

Pemetaan Batimetri dan Analisis Morfometri untuk Evaluasi Kondisi Fisik Wisata Danau Perintis, Bone Bolango

La Ode Juni Akbar¹, Bambang Djau², Dewi Sartika T. Zees³

^{1,2,3}Perencanaan Wilayah, Teknik dan Ilmu Kesehatan, Universitas Bina Taruna Gorontalo, Gorontalo, Indonesia
e-mail: junilaode23@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian yaitu pemetaan batimetri dan analisis morfometri untuk evaluasi kondisi fisik Danau Perintis, Bone Bolango. Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif, dengan metode survei dan observasi lapangan. Pembuatan batimetri menggunakan metode *Underwater Meter Gauge* dengan menggunakan analisis interpolasi *Spline with Barriers* pada *ArcMap*. Morfometri danau dengan menghitung dimensi permukaan dan bawah permukaan berdasarkan data batimetri. Hasil analisis batimetri dan morfometri mengungkapkan bahwa Danau Perintis merupakan perairan dangkal (kedalaman rata-rata 1,88 m) dengan karakteristik morfologi yang kompleks. *SDI* sebesar 1,84 menunjukkan bentuk danau yang tidak beraturan dengan habitat littoral yang beragam, sementara rasio aspek 4,02 mencerminkan pola sirkulasi air satu arah yang kurang optimal. Karakteristik morfometri seperti nilai Perkembangan Volume 1,61 dan rasio Z_{max}/Z_{mean} 1,87 menunjukkan kerentanan tinggi terhadap pendangkalan, ketidakstabilan stratifikasi termal, serta akumulasi sedimen organik. Perlunya pendekatan pengelolaan berbasis zonasi ekologis yang meliputi pengendalian input sedimen, konservasi zona littoral, dan pemantauan batimetri berkala untuk keberlanjutan ekosistem Danau Perintis.

Kata Kunci :

Batimetri; Morfometri; Kondisi Fisik, Danau Perintis

ABSTRACT

The objective of this study is to conduct bathymetric mapping and morphometric analysis to evaluate the physical condition of Perintis Lake, Bone Bolango. This research employs a descriptive quantitative approach, utilizing survey methods and field observations. Bathymetric mapping was performed using the Underwater Meter Gauge method, with data interpolation analyzed through the Spline with Barriers method in ArcMap. Lake morphometry was assessed by calculating surface and subsurface dimensions based on bathymetric data. The results of the bathymetric and morphometric analyses reveal that Perintis Lake is a shallow water body (average depth of 1.88 m) with complex morphological characteristics. A Shoreline Development Index (SDI) of 1.84 indicates an irregular lake shape with diverse littoral habitats, while an aspect ratio of 4.02 reflects a suboptimal unidirectional water circulation pattern. Morphometric characteristics, such as a Volume Development Value of 1.61 and a Z_{max}/Z_{mean} ratio of 1.87, suggest high susceptibility to sedimentation, unstable thermal stratification, and organic sediment accumulation. The study highlights the need for an ecologically zoned management approach, including sediment input control, littoral zone conservation, and periodic bathymetric monitoring to ensure the sustainability of Perintis Lake's ecosystem.

Keywords :

Bathymetry; Morphometry; Physical Condition; Perintis Lake

A. PENDAHULUAN

Danau Perintis merupakan ekosistem perairan darat yang memiliki nilai ekologis dan ekonomis penting bagi masyarakat setempat. Wisata Danau Perintis membuka peluang kerja baru seperti usaha kecil (warung makan), pembukaan toko souvenir khas daerah berupa pangan lokal dan sulaman lokal (kue kerrawang dan kain kerrawang), penyewaan perahu bebek, jasa pemandu wisata dan usaha warung makan pendapatan meningkat hingga 65% pada musim liburan (Melo et al., 2022). Sektor pariwisata memberikan peluang pekerjaan baru pada masyarakat setempat dan membantu mengurangi tingkat pengangguran di kawasan danau perintis. Danau ini mengalami tekanan lingkungan yang signifikan akibat aktivitas antropogenik, perubahan penggunaan lahan di daerah tangkapan air, dan dampak perubahan iklim (Sondergaard et al., 2005; Adnan et al., 2023). Infrastruktur yang telah terbangun hingga tahun 2025 :

- 1) Pemerintah (Jalan, Tribun, Luncuran Jet Sky,

- 2) Swasta (Onato Caffe Swis 18, Kopilabs, Tanjung Persogo, Villa 2 unit, Sarang wallet dan rumah penduduk) (Rahmawati et al., 2025). Pembangunan di sempadan Danau Perintis dapat memberikan dampak serius terhadap ekosistem danau. Salah satu dampak utama adalah terganggunya fungsi sempadan danau sebagai area penyangga (buffer zone) yang seharusnya melindungi danau dari erosi, sedimentasi, dan polusi. Pembangunan di area ini sering kali melibatkan pengurangan vegetasi alami, yang berperan penting dalam menyerap air hujan dan mencegah limpasan langsung ke danau. Akibatnya, risiko sedimentasi dan pencemaran air danau meningkat, yang dapat mengganggu kualitas air dan merusak habitat biota air (Rahmawati et al., 2025; Arik Agustina and Aprinica, 2022).

Stasiun BMKG terdekat mencatat rata-rata curah hujan 2000–2500 mm/tahun (BMKG, 2023).

