

## KAJIAN KONDISI MORFOMETRI DAN BEBERAPA PARAMETER STRATIFIKASI PERAIRAN DANAU TOBA

Lukman<sup>a</sup> & I. Ridwansyah<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Staf Peneliti Puslit Limnologi - LIPI

### ABSTRAK

*Danau Toba adalah perairan di Sumatera Utara yang memiliki peran multisektoral, diantaranya adalah pusat kepariwisataan, selain memiliki fungsi lain untuk kegiatan perikanan dan untuk pembangkitan listrik tenaga air (PLTA) yaitu di bagian outletnya, Sungai Asahan. Telah dilakukan penelitian kondisi morfometri Danau Toba dan beberapa ciri stratifikasinya, dengan tujuan untuk mendapatkan informasi sifat perairan Danau Toba sebagai dasar bagi pengelolaan danau dan penelitian limnologis lebih lanjut. Penelitian dilakukan pada bulan April 2009, Oktober 2009 dan April 2010. Luas perairan Danau Toba yaitu 1.124 Km<sup>2</sup>, kedalaman maksimum 508 m, volume 256,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, dan waktu tinggal air 81 tahun. Berdasarkan tingkat kedalaman relatifnya ( $Z_r = 1,34\%$ ), mencirikan perairan tidak stabil, meskipun diperkirakan hanya pada lapisan permukaan sedangkan pada kedalaman  $\geq 100$  m menunjukkan kestabilan. Diperkirakan lapisan epilimnion berada pada kedalaman 0 – 30 m, lapisan metalimnion pada kedalaman 30 – 100 meter, dan lapisan hipolimnion berada pada kedalaman  $\geq 100$  m. Kadar oksigen terlarut yang terukur di permukaan relatif tinggi (6 – 7 mg/l), namun menurun drastis pada kedalaman 100 m dan umumnya menunjukkan kondisi sangat minim ( $\leq 2$  mg/l) pada kedalaman 200 m dan seterusnya.*

**Kata kunci:** Danau Toba, morfometri, stratifikasi suhu, kecerahan, stratifikasi oksigen.

### ABSTRACT

**STUDY OF MORPHOMETRY CONDITION AND SEVERAL STRATIFICATION PARAMETERS OF LAKE TOBA.** *Lake Toba is a system of water body in North Sumatra which has multipurpose roles, for instance as the tourist destination, as well as fishery's activity location and electric generation's site on the outlet within Asahan river. A morphometric condition research of Lake Toba, in conjunction with the stratification properties, was conducted in order to obtain the lake's characteristics as the basis of lake management and further research on limnology. The research was carried out on April 2009, October 2009 and April 2010. Lake Toba was 1124 km<sup>2</sup> in size, covered 256,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> of water volume and the water retention was approximately 81 years. Based on relative depth ( $Z_r = 1,77$ ), Lake Toba exhibited an unstable condition although predicted only in upper layers, whereas the deeper water layer ( $\geq 100$  m) showed a more stable condition. Epilimnion layer apparently existed between 0 – 30 m, metalimnion layer was supposedly 30 – 100 m, and hypolimnion spanned for  $\geq 100$  m water depth. Dissolved oxygen content in upper layers was relatively high (6 – 7 mg/l), but drastically decreased on 100 m water depth and generally demonstrated a minimum condition ( $\leq 2$  mg/l) on 200 m water depth. This occurred onward as the depth became deeper.*

**Key words:** Lake Toba, morphometry, temperature stratification, Sechi depth, oxygen stratification.

## PEDAHULUAN

Danau Toba berlokasi di Propinsi Sumatera Utara, merupakan bagian dari tujuh wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Karo, Simalungun, Dairi, Toba Samosir, Samosir, Tapanuli Utara dan Humbang Hasundutan, dengan posisi geografi diantara  $98^{\circ} 31' 2'' - 98^{\circ} 9' 14''$  Bujur Timur (BT) dan  $2^{\circ} 19' 15'' - 2^{\circ} 54' 2''$  Lintang Utara (LU).

Danau Toba adalah perairan daratan yang memiliki peran multisektoral, baik bagi kepentingan masyarakat lokal maupun kepentingan-kepentingan yang sifatnya nasional bahkan internasional. Wilayah Danau Toba adalah pusat kepariwisataan di Sumatera Utara, dengan daya tarik utamanya panorama hamparan air, yang menjadikannya sebagai objek wisata danau terbesar di Indonesia. Telah menjadi kebijakan nasional, bahwa kawasan Danau Toba merupakan salah satu andalan dan potensi Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Nasional (RIPNAS) (Ardika, 1999).

Selain pariwisata, pemanfaatan perairan Danau Toba yang juga sudah berjalan adalah usaha perikanan tangkap. Berdasarkan data tahun 2005, produksi tangkapan total ikan di Danau Toba mencapai 4.462 ton dengan ikan mujaer (*Oreochromis mossambicus*) dan ikan nila (*O. niloticus*) sebagai ikan paling dominan tertangkap (Purnomo *et al*, 2005). Pemanfaatan perairan Danau Toba yang juga cukup berkembang adalah budidaya ikan pada karamba jaring apung (KJA). Menurut Arifin (2004), pada tahun 1999 tercatat sekitar 2.400 unit KJA beroperasi di Danau Toba.

Penelitian awal perairan Danau Toba merupakan bagian pangkal sejarah aktivitas limnologi di Indonesia, yang dilaksanakan pada tahun 1929 oleh Rutter sebagai bagian dari "Ekspedisi Sunda" (Ruttner, 1930). Pada laporannya, Ruttner (1930, 1955) membagi perairan Danau Toba kedalam

empat wilayah, yaitu ceruk utara ( $585 \text{ km}^2$ ), ceruk selatan ( $438 \text{ km}^2$ ), ceruk Porsea ( $80 \text{ km}^2$ ) dan ceruk Pangurusan ( $26 \text{ km}^2$ ), sehingga secara keseluruhan luas perairan danau adalah  $1129 \text{ km}^2$ .

