

## PENGAMATAN POLA STRATIFIKASI DI DANAU MANINJAU SEBAGAI POTENSI TUBO BELERANG

Lukman, Sutrisno, dan Agus Hamdani

*Pusat Penelitian Limnologi, LIPI*

E-mail : lukman@limnologi.lipi.go.id

Diterima redaksi : 21 Mei 2013, disetujui redaksi : 5 November 2013

### ABSTRAK

Danau Maninjau diketahui memiliki aktivitas KJA yang intensif dan fenomena kematian massal ikan di perairan tersebut sering terjadi. Tubo Belerang", adalah istilah yang ditandai dengan adanya kematian massal ikan yang dipelihara pada karamba jaring apung (KJA) di Danau Maninjau. Untuk mengenali indikasi "tubo Belerang" di Danau Maninjau, telah dilakukan pengamatan pola stratifikasi beberapa parameter kualitas air, meliputi suhu, oksigen terlarut (DO; Dissolved Oxygen) dan kadar bahan organik total (TOM; Total Organic Matter). Pengamatan dilakukan pada Agustus, Oktober, Desember 2011 dan Maret 2012 di lima stasiun yang berbeda, pada strata 0, 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 m, yang disesuaikan dengan kedalaman masing-masing stasiun. Pada Desember 2011 dan Maret 2012, parameter DO diukur pada kedalaman 5, 10, 15 dan 20 m. Sebagai parameter pendukung, diukur kandungan klorofil pada kedalaman 0, 1,5, 3,0 dan 4,5 m, kedalaman Secchi, dan juga kadar total fosfor (TP) dan total nitrogen (TN) pada lapisan permukaan. Berdasarkan kadar klorofil, kedalaman Secchi, kadar TP dan TN, perairan Danau Maninjau menunjukkan kondisi eutrofik. Suhu air relatif stabil pada kedalaman di bawah 25 meter, kondisi anoksik ditemukan pada lapisan air hingga kedalaman 15 m. Kadar TOM berkisar 5,9-24,9 mg/L, dan tidak ada pola khas pada distribusi vertikal TOM. Kondisi ini secara umum sering digambarkan sebagai upwelling tetapi sebenarnya merupakan proses turnover.

**Kata kunci:** Danau Maninjau, stratifikasi suhu, oksigen terlarut, klorofil a, bahan organik total

### ABSTRACT

**LAKE MANINJAU STRATIFICATION OBSERVATION AS REVIEW OF "TUBO BELERANG" INDICATION.** "Tubo belerang", is a term that characterized by the presence of the mass death of fish in cage aquaculture Lake Maninjau. Lake Maninjau is known to have a intensive cage aquaculture and the of fish mass death phenomenon in these waters often occur. To recognize the "tubo belerang" indication in Lake Maninjau, has done observation on stratification patterns of some water quality parameters, include temperature, dissolved oxygen (DO) and the levels of total organic matter (TOM). Observations were conducted in August 2011, October 2011, December 2011 and March 2012 at five different stations, on the strata 0, 25, 50, 75, 100, 125 and 150 m, which is parallel to the depth of each stations. In December 2011 and March 2012, DO and temperature parameters were also measured at a depths of 5, 10, 15 and 20 m. As supporting parameters, chlorophyll a content was measured at depths 0, 1.5, 3.0 and 4.5 m, Secchi depth, also total phosphor (TP) and total nitrogen (TN) on surface layer. Based chlorophyll levels, Secchi depth, and TP and TN content, Lake Maninjau waters are characterized eutrophic conditions. Water temperature relative stabil after 25 meters water depth, and anoxic conditions indicating lift up to 15 m water depth. Content of TOM levels ranged from 5.9 to 24.9 mg/L, and no specific pattern of TOM distribution vertically.

**Keywords:** Lake Maninjau, temperature stratification, dissolved oxygen, chlorophyll a, total organic matter

## PENDAHULUAN

Danau Maninjau memiliki perikanan budidaya dengan karamba jaring apung (KJA) yang sangat intensif sejak tahun 1997, dengan jumlah KJA yang beroperasi mencapai 2000 unit (Agustedi & Adriati, 1997). Data-data terakhir menunjukkan jumlah KJA di Danau Maninjau telah mencapai 10.243 petak (Dinas Perikanan Kab. Agam, 2009; *Tidak dipublikasikan*). Fenomena kematian ikan secara masal di Danau Maninjau telah sering dilaporkan, sebagaimana laporan tahun 1997, telah terjadi kematian ikan yang mencapai 950 ton (Syandri, 2000).

Kematian massal ikan dapat terjadi karena pengembangan KJA di perairan-perairan tergenang seperti danau, pada umumnya tidak pernah memperhatikan daya dukung perairan, terutama ditinjau dari kemampuan perairan tersebut dalam menyediakan oksigen, baik untuk proses respirasi biota yang dipelihara maupun untuk proses degradasi feses ikan dan sisa pakan.

Kematian massal ikan merupakan akibat dari proses kompleks sebagai dampak dari akumulasi bahan organik baik pada dasar perairan maupun kolom air. Pada tahap awal akibat penumpukan bahan organik di dasar perairan adalah pembentukan lapisan anaerobik yang makin besar (Garno & Adibroto, 1999), diikuti terbentuknya senyawaan beracun seperti  $H_2S$  dan  $NH_3$ . Pada kondisi tertentu akan terjadi "umbalan" yang mendorong naiknya kolom air yang tidak mengandung oksigen (anaerob) dan mengancam ikan-ikan yang dipelihara.