Danau tropis seperti Danau Perintis biasanya memiliki suhu air 28–32°C (Haryani et al., 2020). Musim hujan dapat menyebabkan pendangkalan dan membatasi aktivitas wisata air. Kemudian Suhu permukaan danau memengaruhi ekosistem dan kenyamanan wisatawan. Peningkatan suhu dapat memicu blooming alga dan mengurangi kualitas air.

Indikasi degradasi fisik, seperti pendangkalan, penyusutan luas permukaan, dan perubahan kualitas air, telah dilaporkan oleh pemerintah daerah, namun belum didukung oleh kajian ilmiah komprehensif yang menggabungkan pendekatan batimetri dan morfometri secara terintegrasi (Birk et al., 2012; Hakanson, 2005). Data batimetri diperlukan untuk menghitung volume air dan mengidentifikasi zona pendangkalan, yang berpengaruh pada daya dukung ekosistem perairan (Hakim et al., 2019). Ketiadaan data batimetri dapat meningkatkan risiko erosi dan kecelakaan wisata air, menghambat upaya pengendalian pencemaran di destinasi wisata danau dan tanpa pemetaan batimetri berpotensi memiliki zona berbahaya bagi aktivitas manusia (UNEP, 2018; Badan Geologi Indonesia, 2022; Kalff, 2002). Data morfometri membantu memahami aliran air, zona stagnan, dan daerah resuspensi sedimen, yang berpengaruh pada kualitas air. Jika tidak ada data ini, upaya pengendalian eutrofikasi (blooming alga) atau pencemaran menjadi tidak terarah, mengurangi daya tarik wisata (Kalff, 2002). KLHK (2023) mengatur bahwa Rencana Pengelolaan Danau wajib mencakup data morfometri dan batimetri.

Penelitian (Navarro Jurado et al., 2012) bahwa daya dukung lingkungan sangat dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan, tekanan wisatawan, dan ketahanan ekosistem. Misalnya, indikator morfodinamika pantai (seperti stabilitas sedimen dan kemiringan dasar) dapat dianalogikan dengan parameter batimetri danau untuk mengidentifikasi zona rawan erosi atau sedimentasi

Perkembangan teknologi Geospasial akurasi pemetaan batimetri, memungkinkan deteksi perubahan kedalaman dengan resolusi tinggi (Hare et al., 2011; Rifai et al., 2020). Sementara itu, analisis morfometri danau meliputi parameter luas permukaan, volume, kedalaman rata-rata, indeks keliling, dan bentuk cekungan merupakan pendekatan kuantitatif untuk memahami dinamika fisik danau serta kaitannya dengan proses limnologis (Håkanson, 2005; Wetzel, 2001). Integrasi kedua metode ini sangat penting untuk mengevaluasi kapasitas tampung air, laju sedimentasi, dan kerentanan danau terhadap eutrofikasi (Kummu & Varis, 2007; Sondergaard et al., 2005). Pemetaan batimetri merupakan metode fundamental dalam karakterisasi fisik perairan yang menyediakan data spasial kedalaman dan topografi dasar perairan (Lurton & Lamarche, 2015).

Analisis Morfometri

Studi terdahulu di berbagai belahan dunia telah menunjukkan efektivitas pendekatan terpadu batimetri-morfometri dalam pemantauan danau. Di Danau Tahoe, Amerika Serikat, pemetaan batimetri berbasis MBES berhasil mengidentifikasi pola sedimentasi kompleks yang berkontribusi terhadap penurunan kualitas air (Gardner et al., 2000). Di Danau Victoria, Afrika, analisis morfometri mengungkap hubungan antara perubahan bentuk cekungan dan produktivitas perikanan (Kolding et al., 2014). Sementara di Asia Tenggara, penelitian di Danau Tonle Sap, Kamboja, menunjukkan bahwa pendangkalan akibat sedimentasi telah mengurangi volume danau hingga 30% dalam 50 tahun terakhir (Arias et al., 2012). Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa tekanan serupa mungkin terjadi di Danau Perintis, namun belum ada kajian mendalam yang memverifikasi hipotesis tersebut.

Di Indonesia, beberapa studi telah mengaplikasikan pemetaan batimetri dan analisis morfometri untuk evaluasi danau. Penelitian di Danau Limboto oleh (Yunginger et al., 2024) mengungkapkan bahwa laju sedimentasi mencapai 5 cm/tahun, menyebabkan penyusutan luas permukaan sebesar 25% sejak 1990. Studi serupa di Danau Tondano oleh (Lukman, 2012) menunjukkan korelasi kuat antara perubahan morfometri dan peningkatan eutrofikasi. Namun, belum ada penelitian yang secara khusus memfokuskan pada Danau Perintis, padahal danau ini memiliki peran strategis sebagai sumber air irigasi dan habitat biodiversitas. Tujuan penelitian yaitu mengkaji kondisi batimetri dan morfometri Danau Perintis untuk menentukan kesesuaian wisata serta merumuskan rekomendasi pengelolaan berkelanjutan berdasarkan analisis fisik danau.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Danau Perintis Kabupaten Bone Bolango. Terletak pada koordinat 123° 8'36.52"E - 0°32'46.87"N dan 123° 9'6.66"E - 0°32'32.95"N. Terletak di Desa Huludotamo, Kecamatan Suwawa, Bone Bolango, ±13 km dari Kota Gorontalo (±25 menit perjalanan). Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif, dengan metode survei dan observasi lapangan.

Analisis Batimetri

Pembuatan batimetri menggunakan metode *Underwater Meter Gauge*, merupakan salah satu teknik yang cukup praktis untuk pengukuran kedalaman di perairan yang tidak terlalu dalam, terutama di daerah pesisir atau laut dangkal. Setelah dilakukan pengukuran, selanjutnya dilanjutkan dengan proses analisis pembuatan peta, dengan menggunakan analisis interpolasi *Spline with Barriers* pada *ArcMap*.

