

DETEKSI SUMBER MUATAN SEDIMEN BERBASIS PERUBAHAN MORFOMETRI DASAR DANAU TONDANO, SULAWESI UTARA

Detection of Sediment Material Sources Based on the Morphometry Changes of Lake Tondano, Sulawesi Utara

Murdiyanto *, Sri Sulastriningsih

Program Studi Ilmu Geografi Universitas Negeri Manado, Tonsaru, Tondano, Indonesia

*Surel: murdiyantonhs@yahoo.co.id

Abstract

Opinion on the source of sediment loads that enter Lake Tondano continues to occur until now, as a result of continuous siltation. This study aims to analyze changes in lake morphometry to detect the source of sediment load that goes to Lake Tondano. This study was conducted by comparing the bathymetry map results of mapping in 1996 and 2006. The description of the overlay results of the two bathymetry maps was used to obtain a description of the lake morphometric changes. The results showed no significant change in depth, however, indicating a pattern of change of direction of silting. Seeing the contour pattern shows there is a tendency of siltation to move not only towards the south but also to the east. That means more sediment donations come from the western region. The catchment area (catchment area) on the west side of the lake has a wider area when compared to the eastern side (District Eris), so that the greater potential of sediment comes from this region.

Keywords: bathymetry, Tondano, morphometry, sediment

1. PENDAHULUAN

Tudingan faktor penyebab terjadinya pendangkalan Danau Tondano hingga kini masih menjadi silang pendapat oleh berbagai kalangan, baik akademisi, peneliti, lembaga swadaya masyarakat maupun wartawan. Bahkan pengambil kebijakkanpun sering memberikan pernyataan berkaitan dengan pendangkalan Danau Tondano. Itu berarti perhatian dan kekhawatiran masyarakat terhadap pendangkalan Danau Tondano yang memiliki arti penting dan strategis bagi wilayah Sulawesi Utara masih sangat tinggi. Meskipun ada perbedaan pendapat, namun Danau Tondano telah ditetapkan oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2011) menjadi salah satu danau dari 15 danau di Indonesia yang mendapat prioritas penyelamatan.

Kedalaman Danau Tondano terdalam hasil pengukuran yang dilakukan Belanda tahun 1898 adalah 28 m yang ditemukan di bagian selatan, dan di bagian utara kedalamannya 15 m (Koperberg, 1928 dalam Hikmatullah, *et.al.*, 2000). Sumber lain yang disadur oleh BRLKT (1992) menyatakan kedalaman danau Tondano tahun 1934 tercatat 40 m, tahun 1983 kedalaman paling dalam 27 m, sedang tahun 1988 menjadi 20 m, dan terakhir tahun 1992 dilaporkan tinggal 16 m. Informasi lain menyebutkan kedalaman danau tahun 1939 diperkirakan 43 m dan menjadi sekitar

19 m pada tahun 1992 (Suparto *et.al.* 1995). Hikmatullah, *et. al.* (2000) dalam penelitiannya melaporkan kedalaman danau terdalam pada saat itu 22 m. Berbeda dengan laporan penelitian yang dilakukan oleh Universitas Samratulangi pada tahun 2000 menyebut kedalaman danau 14 m (Kementerian Negara Lingkungan Hidup, 2011), sedang lembaga Penelitian Universitas Negeri Manado menemukan kedalaman danau terdalam 23 m. Data terbaru yang dirujuk oleh Kementerian Negara Lingkungan Hidup dari *WIP Bathymetry Survey On Mei 2010*, menyatakan kedalaman danau terdalam berkisar antara 22 – 34 m.

Mencermati data di atas, memunculkan pertanyaan yang unik, benarkah terjadi penurunan dasar danau dari 28 m pada tahun 1898 menjadi 40 m pada tahun 1934, dan kemudian terjadi kenaikan kembali dasar danau menjadi 27 m pada tahun 1983. Untuk membahas realita data tersebut dapat dilakukan melalui pendekatan metodologis, geologis maupun geomorfologis, namun demikian bukan menjadi perhatian dalam paper ini. Penelitian ini menekankan pada diskripsi perubahan morfometri dasar danau dan analisis kecenderungan sumber muatan sedimen yang berpotensi memberi kontribusi terhadap pendangkalan danau dengan berbasiskan seseri peta.

