

Vol. 5 No. 2 (2024), Halaman 240-247



GEOGRAPHIA

Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi

ISSN: 2774-6968

PEMAHAMAN GEOMETRI DANAU TONDANO MELALUI PENDEKATAN BATIMETRI DAN MORFOMETRIK

Joyce Christian Kumaat^{1*}, Aghata Archenta Tumengkol², Christian Beckham Liuw³

^{123*}Program Studi Geografi Universitas Negeri Manado, Indonesia

Email: joykekumaat@unima.ac.id^{1*}, aa.tumengkol@unima.ac.id², liuwchristianbeckham@gmail.com³

Website Jurnal: <http://ejurnal.unima.ac.id/index.php/geographia>



Akses dibawah lisensi CC BY-SA 4.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

DOI: 10.53682/gjppg.v5i2.11313

(Diterima: 17-06-2024; Direvisi: 15-07-2024; Disetujui: 15-12-2024)

ABSTRACT

In order to understand the geometric characteristics of Lake Tondano and to obtain a comprehensive picture of the lake's geomorphological structure and dynamics, this study utilized various descriptive-analytical approaches. These approaches included hydrographic surveys, spatial analysis techniques, bathymetry, and morphometrics. The bathymetric analysis of Lake Tondano reveals a maximum depth of 30.22 meters, with a total water volume of 590,647,445.7 m³. Morphometric analysis yielded a maximum length of 11,024.75 meters, a maximum width of 2,940.01 meters, a surface area of 45,434,418.9 m², and a circumference length of 43,121.56 meters. The results indicate that the contour map and 3D visualization depict detailed information regarding depth variations and bottom topography. The average depth of 13.00 meters exerts a substantial influence on water productivity and nutrient distribution. The volume development (VD) value of 1.29 suggests that Lake Tondano is a shallow lake with a flat bottom. This research underscores the necessity for regular monitoring of water volume changes to comprehend ecosystem dynamics and the impacts of human activities. The study's findings underscore the significance of a comprehensive understanding of morphometric parameters and water volume in managing water resources, formulating conservation policies, and advancing research in aquatic ecology within Lake Tondano.

Keywords: Bathymetry, Hydrographic survey, Lake Tondano, Morphometrics, Water Resources

ABSTRAK

Untuk memahami karakteristik geometri Danau Tondano guna memperoleh gambaran menyeluruh tentang struktur dan dinamika geomorfologi danau, studi ini menggunakan berbagai pendekatan deskriptif-analitis melalui survei hidrografi, teknik analisis spasial, batimetri, dan morfometrik. Hasil batimetri danau tondano menunjukkan kedalaman maksimal mencapai 30,22 meter dengan volume total air 590.647.445,7 m³. Analisis morfometrik menunjukkan panjang maksimum 11.024,75 meter, lebar maksimum 2.940,01 meter, luas permukaan 45.434.418,9 m², dan panjang keliling 43.121,56 meter. Hasil penelitian memberikan pemahaman bahwa peta kontur dan visualisasi 3D menggambarkan informasi mendetail terkait variasi kedalaman dan topografi dasar. Kedalaman rata-rata 13,00 meter, berpengaruh signifikan terhadap produktivitas perairan dan distribusi nutrisi. Sedangkan nilai perkembangan volume (VD) sebesar 1,29 mengindikasikan Danau Tondano sebagai danau dangkal

dengan dasar yang rata. Penelitian ini menekankan pentingnya pemantauan rutin terhadap perubahan volume air untuk memahami dinamika ekosistem dan dampak aktivitas manusia. Dengan pemahaman mendalam mengenai parameter morfometrik dan volume air, studi ini menyediakan landasan yang kuat untuk pengelolaan sumber daya air, kebijakan konservasi, dan penelitian ekologi perairan di Danau Tondano.

Kata Kunci: Danau Tondano, Morfometrik, Batimetri, Survei Hidrografi, Sumber Daya Air

