



OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA

Print ISSN: 0125-9830 Online ISSN: 2477-328X

Nomor Akreditasi: 712/AU3/P2MI – LIPI/10/2015

<http://jurnal-oldi.or.id>



Distribusi Spasial dan Temporal Nutrien di Danau Tempe, Sulawesi Selatan

Spatial and Temporal Distribution of Nutrient in Lake Tempe, South Sulawesi

Siti Aisyah & Sulung Nomosatryo

Pusat Penelitian Limnologi LIPI

Email: iis@limnologi.lipi.go.id

Submitted 09 February 2016. Reviewed 17 June 2016. Accepted 03 August 2016.

Abstrak

Konsentrasi nutrien dalam proses eutrofikasi memiliki peran penting dalam produktivitas perairan tawar. Danau Tempe merupakan kawasan konservasi sumber daya air yang telah mengalami degradasi, diindikasikan dari pendangkalan dan gulma air yang berlimpah. Hal ini mengakibatkan daya dukung danau tersebut menjadi menurun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi dan sebaran spasiotemporal nutrien di Danau Tempe sebagai dasar pengelolaan perairan danau. Sampel air diambil menggunakan Kemmerer water sampler pada bulan April, Juli, dan Oktober 2013 di tujuh stasiun. Oksigen terlarut, pH, suhu, dan transparansi diukur secara *in situ*, sedangkan N-nitrit, N-nitrat, N-amonium, TN, ortofosfat, dan TP beserta parameter pendukung seperti COD, TOM, dan klorofil-a dianalisis di laboratorium menggunakan metode menurut Standard Method. Hasil penelitian memperlihatkan nilai konsentrasi N dan P bervariasi di semua lokasi pengamatan. Nilai konsentrasi N-nitrat, TN, dan TP cenderung tinggi pada bulan Oktober, sedangkan konsentrasi N-nitrit, N-amonium, dan ortofosfat cenderung tinggi pada bulan April. Analisis PCA menunjukkan kondisi kualitas air di Danau Tempe dicirikan oleh senyawa N dan P. Konsentrasi rata-rata TN dan TP di Danau Tempe yang tinggi dengan nilai masing-masing sebesar 1,386 mg/L dan 0,198 mg/L menunjukkan bahwa Danau Tempe termasuk danau produktif dengan kategori perairan eutrofik dan Nitrogen sebagai faktor pembatas kesuburan danau. Pengayaan nutrien yang terus berlanjut akan berdampak buruk terhadap kualitas perairan Danau Tempe.

Kata kunci: sebaran spasiotemporal, nutrien, Danau Tempe, eutrofik, degradasi.

Abstract

The concentration of nutrients in the process of eutrophication have an important role in the freshwater productivity. Lake Tempe constitutes a conservation area for water resources that has been degraded, indicated by high sedimentation and abundant water weeds. This resulted in the lowered carrying capacity of the lake. This study aimed to determine the concentration and spatiotemporal distribution of nutrients in Lake Tempe as the basis for the management of the lake. Water samples were taken using Kemmerer water sampler in April, July, and October 2013 from seven stations. Dissolved oxygen, pH, temperature, and transparency were measured *in situ*, while the N-nitrite, N-nitrate, N-ammonium, TN, orthophosphate, and TP as well as supporting parameters such as COD, TOM, and chlorophyll-a were analyzed in the laboratory using methods according to the Standard Method. The study showed the concentrations of N and P were

varied at all observation sites. The concentrations of N-nitrate, TN, and TP tended to be high in October, while the concentrations of N-nitrite, N-ammonium, and orthophosphate tended to be high in April. PCA analysis showed the water quality conditions in Lake Tempe were characterized by the N and P compounds. The high average concentrations of TN and TP in Lake Tempe with respective values of 1.386 mg/L and 0.198 mg/L indicated that the lake was a productive lake, classified as eutrophic with nitrogen as limiting factor of lake fertility. If the nutrient enrichment continues, it will have a negative impact on the water quality of the lake.

Keywords: spatiotemporal distribution, nutrient, Lake Tempe, eutrophic, degradation.

Pendahuluan

Kondisi lingkungan perairan danau di Indonesia saat ini telah banyak mengalami degradasi, baik kualitas maupun kuantitasnya. Berbagai aktivitas antropogenik telah diketahui banyak memberikan pengaruh terhadap kerusakan ekosistem perairan danau, salah satunya adalah kesuburan perairan (eutrofikasi) yang disebabkan oleh masukan unsur hara yang tinggi (Huismans, 1992). Proses eutrofikasi terjadi karena proses alami dalam waktu yang cukup lama. Namun, aktivitas manusia telah mempercepat laju dan luas eutrofikasi melalui masukan *point source* dan *non-point source* dari nutrisi seperti nitrogen dan fosfor ke dalam ekosistem perairan (Carpenter et al., 1998).

Danau Tempe merupakan salah satu danau bertipe paparan banjir (*flood plain*) yang berada di Kabupaten Wajo, Kabupaten Sidrap, dan Kabupaten Soppeng, Provinsi Sulawesi Selatan. Danau Tempe yang terbentuk dari depresi lempeng bumi Asia-Australia ini terletak di wilayah Sungai Walannae Cenranae pada ketinggian 10 m dpl dengan daerah tangkapan air seluas 4.587 km². Pada musim hujan, luas permukaan danau adalah 48.000 ha dan menggenangi areal persawahan, perkebunan, rumah penduduk, prasarana jalan dan jembatan, serta prasarana sosial lain yang menimbulkan kerugian yang cukup besar (Pusat Penelitian Limnologi, 2012). Pada musim kering, luas danau hanya mencapai 1.000 ha, sedangkan luas danau pada kondisi normal berkisar 15.000–20.000 ha (Suwanto et al., 2011). Luas area pasang surutnya dapat mencapai lebih dari 18.000 ha yang sebagian besar dapat dimanfaatkan untuk pertanian tanaman palawija. Selain itu, ciri-ciri danau ini adalah landai, dangkal, dan banyak ditumbuhi oleh tumbuhan air (Wardoyo et al., 1995).

Jika dilihat dari Daerah Aliran Sungai (DAS)nya, Danau Tempe dipengaruhi dan memengaruhi tiga DAS, yaitu DAS Bila dan DAS

Sidenreng di bagian utara, serta DAS Batu-batu di bagian barat. Pada musim kering, ekosistem Danau Tempe terdiri dari tiga danau, yaitu Danau Tempe, Danau Sidenreng, dan Danau Buaya, sedangkan pada musim hujan ketiga danau ini bergabung membentuk satu danau besar (Setawan & Wibowo, 2013). Dari ketiga danau tersebut, Danau Tempe merupakan yang terluas dan mempunyai satu outlet yakni Sungai Cenranae.

Kondisi penutupan lahan di DAS Danau Tempe didominasi oleh sawah (24,8%), pertanian lahan kering (15,8%), hutan alam (12,9%), dan kebun campuran (10,4%), sedangkan tanah terbuka dan permukiman relatif kecil, yaitu masing-masing 3,7% dan 1,5%. Danau ini dimanfaatkan antara lain untuk mendukung produksi tanaman pangan dan sentra produksi perikanan air tawar, sumber cadangan air untuk irigasi dan perkebunan, serta pengembangan wisata air (Suwanto et al., 2011). Kondisi DAS dan pemanfaatan danau seperti itu akan memberi dampak terhadap ekosistem danau tersebut seperti sedimentasi dan eutrofikasi.

Dari pemetaan penggunaan lahan di atas terlihat bahwa pengayaan nutrisi di Danau Tempe dipengaruhi oleh penggunaan lahan di sekitar DAS danau ini. Penggunaan unsur hara untuk kegiatan pertanian terhadap lahan di sekitar danau pada musim kering akan berpengaruh terhadap pola distribusi dan siklus senyawa nutrisi di Danau Tempe. Di samping itu, dampak kegiatan masyarakat di DAS dan di sekitar danau mempercepat proses penyuburan dan sedimentasi di Danau Tempe seperti diindikasikan dengan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) yang berlimpah (Pusat Penelitian Limnologi, 2012).

Unsur penting di perairan yang memengaruhi ketersediaan nutrisi adalah nitrogen, fosfor, dan karbon (Boyd, 1979; Hartoto et al., 1998) karena berperan penting dalam pembentukan komposisi dan biomassa fitoplankton yang akan menentukan produktivitas primer perairan (Horne & Goldman, 1994; Krebs, 2009). Dari semua unsur nutrisi, yang sangat

memengaruhi penyuburan perairan Danau Tempe adalah nitrogen dan fosfor (Wetzel, 2001). Keberadaan unsur hara di perairan Danau Tempe diduga cukup tinggi, sehingga danau cenderung bersifat produktif. Produktivitas dan kesuburan Danau Tempe yang tinggi diindikasikan oleh pertumbuhan gulma air yang didominasi oleh eceng gondok yang semakin meningkat di perairan danau dengan luas penutupan yang mencapai 75% (Kurniawan, 2013).

