



LIMNOTEK  
Perairan Darat Tropis di Indonesia  
p-ISSN: 0854-8390 e-ISSN: 2549-8029  
www.limnotek.or.id



## Karakteristik Beberapa Parameter Trofik Perairan Kompleks Danau Malili, Sulawesi Selatan

Tri Suryono<sup>1</sup> dan Lukman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Loka Alih Teknologi Penyehatan Danau LIPI, <sup>2</sup>Pusat Penelitian Limnologi LIPI

Email penulis: tris@limnologi.lipi.go.id

Diajukan 7 Januari 2018. Ditelaah 3 April 2018. Disetujui 23 November 2018.

### Abstrak

Aktivitas antropogenik di sekitar Kompleks Danau Malili menyebabkan terjadi penurunan kondisi kualitas perairan yang berpengaruh terhadap kesuburan perairan tersebut. Penelitian ini dilakukan di tiga Danau Malili, yaitu Matano, Mahalona, dan Towuti, dengan tujuan mengetahui kondisi beberapa parameter kualitas trofik perairannya yang menjadi cerminan dampak aktivitas antropogenik di sekitarnya. Penelitian dilaksanakan pada bulan September 2016 dan Mei 2017 masing-masing di lima lokasi untuk setiap danau. Parameter yang diambil meliputi tingkat kejernihan perairan, klorofil a (dari lima strata kedalaman), kandungan fosfor total (*Total Phosphorus*, TP) yang mewakili unsur hara, kebutuhan oksigen kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*, COD) yang mewakili kondisi organik perairan, dan beberapa parameter penunjang, yaitu pH, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO), konduktivitas, dan suhu. Kejernihan perairan pada umumnya di atas 10 m, kecuali Danau Mahalona yang menyediakan wilayah tropogenik yang lebar. Tingkat kejernihan yang tinggi antara lain terkait dengan kondisi morfometri danau yang dalam, sehingga proses suspensi material dari dasar danau sangat sedikit. Kelimpahan klorofil a yang terukur berkisar 0,043–0,716 mg/m<sup>3</sup> pada September 2016, lalu terjadi kenaikan pada bulan Mei 2017 menjadi berkisar 0,111–0,457 mg/m<sup>3</sup>, namun masih mencerminkan kondisi perairan yang oligotrofik dengan tingkat produktivitas biologis danau yang rendah. Kandungan komponen hara (TP) menunjukkan kondisi danau-danau tersebut pada tingkat oligotrofik, kecuali Danau Towuti dengan kondisi mesotrofik. Meskipun COD di danau-danau yang diamati masih relatif rendah, ada kecenderungan peningkatan berdasarkan waktu pengamatan.

Kata kunci: kualitas air, klorofil a, kejernihan, TP, COD, Kompleks Danau Malili

### Abstract

**Characteristics of some trophic parameters in Lake Malili Complex, South Sulawesi.** Anthropogenic activities around Lakes Malili have been causing a decline in water conditions that affect the trophic status of the waters. This research was conducted in three lakes of Malili, namely Matano, Mahalona, and Towuti, with the aim of knowing the current condition of some water quality parameters which reflect the impact of anthropogenic activities in the areas surrounding the lakes. The study was carried out in September 2016 and May 2017 at five sites for each lake. Parameters measured included water clarity, chlorophyll a (from five depth strata), total phosphorus (TP) content representing nutrients, chemical oxygen demands (COD) representing the organic condition of the

waters, and some supporting parameters including pH, dissolved oxygen (DO), conductivity, and temperature. Water transparency was generally above 10 m, except of Lake Mahalona, which provides a wide trophogenic area. High level of transparency was related to the deep morphometric condition of the lake that minimizes the material suspension process from the bottom of the lake. The abundance of chlorophyll a ranged from 0.043 to 0.716 mg/m<sup>3</sup> in September 2016 and then it increased in May 2017 to range 0.111–0.457 mg/m<sup>3</sup>, but it still reflected oligotrophic conditions with a low level biological productivity of the lake. Nutrient content (TP) showed the lake condition at oligotrophic level, except Lake Towuti with mesotrophic condition. Although the COD in the observed lakes was still relatively low, there was a tendency to increase based on observation time.

Keywords: water quality, chlorophyll a, transparency, TP, COD, Lake Malili Complex

## Pendahuluan

Danau Matano, Danau Mahalona, dan Danau Towuti adalah tiga danau di kompleks Danau Malili yang berada dalam satu sistem hidrologi yang cukup besar di Sulawesi Selatan. Kompleks danau ini berawal dari Danau Matano dan bermuara di Teluk Bone. Outlet Danau Matano yaitu Sungai Petea yang mengalirkan airnya ke Danau Mahalona. Selanjutnya, air dari Danau Mahalona mengalir ke Danau Towuti melalui Sungai Tominanga. Pada akhirnya, air dari Danau Towuti akan mengalir ke Teluk Bone melalui Sungai Larona. Ketiga danau tersebut berada di suatu paparan lateritik yang kaya dengan material besi, nikel, dan logam berat, serta memiliki status oligotrofik dengan kadar fosfor (P) dan nitrogen (N) di bawah kadar yang dapat dideteksi (Haffner *et al.*, 2008).

Danau Matano, Mahalona, dan Towuti terbentuk melalui proses tektonik saat pembentukan Pulau Sulawesi, sehingga danau-danau tersebut dikenal sebagai danau purba atau dikategorikan sebagai *ancient lake* (Haffner *et al.*, 2001). Danau Matano secara khusus memiliki konsentrasi besi yang tinggi, sulfat yang rendah, dan penetrasi cahaya yang dalam dapat menjadi analogi modern yang sangat bagus untuk kondisi kimia biologi yang mencirikan laut *Archean dan Proterozoic* awal (Crowe *et al.*, 2008).

Selain dari kondisi di atas, ketiga danau tersebut memiliki karakteristik yang sangat unik dalam konstelasi danau-danau di Indonesia. Danau Matano diketahui merupakan danau terdalam dengan luas (A) 164,08 km<sup>2</sup> dan kedalaman maksimum ( $Z_{\max}$ ) 590 m), Danau Mahalona dengan dimensi yang lebih kecil (A = 24,4 km<sup>2</sup>;  $Z_{\max}$  = 73 m) menjadi penghubung antara Danau Matano dan Danau

Towuti, serta Danau Towuti (A = 561,08 km<sup>2</sup>;  $Z_{\max}$  = 203 m) merupakan danau terluas kedua di Indonesia setelah Danau Toba (Whitten *et al.*, 1987).