PENDAHULUAN

Pemahaman mengenai geometri Danau Tondano melalui pendekatan Batimetri dan morfometrik dapat diperoleh dari studi yang menggunakan berbagai metodologi untuk menganalisis karakteristik danau. Analisis morfometrik adalah deskripsi kuantitatif dari sistem drainase dan geometri cekungan, yang penting untuk memahami proses hidrologi dan pengelolaan sumber daya air (Casas-Ruiz et al., 2021; Choiński & Zieliński, 2021; Dumpis et al., 2022; Hollister & Stachelek, 2017). Parameter morfometrik dari sebuah cekungan, termasuk bentuk, kemiringan, elongasi, dan kerapatan drainase, sangat penting untuk pengelolaan air dan dapat diperoleh menggunakan alat Sistem Informasi Geografis (Rai et al., 2020). Menariknya, meskipun (Hikmatullah et al., 2000) menyatakan bahwa kondisi hidrologi dan tanah di daerah tangkapan Tondano belum mengalami degradasi serius akibat erosi yang dapat menyebabkan sedimentasi, studi lain menyoroti adanya masalah lingkungan seperti proliferasi Eceng Gondok yang mengindikasikan eutrofikasi dan dapat mempengaruhi morfometri danau (Wantasen & Luntungan, 2019), selain itu pengukuran Batimetri di Danau Tondano menunjukkan dari hasil survey kedalamannya ternyata mencapai -30.22 meter sedangkan sedimentasi terus berlangsung (Moningkey et al., 2022). Selain itu, penggunaan analisis morfometrik dalam konteks Danau Tondano belum secara langsung dibahas dalam makalah yang disediakan (Murnisulistyaningsih et al., 2021), yang lebih fokus pada berbagai aspek ekologi dan pengelolaan danau. Singkatnya, meskipun makalah yang disediakan tidak secara langsung membahas analisis morfometrik Danau Tondano, tetapi memberikan wawasan tentang status ekologis dan tantangan pengelolaan danau. Studi morfometrik yang komprehensif tentang Danau Tondano kemungkinan akan melibatkan analisis geometri cekungan dan karakteristik drainase menggunakan alat Sistem Informasi Geografis,

seperti yang dijelaskan dalam konteks Cekungan Sungai Varuna (Rai et al., 2020; Varshney & Shukla, 2022), kemudian di Danau Kisezers, dipengaruhi oleh faktor lingkungan dan sangat penting untuk memahami potensi eksploitasi dan kelestarian lingkungan (Dumpis et al., 2022). Analisis semacam itu akan sangat berharga untuk pengelolaan berkelanjutan sumber daya air Danau Tondano dan ekosistem sekitarnya.

Dalam pemetaan morfometri danau, analisis mencakup pengukuran dan evaluasi berbagai parameter yang menggambarkan bentuk dan ukuran danau serta karakteristik hidrologinya. Metrik morfometri danau sangat penting untuk studi limnologi, karena metrik ini memberikan wawasan tentang proses di dalam danau dan dapat memprediksi beberapa metrik morfometri danau (Hollister & Stachelek, 2017). Singkatnya, pemetaan morfometri danau merupakan komponen penting untuk memahami dinamika hidrologi dan ekologi danau. Alat seperti *lakemorpho* berperan penting dalam memperkirakan metrik morfometri danau, terutama ketika pengukuran langsung tidak tersedia (Hollister & Stachelek, 2017). Studi seperti yang dilakukan di Danau Kisezers menyoroti pentingnya dinamika morfometri dalam keberlanjutan lingkungan dan pemahaman rezim hidrologi (Dumpis et al., 2022). Parameter-parameter ini termasuk luas permukaan, panjang garis pantai, panjang sumbu mayor dan minor, rasio panjang sumbu mayor dan minor, pengembangan garis pantai, kedalaman maksimum, kedalaman rata-rata, volume, panjang danau maksimum, lebar danau rata-rata, lebar danau maksimum, dan jarak angin atau *fetch* (Hollister & Stachelek, 2017). Selain itu, indeks pengembangan garis pantai, yang merupakan rasio antara panjang garis pantai danau dan keliling lingkaran dengan luas area yang sama, juga dianalisis sebagai metrik inti dalam morfometri danau (Seekell et al., 2022).

Beberapa penelitian juga menyoroti pentingnya parameter morfometri lain seperti

faktor bentuk, koefisien kompak, rasio elongasi, dan rasio sirkularitas, yang berasal dari luas, perimeter, dan panjang danau (Jacob et al., 2022). Analisis ini membantu dalam memahami respons hidrologis dari daerah tangkapan terhadap peristiwa hujan dan dalam pengelolaan sumber daya air (Sousa et al., 2023). Namun, penting untuk dicatat bahwa indeks pengembangan garis pantai bersifat skala-tergantung dan tidak dapat digunakan untuk membandingkan danau dengan luas yang berbeda tanpa koreksi bias (Seekell et al., 2022). Pemahaman geometri danau seperti di Danau Tondano, informasinya masih sangat kurang sehingga penelitian ini diharapkan bisa memberikan sumbangan ilmu pengetahuan khususnya pengelolaan danau. Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur dan mengevaluasi parameter morfometri danau, termasuk luas permukaan, panjang garis pantai, panjang sumbu mayor dan minor, rasio panjang sumbu mayor dan minor, pengembangan garis pantai, kedalaman maksimum, kedalaman rata-rata, volume, panjang danau maksimum, lebar danau rata-rata, dan lebar danau maksimum.

METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian ini bersifat kuantitatif dengan metode deskriptif-analitis yang bertujuan untuk memahami karakteristik geometri Danau Tondano melalui analisis batimetri, morfometrik, survei hidrografi dan teknik analisis spasial. Studi ini menggunakan kombinasi pemetaan dasar danau dengan teknik hidrografi serta pemodelan spasial untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai struktur dan dinamika geomorfologi danau.

Teknik analisis data dimulai dengan pengukuran Garis pantai Danau Tondano didigitasi menggunakan sistem informasi geografis ArcGIS 10.8 ESRI, dengan citra satelit Sentinel L2A yang telah dikoreksi secara atmosferik, dan direferensikan menggunakan sistem koordinat *Universal Transversal Mercator* (UTM) zona 51N dan datum World Geodetic Datum (WGS) 1984. *Shapefile* poligon yang dihasilkan mempertahankan proyeksi dan datum tersebut. Garis survei batimetri dipetakan pada *shapefile* poligon dengan jarak 50 m sepanjang sumbu memanjang danau. Survei hidrografi dilakukan pada Mei 2024 menggunakan sistem *echosounder* Garmin GPSMAP 585 yang

terdiri dari transduser sinar tunggal 200 kHz dan teknologi Sonar CHIRP, yang mengirimkan sapuan frekuensi terus menerus dari rendah ke tinggi untuk meningkatkan resolusi dan akurasi data. Navigasi di sepanjang jalur survei diorientasikan dengan *shapefile* transek yang ditampilkan menggunakan ArcMap 10.8 ESRI pada penerima GPS, dengan informasi spasial yang ditentukan berdasarkan proyeksi UTM dan datum WGS 1984. Kapal bergerak dengan kecepatan maksimum 5,0 km/jam (2,7 knot) selama survei untuk memastikan akurasi data yang dikumpulkan (Kumaat et al., 2014; Tendean et al., 2020).

Data X, Y, dan Z (*easting*, *northing*, dan kedalaman) diunduh ke perangkat lunak *Basecamp* dan kemudian diekspor sebagai file teks (J. Kumaat et al., 2019; J. C. Kumaat et al., 2021). Di ArcGIS 10.8, file teks tersebut dikonversi menjadi fitur titik dalam format *shapefile*, dan tabel atribut dari *shapefile* nilai kedalaman diedit untuk mengidentifikasi dan menghapus lonjakan kedalaman. *Shapefile* garis pantai danau dikonversi dari poligon menjadi file titik, menghasilkan 4.195 titik garis pantai yang ditetapkan pada kedalaman nol. *Shapefile* ini kemudian digabungkan ke dalam *shapefile* survei batimetri. Prosedur interpolasi untuk menghasilkan model permukaan dari data batimetri dilakukan dengan *Ordinary Kriging* menggunakan ekstensi ESRI *Geostatistical Analyst* (Alcaras et al., 2020), yang melibatkan pemodelan semivariogram, pencarian lingkungan, dan validasi silang. Peta batimetri yang dihasilkan disajikan dengan *isobath* 4,0 m.

Selanjutnya, pada analisis morfometri danau, ada dua dimensi yang berbeda yang diperhitungkan dimensi permukaan dan dimensi bawah permukaan. Analisis dimensi permukaan melibatkan penilaian parameter seperti luas permukaan Danau (A_0), panjang maksimum (L_{max}), lebar maksimum (W_{max}) dan panjang keliling Danau (SL) (Fauzi et al., 2022; Yanti Siregar et al., 2020). Di sisi lain, analisis dimensi bawah permukaan berfokus pada parameter yang berhubungan dengan kedalaman seperti kedalaman rata-rata (Z), kedalaman maksimum (Z_{max}), volume total (V), dan perkembangan volume Danau (V_d) (Barroso et al., 2014; Yanti Siregar et al., 2020). Singkatnya, analisis morfometri Danau Tondano melalui dimensi permukaan dan bawah permukaan memberikan wawasan yang berharga tentang karakteristik dan dinamika

