba jaring apung	1. Meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar	1. Meningkatkan efisiensi dalam pemberian pakan ikan
2. Menambah penghasilan masyarakat sekitar	2. Melakukan edukasi dalam mengelola keramba jaring apung	2. Memperbaiki jalan yang rusak untuk meningkatkan kemudahan akomodasi ke KJA
3. Menghasilkan produk unggulan hasil dari keramba jaring apung	3. Membuat UMKM hasil keramba jaring apung	3. Mengurangi jumlah keramba jaring apung dengan cara menggantikannya ke kolam buatan di luar badan air danau
Threats (T)	Strategi S-T	Strategi W-T
1. Kurangnya peminat yang datang dalam berwisata	1. Membangun wisata memancing di luar KJA	1. Menambahkan eco-enzim di sekitar KJA
2. Cuaca alam yang kurang mendukung	2. Membangun rumah makan/ restaurant yang memiliki IPAL terpadu	2. Melakukan kolaborasi antara perangkat desa dengan investor untuk meningkatkan wisata
3. Kurangnya minat investasi luar dalam membangun wisata		

Sumber : Hasil Analisis, 2024

a. SO (Peluang, Peluang)

Berdasarkan analisis faktor Kekuatan dan Peluang (SO) dalam strategi analisis pengelolaan budidaya karamba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun mengarah kepada meningkatkan ekonomi masyarakat sekitar, melakukan edukasi dalam mengelola keramba jaring apung dan membuat Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah hasil keramba jaring apung.

b. ST (Kekuatan, Ancaman)

Berdasarkan analisis faktor Kekuatan dan Ancaman (ST) dalam pengelolaan budidaya karamba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun sebaiknya tertuju pada peningkatan usaha perikanan dengan tidak meningkatkan budidaya keramba jaring apung yaitu membangun wisata memancing di luar KJA dan membangun rumah makan/restaurant yang memiliki pengolahan limbah terpadu.

c. WO (Kelemahan, Peluang)

Berdasarkan analisis faktor Kekuatan dan Peluang (WO) dalam pengelolaan budidaya karamba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun peran nelayan budidaya ikan dimana harus meningkatkan efisiensi dalam pemberian pakan ikan dan bagi pemerintah agar memperbaiki jalan yang rusak untuk meningkatkan kemudahan akomodasi ke KJA.

d. WT (Kelemahan, Ancaman)

Berdasarkan analisis faktor Kekuatan dan Peluang (WO) dalam pengelolaan budidaya karamba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon, Kabupaten Simalungun, pemerintah dan nelayan perlu bekerjasama dalam mengelola keramba jaring apung agar tidak mencemari lingkungan salah satunya dengan pemberian eco-enzim di sekitar KJA dan melakukan kolaborasi antara perangkat desa dengan investor untuk meningkatkan wisata. Dimana tidak lagi mengembangkan budidaya perikanan tetapi menarik investor untuk mengembangkan menjadi tempat tujuan wisata.

e. Strategi Pengelolaan

Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan maka pengelolaan keramba jaring apung di Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon dilakukan dengan memerhatikan dampak positif dan negatif. Adapun dampak positif dari keramba jaring apung yaitu sumber pendapatan masyarakat

sekitar sedangkan dampak negatif nya adalah mencemari perairan. Strategi pembuatan kebijakan untuk dapat menjaga status keberlanjutan dari sisi ekonomi masyarakat sekitar dengan mengurangi jumlah keramba jaring apung dan menggantikannya dengan kolam buatan dimana ikan dapat dibudidayakan di dalamnya. Mengutamakan penyerapan tenaga kerja lokal dan penciptaan lapangan kerja alternatif seperti usaha pengolahan pakan ikan, pengolahan perikanan pasca panen, kegiatan pariwisata sehingga tidak semua pekerja bertumpu pada sektor budidaya di perairan danau.