Melibatkan penggunaan data lapangan untuk menghitung berbagai dimensi permukaan dan bawah permukaan danau. Dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Dimensi permukaan (*surface dimension*)

No	Parameter	Perhitungan Data	Satuan
1	Panjang maksimum (Lmax)	Menghitung jarak arak antara dua stasiun di tepi danau	Meter
2	Lebar maksimum (Wmax)	menghitung jarak antara dua stasiun terjauh di tepi permukaan danau yang ditarik tegak lurus dengan panjang maksimum (Lmax)	Meter
3	Luas permukaan (A ₀)	Diamati dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcMap	Meter ²
4	Panjang Keliling Danau (SL)	erkirakan dan dianalisis dari peta batimetri melalui ArcMap	Meter

Tabel 2. Dimensi Bawah permukaan (*surface dimension*)

No	Parameter	Perhitungan Data	Satuan
1	Kedalaman Rata-Rata (Z)	$Z = \frac{V}{A_0}$	Meter
2	Kedalaman Maksimum (Zmax)	Batimetri dapat digunakan untuk mendapatkan data pengukuran kedalaman maksimum	Meter
3	Perkembangan Volume Danau (VD)	$VD = \frac{1}{3} \times (Z_{max} \times A_0)$	
4	Volume Total (V)	$V = A_0 \times Z$	Meter ³
5	Shoreline Development Index (SDI)	$SDI = \frac{SL}{2\sqrt{\pi A_0}}$	

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batimetri

Danau Perintis tergolong pada klasifikasi danau sangat kecil dengan luas 18,434 Ha atau 0,184 km² dimana kategori ukuran danau sangat kecil yaitu < 1 km². Hal ini pun sesuai dengan Nugroho et al., (2014) bahwa berdasarkan luas, danau dapat diklasifikasikan menjadi empat kategori, yakni (1) danau besar dengan luas 10.000-1.000.000 km², (2) danau medium dengan luas 100-10.000 km², (3) danau kecil dengan luas 1-100 km², dan (4) danau sangat kecil dengan luas < 1 km². Pola kontur memperlihatkan perubahan kedalaman di berbagai lokasi dengan nilai-nilai kedalaman yang ditunjukkan dalam angka negatif (dalam satuan meter). Semakin gelap gradasi warna biru, semakin dalam area

tersebut. Area terdalam berada pada bagian tengah hingga ke sisi-sisi tertentu, di mana kedalaman mencapai angka lebih dari -2,5 meter. Area dengan kontur lebih rapat menandakan perubahan kedalaman yang lebih tajam (lereng curam), sedangkan area dengan kontur yang lebih jarang menandakan perubahan kedalaman yang lebih landai. Pada bagian tepi terlihat area yang lebih dangkal dengan kedalaman -0,4 hingga -0,9). Kedalaman cenderung meningkat ke arah tengah (dengan nilai -2,7 hingga -3,5). Kontur yang lebih rapat menunjukkan lereng curam, yang mungkin terbentuk akibat roses tektonik, cekungan tengah dapat dihasilkan oleh aktivitas tektonik atau subsiden. Selanjutnya karna erosi lokal yaitu Lereng curam dapat terjadi akibat proses erosi lateral atau sedimentasi di tepi.

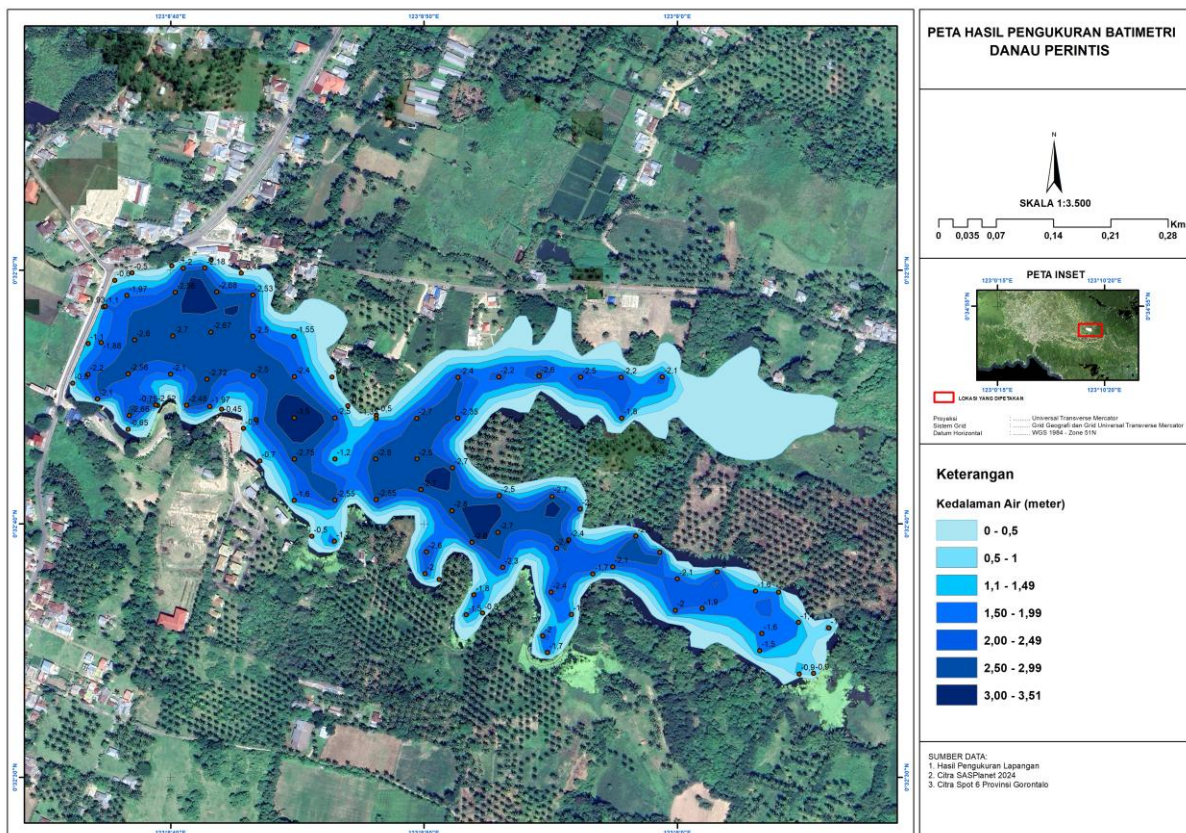
Tabel 3. Hasil Pengukuran Kedalaman Danau Perintis