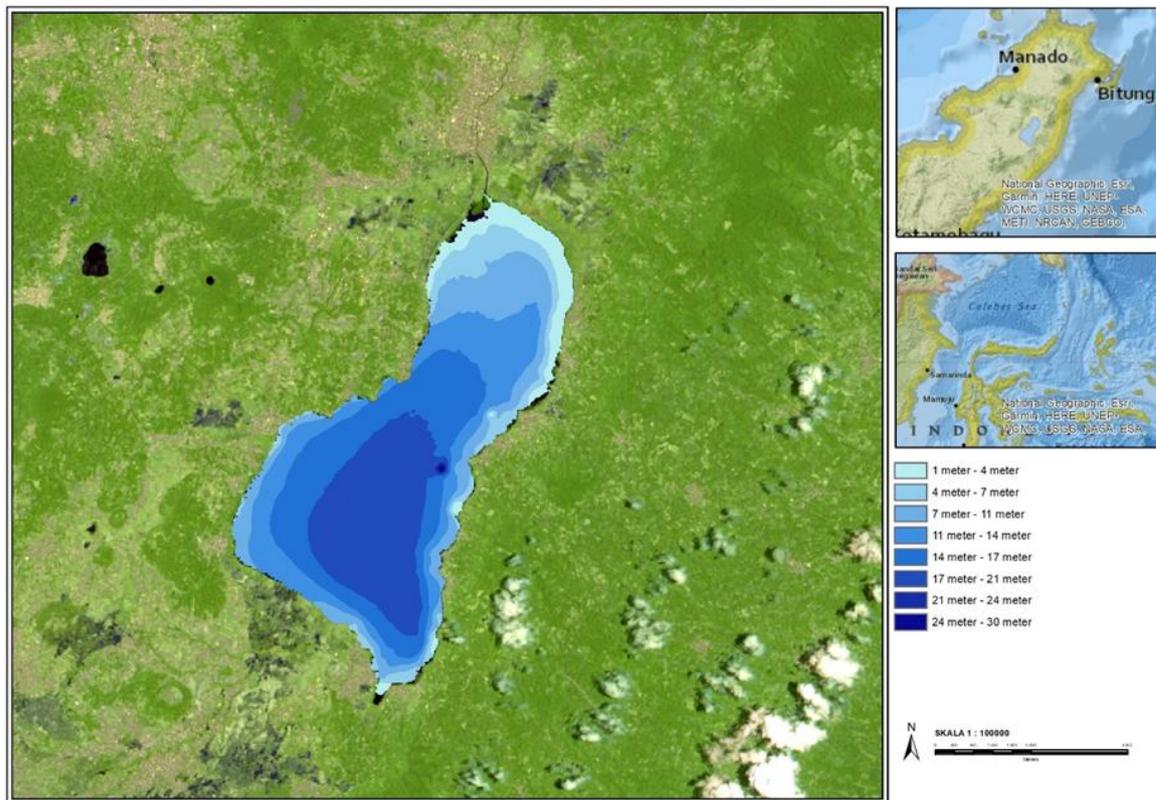
ekosistem danau. Parameter dimensi permukaan seperti luas dan panjang keliling danau memberikan informasi mengenai bentuk danau dan potensi produktivitas, sedangkan parameter dimensi bawah permukaan seperti kedalaman maksimum dan volume total sangat penting untuk memahami stabilitas danau dan proses ekologi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Batimetri Danau Tondano

Pengolahan data batimetri Danau Tondano menghasilkan peta batimetri yang memberikan visualisasi yang lebih mendalam dan informatif. Dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer*,

data mengenai kedalaman dan topografi danau dapat diperoleh secara lebih efektif, sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang struktur dan karakteristik perairan Danau Tondano. Dari hasil pengolahan data batimetri ini, diketahui bahwa kedalaman maksimal Danau Tondano mencapai -30.22 meter. Layout peta kontur Danau Tondano yang dihasilkan dari pengolahan data batimetri menggunakan perangkat lunak ArcMap disajikan pada [Gambar 1](#). Peta kontur ini memberikan informasi mendetail mengenai topografi dan struktur permukaan dasar danau. Penggunaan teknologi ini memungkinkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang morfologi dasar Danau Tondano.