Penelitian morfometri danau dilakukan terkait dengan pentingnya peran dari ciri fisik tersebut terhadap sifat perairan danau. Menurut Hakanson (2005), morfometri danau memainkan peran kunci atas peubah-peubah yang mengendap atau cara lain di dalam proses biologis dan kimia danau. Dikemukakan pula bahwa morfometri danau mengatur muatan hara, selanjutnya produksi primer dan produksi sekunder dari zooplankton, zoobentos dan ikan. Dengan demikian morfometri dapat menggambarkan berbagai potensi produksi hayati, serta menentukan tingkat kepekaan terhadap pengaruh beban material dari daerah tangkapannya.

Ciri-ciri stratifikasi vertikal perairan danau, seperti suhu dan ketersediaan oksigen terlarut akan menunjukkan dinamika perairan, potensi produktivitas dan evolusi kimia di dalamnya. Dikemukakan oleh Wetzel (1983) bahwa stratifikasi di danau bercampur (*mixtic lake*) melalui suatu rangkaian proses yang dimediasi oleh proses-proses fisik dan biologis. Pada skala waktu tahunan dengan berlangsungnya tahapan penghangatan permukaan air dan aksi angin menentukan pelapisan panas di dalam kolom air, dan berasosiasi dengan suksesi proses mikrobial heterotrofik, sejalan pula dengan dorongan yang mengarahkan untuk evolusi kimia di wilayah-wilayah lebih dalam. Selanjutnya Stum (1985) mengemukakan bahwa perkembangan stratifikasi suhu di suatu perairan memainkan peran penting pada seluruh proses ekologis badan air.

Sementara itu dinamika penyebaran oksigen di danau dipengaruhi oleh keseimbangan antara masukan dari atmosfer dan fotosintesis, serta hilangnya oksigen karena oksidasi biotis dan kimia. Penyebaran oksigen penting untuk

kebutuhan langsung berbagai organisme, mempengaruhi kelarutan dan ketersediaan unsur hara, oleh karena itu akan mempengaruhi produktivitas ekosistem perairan. Selanjutnya penyebaran oksigen di air dari danau-danau berstratifikasi panas dikendalikan oleh kombinasi kondisi kelarutan, hidrodinamika, masukan dari fotosintesis, dan kehilangan untuk oksidasi metabolis dan kimia (Wetzel, 1983).

Penelitian kondisi morfometri Danau Toba dan beberapa ciri stratifikasi vertikal perairannya yaitu suhu dan oksigen terlarut telah dilakukan, dengan tujuan untuk mendapatkan informasi sifat perairan Danau Toba dan sebagai dasar bagi pengelolaan danau dan penelitian limnologis lebih lanjut.

## BAHAN DAN METODE

### Pengukuran Batimetri

#### Kebutuhan Data

Peta dasar yang digunakan untuk pemetaan batimetri berupa Peta Topografi skala 1 : 50.000 yang diterbitkan oleh Djawatan Topografi Angkatan Darat (Djantop AD) pada Tahun 1978. Adapun lembar peta yang digunakan yaitu: Seribu Dolok, Sondi, Prapat, Pangurusan, Doloksanggul, Muara, Balige dan Lumbanjulu. Selain itu digunakan juga Citra LandsatETM+ dengan Path/Row 129/58 dengan waktu perekaman 30 Januari

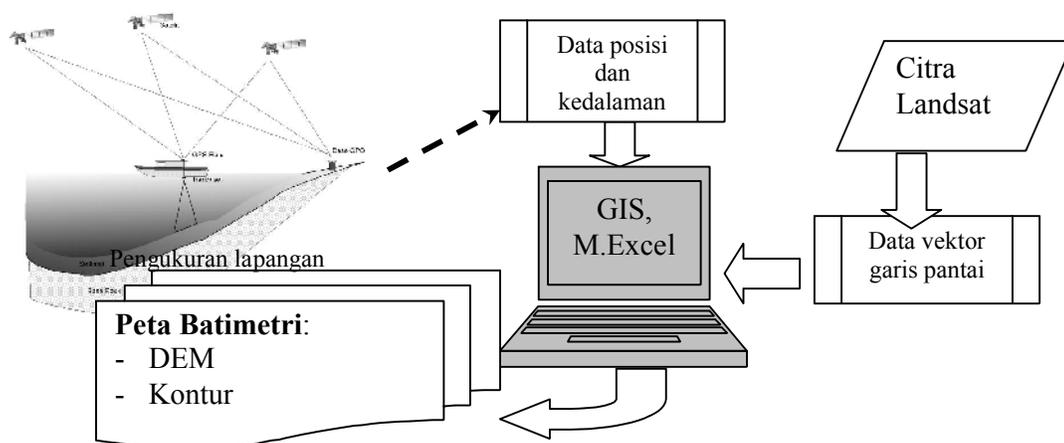
2010 dan 128/58 dengan waktu perekaman 28 Maret 2010.

### Metoda Pemetaan

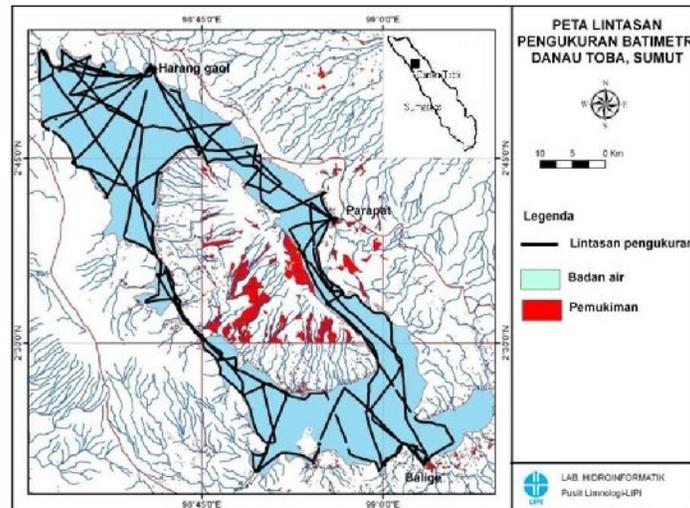
Morfometri danau ditinjau berdasar pola kedalaman danau untuk itu dilakukan pemetaan batimetrik menggunakan metoda akustik. Alat yang digunakan berupa Fishfinder dan GPS merk *Garmin* tipe GPSMAP 420s, sedangkan frekuensi yang digunakan 200 Hz dan 20hz dimana gelombang akustik dipantulkan pada permukaan sedimen bagian atas (*top sediment*) (Gambar 1).