Tumbuhan air seperti eceng gondok dapat menjadi ancaman karena mempercepat proses pendangkalan danau dan menjadi perangkap sedimen, serta mempersempit habitat ikan. Selain itu, kegiatan pemanfaatan fluktuasi tinggi muka air untuk menangkap ikan dengan cara Bungka Toddo, ikut memperparah proses pendangkalan danau. Dampak lain eutrofikasi adalah penurunan konsentrasi oksigen yang dapat menyebabkan kematian biota perairan tersebut. Pembusukan tanaman air mengakibatkan proses dekomposisi yang membutuhkan oksigen terlarut yang tinggi, sehingga terbentuk zona mati akibat kekurangan oksigen atau hipoksia seperti yang terjadi di Laurentian Great Lakes (Arend et al., 2011). Oleh karena itu, diperlukan pengamatan konsentrasi nutrisi sebagai landasan ilmiah dalam pengendalian eutrofikasi di Danau Tempe. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui

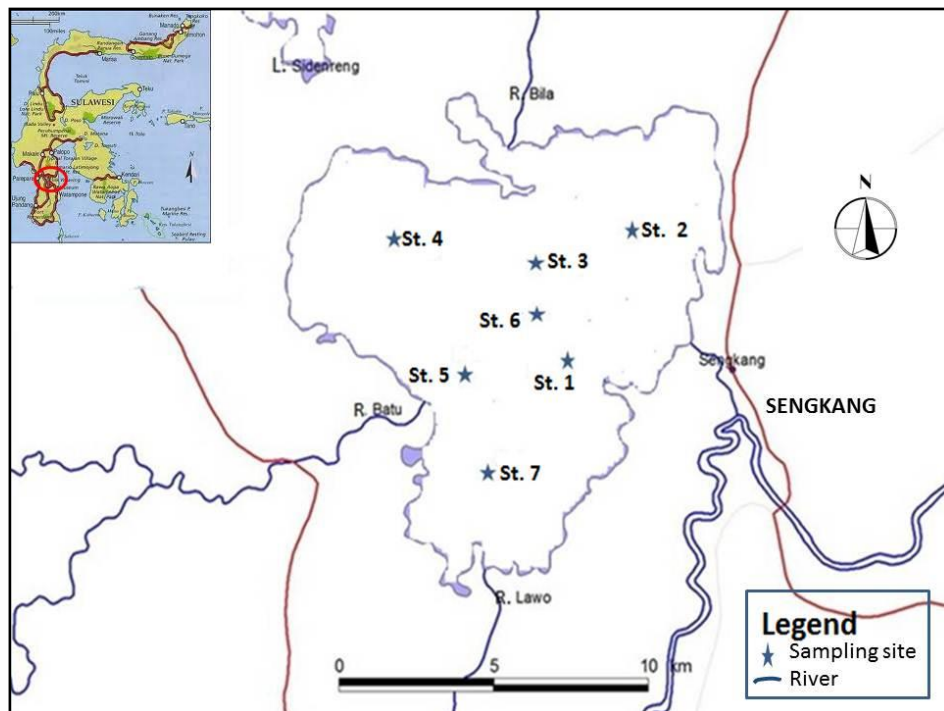
konsentrasi dan sebaran spasial dan temporal nutrisi di perairan Danau Tempe.

Metodologi

Kegiatan ini dilakukan di Danau Tempe, Sulawesi Selatan pada bulan April, Juli, dan Oktober 2013. Posisi stasiun ditentukan berdasarkan sungai-sungai yang masuk dan keluar danau. Lokasi pengambilan sampel ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Tabel 1.

Sampel air diambil menggunakan Kemmerer water sampler di tujuh stasiun pada strata permukaan dan dasar. Pengukuran parameter oksigen terlarut (DO), suhu, pH, dan transparansi dilakukan langsung di lapangan menggunakan Water Quality Checker (WQC) HORIBA U-10. Parameter N-nitrit, N-nitrat, N-amonium, N total (TN), ortofosfat, P total (TP), dan parameter pendukung COD, bahan organik total (TOM), dan klorofil-a dianalisis di laboratorium menggunakan metode yang ditunjukkan dalam Tabel 2. Data dianalisis secara piktorial menggunakan perangkat lunak Ms. Excel 2007.

Untuk melihat kontribusi setiap variabel kualitas air terhadap masing-masing stasiun pengamatan digunakan pendekatan analisis multi-



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di 7 stasiun.
Figure 1. Sampling sites at 7 stations.

Tabel 1. Deskripsi stasiun pengambilan sampel.
Table 1. Description of sampling sites.

Station	Geographic position		Description
	E	S	
St. 1	119°27'15"	4°03'42"	Outlet (Cenranae tributaries)
St. 2	119°28'13"	4°02'10"	Inlet (Walanae tributaries)
St. 3	119°27'12"	4°02'30"	Around Bila tributaries
St. 4	119°25'33"	4°02'12"	Around Billoka tributaries
St. 5	119°26'31"	4°03'54"	Around Batu-batu tributaries
St. 6	119°27'29"	4°03'34"	Central part of the lake
St. 7	119°26'24"	4°04'55"	Around Lawo tributaries

Tabel 2. Parameter kualitas air yang diukur.
Table 2. Water quality parameters measured.

Parameter	Method/Measuring instrument	Reference
Temperature	Water Quality Checker	
pH	Water Quality Checker	
Dissolved oxygen (DO)	Water Quality Checker	
Transparency	Secchi disk	
N-nitrite	Sulphanilamide, Spectrophotometry	APHA, 1999
N-nitrate	Brucine, Spectrophotometry	APHA, 1975
N-ammonium	Phenate, Spectrophotometry	APHA, 1999
Total Nitrogen (TN)	Persulphate oxydation, Brucine, Spectrophotometry	APHA, 1975
P-orthophosphate	Ascorbic Acid, Spectrophotometry	APHA, 1999
Total Phosphorus (TP)	Persulphate oxydation, Ascorbic Acid, Spectrophotometry	APHA, 1999
Chemical Oxygen Demand (COD)	Dichromate, Spectrophotometry	APHA, 1999
Total Organic Matter (TOM)	Titrimetry	APHA, 1999

variat yang didasarkan pada Analisis Komponen Utama (*Principal Component Analysis, PCA*) menurut Legendre & Legendre (1983) dan Bengen et al. (1994). Sebelum analisis PCA dilakukan, variabel kualitas air diseleksi terlebih dahulu guna menghindari variabel yang berautokorelasi (Jolliffe, 2002). Seleksi variabel yang berautokorelasi dilakukan dengan menggunakan uji multikolinearitas. Penghitungan PCA dilakukan dengan menggunakan software MVSP versi 3.2.