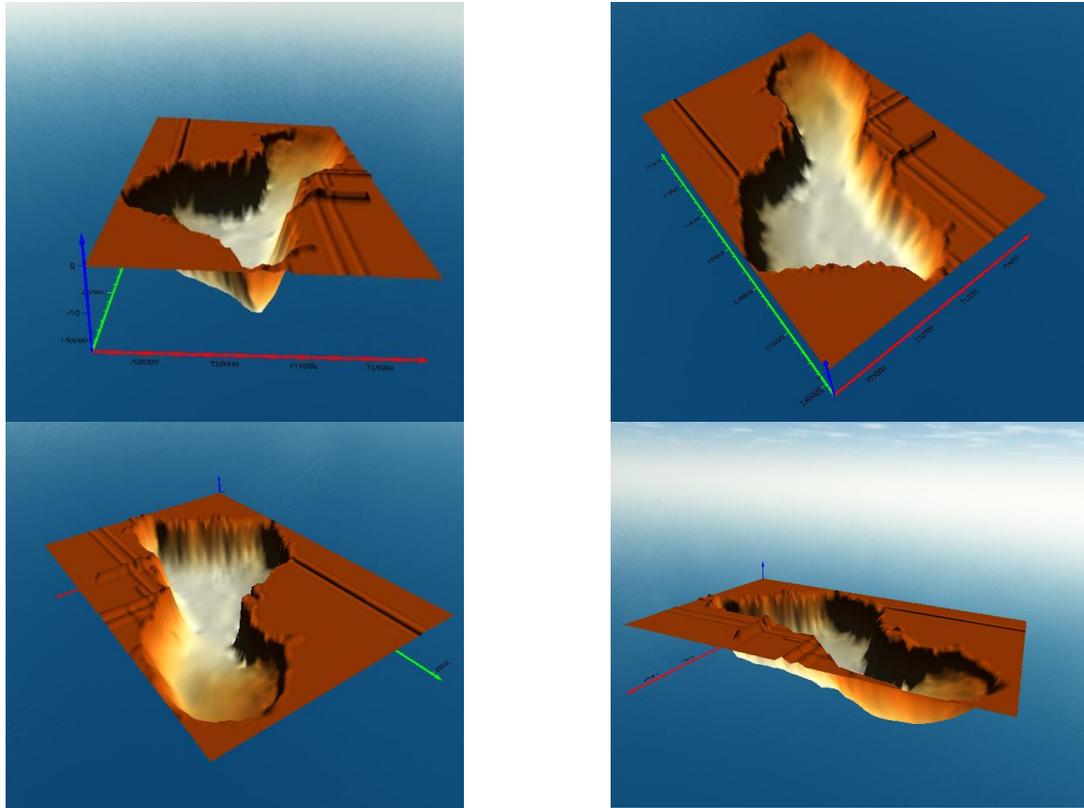
Gambar 1. Peta Bathimetri Danau Tondano

Peta kontur Danau Tondano menampilkan gambaran visual yang lengkap mengenai variasi kedalaman dan topografi dasar danau. Kontur-kontur yang ditampilkan memperlihatkan perubahan kedalaman secara horizontal, memberikan pandangan yang jelas mengenai struktur geomorfologi danau. Selain itu, profil penampang melintang yang disajikan memberikan gambaran yang lebih mendetail tentang relief dasar danau, memperlihatkan variasi kedalaman dari satu sisi danau ke sisi

lainnya. Pada [Gambar 2](#), terdapat visualisasi tiga dimensi (3D) dari kedalaman Danau Tondano. Visualisasi ini memungkinkan pemahaman yang lebih intuitif mengenai bentuk dan relief dasar danau, dengan menampilkan variasi kedalaman dalam format yang lebih mudah dipahami. Gambar 3D ini membantu dalam mengidentifikasi fitur-fitur geomorfologi yang mungkin tidak terlihat jelas pada peta kontur dua dimensi, seperti lereng curam, cekungan dalam, dan dataran dasar

danau. Secara keseluruhan, peta kontur dan visualisasi 3D dari Danau Tondano ini merupakan alat yang sangat berguna dalam memahami morfologi dan karakteristik

geomorfologi danau. Data ini dapat digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk penelitian ilmiah, pengelolaan sumber daya air, dan upaya konservasi lingkungan.



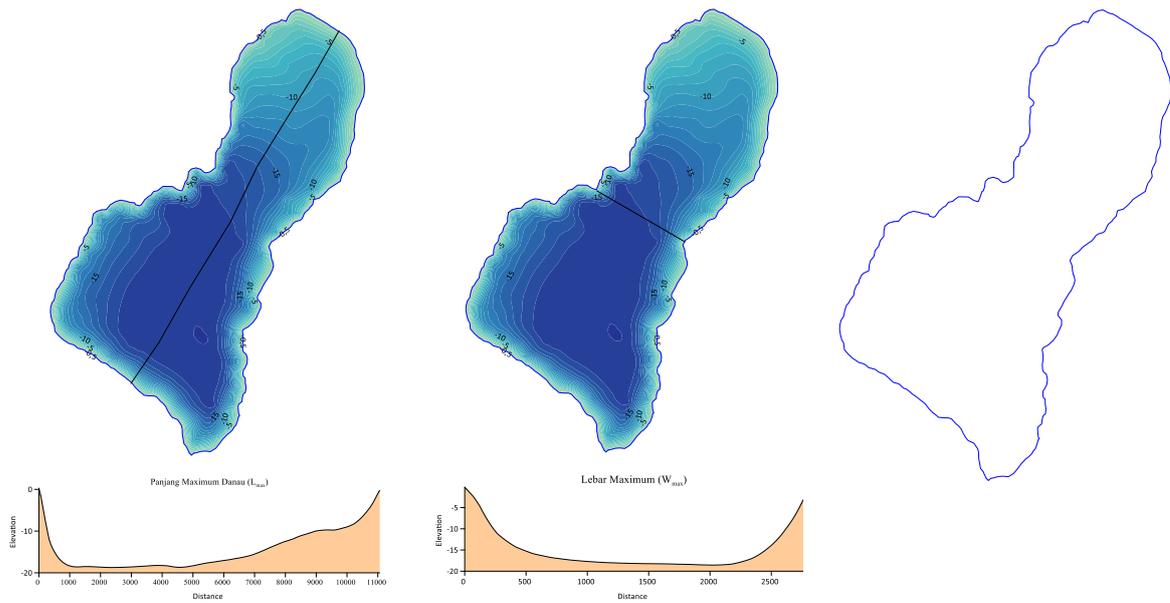
Gambar 2. Model 3 D Danau Tondano dari berbagai Perspektif