Pemetaan dilakukan dengan membuat lintasan yang diharapkan dapat mewakili seluruh perairan Danau Toba (Gambar 2). Pada lintasan ini data kedalaman direkam tiap jarak 50 m pada bagian morfologi kasar dan 100 m pada bagian yang datar. Waktu pemetaan dilakukan dalam beberapa periode, yaitu bulan April 2009 dan April 2010.

Data hasil pengukuran diunduh dari GPSMAP berbentuk tabel, baris data berupa titik-titik pengukuran sedangkan kolom data berupa ID, waktu pengambilan data, koordinat, altitude, dan kedalaman. Kemudian data tabel dirubah menjadi bentuk spatial dan diolah dengan menggunakan program Sistem Informasi Geografi (*SIG*) Arcview 3.1 yang dilengkapi extention *3DAnalyst*.



Gambar 1. Diagram alir pemetaan dan pengolahan data



Gambar 2. Peta lintasan pengukuran batimetri Danau Toba

### Perhitungan

Ciri-ciri morfometrik danau dilihat dari kedalaman relatif ( $z_r$ ) dan indeks pengembangan garis pantai ( $D_L$ ) (Wetzel, 1983); dengan rumus :

$$z_r = (50z_{\max}\sqrt{\pi})/\sqrt{A_0}$$

$$D_L = L / (2\sqrt{\pi A_0})$$

$z_{\max}$  = kedalaman maksimum  
 $A_0$  = luas permukaan  
 $L$  = panjang garis pantai

Untuk mendapatkan nilai *retention time* (waktu tinggal) air danau, menggunakan rumus:

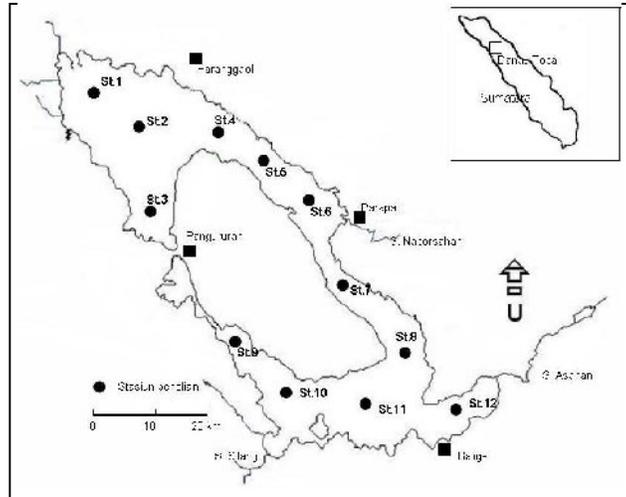
$$\text{Retention time } (Rt) = \frac{\text{Volume}}{\text{debit}}$$

Volume danau diperoleh dari hasil perhitungan dari morfometri danau, data

debit terutama dari air keluar danau yang bersumber dari data sekunder, sedangkan data debit masuk untuk identifikasi tingkat sirkulasi di setiap ceruk danau.

### Pengukuran Parameter Stratifikasi Perairan

Parameter karakter stratifikasi perairan yang diamati adalah suhu dan oksigen terlarut yang diukur secara vertikal pada 6 stasiun yang tersebar di wilayah perairan danau (Gambar 1). Pengukuran penciri stratifikasi ini dilakukan pada bulan April 2009 dan Oktober 2009, masing-masing pada kolom air dengan kedalaman tertentu (0, 100, 200, 300, 400 m; sesuai kedalaman maksimum setiap stasiun) menggunakan *kammerer water sampler* kemudian diukur dengan temperatur/DO meter YSI, sedangkan pada kolom air 0 – 40 meter digunakan *temperature logger* YSI.