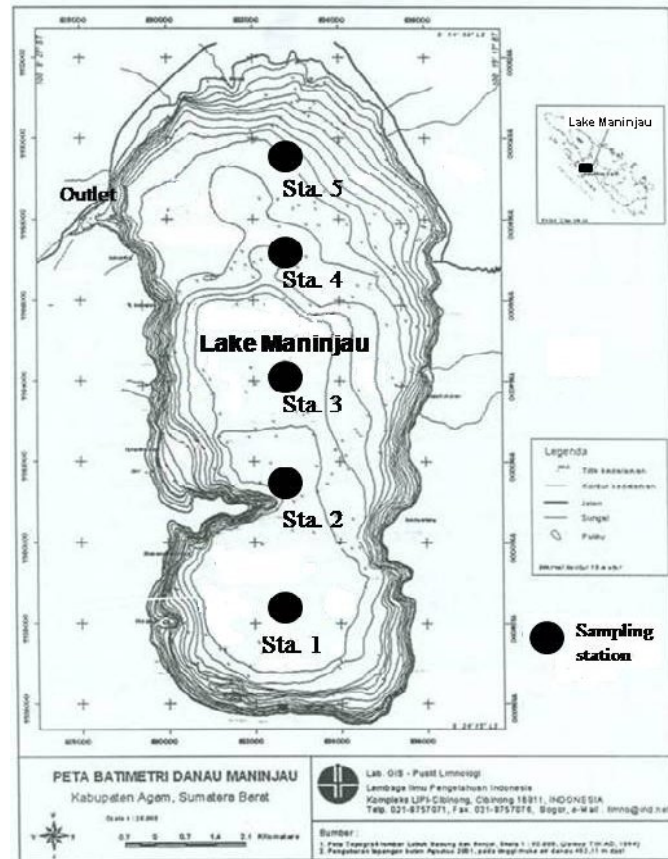
Untuk mengetahui indikasi proses umbalan di Danau Maninjau, telah dilakukan pengamatan pola-pola stratifikasi beberapa parameter kualitas air yaitu suhu, oksigen terlarut (DO; *Dissolved Oxygen*) dan kadar bahan organik total (TOM; *Total Organic Matter*). Berdasarkan pola stratifikasi

tersebut diharapkan dapat ditelusuri mekanisme terjadinya periode umbalan.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan pada bulan-bulan Agustus, Oktober, Desember 2011, dan Maret 2012 di lima stasiun yang membujur dari selatan ke utara danau (Gambar 1), pada kedalaman 0, 25, 50, 75, 100, 125 dan 150 m, yang disesuaikan dengan kedalaman perairan. Pada bulan Desember 2011 dan Maret 2012, parameter suhu dan DO juga diukur pada kedalaman 5, 10, 15 dan 20 m. Parameter penunjang yang diukur adalah tingkat kecerahan dan kadar klorofil dari strata kedalaman 0, 1,5, 3,0 dan 4,5 m. Pada kolom air permukaan diukur kadarkadar total fosfor (TP) dan total nitrogen (TN).

Pengambilan air untuk pengukuran DO, analisis kadar TOM dan klorofil menggunakan *Van Dorn Sampler*. Suhu air diukur dengan Pengukur Kualitas Air (WQC; *Water Quality Checker*) merek Horiba sedangkan DO diukur dengan DO meter digital YSI. Analisis TOM dilakukan dengan mengambil contoh air, yang kemudian disimpan di dalam botol dan diberi pengawet asam ( $H_2SO_4$ ). Analisis kadar klorofil, dilakukan dengan mengambil contoh air sebanyak 250 ml disaring menggunakan kertas saring *Whatman Glass Microfiber Filter* (GFF) dan diawetkan dengan  $MgCO_3$ . Analisis kadar TOM dilakukan di laboratorium menggunakan metode titrimetri, analisis klorofil *a* menggunakan spektrofotometri, analisis kadar total fosfor (TP) dan total nitrogen (TN) dilakukan di laboratorium, masing-masing menggunakan metode asam askorbat dan kalium peroksodisulfat. Kadar TN dan TP ditetapkan secara spektrofotometri pada  $\lambda 880$  (Greenberg *et al.*, 1992). Pengukuran parameter penunjang lainnya diukur dengan WQC (*Water Quality Checker*) merk Horiba U-10.



Gambar 1. Tempat pengukuran parameter kualitas air di Danau Maninjau

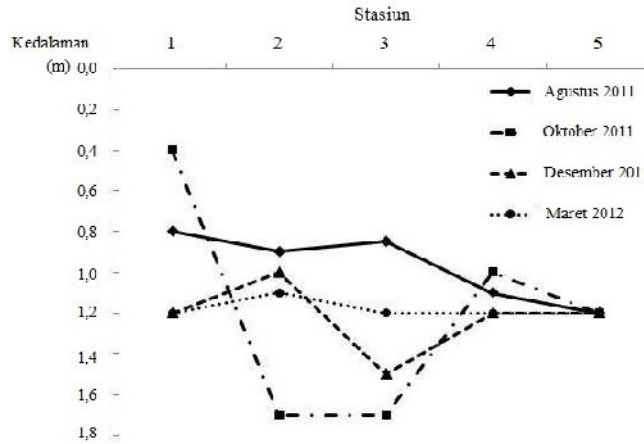
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Danau Maninjau yang terletak di Propinsi Sumatera Barat, memiliki luas 9.737,5 ha, kedalaman maksimum 165 m, volume  $10.266 \times 10^6 \text{ m}^3$ , dan masa tinggal air mencapai 25 tahun (Fakhrudin *et al.*, 2002). Kondisi tersebut akan menentukan perilaku fisik dan distribusi massa airnya. Masa tinggal air yang relative panjang (25 tahun) memungkinkan laju akumulasi bahan-bahan allochtonous yang relatif tinggi. Menurut Rausch & Heinemann, Bombowna *et al.*, dalam Petts, (1984), waktutinggal air juga akan memberikan peran yang cukup signifikan didalam proses-proses yang terjadi di danau, diantaranya efisiensi perangkapan sedimen dan hara.