Perkembangan terkini mengenai aktivitas manusia di sekitar danau, termasuk kompleks Danau Malili, akan memberikan kontribusi terhadap kondisi perairan tersebut. Sejalan dengan evolusi danau, yang secara teoritis akan mengalami proses penuaan yang ditandai dengan status trofik yang menuju ke arah yang lebih tinggi, keadaan seputar danau akan mempercepat proses penuaan danau.

Hasil kajian kondisi daerah tangkapan air (DTA) Danau Matano menunjukkan bahwa telah terjadi alih fungsi hutan menjadi lahan pertanian dan pertambangan, yang diperkirakan akan berdampak pada ekosistem danau berupa peningkatan aliran permukaan (*run off*) dan erosi (Ridwansyah & Wibowo, 2016). Konsekuensi perubahan lahan hutan menjadi lahan pertanian akan meningkatkan pasokan hara ke perairan sebagai sisa dari aktivitas pertanian tersebut.

Sumber hara di Danau Matano terutama berasal dari komponen fosfor yang berasal dari luar badan air danau, yaitu dari proses sedimentasi. Karakteristik sedimen danau yang didominasi oleh logam besi, fraksi NaOH-P, dan HCl-P dengan konsentrasi NH<sub>4</sub>Cl-P sangat rendah, membatasi resuspensi fosfat yang tersedia (Nomosatryo *et al.*, 2012).

Pemantauan perubahan status perairan sangat diperlukan untuk memahami tingkat perubahan yang terjadi, sehingga upaya antisipasi perubahan kondisi danau yang drastis di kompleks Danau Malili dapat segera dilakukan. Maka, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi terkini karakteristik beberapa parameter penentu tingkat kesuburan (status trofik) yang dapat mencerminkan tingkat pengaruh kegiatan antropogenik dari

kawasan sekitarnya terhadap danau-danau di kompleks Danau Malili (Matano, Mahalona, dan Towuti).

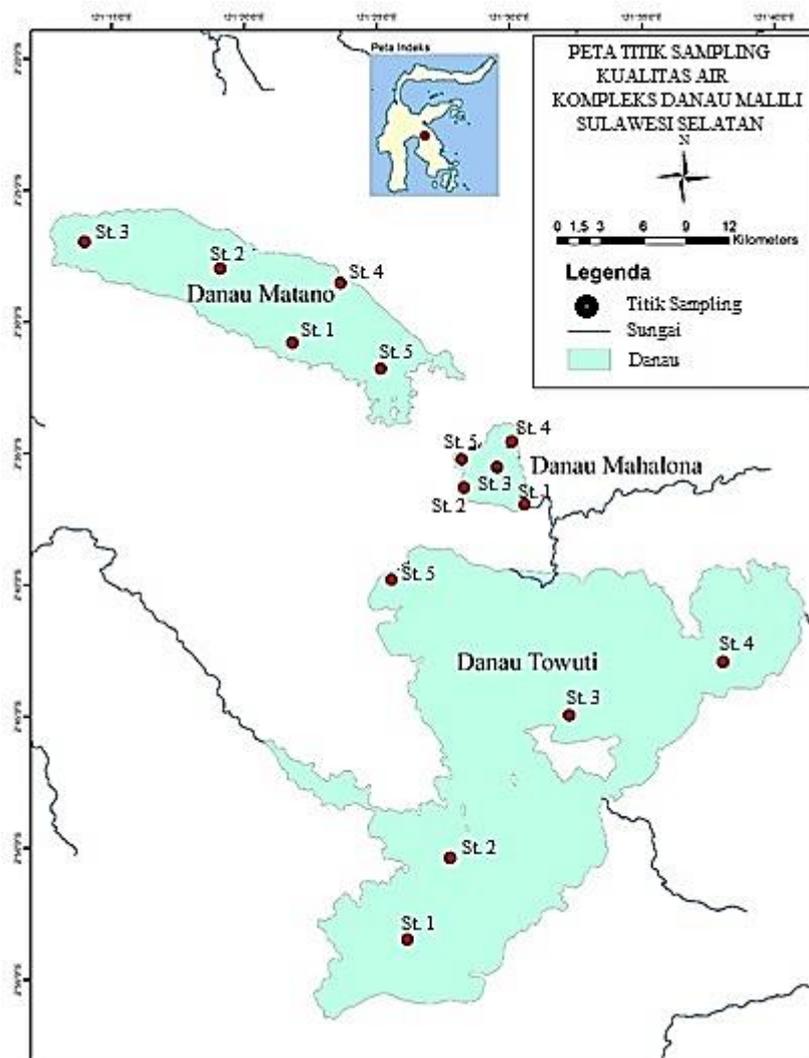
### Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2016 dan Mei 2017 di tiga danau terbesar di kompleks Danau Malili, yaitu Danau Matano, Mahalona, dan Towuti. Pengukuran dan pengambilan sampel air dilakukan di lima lokasi (stasiun) dari setiap danau, yang diharapkan mewakili kondisi danau secara keseluruhan (Gambar 1).

Pengukuran parameter fisikokimia pendukung seperti pH, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen*, DO), konduktivitas, dan

suhu menggunakan *Water Quality Checker* tipe Horiba U-52 pada satu strata kedalaman di strata kedua dari pengukuran klorofil. Fosfor total (TP) dan COD diukur dengan metode titrimetri dikromat yang dilakukan di kedalaman yang sama dengan parameter penunjang untuk setiap danau.

Pengukuran kadar klorofil diambil dari lima strata kedalaman yang disesuaikan dengan prediksi wilayah fotik berdasarkan hasil pengukuran tingkat kejernihan perairan yang diukur menggunakan keping Secchi. Pengambilan air untuk sampel klorofil menggunakan *Van Dorn Sampler*. Sampel air sebanyak 750 ml disaring menggunakan kertas saring *Whatman Glass Microfiber Filter* (GFF) dan diawetkan dengan  $MgCO_3$ .