KESIMPULAN

Daya tampung beban pencemaran total fosfor untuk budidaya perikanan sebesar – 1.138, 54 gr P/m².tahun. Jumlah daya tampung total fosfor limbah ikan pada danau sebesar – 1.279.719 gr P/tahun. Aktivitas keramba jaring apung di perairan Danau Toba Kecamatan Girsang Sipangan Bolon Kabupaten Simalungun melebihi daya tampung beban pencemar air untuk parameter total fosfor. Kualitas air Danau Toba di sekitar di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon sudah tercemar karena nilai parameter total fosfor dan total nitrogen melebihi baku mutu yang disebabkan oleh aktivitas keramba jaring apung. Sebaran total fosfor yang paling tinggi pada stasiun I yang berlokasi di Desa Sualan yaitu berada di titik 1. Sebaran total fosfor yang paling tinggi pada stasiun II yang berlokasi di Desa Sibaganding yaitu berada di

titik 3 dan 4. Sebaran total fosfor yang paling tinggi pada stasiun III yang berlokasi di Desa Panahatan yaitu berada di titik 2. Strategi pembuatan kebijakan untuk dapat menjaga status keberlanjutan dari sisi ekonomi masyarakat sekitar dengan pengurangan keramba jaring apung di perairan Danau Toba khususnya di Kecamatan Girsang Sipangan Bolon. Pengurangan dapat dilakukan dengan menggantikan beberapa keramba yang ada di danau menjadi kolam buatan. Kolam buatan dapat dijadikan alternatif untuk membudidayakan ikan di dalamnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Jabbar. 2019. *Direct Runoff Estimation using SCS-CN Method In Lake Toba Catchment, North Sumatra, Indonesia*. Tesis. Jepang. University of Tsukuba .
- Adhar, S., Rachmawati. R., Mainisa., Erlangga., Munawwar. K. & Eva. A. 2021. Analisa Limbah Fosfor Kegiatan Keramba Jaring Apung di Danau Laut Tawar Aceh Tengah. *Jurnal Serambi Engineering*, VI(3) : 2024-2032.
- Afrizal., Sukmaaji, A. & Sutanto, T. 2013. Android Personnel Monitoring Location Pada Institusi Kepolisian Berbasis Web. *Jurnal Sistem Informasi*, 3(2) : 1-10.
- Alexander, T. J., Vonlanthen, P. & Seehausen, O. 2017. Does Eutrophication-Driven Evolution Change Aquatic Ecosystem?," *Philosophical Transactions B*.
- Ali, A.M., Ririn, I. & Desy, A. 2021. Keanekaragaman Fitoplankton Dan Hubungannya Dengan Kualitas Air Waduk Cikoncang, Kabupaten Lebak. *Jurnal Konservasi*, 5(2): 89-98.
- American Society of Agricultural & Biological Engineers. 2010. *Standard Manure Production & Characteristics*.
- Amliana, D. R., Prasetyo, Y. & Sukmono, A. 2016. Analisis Perbandingan Nilai NDVI Landsat 7 Dan Landsat 8 Pada Kelas Tutupan Lahan. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 5 : 264–274.
- Ardiani, G.W., Hasibuan, M.R., Damanik, R.H. & Hasibuan, A. 2023. Dampak Budidaya Keramba Jaring Apung Terhadap Lingkungan Danau Toba Di Kabupaten Simalungun. 6 (2) : 1113-1119.
- Aritonang, A.P., Riad. S. & Walfred. T. 2014. Penentuan Konduktivitas Listrik Dan Kajian Kualitas Air Sungai Siak Menggunakan Metode Jembatan Wheatstone. *JOM FMIPA*, 1(2) : 1-9.
- Atmojo, S.D. 2018. Penentuan Kriteria Lokasi Keramba Jaring Apung (KJA) Offshore Di Perairan Provinsi Jawa Timur. Skripsi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aziz, G.P. & Cindy, R.P. 2015. Analisis Perubahan Konsentrasi Total Fosfor Terhadap Waktu Pada Danau Mahoni Dengan Metode Numerik.
- Badr N.B.E. & Hussein, M.A. 2010. Aninput/Output Model of Total Phosphorusin Lake Edku, a Northern Eutrophic Nile Delta Lake. *Global Journal of Environmental Research*, 4(2): 64-75.
- Barus, A.T., Hesti, W. & Adrian, H. 2022. Water Quality & Trophic Status of Lake Toba, North Sumatra, Indonesia. *Hydrobiological Journal*, 58 (2) : 34-43.
- Barus, T.A. 2020. *Limnologi*. Nas Media Pustaka : Makassar.