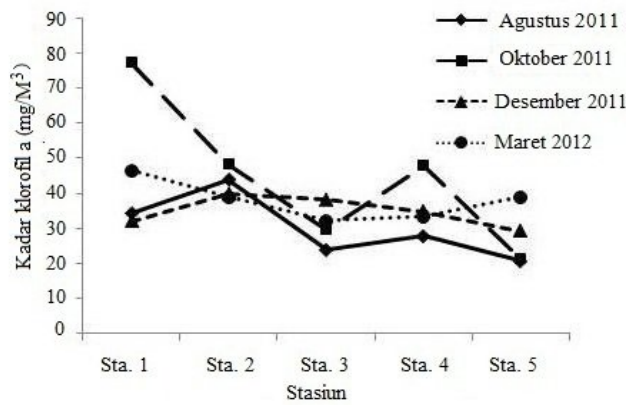
### Kedalaman Secchi dan Kadar Klorofila

Kedalaman Secchi yang terukur menunjukkan tingkat kecerahan perairan danau berkisar antara 0,4 m – 1,7 m, dengan peningkatan tingkat kecerahan dari selatan ke utara. Tingkat kecerahan paling rendah terjadi pada bulan Oktober 2011 di Stasiun 1 (Gambar 2).

Kadar klorofil rata-rata kolom air di Danau Maninjau berkisar antara 20,7 – 77,5  $\text{mg/M}^3$ , yang menunjukkan kondisi Danau Maninjau dalam kondisi eutrofik (Gambar 3). Hal ini mengacu kepada klasifikasi Sells & Markland (1987), yang menyatakan bahwa kandungan klorofil perairan oligotrofik berkisar antara 0 – 4  $\text{mg/M}^3$ , mesotrofik antara 4 - 10  $\text{mg/M}^3$ , sedangkan perairan eutrofik memiliki kadar klorofil padakisan 10 - 100  $\text{mg/M}^3$ .



Gambar 2. Tingkat kecerahan perairan dari setiap stasiun pengamatan di Danau Maninjau

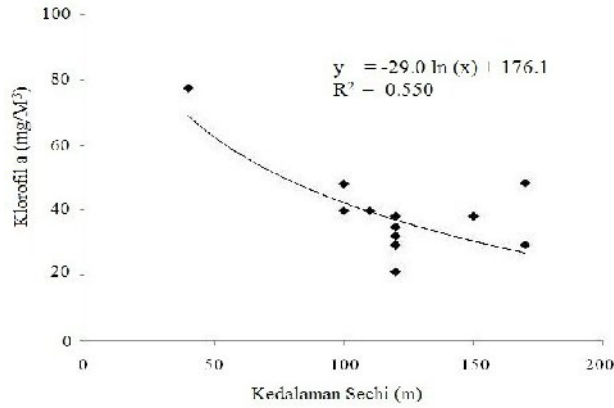


Gambar 3. Kadar klorofil a rata-rata kedalaman 0 – 4,5 m di Danau Maninjau

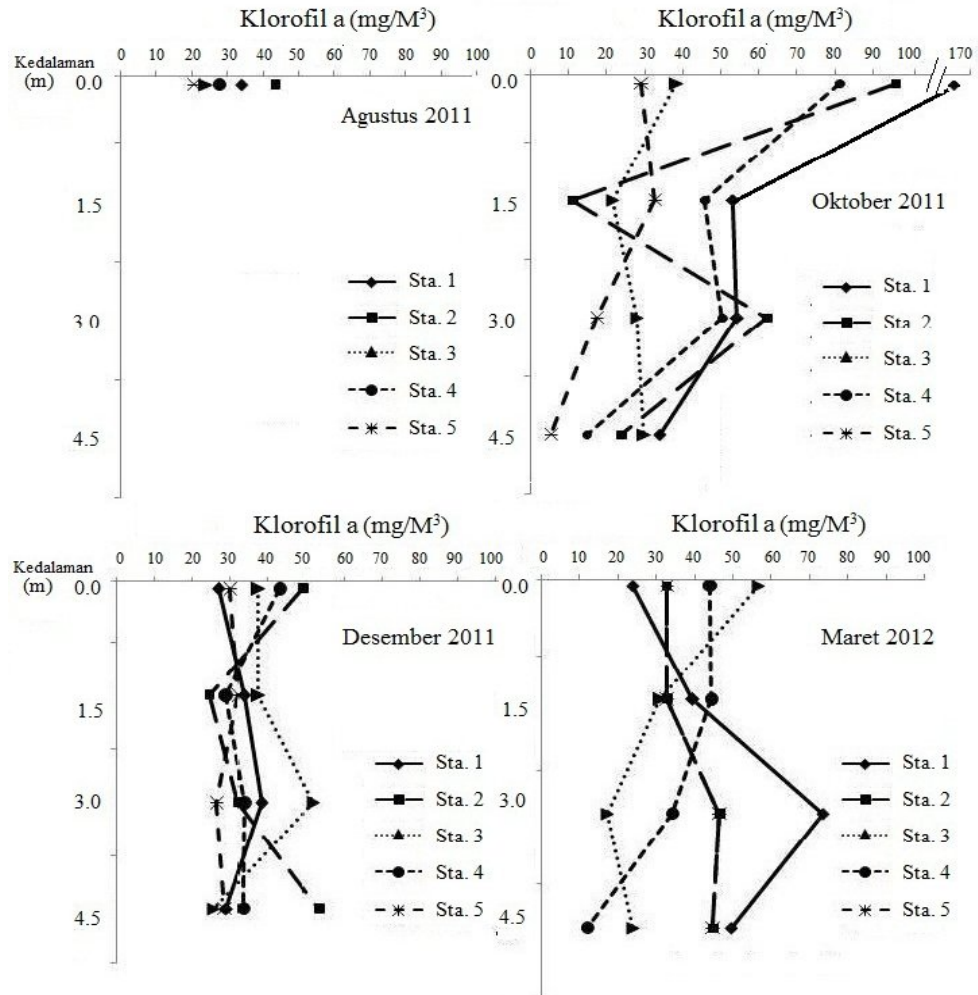
Tingkat kecerahan perairan Danau Maninjau tampak terkait dengan kadar klorofil a yang terukur pada kolom air, dan peningkatan kedalaman Secchi dari wilayah selatan ke utara danau sejalan dengan kecenderungan menurunnya kadar klorofil a. (Gambar 2; 3). Berdasarkan pengukuran dari kedua parameter tersebut, terdapat pola hubungan yang relatif erat antara keduanya ( $R^2 = 0.55$ ) yang mana penurunan kadar klorofil menyebabkan peningkatan kedalaman Secchi yang membentuk hubungan linier logaritmik (Gambar 4).