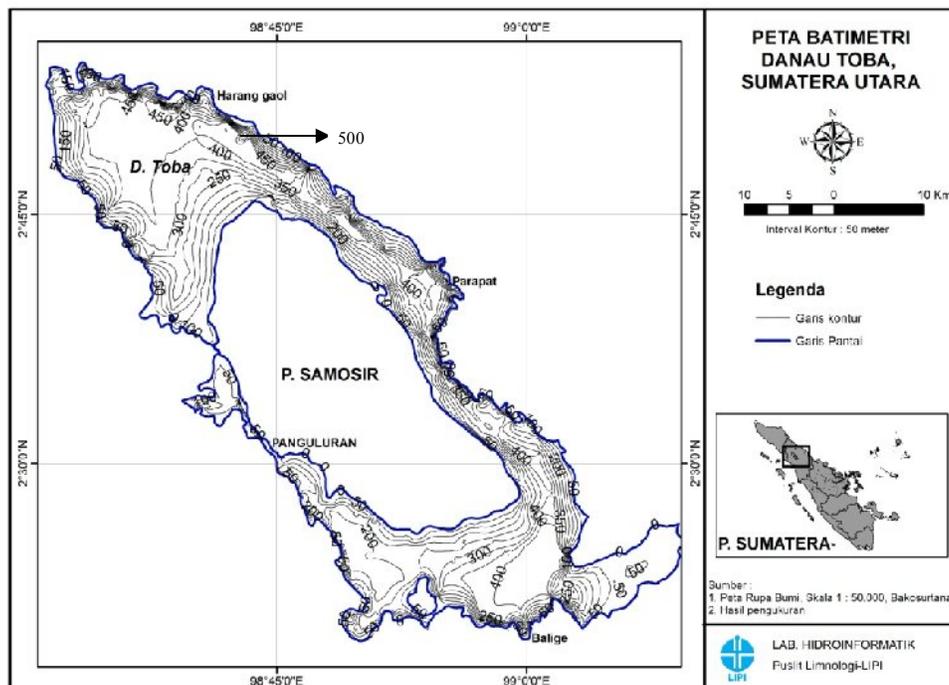


Gambar 3. Peta stasiun penelitian di Danau Toba

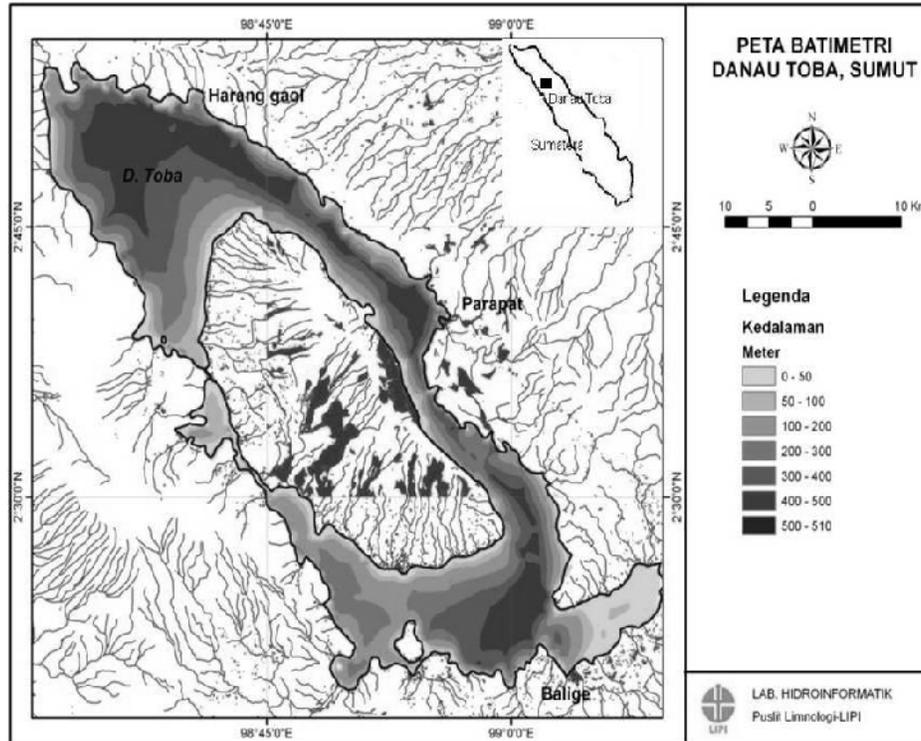
**HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**Karakteristik Morfometri**

Posisi Danau Toba menunjukkan bentuk danau yang memanjang dengan arah barat laut tenggara searah dengan tegasan Sumatera, hal ini sesuai dengan tipe danau ini yaitu volcano-tekonik (Bemmelen, 1929) yang terbentuk akibat letusan besar

gunung api di masa lampau dan sejalan dengan aktivitas tektonik Pulau Sumatera. Hasil pemetaan batimetri memperlihatkan cekungan yang dalam di danau bagian utara, arah barat Haranggaol dan di danau bagian selatan terletak di utara dari Balige (Gambar 4a;b).



Gambar 4a. Peta batimetri Danau Toba berdasarkan kontur kedalaman



Gambar 4b. Peta batimetri Danau Toba berdasarkan gradasi warna

Berdasarkan perhitungan dari pengukuran Batimetri dan deliniasi citra landsat memberikan karakteristik morfometri Danau Toba (Tabel 1), diantaranya luas permukaan, 1.124 km<sup>2</sup> (112.400 ha) dengan panjang garis pantai sekitar 428,7 km, panjang dan lebar maksimum danau, masing-masing adalah 50,2 Km dan 26,8 Km. Ciri morfometri

lainnya adalah volume danau sekitar 256,2 km<sup>3</sup> (256,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>) dengan kedalaman rata-rata 228m, kedalaman maksimum 508 m yang terletak di cekung utara. Kedalaman maksimum di cekung selatan adalah 420 m. Hasil perhitungan juga menghasilkan kedalaman relatif ( $Z_r$ ) danau 1,34 dan pengembangan garis pantai (SLD; *Shore line development*) 3,61.

Tabel 1. Karakteristik morfometri Danau Toba

No.	Parameter	Dimensi	Sumber
1.	Luas permukaan (km <sup>2</sup> )	1.124	Citra Landsat
2.	Keliling (km)	428,7	idem
3.	Panjang maksimum (km)	50,2	idem
4.	Lebar maksimum (km)	26,8	idem
5.	Kedalaman maksimum (m)	508	Peta batimetrik
6.	Volume (x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	256,2	Peta batimetrik
7.	Kedalaman rata-rata (m)	228	Perhitungan
8.	Kedalaman relatif ( $Z_r$ ) (%)	1,34	Perhitungan
9.	Luas DTA (km <sup>2</sup> )	2.486	Citra Landsat
10.	Rasio luasDTA/luas permukaan danau	2,21	Perhitungan
11.	Pengembangan garis pantai (SLD)	3,61	Perhitungan

Luas daerah tangkapan air (DTA) Danau Toba didapat dari *Automatic Watershed Delineation* (AWD) dengan menggunakan aplikasi hidrologi model SWAT adalah 2.486 km<sup>2</sup> sehingga rasio luas DTA dan luas genangan danau (A) adalah 2,21.

Luas (A) dan kedalaman maksimum ( $z_{maks}$ ) Danau Toba (Tabel 1), relatif besar dibanding danau-danau lainnya di Indonesia, seperti Poso ( $A_0$ : 36.892 ha;  $z_{maks}$  : 384,5 m) (Lukman & Ridwansyah, 2009), Towuti ( $A$  : 56108 ha;  $z_{maks}$ : 203 m), dan Matano ( $A$  : 16.408 ha;  $z_{maks}$  : 540 m) (Whitten *et al.*, 1987), dan Lindu ( $A$ :3.447 ha;  $z_{maks}$ : 72,6 m) atau Danau Maninjau ( $A$ : 9.737,5 ha;  $z_{maks}$  : 105,2 m) (Fakhrudin *et al.*, 2002).