- Budianto, S. & Hariyanto, T. 2017. Analisis Perubahan Konsentrasi Total Suspended Solids (TSS) Dampak Bencana Lumpur Sidoarjo menggunakan Citra Landsat Multi Temporal (Studi kasus: Sungai Porong, Sidoarjo). *Jurnal Teknik ITS*, 6(1) : 130-135.
- Brahmana, S.S. & Firdaus, A. 2012. Potensi Beban Pencemaran Nitrogen, Fosfor, Kualitas Air, Status Trofik Dan Stratifikasi Waduk Riam Kanan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 8 (1) : 53-66.
- Chen, H. & Franklin, M. 2023. Spatio-Temporal Modeling of Surface Water Quality Distribution in California.
- Damayanti, H.O. 2014. Tinjauan Kualitas dan Dampak Ekonomi Konsentrasi Total Dissolved Solid (TDS) Air di Area Pertambakan Desa Bulumanis Kidul. *Jurnal Litbang*, 10(2) : 103-113.
- [DLH] Dinas Lingkungan Hidup. 2022. Kajian Daya Tampung Beban Pencemaran Dan Daya Dukung Danau Toba Untuk Budidaya Perikanan. Medan.
- Dorgham. M.M. 2014 *Effects of Eutrophication,*” *dalam Eutrophication: Cause, Consequences and Control*. London : Springer.
- Djuniawal, I., Suryawati. S. & Sri, M. 2019. Analisis Pemanfaatan Danau Sentani Untuk Pengembangan Budidaya Keramba Jaring Apung Secara Berkelanjutan. (23-26).
- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Kanasius Yogyakarta., 278 pp.
- Fauzan, A., Muthia, C.S. & Marcellinus, A.S.A. 2022. Interpolasi Polutan Nitrogen Dioksida (NO₂) Di Kota Yogyakarta Dengan Pendekatan Ordinary Kriging Dan Inverse Distance Weighted. *Jurnal Aplikasi Statistika & Komputasi Statistik*, 14 (2) : (55-66).
- Hamzah, A ., Juliana. & Mulis. 2018. Suitability Analysis for Grouper Floating Net Cages. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 6 (3) : 75-79.
- Harlina. 2021. *Limnologi Kajian Menyeluruh Mengenai Perairan Darat*. Gunawana Lestari : Samarinda.
- Hutajulu, C.P. & Rahma, H.P. 2023. Dampak Adanya Budidaya Keramba Jaring Apung Terhadap Ekosistem di Kawasan Danau Toba. *Aquacoastmarine Journal of Aquatic & Fisheries Sciences*, 2 (1) : 8-15.
- Irianto, E.W. & Triweko, R.W. 2019. *Eutrofikasi Waduk dan Danau Permasalahan, Permodelan, dan Upaya Pengendalian*. ITB Press : Bandung.
- Jati, M.A.S. 2022. Studi Kadar Fosfat (Total, Polifosfat dan Ortofosfat) Pada Daerah Aliran Sungai Lamat Kecamatan Muntilan. *Jurnal Dinamika Lingkungan Indonesia*, 9 (2) : 98-106.
- Kaban, Siswanta. 2015. Studi Kandungan Nitrogen Dan Fosfor Pada Pakan Ikan Dan Air Di Danau Toba. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI Tahun 2015. (409-416).
- [Kepgub] Keputusan Gubernur Sumatera Utara. 2017. Keputusan Gubernur Sumatera Utara Nomor 188.44/213/KPTS/2017 Tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Dan Daya Dukung Danau Toba Untuk Budidaya Perikanan Serta Kajian Status Trofik Danau Toba.
- Komaruddin, M., Hariyadi, S. & Budi, K. 2015. Analisis Daya Tampung Beban Pencemar Sungai Pesanggrahan (Segmen Kota Depok) Dengan