No	Kedalaman Danau (Meter)	Koordinat	
		X	Y
1	-2	123° 8' 59,928" E	0° 32' 36,588" N
2	-2,1	123° 9' 0,006" E	0° 32' 37,830" N
3	-1,4	123° 9' 4,785" E	0° 32' 36,114" N
4	-1,6	123° 9' 3,995" E	0° 32' 37,301" N
5	-1,5	123° 9' 3,252" E	0° 32' 34,998" N
6	-1,9	123° 9' 0,990" E	0° 32' 36,660" N
7	-2,2	123° 8' 59,316" E	0° 32' 38,880" N
8	-2,3	123° 8' 58,362" E	0° 32' 39,516" N
9	-2,1	123° 8' 57,456" E	0° 32' 38,304" N
10	-1,7	123° 8' 56,670" E	0° 32' 38,022" N
11	-1,5	123° 8' 55,818" E	0° 32' 36,426" N
12	-1,7	123° 8' 54,875" E	0° 32' 34,925" N
13	-2	123° 8' 54,690" E	0° 32' 35,574" N
14	-2,4	123° 8' 55,020" E	0° 32' 37,302" N
15	-2,4	123° 8' 55,237" E	0° 32' 39,039" N
16	-2,4	123° 8' 55,704" E	0° 32' 39,363" N
17	-2	123° 8' 56,166" E	0° 32' 40,584" N
18	-2,7	123° 8' 55,054" E	0° 32' 41,082" N

No	Kedalaman Danau (Meter)	Koordinat	
		X	Y
19	-2,5	123° 8' 52,974" E	0° 32' 41,106" N
20	-2,7	123° 8' 52,914" E	0° 32' 39,666" N
21	-2,3	123° 8' 53,112" E	0° 32' 38,280" N
22	-0,8	123° 8' 52,314" E	0° 32' 36,480" N
23	-1,5	123° 8' 51,666" E	0° 32' 36,414" N
24	-1,8	123° 8' 51,966" E	0° 32' 37,200" N
25	-2,6	123° 8' 51,894" E	0° 32' 39,264" N
26	-2,6	123° 8' 50,100" E	0° 32' 38,892" N
27	-2	123° 8' 50,040" E	0° 32' 38,028" N
28	-0,6	123° 8' 50,598" E	0° 32' 37,806" N
29	-2,8	123° 8' 51,103" E	0° 32' 40,519" N
30	-2,7	123° 8' 51,126" E	0° 32' 42,210" N
31	-2,7	123° 8' 49,878" E	0° 32' 41,346" N
32	-1,6	123° 9' 3,336" E	0° 32' 35,676" N
33	-1,6	123° 9' 3,084" E	0° 32' 37,344" N
34	-2	123° 9' 1,578" E	0° 32' 38,106" N
35	-0,9	123° 9' 4,812" E	0° 32' 34,078" N
36	-0,9	123° 9' 5,376" E	0° 32' 34,104" N
37	-1,2	123° 9' 5,985" E	0° 32' 35,891" N
38	-0,8	123° 8' 36,139" E	0° 32' 45,544" N
39	-0,5	123° 8' 48,120" E	0° 32' 44,288" N
40	-0,5	123° 8' 46,994" E	0° 32' 44,659" N
41	-0,4	123° 8' 46,371" E	0° 32' 45,783" N
42	-0,65	123° 8' 38,322" E	0° 32' 43,729" N
43	-0,75	123° 8' 39,493" E	0° 32' 44,666" N
44	-0,45	123° 8' 42,007" E	0° 32' 44,516" N
45	-0,7	123° 8' 43,523" E	0° 32' 42,477" N
46	-0,9	123° 8' 42,870" E	0° 32' 43,762" N
47	-1,1	123° 8' 36,746" E	0° 32' 47,113" N
48	-0,5	123° 8' 45,578" E	0° 32' 39,505" N
49	-1,1	123° 8' 37,344" E	0° 32' 48,558" N
50	-0,6	123° 8' 37,793" E	0° 32' 49,603" N
51	-0,5	123° 8' 38,473" E	0° 32' 49,899" N
52	-0,4	123° 8' 40,043" E	0° 32' 50,171" N
53	-0,35	123° 8' 41,596" E	0° 32' 50,414" N
54	-0,45	123° 8' 42,786" E	0° 32' 49,884" N
55	-1,88	123° 8' 37,258" E	0° 32' 47,150" N
56	-1,93	123° 8' 37,424" E	0° 32' 48,575" N
57	-1,97	123° 8' 38,276" E	0° 32' 49,006" N
58	-1,97	123° 8' 41,544" E	0° 32' 44,628" N
59	-2	123° 8' 40,500" E	0° 32' 50,076" N
60	-2,1	123° 8' 39,995" E	0° 32' 45,901" N
61	-2,1	123° 8' 37,113" E	0° 32' 44,924" N
62	-2,18	123° 8' 41,354" E	0° 32' 50,087" N
63	-2,2	123° 8' 36,737" E	0° 32' 45,894" N
64	-2,48	123° 8' 40,634" E	0° 32' 44,675" N
65	-2,52	123° 8' 39,414" E	0° 32' 44,688" N
66	-2,56	123° 8' 40,179" E	0° 32' 49,131" N
67	-2,56	123° 8' 38,318" E	0° 32' 45,914" N
68	-2,6	123° 8' 38,576" E	0° 32' 47,254" N
69	-2,66	123° 8' 38,369" E	0° 32' 44,272" N
70	-2,67	123° 8' 41,593" E	0° 32' 47,562" N
71	-2,68	123° 8' 41,823" E	0° 32' 49,148" N
72	-2,7	123° 8' 40,088" E	0° 32' 47,406" N
73	-2,72	123° 8' 41,436" E	0° 32' 45,702" N
74	-1,95	123° 8' 43,373" E	0° 32' 44,107" N
75	-2,35	123° 8' 51,341" E	0° 32' 44,166" N