Kemelimpahan klorofil a umumnya merata dari permukaan hingga kedalaman 4.5 m, kecuali pada pengamatan bulan Oktober 2011 dengan kemelimpahan yang relatif tinggi hingga mencapai  $169 \text{ mg/M}^3$ , di kolom air permukaan di Stasiun 1 yang mencirikan kondisi *blooming* (Gambar 5).

Tingginya kadar klorofil tersebut diduga terkait dengan *blooming Mycrocystis* dan merupakan dampak dari aktivitas KJA, sebagaimana telah dikemukakan Sulastri (2002). Eutrofikasi Danau Maninjau telah dikemukakan oleh Sulawesty *et al* (2011) dengan kadar TN dan TP yang tinggi yang dipicu oleh adanya aktifitas KJA.



Gambar 4. Pola hubungan antara kadar chlorofil a dan tingkat kedalaman Secchi di Danau Maninjau



Gambar 5. Kelimpahan klorofil a pada kolom air 0 – 4,5 m di Danau Maninjau (Data klorofil pada bulan Agustus 2011 hanya pada kolom permukaan)

Kadar TN dan TP yang terukur saat observasi masing-masing yang berada pada kisaran 0,366 – 7,429 mg/L dan 0,020 – 0,134 mg/L (Tabel 1). Kadar TN menunjukkan kondisi oligotrofik hingga hipertrof, sedangkan kadar TP menunjukkan kondisi mesotrofik hingga hipertrof (Vollenweider & Kerekes, 1980).

kecenderungan suhu secara vertikal seragam. Dari data pengukuran pada bulan Desember dan Maret 2012 menunjukkan bahwa pergeseran suhu yang cukup kuat hanya berlangsung pada kolom air antara 0 – 5 m saja, yang diduga terkait dengan proses pemanasan akibat dari radiasi matahari (Gambar 7).

Tabel 1. Kadar Total nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP) di Danau Maninjau

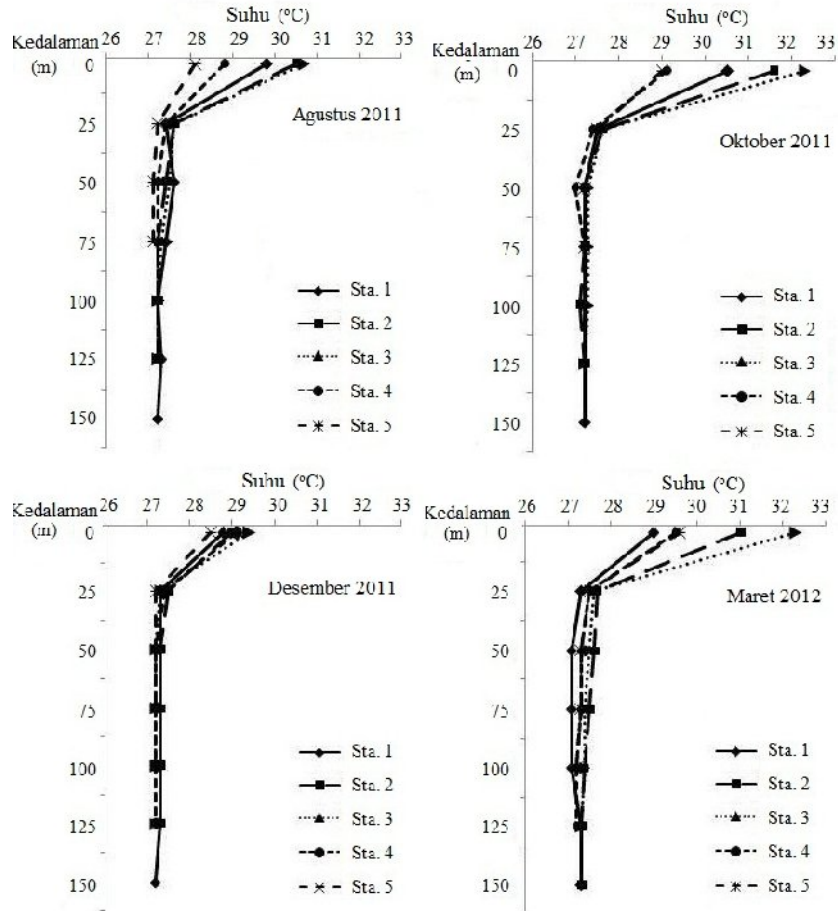
Lokasi	Total Nitrogen (TN) (mg/L)			Total Phosphorus (TP) (mg/L)		
	Agustus 2011	Oktober 2011	Maret 2011	Agustus 2011	Oktober 2011	Maret 2011
Sta. 1	0.5816	4.0828	6.4151	0.0729	0.1343	0.0208
Sta. 2	1.4542	1.7667	7.4292	0.0462	0.1228	0.0219
Sta. 3	0.9048	0.3662	5.9748	0.0352	0.0462	0.0208
Sta. 4	0.6410	1.8582	6.6824	0.0271	0.0615	0.0198
Sta. 5	0.8025	1.3304	5.0786	0.0481	0.1286	0.0208