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti

Tabel 1. Deskripsi pengambilan sampel di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti

Stasiun	Lokasi	Posisi	Keterangan
<b>Danau Matano</b>			
St. 1	Wilayah Soroako	S: 02° 30' 46,7" E: 121° 21' 49,0"	- Terdapat aktivitas perkotaan
St. 2	Tengah danau	S: 02° 27' 58,0" E: 121° 19' 6,2"	- Perairan danau bagian tengah
St. 3	Desa Matano	S: 02° 26' 57,0" E: 121° 13' 58,7"	- Terdapat aktivitas pembukaan lahan intensif
St. 4	Wilayah Muluk	S: 02° 28' 30,8" E: 121° 23' 38,8"	- Terdapat aktivitas pertanian skala kecil
St. 5	Sisi timur danau	S: 02° 31' 46,7" E: 121° 25' 10,4"	- Wilayah sekitar outlet danau
<b>Danau Mahalona</b>			
St. 1	Sisi tenggara	S: 02° 38' 18,6" E: 121° 36' 38,9"	- Wilayah sekitar outlet danau
St. 2	Sisi barat	S: 02° 37' 58,4" E: 121° 36' 10,2"	- Kondisi tepian berhutan
St. 3	Tengah danau	S: 02° 37' 52,1" E: 121° 35' 50,6"	- Perairan danau bagian tengah
St. 4	Sisi timur	S: 02° 37' 46,7" E: 121° 34' 54,2"	- Wilayah tepian berupa vegetasi riparian
St. 5	Sisi utara	S: 02° 37' 45,5" E: 121° 34' 48,6"	- Wilayah sekitar inlet danau
<b>Danau Towuti</b>			
St. 1	Bakara	S: 02° 53' 27,8" E: 121° 26' 09,8"	- Terdapat aktivitas perkotaan Timampu
St. 2	Larona	S: 02° 50' 22,0" E: 121° 27' 47,2"	- Wilayah sekitar outlet danau
St. 3	Bongi	S: 02° 44' 56,8" E: 121° 32' 17,4"	- Wilayah tengah danau bagian selatan
St. 4	Loeha	S: 02° 42' 55,0" E: 121° 38' 04,1"	- Wilayah tengah danau
St. 5	Loppe	S: 02° 39' 48,5" E: 121° 25' 33,8"	- Wilayah tengah danau bagian timur

Analisis unsur hara perairan yaitu kandungan TP dan klorofil a dilakukan di laboratorium menggunakan metode spektrofotometri (Greenberg *et al.*, 1992). Fosfor total ditetapkan dengan mendestruksi sampel air dengan  $K_2S_2O_8$  dalam keadaan asam, dan TP yang dilepaskan ditetapkan secara spektrofotometri pada  $\lambda$  880 nm. Kadar klorofil a ditetapkan dengan cara mengekstraksi klorofil dengan aseton 9+1, dan mengukur konsentrasinya dengan spektrofotometer Shimadzu UV-1800 pada  $\lambda$  750, 664, 647, dan 630 nm.

## Hasil

Tingkat kejernihan perairan di danau-danau yang diamati menunjukkan keragaman spasial maupun temporal, kecuali di Danau Mahalona, kejernihan perairan di atas 10 m, bahkan di Danau Matano pada umumnya di atas 20 m (Tabel 2).

Kejernihan perairan kompleks Danau Malili salah satunya juga dipengaruhi oleh konsentrasi kelimpahan klorofil a sebagai gambaran tingkat kesuburannya. Dari ketiga danau di kompleks Danau Malili yang diamati, tampak bahwa konsentrasi klorofil terendah diperoleh di Danau Matano, dan meningkat ke arah Danau Mahalona dan Towuti (Tabel 3).

Tabel 2. Tingkat kejernihan (m) perairan Danau Matano, Mahalona, dan Towuti

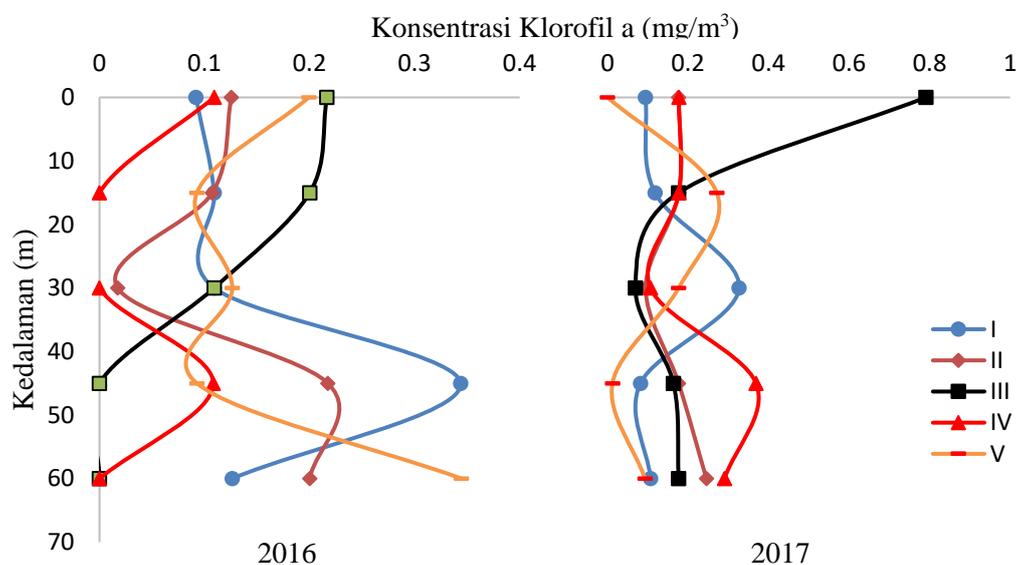
Stasiun	Matano		Mahalona		Towuti	
	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017
St. 1	27,5	21,9	9,2	5,9	13,8	8,8
St. 2	30,1	23,6	tu	6,3	17,5	17,3
St. 3	29,8	23,7	tu	7,2	15,5	19,3
St. 4	22,2	19,4	tu	7,1	14,0	14,6
St. 5	19,0	19,5	tu	7,6	16,8	14,8

Keterangan: tu : tidak diukur karena kondisi menjelang hujan dan gelap

Tabel 3. Kisaran kelimpahan klorofil a di kompleks Danau Malili

Danau	Kisaran kelimpahan klorofil a (mg/m <sup>3</sup> )	
	Sep 2016	Mei 2017
Matano	0,043–0,171	0,111–0,275
Mahalona	0,143*	0–0,451
Towuti	0,141–0,716	0,233–0,457