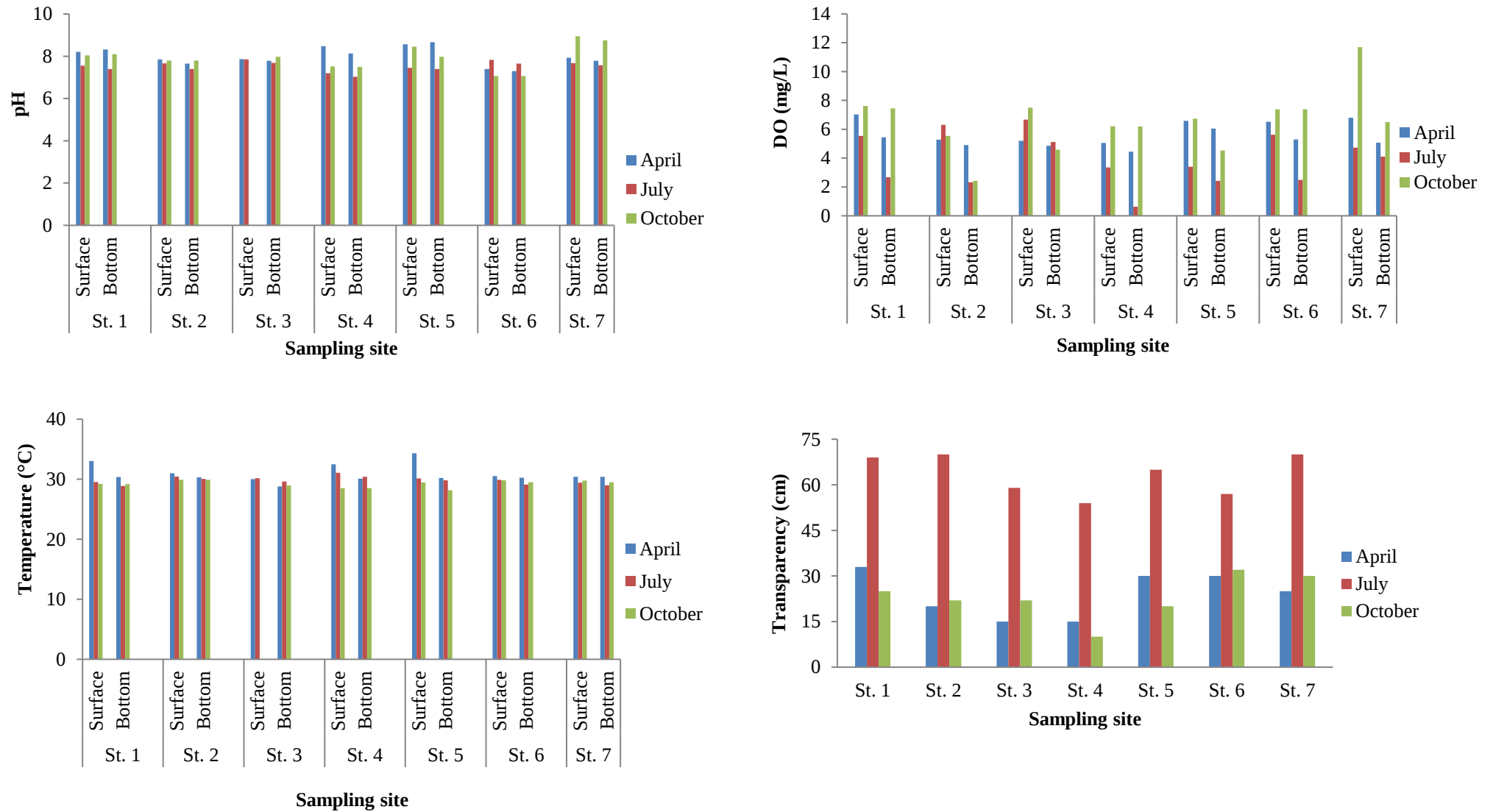
Hasil

Kondisi kualitas air yang meliputi pH, suhu, dan oksigen terlarut diperlihatkan dalam Gambar 2. Di semua lokasi pengamatan, nilai pH rata-rata, baik di permukaan maupun di dasar perairan cenderung sedikit basa pada bulan April dan Oktober, sedangkan pada bulan Juli, nilai pH rata-rata cenderung normal. Dapat dikatakan di semua lokasi pengamatan, nilai pH cenderung

menurun pada bulan Juli, kecuali di St. 6. Nilai pH pada setiap pengamatan di permukaan dan dasar perairan berkisar 7,39–8,56 dan 7,30–8,67 (April), 7,19–7,83 dan 7,03–7,69 (Juli), serta 7,06–8,94 dan 7,06–8,76 (Oktober). Secara spasial, tidak terdapat perbedaan antara lokasi pengamatan ($7,86 \pm 0,24$).

Nilai rata-rata suhu perairan Danau Tempe, baik di permukaan maupun di dasar cenderung menurun dari bulan April sampai bulan Oktober. Nilai tertinggi di permukaan dan dasar perairan terjadi pada bulan April, yaitu 31,67°C dan 30,06°C, dan terendah pada bulan Oktober sebesar 29,44°C dan 29,09°C. Berdasarkan analisis data, tidak ada perbedaan yang signifikan, baik secara spasial maupun temporal.

Nilai kandungan oksigen terlarut rata-rata di Danau Tempe cenderung tinggi pada bulan April dan Oktober, baik di permukaan maupun di dasar perairan. Kisaran nilai di setiap lokasi pengamatan masing-masing di permukaan dan dasar perairan adalah 5,05–7,02 mg/L dan 4,45–6,05 mg/L (April), 3,35–6,66 mg/L dan



Gambar 2. Hasil pengukuran kualitas air di Danau Tempe.
Figure 2. Water quality measurements in Lake Tempe.

0,63–5,11 mg/L (Juli), serta 5,53–11,70 mg/L dan 2,43–7,45 mg/L (Oktober). Nilai tertinggi kandungan oksigen terlarut, baik di permukaan maupun di dasar perairan ditemukan di St. 7, masing-masing sebesar 11,7 mg/L dan 7,39 mg/L, sedangkan yang terendah ditemukan di St. 4, nilai di permukaan dan di dasar perairan sebesar 3,35 mg/L dan 0,63 mg/L.

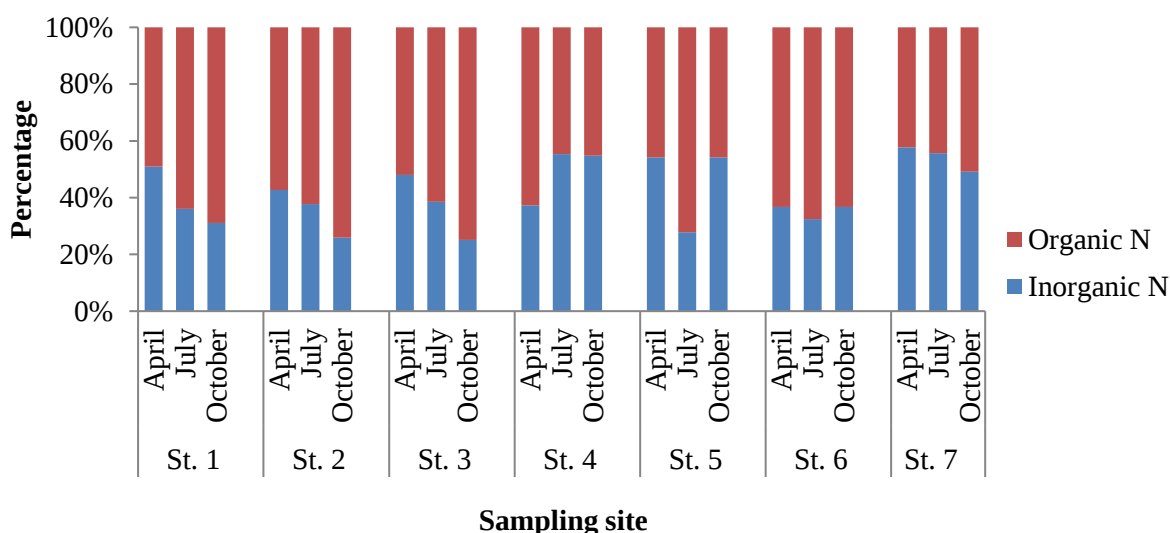
Nilai transparansi di perairan Danau Tempe relatif rendah dengan kisaran 10–70 cm. Transparansi tertinggi terdapat di St. 2 pada bulan Juli 2013 dan terendah di St. 4 pada bulan Oktober. Senyawa yang mengandung nitrogen yang langsung tersedia bagi pertumbuhan biota akuatik ditunjukkan dengan adanya senyawa nitrogen anorganik (Gambar 3). Konsentrasi nitrogen anorganik yang melebihi 50% dari total nitrogen ditemukan di St. 1, St. 5, dan St. 7 pada bulan April 2013, di St. 4 dan St. 7 pada bulan Juli 2013, sedangkan pada bulan Oktober 2013 ditemukan di St. 4 dan St. 5.

Secara umum, persentase tertinggi penyumbang senyawa nitrogen anorganik adalah senyawa N-nitrat (N-NO_3) yang diikuti oleh senyawa N-amonium (N-NH_4) dan senyawa N-nitrit (N-NO_2) (Gambar 4). Konsentrasi TN berkisar 0,840–2,004 mg/L (April), 0,766–1,577 mg/L (Juli), dan 1,357–2,181 mg/L (Oktober). Secara spasial, nilai TN rata-rata tertinggi ditemukan di St. 4 (1,669 mg/L) dan terendah di St. 2 (1,172 mg/L).