Karakteristik morfometrik Danau Toba yang membentang dari barat laut ke tenggara sepanjang  $\pm$  50,2 km membentuk dua cekungan besar, utara dan selatan, yang dipisahkan oleh adanya Pulau Samosir. Berdasarkan perhitungan dari peta landsat dan peta batimetri, ternyata cekung utara relatif lebih luas dibanding cekung selatan, demikian pula volume air yang terakumulasi lebih tinggi (Tabel 2).

sungai yang menjadi inlet danau yang dominan di wilayah selatan dan outlet danau yaitu Sungai Asahan, juga berada selatan. Implikasi yang jelas dari kondisi tersebut adalah waktu tinggal air di cekungan utara diperkirakan akan lebih panjang.

Luas Danau Toba hasil pengukuran ini tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran Ruttner (1955) yaitu 1129,7 km<sup>2</sup>, dan kedalaman maksimum 529 meter yang juga di cekung utara dekat Haranggaol. Berdasarkan data kedalaman maksimum terdapat indikasi penurunan kedalaman maksimum sekitar 21 meter dalam rentang waktu 55 tahun, atau dengan penurunan kedalaman rata-rata yang mencapai  $\pm$ 38 cm/tahun. Pendangkalan merupakan suatu proses alami, namun perbedaan tersebut dapat juga terjadi karena perbedaan pengukuran. Perbedaan tersebut terjadi juga pada pengukuran batimetri lainnya seperti di Danau Poso (Lukman & Ridwansyah, 2009) dan di Danau Lindu (Lukman & Ridwansyah, 2004), yaitu adanya pengurangan kedalaman maksimum danau. Bila data-data tersebut benar, diasumsikan kedalaman maksimum dapat

Tabel 2. Perhitungan luasan dan volume cekungan utara dan selatan Danau Toba

Wilayah Cekungan	Luas (km <sup>2</sup> )*	Proporsi Luas (%)	Volume ** (x 10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	Proporsi Volume (%)
Utara	586,16	52,15	155,67	60,8
Selatan	537,84	47,85	100,52	39,2
Total	1.124,54	100	256,2	100

\*) Pengukuran berdasarkan Citra Landsat

\*\*) Pengukuran berdasarkan data batimetri

Perbedaan luasan dan volume cekungan danau tersebut akan berpengaruh terhadap proses-proses limnologis di dalamnya. Wilayah cekung selatan diperkirakan lebih dinamis dibandingkan dengan cekung utara, terkait sebaran sungai-

merefleksikan seluruh dasar danau dan asumsi-asumsi lain dianggap sama, terdapat indikasi bahwa semakin meningkat rasio DTA : A maka terdapat indikasi bertambahnya penurunan kedalaman maksimum danau (Tabel 3).

Tabel 3. Data penurunan kedalaman maksimum beberapa danau

No.	Danau	Indikasi penurunan Zmaks (m)	Selang Waktu (tahun)	Penurunan kedalaman maksimum * (m/tahun)	Rasio DTA : A
1	Toba <sup>1)</sup>	21	55	0,38	2,2 : 1
2	Poso <sup>2)</sup>	56	77	0,72	3,4 : 1
3	Lindu <sup>3)</sup>	30	30	1,00	15,9 : 1

Sumber data: 1) Data pada makalah ini (data 2009); 2) Lukman & Ridwansyah (2009);

3) Lukman & Ridwansyah (2004)

Keterangan: \*) pada titik terdalam

Luasan DTA telah diketahui memberikan peran terhadap tingkat sedimentasi di danau, sebagaimana model yang dikembangkan Akrasi (2005) untuk prediksi tingkat sedimentasi di Danau Volta adalah berdasarkan luasan dari sub DTA sungai-sungai yang masuk kedalamnya. Menurut Sly (1978) wilayah tangkapan danau memiliki pengaruh besar terhadap pasokan material sedimen dan material lainnya.

Berdasarkan data debit Sungai Asahan (outlet Danau Toba) yang diamati di stasiun Siruar, maka data debit keluaran Danau Toba periode tahun 1920 – 1932 adalah 110,4 m<sup>3</sup>/dt, periode 1957 – 1975 adalah 104,4 m<sup>3</sup>/dt, dan periode 1976 -1988 mencapai 90 m<sup>3</sup>/dt (Sastromijoyo, 1990). Berdasarkan debit keluaran air danau yang terukur pada Sungai Asahan di Siruar (outlet danau) tersebut yang berkisar antara 90 m<sup>3</sup>/dt– 110 m<sup>3</sup>/dt, maka rata-rata debit keluaran Danau Toba akan berada pada 100 m<sup>3</sup>/dt. Semenara itu dengan volume Danau Toba yang mencapai 256,2 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> (Tabel 1), maka Danau Toba akan memiliki waktu tinggal (*retention time*) air 81,24 tahun. Masa simpan air Danau Toba ini cukup panjang, dibandingkan waktu tinggal air Danau Maninjau yang mencapai 25,05 tahun (Fakhrudin *et al*, 2001) dan Danau Poso yang hanya 7,21 tahun (Lukman & Ridwansyah, 2009).

Waktu tinggal air di Danau Toba yang sangat panjang tampaknya terkait dengan rasio antara DTA dan luas dananya, yang relatif kecil untuk Danau Toba.

Menurut Hakanson (2005) terdapat hubungan (korelasi) nyata negatif antara luas DTA dengan laju pengaliran air rata-rata tahunan dari danau-danau. Sementara itu menurut Rausch & Heinemann, Bombowna *et al*, dalam Petts, (1984), waktu tinggal air juga akan memberikan peranan yang cukup signifikan didalam proses-proses yang terjadi di danau, diantaranya efisiensi perangkapan sedimen dan nutrien.