### Stratifikasi Suhu

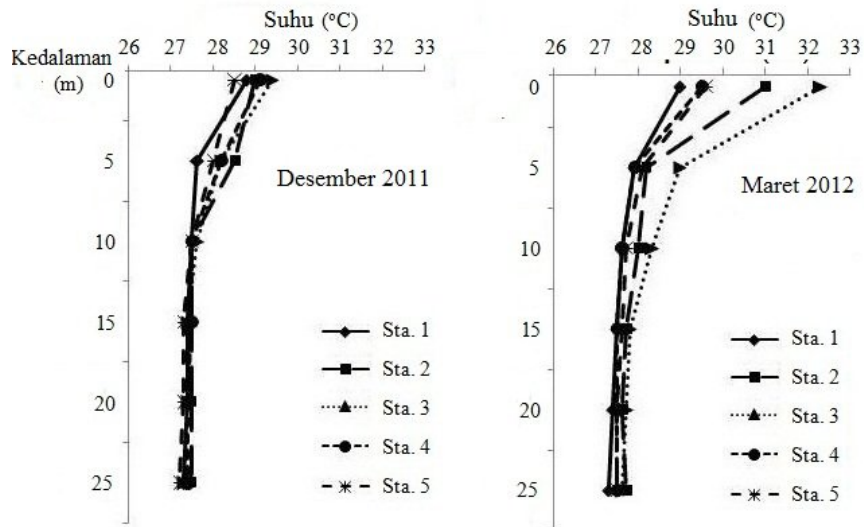
Berdasarkan data pengukuran suhu tampak profil secara vertikal suhu menurun secara bertahap dari 28 -32°C di permukaan hingga kisaran 27 – 28°C pada kedalaman  $\geq 25$  m. Pada kedalaman 0 – 25 m menunjukkan dinamika suhu pada kisaran 1 – 3°C, pada kedalaman  $>25$  m suhu relatif stabil meskipun ada perubahan suhu namun sangat rendah ( $<1^\circ\text{C}$ ) (Gambar 6).

Dari dua pengukuran suhu secara vertikal pada selang 5 meter, antara 0 – 25 meter yang diukur pada bulan-bulan Desember 2011 dan Maret 2012 menunjukkan penurunan suhu dari permukaan hingga kedalaman 25 meter terjadi secara bertahap dengan perbedaan suhu 2°C, dan tidak ada kecenderungan suatu kolom suhu yang stabil pada kedalaman tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa di Danau Maninjau epilimnion tidak terbentuk secara jelas, bahkan pada pengamatan bulan Desember 2011 ada

Dari pola-pola suhu vertikal di Danau Maninjau tampaknya pergerakan suhu cukup dinamis pada kedalaman antara 0 -5 meter tersebut. Hal ini diduga terkait dengan tingkat kecerahan yang rendah (0,4 – 1,7 m), yang merupakan pembatas penyebaran radiasi matahari. Kadar klorofil yang tinggi, sebagai komponen tersuspensi di dalam air dapat berperan terhadap penyerapan radiasi matahari. Hal ini sebagaimana dikemukakan Wetzel (2001) bahwa dari jumlah total energi cahaya yang memasuki perairan, sebagian diantaranya dihamburkan dan sisanya diserap oleh air itu sendiri, senyawa terlarut, dan bahan partikel tersuspensi. Dikemukakan pula bahwa di perairan-perairan, khususnya di wilayah temperate, selama periode tahunan yang lebih hangat, permukaan perairan dipanasi dengan kuat oleh radiasi matahari, melebihi kecepatan penyebarannya oleh pencampuran air.