No	Kedalaman Danau (Meter)	Koordinat	
		X	Y
76	-2,7	123° 8' 49,713" E	0° 32' 44,160" N
77	-2,5	123° 8' 49,723" E	0° 32' 42,554" N
78	-2,8	123° 8' 48,099" E	0° 32' 42,553" N
79	-2,55	123° 8' 48,113" E	0° 32' 40,952" N
80	-2,55	123° 8' 46,485" E	0° 32' 40,933" N
81	-1,7	123° 8' 46,467" E	0° 32' 39,315" N
82	-1,2	123° 8' 46,491" E	0° 32' 42,561" N
83	-2,5	123° 8' 46,487" E	0° 32' 44,179" N
84	-1,6	123° 8' 44,877" E	0° 32' 40,928" N
85	-2,5	123° 8' 43,258" E	0° 32' 45,832" N
86	-2,75	123° 8' 44,887" E	0° 32' 42,557" N
87	-3,5	123° 8' 44,875" E	0° 32' 44,174" N
88	-1,35	123° 8' 48,114" E	0° 32' 44,160" N
89	-2,4	123° 8' 44,885" E	0° 32' 45,806" N
90	-1,55	123° 8' 44,870" E	0° 32' 47,401" N
91	-2,5	123° 8' 43,260" E	0° 32' 47,397" N
92	-2,53	123° 8' 43,249" E	0° 32' 49,025" N
93	-2,6	123° 8' 54,546" E	0° 32' 45,822" N
94	-2,5	123° 8' 56,190" E	0° 32' 45,784" N
95	-2,2	123° 8' 57,789" E	0° 32' 45,774" N
96	-2,1	123° 8' 59,410" E	0° 32' 45,793" N
97	-1,8	123° 8' 57,804" E	0° 32' 44,170" N
98	-2,2	123° 8' 52,956" E	0° 32' 45,798" N
99	-2,4	123° 8' 51,344" E	0° 32' 45,773" N

Sumber: Hasil Data Pengukuran, 2025



Gambar 2. Peta Batimetri Danau Perintis
Sumber: Hasil olah data penelitian, 2025

Teori geomorfologi dan penelitian oleh (Weng et al., 2004) menekankan bahwa daerah dengan lereng curam lebih rentan terhadap perubahan

morfologi akibat fluktuasi hidrologi. Daerah dangkal yang ditandai dengan nilai kontur kedalaman rendah -0,4 hingga -1,0) dapat menjadi habitat vegetasi air. Menurut Wetzel, 2001 dalam *Limnology Lake and River Ecosystems*, pola batimetri memiliki peran penting dalam menentukan distribusi habitat akuatik. Area dengan kedalaman bervariasi memungkinkan pembentukan zona ekologis yang berbeda, seperti Kedalaman -0,4 hingga -1,0 meter biasanya mendukung vegetasi akuatik yang penting bagi filtrasi nutrisi, habitat ikan kecil, stabilisasi sedimen dan menarik minat pengamat alam (Wetlands International, 2021). Wilayah ini menjadi zona potensial untuk wisata minat khusus seperti *birdwatching*, fotografi alam, dan wisata edukasi ekosistem.

Vegetasi air seperti eceng gondok dan kiambang menjadi tempat bersarang dan mencari makan burung air, seperti: Kowak malam kelabu, Cagak abu dan Mandarin duck (jika terdapat migrasi musiman) (Bibby et al., 2000). Vegetasi air yang terlalu lebat resiko tersangkut atau melilit dayung/mesin perahu kecil, mempercepat penumpukan bahan organik, menurunkan oksigen terlarut (OECD, 2017). Solusinya yaitu pembersihan jalur khusus untuk rute kano/kayak (DLH Bone Bolango, 2023)