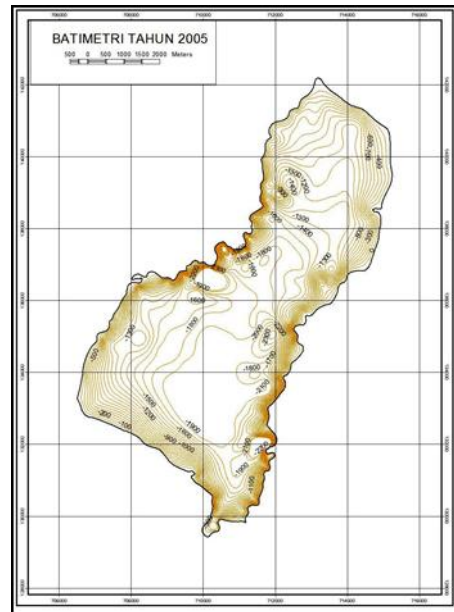
Sumber muatan sedimen yang masuk ke dasar danau juga menjadi isu yang menarik

diperbincangkan oleh berbagai kalangan yang berkepentingan dengan Danau Tondano. Setidaknya ada dua kutub yang berbeda dalam menyikapi sumber muatan yang masuk ke dasar danau. Pihak pertama menyatakan bahwa sumber utama muatan sedimen berasal dari erosi pada lahan kering di bagian hulu, namun demikian juga tidak sedikit yang berpendapat bahwa sumber muatan sedimen berasal dari aktifitas yang terjadi pada perairan danau maupun dari pengolahan lahan basah di sekitar danau. Pernyataan tersebut digunakan sebagai landasan oleh kedua pihak dalam menyikapi umur danau. Kepala Badan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Minahasa (2007), memperkirakan Danau Tondano tinggal bertahan sampai 40 tahun ke depan atau sekitar tahun 2047. Sebelumnya BRLKT (1992) memprediksi danau Tondano hanya bertahan sampai tahun 2020, dan realitanya prediksi tersebut sangat jauh dari kenyataan. Pendugaan lainnya dilakukan oleh Hikmatullah *et al.* (2000), yang menyatakan besarnya sedimen yang masuk ke danau sebesar 7.540 t/tahun jika dibandingkan dengan volume danau sebesar 680 juta m³, maka danau akan terisi penuh sedimen dalam jangka waktu ribuan tahun.

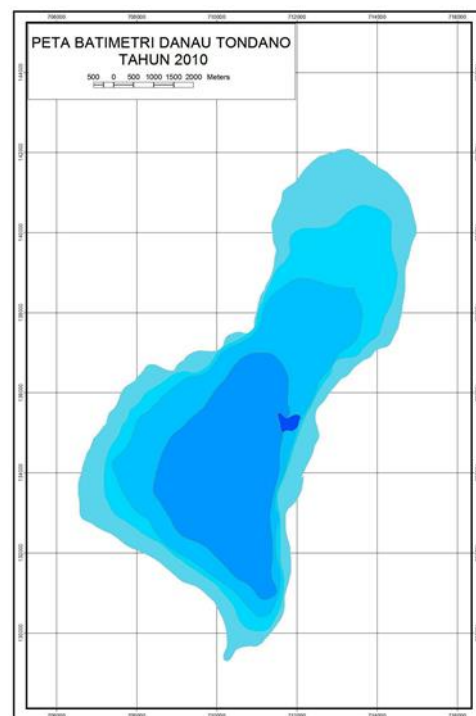
Bertitik tolak dari adanya silang pendapat mengenai kedalaman danau, sumber muatan sedimen yang masuk ke dasar danau, dan umur keberadaan Danau Tondano di masa mendatang, maka studi ini dimaksudkan untuk mengkaji perubahan morfometri danau berbasis seseri peta untuk memprediksi asal sumber muatan sedimen.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Danau Tondano Kabupaten Minahasa Sulawesi Utara dengan menggunakan data batimetri tahun 2005 dan tahun 2010. Data batimetri tahun 2005 diperoleh dari Peta Batimetri tahun 2005 oleh Lembaga Penelitian Universitas Negeri Manado. Sedangkan data batimetri tahun 2010 bersumber dari WIP Bathymetry Survey Bulan Mei 2010 (Kementerian Lingkungan Hidup 2011) Kedua peta tersebut didigit ulang menggunakan *software arcview 3.3* untuk keperluan analisis aspek morfometri yang diperlukan dalam kajian ini. Selain itu juga digunakan peta rupa bumi Indonesia lembar Langowan dan Manado skala 1 : 50000 edisi tahun 1991 dari Bakosurtanal untuk acuan koreksi geometrik.