Morfometri Danau Tondano

Dimensi Permukaan Danau Tondano

Hasil pengukuran morfometri Danau Tondano memberikan gambaran rinci mengenai karakteristik fisiknya, yang menunjukkan panjang maksimum (L_{max}) mencapai 11.024,75 meter. Pengukuran ini dilakukan dengan menentukan jarak terjauh antara dua titik di tepi danau menggunakan data koordinat yang dikumpulkan di lapangan dan dianalisis melalui perangkat lunak ArcMap. Titik-titik koordinat ini dihubungkan, dan jaraknya dihitung dengan alat *measure (planar)* atau fitur *calculate geometry* pada *attribute table*, memberikan keakuratan tinggi dalam penentuan panjang maksimum. Lebar maksimum (W_{max}) Danau Tondano, yang tercatat sebesar 2.940,01 meter, ditentukan melalui pengukuran tegak lurus terhadap panjang maksimum, memperkuat

validitas data morfometri ini. Selain itu, luas permukaan (A_0) Danau Tondano tercatat sebesar 45.434.418,9 m² atau 4.543,4 hektar, mengklasifikasikan Danau Tondano sebagai danau medium. Panjang keliling (SL) danau ini adalah 43.121,56 meter, diperoleh dari peta batimetri yang dianalisis dengan ArcMap, menunjukkan sifat fraktal dari garis keliling yang bervariasi tergantung pada tingkat detail pemetaan yang dapat pada [Gambar 3](#). Penggunaan perangkat lunak GIS dalam membuat *polyline* yang meliputi setiap sudut tepi perairan, diikuti dengan perhitungan panjang menggunakan *calculate geometry*, menjamin keakuratan dan keandalan data ini. Temuan ini tidak hanya memperkaya literatur ilmiah tetapi juga menegaskan pentingnya teknologi canggih dalam penelitian hidrografi dan pengelolaan sumber daya air.



Gambar 3. Panjang Maksimum, Lebar Maksimum dan Luas Permukaan Danau Tondano

Dimensi Bawah Permukaan

Kedalaman rata-rata (Z) Danau Tondano yang diperoleh adalah 13,00 meter. Parameter kedalaman ini dapat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan, karena intensitas sinar matahari yang masuk memengaruhi organisme di dalamnya. Namun, kedalaman saja tidak secara langsung menentukan produktivitas, karena faktor-faktor lain seperti kondisi lingkungan, jenis dan kemampuan organisme, serta ketersediaan nutrisi juga berperan penting. Kedalaman rata-rata dapat memengaruhi distribusi nutrisi dan kemampuan organisme untuk bertahan hidup. Danau Tondano memiliki kedalaman maksimum (Z_{max}) yang mencapai 30,22 meter, menjadikannya sebagai objek studi morfometri yang menarik. Kedalaman maksimum ini berperan penting dalam memahami struktur, konstruksi, dan distribusi kedalaman air danau. Informasi ini tidak hanya penting bagi ilmu geografi dan lingkungan, tetapi juga memiliki dampak signifikan terhadap pengelolaan sumber daya alam danau.

Pengetahuan tentang batasan-batasan ini memungkinkan para ahli, pengawas, dan pihak berwenang dalam pengelolaan danau untuk membuat keputusan yang lebih tepat terkait ekologi danau, kualitas sistem biologis perairan, serta kelayakan pemanfaatan sumber daya alam secara berkelanjutan. Pengawasan terhadap kedalaman danau sangat penting seiring berjalannya waktu untuk mempelajari perubahan ekologi danau dan dampaknya terhadap ekosistem di sekitarnya. Perkembangan volume danau (VD) dari Danau

Tondano adalah 1,29. Nilai VD ini mencerminkan bentuk dasar danau secara umum. Dengan nilai VD lebih dari 0,5, Danau Tondano dapat diidentifikasi sebagai danau yang relatif dangkal dan memiliki dasar yang rata. Analisis ini berasal dari perhitungan luas permukaan, kedalaman maksimum, dan kedalaman rata-rata.