Area dengan kedalaman lebih dari -2,5 meter sering menjadi tempat akumulasi sedimen organik dan anorganik, serta mendukung spesies organisme yang toleran terhadap rendahnya oksigen. Selaras dengan (Meerhoff & de los Angeles González-Sagrario, 2022) menunjukkan bahwa distribusi kedalaman memengaruhi sirkulasi termal dan kandungan oksigen di badan air, yang berimplikasi langsung pada keanekaragaman hayati. Akumulasi sedimen organik (daun mati, sisa tanaman, limbah alam) di zona terdalam memicu dekomposisi tanpa oksigen, menghasilkan Gas H₂S (bau telur busuk) dan Metana (CH₄) yang mempercepat eutrofikasi

(Wetzel, 2001). Studi di Danau Tempe (Sulawesi) menunjukkan korelasi positif antara ketebalan sedimen dan penurunan kualitas air (KLHK, 2022). Survei Dinas Pariwisata Bone Bolango (2023) mengungkap 68% wisatawan mengeluh bau tidak sedap saat musim kemarau (saat stratifikasi termal memicu pelepasan gas dari sedimen) berdampak pada penurunan minat pengunjung.

Kedalaman memengaruhi distribusi cahaya, suhu, dan kandungan oksigen, yang berdampak pada proses biogeokimia. Studi terbaru dari (Salmaso & Braioni, 2022) menunjukkan bahwa daerah dangkal mendukung fotosintesis karena penetrasi cahaya yang lebih baik. Vegetasi akuatik, seperti eceng gondok berkembang di kedalaman kurang dari -1 meter. Daerah dalam merupakan zona pengendapan materi organik dan zona anoksik (rendah oksigen) pada musim panas akibat stratifikasi termal.

Pola kontur dan distribusi kedalaman memberikan petunjuk penting bagi habitat ikan. Area dangkal yang kaya akan vegetasi akuatik dapat berfungsi sebagai pelindung terhadap erosi tepi dan menyediakan ekosistem penting bagi spesies air seperti amfibi dan burung air. Penelitian oleh (Ferreira et al., 2023) menunjukkan bahwa pengelolaan danau harus mempertimbangkan dinamika zona ekologis ini untuk menjaga keseimbangan ekosistem.

Morfometri

Danau Perintis menunjukkan karakteristik sebagai danau dangkal dengan morfometri yang kompleks. Panjang maksimum danau mencapai 986,22 m dengan lebar maksimum 245,36 m, menunjukkan bentuk memanjang dengan rasio aspek (Lmax/Wmax) sebesar 4,02. Nilai ini mengindikasikan pola aliran air yang dominan satu arah, sesuai dengan temuan Hakanson (1981) bahwa danau dengan rasio aspek >3 cenderung memiliki sirkulasi air yang kurang baik.

Tabel 4. Hasil perhitungan dimensi permukaan (*surface dimension*)

No	Parameter	Perhitungan Data	Satuan
1	Panjang maksimum (Lmax)	986,22	Meter
2	Lebar maksimum (Wmax)	245,36	Meter
3	Luas permukaan (A ₀)	184.339,08	Meter ²
4	Panjang Keliling Danau (SL)	4.458,62	Meter

Sumber: Hasil olah data penelitian, 2025

Tabel 5. Hasil perhitungan dimensi bawah permukaan (*surface dimension*)

No	Parameter	Perhitungan Data	Satuan
1	Kedalaman Rata-Rata (Z)	1,88	Meter
2	Kedalaman Maksimum (Zmax)	3,51	Meter
3	Perkembangan Volume Danau (VD)	1,61	
4	Volume Total (V)	346. 557,47	Meter ³
5	<i>Shoreline Development Index</i> (SDI)	1,84	

Sumber: Hasil olah data penelitian, 2025

Dampak pada kualitas air konsentrasi fosfat di zona stagnan 3x lebih tinggi daripada inlet (DLH Bone Bolango, 2023), sehingga *water bloom* hijau kebiruan saat musim kemarau. Hasil survei Dinas Pariwisata, 2023 keluhan wisatawan 62% air keruh sebagai

faktor ketidaknyamanan utama dan bau menyengat di sore hari saat dekomposisi alga meningkat.

Nilai SDI 1.84 termasuk dalam kategori danau dengan bentuk cukup kompleks (Wetzel, 2001), yang menunjukkan adanya beberapa teluk atau

semenanjung. Littoral zone (area dangkal <3m) yang ekstensif ($\pm 40\%$ luas danau). Kondisi ini menciptakan habitat littoral yang beragam namun berpotensi meningkatkan resuspensi sedimen. Variasi habitat seperti rawa vegetasi, zona batuan, dan substrat lumpur. Keragaman habitat littoral dapat mendukung pariwisata seperti program "Eksplorasi Rawa" untuk siswa/mahasiswa, mempelajari rantai makanan di zona littoral.

Kedalaman rata-rata danau sebesar 1.88 m dengan kedalaman maksimum 3.51 m mengklasifikasikan Danau Perintis sebagai danau *polymictic* (sering mengalami pencampuran vertikal). Danau Perintis yang relatif dangkal memiliki implikasi signifikan terhadap jenis aktivitas wisata air yang dapat dikembangkan yaitu pembatasan perahu motor besar (speedboat) hanya perahu kecil berbobot ringan (misalnya perahu fiber atau jukung tradisional) yang dapat beroperasi (Maritime Safety Committee, 2021). Kedalaman 1,88 m ideal untuk kayak/kano karena tidak memerlukan draft dalam (kayak hanya membutuhkan $\pm 0,5$ m) dan aman untuk pemula, resiko tenggelam rendah. Dasar danau yang bervegetasi dapat mengurangi kenyamanan untuk berenang sehinganya perlu penetapan zona khusus berenang dengan dasar yang telah dibersihkan dan pemasangan pelampung pembatas untuk keamanan (DLH Bone Bolango, 2023; Smith, J. et al., 2020).

Rasio kedalaman (Z_{max}/Z_{mean}) sebesar 1.87 menunjukkan dasar danau yang relatif landai, berbeda dengan danau-danau tektonik yang biasanya memiliki rasio >3 . Rasio Z_{max}/Z_{mean} 1,87 mengindikasikan dasar danau sangat tidak beraturan dengan zona dalam terisolasi, mempercepat akumulasi sedimen organik di cekungan dalam dan ketidakstabilan stratifikasi termal (perbedaan suhu vertikal $>4^{\circ}\text{C}$). Volume total air danau sebesar $346.557,47 \text{ m}^3$ dengan nilai perkembangan volume (VD) 1.61 mengindikasikan kapasitas tampung air yang terbatas. nilai VD <2 menunjukkan Danau Perintis dengan bentuk cekungan yang sederhana dan berpotensi mengalami pendangkalan cepat akibat sedimentasi.

Nilai VD 1,61 menunjukkan kapasitas penampungan air rendah dengan laju sedimentasi 0,8-1,2 cm/tahun (KLHK, 2023), setara kehilangan 3,2% volume air/tahun. Aktivitas wisata yang terancam diantaranya zona aman berenang ($<1,5\text{m}$) menyusut dari 12 ha $\rightarrow$ 4 ha dalam 5 tahun dan perlu modifikasi struktur dermaga apung tiap 2 tahun akibat perubahan garis danau. Solusi mitigasi sedimentasi dapat dilakukan 3 pendekatan yaitu Vegetatif (tanaman filter *Vetiveria zizanioides* di inlet reduksi sedimen 40%) dan Struktural (Sediment trap berbasis IoT contoh sukses di Danau Tondano) (Balitbangda Sulut, 2023; Truong, 2021) serta kemitraan petani-pengelola wisata bagi hasil tiket untuk insentif konservasi agar meningkatkan partisipasi aktif petani dalam konservasi Danau Perintis dampaknya mengubah pola pikir petani dari

eksploitatif menjadi konservatif. Studi di Danau Batur (Bali) menunjukkan partisipasi petani naik 142% dalam 3 tahun (Bali Provincial Tourism Office, 2023).

E. SIMPULAN

Hasil analisis batimetri dan morfometri mengungkapkan bahwa Danau Perintis merupakan perairan dangkal (kedalaman rata-rata 1,88 m) dengan karakteristik morfologi yang kompleks. SDI sebesar 1,84 menunjukkan bentuk danau yang tidak beraturan dengan habitat littoral yang beragam, sementara rasio aspek 4,02 mencerminkan pola sirkulasi air satu arah yang kurang optimal. Karakteristik morfometri seperti nilai Perkembangan Volume 1,61 dan rasio Z_{max}/Z_{mean} 1,87 menunjukkan kerentanan tinggi terhadap pendangkalan, ketidakstabilan stratifikasi termal, serta akumulasi sedimen organik. Perlunya pendekatan pengelolaan berbasis zonasi ekologis yang meliputi pengendalian input sedimen, konservasi zona littoral, dan pemantauan batimetri berkala untuk keberlanjutan ekosistem Danau Perintis. Solusi mitigasi sedimentasi dapat dilakukan 3 pendekatan yaitu Vegetatif (tanaman filter *Vetiveria zizanioides* di inlet reduksi sedimen 40%) dan Struktural (Sediment trap berbasis IoT serta kemitraan petani-pengelola wisata bagi hasil tiket untuk insentif konservasi agar meningkatkan partisipasi aktif petani dalam konservasi Danau Perintis dampaknya mengubah pola pikir petani dari eksploitatif menjadi konservatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Arias, M. E., Cochrane, T. A., Piman, T., Kummu, M., Caruso, B. S., & Killeen, T. J. (2012). Quantifying changes in flooding and habitats in the Tonle Sap Lake (Cambodia) caused by water infrastructure development and climate change in the Mekong Basin. *Journal of Environmental Management*, 112, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.003>
- Arik Agustina, & Aprinica, N. P. I. (2022). Dampak pariwisata terhadap pencemaran air danau batur kabupaten bangli. *Jurnal Ilmiah Hospitality Management*, 12(2), 81–89. <https://doi.org/10.22334/jihm.v12i2.189>
- Adnan, M., Nurjaya, I. W., & Supriharyono. (2023). Bathymetric Mapping and Sedimentation Analysis in Tropical Lakes Using Multibeam Sonar. *Journal of Hydrology*, 615, 128634
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2023). Data iklim stasiun [nama stasiun terdekat Danau Perintis. <https://dataonline.bmkg.go.id>
- Badan Geologi Indonesia. (2022). Panduan mitigasi bencana perairan darat. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. <https://www.contohlink.com/panduan-mitigasi>