\*) Hanya satu lokasi pengambilan sampel

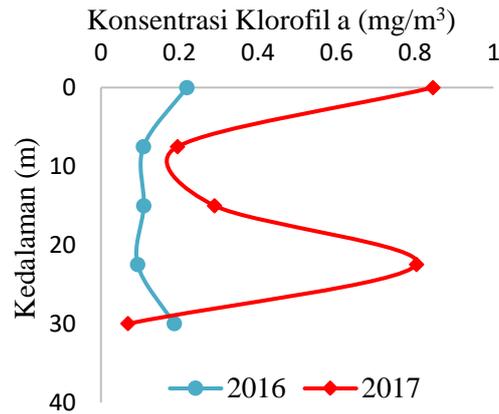


Gambar 2. Profil vertikal kelimpahan klorofil a di Danau Matano

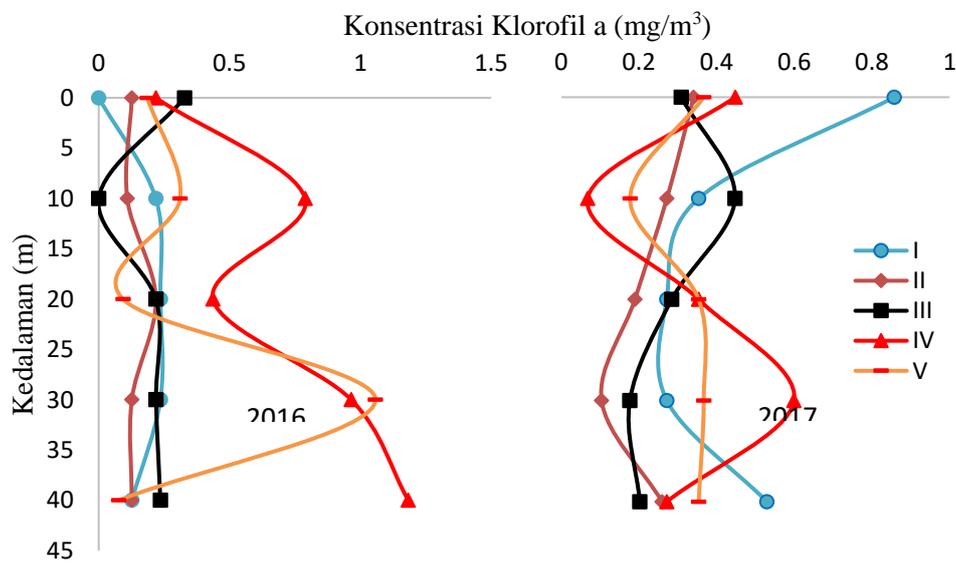
Profil kelimpahan klorofil secara vertikal menunjukkan pola beragam. Di Danau Matano ada kecenderungan kelimpahan tertinggi di kedalaman 40 m (Gambar 2), terutama pada pengukuran September 2016, di Danau Mahalona kelimpahan maksimum di kedalaman 22,5 m (Gambar 3) , sedangkan di Danau Towuti hampir tidak tampak kecuali ada beberapa yang menonjol (Gambar 4).

Konsentrasi klorofil a yang diperoleh dari setiap danau di kompleks Danau Malili dipengaruhi oleh konsentrasi unsur hara dan bahan organik yang terlarut di perairannya. Kadar bahan organik dan unsur hara di Kompleks Danau Malili ditunjukkan dalam Tabel 4.

Kondisi parameter pendukung yang diperoleh dari hasil pengukuran *in situ* di per-



Gambar 3. Profil vertikal kelimpahan klorofil a di Danau Mahalona



Gambar 4. Profil vertikal kelimpahan klorofil a di Danau Towuti

Tabel 4. Kadar material organik (COD) dan Fosfor Total (TP), kisaran dan rata-rata, di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti

Parameter	Matano		Mahalona		Towuti	
	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017
TP (mg/L)	td	td	0–0,024 (0,008)	td	0,012–0,135 (0,059)	td
COD (mg/L)	23,1–43,3 (30,4)	38,6–55,7 (43,4)	24,4–39,8 (33,5)	37,3–48,9 (41,1)	27,4–33,4 (39,4)	39,4–45,9 (42,5)

td = tidak ada data

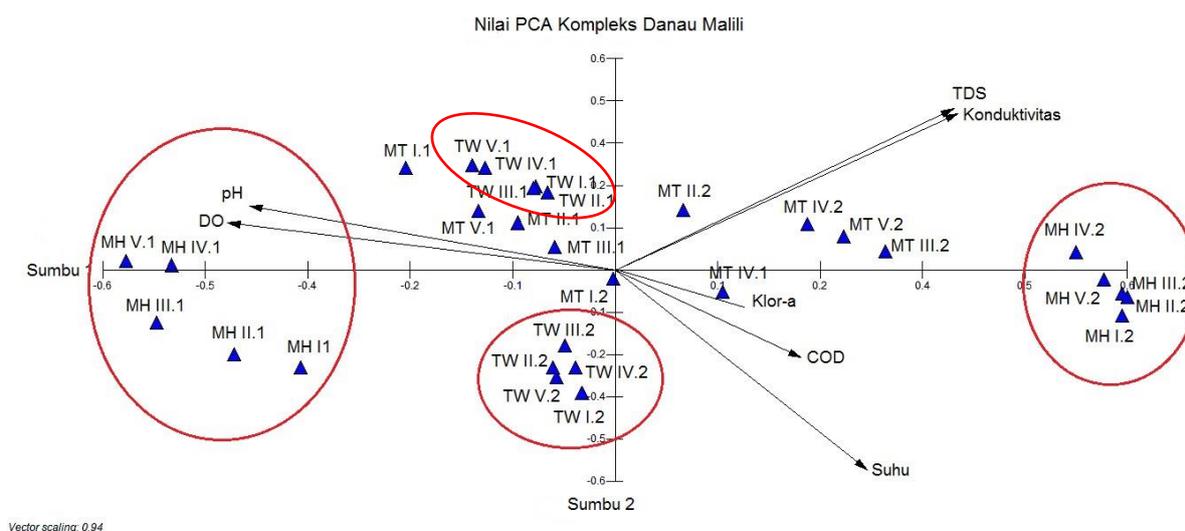
airan kompleks Danau Malili, seperti suhu berada pada kisaran yang tidak beragam, yaitu 28–31°C, sedangkan tingkat keasaman (pH) perairan cenderung basa (>7,0), dan konduktivitas perairan bernilai 0,114–0,142 mS/cm (Tabel 5).