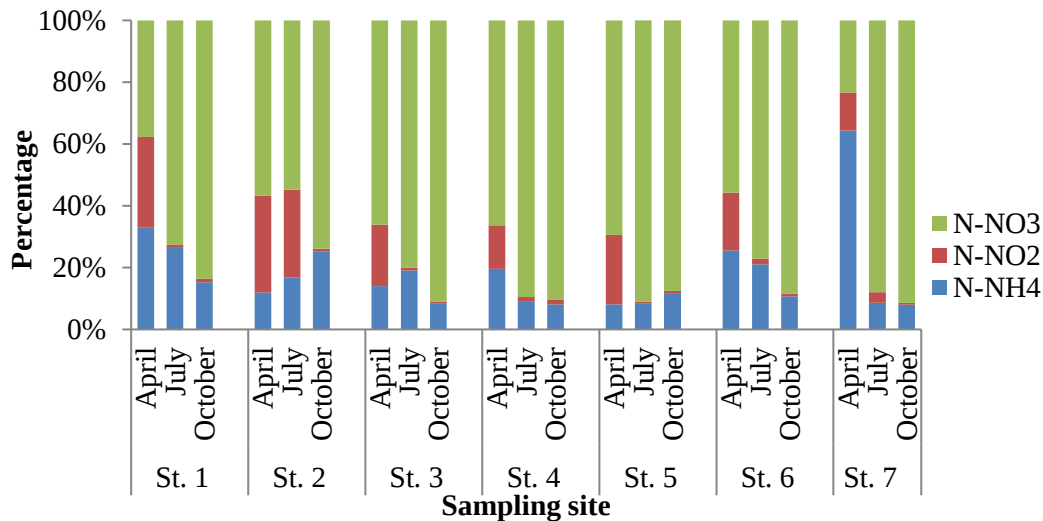
Gambar 5 memperlihatkan distribusi nitrogen total (TN) dan senyawa-senyawa N anorganik, fosfor total (TP), dan ortofosfat. Terlihat bahwa konsentrasi TN pada bulan Oktober cenderung lebih tinggi di hampir seluruh lokasi pengamatan, kecuali di St. 2 dan St. 5. Begitu juga untuk senyawa nitrat. Sebaliknya, konsentrasi senyawa amonium dan nitrit terlihat tinggi pada bulan April di seluruh lokasi pengamatan.

Senyawa nitrat relatif tidak beracun dan merupakan senyawa yang paling penting dalam pertumbuhan biota akuatik (Wetzel, 2001). Konsentrasi senyawa nitrat (N-NO_3) di Danau Tempe berkisar 0,297–0,833 mg/L (April), 0,208–0,431 mg/L (Juli), dan 0,263–0,934 mg/L (Oktober). Nilai rata-rata senyawa N-NO_3 tertinggi (0,672 mg/L) ditemukan di St. 5 dan terendah (0,334 mg/L) di St. 2 (Gambar 5).

Konsentrasi senyawa N-amonium dan N-nitrit di perairan Danau Tempe cenderung tinggi pada bulan April. Kisaran konsentrasi N-amonium adalah 0,092–0,820 mg/L (April), 0,023–0,103 mg/L (Juli), dan 0,041–0,101 mg/L (Oktober). Konsentrasi rata-rata tertinggi ditemukan di St. 7 (0,308 mg/L) dan terendah di St. 5 (0,079 mg/L). Konsentrasi N-nitrit berkisar 0,030–0,332 mg/L (April), 0,002–0,107 mg/L (Juli), dan 0,000–0,015 mg/L (Oktober). Secara spasial, konsentrasi rata-rata tertinggi ditemukan di St. 2 (0,135 mg/L) dan terendah di St. 7 (0,012 mg/L).



Gambar 3. Persentase senyawa N anorganik dan N organik terhadap TN di Danau Tempe.
Figure 3. Percentage of inorganic and organic N compounds to TN in Lake Tempe.



Gambar 4. Persentase penyusun senyawa anorganik di Danau Tempe.

Figure 4. Percentage of inorganic compound constituents in Lake Tempe.

Konsentrasi fosfor total (TP) di Danau Tempe (Gambar 6) memiliki pola yang sama dengan TN dan N-nitrat, yaitu cenderung lebih tinggi pada bulan Oktober. Sebaliknya, konsentrasi ortofosfat tidak berbeda nyata antara bulan April, Juli, dan Oktober. Nilai TP yang terkandung di Danau Tempe bukan hanya berasal dari senyawa fosfor anorganik (ortofosfat dan polifosfat) saja, tetapi juga dari senyawa fosfor organik. Ortofosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan langsung oleh tumbuhan akuatik (Carpenter et al., 1998). Nilai konsentrasi TP di Danau Tempe berkisar 0,027–0,267 mg/L (April), 0,062–0,395 mg/L (Juli), dan 0,120–0,606 mg/L (Oktober). Secara spasial, nilai konsentrasi rata-rata tertinggi berada di St. 4 (0,357 mg/L) dan terendah di St. 3 (0,088 mg/L). Kisaran nilai konsentrasi ortofosfat adalah 0,005–0,114 mg/L pada bulan April, 0,022–0,061 mg/L pada bulan Juli, dan 0,024–0,087 mg/L pada bulan Oktober. Nilai konsentrasi rata-rata ortofosfat tertinggi ditemukan di St. 4 (0,069 mg/L) dan terendah di St. 3 (0,019 mg/L).

Gambar 7 memperlihatkan tiga pengelompokan stasiun pengamatan, yaitu kelompok 1 yang terdiri atas St. 1, St. 2, St. 3, St. 4, dan St. 5. Kelompok 2 dan kelompok 3 masing-masing terdapat St. 6 dan St. 7. Semakin panjang panah yang mengarah pada stasiun pengamatan, kontribusi variabel kualitas air terhadap stasiun tersebut semakin tinggi. Hasil analisis PCA menunjukkan bahwa kelompok 1 dicirikan oleh parameter TN, TP, N-nitrat, ortofosfat, TOM, dan COD. Kelompok 2 dicirikan oleh parameter N-nitrit dan DO, sedangkan kelompok 3 dicirikan oleh N-organik dan transparansi.