- Menggunakan Model Numerik Dan Spasial. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 5 (2) : 121-132.
- Kusnadi, E., Kiki, P.U. & Herda, D. 2023. Sebaran Total Nitrogen dan Total Fosfor Akibat Aktivitas Disekitar Danau Sebedang Sambas. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11 (1) : 41-49.
- Lazzari, P., Solidoro, C., Salon, S. & Bolzon, G. 2017. Spatial Variability Of Phosphate And Nitrate In The Mediterranean Sea : A Modeling Approach. *Deep-Sea Research I*, 108 : 39-52.
- Leite, B.V. & Casenave, C. 2018. Modelling Eutrophication In Lake Ecosystem: A Review. *The Science Of The Total Environment*, 651(2).
- Leiwakabessy, FM., Wahjudin, U.M. & Suwarno. 2003. *Kesuburan Tanah*. Jurusan Tanah. : Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Lingga, P. 1991. *Jenis Kandungan Hara Pada Beberapa Kotoran Ternak. Pusat Pertanian dan Pedesaan Swadaya (P45)*. Antanan : Bogor.
- Lukman. 2013. *Karakteristik Limnologis dan Mitigasi Ancaman Lingkungan dari Pengembangan Karamba Jaring Apung*. LIPI : Jakarta.
- Lumban Raja, G.A., Ria, R. & Sahat, S. 2023. Studi Kualitas Air Di Perairan Danau Toba Kecamatan Ajibata Kabupaten Toba. *Armada Jurnal Penelitian Multidisiplin*, 1 (7) : 640-650.
- Ma, M., Jia, J., Hu., Yang, Y., Lu, K., Shi. & Gao, Y. 2020. Changes In Chlorophyll And Its Response To Nitrogen & Phosphorus Characteristics Over The Past Three Decades In Poyang Lake, China. *Journal of Ecohydrology*, (2270).
- Makailipessy, M. M. & Souisa, F. 2015. Pemetaan Substrat Dasar Perairan Dangkal Di Kecamatan Tayando Kota Tual Menggunakan Citra Landsat 8. *Neritic*, 6(1), 1–6.
- Mardiansyah & Sulistyono, B. 2020. Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jauh Dalam Analisis Spasial Kesesuaian Lahan Budidaya Laut Dan Pengelolaan Sumber Daya Alam Di Pulau Enggano. SIG, (April).
- Metcalf & Eddy. 2003. *Waste Water Engineering Treatment & Reuse*. Beijing Tsinghua University Press : Beijing.
- Morris, J. & Oceanic, N. 2015. Marine Cage Culture and The Environment, *Aquaculture Environment Interactions*. 6 : 151–174.
- Murtiono, L.H., Anggoro, S. & Dwi, P.S. 2015. Kajian Dampak Budidaya Laut Sistem Keramba Jaring Apung Terhadap Lingkungan Perairan Teluk Ambon. *Seminar Nasional IiEM, 20 Mei 2015*, Universitas Diponegoro – Semarang.
- Napitupulu, R.T. & Muhammad. H.S.P. 2024. Pengaruh BOD, COD dan DO Terhadap Lingkungan dalam Penentuan Kualitas Air Bersih di Sungai Pesanggrahan. *CIVeng*, 5(2) : 79-82.
- Nasution, Z. & Sengli, B.J. 2009. *Ekologi Ekosistem Kawasan Danau Toba*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Nurfita, A.E., Evi. K. & Haj. A.T.S. 2017. Efisiensi Removal Fosfat Pada Pengolahan Limbah Cair Laundry Dengan Fitoremediasi Kiambang (*Salvinia natans*). *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 4(3).
- Nurhalisa, A. 2021. *Analisis Sumber Nitrat Dan Fosfor Pada Perairan Muara Sungai Maros Baru Kabupaten Maros*

- Berdasarkan Parameter TSS Dan BOT*. Skripsi. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Nopiantari, N.P.V., I Wayan. A. & Ida, A.S. 2017. Dampak Kegiatan Pertanian Terhadap Tingkat Eutrofikasi Dan Jenis – Jenis Fitoplankton Di Danau Buyan Kabupaten Buleleng Provinsi Bali. *Ecotrophic Jurnal Ilmu Lingkungan. Journal Of Environmental Science*, 11 (1) : 47 – 54.
- Panjaitan, P. & Helentina, M. 2022. Dampak Budidaya Ikan Nila Dengan Sistem Dan Teknologi Keramba Jaring Apung Terhadap Kualitas Perairan Danau Toba. *Jurnal Aquaculture Indonesia*. 1 (2) : 111-119.
- Patty, S.I. & Rikardo. H. 2019. Temperature, Salinity, and Dissolved Oxygen West and East seasons in the waters of Amurang Bay, North Sulawesi. *Jurnal Ilmiah PLATAX*, 11(1) : 196-205.
- [PP] Peraturan Pemerintah. 2008. Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Jakarta.
- [PP] Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [Pergub] Peraturan Gubernur Nomor 1 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Danau Toba di Provinsi Sumatera Utara. Medan.
- [Permenlh] Menteri Negara Lingkungan Hidup. 2009. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009 Tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Dan/Atau Waduk. Jakarta.
- Pratama, Z.W., Muhammad, S. & Heri, J. 2022. Dampak Erosi Terhadap Kehilangan Hara Makro Pada Lahan Agroforestry Kopi Dan Kayu Manis Di Kecamatan Siulak Kabupaten Kerinci. *Journal of Agroecotania*, 5 (2) : 1-15.
- [Perpres] Presiden Republik Indonesia. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Kawasan Danau Toba. Jakarta.
- Priyadi, A., Z.I. Azwar, I.W. Subamia. & S. Hem, S. 2009. Pemanfaatan Maggot Sebagai Pengganti Tepung Ikan Dalam Pakan Buatan Untuk Benih Ikan Balashark (*Balanthiocheilus melanopterus* Bleeker). *J. RisAkuakultur*, 4 (3) : 367-375.
- RA., H., Annisa. K. & Destri. R. 2021. Kandungan Nitrit dan Nitrat Pada Kualitas Air Permukaan. *Prosiding SEMNAS BIO 2021*, 1: 679-688.
- Rangkuti, F. 2003. *Analisis SWOT : Teknik Membedah Kasus Bisnis-Reorientasi Konsep Perencanaan Strategis Untuk Menghadapi Abad 21*. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta.
- Richard, H McCuen. 1989. *Hydrologic Analisis & Design Second Edition*. Prentice-Hall, Inc : New Jersey.
- Samudra, S.R., Tri, R.S. & Munifatul, I. 2015. Daya Tampung Beban Pencemaran Fosfor Untuk Budidaya Perikanan Danau Rawapening. *Prosiding Workshop Penyelamatan Ekosistem Danau Rawapening*, (134-142).
- Sejati, S. P. 2019 . Perbandingan Akurasi Metode IDW dan Kriging dalam Pemetaan Muka Air Tanah. *Majalah Geografi Indonesia. Jurnal Geografi*, 33(2).
- Shang, W., Shuanggen, J., Yang, H., Yuangyuan. Z. & Jian, L. 2021. Spatial–Temporal Variations of Total Nitrogen and Phosphorus in Poyang, Dongting

- and Taihu Lakes from Landsat-8 Data. *Journal Water*, 13 (1704) : 2-20.
- Sihotang, H., Yanuar, M.J.P., Widiatmaka. & Sambas, B. 2012. Model Konservasi Sumberdaya Air Danau Toba. *Jurnal Konservasi*, 2 (2) : 65-72.
- Sitepu, D.M., Ima, Y.P. & I Wayan, D.K. 2021. Kandungan Nitrat dan Fosfor pada Air di Sungai Telagawaja Kabupaten Karangasem, Bali. *Current Trends in Aquatic Science. Jurnal Konservasi*, IV (2) : 212-218.
- Supriatna. 2020. Model pH dan Hubungannya dengan Parameter Kualitas Air Pada Tambak Intensif Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*) Di Banyuwangi Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3) : 368-374.
- Sutjinurani, T. & Suharyanto. 2016. Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran Air (DTBPA) Dalam Pengelolaan Kegiatan Budidaya Ikan Intensif (Studi Kasus: Keramba Jaring Apung Waduk Cirata). *Jurnal Teknik Lingkungan*. 22 (1) : 93-103.
- Syandri, H. 2016. Kondisi Kualitas Air Pada Daerah Pemeliharaan Ikan Keramba Jaring Apung Di Danau Maninjau. *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan*, (301-310).
- Tito, H.M. 2021. *Analisis Spasial Kesesuaian Lahan Budidaya Ikan Kerapu (Epinephelus) Sistem Keramba Jaring Apung (KJA) Di Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban, Jawa Timur*. Skripsi. Surabaya : Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Urbasa, P.A., Suzanne, L.U. & Robert, J.R. 2015. Dampak Kualitas Air Pada Budi Daya Ikan Dengan Jaring Tancap Di Desa Toulimembet Danau Tondano. *Jurnal Budidaya Perairan*, 3 (1) : 59-67.
- Vincon, B.L. & Casenave, C. 2019. *Modelling Eutrophication In Lake Ecosystem: A review,*” *Science of the Total Environment*. 2985-3001.
- arsa, A. & Joni, H. 2019. Beban Cemar Fosfor dari Kegiatan Budidaya dan Dampaknya Terhadap Status Kesuburan Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Ecolab*, 13(1) : 1-60.
- Yusty, A., Max, R.M. & Pujiono, W. P. 2014. Sebaran Struktur Sedimen, Bahan Organik, Nitrat Dan Fosfat Di Perairan Dasar Muara Morodemak. *Management Of Aquatic Resources*, 3(4) : 208-215.
- Zainuri, M., Novi, I., Wasiqatus, S. & Ainul, F. 2023. Korelasi Intensitas Cahaya Dan Suhu Terhadap Kelimpahan Fitoplankton Di Perairan Estuari Ujung Piring Bangkalan. *Jurnal Koneservasi*, 12(1) : 20-26.