Kondisi lingkungan perairan kompleks Danau Malili akan menunjukkan karakter dari

setiap perairan danau baik Danau Matano, Mahalona maupun Towuti. Hal ini bisa dilihat dari hasil pengelompokan yang terjadi dengan menggunakan *software* MVSP V.3 terhadap parameter utama ataupun pendukung (PCA) seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.

Tabel 5. Kondisi beberapa parameter penunjang kualitas air di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti

Parameter	Matano		Mahalona		Towuti	
	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017	Sep 2016	Mei 2017
Suhu (°C)	28,5–30,1	29,3–29,7	28,6–28,9	29,5–30,8	28,0–30,0	29,4–30,3
pH	7,9–8,4	8,2–8,3	8,1–8,4	7,8–7,9	8,2–8,6	8,1–8,2
Konduktivitas (mS/cm)	0,139–0,140	0,151–0,152	0,142–0,143	0,151–0,153	0,114–0,117	0,124–0,127



Gambar 5. Hasil ordinasi PCA terhadap kompleks Danau Malili

## Pembahasan

### Wilayah Eufotik

Tingkat kejernihan perairan yang ditetapkan dari batas terdalam keping Secchi (SD) masih tampak terlihat oleh mata, kondisi ini dapat digunakan sebagai penduga sederhana untuk menentukan kedalaman wilayah eufotik (*Euphotic Zone Depth, EZD*). Kolom EZD yaitu kedalaman perairan hingga cahaya radiasi matahari tinggal 1% dari yang masuk di permukaan, dan merupakan wilayah biologi akuatik, yaitu kedalaman tempat fotosintesis masih dapat berlangsung (Kirk, 1986). Koenings dan Edmunson (1991) mengemukakan bahwa EZD dibatasi oleh penetrasi radiasi aktif fotosintesis (*Photosynthetically Active Radiation, PAR*) yang berkurang hingga tinggal 1% dari cahaya yang masuk ke permukaan perairan. Dengan demikian, dimensi EZD akan menentukan luas wilayah litoral yang tersedia dan kedalaman

kolom air yang menjadi wilayah limnetik. Merujuk pada Odum (1971), eufotik adalah bagian perairan yang mendapat cahaya, termasuk di dalamnya adalah wilayah litoral dan limnetik.

Berdasarkan tingkat kejernihan perairannya serta rumus Koenings dan Edmunson (1991) dengan rasio EZD:SD di perairan jernih yang mencapai 2,4 maka EZD di perairan Danau Matano, Mahalona, dan Towuti, masing-masing mencapai kedalaman 72, 22, dan 46 m. Rasio wilayah EZD dan kedalaman maksimumnya, masing-masing untuk ketiga danau adalah 12, 30, dan 23%.

Kondisi EZD merupakan salah satu informasi penting menyangkut aspek limnologis. Wilayah eufotik memiliki peran sebagai pemasok energi utama suatu perairan danau atau sebagai wilayah *trophogenic* terkait ketersediaan cahaya yang berlimpah yang mendukung aktivitas produktivitas primer di dalamnya. Berdasarkan wilayah EZD tersebut

tampak bahwa Danau Mahalona memiliki potensi produktivitas primer yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua danau yang lain, karena kedalaman danau ini yang paling rendah memberikan proporsi EZD yang tertinggi.

Tingkat kejernihan dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik fisik maupun biologi, yang meliputi produksi autochthonous, bahan-bahan allochthonous, dan bahan yang tersuspensi kembali dari dasar danau akibat aktivitas angin dan lain-lain (Carlson, 1977, 1980; Preisendorfer, 1986). Selain itu, menurut Hakanson (2005) morfometri danau sangat berperan terhadap tingkat kejernihan ini, terkait dengan proses di dalam danau seperti difusi dan suspensi kembali.

Danau Matano dan Danau Towuti diketahui merupakan danau yang oligomiktik atau hanya meromiktik (Crowe et al., 2008). Menurut Costa et al. (2015) kolom air di Danau Towuti mengalami stratifikasi secara termal, meskipun mengalami pencampuran musiman hingga kedalaman ~ 100 m. Danau Matano secara tetap juga mengalami stratifikasi, hanya kolom air hingga kedalaman 100 m yang teroksigenasi (Crowe et al., 2014). Katsev et al. (2010) mengemukakan bahwa dengan kedalaman hingga 590 m, Danau Matano mengalami stratifikasi gradien termal ( $<2^{\circ}\text{C}$  per 500 m) dan gradien salinitas ( $<0,14\%$  per 500 m) yang lemah. Gradien tersebut berlangsung sepanjang musim, puluhan tahun bahkan diduga selama berabad-abad.

Pergerakan pencampuran air secara vertikal mengakibatkan partikel-partikel tersuspensi dan unsur hara yang terendapkan di dasar danau teraduk kembali ke kolom perairan, sehingga meningkatkan potensi kejadian proses eutrofikasi danau, terutama Danau Mahalona yang lebih dangkal ( $Z_{\max} = 73$  m) dibandingkan dengan Danau Matano dan Towuti.

### Kelimpahan Klorofil a

Kelimpahan klorofil dari ketiga danau yang diamati, tertinggi di Danau Towuti ( $0,716$  mg/m<sup>3</sup>) yang menunjukkan kondisi perairan yang sangat tidak subur. Menurut Seller dan Markland (1987), kandungan klorofil perairan oligotrofik berkisar  $0-4$  mg/m<sup>3</sup>, mesotrofik  $4-10$  mg/m<sup>3</sup>, sedangkan kisaran  $10-100$  mg/m<sup>3</sup> menunjukkan perairan eutrofik.