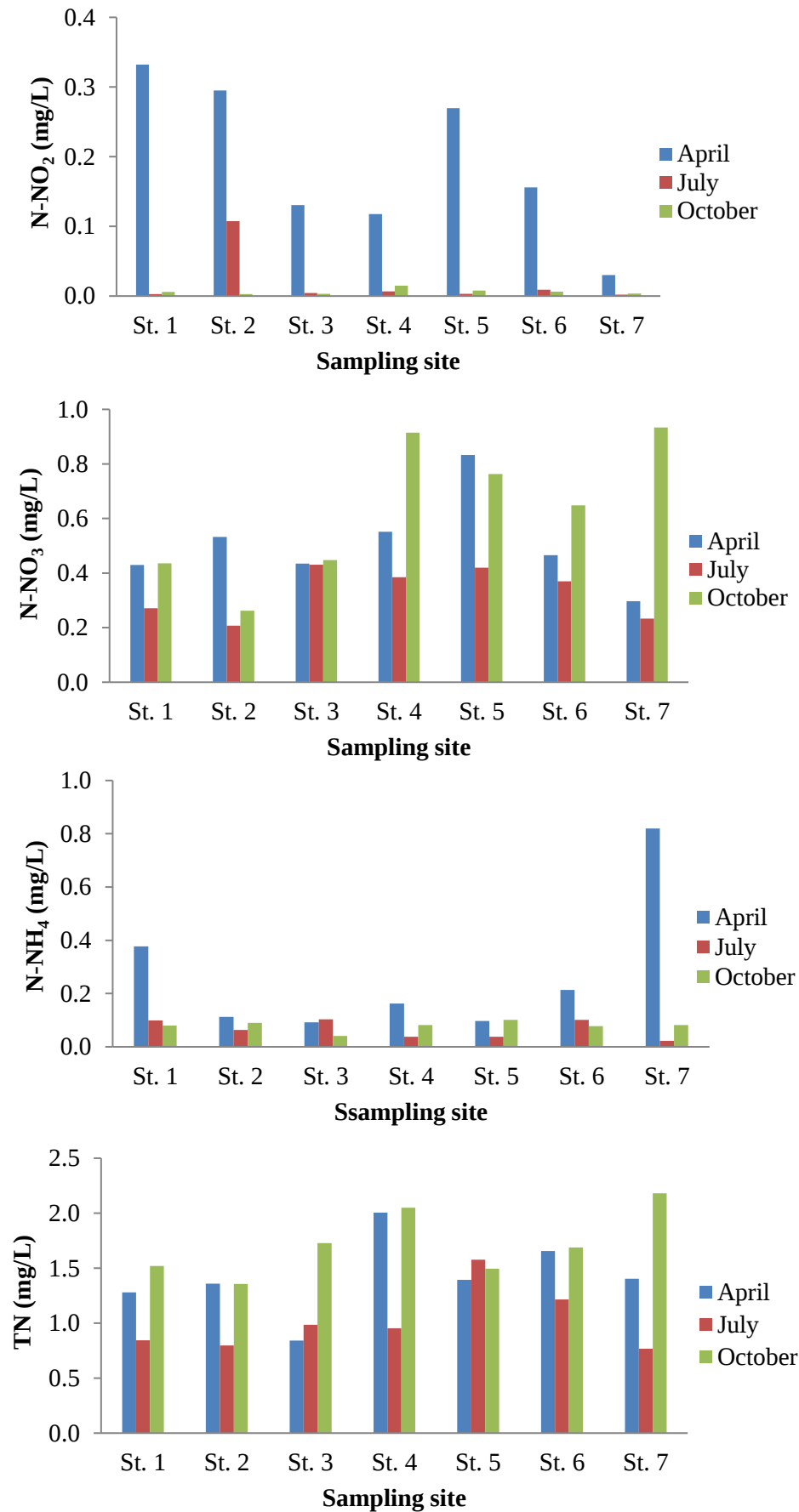
Pembahasan

Kualitas Air

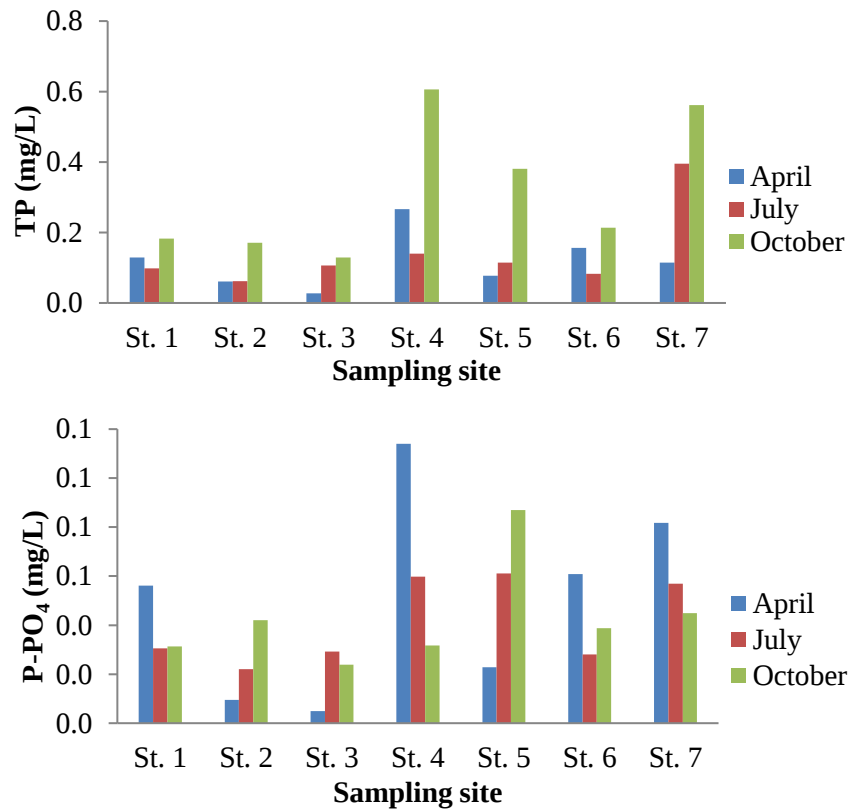
Nilai pH di Danau Tempe masih dalam kondisi normal bagi perairan tawar (7–9) dan baik bagi kehidupan biota perairan. Nilai pH sangat memengaruhi proses biokimiawi perairan, salah satunya proses nitrifikasi. Menurut Novotny & Olem (1994), proses nitrifikasi akan berakhir jika pH rendah dan pertumbuhan alga hijau berfilamen meningkat. Nilai suhu air yang berkisar 29–33°C, juga masih dalam kondisi normal bagi perairan tawar dan disukai oleh organisme akuatik seperti Chlorophyta, Diatom, dan Cyanophyta (Haslam, 1995).

Nilai konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi pada bulan Oktober kemungkinan disebabkan proses fotosintesis meningkat pada saat tinggi muka air rendah akibat intensitas hujan yang rendah pada bulan tersebut. Berdasarkan klasifikasi Schmidt-Fergusson, musim hujan di wilayah Sungai Walanae-Cenranae terjadi pada bulan Maret–Juli, sementara musim kemarau terjadi pada bulan Agustus–Februari (Suwanto et al., 2011). Hal ini didukung oleh Setiawan & Wibowo (2013) yang menyatakan bahwa tinggi muka air bulanan rata-rata di Danau Tempe naik pada bulan Mei–Agustus dan turun pada bulan September–April.

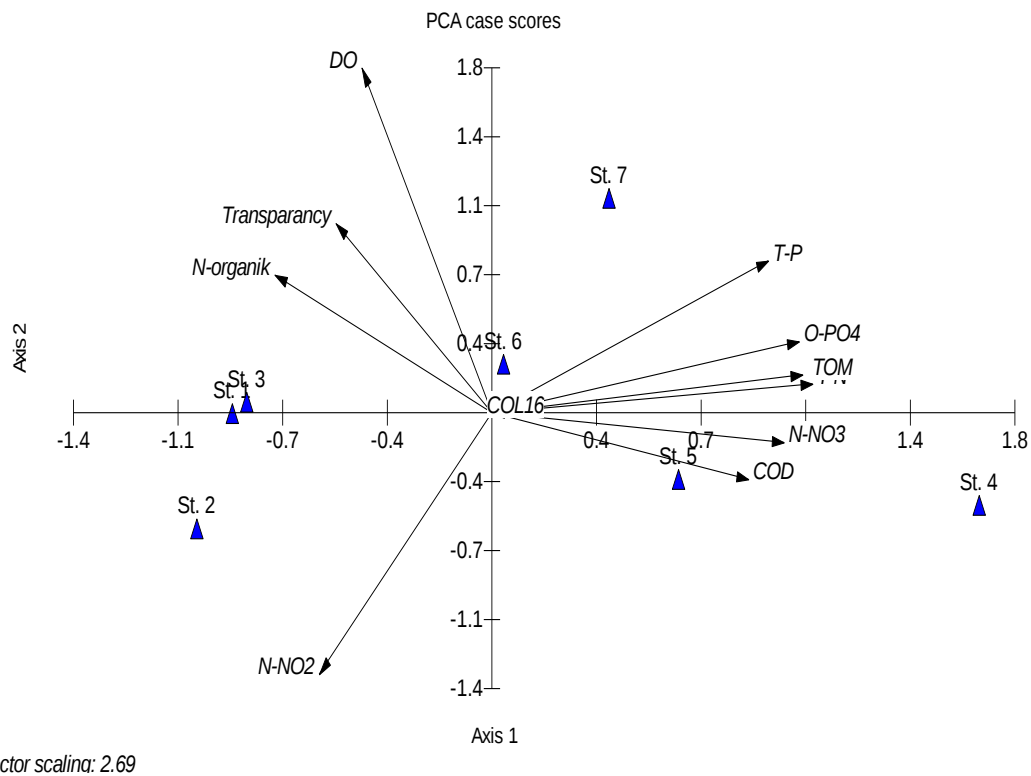
Konsentrasi oksigen terlarut yang tinggi di St. 7 dan rendah di St. 4 kemungkinan berhubungan dengan tingkat eutrofikasi di lokasi tersebut.



Gambar 5. Distribusi spasiotemporal konsentrasi TN dan senyawa N anorganik Danau Tempe.
Figure 5. Spatiotemporal distribution of TN and inorganic N compounds in Lake Tempe.



Gambar 6. Distribusi spasiotemporal konsentrasi TP dan ortofosfat di Danau Tempe.
Figure 6. Spatiotemporal distribution of TP and ortophosphate concentration in Lake Tempe.



Gambar 7. Grafik Analisis Komponen Utama Euclidian Biplot.
Figure 7. Graph of Principal Component Analysis of Euclidian Biplot.

Kondisi perairan Danau Tempe menurut Pusat Penelitian Limnologi (2012) sudah mesotrofik dengan nilai TSI terendah 40,59 di St. 7 dan tertinggi 52,80 di St. 4. Kondisi ini menunjukkan tingkat eutrofik ringan. Eutrofikasi dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut karena terjadi penutupan permukaan air oleh tumbuhan akuatik, sehingga mengurangi penetrasi cahaya yang masuk ke dalam air dan meningkatkan penggunaan oksigen oleh bakteri dekomposer (Arend et al., 2011).

Secara umum, nilai transparansi perairan Danau Tempe cukup rendah. Kondisi ini berhubungan erat dengan nilai konsentrasi nutrien dan sedimentasi yang tinggi di perairan ini. Di St. 4 nilai transparansi sangat rendah (10 cm) pada bulan Oktober 2013. Nilai ini berlawanan dengan nilai konsentrasi nitrat dan TN yang tinggi di lokasi yang sama. Selain itu, estimasi volume sedimen per tahun yang masuk ke danau cukup tinggi, yaitu sebesar 520.000 m³ yang setara dengan laju pendangkalan 0,4 cm per tahun (Pusat Penelitian Limnologi, 2012).