Dari hasil perhitungan tersebut, dapat disimpulkan bahwa Danau Tondano adalah danau yang cukup dangkal dengan dasar yang rata, memberikan gambaran yang lebih mendetail tentang morfometri danau tersebut. Volume total air Danau Tondano adalah $590.647.445,7 \text{ m}^3$ atau setara dengan $590.647.445.700$ liter, yang memberikan gambaran jelas mengenai dimensi dan kapasitas dari lingkungan perairan tersebut. Volume air yang besar ini berpotensi untuk menyimpan dan mendistribusikan air ke seluruh danau, sehingga menciptakan lingkungan yang kaya akan sumber daya perairan.

Pemahaman yang baik mengenai parameter volume air ini sangat penting untuk pengelolaan sumber daya alam danau secara berkelanjutan. Informasi ini dapat digunakan untuk perencanaan pengelolaan air, kebijakan konservasi perairan, dan penelitian ekologi perairan. Selain itu, pemantauan rutin terhadap perubahan volume air dapat memberikan wawasan mendalam tentang dinamika ekosistem dan dampak dari aktivitas manusia maupun aktivitas alami di dalam atau di sekitar Danau Tondano. Sebagai sumber daya vital, pemahaman yang mendalam mengenai volume

air danau ini sangat penting untuk menentukan daya dukung dan pemeliharaan lingkungan perairan secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Studi batimetri dan morfometri Danau Tondano memberikan pemahaman komprehensif mengenai karakteristik fisik dan dinamika ekosistemnya. Kedalaman maksimum mencapai 30,22 meter dan volume total air sebesar 590.647.445,7 m³, mengklasifikasikan Danau Tondano sebagai danau dangkal dengan dasar yang relatif rata dengan VD sebesar 1.29. Peta kontur dan visualisasi 3D memperlihatkan variasi kedalaman dan topografi dasar danau. Kedalaman rata-rata sebesar 13,00 meter memberikan implikasi penting terhadap produktivitas perairan dan distribusi nutrisi. Pemahaman mengenai parameter volume air ini sangat penting untuk pengelolaan sumber daya alam danau secara berkelanjutan, memberikan landasan kuat untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air, kebijakan konservasi perairan, dan penelitian ekologi perairan.

SARAN

Untuk memastikan pengelolaan Danau Tondano yang efektif dan berkelanjutan, beberapa saran perlu diimplementasikan. Pertama, strategi pengelolaan air yang komprehensif diperlukan untuk memastikan distribusi air yang optimal di seluruh danau guna menjaga ekosistem perairan tetap sehat dan produktif. Kedua, pengembangan kebijakan konservasi perairan berbasis data morfometri dan batimetri dapat membantu melindungi keanekaragaman hayati dan menjaga kualitas air danau. Ketiga, pemantauan rutin terhadap perubahan volume air danau penting untuk mengidentifikasi perubahan dinamika ekosistem yang mungkin disebabkan oleh aktivitas manusia atau perubahan alami, sehingga tindakan mitigasi yang diperlukan dapat segera dilakukan. Keempat, penelitian lebih lanjut mengenai interaksi antara kedalaman, distribusi nutrisi, dan produktivitas perairan diperlukan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif tentang ekosistem Danau Tondano. Terakhir, meningkatkan kesadaran dan pendidikan publik mengenai pentingnya pengelolaan dan konservasi danau dapat membantu pelaksanaan kebijakan dan upaya konservasi yang lebih efektif.