Berdasarkan tingkat kedalaman relatifnya ( $Z_r = 1,34\%$ ), Danau Toba mencirikan perairan tidak stabil. Menurut Wetzel (1983) sebagian besar danau memiliki nilai  $Z_r$  kurang dari dua persen, yang menunjukkan tingkat stabilitas yang rendah. Sedangkan danau-danau yang memiliki stabilitas tinggi umumnya memiliki nilai  $Z_r > 4$  persen, dan merupakan danau dalam dengan luas permukaan sempit. Danau Toba yang memiliki stabilitas rendah, akan mudah sekali mengalami pengadukan dengan adanya pengaruh dari luar, seperti adanya hembusan angin yang kuat.

Pengembangan garis pantai ( $D_L$ ) adalah gambaran potensi dan peranan wilayah tepian dalam hubungannya dengan kesuburan danau, semakin panjang garis pantainya semakin besar nilai  $D_L$ . Menurut Welch (1952) makin panjang garis pantai makin besar produktivitas danau. Garis pantai diantaranya akan berkontribusi terhadap luasan kontak perairan dan daratan dan luasan dari wilayah litoral danau. Nilai  $D_L$  Danau Toba adalah 3,61, dibandingkan dengan Danau Poso yang hanya 1,59

(Lukman & Ridwansyah, 2009), yang menunjukkan bahwa peranan wilayah tepian Danau Toba lebih mendukung produktivitas perairannya dibanding Danau Poso. Nilai  $D_L$  Danau Toba juga lebih tinggi dibanding nilai  $D_L$  Danau Maninjau yang mencapai 1,51 (Fakhrudin, *et al.* 2002), dan nilai  $D_L$  Danau Lindu yang hanya 1,27 (Lukman & Ridwansyah, 2004).

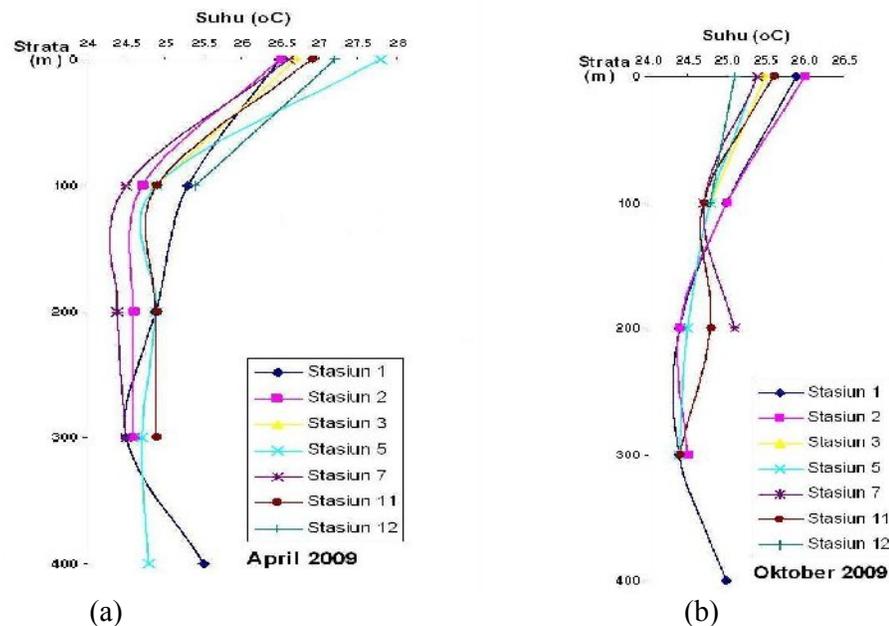
### Ciri Stratifikasi Vertikal Perairan Suhu Perairan

Berdasarkan data pengukuran profil suhu pada bulan April 2009 di enam stasiun kecenderungan kestabilan suhu berada pada kedalaman  $\geq 100$  m. Kondisi suhu perairan danau, dari permukaan hingga kedalaman 100 m, suhu menurun secara bertahap dari antara 26 – 28°C hingga pada kisaran 24 – 25°C, setelah itu suhu relatif stabil (Gambar 5a). Variasi suhu terjadi berdasarkan waktu pengukuran, yaitu pada pengukuran bulan Oktober 2009 (Gambar 5b), suhu air permukaan cenderung lebih rendah dari pengukuran di bulan April 2009. Kondisi ini menunjukkan suhu yang cenderung menjadi homogen, tetapi di lapisan dalam masih

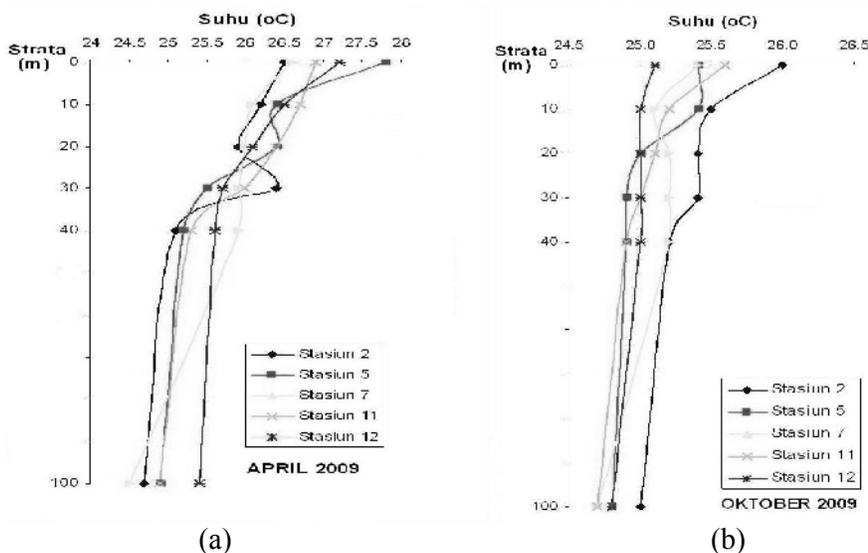
dalam kondisi yang sama dan masih menunjukkan adanya stratifikasi suhu antara permukaan dan lapisan dalam.