Senyawa Nitrogen

Konsentrasi TN dan N-nitrat di Danau Tempe cenderung tinggi pada bulan Oktober dan rendah pada bulan Juli yang kemungkinan berhubungan dengan volume air danau yang menurun akibat curah hujan yang rendah pada bulan Oktober. Menurut Setiawan & Wibowo (2013), tinggi muka air Danau Tempe meningkat dari bulan Maret sampai puncaknya pada bulan Juni kemudian menurun sampai terendah pada bulan Oktober.

Curah hujan rendah menyebabkan volume air danau menurun. Hal ini mengakibatkan kandungan nitrogen, baik yang terlarut maupun yang dalam bentuk partikel seperti plankton dan material organik yang mati akan terakumulasi. Sebaliknya, pada musim hujan terjadi pengenceran dan kandungan nitrogen terbawa oleh aliran air keluar, sehingga kandungan total nitrogen menjadi turun kembali. Menurut Wetzel (2001) kandungan nitrogen dalam perairan dapat hilang antara lain karena terbawa aliran air keluar danau.

Keberadaan N-nitrat yang tinggi di perairan juga dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut di perairan tersebut. Konsentrasi nitrat yang tinggi di St. 4 dan St. 5 diikuti dengan konsentrasi oksigen terlarut yang rendah di lokasi ini. Hal ini diduga karena penggunaan oksigen terlarut yang tinggi dalam proses nitrifikasi.

Konsentrasi TN di Danau Tempe dalam penelitian ini lebih tinggi (rata-rata 1,386 mg/L) dibanding hasil penelitian Amri (2012) dengan nilai rata-rata 0,202 mg/L. Konsentrasi TN di Danau Tempe tidak berbeda dari konsentrasi TN Danau Limboto dengan nilai rata-rata 1,276 mg/L (Chrismadha & Lukman, 2008). Danau Tempe dan Danau Limboto keduanya merupakan tipe danau paparan banjir dengan kedalaman yang sangat dangkal (<10 m). Selain itu, kedua danau ini juga memiliki kesamaan dalam pemanfaatannya, yaitu sebagai sumber air untuk pertanian, perikanan, dan pariwisata.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Amri (2012), konsentrasi rata-rata N-nitrat di Danau Tempe adalah 0,310 mg/L pada musim kemarau dan 0,092 mg/L pada musim hujan. Hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan kandungan senyawa N-nitrat yang diduga disebabkan oleh aktivitas di sekitar danau. Nilai konsentrasi rata-rata N-nitrat di Danau Limboto menurut Aisyah & Subehi (2012) yaitu sebesar 0,096 mg/L pada musim hujan (Mei) dan 0,669 mg/L (Suryono et al., 2010) pada musim kemarau (September). Di sini terlihat bahwa konsentrasi N-nitrat hasil pengamatan pada musim hujan lebih rendah dibandingkan musim kemarau yang diduga berkaitan dengan proses dekomposisi bahan organik. Dalam proses dekomposisi ini, nitrat terurai menjadi amonium dengan bantuan bakteri dekomposer (Horne & Goldman, 1994). Pada musim hujan, ketersediaan oksigen lebih tinggi, sehingga proses dekomposisi menjadi lebih cepat.

Keberadaan senyawa yang mengandung nitrogen yang langsung dimanfaatkan oleh biota akuatik ditunjukkan dengan adanya senyawa nitrogen anorganik. Konsentrasi N anorganik yang melebihi 50% dari komposisi TN berada di muara Sungai Bila pada bulan April, muara Sungai Billoka pada bulan Juli, dan muara Sungai Waronga pada bulan April dan Juli 2013. Selebihnya, senyawa yang mengandung nitrogen didominasi oleh senyawa N organik (Gambar 3).

Pada musim kemarau, lahan tidak permanen di Danau Tempe selalu ditanami palawija oleh masyarakat sekitar danau. Penggunaan pupuk selama musim kering dan dekomposisi tumbuhan air serta bahan organik inilah yang menyebabkan keberadaan senyawa nutrien dalam air danau. Dengan demikian, nutrien yang terkandung dalam air danau tidak hanya berasal dari sungai, tapi dari dalam danau itu sendiri.

Senyawa nitrogen amonium (N-NH₄) sangat dipengaruhi oleh pH. Nilai pH rata-rata di

Danau Tempe bersifat netral, sehingga senyawa amonium tidak bersifat racun. Senyawa amonium akan bersifat racun bila kondisi lingkungan bersifat basa ($\text{pH} > 10$). Konsentrasi N-NH_4 selama penelitian ini sudah cukup tinggi dan akan meningkatkan persentase amonia bebas (NH_3) jika nilai pH dan suhu perairan meningkat. Disinyalir bahwa NH_3 hasil dekomposisi anaerobik pada tingkat konsentrasi tertentu adalah beracun dan dapat membahayakan organisme lain, termasuk manusia (Wetzel, 2001). Sebaliknya, senyawa nitrit relatif beracun bagi organisme perairan bila konsentrasinya di perairan melebihi 0,05 mg/L (Moore, 1991).

Nilai konsentrasi N-amonium dan N-nitrit cenderung rendah pada bulan Oktober. Konsentrasi amonia dan nitrit yang rendah ini diiringi dengan konsentrasi N-nitrat yang tinggi pada bulan yang sama. Hal ini dikarenakan terjadi proses nitrifikasi yang dapat mengimbangi laju pembentukan amonia pada proses dekomposisi senyawa organik oleh mikroba heterotrofik, sehingga penumpukan amonia dan nitrit dapat dihindarkan. Sebaliknya, apabila proses nitrifikasi terhambat, maka kadar gas amonia dan nitrit yang toksik akan melonjak. Faktor-faktor yang memengaruhi proses nitrifikasi antara lain kadar oksigen dan asupan bahan organik (Hargreaves, 1998).

Konsentrasi rata-rata N-amonium tertinggi ditemukan di St. 7 (Gambar 8). Hal ini diduga berkaitan dengan proses dekomposisi tumbuhan air yang ditemukan paling padat di lokasi tersebut (Dina et al., 2014). Konsentrasi amonium yang tinggi di St. 7 berlawanan dengan konsentrasi nitrat yang rendah. Hal ini dikarenakan dalam proses dekomposisi bahan organik, nitrat terurai menjadi amonium (Horne & Goldman, 1994).

Sementara itu, konsentrasi N-nitrit tertinggi ditemukan di St. 2. Hal ini berkaitan dengan konsentrasi oksigen di St. 2 yang paling rendah di antara semua stasiun pengamatan, sehingga kemampuan bakteri untuk melakukan proses nitrifikasi dari nitrit menjadi nitrat terhambat. Konsentrasi rata-rata nitrit di Danau Tempe ini lebih tinggi dibandingkan perairan alami (0,01 mg/L). N-nitrit di perairan alami tidak terdapat dalam jumlah yang besar, karena menurut Alaerts & Santika (1987), N-nitrit merupakan bentuk nitrogen yang tidak stabil dan merupakan keadaan sementara dalam proses oksidasi N-amonium menjadi N-nitrat.

Konsentrasi N-amonium dan N-nitrit yang tinggi pada musim hujan (Gambar 5) diduga karena ada penambahan oksigen dari gerakan air

danau yang terjadi saat hujan, sehingga membantu proses amonifikasi dan nitrifikasi. N-amonium merupakan hasil proses amonifikasi nitrogen organik, sedangkan N-nitrit merupakan hasil oksidasi amonium pada proses nitrifikasi. Peningkatan kandungan N-amonium akan diikuti dengan peningkatan kandungan N-nitrit jika tersedia oksigen yang cukup dan pH yang optimum, yaitu 8–9 (Horne & Goldman, 1994).

Berdasarkan nilai konsentrasi rata-rata N-amonium yang diperoleh pada bulan Oktober 2012 di inlet sungai-sungai yang masuk ke Danau Tempe, yaitu sebesar 0,025 mg/L (Pusat Penelitian Limnologi, 2012) dan nilai konsentrasi rata-rata N-amonium di Danau Limboto, yaitu sebesar 0,157 mg/L pada musim hujan (Aisyah & Subehi, 2012) dan sebesar 0,049 mg/L pada musim kemarau (Suryono et al., 2010), terlihat ada pola yang sama antara nilai N-amonium di Danau Tempe dan Danau Limboto, yaitu rendah pada musim kemarau dan tinggi pada musim hujan.