Gambar 1. Peta batimetri Danau Tondano tahun 2005



Gambar 2. Peta batimetri Danau Tondano tahun 2010

Aspek morfometri yang diamati dalam kajian ini adalah luas permukaan air danau (m²), kedalaman rerata (m), dan volume total air danau. Luas permukaan merupakan luas wilayah permukaan air danau, yang diukur berdasarkan luas poligon pada peta batimetri dengan bantuan SIG. Kedalaman rerata danau dihitung dengan cara membagi volume total air danau dengan luas permukaan air. Volume total air danau dihitung dengan menggunakan perkalian luas permukaan

dengan kedalaman rerata pada setiap lapisan kontur. Ketiga aspek morfometri tersebut dipetakan dengan skala yang sama.

Analisis perubahan morfometri danau dilakukan berbasis peta batimetri tahun 1996 dan tahun 2005 dengan teknik *overlay*. Informasi perubahan tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mendeskripsikan sumber muatan sedimen melalui interpretasi peta.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama periode tahun 2005 - 2010 morfometri Danau Tondano tidak berubah secara signifikan. Perubahan berturut-turut diuraikan berikut ini.

3.1. Perubahan Luas Permukaan Air Danau

Luas permukaan air danau dihitung pada setiap interval kontur 5 m, dimulai dari interval kontur 0 m sampai pada interval kontur terdalam (20 m). Luas permukaan air adalah luas poligon pada kontur interval masing-masing. Setiap poligon dihitung dengan menggunakan *Xtools extension* yang tersedia dalam *software ArcView GIS*. Hasil analisis luas permukaan air disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan luas permukaan air menurut kedalaman danau (dalam km²)

Kedalaman (m)	Tahun 2005	Tahun 2010	Luas Perubahan
0	46,91	46,82	-0,09
5	39,34	33,62	-5,72
10	30,76	24,85	-5,91
15	20,00	12,81	-7,19
20	0,52	0,18	-0,34

Sumber: Hasil analisis peta batimetri (2017)

Permukaan air danau tidak berubah signifikan selama kurun waktu 5 tahun. Perubahan luas permukaan air terjadi pada kedalaman di atas 5 m. Kemungkinan perubahan terjadi karena pengaruh sedimentasi atau pergerakan muatan sedimen di dasar danau. Hasil ini mendukung penelitian Trisakti & Nugroho (2012) yang menggunakan citra satelit multi temporal dari tahun 1990 – 2011 bahwa bentuk dan luas permukaan air Danau Tondano relatif tidak berubah dengan luas 46-47 km².

3.2. Volume Total Air Danau

Volume total air danau secara keseluruhan menurun dari 364,11 juta m³ pada tahun 2005 menjadi 296,97 juta m³ pada tahun 2010.

Penyusutan daya tampung 67,16 juta m³ terjadi dalam kurun waktu 5 tahun. Ada kesesuaian antara penurunan zone permukaan air danau dan volume total air pada setiap zone kedalaman. Penurunan disebabkan perubahan morfologi dasar danau akibat sedimentasi.

Penurunan daya tampung danau dapat berdampak terjadinya banjir, bilamana terjadi kekeliruan pengelolaan lahan di bagian hulu disertai dengan peningkatan curah hujan. Penurunan daya tampung danau 13 juta m³/tahun tidak dapat digunakan begitu saja untuk memprediksi usia danau tinggal kurang lebih 25 tahun lagi. Usia danau dipengaruhi oleh banyak faktor. Oleh sebab itu data lima tahunan tidak cukup untuk memprediksi usia danau. Namun demikian hasil penelitian ini dapat menjadi peringatan bagi pemangku kepentingan untuk menggiatkan gerakan penyelamatan Danau Tondano yang ditetapkan menjadi danau prioritas nasional 2010 – 2014.

Tabel 2. Perubahan volume air danau menurut zone kedalaman (dalam juta m³)

Kedalaman (m)	Tahun 2005	Tahun 2010	Perubahan
0-5	145,27	130,87	-14,40
5-10	116,25	95,76	-20,49
10-15	80,78	56,88	-23,90
15-20	21,30	13,27	-8,03
>20	0,52	0,18	-0,34
Jumlah	364,11	296,97	-67,16

Sumber: Hasil analisis peta batimetri (2017)

3.3. Kedalaman Rerata Danau Tondano

Rerata kedalaman danau berdasarkan peta batimetri tahun 2005 dan tahun 2010 tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata kedalaman danau menurut zone kedalaman (dalam m)

Zone	Tahun 2005	Tahun 2010	Perubahan
0-5	3,10	2,80	-0,30
5-10	2,95	2,85	-0,10
10-15	2,63	2,29	-0,34
15-20	1,06	1,04	-0,02
>20	1,00	1,00	0,00
Total	10,74	9,97	-0,77

Sumber: Hasil analisis peta batimetri (2017)

Berdasarkan tabel di atas rerata kedalaman Danau Tondano tidak mengalami perubahan yang dratis. Rerata total kedalaman danau dalam rentang waktu 5 tahun hanya sekitar 0,77 m. Jika diasumsikan rerata penurunan kedalaman danau

per tahun hanya sekitar 15 cm, maka danau Tondano akan hilang dari permukaan bumi membutuhkan waktu ratusan tahun. Hasil analisis ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hikmatullah, et. al (2000) yang menyatakan Danau Tondano akan terisi penuh dengan membutuhkan waktu ribuan tahun.

3.4. Analisis Morfometri untuk Mendeteksi Muatan Sedimen

Aspek morfometri yang diamati adalah luas permukaan air danau, volume air danau dan kedalaman rerata danau. Ketiga aspek tersebut berkaitan dengan proses sedimentasi. Luas muka air danau dapat digunakan untuk menduga ada tidaknya proses sedimentasi di bawahnya. Namun demikian luas permukaan air bukan satu-satunya parameter yang dapat digunakan untuk mendeteksi sumber muatan sedimen.

Hasil analisis menunjukkan terjadi penyusutan luas permukaan air danau seluas 0,09 km² dalam kurun waktu lima tahun. Informasi ini memberi gambaran bahwa tidak ada perubahan luas permukaan air danau. Peningkatan muatan sedimen yang mendorong terjadinya perluasan permukaan air Danau Tondano masih perlu dikaji lebih lanjut.

Luas permukaan air danau erat kaitannya dengan volume air danau. Penyusutan luas air danau juga diikuti oleh penurunan volume air danau. Hasil analisis menunjukkan penyusutan volume air danau sebesar 67, 16 juta m³ dalam kurun waktu 5 tahun. Volume air danau juga memberi gambaran besarnya daya tampung danau dan sekaligus dapat digunakan untuk memprediksi usia danau. Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya penurunan daya tampung danau adalah terjadinya sedimentasi ke dasar danau.

Kedalaman danau juga turut menentukan daya tampung danau. Semakin cepat danau mengalami pendangkalan, semakin cepat pula penurunan kedalaman danau. Hasil penelitian menunjukkan kedalaman rerata danau selama lima tahun mengalami penurunan yang sangat kecil, yaitu 0,77 m. Data ini menggambarkan bahwa proses pendangkalan yang terjadi di Danau Tondano sangat kecil, sehingga anggapan yang mengatakan pendangkalan di Danau Tondano sangat mengawatirkan terlalu berlebihan.

3.5. Hasil Analisis/Interpretasi Peta

Analisis peta digunakan untuk mengevaluasi perubahan kedalaman dasar danau selama kurun waktu lima tahun (2005 – 2010) serta mengevaluasi pola perubahan kedalaman guna memperdiksi kemungkinan faktor penyebab pendangkalan. Untuk tahap ini digunakan peta Batimetri Danau Tondano Tahun 2005 dan Tahun 2010. Untuk keperluan analisis kedua peta tersebut direproduksi ulang dengan skala yang sama. Selanjutnya peta tersebut dioverlaykan (tumpang susun) untuk menganalisis perubahan kedalaman dasar danau.

Hasil overlay menunjukkan tidak adanya perubahan kedalaman secara signifikan. Di bagian selatan kedalaman berkisar antara 17 – 19 m, namun demikian menunjukkan adanya pola perubahan arah pendangkalan. Melihat pola konturnya menunjukkan ada kecenderungan pendangkalan bergerak bukan saja ke arah selatan melainkan juga ke arah timur. Itu berarti sumbangan sedimen lebih banyak berasal dari wilayah barat. Daerah tangkapan hujan (*cathment area*) di sisi barat danau memiliki areal yang lebih luas bila dibandingkan dengan sisi timur (Kecamatan Eris), sehingga potensi sedimen lebih besar berasal dari wilayah ini.