- Bali Provincial Tourism Office. (2023). Community-based lake conservation program: 3-year evaluation report on farmer participation in Lake Batur conservation. Bali Tourism Board. <https://www.balitourismboard.go.id/reports>
- Balitbangda Sulawesi Utara. (2023). Laporan kinerja sediment trap IoT Danau Tondano 2020-2023. Pemerintah Provinsi Sulut
- Birk, S., Bonne, W., Borja, A., Brucet, S., Courrat, A., Poikane, S., Solimini, A., Van De Bund, W., Zampoukas, N., & Hering, D. (2012). Three hundred ways to assess Europe's surface waters: An almost complete overview of biological methods to implement the Water Framework Directive. *Ecological Indicators*, 18(July), 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.10.009>
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., & Mustoe, S. (2000). *Bird census techniques* (2nd ed.). Academic Press.
- Dinas Lingkungan Hidup Bone Bolango (2023), Laporan Pemantauan Ekosistem Danau Perintis, Pemerintah Kabupaten Bone Bolango
- Dinas Pariwisata Kabupaten Bone Bolango. (2023). Survei kepuasan wisatawan Danau Perintis. Bone Bolango: Dinas Pariwisata.
- Ferreira, T., Crossetti, L. O., & Becker, V. (2023). Ecological zonation in shallow lakes: Implications for conservation and management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 33(2), 145-160
- Gardner, J. V., et al. (2000). Bathymetry and Selected Perspective Views of Lake Tahoe. USGS Water-Resources Investigations Report 00-4226.
- Hakanson, L. (2005). The importance of lake morphometry for the structure and function of lakes. *International Review of Hydrobiology*, 90(4), 433–461. <https://doi.org/10.1002/iroh.200410775>
- Hakim, L., Soewardi, K., & Hariyadi, S. (2019). Batimetri dan aplikasinya dalam pengelolaan danau. *Jurnal Limnologi Indonesia*, 12(2), 45-60.
- Hare, R., Eakins, B., & Amante, C. (2011). Modelling Bathymetric Uncertainty. *International Hydrographic Review*, 1(November), 607–614.
- Kalff, J. (2002). *Limnology: Inland water ecosystems*. Prentice Hall.
- Kolding, J., Medard, M., Mkumbo, O., & van Zwieten, P. (2014). Status, trends and management of the Lake Victoria Fisheries FAO Fisheries Technical Paper 579. November 2015, 1–19.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2022). Laporan studi kualitas air Danau Tempe, Sulawesi. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. <https://www.menlhk.go.id/portal/uploads/publikasi/laporan-danau-tempe-2022>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023). Peraturan KLHK No. P.10/2023 tentang pengelolaan danau berkelanjutan
- Kummu, M., & Varis, O. (2007). Sediment-related impacts due to upstream reservoir trapping, the Lower Mekong River. *Geomorphology*, 85(3–4), 275–293. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.03.024>
- Lukman. (2012). Evaluasi Keseimbangan Fosfor di Danau Toba. In *Seminar Nasional Limnologi VI*.
- Lurton, X., & Lamarche, G. (2015). Backscatter measurements by seafloor-mapping sonar - Guidelines and Recommendations. May. https://doi.org/10.1007/978-3-642-01878-7_2
- Meerhoff, M., & de los Angeles González-Sagrario, M. (2022). Habitat complexity in shallow lakes and ponds: importance, threats, and potential for restoration. *Hydrobiologia*, 849(17–18), 3737–3760. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04771-y>
- Maritime Safety Committee (IMO). (2021). Guidelines for vessel operations in shallow waters (3rd ed.). International Maritime Organization. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104567
- Melo, R. H., Fatimah, S., & Niode, S. (2022). Peran Sektor Pariwisata Dalam Pengembangan Ekonomi Lokal: Studi Kasus Danau Perintis Kecamatan Suwawa Kabupaten Bone Bolango. *Geosfera: Jurnal Penelitian Geografi (GeoJPG)* 1(2), 81–85. DOI: <https://10.34312/geojpg.v1i2.26521>
- Navarro Jurado, E., Tejada Tejada, M., Almeida García, F., Cabello González, J., Cortés Macías, R., Delgado Peña, J., Fernández Gutiérrez, F., Gutiérrez Fernández, G., Luque Gallego, M., Málvarez García, G., Marcenaro Gutiérrez, O., Navas Concha, F., Ruiz de la Ría, J., Ruiz Sinoga, F., & Solís Becerra, F. (2012). Carrying capacity assessment for tourist destinations: Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area. *Tourism Management*, 33(6), 1337–1346. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.12.017>
- OECD. (2017), *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment, and Control*, OECD Publishing, Paris
- Rahmawati A., Damiti, Dewi W. K., Baderan, & Hamidun, M. S. (2025). Investasi dan Konservasi di Danau Perintis. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Teknologi Dalam Ilmu Tanaman*, 2(2), 28-33. DOI: <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i2.330>

- Rifai, A., Wibowo, H., & Suryono, T. (2020). Geospatial analysis for lake tourism planning. *Journal of Environmental Management*, 265, 110532. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110532>
- Smith, J. et al. (2020). "Impacts of shallow water depth on recreational activities: A case study of tropical lakes". *Journal of Ecotourism*, 15(2), 45-60. DOI: 10.1080/14724049.2020.1753912
- Sondergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J. P., & Amsinck, S. L. (2005). Water Framework Directive: Ecological classification of Danish lakes. *Journal of Applied Ecology*, 42(4), 616–629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01040.x>
- Truong, P., & Tan, V. (2021). *Vetiver grass for sediment control in tropical watersheds* (3rd ed.). The Vetiver Network International. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15432.70401>
- UNEP. (2018). *Guidelines for sustainable tourism in inland water bodies*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/guidelines-sustainable-tourism>
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467–483. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.11.005>
- Yunginger, R., Patuti, I. M., Supu, I., Gafur, N. A., Zulkifli, M., Hasan, E., Masrurah, Z., Zulaikah, S., & Tisen, T. (2024). Morphometric characteristics of Lake Limboto as critical lake in Gorontalo Province, Indonesia. *Jurnal Natural*, 24(2), 99–106. <https://doi.org/10.24815/jn.v24i2.34071>