Pada musim kemarau, konsentrasi N-nitrit di Danau Tempe hasil penelitian ini sebesar 0,006 mg/L, lebih rendah dibandingkan penelitian Amri (2012) dengan nilai rata-rata 0,048 mg/L. Sebaliknya pada musim hujan, nilai N-nitrit di Danau Tempe hasil penelitian ini sebesar 0,190 mg/L, lebih tinggi dibandingkan penelitian Amri (2012) sebesar 0,117 mg/L dan penelitian Aisyah & Subehi (2012) di Danau Limboto sebesar 0,006 mg/L. Hal ini kemungkinan disebabkan nilai DO di Danau Limboto pada musim hujan lebih rendah, yaitu berkisar 3,0–6,0 mg/L, sehingga tidak optimum untuk mengoksidasi N-amonium menjadi N-nitrit. Nilai konsentrasi nitrit di Danau Tempe sedikit melebihi ambang batas, tetapi dikarenakan konsentrasi DO yang tinggi (bersifat aerobik), maka hal ini tidak akan mengganggu organisme akuatik di Danau Tempe.

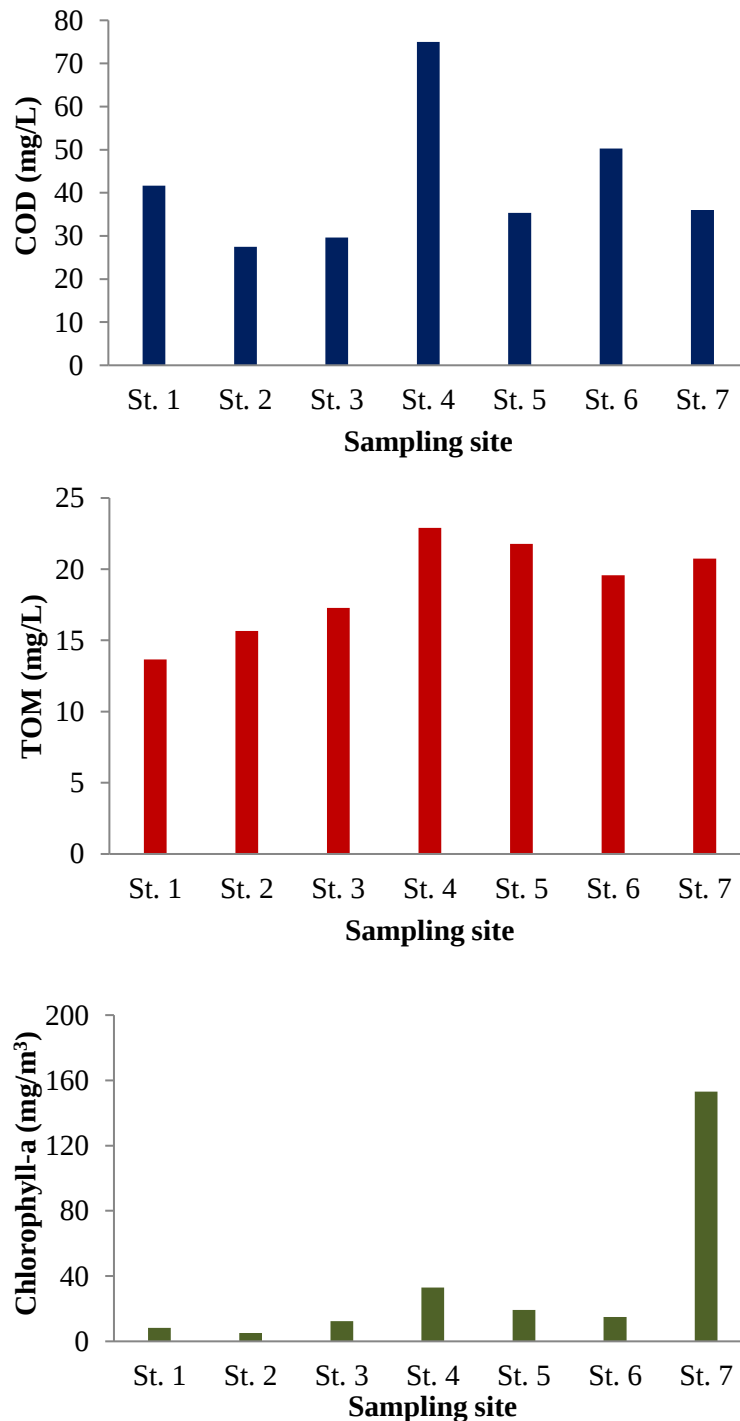
Senyawa Fosfor

Nilai konsentrasi TP cenderung tinggi pada bulan Oktober (air surut), sedangkan nilai konsentrasi ortofosfat cenderung tinggi pada bulan April (air tinggi). Hal ini disebabkan pada saat air tinggi karena curah hujan yang tinggi, senyawa ortofosfat yang terlarut lebih mudah terbawa masuk oleh air limpasan ke dalam danau. Ortofosfat merupakan salah satu senyawa fosfor anorganik terlarut, sedangkan fosfor bersifat tidak terlarut dan mengendap di sedimen (Jeffries & Mills, 1996). Oleh karena itu, konsentrasi TP yang tinggi pada bulan Oktober disebabkan volume air yang menyusut pada musim kemarau.

Sementara itu, konsentrasi TP dan ortofosfat yang tinggi di St. 4 diduga berhubungan erat dengan kandungan bahan organik dan klorofil-a yang juga tinggi di lokasi ini. Gambar 8 memperlihatkan bahwa kandungan bahan organik yang diwakili oleh parameter TOM dan COD di St. 4 menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lain, sedangkan

konsentrasi klorofil-a di St. 4 sudah sangat tinggi yang mengindikasikan perairan eutrofik.

Amri (2012) mengungkapkan bahwa konsentrasi rata-rata ortofosfat di Danau Tempe pada musim kemarau 0,458 mg/L dan musim hujan 0,630 mg/L, sedangkan dalam penelitian ini konsentrasi ortofosfat pada musim kemarau sebe-



Gambar 8. Konsentrasi TOM, COD, dan klorofil-a di Danau Tempe.

Figure 8. Concentrations of TOM, COD, and chlorophyll-a in Lake Tempe.

Tabel 3. Kriteria status trofik danau/waduk.

Table 3. Trophic status criteria for lakes/reservoirs.

Trophic level	TN ($\mu\text{g/L}$)	TP ($\mu\text{g/L}$)	Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$)	Transparency (m)
Oligotrophic	≤ 650	< 10	< 2.0	≥ 10
Mesotrophic	≤ 750	< 30	< 5.0	≥ 4
Eutrophic	≤ 1900	< 100	< 15	≥ 2.5
Hypereutrophic	> 1900	≥ 100	≥ 200	< 2.5

Source: KLH. 2009, modified from OECD 1982 MAB 199 UNEP-ILEC, 2001

sar 0,043 mg/L dan pada musim hujan sebesar 0,050 mg/L. Hal ini menunjukkan telah terjadi penurunan konsentrasi ortofosfat yang cukup signifikan. Konsentrasi ortofosfat hasil penelitian ini tidak berbeda jauh dari konsentrasi ortofosfat di Danau Limboto pada musim kemarau, sebesar 0,051 mg/L (Suryono et al., 2010) dan pada musim hujan sebesar 0,020 mg/L (Aisyah & Subehi, 2012).

Nilai rata-rata konsentrasi TP di Danau Tempe menurut Amri (2012) sebesar 0,546 mg/L. Dengan konsentrasi TP hasil penelitian ini yang bernilai 0,194 mg/L, terlihat bahwa telah terjadi penurunan konsentrasi TP yang cukup signifikan. Nilai TP hasil penelitian ini tidak berbeda nyata dari nilai TP di Danau Limboto, yaitu sebesar 0,226 mg/L (Chrismadha & Lukman, 2008) dan 0,219 mg/L (Suryono et al., 2010).

Dari hasil analisis PCA diketahui bahwa sebagian besar stasiun pengamatan di Danau Tempe dicirikan oleh parameter nitrat, TN, TP, ortofosfat, TOM, dan COD. Ini menunjukkan bahwa keberadaan nutrisi N, P, dan juga bahan organik berpengaruh besar terhadap kondisi perairan Danau Tempe.

Berdasarkan nilai konsentrasi TN dan TP yang ditunjukkan dalam Tabel 3, kondisi perairan Danau Tempe sudah masuk dalam kriteria eutrofik. Peningkatan fosfor akan mengakibatkan peningkatan produktivitas perairan. Konsentrasi nitrogen dan fosfor merupakan faktor pembatas kesuburan perairan (Beveridge, 1984; Horne & Goldman, 1994). Dari nilai rata-rata yang diperoleh, ternyata rasio N dan P di perairan Danau Tempe lebih kecil dari 7. Ini menunjukkan bahwa nutrisi N merupakan faktor pembatas kesuburan perairan di Danau Tempe (Wetzel, 2001).