Karakteristik kelimpahan klorofil yang sangat rendah yang terukur di kompleks Danau Malili, bahkan di beberapa lokasi tidak terdeteksi, mencerminkan tingkat produktivitas biologis danau yang rendah. Klorofil a yang mendominasi lapisan permukaan danau memiliki kelimpahan yang rendah yang sejalan dengan laju produktivitas primer yang juga rendah. Menurut Russel et al. (2016), Danau Matano adalah satu dari danau-danau tropis yang sangat tidak produktif (ultra oligotrofik). Hal ini karena pasokan hara dari tanah yang lapuk secara intensif sangat rendah dan dari PO<sub>4</sub> yang mengendap dan terikat oleh Fe yang memiliki kadar yang sangat tinggi. Pada pengamatan di Danau Matano, Crowe et al. (2008) mendapatkan bahwa klorofil a di lapisan permukaan danau tercampur dengan konsentrasi klorofil a di seluruh lapisan perairan danau dan hal ini berpengaruh terhadap laju produktivitas primer yang konstan memanfaatkan oksigen yang dihasilkan oleh cyanobacteria dan algae. Laju fiksasi karbon (C) fotosintetik yang diukur di Danau Matano mirip dengan kondisi ultra oligotrofik di danau-danau *arctic* di daerah lintang tinggi.

Menurut Haffner et al. (2001), Danau Matano diketahui memiliki kapasitas produksi yang sangat terbatas karena keterbatasan pencampuran dan rasio wilayah fotik dengan kedalaman campuran (*mixing depth*) ( $Z_{\text{eu}}/Z_{\text{m}} = 0,07$ ) yang kecil. Produksi autotrofik ditunjukkan dengan *standing crops* fitoplankton yang sangat rendah dan ditandai dengan plankton yang terfosilkan sangat jarang. Demikian pula menurut Fee (1979), peranan morfometri danau cukup penting terhadap produktivitas primernya, terutama dari faktor kedalaman rata-rata.

Sementara itu, berdasarkan pengamatan Nomosatryo et al. (2014), konsentrasi klorofil a yang diukur di Danau Matano dan Danau Towuti rendah sekali. Konsentrasi klorofil a di Danau Matano terlihat tinggi di kedalaman 44 m ( $0,91$  µg/L) dan di kedalaman 97 m ( $1,27$  µg/L), sedangkan di Danau Towuti konsentrasi tertinggi hanya ditemukan di kedalaman 44 m ( $1,20$  µg/L). Hal ini sejalan dengan pengamatan Vuillemin et al. (2016), yaitu kadar klorofil maksimum di Danau Towuti ditemukan di kedalaman 40–50 m.

Kelimpahan vertikal klorofil di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti ini menunjukkan pola yang tidak jelas. Pengukur-

an yang dilakukan berada pada kolom air wilayah eufotik. Pola-pola kelimpahan klorofil tersebut boleh jadi dipengaruhi oleh pencampuran massa air yang berlangsung di danau-danau tersebut. Danau Towuti diketahui mengalami pencampuran musiman hingga kedalaman ~ 100 m (Costa *et al.*, 2015), dan Danau Matano dengan kondisi kolom air teroksigenasi hingga kedalaman 100 m (Crowe *et al.*, 2015).

### **Kadar Fosfor Total dan Material Organik**

Kadar Fosfor total (TP) sebagai salah satu komponen hara perairan, dan kadar material organik perairan yang diukur melalui pendekatan COD di danau-danau yang diamati menunjukkan keragaman antara lokasi dan antara waktu. Kadar TP yang masih teramati adalah di Danau Mahalona dan Towuti, yaitu pada bulan September 2016, sedangkan di Danau Matano tidak terdeteksi. Mengacu pada kriteria Vollenweider dan Kerekes (1980) perairan Danau Mahalona secara rata-rata masih menunjukkan kondisi oligotrofik dan Danau Towuti menunjukkan kondisi mesotrofik. Pada bulan Mei 2017 danau-danau yang diamati pada umumnya menunjukkan kondisi oligotrofik.

Kondisi trofik Danau Matano, Mahalona, dan Towuti secara umum masih bertahan pada status oligotrofik, kecuali Danau Towuti yang sedikit mengalami pergeseran menjadi mesotrofik pada waktu-waktu tertentu. Kadar TP Danau Matano masih sangat rendah, sejalan dengan laporan Nomosatryo *et al.* (2013), yaitu di kolom air permukaan yang masih bersifat aerobik kadar TP berkisar 0,001–0,003 mg/L (rata-rata 0,002 mg/L). Di Danau Towuti kadar TP sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan di Danau Matano, yaitu berkisar 0,001–0,005 mg/L (rata-rata 0,004 mg/L).

Resuspensi fosfat di dasar perairan Danau Matano sangat terbatas (Nomosatryo *et al.*, 2012) dan kondisi perairan secara permanen menunjukkan kadar TP yang sangat rendah, sehingga pasokan dari DTA masih belum memberikan pengaruh. Pencampuran musiman hingga kedalaman ~ 100 m yang terjadi di Danau Towuti (Costa *et al.*, 2015) akan memberikan kondisi aerobik, sehingga tidak memberikan peluang bagi komponen fosfor untuk mengendap di dasar perairan. Dengan demikian, faktor-faktor eksternal sangat berperan terhadap perubahan kadar TP

di Danau Towuti, terutama yang berasal dari DTA seperti perkembangan perkebunan sawit yang semakin luas, sementara di tepian Danau Towuti bagian utara tampak berkembang perkebunan lada milik masyarakat.

Kadar material organik yang terukur sebagai COD di kompleks Danau Malili memiliki konsentrasi yang berbeda-beda, yaitu konsentrasi COD di Danau Matano berkisar 27,40–43,29 mg/L dengan rata-rata 34,44 mg/L (September 2016), sementara konsentrasi COD di Danau Mahalona berkisar 24,40–39,85 mg/L dengan rata-rata 33,50 mg/L, sedangkan konsentrasi COD perairan Danau Towuti berkisar 27,40–33,41 mg/L dengan rata-rata 29,89 mg/L.

Konsentrasi COD di kompleks Danau Malili pada Mei 2017 rata-rata lebih tinggi daripada konsentrasi pada September 2016. Hal ini dimungkinkan karena pengambilan sampel air pada Mei 2017 dilakukan dalam musim kemarau. Konsentrasi COD di Danau Matano pada Mei 2017 berkisar 38,56–55,75 mg/L dengan rata-rata 43,37 mg/L, sementara konsentrasi COD di Danau Mahalona berkisar 37,28–48,87 mg/L dengan rata-rata 41,06 mg/L, dan konsentrasi COD di Danau Towuti berkisar 39,42–45,86 mg/L dengan rata-rata 41,48 mg/L.