Dengan menerapkan saran-saran ini, diharapkan pengelolaan Danau Tondano dapat dilakukan lebih efektif dan berkelanjutan, menjaga keanekaragaman hayati serta kualitas lingkungan perairan untuk generasi mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcaras, E., Parente, C., & Vallario, A. 2020. Kriging interpolation of bathymetric data for 3D model of the Bay of Pozzuoli (Italy). *International Workshop on Metrology for the Sea*.
- Barroso, G. F., Gonçalves, M. A., & Da Garcia, F. C. 2014. The morphometry of Lake Palmas, a deep natural lake in Brazil. *PLoS ONE*, 9(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111469>
- Casas-Ruiz, J. P., Jakobsson, J., & Del Giorgio, P. A. 2021. The role of lake morphometry in modulating surface water carbon concentrations in boreal lakes. *Environmental Research Letters*, 16(7). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0be3>
- Choiński, A., & Zieliński, A. 2021. Transformation of the morphometry of Lake Osieckie-largest lake in the Holy Cross region. *Limnological Review*, 21(4), 181–187. <https://doi.org/10.2478/limre-2021-0017>
- Dumpis, J., Lagzdīņš, A., & Šics, I. 2022. Lake Kisezers: analysis of factors influencing morphometry and hydrological regime. *Rural Sustainability Research*, 48(343), 68–78. <https://doi.org/10.2478/plua-2022-0017>
- Fauzi, M., Hendrizal, A., & Amin, B. 2022. Morphometric Surface Dimension Analysis of Three Different Oxbow Lakes in Lubuk Siam Village. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1118(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1118/1/012045>
- Hikmatullah, Subagyo H, Kurnia, U., & Amien. 2000. Evaluation of Erosion and Siltation of Lake Tondano Based on the Hydrological and Soil Characteristics of Its Catchment. *Tanah Dan Iklim*.

- Hollister, J., & Stachelek, J. 2017. lakemorpho: Calculating lake morphometry metrics in R. *F1000Research*, 6. <https://doi.org/10.12688/f1000research.12512.1>
- Jacob, P., Palur, S., Sameer, S. M., Sneha, M., Puneeth, L., & Namratha, B. 2022. Geometric characteristics of multitudinous lakes and lake catchments for Bangalore rural catchment. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1125(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1125/1/012005>
- Kumaat, Christian, J., Kandoli, S. T. B., & Moningkey, A. T. 2014. The Coastal Platform Morphodynamics Characteristics Belang Bay, North Sulawesi Province. *Indonesian Journal of Geography*, 2(3).
- Kumaat, J. C., Andaria, K. S., & Maliangkay, D. 2021. Hydro-Oceanographic and Bathymetric Survey in Tanjung Merah as a Basis for Modelling Coastal Spatial Plans of Bitung City. *E3S Web of Conferences*, 328. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132808006>
- Kumaat, J., Moningkey, A. T., & Kumayas, M. 2019. Studi tentang kondisi Hidro-Oseanografi dan Bathimetri Pantai Bajo – Popareng, Kabupaten Minahasa Selatan. *Zenodo*.
- Moningkey, A. T., Rampengan, M. M. F., Tumengkol, A. A., & Kumaat, J. C. 2022. Study of bathymetry and sedimentation in Tondano Lake. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 986(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012038>
- Murnisulistyaningsih, Sulastriningsih, H. S., & Kumaat, J. C. 2021. Analysis of Morphometric Changes in Tondano Lake Based on Bathymetric Maps. *E3S Web of Conferences*, 328. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132808018>
- Rai, P. K., Singh, P., Mishra, V. N., Singh, A., Sajjan, B., & Shahi, A. P. 2020. Geospatial approach for quantitative drainage morphometric analysis of varuna river basin, India. *Journal of Landscape Ecology(Czech Republic)*, 12(2), 1–25. <https://doi.org/10.2478/jlecol-2019-0007>
- Seekell, D., Cael, B. B., & Byström, P. 2022. Problems With the Shoreline Development Index—A Widely Used Metric of Lake Shape. *Geophysical Research Letters*, 49(10). <https://doi.org/10.1029/2022GL098499>
- Sousa, L. de B. de, Montenegro, A. A. de A., Silva, M. V. da, Lopes, P. M. O., Silva, J. R. I., Silva, T. G. F. da, Lins, F. A. C., & Silva, P. C. 2023. Spatiotemporal Dynamics of Land Use and Land Cover through Physical–Hydraulic Indices: Insights in the São Francisco River Transboundary Region, Brazilian Semiarid Area. *AgriEngineering*, 5(3), 1147–1162. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5030073>
- Tendean, M., Moningkey, A. T., & Kumaat, J. C. 2020. Pemanfaatan Data Hidro Oseanografi dan Batimetri Untuk Penataan Pantai Tatapaan, Minahasa Selatan. *Jurnal Episentrum*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.36412/jepst.v1i1.1803>
- Wantasen, S., & Luntungan, J. 2019. Water Resources Management of Lake Tondano in North Sulawesi Province. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 256(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/256/1/012005>
- Yanti Siregar, E. S., Rosmasita, Fitria, D. M., Rahimah, I., & Siburian, J. P. 2020. Morphometry of lake pandan in tapanuli tengah district, north sumatera province. *International Journal of GEOMATE*, 19(72), 131–136. <https://doi.org/10.21660/2020.72.ICGEO51>