Berdasarkan data dua pengukuran tersebut tampak ada fenomena suhu meningkat pada lapisan paling dalam di stasiun 1. Namun demikian, pada pengukuran Oktober 2009 tidak dapat diperbandingkan dengan stasiun lain (Stasiun 5) karena tidak ada data. Fenomena tersebut dapat dipelajari lebih lanjut, terkait tingkat kestabilannya serta faktor-faktor penyebabnya dan dampaknya bagi ekosistem perairan.

Pada pengukuran profil vertikal suhu pada kedalaman 0 – 40 meter, menunjukkan pola yang lebih beragam (Gambar 6), yang tampaknya pengaruh kondisi cuaca dipermukaan cukup kuat, seperti cahaya matahari, pola pengadukan dan diperkuat oleh faktor kelimpahan plankton atau material tersuspensi lainnya. Kondisi suhu lapisan permukaan dapat sangat berbeda dan akan dipengaruhi kondisi cuaca, karena terpapar langsung sinar matahari, angin dan hujan.



Gambar 5. Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0 – 400 m



Gambar 6. Profil vertikal suhu di Danau Toba kedalaman 0 – 40 m

Berdasarkan profil-profil vertikal suhu tersebut, diperkirakan lapisan epilimnion akan berada pada strata kedalaman 0 – 30 m, lapisan metalimnion pada strata kedalaman 30 – 100 meter, lapisan hipolimnion berada pada strata kedalaman  $\geq 100$  m.

Pernyataan bahwa Danau Toba mencirikan perairan tidak stabil ( $Z_r = 1,34\%$ ), dan akan mudah sekali mengalami pengadukan dengan adanya pengaruh dari luar, diperkirakan hanya berlangsung pada kolom air antara 1 -100 meter.

Kondisi stabilitas Danau Toba sesuai dengan skema tipe danau oleh Hutchinson dan Löffler termasuk tipe Oligomictic. Hal ini berarti bahwa terdapat stratifikasi suhu pada sebagian besar periode dalam setahun namun terdapat pendinginan (*cooling*) pada interval tak tentu dalam perioda sirkulasi yang terbilang jarang.

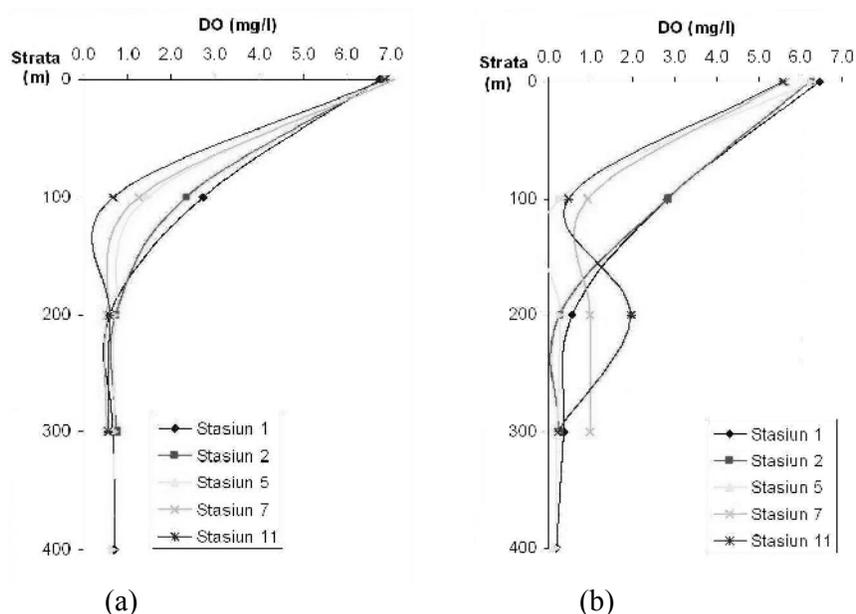
Stratifikasi suhu yang cenderung permanen di perairan Danau Toba, namun cenderung dinamis di bagian permukaan sebagaimana pernyataan Stevens & Lawrence (1997), bahwa dengan tidak adanya tutupan es, suatu kombinasi pemanasan matahari, pendinginan radiasi dan dorongan angin menghasilkan suatu lapisan permukaan (epilimnion) yang relatif

tercampur baik. Lapisan ini terpisah dari lapisan dingin yang relatif tenang, yaitu hypolimnion, oleh suatu lapisan thermokline (atau metalimnion).

Kedalaman 0 – 100 meter yang diperkirakan merupakan wilayah yang relatif dinamis dengan adanya pencampuran vertikal. Pencampuran vertikal tersebut akan mempengaruhi siklus fosfor diantara sedimen dan kolom air, sebagai mana variasi oksigen terlarut yang berpengaruh terhadap pelepasan nutrien pada sekat antra air-sedimen (Stefan & Hanson, 1981).

#### Ketersediaan Oksigen Terlarut

Kadar oksigen terlarut yang terukur di permukaan relatif tinggi ( 6 – 7 mg/l), namun menurun drastis pada kedalaman 100 m dan umumnya menunjukkan kondisi sangat minim ( $\leq 2$  mg/l) pada kedalaman 200 m dan seterusnya (Gambar 7). Kondisi ini terkait dengan proses fotosintesis yang berlangsung di permukaan perairan, khususnya pada kedalaman antara 0 – 30 meter, terkait kedalaman eufotik perairan. Namun pada kedalaman 100 meter dan selanjutnya adalah proses respirasi yang intensif, terutama karena berlangsungnya perombakan bahan organik yang juga intensif.