Hasil analisis peta batimetri menemukan bahwa tidak terjadi perubahan kedalaman dasar danau secara signifikan dalam kurun waktu 5 tahun terakhir sebagaimana prediksi para peneliti sebelumnya yang menyebutkan proses pendangkalan danau 0,43 m per tahun. Berdasarkan asumsi tersebut, dan apabila faktor penyebab pendangkalan dalam kondisi yang sama; maka seharusnya kedalaman dasar danau terdalam pada tahun 2005 akan menjadi sekitar 13 m. Kenyataannya hasil analisis peta batimetri tahun 2010 menunjukkan data lain, yaitu kedalaman dasar danau masih berkisar antara 22 – 24 m. Diakui bahwa prediksi laju erosi yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya hanya berdasarkan pendugaan secara tidak langsung, yaitu dengan menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equations*) yang biasa digunakan untuk memprediksi erosi permukaan (*sheet erosion*). Di sisi lain tidak semua erosi di bagian hulu akan seluruhnya terendapkan di dasar danau, melainkan sebagian tertahan oleh tutupan lahan (*land cover*) dan cekungan baik alami maupun buatan manusia.

Berdasarkan analisis peta tersebut dapat disarikan pokok pikiran penting yang dapat digunakan sebagai kerangka dasar untuk penelitian lebih lanjut, yaitu

1. Percepatan pendangkalan Danau Tondano dalam kurun waktu lima tahun terakhir tidak

secepat yang diperkirakan oleh para peneliti sebelumnya.

2. Faktor pengelolaan lahan (lahan kering) dan pengelolaan tanaman yang terjadi di bagian hulu dimungkinkan telah berfungsi dengan baik, sehingga proses pendangkalan danau dapat terkendali.
3. Pola arah pendangkalan tidak hanya ke arah selatan melainkan juga ada kecenderungan dari sisi barat ke arah timur

Lereng dasar danau miring ke arah timur, dengan dibatasi cekungan sejenis palung membujur dari Tasuka sampai Toliangoki. Namun demikian cekungan tersebut semakin dangkal di bagian utara

4. SIMPULAN

Konfigurasi topografi dasar Danau Tondano adalah lereng miring ke arah timur yang dibatasi dengan jalur dalam sejenis palung memanjang dari arah Desa Tasuka (Kakas) sampai Toliangoki (Tondano). Jalur dalam tersebut semakin dangkal ke arah utara (*outlet*).

Konfigurasi dasar danau itu memberi gambaran bahwa material dasar yang masuk melalui *inlet* di bagian selatan mempunyai ukuran relatif halus, dan terendapkan jauh dari sumbernya di bagian utara dekat dengan *outlet*. Itu berarti arah pengendapan menuju ke bagian selatan dan timur. Material halus tersebut diprediksi berasal dari lahan pertanian (sawah) yang terbawa pada saat pengolahan sawah.

Selama kurun waktu lima tahun tidak terjadi perubahan kedalaman dasar danau secara signifikan, tetapi hanya terjadi perubahan bentuk topografi dasar danau. Ini mengisyaratkan bahwa laju erosi dari *Catchment Area* DAS Tondano terkendali dengan baik atau sedimen yang masuk

ke danau kemudian terbuang kembali melalui *outlet* ke Sungai Tondano dan selanjutnya ke Teluk Manado.

Pemetaan ini memperkuat penelitian JICA (2001) yang menyebutkan selama tahun 1994–2000 tidak terjadi sedimentasi di dasar Danau Tondano.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Negeri Manado yang memberi kesempatan pada penulis melakukan pemetaan betimetri di Danau Tondano.

6. DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2000. *Preliminary Environmental Assessment On The Critical Land and Protection Forest Rehabilitation At Tondano Watershed In The Republic Of Indonesia* – Kerjasama antara Japan International Cooperation Agency (JICA) Study Team dengan Pusat Studi Lingkungan dan Sumberdaya Alam Unsrat.
- BRLKT (Balai Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah). 1992. *Petunjuk Teknik Lapang Rencana Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah*. Departemen Kehutanan. Ditjen RRL, Jakarta.
- Gerakan Penyelamatan Danau Tondano (Germadan Tondano). 2014. Kementerian Lingkungan Hidup
- Hikmatullah, Subagyo H, Kurnia U, Amien LI. 2000. Evaluasi erosi dan siltasi Danau Tondano berdasarkan sifat hidrologi dan tanah dari daerah aliran sungai. *Jurnal Tanah dan Iklim* (18).
- Japan International Cooperation Agency (JICA). 2001. *Studi Rehabilitasi Hutan Lindung dan Lahan Kritis di DAS Tondano*. Nippon Koei Co, Ltd-Kokusai Kogyo Co, Ltd
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2011. *Profil 15 Danau Prioritas Nasional 2010 -2014*. Jakarta

