

FLUKTUASI OKSIGEN TERLARUT DI KAWASAN KARAMBA JARING APUNG DI DANAU MANINJAU DAN HUBUNGANNYA DENGAN KETERSEDIAAN KLOROFIL DAN BAHAN ORGANIK

Lukman, Sutrisno, dan Agus Hamdani

Pusat Penelitian Limnologi-LIPI

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

Diterima redaksi : 20 Agustus 2013, disetujui redaksi : 22 Januari 2014

ABSTRAK

Danau Maninjau merupakan salah satu danau di Indonesia yang dimanfaatkan untuk budidaya ikan dengan karamba jaring apung (KJA). Kegiatan KJA pada umumnya menjadi kontroversi antara kebutuhan ekonomi masyarakat dan kelestarian lingkungan, serta antara target pencapaian produksi ikan dan daya dukung perairan. Penelitian ini bertujuan mengamati pola distribusi oksigen terlarut (DO; Disolved Oxygen) di wilayah KJA di Danau Maninjau, dan bagaimana kaitannya dengan kadar organik dan kadar klorofil di dalam air. Pelaksanaan penelitian dilakukan pada dua periode, yaitu bulan Oktober 2009 dan Maret 2010. Kondisi kualitas air Danau Maninjau yang cukup nyata adalah tingkat kecerahan rendah (maksimum $\leq 3,5$ m), kadar klorofil cukup tinggi (0,005 – 0,012 mg/L), kadar Total Phosphor (TP) dan Total Nitroten (TN) cukup tinggi, yang mencirikan kondisi perairan eutrofik, demikian pula kadar bahan organik total (TOM; Total Organic Matter) menunjukkan kadar yang cukup tinggi. Pola oksigen terlarut harian menunjukkan kondisi yang beragam, dengan kadar DO maksimum antara pukul 06.00 dan pukul 18.00 dan kadar yang relatif aman bagi kehidupan biota hanya sampai kedalaman 5 meter. Fluktuasi harian tersebut tampak bahwa ketersediaan DO sangat dipengaruhi aktivitas fotosintesis. Kadar DO meskipun tidak secara nyata, tampak menurun dengan bertambahnya kadar bahan organik pada kolom air.

Kata kunci: Danau Maninjau, Karamba Jaring Apung (KJA), Oksigen terlarut, klorofil a, bahan organik.

ABSTRACT

DISSOLVED OXYGEN FLUCTUATION IN FLOATING NET CAGE AREA OF LAKE MANINJAU RELATED TO CHLOROPHYLL AND ORGANIC MATTER.

Lake Maninjau is one Indonesian lake, which is used for floating net cage fish culture (FNC: floating net cage). Generally, FNC is a controversy activity between the economic needs of society and the environment conservation, as well as the achievement of fish production target and carrying capacity of water body. This study aimed to observe the distribution pattern of dissolved oxygen (DO) on FNC area in Lake Maninjau, and how it relates to the organic content and chlorophyll levels in the water. The research was conducted on two periods, in October 2009 and March 2010. Lake Maninjau water quality conditions are fairly typical low transparency (maximum ≤ 3.5 m), high chlorophyll levels (0.005 to 0.012 mg / L) relatively, high levels of Total Phosphorus (TP) and Total Nitrogen (TN) which all indicate eutrophic waters conditions, and so total organic matter (TOM) showed on high levels. Patterns of DO daily showed diverse conditions, the maximum DO levels between 06 AM and at 06 PM with a safe levels relatively for biotic life only up to 5 meters depth. Those daily fluctuations shown that the DO availability strongly influenced photosynthetic activity. Level of DO, although not significantly, appears to have declined with increasing levels of organic matter in the water column.

Key words: Lake Maninjau, floating net cage (FNC), dissolved oxygen, chlorophyll a, Total organic matter

PENDAHULUAN

Di perairan yang digunakan untuk pengembangan budidaya ikan pada karamba jaring apung (KJA), fluktuasi kadar oksigen harian yang lebar di wilayah permukaan sering terjadi, yang mana kadar oksigen minimum hingga kritis terjadi menjelang matahari terbit (Lukman, 1996a). Akumulasi bahan organik di dasar perairan memungkinkan terbentuknya lapisan anaerobik yang makin besar, diikuti terbentuknya senyawaan beracun seperti H_2S dan NH_3 . Penumpukan bahan organik yang terjadi, baik di kolom air maupun di dasar perairan memungkinkan terjadinya penurunan ketersediaan oksigen yang terus berlanjut dan di kolom perairan bagian bawah kondisi anoksik atau ketidakediaan oksigen (*hypoxia*; hipoxia) akan terus meningkat (Yuk *et al.* 2009).

Budidaya ikan pada KJA di Danau Maninjau telah cukup intensif, dengan jumlah KJA yang beroperasi mencapai 10.243 petak (Dinas Perikanan Kab. Agam, 2009; *Tidak dipublikasikan*). Dampak KJA di Danau Maninjau telah mendorong eutrofikasi yang ditandai oleh *blooming Microcystis* dengan kadar klorofil *a* yang mencapai $62,970 \text{ mg/m}^3$ (Sulastri, 2002). Aktifitas KJA juga diduga menjadi pemicu tingginya kandungan total nitrogen (TN) dan total phosphor (TP) di perairan Danau Maninjau (Sulawesti *et al.* 2011), sebagai dampak asupan bahan organik yang bersumber dari limbah budidaya ikan pada KJA. Diperkirakan limbah organik berasal dari pakan yang tidak termanfaatkan mencapai 7.875 ton, 15% dari total pakan yang diberikan (52.500 ton) (Syandri, 2000).