Gambar 7. Profil vertikal kadar oksigen terlarut di perairan Danau Toba  
a) April 2009; b) Oktober 2009

Kadar oksigen terlarut di lapisan hipolimnion memungkinkan untuk lebih rendah dibanding epilimnion, karena respirasi di sekitar sedimen akan lebih intensif sementara itu pencampuran air dari permukaan ke bagian dalam dibatasi oleh stratifikasi panas, yang umumnya di wilayah iklim sedang terjadi pada musim panas (Miranda *et al*, 2001).

Penenggelaman dan perombakan lebih lanjut bahan organik ini merangsang deplesi oksigen di perairan bagian dasar. Oksigen dikonsumsi selama respirasi dan remineralisasi bahan organik, nitrifikasi dan reaksi redoks. Aktivitas respirasi sendiri dapat dibagi diantara respirasi basal (istirahat), yang dikaitkan dengan biosintesis dari biomassa dan yang mendukung perilaku. Remineralisasi bahan organik mengkonsumsi oksigen baik secara langsung melalui respirasi oksik dan secara tidak langsung melalui oksidasi berbagai metabolit (misalnya Mn(II), Fe(II), S(-II) (Pena *et al*, 2010). Lebih lanjut Welsh & Eller (1991), mengemukakan bahwa stratifikasi suhu, sebagaimana terjadi di Danau Toba ini, dapat meningkatkan deplesi

oksigen terlarut di wilayah dasar karena kebutuhan oksigen pada kolom air dan sedimen.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akrasi, S.A., 2005, The Assessment of Suspended Sediment Inputs to Volta Lake, *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 10: 179 – 186
- Ardika, G., 1999, Danau dan Waduk dalam Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan (*Lake and Reservoir in the Development of Continuable Tourism System*), Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk, PPLH-IPB, Ditjen Bangda-Depdagri, Ditjen Pengairan-Dep.PU, dan Kantor Men. LH. Bogor. Hal. IV (1–13)
- Arifin, S., 2004, Pengelolaan Ekosistem Kawasan Danau Toba yang Berwawasan Lingkungan, Prosiding Lokakarya Danau Kedua Pengelolaan Danau Berwawasan

- Lingkungan di Indonesia, Forum Danau Indonesia (FDI) dan International Lake Environment Committee Foundation (ILEC). Hal. 89 – 95.
- Bemmelen R. W. van., 1939, The Volcano-tectonic Origin of Lake Toba (North Sumatera), de Ing. in Ned. Ind. 6: 126-140., the Hague.
- Fakhrudin, M., H. Wibowo, L. Subehi, & I. Ridwansyah, 2002, Karakterisasi Hidrologi Danau Maninjau, Sumatera Barat, *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi – LIPI. Hal. 65 -75.
- Hakanson, L., 2005, The Importance of Lake Morphometry and Catchment Characteristic in Limnology – Ranking Based on Statistical Analyses, *Hydrobiologia* 541: 117 – 137.
- Lawrence, Sean P., K. Hogeboom, & H.L.Le Core, 2002, A three-Dimensional General Circulation Model of the Surface Layers of Lake Baikal, *Hydrobiologia* (487): 95-110.
- Lukman & I. Ridwansyah, 2003, Kondisi Daerah Tangkapan dan Ciri Morfometri Danau Lindu Sulawesi Tengah, *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, No. 35: 11 -20.
- Lukman & I. Ridwansyah, 2009, Telaah Kondisi Fisik Danau Poso dan Prediksi Ciri Ekosistem Perairannya, *Limnotek*, Vol. XVI (2): 64 – 73.
- Miranda L.E., Hargreaves J.A., & Raborn S.W., 2001, Predicting and Managing Risk of Unsuitable Dissolved Oxygen in a Eutrophic Lake, *Hydrobiologia* 457: 177–185.
- Pena M.A., Katsev S., Oguz T., & Gilbert D., 2010, Modeling Dissolved Oxygen Dynamics and Hypoxia. *Biogeosciences*, 7: 933–957.
- Petts G.E., 1984, Impounded Rivers. Perspectives for Ecological Management, John Wiley & Sons. Singapore. 326 pp.
- Purnomo, K., E.S. Kartamihardja, Wijopriono, Z. Fahmi, M.M. Wahyono, R. Faizah & A.S. Sarnita, 2005, Riset Pemetaan Kapasitas Sumberdaya Ikan dan Lingkungan di Danau Toba, Sumatera Utara, Pusat Riset Perikanan Tangkap, BRKP-DKP. 31 hal.
- Ruttner, F., 1930, Hydrographische und Hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatera und Bali. *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 8: 197-454.
- , 1955, Planktonstudien der Deutschen Limnologischen Sunda Expedition, . *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 21: 1-274.
- Sastromijoyo, S., 1990, Some Hydrological Aspect of Lake Toba, Inst. of Hydrologic Eng. Agency of R & D Ministry of Public Work, Republic of Indonesia. p 18.
- Sly, P.G., 1978, *Sedimentary Processes in Lakes*. In: Lerman, A (Ed.). *Lakes; Chemistry, Geology, Physics*, Springer-Verlag, New York. 65 – 89.
- Stefan, H.G., & M.J. Hanson, 1981, Phosphorus Recycling in Five Shallow Lakes. *J. Environ. Eng.* 107: 713-731.
- Stevens C.L., & Lawrence G.A., 1997, Estimation of Wind-forced Internal Seiche Amplitudes in Lakes and Reservoirs, with Data from British Columbia, Canada, *Aquat.Sci.* 59: 115–134.
- Stumm W., 1985, *Chemical Processes in Lakes*, Wiley-Interscience, New York, 435 pp.
- Welch P.S., 1952, *Limnology*. Mc Graw-Hill Book Company, Inc. 538 pp.
- Welsh B.L., & C.F. Eller, 1991, Mechanisms Controlling Summertime Oxygen Depletion in Western Long Island Sound. *Estuaries*, 14(3): 265-278.

- Wetzel R.G., 1983, *Limnology*, W. B. Saunders College Publ., Philadelphia. 743 pp.
- Whittern, A.J., M. Mustafa & G.S. Anderson, 1987, *The Ecology of Sulawesi*, Gajah Mana University Press. 777 pp.