Hasil analisis Anova faktor tunggal menunjukkan ada perbedaan konsentrasi COD antara pengambilan bulan September 2016 dan Mei 2017 dengan nilai  $P = 0,000059$ , sedangkan konsentrasi COD antara danau, hanya Danau Towuti yang memiliki perbedaan nyata dari Danau Matano dan Mahalona dengan nilai  $P = 0,000086$ .

Merujuk kriteria Ibarra *et al.* (2005), COD merupakan parameter yang terkait dengan pencemar dengan sumber tersebar (NSP, *Non-point Source Pollution*), selain natrium, klor, kalium, ortofosfat, dan nitrit, yang mencirikan parameter akibat faktor antropogenik. Dengan demikian, kadar COD dapat menjadi indikasi kondisi perairan telah mengalami gangguan akibat bahan organik yang masuk, yang menunjukkan ada pencemaran domestik dan mencerminkan perilaku masyarakat yang berkontribusi terhadap kondisi perairan.

Tingkat COD di perairan danau-danau yang diamati relatif masih lebih rendah dibanding COD di perairan Danau Lindu yang berkisar 13,43–84,63 mg/L (Lukman, 2002), yang mencirikan perairan distrofik dengan

prediksi pasokan detritus yang tinggi dari DTA yang lebih luas dibanding perairannya. Kondisi ini hampir sama dengan konsentrasi COD di Danau Maninjau (35,10–75,10 mg/L) yang mengalami pencemaran organik sebagai dampak dari kegiatan perikanan budi daya di karamba jaring apung (Lukman *et al.*, 2015). Sebaliknya, kadar COD di Danau Matano, Mahalona, dan Towuti lebih tinggi dibanding COD di perairan Danau Poso yang berkisar 3,30–12,10 mg/L (Suryono & Lukman, 2009) dengan kondisi oligotrofik.

### **Kondisi Parameter Penunjang Kualitas Air**

Kondisi suhu perairan tidak menunjukkan variasi yang signifikan antara ketiga danau yang diamati dan waktu pengamatan. Kondisi pH perairan mencerminkan perairan danau alami yang umumnya memiliki  $\text{pH} > 7,0$  Seperti Danau Poso, Danau Toba, dan Danau Maninjau (Suryono & Lukman, 2009; Lukman & Ridwansyah, 2010; Lukman *et al.*, 2015).

Nilai konduktivitas paling tinggi berada di Danau Mahalona, dibanding kedua danau yang lain. Tingkat konduktivitas perairan danau akan terkait dengan kondisi DTA-nya. Hal ini sesuai dengan pengamatan Hakanson (2005) bahwa konduktivitas merupakan perubah konservatif, dan tingkat konduktivitas perairan danau dapat diprediksi dengan sangat baik dari parameter-parameter di DTA-nya. Danau Mahalona, meskipun terhubung dengan kedua danau yang lain, dengan luas perairan yang lebih sempit, maka kondisi DTA memberikan pengaruh yang lebih tinggi.

Nilai konduktivitas perairan menunjukkan kadar ion-ion yang terkandung di dalamnya, yang sangat berguna sebagai pendekatan pendugaan kekayaan kimiawinya. Tingkat konduktivitas perairan Danau Matano, Mahalona, dan Towuti berada pada kisaran sedang, sebagaimana tingkat konduktivitas Danau Poso (0,066–0,113 mS/cm), Danau Maninjau (0,122–0,128 mS/cm), dan Danau Toba (0,154–0,162 mS/cm) (Suryono & Lukman, 2009; Lukman *et al.*, 2015). Konduktivitas tinggi umumnya terukur di perairan yang berada di kawasan karst, seperti Sungai Bantimurung dan Sungai Patunuang (0,219–0,386 mS/cm) di Sulawesi Selatan (Lukman *et al.*, 2008). Sebaliknya, konduktivitas yang sangat rendah teramati di perairan berawa seperti di Danau Semayang (maksimum 0,0045 mS/cm), yang sumber

airnya di antaranya berasal dari kawasan rawa-rawa (Lukman, 1999).

Hasil ordinasi PCA menggunakan *software* MVSP V 3.1. (Gambar 4) menunjukkan pemisahan yang jelas antara pengambilan sampel pada bulan September 2016 dan Mei 2017. Pada bulan September 2016, parameter yang mencirikan dan berpengaruh adalah pH dan DO, terutama Danau Mahalona dan Matano, sementara pada bulan Mei 2017 lebih dicirikan oleh parameter klorofil a. Untuk Danau Towuti, tidak ada parameter yang sangat berpengaruh yang dapat mencirikan kondisi perairannya, baik pada pengambilan sampel bulan September 2016 maupun Mei 2017.

### **Kesimpulan**

Danau-danau di kompleks Danau Malili (Matano, Mahalona dan Towuti) memiliki wilayah eufotik yang masih baik sehingga cahaya matahari dapat menembus sampai kedalaman 30 m. Berkaitan dengan proses produktivitas perairan, yang berpotensi tertinggi adalah Danau Mahalona. Kondisi ketiga danau dilihat dari konsentrasi klorofil a masih tergolong perairan oligotrofik. Kondisi perairan yang tidak subur menunjukkan bahwa danau-danau ini memiliki produktivitas primer yang rendah kecuali Danau Mahalona. Danau Towuti memiliki karakter yang berbeda dari Danau Matano dan Mahalona berdasarkan konsentrasi COD.

### **Ucapan Terima Kasih**

Kami mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Limnologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah memberikan dukungan pendanaan dalam kegiatan penelitian satuan biaya khusus (SBK) tahun anggaran 2016/2017, serta prasarana penelitian lapangan maupun di laboratorium, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada staf teknis, a.l. Sdr. Agus Waluyo, Ira Akhdiana, dan staf laboratorium yang telah berpartisipasi mulai dari pengambilan sampel hingga analisis kualitas air di laboratorium.