Berbagai permasalahan perairan terkait pemanfaatannya untuk pengembangan KJA akan berdampak pada perubahan kondisi lingkungan di sekitarnya dan pada akhirnya berpengaruh pada aktivitas KJA itu sendiri. Penelitian ini bertujuan mengamati pola distribusi vertikal ketersediaan oksigen di lokasi KJA di Danau

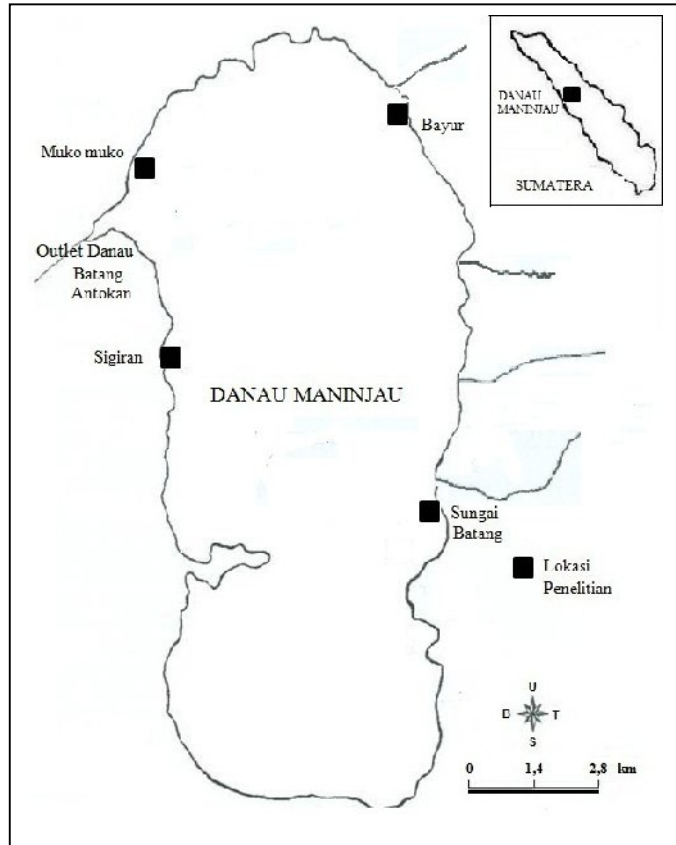
Maninjau, dan bagaimana kaitannya dengan kadar organik dan kadar klorofilnya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan pada empat lokasi KJA perairan Danau Maninjau, yaitu Jorong Sungai Batang (Nagari Sungai Batang), Jorong Bayur (Nagari Bayur), Jorong Muko-muko (Nagari Koto Malintang) dan Jorong Sigiran (Nagari Tanjung Sani) (Gambar 1). Pengambilan contoh dan pengukuran parameter lingkungan perairan dilakukan pada dua periode, yaitu bulan Oktober 2009 yang mewakili musim kemarau dan pada bulan Maret 2010 yang mewakili musim hujan.

Kadar oksigen terlarut (DO; *Dissolved oxygen*) diukur dengan DO Meter YSI pada kedalaman 0, 5, 10, 15 m, dilakukan pada pukul 12.00, 18.00, 24.00, dan 06.00. Parameter penunjang lainnya yang diamati adalah konduktivitas dan pH yang diukur pada kolom air permukaan dengan menggunakan WQC (*Water Quality Checker*) merk Horiba U-10, serta tingkat kecerahan yang diukur dengan keping Secchi.

Kandungan hara perairan diamati dari parameter TN dan TP pada kolom air permukaan, yang dianalisis menggunakan metode spektrofotometri. Untuk parameter organik diukur pada air yang diambil dengan *Van Dorn Water Sampler* dari kolom kedalaman 0, 5, 10, dan 15 m, dan dianalisis menggunakan metode titrasi permanganat (Greenberg *et al.* 1992). Untuk pengamatan kadar organik total (TOM; *Total Organic Matter*) dilakukan pengukuran pada contoh air secara langsung, sedangkan untuk parameter organik terlarut (DOM; *Dissolved Organic Matter*) dilakukan pada contoh air yang disaring terlebih dahulu dengan kertas *Whatman Glass Microfiber Filter* (GFF), dan kadar bahan organik partikulat (POM; *Particulate Organic Matter*) adalah selisih antara nilai TOM dan DOM.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian di Danau Maninjau

Pengukuran kadar klorofil dilakukan dengan mengambil contoh air menggunakan *Van Dorn Water Sampler* pada kedalaman 0; 2,5; 5,0; 7,5 dan 10,0 m. Contoh air sebanyak 250 ml disaring dengan GFF, diberi pengawet $MgCO_3$ dan dianalisis pada spektrofotometri (Greenberg *et al.* 1992).

Pola hubungan antara DO dan kadar klorofil serta hubungan antara DO dan komponen organik di wilayah KJA Danau Maninjau, dilakukan dengan analisis regresi menggunakan program MS.Excel 2007.

Data sekunder berupa data curah hujan dan debit air keluaran dari Danau Maninjau di telusuri, masing-masing dari Stasiun Klimatologi Sicincin, Padang Pariaman dan PT. PLN Sektor Pembangkitan Bukit Tinggi, Sumatera Barat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Kualitas Air

Kondisi kualitas air kolom permukaan Danau Maninjau di sajikan pada tabel 1. Tingkat pH Danau Maninjau yang cenderung alkalin (>8) dan relatif lebih tinggi dari hasil penelitian sebelumnya (7,21 – 8,63) (Lukman *et al.* 2010) dan sebagaimana kondisi pH di danau-danau lain yang cenderung alkalin, seperti di Danau Toba (7,1 – 9,0) (Lukman, 2011) dan Danau Poso (8,25 – 8,60) (Suryono & Lukman, 2009). Tingginya pH pada pengamatan ini diduga terkait dengan aktifitas fotosintesis fitoplankton yang cukup intensif di wilayah permukaan perairan.

Konduktivitas perairan Danau Maninjau menunjukkan kondisi sedang. Tingkat konduktivitas yang tinggi umumnya ditemukan pada perairan karst seperti di sungai-sungai Bantimurung dan Patunuang (0,219 mS/cm - 0,386 mS/cm) di daerah Maros Sulawesi Selatan, terkait dengan tingginya mineral komponen karst seperti kalsium (Lukman *et al.* 2007), sedangkan tingkat konduktivitas yang sangat rendah, diamati pada perairan Danau Semayang (maksimum 0,0045 mS/cm) yang sumber airnya diantaranya dari kawasan rawa-rawa (Lukman, 1996).

Tingkat kecerahan (SD; *Secchi Depth*; kedalaman keping Sechi) perairan Danau Maninjau relatif rendah dan pada umumnya berada pada kisaran $\leq 3,5$ m. Mengacu pada kriteria Peraturan Menteri LH No. 28/2009 dalam Anonim (2009), berdasarkan tingkat kecerahannya perairan Danau Maninjau sudah berada pada kondisi eutrofik. Tingkat kecerahan yang rendah di Danau Maninjau sangat terkait dengan kadar klorofil yang cukup tinggi. Merujuk pada kriteria Seller & Markland (1987) kadar klorofil yang terukur di Danau Maninjau berada pada kondisi mesotrofik hingga eutrofik. Pada

Tabel 1. Kondisi beberapa parameter kualitas air pada kolom permukaan Danau Maninjau di Wilayah KJA

Lokasi	pH		Konduktivitas (mS/cm)		Kecerahan (m)		klo. <i>a</i> (mg/L)*	
	Okt 09	Mar 10	Okt 09	Mar 10	Okt 09	Mar 10	Okt 09	Mar 10
S. Batang	9,0	9,9	0,104	0,107	3,5	1,7	0.012	0,006
Bayur	9,7	9,6	0,110	0,104	2,0	1,8	0.014	0,008
Muko-muko	8,5	8,7	0,109	0,107	2,0	2,5	0.011	0,005
Sigiran	9,8	9,8	0,110	0,108	2,1	2,1	0.012	0,007

*) Angka rata-rata dari strata kedalaman 0; 2,5; 5,0; 7,5 dan 10,0 m

Konduktivitas perairan danau cenderung konservatif dan dapat diprediksi dengan sangat baik dari parameter hidrologis di Daerah Tangkapan Air-(DTA) (Hakanson, 2005). Konduktivitas perairan juga dipengaruhi faktor musim. Di Danau Poso konduktivitas pada musim hujan lebih tinggi (0,113 mS/cm) dibanding musim kemarau (0,006 mS/cm) (Suryono & Lukman, 2009). Pasokan mineral yang tererosi dari DTA umumnya lebih besar pada musim hujan sejalan dengan tingginya debit aliran pada inlet-inlet danau dan berdampak meningkatnya konduktivitas perairan. Tingkat konduktivitas Danau Maninjau tidak menunjukkan perbedaan dari waktu pengukuran yang berbeda. Hal ini sejalan dengan kondisi DTA Danau Maninjau yang masih cukup baik, sehingga perubahan debit air sungai tidak memberikan pengaruh terhadap pasokan mineralnya.

sisi lain, tingkat kecerahan merupakan satu prediksi kedalaman eufotik (EZD; *Ephotic Zone*) danau, yang mana pada perairan jernih rasio EZD: SD adalah 2,4 (Koenings & Edmunson, 1991). Mengacu pada rumusan tersebut, pada tingkat kecerahan Danau Maninjau antara 1,7 – 3,5 m maka kedalaman eufotiknya berada pada kisaran 4 – 8 m.

Kondisi hara perairan Danau Maninjau yang terukur pada kolom air permukaan wilayah KJA relatif tinggi (TP $\geq 0,03$ mg/L; TN $\geq 0,39$ mg/L) (Tabel 2). Merujuk pada kriteria Vollenweider & Kerekes (1980), kadar TN dan TP yang terukur tersebut mengindikasikan kondisi perairan eutrofik. Tingginya kadar klorofil *a* di Danau Maninjau merupakan indikasi dari pengaruh tingginya kadar kedua hara tersebut.

Tabel 2. Kadar TN dan TP kolom air permukaan di Wilayah KJA Danau Maninjau

Area	Oktober 2009		Maret 2010	
	TN (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)
Sungai Batang	0,877	0,037	1,477	0,396
Bayur	1,123	0,052	1,435	0,358
Muko-muko	1,019	0,043	1,181	0,097
Sigiran	0,790	0,033	1,080	0,050

Tingginya kadar TN dan TP ini tidak terlepas dari aktivitas KJA yang sangat intensif di Danau Maninjau, yang membutuhkan pasokan pakan yang cukup besar untuk menunjang budidaya ikan pada KJA tersebut. Pada pakan, fosfor harus tersedia karena menjadi unsur penting untuk menunjang pertumbuhan ikan, metabolisme, dan pembentukan fosfolipidnya (Jobling, 1995). Sebagian fosfor lepas ke perairan sebagai pakan yang tidak termakan, sisa metabolit dan feses (Rismeyer, 1998 *dalam* Azwar *et al.*, 2004). Komponen nitrogen terutama bersumber dari komponen lemak dan protein, yang juga sebagian diantaranya dari sisa pakan.

Kadar Organik Perairan dan Kadar Klorofil *a*

Dampak dari aktivitas KJA pada perairan adalah penambahan pasokan bahan organik, yang secara nyata berasal dari feses dan sisa pakan yang tidak termakan. Kadar TOM di Danau Maninjau menunjukkan kadar cukup tinggi, dengan kadar rata-rata dari empat strata kedalaman pada kisaran 15,9 -98,7 mg/L (Tabel 3). Kadar TOM di perairan danau ini, secara umum jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kadar TOM di Waduk Cirata, yang memiliki aktivitas KJA yang sangat intensif di Jawa Barat, yang

berada pada kisaran 13,9 -22,7 mg/L (Lukman & Hidayat, 2002).

Di Waduk Cirata, Garno & Adibroto (1999) melaporkan bahwa pasokan bahan organik dari aktivitas KJA diperkirakan mencapai 198.376.583 kg/tahun, yang mana jika terdekomposisi secara sempurna akan menghasilkan pasokan fosfor dan nitrogen, masing-masing 1.239.067 kg/tahun dan 8.667.168 kg/tahun.

Kadar TOM pada bulan Oktober 2009 lebih tinggi dibandingkan kadar TOM pada bulan Maret 2010 (Tabel 3), tampaknya terkait kondisi musim yang dicirikan dari curah hujan dan debit aliran di outlet danau yang berbeda. Berdasarkan data curah hujan yang terekam tahun 2009 - 2010 (Data Pemantauan Curah Hujan Stasiun Klimatologi Sicincin, Padang Pariaman; *Tidak dipublikasikan*) tingkat curah hujan pada bulan Oktober 2009 (503,8 mm) lebih rendah dibandingkan dengan curah hujan pada bulan Maret 2010 (660 mm). Hal ini sejalan dengan debit aliran air yang keluar dari outlet Danau Maninjau di Sungai Antokan pada bulan Oktober 2009 (1.005 m³/dt) yang juga lebih rendah dari bulan Maret 2010 (1.959 m³/dt) (Data Pemantauan Hidrologi PT. PLN Sektor Pembangunan Bukit Tinggi; *Tidak dipublikasikan*).

Tabel 3. Kadar komponen bahan organik rata-rata yang terukur dari empat strata kedalaman di lokasi KJA di Danau Maninjau

Area	Oktober 2009				Maret 2010			
	TOM (mg/L)	DOM (mg/L)	POM (mg/L)	% DOM	TOM (mg/L)	DOM (mg/L)	POM (mg/L)	% DOM
S.Batang	98,73	72,04	26,69	72,96	18,10	11,58	6,52	63,97
Bayur	71,57	31,59	39,98	44,14	15,91	11,59	4,32	72,86
Muko-muko	38,88	14,89	23,99	38,30	22,24	12,94	9,30	58,19
Sigiran	19,69	8,92	10,77	45,29	18,63	11,85	6,78	63,62

Kondisi curah hujan dan debit aliran di outlet akan mempengaruhi waktu simpan (*retention time*) air danau, yang mana pada bulan Maret 2010 akan lebih pendek yang memungkinkan pelepasan TOM yang lebih besar ke luar danau dan berdampak pada relatif lebih rendahnya akumulasi TOM.

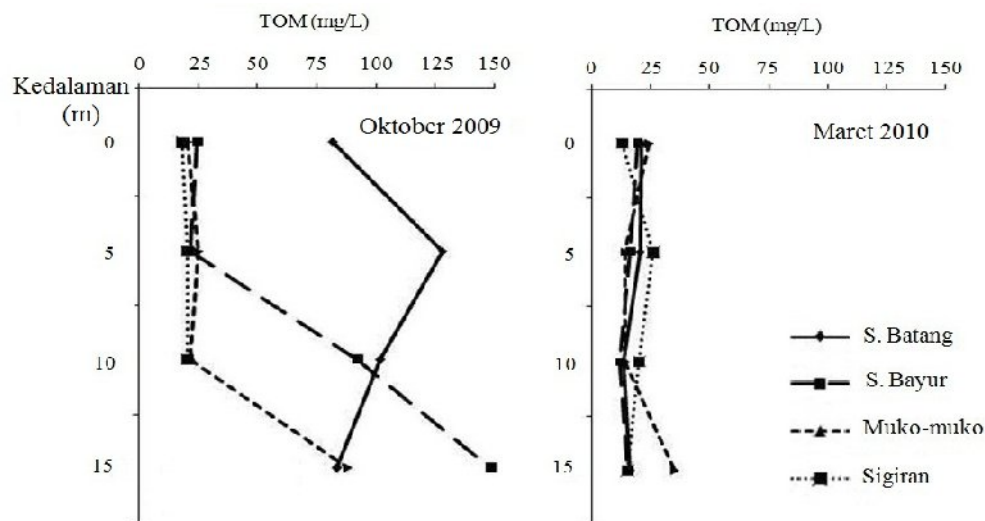
Kadar TOM yang tinggi di Sungai Batang pada bulan Oktober 2009 diduga berhubungan dengan lokasi wilayah ini yang berada di ceruk selatan danau yang relatif tertutup. Sebagaimana diketahui aliran air keluar danau adalah Sungai Antokan yang lokasinya sisi barat laut danau, sedangkan inlet-inlet danau umumnya berada di sisi timur (lihat Gambar 1). Rendahnya air yang masuk danau pada bulan Oktober 2009 mengakibatkan TOM yang terakumulasi tidak dapat terdorong ke luar danau.

Pada bulan Maret 2010 kadar TOM secara vertikal menunjukkan pola merata dari seluruh kolom air dan mirip untuk seluruh lokasi KJA. Pada bulan Oktober 2009, kadar TOM relatif lebih tinggi dan tampak berakumulasi di kolom bagian bawah terutama untuk Bayur dan Muko-muko, sedangkan di Sungai Batang membentuk pola maksimum pada kedalaman 5 m (Gambar 2). Komposisi

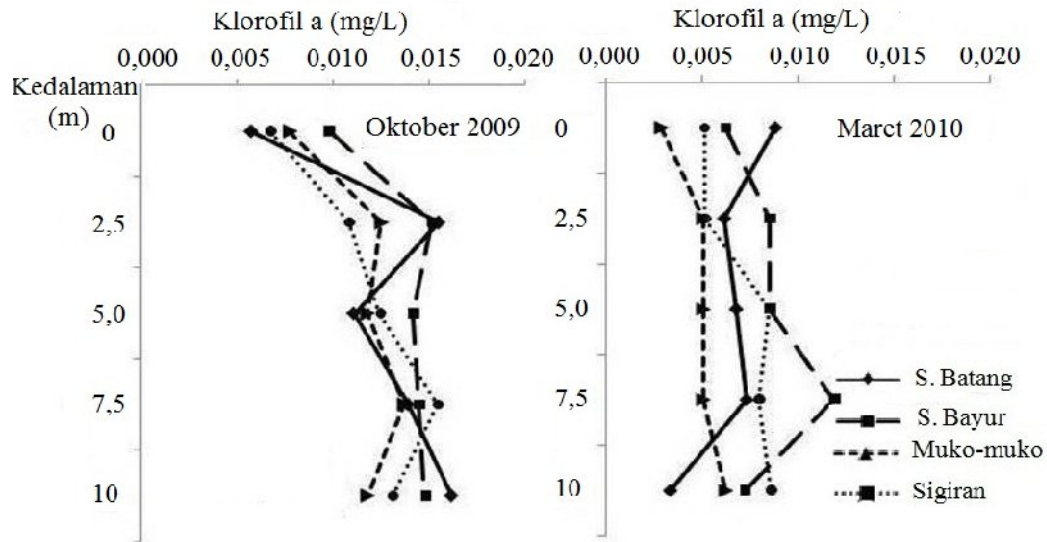
bahan organik dapat mempengaruhi pola stratifikasi ini, yang mana komponen partikulat (POM) akan lebih mudah tenggelam dibanding komponen terlarut (DOM). Sebagaimana diketahui komponen DOM di Sungai Batang cukup tinggi (73%) sedangkan di tempat lain komponen POM yang tinggi, dengan demikian akumulasi TOM dengan komposisi DOM tinggi di Sungai Batang hanya di wilayah kedalaman 5 m.

Profil kadar klorofil *a* di Danau Maninjau, relatif lebih rendah di permukaan dan cenderung meningkat ke lapisan yang lebih dalam, dan tampak kelimpahan pada Oktober 2009 relatif lebih tinggi dibanding kelimpahan pada Maret 2010 (Gambar 3).

Pola distribusi vertikal demikian umum terjadi, terkait intensitas cahaya matahari yang tinggi di permukaan perairan yang dapat menekan kelimpahan fitoplankton. Menurut Wetzel (1983), intensitas cahaya yang berlebih di permukaan menghambat proses fotosintesis (*photoinhibition*). Long *et al* (1994) dalam Hubble & Harper (2000) menyatakan bahwa *photoinhibition* menurunkan efisiensi klorofil di permukaan karena terjadinya kerusakan akibat cahaya yang intensif.



Gambar 2. Profil vertikal kadar TOM di lokasi KJA di Danau Maninjau



Gambar 3. Profil vertikal kelimpahan klorofil a di wilayah KJA Danau Maninjau

Kadar klorofil a relatif tersedia hingga kedalaman 10 m, menunjukkan aktivitas fotosintesis masih berlangsung pada hingga kedalaman tersebut, meskipun prediksi EZD-nya mengacu pada SD-nya kedalaman eufotik maksimum 8 m.

Profil DO Harian serta Hubungannya dengan Klorofil a dan Bahan Organik

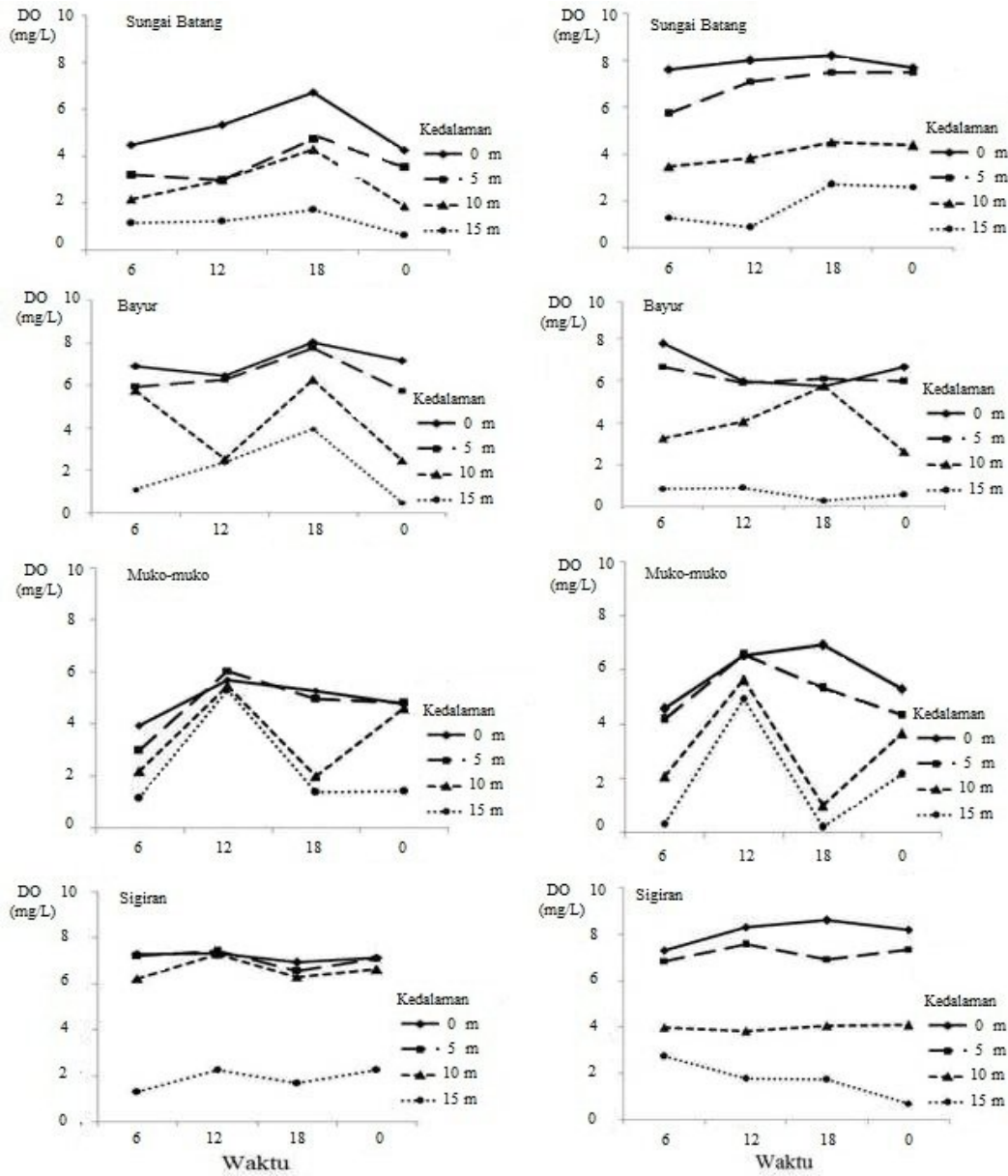
Pola harian DO pada bulan Oktober 2009 menunjukkan kondisi maksimum pada pukul 12.00 dan pukul 18.00, dan DO yang relatif aman untuk kebutuhan respirasi ikan ($\geq 3,0$ mg/L) hanya sampai kedalaman 5 meter. Di Sungai Batang pada kedalaman 10 m (pukul 0.00 dan 6.00) kadar DO juga sudah sangat rendah (Gambar 4; kiri). Pola DO harian di permukaan pada bulan Maret 2010 menunjukkan kadar maksimum pada pukul 6.00 dan pukul 18.00, dan yang relatif aman untuk kehidupan ikan hanya sampai kedalaman 5 meter. Di Muko-muko pada kedalaman 10 m (pukul 6.00 dan 18.00) DO juga sudah sangat minim (Gambar 4; kanan).

Berdasarkan pola fluktuasi harian, dengan kadar DO terendah pada pukul 0.00 dan 6.00 namun cukup tinggi pada pukul

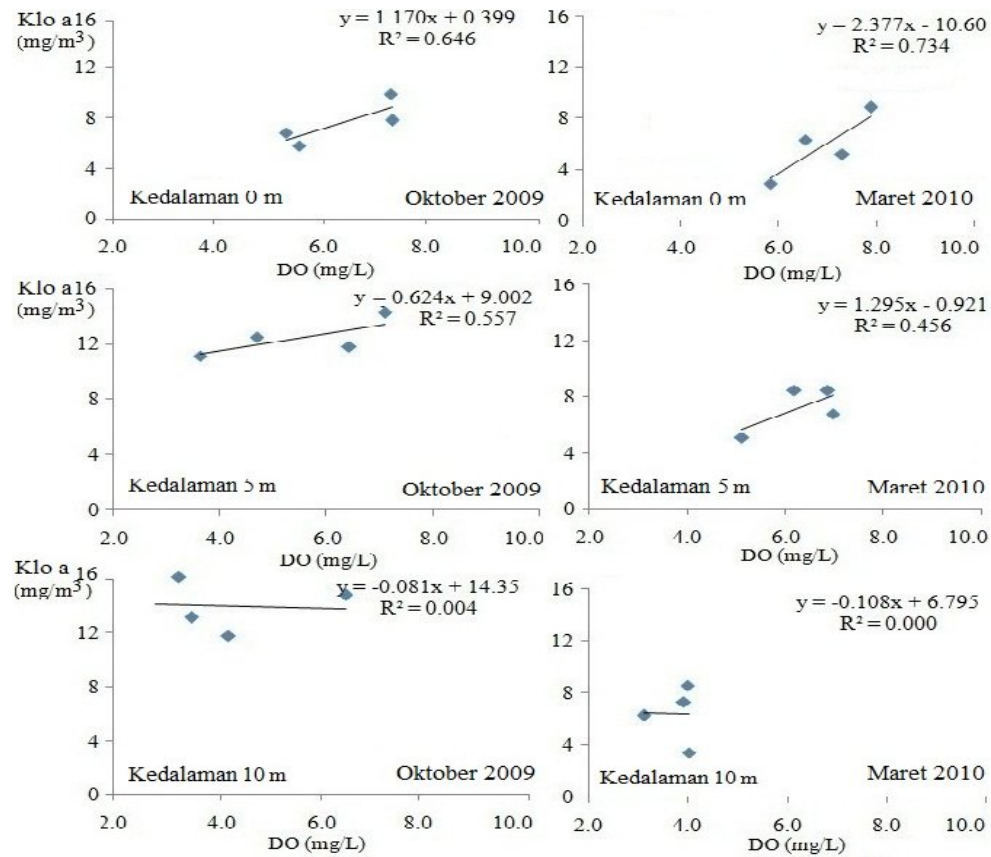
12.00 dan 18.00, menunjukkan aktivitas fotosintesis dan respirasi berpengaruh pada kadar DO. Aktivitas fotosintesis tampak berpengaruh pada ketersediaan DO di kolom air permukaan, sedikit berperan pada kedalaman 5 meter, dan pada kedalaman 10 meter sudah tidak berpengaruh (Gambar 5).

Menurut Miranda *et al* (2001), kadar DO di lapisan hipolimnion (lapisan dalam) memungkinkan untuk lebih rendah, karena respirasi di sekitar sedimen akan lebih intensif sementara itu pencampuran air dari permukaan ke bagian dalam dibatasi oleh stratifikasi panas, yang umumnya terjadi pada musim panas.

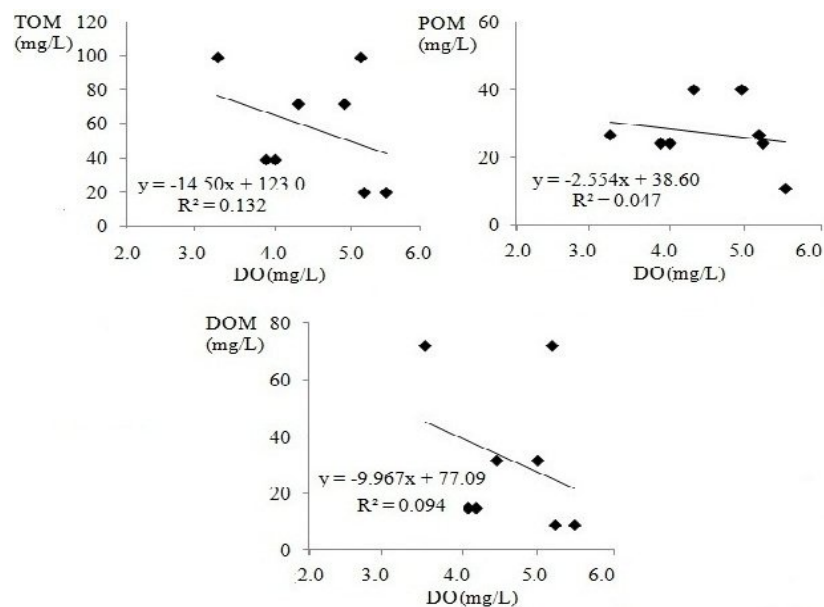
Pena *et al* (2010) mengemukakan bahwa penenggelaman dan perombakan lebih lanjut bahan organik mendorong deplesi oksigen di bagian dasar perairan. Oksigen yang tersedia akan dikonsumsi selama respirasi dan remineralisasi bahan organik, nitrifikasi dan reaksi redoks. Pada pengamatan ini, kadar DO meskipun tidak secara nyata, tampak menurun dengan bertambahnya kadar bahan organik pada kolom air, baik komponen TOM, POM maupun DOM (Gambar 6).



Gambar 4. Profil oksigen terlarut (DO) pada pengamatan bulan Oktober 2009 (kiri) dan Maret 2010 (kanan)



Gambar 5. Pola hubungan antara kadar oksigen terlarut (DO) dan kadar klorofil di wilayah KJA Danau Maninjau



Gambar 6. Pola hubungan antara kadar oksigen terlarut (DO) dan komponen organik di wilayah KJA Danau Maninjau

KESIMPULAN

Distribusi vertikal oksigen terlarut di wilayah KJA perairan Danau Maninjau dipengaruhi oleh aktivitas fotosintesis, sedangkan kadar bahan organik walaupun tidak secara nyata juga memberikan pengaruh. Ketersediaan oksigen terlarut untuk kebutuhan respirasi ikan yang relatif aman hanya sampai kedalaman 5 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 29 Tahun 2009, tentang Daya Tampung Beban Pencemaran Air danau dan/atau Waduk. Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 22 hal.
- Azwar, Z.I., N. Suhenda, & O. Praseno. 2004. Manajemen Pakan pada Usaha Budi Daya Ikan dalam Karamba Jaring Apung. *Dalam*: Sudradjat, A., S.E. Wardoyo, Z.I. Azwar, H. Supriyadi, & B. Priono (Penyunting). *Pengembangan Budi Daya Perikanan di Perairan Waduk*. Pusat Riset Perikanan Budidaya, BRKP, DKP: 37 - 44
- Fakhrudin, M., Wibowo, H., Subehi, L., & I. Ridwansyah. 2002. Karakterisasi hidrologi Danau Maninjau Sumatera Barat. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*: 65 – 75.
- Garno, Y.S., & T.A. Adibroto, 1999. Dampak Penggemukan Ikan di Badan Air Waduk Multiguna pada Kualitas Air dan Potensi Waduk. *Prosiding Semiloka Nasional Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau dan Waduk*. IPB- Ditjen Pengairan - Men KLH. XVII: 1-10
- Eaton, A.D., L.S. Clesceri, E.W. Rice & A.B. Greenberg (editors). 2005. *Standard Methods. For the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Centennial Edition. APHA-AWWA-WEF.
- Hakanson, L., 2005. The Importance of Lake Morphometry and Catchment Characteristic in Limnology – Ranking Based on Statistical Analyses. *Hydrobiologia*, 541: 117 – 137
- Koenig, J.P., & J.A. Edmundson, 1991. Sechi Disk and Photometer Estimates of Light Regimes in Alaskan Lakes: Effects of Yellow Color and Turbidity. *Limnology and Oceanography*, 36(1): 91 – 105
- Lukman, 1996a. Neraca Oksigen di Lokasi Jaring Apung Wilayah Bongas, Waduk Saguling. *Prosiding Ekspose Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi – LIPI Tahun 1995/1996*: 47 - 60
- Lukman, 1996. Kualitas air Danau Semayang pada Periode Pra-penyurutan dan Pra-penggenangan. *Limnotek*, 5 (1): 77 - 84
- Lukman, & Hidayat, 2002. Pembebanan dan Distribusi Organik di Waduk Cirata. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. P3TL - BPPT. 3 (2): 129 - 135
- Lukman, Said, D.S., & Triyanto, 2007. Kondisi Lingkungan Sungai-sungai Habitat Ikan Beseng-beseng (*Telmatherina ladigesii*) di Sulawesi Selatan. *Limnotek*, 14(2): 55 -65
- Lukman, Said, D.S., & Triyanto, 2010. Kondisi Habitat Ikan Bada (*Rasbora argyrotaenia*) di Danau Maninjau, Sumatera Barat. *Prosiding Seminar Nasional Biologi 2010*, Perspektif Biologi dalam Pengelolaan Sumberdaya Hayati. Fakultas Biologi UGM, Yogyakarta 24-25 September 2010: 875 - 883
- Lukman, 2011. Ciri Wilayah Eufotik Perairan Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Hari Lingkungan Hidup 2011*. “Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Hidup berbasis Kearifan Lokal. PPLH –LPPM Unsoed, Ikatan Ahli

- Lingkungan Hidup Indonesia. . 130 - 139
- Miranda, L.E., Hargreaves, J.A., & S.W. Raborn. 2001. Predicting and Managing Risk of Unsuitable Dissolved Oxygen in a Eutrophic Lake. *Hydrobiologia* 457: 177–185
- Pena, M.A., S. Katsev, T. Oguz, & D. Gilbert. 2010. Modeling Dissolved Oxygen Dynamics and Hypoxia. *Biogeosciences*, 7: 933–957
- Seller, H.B., & R. Markland. 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. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*: 255-271
- Sulawesty, F., Sutrisno, A. Hamdani & Triyanto. 2011. Kondisi Kualitas Air beberapa Daerah Pemeliharaan Ikan Karamba 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. 2: 16 -25.
- Suryono, T., & Lukman, 2009. Kondisi Kualitas Lingkungan Perairan Danau Poso Sulawesi Tengah. *Jurnal Hidosfir Indonesia* 4(2): 63-69
- Vollenweider, R. A., & J. Kerekes, 1980. The Loading Concepts as Basis for Controlling Eutrophication Phylosophy and Preliminary Result of the OECD Programme in Eutrophication, Progress in Water Technology. Vol 12: 55- 38, IAWPR/ Pergamon Press Ltd., Oxford.
- Wetzel, R.G., 1983. *Limnology*. Second Edition. W, B. Sauders College Publ., Philadelphia. p 744
- Yuk, Jin-Hee, & Aoki, Shin-Ichi, 2009. Effect of Wind and Rainfall on Water Exchange in a Stratified Estuary. *Estuaries and Coasts*, 32:88–99