Gambar 6. Profil vertikal suhu di Danau Maninjau

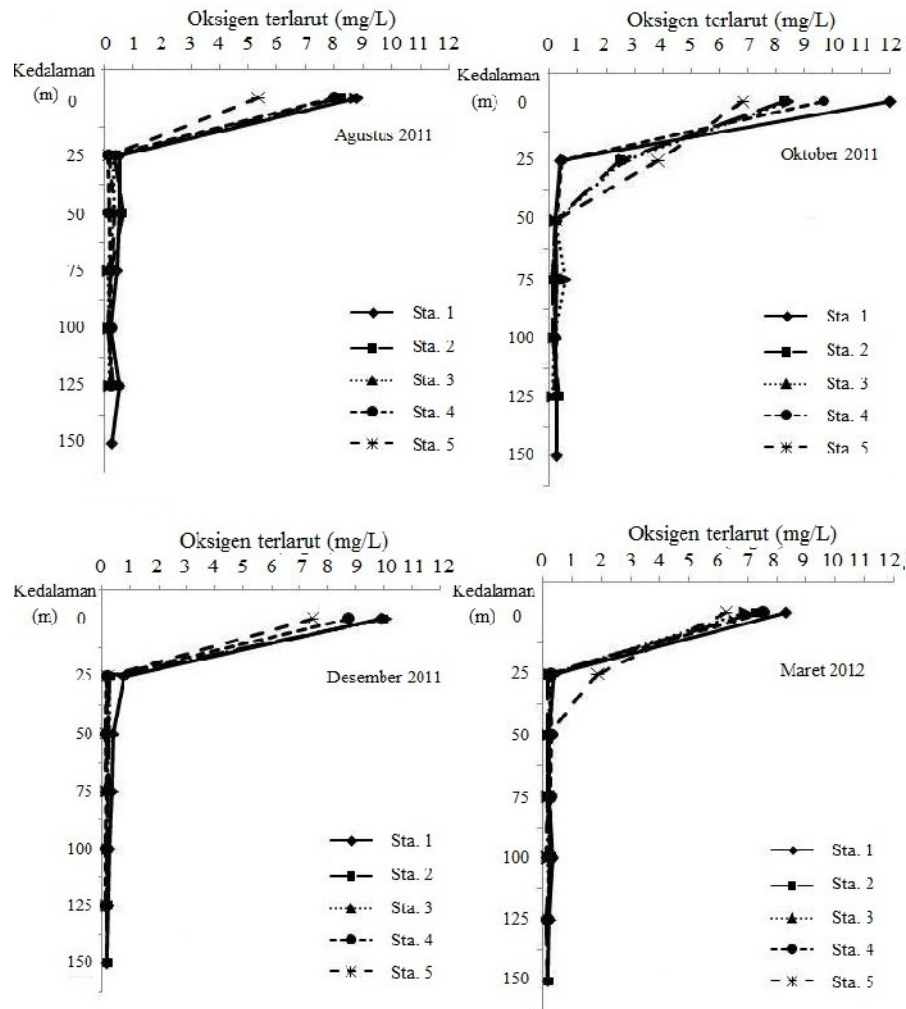


Gambar 7. Pola stratifikasi suhu vertikal di Danau Maninjau kedalaman 0 – 25 m

Pada pengamatan di Danau Toba (Lukman & Ridwansyah, 2010) lapisan epilimnion diperkirakan pada strata kedalaman 0 – 30 m, lapisan metalimnion pada strata kedalaman 30 – 100 meter, lapisan hipolimnion berada pada strata kedalaman >100 m. Kondisi tersebut tampaknya terkait dengan kedalaman wilayah eufotik perairan berkisar antara 18 – 36 meter. Semenara dengan tingkat kecerahan Danau Maninjau yang terukur, maka dengan mengacu pada formulasi Koenings & Edmunson (1991), wilayah eufotiknya hanya mencapai kedalaman 0,96 – 4,08 m.

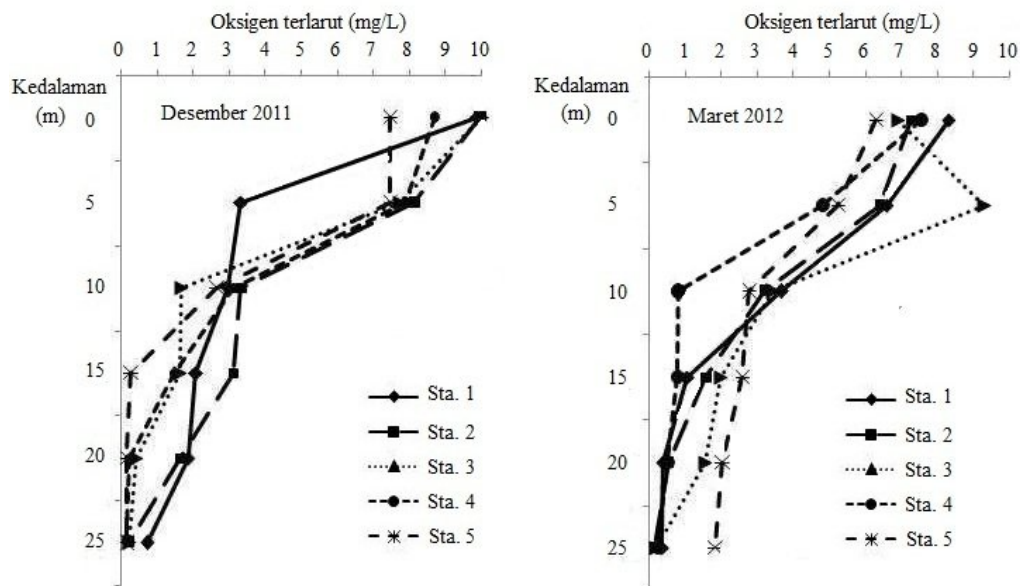
### Stratifikasi Oksigen Terlarut

Kadar oksigen terlarut yang terukur di permukaan Danau Maninjau relatif tinggi (5 - 12 mg/L), namun menurun drastis pada kedalaman  $\leq 25$  m dan umumnya menunjukkan kondisi anoksik minim (<1 mg/l) pada kedalaman tersebut (Gambar 8). Pada pengamatan DO secara lebih detil antara strata 0 – 25 meter dengan selang 5 meter pada bulan Desember 2011 dan Maret 2012, menunjukkan pada kedalaman 15 m, di beberapa stasiun kondisi DO sudah sangat kritis (< 2.0 mg/L), bahkan di Stasiun 4 pada pengamatan bulan Maret 2012 kadar DO sudah cukup rendah (<1.0 mg/L) (Gambar 9).



Gambar 8. Pola stratifikasi oksigen terlarut di Danau Maninjau





Gambar 9. Pola stratifikasi DO pada kedalaman 0 – 25 m di Danau Maninjau

Kondisi tersebut terkait dengan proses fotosintesis yang cukup intensif hanya berlangsung di permukaan perairan, khususnya pada kedalaman antara 0 – 4 meter, terkait kedalaman maksimum wilayah eufotiknya dan profil kelimpahan klorofil yang cenderung menurun dengan bertambahnya kedalaman hingga 4.5 m khususnya pada pengamatan Oktober dan Maret (*lihat* Gambar 5).

Pada kedalaman 25 meter dan selanjutnya berlangsung proses respirasi yang intensif sementara pasokan oksigen dari aktivitas fotosintesis sudah tidak berlangsung. Hal ini dikarenakan sirkulasi massa air hanya terbatas hingga kedalaman 15 meter sebagaimana tampak dari profil suhu vertikal (Gambar 7).

Kadar oksigen terlarut di lapisan hipolimnion akan lebih rendah dibanding lapisan 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). Ketersediaan oksigen di lapisan hipolimnion dipengaruhi laju perpindahan vertikal dari setiap lapisan, serta konsumsi

oksigen yang dipengaruhi kebutuhan BOD, pembusukkan fitoplankton, kebutuhan oksigen bentik dan perombakan bahan organik (Frisk, 1982).

Welsh & Eller (1991), mengemukakan bahwa stratifikasi suhu, sebagaimana terjadi di Danau Maninjau ini, dapat meningkatkan deplesi oksigen terlarut di wilayah dasar karena kebutuhan oksigen pada kolom air dan sedimen.

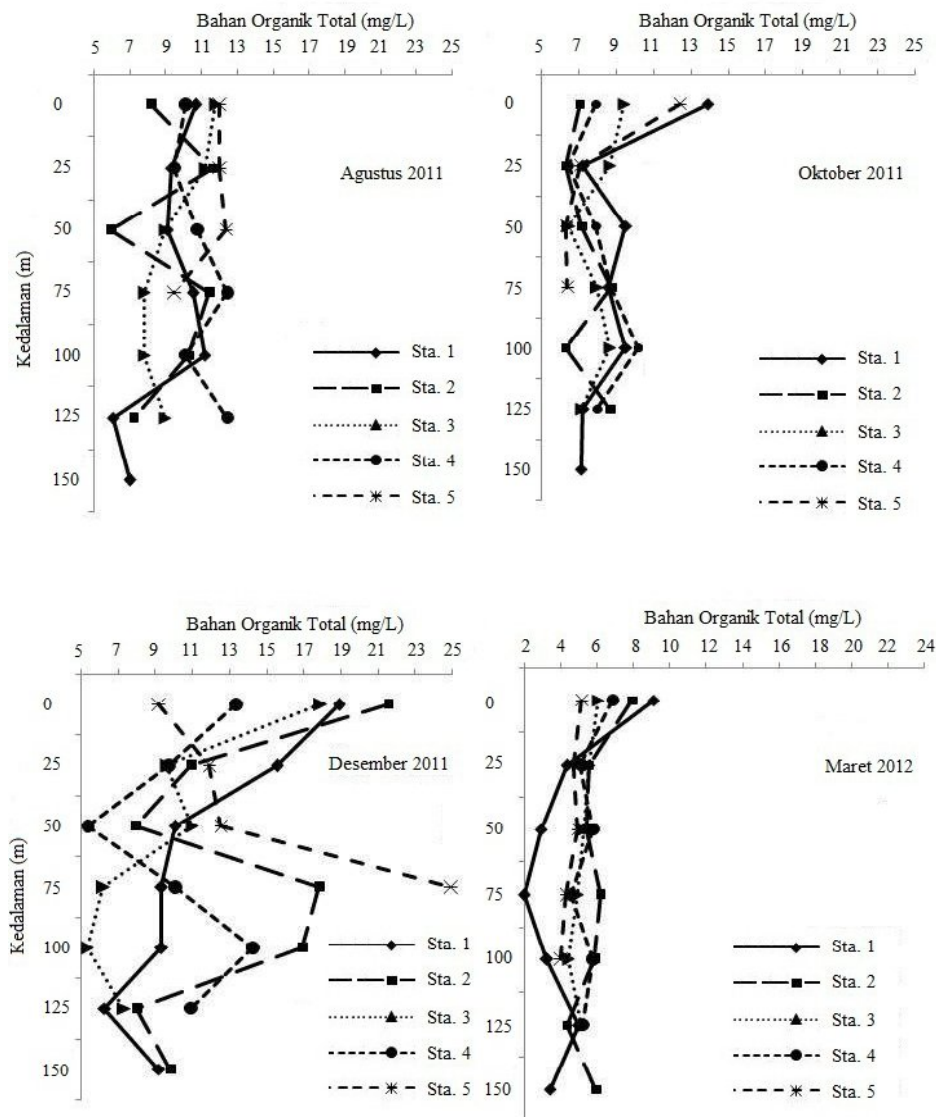
Menurut Higashino *et al.* (2008) kadar oksigen di lapisan dalam akan terus berkurang, sejalan dengan pemanfaatan oksigen di dalam sedimen yang dimanfaatkan oleh bakteri perombak organik dan oksidasi metabolit-metabolit reduksi seperti  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan  $\text{NH}_4$ . Sementara itu menurut Cornet & Rigler (1987) 85% konsumsi oksigen di lapisan hipolimnion danau terjadi pada sedimen.

#### Kadar Bahan Organik Total (TOM) di Kolom Air

Kadar bahan organik total (TOM) di perairan Danau Maninjau cenderung rendah pada pengamatan bulan Maret yang berada pada kisaran 2 – 10 mg/L, sedangkan pada pengamatan bulan Desember mencapai kadar 25 mg/L (Gambar 10). Kadar TOM

yang terukur hampir mirip dengan kadar TOM di Waduk Cirata pada pengamatan tahun 2000 yang berkisar antara 13,9 – 22,7 mg/L (Lukman & Hidayat, 2002). Kadar TOM yang tinggi tersebut merupakan dampak langsung dari aktivitas KJA sebagaimana dilaporkan oleh Syandri (2000), asupan bahan organik dari limbah proses budidaya ikan dari KJA yang berasal dari pakan yang tidak dimanfaatkan diperkirakan mencapai 7.875 ton, atau 15% dari total pakan yang diberikan mencapai 52.500 ton.

Kadar TOM pada kolom air secara vertikal di Danau Maninjau tidak menunjukkan pola-pola stratifikasi antara lapisan permukaan hingga ke kolom bagian dasar. Kondisi tersebut tampaknya terkait dengan suhu yang relatif homogen sepanjang kolom air dari mulai kedalaman 5 meter dan tidak adanya pembatas metalimnion, yang memungkinkan sirkulasi massa air akan berlangsung pada seluruh kolom air, sehingga tidak ada kecenderungan suatu akumulasi TOM pada kolom air bagian dasar.



Gambar 10. Profil vertikal bahan organik total pada kedalaman 0-125 m di Danau Maninjau

Keberadaan dari TOM di kolom air mendorong deplesi oksigen di kolom air bagian dalam, karena pasokan oksigen dari aktivitas fotosintesis sudah tidak berlangsung. Pena *et al* (2010) mengemukakan bahwa penenggelaman dan perombakan lebih lanjut bahan organik merangsang deplesi oksigen di perairan bagian dasar. Oksigen yang tersedia akan dikonsumsi selama respirasi dan remineralisasi bahan organik, nitrifikasi dan reaksi redoks. Remineralisasi bahan organik mengkonsumsi oksigen baik secara langsung melalui respirasi oksik dan secara tidak langsung melalui oksidasi berbagai metabolit.

## KESIMPULAN

Pola-pola stratifikasi suhu, oksigen terlarut dan bahan organik total (TOM) di Danau Maninjau mencirikan perairan dengan kondisi yang rawan terhadap kehidupan biota akuatik, khususnya ikan yang dipelihara pada KJA. Pola stratifikasi suhu yang mendekati homogen pada bulan Desember 2011 telah menunjukkan kecenderungan proses *turnover*, yang akan mendistribusikan kondisi anoksik dari bagian dalam ke permukaan perairan. Kondisi eutrofik pada danau inipun dapat menyebabkan *blooming* plankton yang akan membatasi kecerahan dan ketersediaan oksigen di kolom air, bahkan kadar DO yang rendah hingga anoksik tercatat pada kedalaman 10 m.

Proses tubo belerang yang mungkin terjadi di Danau Maninjau jika tidak ada faktor eksternal seperti angin, bukanlah suatu proses Bergeraknya massa air dari lapisan bawah ke permukaan akibat adanya arus (*up welling*), tetapi lebih kepada proses pembalikan massa air sebagai akibat dari perubahan suhu di kolom perairan, yang umumnya terjadi di danau-beriklim sedang (*turn over*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Agustedi & Adriati. 1997. Analisis Usaha Budidaya Ikan dengan Sistem Karamba Jaring Apung di Danau Maninjau. *Fish J. Garing*, 6(1): 19 – 27.
- Cornett, R.J., & Rigler, F. H. 1987. Decomposition of Seston in the Hypolimnion. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 146 – 151.
- Dinas Perikanan Kabupaten Agam, 2009. Data Produksi Perikanan Karamba Jaring Apung di Danau Maninjau. (*Tidak dipublikasikan*).
- Fakhrudin, M., Wibowo, H., Subehi, L., & Ridwansyah, I., 2002. Karakterisasi Hidrologi Danau Maninjau, Sumatera Barat. In: Lukman, Chrismadha, T and Meutia, A. M (eds.). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi – LIPI. Hal. 65 - 75.
- Frisk, T., 1982. An Oxygen Model for Lake Haukivesi. *Hydrobiologia*. 86: 133 -139.
- Garno, Y. S., & Adibroto, T. A., 1999. Dampak Penggemukan Ikan di Badan Air Waduk Multiguna pada Kualitas Air dan Potensi Waduk. In: Suwignyo, P., Soedarma, D., Rahardjo, M. F (eds.). *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. IPB- Ditjen Pengairan - Men KLH. XVII: 1-10.
- Greenberg, A. E., Clesceri, L. S., & Eaton, E. D (ed.) 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 18<sup>th</sup> edition. APHA-AWWA-WEF.

- Higashino M, O'Connor BL, Hondzo M., & Stefan HG., 2008. Oxygen Transfer from Flowing Water to Microbes in an Organic Sediment Bed. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-008-9508-8.
- Koenings J.P., & Edmundson, J.A., 1991. Secchi Disk and Photometer Estimates of Light Regimes in Alaskan Lakes: Effects of Yellow Color and Turbidity. *Limnology and Oceanography*, 36(1): 91 – 105
- Lukman & Hidayat, 2002. Beban dan Distribusi Bahan Organik di Waduk Cirata, *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 3 (2): 129 – 135.
- Lukman & Ridwansyah, I., 2010. Kajian Morfometri dan beberapa Paramaeter Stratifikasi Perairan Danau Toba. *Limnotek*. 17 (2): 158 – 170.
- 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., and 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.
- Seller, H.B., & Markland, R., 1987. *Decaying Lake. The Origin and Control of Cultural Eutrophication*. John Wiley & Sons. New York. 254 pp.
- Sulastri, 2002. Komposisi, Kelimpahan dan Distribusi Fitoplankton sebagai Dasar Analisis Kondisi Pencemaran Danau Maninjau, Sumatera Barat. In: Lukman, Chrismadha, T., & Meutia, A. M., (eds.). *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*. Puslit Limnologi – LIPI. Hal. 255-271.
- Sulawesty, F., Sutrisno, A. Hamdani & Triyanto, 2011. Kondisi Kualitas Air beberapa Daerah Pemeliharaan Ikan Keramba Jaring Apung di Danau Maninjau. *Limnotek*, 18(1): 38 -47.
- Syandri, H., 2000. Karamba Jaring Apung dan Permasalahannya di Danau Maninjau. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. Jurusan Perikanan, Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Hal. 2: 16 -25.
- Vollenweider, R.A., & J. Kerekes, J., 1980. The Loading Concept as Basis for Controlling Eutrophication Philosophy and Preliminary Result of the OECD Programme on Eutrophication. Eutrophication of Deep Lakes. *Proceedings of a Seminar held in Gjovic, Norway, June 1978*. Pergamon Press, Oxford, New York. p. 5 – 38.
- 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., 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystem*. 3<sup>rd</sup> Edition. Academic Press, San Diego.