Efek eutrofikasi moderat pada perairan yang miskin nutrisi tidak bersifat negatif karena peningkatan pertumbuhan alga dan berbagai vegetasi dapat menguntungkan kehidupan fauna akuatik. Salah satu contoh adalah produksi ikan akan meningkat. Jika eutrofikasi terus berlanjut,

populasi plankton akan menjadi sangat padat, sehingga menutupi permukaan perairan. Lehtiniemi et al. (2005) mengungkapkan bahwa efek yang mencolok dari eutrofikasi adalah terjadi *blooming* fitoplankton yang berbau busuk, mengurangi kejernihan air, menurunkan kualitas air, mengurangi penetrasi cahaya, dan menyebabkan pembusukan tumbuhan air di zona litoral.

Menurut Forsberg (1998), masalah serius akibat eutrofikasi ditimbulkan oleh pertumbuhan alga bersel tunggal yang sangat cepat dan proses dekomposisi sel-sel mati yang akan mengurangi oksigen terlarut. Tumbuhan akuatik (termasuk alga) akan memengaruhi konsentrasi O_2 dan pH perairan di sekitarnya. Pertumbuhan alga yang pesat akan menyebabkan fluktuasi pH dan oksigen terlarut menjadi besar pula. Hal ini akan mengganggu proses metabolisme dalam organisme yang akhirnya dapat menyebabkan kematian organisme tersebut.

Secara umum, ketersediaan nutrisi di Danau Tempe lebih dari cukup bagi kelangsungan hidup organisme akuatik. Bahkan, ketersediaan nutrisi yang tinggi di danau ini akan menyebabkan laju pertumbuhan organisme akuatik seperti eceng gondok menjadi tinggi. Pengelolaan danau dengan memperhatikan siklus senyawa nitrogen ini sangat mutlak untuk dilakukan.

Kesimpulan

Keberadaan nutrisi N dan P dipengaruhi oleh waktu pengambilan sampel. Secara umum, konsentrasi nitrogen dan fosfor cenderung tinggi pada bulan Oktober saat permukaan air danau menurun. Perbedaan konsentrasi nitrogen antarlokasi pengamatan dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut, sedangkan keberadaan fosfor dipengaruhi oleh kandungan bahan organik dan klorofil-a. Dari analisis PCA, ketersediaan nutrisi N dan P merupakan faktor

yang sangat berpengaruh terhadap kondisi perairan Danau Tempe. Konsentrasi nitrogen dan fosfor yang cukup tinggi menunjukkan bahwa perairan Danau Tempe cukup produktif untuk menunjang pertumbuhan biota akuatik. Dari klasifikasi perairan berdasarkan nilai konsentrasi TN dan TP, Danau Tempe sudah masuk dalam kriteria perairan eutrofik dengan N sebagai parameter pembatas kesuburan perairan. Jika pengayaan nutrisi terus berlanjut, maka dampak buruk eutrofikasi akan terjadi.

Persantunan

Penelitian ini merupakan bagian dari program Tematik tahun 2013. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada tim pelaksana survei lapangan dan rekan teknis di laboratorium yang sudah membantu dalam pengoleksian data dan analisis sampel.

Daftar Pustaka

- Aisyah S & L Subehi. 2012. Pengukuran dan Evaluasi Kualitas Air dalam Rangka Mendukung Pengelolaan Perikanan di Danau Limboto. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi VI*. 16 Juli 2012. Bogor: 457–466.
- Alaerts G & SS Santika. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya. Usaha Nasional: 6–7.
- Amri. 2012. Penentuan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Danau Tempe, Kabupaten Wajo, Sulawesi Selatan. *Skripsi Program Studi Geofisika Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Hasanuddin*.
- APHA. AWWA. 1975. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 14th eds. American Public Health Association Inc. Washington DC. 1193 pp.
- APHA. AWWA. WPCF. 1999. *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th ed. American Public Health Association. Washington DC. 3464 pp.
- Arend KK, D Beletsky, JV dePinto, SA Ludsins, JJ Roberts, DK Rucinski, D Scavia, DJ Schwab & TO Hook. 2011. Seasonal and interannual effects of hypoxia on fish habitat quality in central Lake Erie. *Freshwater Biology*, 56: 366–383.
- Bengen DG, R Dahuri & Y Wardiatno. 1994. *Pengaruh Buangan Lumpur Kolam Pelabuhan Tanjung Priok terhadap Perairan Pantai Muara Gembong, Bekasi*. PPLH, Lembaga Penelitian IPB, Bogor. 59 pp.
- Beveridge MCM. 1984. *Cage and pen fish farming*. Carrying capacity models and environmental impact. FAO Fish.Tech. Pap. No. 255. 131 pp.
- Boyd CE. 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Auburn University. Auburn, Alabama.
- Carpenter SR, NF Caraco, DL Corell, RW Howarth, AN Sharpley & VH Smith. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8: 559–568.
- Chrismadha T & Lukman. 2008. Struktur Komunitas dan Biomassa Fitoplankton Danau Limboto. Gorontalo. *Limnotek*, 15(2): 87–98.
- Dina R, S Nomosatryo, E Harsono, F Ali, R Kurniawan, F Setiawan, NTM Pratiwi & D Oktaviani. 2014. *Laporan Akhir Tahun Kegiatan Kompetitif LIPI Tahun Anggaran 2014*. Model Rehabilitasi Habitat untuk Meningkatkan Produktivitas Ikan Berkelanjutan dan Lestari di Rawa Banjiran Danau Tempe. 118 pp.
- Forsberg. 1998. Which Policies Can Stop Large Scale Eutrophication. *Water Science and Technology*, 37(3): 193–200.
- Hargreaves JA. 1998. Nitrogen Biogeochemistry of Aquaculture Ponds. *Aquaculture*, 166: 181–1212.
- Hartoto DI, S Sunanisari, MS Syawal, Yustiawati, I Ridwansyah & S Nomosatryo. 1998. Alternatif Tata Guna Danau Teluk Berdasar Sifat Limnologis. *Hasil-Hasil Penelitian Puslitbang Limnologi, LIPI*. Cibinong.
- Haslam SM. 1995. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science Publisher.
- Horne AJ & CR Goldman. 1994. *Limnology*. Second Edition. McGraw-Hill Inc. New York.
- Huisman JW. 1992. The pollution of lakes and reservoirs, *UNEP Environment Library*, 12: 35 pp.
- Jeffries M & D Mills. 1996. *Freshwater Ecology, Principles, and Applications*. John Wiley and Sons, Chichester, UK. 285 pp.
- Jolliffe I. 2002. *Principal Component Analysis*. Springer Series in Statistics. Online ISBN 978-0-387-22440-4: 1–9.
- Krebs CJ. 2009. *Ecology : The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 2nd Ed. Pearson Education, Inc. New York.

- Kurniawan R. 2013. Keragaman Jenis dan Penutupan Tumbuhan Air di Ekosistem Danau Tempe. Sulawesi Selatan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI)*. 3 Desember 2013. Bogor: 256–266.
- Legendre L & P Legendre. 1983. *Numerical Ecology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam. 419 pp.
- Lehtiniemi M, E Jonna & V Markku. 2005. Turbidity decreases anti-predator behaviour in pike larvae, *Esox Lucius*. *Environmental Biology of Fishes*, 73: 1–8.
- Moore JW. 1991. *Inorganic Contaminants Surface Water*. Springer-Verlag, New York. 334 pp.
- Novotny V & H Olem. 1994. *Water Quality, Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*. Van Nostrans Reinhold. New York. 1054 pp.
- Pusat Penelitian Limnologi. 2012. Laporan Tahunan: Tinjauan Limnologis Permasalahan dan Solusi Perairan Darat Indonesia. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. XVII. 348 pp.
- Setiawan F & H Wibowo. 2013. Karakteristik Fisik Danau Tempe sebagai Danau Paparan Banjir. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Limnologi Indonesia (MLI)*. 3 Desember 2013. Bogor: 306–322.
- Suryono T, S Sunanisari, E Maulana & Rosidah. 2010. Tingkat kesuburan dan Pencemaran Danau Limboto Gorontalo. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 36(1): 49–61.
- Suwanto A, TN Harahap, H Manurung, WC Rustadi, SR Nasution, IN Suryadiputra & I Sualia. 2011. *Profil 15 Danau Prioritas Nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia. p.70–74.
- Wardoyo SE, I Iriana & B Priono. 1995. Karakteristik Fisika Kimia dan Biologi Perairan Danau Tempe di Sekitar Soppeng sebagai Dasar Teknik Pengelolaan Sumber Daya Perikanan Tangkap. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 1(1): 76–85.
- Wetzel RG. 2001. *Limnology*. Lake and River Ecosystem. 3rd Ed. Academic Press. San Diego. San Fransisco. New York. London. Sydney. Tokyo. 1006 p.