## Referensi

- Carlson RE. 1977. A Trophic State Index for Lakes. *Limnology and Oceanography* 2(2): 361–369
- Carlson RE. 1980. More Complications in the Chlorophyll Secchi Disk Relationship. *Limnology and Oceanography* 25(1): 379–382
- Costa K, Russell JM, Vogel H, Bijaksana S. 2015. Hydrological connectivity and mixing of Lake Towuti, Indonesia in response to paleoclimatic change over the last 60,000 years. *Palaeogeogr. Palaeocl.* 417: 467–475
- Crowe SA, O'Neill AH, Katsev S, Hehanussa PE, Haffner GD, Sundby B, Mucci A, Fowle DA. 2008. The biogeo-chemistry of tropical lakes: a case study from Lake Matano, Indonesia. *Limnology and Oceanography* 53: 319–331
- Crowe SA, Paris G, Katsev S, Jones C, Sang-Tae K, Zerkle AL, Nomosatryo S, Fowle DA, Adkins JF, Sessions AL, Farquhar J, Canfield DE. 2014. Sulfate was a trace constituent of Archean seawater. Early Earth. *Science* 346: 735–739. DOI: 10.1126/science.1258966
- Fee EJ. 1979. A relation between lake morphometry and primary productivity and its use in interpreting whole-lake eutrophication experiments. *Limnology and Oceanography* 24: 401–416
- Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton ED. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 18<sup>th</sup> edition. APHA-AWWA-WEF
- Haffner GD, Hehanussa PE, Sabo L, Bramburger A, Roy D. 2008. Factors regulating biological production and biodiversity of the Malili Lakes, Sulawesi Island Indonesia. *International Conference in Indonesian Inland Waters, November 17–18th, 2008*
- Haffner GD, Hehanussa PE, Hartoto D. 2001. The biology and physical of large lakes of Indonesia: Lakes Matano dan Towuti. The Great Lakes of the World (GLOW): Food-web, health and integrity, pp. 183–192. Edited by M. Munawar & RE. Hecky. *Ecovision World Monograph Series. Backhuys Publ. Leiden, The Netherland*
- Hakanson L. 2005. The importance of lake morphometry and catchment characteristics in limnology-ranking based on statistical analysis. *Hydrobiologia* 541: 117–137
- Ibarra AA, Dauba F, Lim P. 2005. Influence of non-point source pollution on riverine fish assemblages in South West France. *Ecotoxicology* 14: 573–588
- Katsev S, Crowe SA, Mucci A, Sundby B, Nomosatryo S, Haffner GD. (2010). Mixing and its effects on biogeochemistry in the persistently stratified, deep, tropical Lake Matano, Indonesia. *Limnology and Oceanography* 55: 763–776. (10.4319/lo.2009.55.2.0763)
- Kirk JTO. 1986. *Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. Cambridge Univ. Press. London. P 401
- Koenings JP, Edmundson JA. 1991. Secchi disk and photometer estimates of light regimes in Alaskan lakes: Effects of yellow color and turbidity. *Limnology and Oceanography* 36: 91–105
- Lukman. 1999. Kualitas Air Danau Semayang pada Periode Pra Penyurutan dan Pra Penggenangan. *Limnotek* 5(1): 77–83
- Lukman, 2002. Karakteristik Kualitas Air Kawasan Danau Lindu. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi 2002*, 109–117
- Lukman, Said DS, Triyanto. 2007. Kondisi Lingkungan Sungai-sungai Habitat Ikan Beseng-Beseng (*Telmatherina ladigesii*) di Sulawesi Selatan. *Limnotek* 15(2): 55–65
- Lukman, Ridwansyah I. 2010. Kajian kondisi morfometri dan beberapa parameter stratifikasi perairan Danau Toba. *Limnotek* 17(2): 158–170
- Lukman, Setyobudiandi I, Muchsin I, Hariyadi S. 2015. Impact of cage aquaculture on Water Quality Condition in Lake Maninjau, West Sumatra Indonesia. *IJSBAR* 23: 120–137
- Nomosatryo S, Henny C, Rohaeti E, Batubara I. 2012. Fraksinasi Fosforus pada Sedimen di Bagian Litoral Danau Matano, Sulawesi Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI Tahun 2012. IPB Convention Center*. 16 Juli 2012
- Nomosatryo S, Henny C, Jones CA, Michiels C, Crowe SA. 2013. Karakteristik dan Klasifikasi Trofik di Danau Matano dan Towuti Sulawesi Selatan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI I, Cibinong 3 Desember 2013*. 497–507
- Nomosatryo S, Henny C, Jones CA, Michiels C, Crowe SA. 2014. “Karakteristik dan klasifikasi trofik di Danau Matano dan

- Danau Towuti Sulawesi Selatan". *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan MLI Masyarakat Limnologi Indonesia*, 493–507
- Odum EP. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Third Edition. WB, Sounder Co. Philadelphia
- Preisendorfer RW. 1986. Secchi disk Science: Visual Optics of Natural Waters. *Limnology and Oceanography* 31: 909–927
- Ridwansyah I, Wibowo H. 2016. Analisis perubahan penggunaan lahan di Daerah Tangkapan (DTA) Danau Matano, Sulawesi Selatan. *Laporan Tahunan Pusat Penelitian Limnologi-LIPI* (Tidak dipublikasikan)
- Russell JM, Bijaksana S, Vogel H, Melles M, Kallmeyer J, Ariztegui D, Crowe S, Fajar S, Hafidz A, Haffner D, Hasberg A, Ivory S, Kelly C, King J, Kirana K, Morlock M, Noren A, Apos Grady, R, Ordone L, Stevenson J, von Rintelen T, Vuillemin A, Watkinson I, Wattrus N, Wicaksono S, Wonik T, Bauer K, Deino A, Friese A, Henny C, Imran, Marwoto R, Ngkoimani LO, Nomosatryo S, Safiuddin LO, Simister R, Tamuntuan G. 2016. The Towuti Drilling Project: paleoenvironments, biological evolution, and geomicrobiology of a tropical Pacific lake. *Scientific Drilling* 21: 29–40
- Sellers BH, Markland HR. 1987. *Decaying lakes: the origins and control of eutrophication*. John Wiley & Sons, New York
- Suryono T, Lukman. 2009. Kondisi Kualitas Lingkungan Perairan Danau Poso Sulawesi Tengah. *Hidrosfer Indonesia* 4(2): 45–51
- Vollenweider RA, Kerekes JJ. 1980. Background and summary results of the OECD cooperative program on eutrophication. In: *Proceedings of an International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration*, pp. 26-36. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 440/5-81-010
- Vuillemin A, Friese A, Alawi M, Henny C, Nomosatryo S, Wagner D. 2016. Geomicrobiological features of ferruginous sediments from Lake Towuti, Indonesia. *Front. Microbiol.* (7:1007) 10.3389/fmicb.2016.01007
- Whitten AJ, Mustafa M, Henderson G. 1987. *The Ecology of Sulawesi*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta