

KARAKTERISTIK SENYAWAAN NITROGEN DAN FOSFOR PERAIRAN DANAU MATANO, MAHALONA DAN TOWUTI, SULAWESI SELATAN

Awalina, Sulastri, dan Dede Irving Hartoto
Pusat Penelitian Limnologi-LIPI, Kompleks LIPI Cibinong
E-mail: Awalina.satya@lipi.go.id

ABSTRAK

Telaah tentang kondisi alamiah senyawaan nitrogen dan fosfor di ketiga serangkaian danau oligotrofik Malili dilakukan pada 25 September 1992, 24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, 4 Desember 1994, 4 September 1995, dan 26 November 1995. Tujuan dari telaah ini adalah untuk mengungkap karakteristik total nitrogen, nitrat, nitrit, amonium, total fosfor dan orto-fosfat dalam danau oligotrofik di daerah tropis kepulauan. Data tersebut diperlukan untuk melengkapi referensi dasar yang digunakan dalam pengelolaan kualitas air di masa mendatang. Karakteristik diungkapkan terutama berdasarkan data yang teramati dari profil-profil kedalaman senyawaan tersebut di atas pada masing-masing danau. Kompleks danau-danau Malili terdiri atas Danau Matano, Danau Mahalona, dan Danau Towuti. Contoh air yang diambil disesuaikan dengan strata masing-masing kedalaman maksimum danau (Z_{max}), yaitu Danau Matano pada kedalaman: 0, 2, 5, 15, 20, 30, 60, 100, 200, 300, 400, 580 meter, sementara Danau Mahalona pada kedalaman: 0, 2, 5, 8, 20, 30, 40, 50, 60 meter, dan Danau Towuti pada kedalaman: 0, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 100, 150, dan 250 meter. Semua contoh air tersebut diperlakukan sesuai dengan metode APHA (1995). Pada musim kemarau memunculkan rata-rata kisaran tertinggi total nitrogen di D. Matano (0,014-11,121 mg/L) dan D. Towuti (0,17-17,734 mg/L), total fosfor (di D. Matano, D. Towuti dan D. Mahalona) masing-masing 0,269-15,390 mg/L, 0,116-2,146 mg/L dan 1,114-1,761 mg/L; nitrat 0,012-5,325 mg/L, 0,012-3,522 mg/L, 0,019-1,212 mg/L; nitrit 0-225,71 µg/L, 0-7,938 µg/L, 6,218-14,086 µg/L; amonia 20-619,32 µg/L dan ortofosfat hanya di D. Towuti 7,72-44,48 µg/L. Pada musim penghujan memunculkan kisaran konsentrasi tertinggi TN (0,935-18,703 mg/L) di D. Mahalona. Ammonia teramati di D. Mahalona (20-342 µg/L) dan D. Matano (0,260-1,492 µg/L) dan orto fosfat di D. Mahalona (10,721-84 µg/L) dan D. Matano (8,846-238 µg/L). Distribusi tegak senyawaan nitrogen dan fosfor menunjukkan pola yang sangat menarik yang menggambarkan perubahan kondisi lingkungan pada masing-masing danau.

ABSTRACT

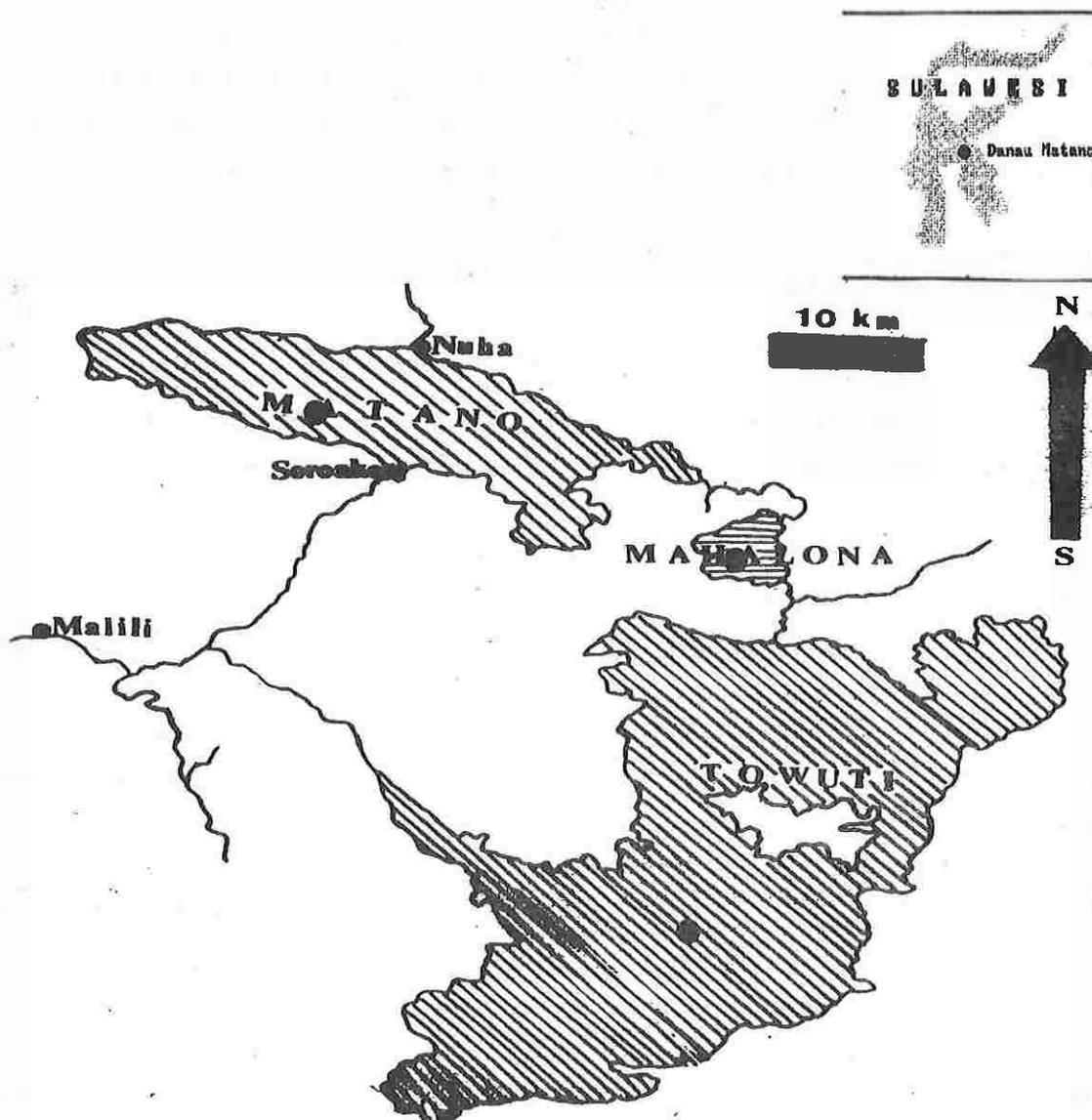
Characteristics of Nitrogenous and Phosphorus Compounds in Three Oligotrophic Lakes of Malili Lakes, South Sulawesi. A study on the nature of Nitrogenous and Phosphorus compounds in three oligotrophic lakes that form a chain of Malili lakes conducted in 25 September 1992, 24 August 1993, 5 July 1994, 4 December 1994, 4 September 1995, and 26 November 1995. The aim of the study is to elucidate the characteristics of total nitrogen, nitrate, nitrite, ammonium, total phosphorus, and ortho-phosphate in tropical oligotrophic lakes type, to provide basic reference for lake water quality management in the future. The characteristics were revealed primarily based on depth profiles data and quantity of those compounds in each lake. Malili lakes consist of respectively Lake Matano, Lake Mahalona, and Lake Towuti. Water samples taken by stratification according to each maximum depth, which were for Lake Matano (m depth): 0, 2, 5, 15, 20, 30, 60, 100, 200, 300, 400, 580, while L. Mahalona (m depth): 0, 2, 5, 8, 20, 30, 40, 50, 60, and Lake Towuti (m depth): 0, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 100, 150 and 250. All those samples were treated and analyzed according to the methods suggested by APHA (1995). The results show that the highest concentration range were found to vary for Total Nitrogen (0.935-18.703 mg/L), ortho-Phosphate (10.72-18.22 µg/L) and for Total Phosphorus (0.269-15.390 mg/L), nitrate (0.012-5.324 mg/L), nitrite (0-225.71 µg/L), ammonia (26-1,492 µg/L) for Lake Mahalona and Lake Matano respectively. Dry season seemingly showed that the highest concentration range of Total Nitrogen is 0.014 to 11.121 mg/L and from 0.17 to 17.734 mg/L for L. Matano and L. Towuti respectively. The other nutrient characteristics of the dry season are range for Total Phosphorus 0.269-15.390 mg/L, 0.116-2.146 mg/L and 1.114-1.761 mg/L, for nitrate 0.012-5.325 mg/L, 0.012-3.522 mg/L, 0.019-1.212 mg/L and nitrite 0-225.71 µg/L, 0-7.94 µg/L, 6.22-14.09 µg/L for L. Matano, L. Mahalona and L. Towuti respectively. The highest ammonia (20-619.32 µg/L) and orthophosphate (7.72-44.48 µg/L) concentration were found in L. Towuti. In the wet seasons, the highest concentration range of TN were only observed in L. Mahalona (0.935-18.703 mg T-N/L), while ammonia were found in L. Matano (26-1,492 µg NH₄⁺/L) and L. Mahalona (20-342 µg NH₄⁺/L). Orthophosphate was found in range of 10.72-84.00 µg PO₄³⁻/L in Lake Mahalona and 8.85-238.00 µg PO₄³⁻/L in Lake Matano. The vertical distribution of N and P compounds in Malili lakes showed interesting pattern suggesting that the changes in the environmental condition of the lakes.

PENDAHULUAN

Kompleks Danau Malili di Sulawesi Selatan terdiri atas serangkaian tiga buah danau oligotrofik yang saling berhubungan yaitu: Danau Matano, Danau Mahalona, dan Danau Towuti. Secara morfometri, ketiganya cukup unik antara lain berturut-turut: Danau Matano terletak paling tinggi (382 m dpl, $A= 164,1 \text{ km}^2$, $Z_{\text{max}}= 590 \text{ m}$), Danau Mahalona (310 m dpl, $A= 24,4 \text{ km}^2$, $Z_{\text{ma}}= 60 \text{ m}$), dan Danau Towuti (293 m dpl, $A= 561,1 \text{ km}^2$, $Z_{\text{max}}= 203 \text{ m}$). Ketiganya termasuk jenis danau tektonik yang terdapat di bagian rendah zona patahan Matano yang terbentuk sekitar 1,6 juta tahun yang lalu. Danau Matano adalah danau terdalam di Indonesia dan ke tujuh terdalam di dunia serta satu-satunya danau di Asia yang memiliki Kedalaman Kriptodepresi (Z_c) sampai 208 m di bawah permukaan laut. Danau Mahalona terletak di tengah rangkaian danau-danau tersebut sementara itu Danau Towuti adalah danau kedua terbesar di Indonesia setelah Danau Toba (Lehmusuoto, 1995; Whitten *et al.* 1987; Wetzel, 2000; Hartoto & Awalina, 1996., Hehanussa, 1994; Hutchinson, 1962).

Karena keunikan danau-danau Malili, Hartoto & Awalina (1996) menyarankan supaya dikelola dan digunakan sebagai bagian dari sistem konservasi perairan darat. Dalam sistem ini, Danau Matano di usulkan sebagai zona inti sistem konservasi, Danau Mahalona sebagai zona penyangga dan Danau Towuti sebagai wilayah ekoturisme. Agar pengelolaan sistem alamiah untuk melengkapi berbagai kebutuhan manusia dapat berjalan selaras dengan alam dan berkesinambungan, dibutuhkan pendekatan kontrol proses. Dalam pendekatan ini, selain sistem yang pengelolaan yang jelas, acuan baku (*set points*) yang digunakan untuk mengevaluasi data hasil pemantauan harus selalu tersedia (Hartoto, 1993). Sehubungan dengan hal ini pengkayaan referensi dasar sifat-sifat limnologi untuk pengembangan *set point* yang dimaksud di atas adalah sangat diperlukan untuk kontrol proses dalam pengelolaan konservasi suatu sistem perairan darat.

Senyawaan nitrogen dan fosfat merupakan senyawaan yang berperan penting dalam siklus biogeokimia di dalam sistem akuatik. Keberadaannya secara kualitatif maupun kuantitatif perlu dipelajari dalam menentukan status trofik suatu sistem perairan karena dianggap mewakili zat hara yang berpengaruh terhadap produktifitas primer (Jorgensen & Vollenweider, 1988). Telaah tentang beberapa karakter fisika-kimia limnologi pada danau-danau di atas telah dilakukan oleh Hartoto & Awalina (1996), Lehmusuoto *et al.* (1995), dan Awalina (1997), tetapi telaah mengenai profil kedalaman senyawaan N dan P belum pernah dibahas secara mendalam. Tujuan penelitian adalah untuk melihat karakteristik kandungan senyawaan nitrogen dan fosfor dalam danau-danau oligotrofik di kompleks danau Malili sebagai referensi dasar untuk pengembangan acuan baku pengelolaan konservasi sistem danau Malili ini pada masa mendatang.



Gambar 1. Gambar skematik Kompleks Danau-danau Malili (Sumber: Sarnita.A (1974) dan Wibowo (1996)). Lokasi pengambilan data ditandai dengan ● yang merupakan bagian terdalam setiap danau.

BAHAN DAN METODE

Observasi distribusi vertikal senyawaan nitrogen dan fosfor dilakukan di Danau Matano, Danau Towuti, dan Danau Mahalona selama musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995). Contoh air diambil dengan Kemmerer menurut strata yang disesuaikan dengan masing-masing kedalaman maksimum danau (Z_{max}), yaitu Danau Matano pada kedalaman: 0, 2, 5, 15, 20, 30, 60, 100, 200, 300, 400, 580 meter, Danau Mahalona pada kedalaman: 0, 2, 5, 8, 20,

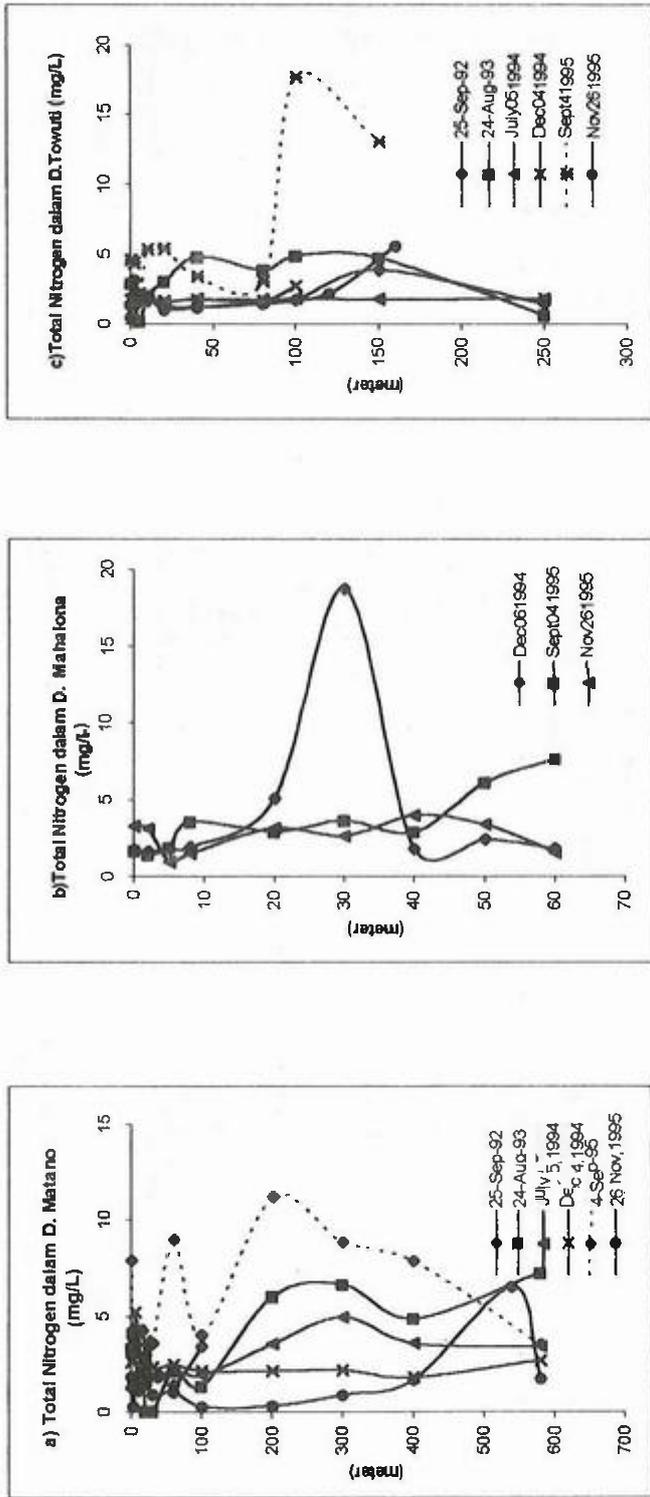
30, 40, 50, 60 meter, dan Danau Towuti pada kedalaman: 0, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 100, 150, dan 250 meter (Gambar 1). Adapun parameter yang dianalisis adalah: Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), amonia (NH_4^+), Total Nitrogen (TN), orto Fosfat (PO_4^{3-}), dan Total Fosfor (TP). Semua contoh tersebut diperlakukan sesuai metode pada APHA (1995).

HASIL DAN PEMBAHASAN

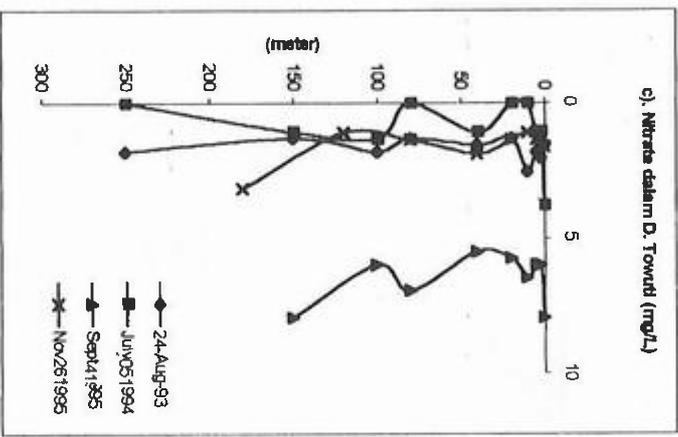
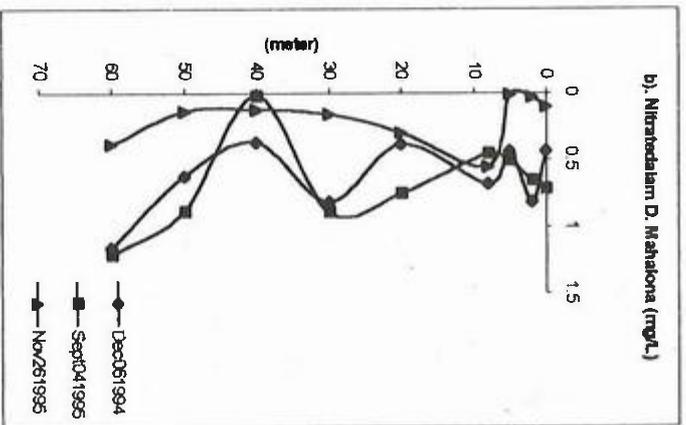
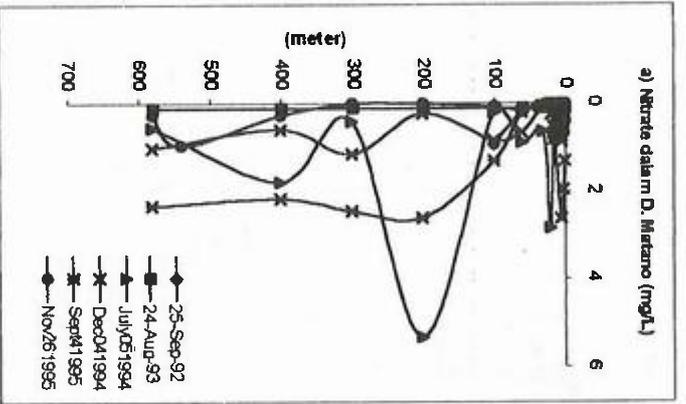
Total Nitrogen (TN)

Secara keseluruhan terlihat bahwa Danau Mahalona memiliki kisaran kandungan rata-rata total nitrogen (TN) tertinggi, kemudian danau Towuti dan yang terendah adalah D. Matano. Namun, ketiganya memiliki kesamaan pola dimana pada kedalaman pertengahan ($0,5 \times Z_{\max}$) selalu dijumpai konsentrasi TN yang tertinggi (Gambar 2, 3, dan 4). Perbedaan pola kecenderungan kandungan TN di dasar danau pada D. Matano (dimana TN meningkat di bagian dasar danau) bertolak belakang dengan Danau Towuti dan D. Mahalona (dimana TN cenderung lebih rendah di bagian dasar) kemungkinan disebabkan oleh keunikan bentuk morfologi dasar Danau Matano. Danau Matano memiliki kedalaman kriptodepresi (Z_c) = 208 m di bawah permukaan laut) (van Bemmelen, 1949; Hehanussa, 1994, Hartoto 1995), kondisi yang seperti ini tampaknya sangat memungkinkan untuk terjadinya akumulasi senyawaan nitrogenik sebagai hasil dari proses dekomposisi material organik.

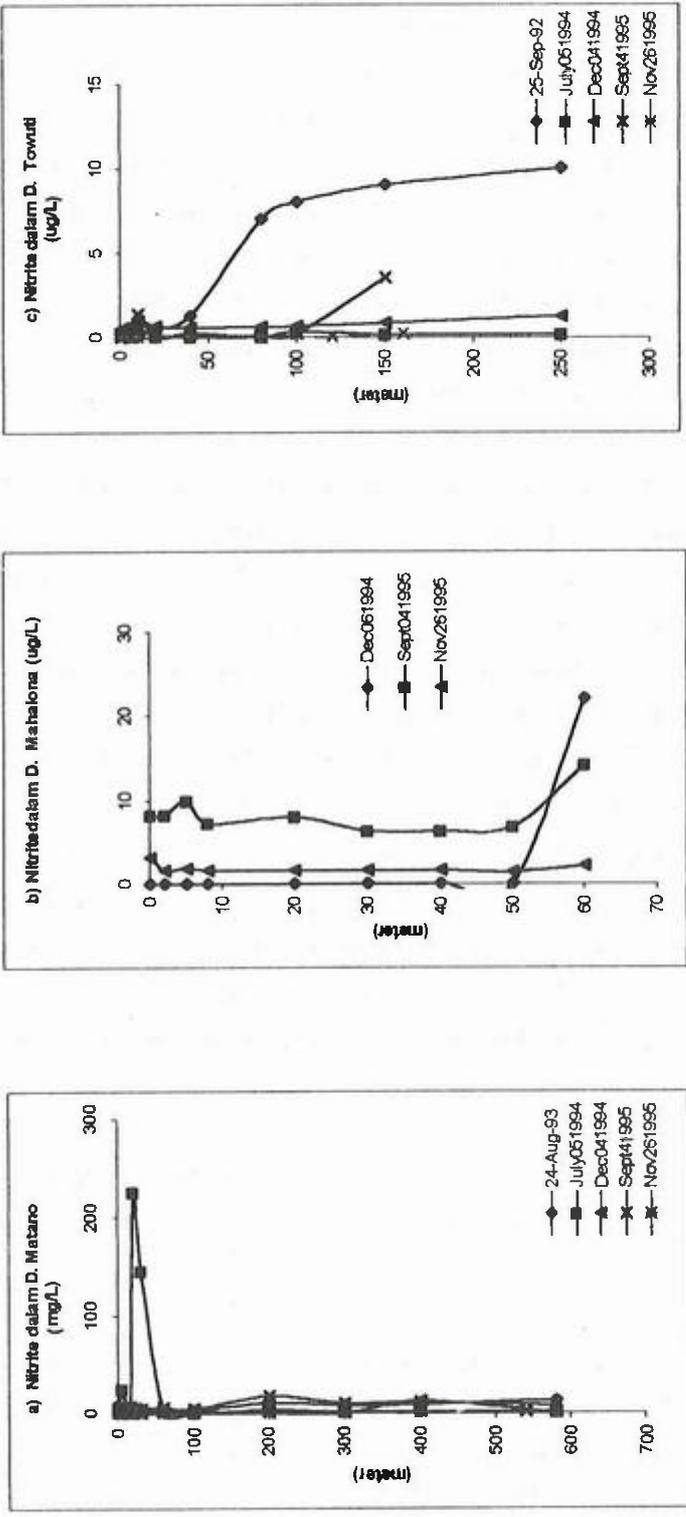
Kisaran rata-rata TN di Danau Matano pada musim kemarau (0,014--11,121 mg/L) lebih besar dari pada kisaran di musim penghujan (0,275--6,501 mg/L). Pada 4 September 1995 atau pada musim kemarau teramati kandungan TN tertinggi (11,121 mg/L) pada kedalaman 200 m (Gambar 2.a). Tampaknya pola profil kandungan kedalaman TN D. Matano berkecenderungan mengalami penurunan mulai pada kedalaman 100 m dan semakin meningkat dengan semakin bertambahnya kedalaman. Pola kecenderungan kenaikan TN pada daerah hypolimnion ini juga teramati pada D. Ranau dan Singkarak (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Bila dibandingkan dengan kandungan TN di D. Di bawah, D. Maninjau, D. Ranau, D. Sentani dan D. Toba yang memiliki kisaran 0,180-0,380 mg/L (Lehmusluoto & Machbub, 1995) maka D. Matano memiliki kandungan kisaran kandungan TN yang jauh lebih tinggi. Demikian juga apabila dibandingkan dengan D. Bratan yang menurut Lehmusluoto & Machbub (1995) memiliki kandungan TN tertinggi yaitu 1,310 mg/L. Secara alamiah menurut Wetzel (2000) kandungan TN tidak akan melebihi dari 1 mg/L, kecuali bila terjadi pemasukan senyawaan nitrogenik dari luar ekosistem danau, terutama dalam bentuk organik. Tampaknya dalam hal D. Matano kemungkinan hal ini bisa menjadi salah satu penyebab dijumpainya kandungan TN di atas rata-rata danau-danau lain di Indonesia tersebut di atas.



Gambar 2. Profil Vertikal Kandungan Total Nitrogen pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c).
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)



Gambar 3. Profil Vertikal Kandungan Nitrat pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c)
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992,
 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)



Gambar 4. Profil Vertikal Kandungan Nitrit pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c)
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)

Danau Mahalona memperlihatkan kisaran kandungan rata-rata TN tertinggi pada musim penghujan (0,935--18,703 mg/L), lebih besar dibandingkan pada musim kemarau (2,886--7,678 mg/L). Kandungan TN tertinggi dijumpai pada 6 Desember 1994 atau pada musim penghujan pada kedalaman 30 m (Gambar 2.b). Kandungan TN juga cenderung semakin menurun bila mendekati dasar danau, kecuali pada musim kemarau tepatnya 4 September 1995. Tampak bahwa pola kecenderungan penurunan kandungan TN seperti ini berlawanan dengan D. Matano, D. Ranau dan D. Singkarak seperti yang tersebut di atas. Sama halnya dengan D. Matano, bila dibandingkan dengan kandungan TN di D. Di bawah, D. Maninjau, D. Ranau, D. Sentani dan D. Toba yang hanya memiliki kisaran 0,180-0,380 mg/L (Lehmusluoto & Machbub, 1995), D. Mahalona memiliki kandungan TN jauh lebih tinggi yaitu mencapai 14,3 kali kandungan TN D. Bratan. D. Matano sendiri hanya memiliki TN sebesar 8.5 kali kandungan TN dalam D. Bratan.

Sama halnya dengan D. Matano, tampaknya Danau Towuti juga mengalami kecenderungan untuk memiliki kisaran rata-rata TN yang tinggi pada musim kemarau (0,170-17,734 mg/L) dibandingkan pada musim penghujan (0,476--5,555 mg/L). Demikian pula jika dibandingkan dengan kandungan TN di D. Di bawah, D. Maninjau, D. Ranau, D. Sentani dan D. Toba yang memiliki kisaran 0,180-0,380 mg/L (Lehmusluoto & Machbub, 1995), D. Towuti memiliki kandungan TN yaitu mencapai 13.5 kali kandungan TN D. Bratan, bandingkan pula dengan D. Matano yang hanya memiliki TN sebesar 8,5 kali kandungan TN D. Bratan. Kandungan TN tertinggi dijumpai pada 4 September 1995 atau musim kemarau pada kedalaman 100 m (Gambar 2.c). Pola profil distribusi vertikal TN sesuai kedalaman menunjukkan kecenderungan menurun dengan semakin mendekati daerah hypolimnion, sama halnya dengan D. Mahalona. Menurut Wetzel (2000) masukan berupa senyawa nitrogenik erat kaitannya pula dengan hasil erosi dengan persentase material organik yang besar yang terbawa masuk ke dalam suatu badan air. Dengan demikian kemungkinan secara garis besar D. Mahalona menerima muatan hasil erosi yang terbesar dari lingkungannya, kemudian D. Towuti juga mengalami hal yang sama tetapi dengan kuantitas yang sedikit lebih kecil mengingat luas permukaan danau yang lebih luas dari D. Mahalona, dan yang terendah adalah D. Matano. Tampaknya saat itu kondisi daerah tangkapan (*watershed*) D. Matano yang relatif paling sedikit mengalami perubahan ekologis dibandingkan kedua danau yang lain berpengaruh terhadap fenomena ini.

Nitrat (NO₃)

Meskipun secara umum TN dalam D. Mahalona dijumpai paling tinggi kuantitasnya tetapi justru pada saat telaah ini dilakukan kandungan rata-rata nitrat tertinggi dijumpai di Danau Matano di ikuti oleh Danau Towuti dan Danau Mahalona. Hal ini tampaknya dikarenakan jenis senyawa nitrogenik yang masuk ke dalam D. Mahalona sebagian besar didominasi oleh senyawaan nitrogen organik. Wetzel (2000) mengemukakan bahwa dominasi senyawa nitrogen organik (misalnya asam-asam amino, amina, protein, senyawaan asam humat berkadar nitrogen

rendah, dan lain-lain) yang berasal dari hasil dekomposisi material organik misalnya dari serasah hutan, kayu lapuk, jasad binatang, dan lain-lain dan ini merupakan karakteristik dari lingkungan yang belum banyak mengalami perubahan, sebagaimana diketahui pada saat pengambilan data dilakukan, D. Mahalona masih dikelilingi oleh hutan alamiah yang kondisinya lebih bagus dibandingkan D. Towuti dan D. Matano.

Danau Matano menampakkan kisaran kandungan nitrat di musim kemarau (0,012--5,324 mg/L) yang lebih tinggi dibandingkan dengan musim penghujan (0,004--2,617 mg/L). Kisaran pada masing-masing musim ini ternyata jauh diatas kisaran kandungan nitrat untuk danau-danau di Indonesia yang hanya sekitar 0--0,760 mg/L (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Kandungan nitrat tertinggi (5,324 mg/L) dijumpai pada kedalaman 200 m pada 5 Juli 1994 (Gambar 3.a). Bentuk profil kedalaman nitrat di Danau Matano cenderung untuk bergeser ke kanan hanya pada 4 September 1995 atau musim kemarau, dimana profil cenderung bertambah bila semakin mendekati dasar danau. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan oleh Lehmusluoto & Machbub (1995) dimana umumnya danau-danau di Indonesia mengalami hal yang serupa. Tetapi pada waktu pengambilan contoh yang lain menunjukkan fenomena yang sebaliknya, yaitu cenderung berkurang bila semakin mendekati dasar, terutama pada 5 Juli 1994 dimana pengurangan terjadi sangat signifikan (dari 5,324 mg/L pada kedalaman 200m menjadi hanya 0,550 mg/L pada kedalaman 580 m atau dasar danau).

Danau Mahalona juga menunjukkan kisaran rata-rata nitrat yang lebih tinggi di musim kemarau (0,019--1,212 mg/L) bila dibandingkan dengan musim penghujan. (0,012--1,157 mg/L). Pada 4 September 1995 atau musim kemarau, kandungan nitrat tertinggi (1,212 mg/L) dijumpai pada kedalaman 60 m (dasar danau) (Gambar 3.b). Pola dari profil kedalaman pun sangat menarik karena bentuknya relatif sama yaitu mengalami kenaikan mulai kedalaman 8 m, kemudian terus meningkat sampai pada kedalaman 30m, tapi menurun drastis pada kedalaman 40 m, setelah melewati kedalaman ini sampai ke dasar danau kandungan nitrat terus cenderung bertambah mencapai 1,212 mg/L. Besarnya konsentrasi nitrat di dasar D. Mahalona ini ternyata mencapai 1,6 kali kandungan tertinggi pada kisaran kandungan nitrat danau-danau di Indonesia.

Musim kemarau menampakkan kisaran rata-rata kandungan nitrat yang lebih tinggi (0,012--3,522 mg/L) di Danau Towuti dibandingkan dengan musim penghujan (0,004--1,260 mg/L). Kedua kisaran kandungan nitrat inipun juga diatas kisaran rata-rata danau-danau di Indonesia yang hanya 0--0,760 mg/L (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Nilai kandungan nitrat tertinggi dijumpai pada 4 September 1995 atau pada musim kemarau di kedalaman 150 m (Gambar 3.c). Seperti pada umumnya danau-danau di Indonesia, profil vertikal kandungan nitrat, memiliki kecenderungan bahwa semakin bertambah kedalaman semakin bertambah pula kandungan nitrat. Namun demikian pada 5 Juli 1994 cenderung menurun setelah melewati kedalaman 100 m sampai dengan dasar danau.

Nitrit (NO_2^-)

Kandungan nitrit dalam perairan danau pada umumnya rendah bahkan sampai tidak terdeteksi (Lehmusluoto & Machbub, 1995), demikian juga dalam pengamatan selama penelitian di danau-danau Malili ini. Meskipun demikian secara umum dapat dikatakan bahwa kandungan nitrit dalam danau-danau Malili ini pada musim kemarau selalu lebih tinggi dibandingkan kisaran kandungan nitrit danau-danau di Indonesia yang hanya 0--37 $\mu\text{g/L}$ (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Berturut-turut kandungan tertinggi dijumpai pada: Danau Matano, kemudian Danau Mahalona dan yang terendah adalah Danau Towuti. Yang menarik adalah kandungan nitrit tertinggi di ketiga danau tersebut selalu dijumpai pada musim kemarau.

Kandungan nitrit di D. Matano menunjukkan kisaran yang lebih tinggi di musim kemarau (0--225,71 $\mu\text{g/L}$) dibandingkan pada musim penghujan (0--1,861 $\mu\text{g/L}$). Kandungan nitrit tertinggi di Danau Matano ini hampir sama dengan kandungan tertinggi nitrit yang dijumpai di Danau Diatas yang mencapai 270 $\mu\text{g/L}$ seperti yang dilaporkan oleh Lehmusluoto & Machbub (1995). Pola profil kedalaman nitrit di D. Matano relative sama selama telaah ini yaitu berpola orthograde dengan kekecualian pada 5 Juli 1995 atau pada musim kemarau, dimana pada kedalaman 20 m dijumpai konsentrasi nitrit tertinggi (Gambar 4.a). Yang patut untuk dicatat adalah bahwa pada kedalaman 200 m sering dijumpai konsentrasi nitrit yang cukup tinggi yaitu 10,643 $\mu\text{g/L}$ (24 Agustus 1993) dan 17,282 $\mu\text{g/L}$ (4 September 1995). Kecuali pada 24 Agustus 1993, kandungan nitrit di D. Matano cenderung untuk berkurang dengan semakin bertambahnya kedalaman.

Musim kemarau di D. Mahalona menunjukkan kisaran kandungan nitrit yang lebih tinggi (6,218--14,086 $\mu\text{g/L}$) dibandingkan kisaran pada musim penghujan (0--22 $\mu\text{g/L}$). Kedua kisaran kandungan nitrit di Danau Mahalona ini bagaimanapun masih di dalam kisaran kandungan nitrit umumnya danau-danau di Indonesia. Pada 4 September 1995 ditemukan nilai tertinggi dibagian dasar danau (60 m) (Gambar 4.b). Pola profil kedalaman nitrit D. Mahalona pada umumnya menunjukkan kecenderungan semakin bertambahnya kandungan nitrit dengan semakin bertambahnya kedalaman, kecuali pada 26 November 1995 dimana pola yang teramati cenderung berbentuk orthograde. Khusus untuk D. Mahalona tampaknya kedalaman 5--30 m cukup layak untuk diperhatikan mengingat pada kisaran kedalaman tersebut sering dijumpai kandungan nitrit yang cukup tinggi

Danau Towuti juga menunjukkan kisaran konsentrasi nitrit yang lebih tinggi pada musim kemarau (0--7,938 $\mu\text{g/L}$) bila dibandingkan dengan musim penghujan (1,095--3,138 $\mu\text{g/L}$). Nilai tertinggi nitrit teramati pada 4 September 1995 atau di musim kemarau yaitu pada kedalaman 150 m (7,938 $\mu\text{g/L}$) dan pada permukaan danau (7,939 $\mu\text{g/L}$) (Gambar 4.c). Tampaknya kedalaman 100 m dan 120 m di D. Towuti layak untuk lebih diperhatikan karena pada kisaran kedalaman ini sering kali ditemukan kandungan nitrit yang cukup tinggi. Pola profil vertikal kandungan nitrit D. Towuti agak sedikit berbeda dengan D. Matano yaitu mengalami kecenderungan meningkat bila

semakin bertambah kedalaman, kecuali pada 5 Juli 1994 terjadi hal yang sebaliknya secara cukup signifikan.

Ammonia (NH_4^+)

Dalam perairan danau alamiah, kandungan ammonia sangat bervariasi 0--1450 $\mu\text{g/L}$, dengan pola kecenderungan lebih rendah pada bagian epilimnion dan meningkat dengan bertambahnya kedalaman (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Dalam telaah ini diperoleh gambaran secara umum bahwa kandungan ammonia tertinggi teramati di D. Matano, kemudian Danau Towuti dan terendah di D. Mahalona. Kandungan tertinggi ammonia dijumpai pada musim penghujan untuk D. Matano dan D. Mahalona tapi sebaliknya terjadi pada D. Towuti. Persamaan dari ketiga danau ini adalah dijumpainya kecenderungan peningkatan kandungan ammonia dengan semakin bertambahnya kedalaman.

Danau Matano menunjukkan kisaran konsentrasi ammonia yang lebih tinggi di musim penghujan (0,260--1492 $\mu\text{g/L}$) dibandingkan dengan musim kemarau (20--1348 $\mu\text{g/L}$). Kandungan ammonia tertinggi ini sedikit lebih tinggi dibandingkan kisaran kandungan perairan danau di Indonesia (0--1450 $\mu\text{g/L}$). Pada 4 Desember 1994 atau musim penghujan teramati nilai tertinggi pada kedalaman 200m (1492 $\mu\text{g/L}$) (Gambar 5.a). Pola profil kedalaman ammonia pada 4 Desember 1994 dan 4 September 1995 memiliki persamaan yaitu cenderung untuk meningkat konsentrasinya sesuai dengan kedalaman sampai pada konsentrasi tertinggi di kedalaman 200 m, kemudian menurun sampai pada kedalaman maksimum. Kekecualian terjadi pada 23 Agustus 1993 dan 5 Juli 1994 atau pada musim kemarau, dimana dijumpai peningkatan konsentrasi bila semakin mendekati dasar danau.

Sama seperti D. Matano, ternyata pada musim penghujan (20--342,32 $\mu\text{g/L}$) D. Mahalona menampakkan kisaran konsentrasi yang lebih besar dibandingkan dengan musim kemarau (20--305,740 $\mu\text{g/L}$), hanya saja bila dibandingkan dengan D. Towuti kisaran ini masih jauh lebih rendah, demikian pula bila dibandingkan kisaran kandungan tertinggi ammoniak pada perairan danau di Indonesia (0-1450 $\mu\text{g/L}$). Konsentrasi ammonia tertinggi teramati pada 26 November 1995 di kedalaman 40 m, kemudian menurun sampai dengan kedalaman 50 m, setelah melewati kedalaman tersebut konsentrasi ammonia meningkat setelah mendekati dasar danau (337,10 $\mu\text{g/L}$) (Gambar 5.b). Pola seperti ini juga terjadi pada 6 Desember 1994 hanya saja konsentrasi ammonia cukup tinggi dijumpai pada kedalaman 30 m (172 $\mu\text{g/L}$) dan menurun sampai hanya 20 $\mu\text{g/L}$ pada kedalaman 40 m, kemudian meningkat dengan sangat tajam mencapai 332 $\mu\text{g/L}$ pada saat mendekati dasar danau. Pada 4 September 1995 atau musim kemarau rata-rata konsentrasi teramati paling rendah dibandingkan periode pengambilan contoh sebelum dan sesudahnya, meskipun begitu pola profil kedalamannya tetap relatif sama yaitu konsentrasi ammonia meningkat tajam begitu mendekati dasar danau (305,740 $\mu\text{g/L}$).

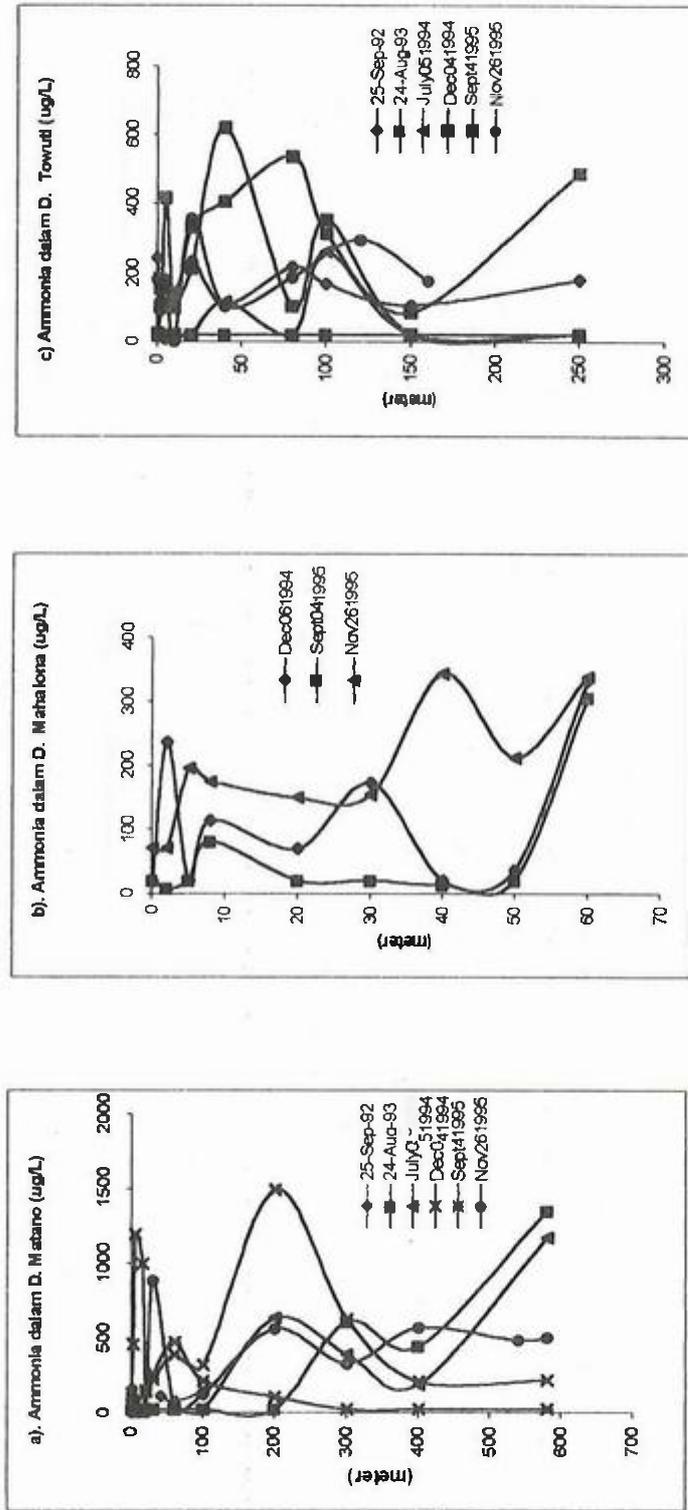
Musim kemarau (20--619,319 $\mu\text{g/L}$) danau Towuti memperlihatkan kisaran konsentrasi ammonia yang lebih tinggi dibandingkan pada musim penghujan (0,26--536 $\mu\text{g/L}$). Kisaran kandungan ammoniak pada D.Towuti memang sedikit lebih besar dibandingkan dengan D. Mahalona tetapi masih jauh dibawah kisaran amoniak untuk perairan danau di Indonesia. Pada kedalaman 80 m pada musim penghujan tampaknya patut untuk diamati lebih cermat karena pada kedalaman tersebut dijumpai 3 kali pengulangan pola yang sama (25 September 1992, 4 Desember 1994, 26 November 1995) yaitu selalu teramati konsentrasi ammonia yang tertinggi dibandingkan lapisan kolom air yang lain (Gambar 5.c). Hal ini berbeda dengan fenomena pada musim kemarau dimana konsentrasi ammonia tertinggi dijumpai tidak hanya pada 40m kedalaman (4 September 1994), tapi bervariasi yaitu pada 100 m sebesar 259,636 $\mu\text{g/L}$ (5 Juli 1994) dan 120m sebesar 295,29 $\mu\text{g/L}$ (26 November 1995). Pola profil kedalaman ammonia berkecenderungan untuk bertambah konsentrasinya dengan semakin mendekati dasar danau.

Total Fosfor (TP)

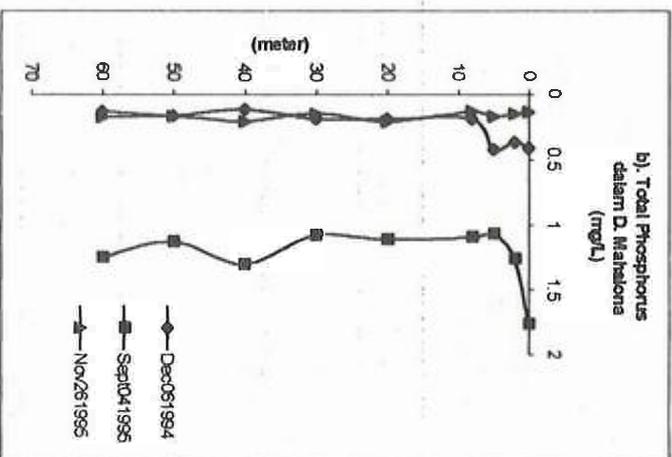
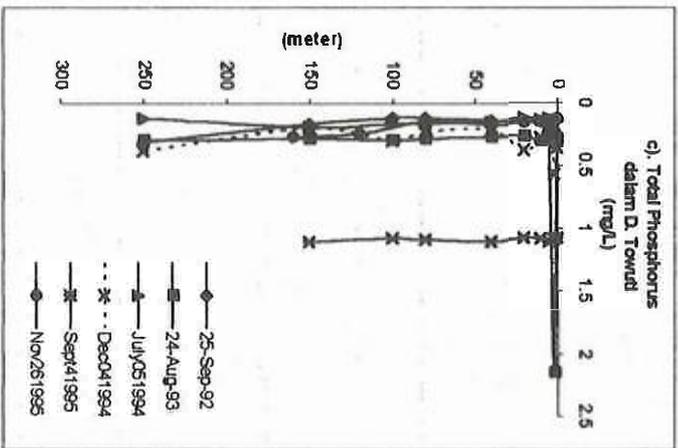
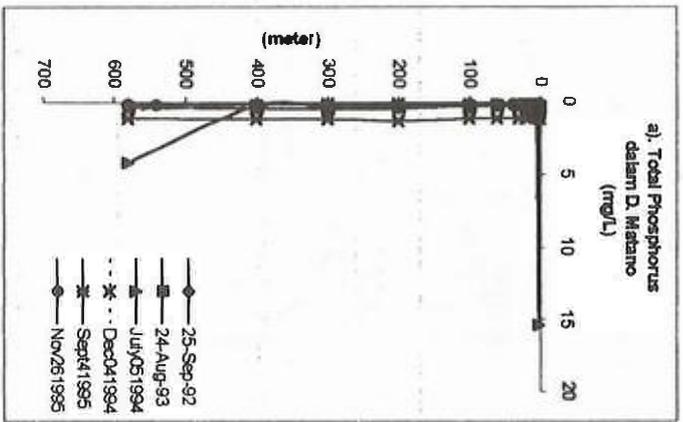
Biasanya kandungan TP dalam perairan danau alamiah selalu rendah bahkan tidak terdeteksi, juga tidak ada pula peningkatan kandungan TP bila semakin mendekati hypolimnion. Perairan danau di Indonesia memiliki kisaran kandungan TP 0-0,250 mg/L. Dalam penelitian ini, D. Matano menunjukkan kisaran kandungan TP tertinggi kemudian D. Towuti dan yang terendah di D. Mahalona dengan memperlihatkan pola dijumpainya kandungan TP tertinggi selalu dijumpai pada musim kemarau.

Danau Matano menunjukkan kisaran konsentrasi kandungan TP yang lebih tinggi di musim kemarau (0,269 -15,390 mg/L) dibandingkan musim penghujan (0,113-0,488 mg/L). Kisaran kandungan TP menunjukkan bahwa tertinggi (15,390 mg/L) dijumpai di kedalaman 2 m pada 5 Juli 1994 (Gambar 6.a). Kandungan tertinggi ini mencapai 26,6 kali dari rata-rata kandungan TP dalam periode pengambilan saat itu. Kecenderungan yang terlihat dimiliki D.Matano dari 6 kali pengamatan adalah bahwa TP relatif konstan dari permukaan sampai ke dasar danau kecuali pada 5 Juli 1994 dimana teramati TP di dasar danau mencapai 4,142 mg/L atau 20 kali dari konsentrasi pada kedalaman 400 m yang hanya 0,201 mg/L.

Danau Mahalona ternyata juga sama seperti kedua danau sebelumnya dimana kisaran konsentrasi TP dimusim kemarau (1,114-1,761 mg/L) lebih tinggi dibandingkan pada musim penghujan (0,13-0,408 mg/L). Pada 4 September 1995 ditemukan konsentrasi TP tertinggi pada permukaan danau (Gambar 6.b). kisaran konsentrasi tertinggi juga dijumpai pada periode pengambilan contoh 4 September 1995 bila dibandingkan dengan kelima periode lainnya. Juga bentuk profil kedalaman cenderung tampak berbentuk orthograde dimana nilai kandungan TP relatif konstan dari permukaan sampai ke dasar danau.



Gambar 5. Profil Vertikal Kandungan Ammonia pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c)
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)



Gambar 6. Profil Vertikal Kandungan Total Phosphorus pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c)
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)

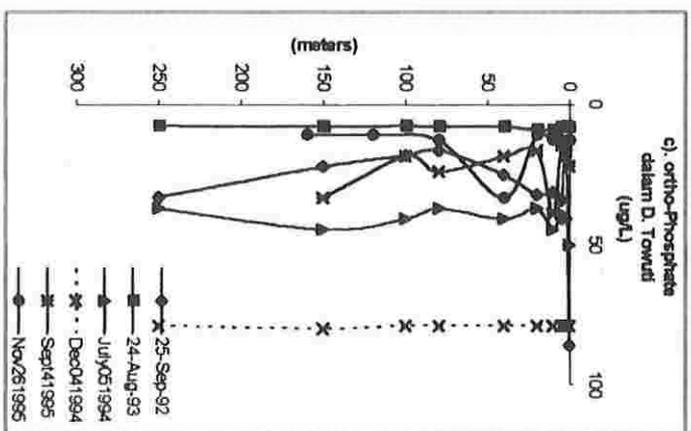
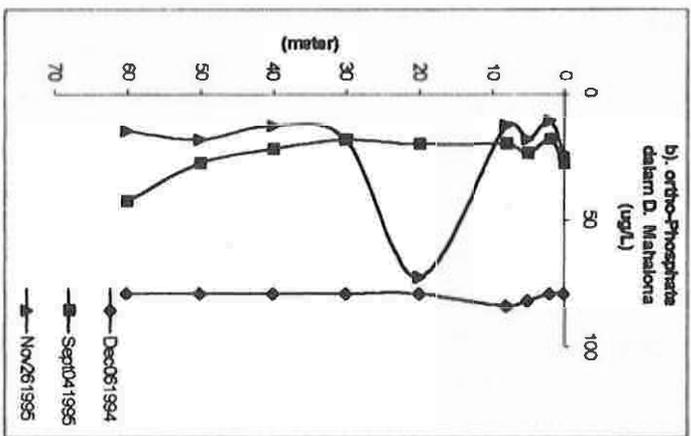
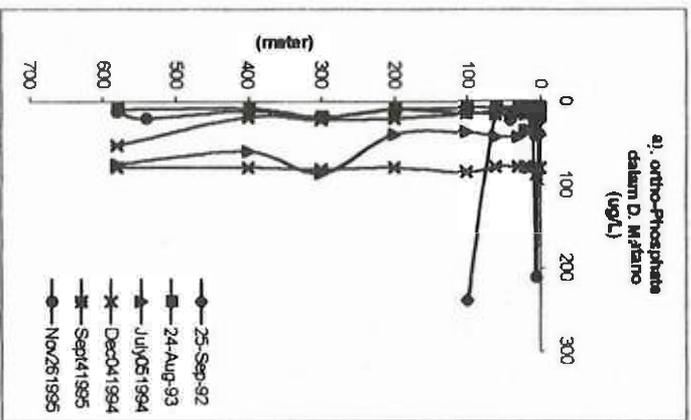
Sama halnya seperti D. Matano, di musim kemarau (0,116--2,146 mg/L) kisaran konsentrasi TP di perairan D. Towuti menunjukkan kisaran yang lebih tinggi daripada musim penghujan (0,110--0,378 mg/L). Pada 24 Agustus 1993 di kedalaman 2 meter dijumpai konsentrasi TP tertinggi (Gambar 6.c). Tetapi kisaran konsentrasi pada 4 September 1995 (1,076--1,103 mg/L) merupakan kisaran tertinggi dibanding dengan kelima periode pengambilan contoh lainnya. Bentuk profil kedalaman cenderung tampak berbentuk orthograde dimana nilai kandungan TP relatif konstan dari permukaan sampai ke dasar danau.

Ortho Fosfat (o-PO_4^{3+})

Kandungan ortho-fosfat di perairan danau alamiah seringkali tidak terdeteksi perbedaan vertikal, meskipun hypolimnia dalam kondisi anoksik sebagai contoh D. Ranau yang memiliki ortho-fosfat hypolimnetik mencapai 256 $\mu\text{g/L}$. Perairan danau di Indonesia memiliki kisaran 0--110 $\mu\text{g/L}$ (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Kebalikan dengan kandungan TP seperti yang tersebut diatas, ternyata dalam hal kandungan ortho fosfat D. Mahalona menunjukkan konsentrasinya yang tertinggi diikuti oleh D. Towuti kemudian yang terendah adalah D. Matano. Tampaknya bentuk senyawaan fosfor yang lain (antara lain polyfosfat, fosfat organik terlarut, dan lain-lain) mempunyai peranan dalam fenomena ini. Jadi dalam hal ini, kemungkinan besar di D. Matano bentuk senyawaan fosfor yang dominan bukanlah ortho fosfat tetapi bentuk senyawaan fosfor yang lain

Danau Matano menunjukkan kisaran konsentrasi ortho-fosfat di musim penghujan (8,846--238 $\mu\text{g/L}$) lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau (7,2--85,747 $\mu\text{g/L}$). Kandungan tertinggi o-PO_4^{3+} di danau ini masih dalam kisaran perairan danau di Indonesia yang mencapai 0-110 $\mu\text{g/L}$ (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Kandungan o-PO_4^{3+} tertinggi dijumpai pada musim penghujan tepatnya 25 September 1992 di kedalaman 100 m (Gambar 7.a). Kisaran konsentrasi o-PO_4^{3+} tertinggi juga terjadi pada musim penghujan 4 Desember 1994. Bentuk profil kedalaman cenderung tampak sedikit bergeser ke kanan (konsentrasi PO_4^{3+} bertambah) dari permukaan sampai ke dasar danau kecuali 4 Desember 1994 dan 26 November 1995.

Danau Mahalona dalam hal kandungan o-PO_4^{3+} menampakkan kemiripan dengan Danau Matano yaitu kisaran konsentrasi di musim penghujan (10,721--84 $\mu\text{g/L}$) yang lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau (18,224--42,608 $\mu\text{g/L}$). Kandungan tertinggi o-PO_4^{3+} di danau ini masih dalam kisaran perairan danau di Indonesia yang mencapai 0-110 $\mu\text{g/L}$ (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Konsentrasi tertinggi (84 $\mu\text{g/L}$) dijumpai pada 6 Desember 1994 di kedalaman kolom air 8 m, dan pada periode pengukuran ini kisaran konsentrasi o-PO_4^{3+} cenderung lebih tinggi dibandingkan pada periode lain. Tetapi pada 26 November 1995 terjadi hal yang unik pada kedalaman 20 m, yang mana konsentrasi tertinggi dalam periode ini mencapai 72,618 $\mu\text{g/L}$.



Gambar 7. Profil Vertikal Kandungan ortho-Phosphate pada D. Matano (a), Danau Mahalona (b), dan Danau Towuti (c)
 Keterangan : musim kemarau (24 Agustus 1993, 5 Juli 1994, dan 4 September 1995) dan musim penghujan (25 September 1992, 4 Desember 1994, dan 26 November 1995)

Kisaran konsentrasi o-PO_4^{3+} musim kemarau (7,72-44,483 $\mu\text{g/L}$) di D. Towuti lebih tinggi dibandingkan pada musim penghujan (10,721-86 $\mu\text{g/L}$). Kandungan tertinggi o-PO_4^{3+} di danau ini masih dalam kisaran perairan danau di Indonesia yang mencapai 0-110 $\mu\text{g/L}$ (Lehmusluoto & Machbub, 1995). Konsentrasi ortofosfat tertinggi dijumpai pada 5 Juli 1994 pada kedalaman 10 m (44,483 $\mu\text{g/L}$) (Gambar 7.c). Kisaran konsentrasi ortho fosfat tertinggi muncul pada 4 Desember 1994. Bentuk profil kedalaman menunjukkan bahwa konsentrasi o-PO_4^{3+} cenderung untuk relatif berkurang dengan semakin mendekati dasar danau kecuali pada 24 Agustus 1993 dan 26 Nofember 1995. Sementara itu 4 Desember 1994 menampakkan kecenderungan konsentrasi o-PO_4^{3+} yang relatif konstan dari permukaan sampai ke dasar danau.

Kondisi senyawaan N dan P di tiga danau oligotrofik danau-danau Maili serta hasil kesimpulan dari beberapa penelitian sebelumnya masih dalam kondisi bagus. Perkembangan kawasan ini dimasa mendatang dapat dipastikan akan mengubah pula kondisi lingkungan ketiga danau ini, terutama dengan adanya aktivitas penambangan nikel sekitar D. Matano (dengan *altitude* tertinggi diantara ketiga danau) dan pertanian di sekitar D. Towuti. Penanganan sumberdaya perairan dan lingkungannya yang lebih cermat dan lebih hati-hati berdasarkan aspek ilmu pengetahuan yang tepat sangatlah patut untuk dilaksanakan di kawasan ini, agar tujuan dari pemanfaatan sumberdaya perairan dan pendukungnya bisa terlaksana secara berkesinambungan. Akan halnya kondisi danau oligotrofik ini di masa mendatang, sangatlah menarik untuk dipelajari lebih lanjut, mengingat status trofik danau bisa mengalami perkembangan dapat berubah ke arah mesotrofik maupun sebaiknya bisa pula berubah ke arah distrofik. Bagaimanapun perubahan status ini dapat berdampak terhadap organisme yang berada di dalamnya disekitarnya, termasuk kita, manusia.

KESIMPULAN

Hasil telaah dalam rentang waktu 1992--1995 ini memperlihatkan bahwa kisaran tertinggi berturut-turut, total nitrogen (0,935—18,703 mg/L) dan orto-fosfat (10,721—18,224 $\mu\text{g/L}$) terdapat di D. Mahalona, nitrat (0,012—5,324 mg/L), nitrit (0—225,710 $\mu\text{g/L}$), amonia (0,260—1,492 $\mu\text{g/L}$) dan total fosfor (0,269—15,390 mg/L), terdapat di D. Matano. Musim kemarau memunculkan rata-rata kisaran tertinggi total nitrogen di D. Matano (0,014—11,121 mg/L) dan D. Towuti (0,17—17,734 mg/L), total fosfor (berturut turut di D. Matano, D. Towuti dan D. Mahalona), 0,269—15,390 mg/L, 0,116—2,146 mg/L dan 1,114—1,761 mg/L, nitrat 0,012—5,325 mg/L, 0,012—3,522 mg/L, 0,019—1,212 mg/L dan nitrit 0—225,71 $\mu\text{g/L}$, 0—7,938 $\mu\text{g/L}$, 6,218—14,086 $\mu\text{g/L}$, amonia 20—619,32 $\mu\text{g/L}$ dan ortofosfat 7,72—44,48 $\mu\text{g/L}$ (hanya di D Towuti) Musim penghujan memunculkan kisaran konsentrasi tertinggi TN (0,935—18,703 mg/L) di D. Mahalona, ammonia teramati di D. Mahalona (20--342 $\mu\text{g/L}$) dan D. Matano (0,260--1492 $\mu\text{g/L}$) dan ortho fosfat di D. Mahalona (10,721--84 $\mu\text{g/L}$) dan D. Matano (8,846--238 $\mu\text{g/L}$). Distribusi tegak senyawaan nitrogen dan

fosfor menunjukkan pola yang sangat menarik yang menggambarkan perubahan kondisi lingkungan pada masing-masing danau.

Hasil pengamatan ini merupakan rekaman sebagian kondisi limnologis ketiga danau oligotrofik (Danau-danau Malili) yang dilaporkan masih dalam kondisi bagus oleh beberapa peneliti pada kurun waktu tersebut. Perubahan tata guna lahan pada *watershed* -nya akan mengakibatkan pula perubahan pada status trofik kompleks danau ini. Status trofik rangkaian danau ini, bisa mengalami perubahan baik ke arah eutrofik atau ke distrofik. Maka dari itu diperlukan suatu perangkat aturan dalam penanganan sumberdaya perairan dan lingkungannya yang lebih cermat dan lebih hati-hati dengan berdasarkan aspek ilmu pengetahuan yang tepat sangatlah patut untuk dilaksanakan di kawasan ini, agar tujuan dari pemanfaatan sumberdaya perairan dan penduduknya bisa terlaksana secara berkesinambungan. Penelitian mengenai karakter limnologis perlu untuk dilaksanakan secara lebih intensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Awalina. 1997. Lake Water Quality Management of L.Matano, Indonesia. Conservation by limnological approach. Final Report. 7th Group training course in lake water quality management. Osaka International Center, Japan International Cooperation agency (OSIC/JICA) and International lake Environment Committee (ILEC). 91-108
- Bemmelen, R.W., van, 1949. The geology of Indonesia. Vol.IA. General geology of Indonesia and adjacent archipelagoes. The east indies, inclusive of British part of Borneo, the Malay Peninsula, the Phillipine Islands, Eastern New Guinea, Christmast Island, and the Andaman- and Nicobar Islands. Government printing Office, The Hague: 1-737
- Hutchinson, G.E. 1962. A treatise on Limnology. Vol.1. Geography, physics, and Chemistry. John wiley and Sons, Inc. New York. 1015 pp
- Jorgensen, S.E. & R.A. vollenweider (Eds.). 1989. Guidelines of lakes management. Vol.1. Principles of lakes management. International lake Environment Committee (ILEC) and United nations environment Programme (UNEP). 1-195.
- Hehanussa, P.E. 1994. Sedimentasi klastik pada tepi barat Danau Matano, Sulawesi Selatan. Disajikan dalam Ekspose Puslitbang Limnologi-LIPI 1994-1995. Bogor
- Hartoto & Awalina. 1996. Some limnological physicochemistry characters of L.Matano-Towuti as the set points for their conservation management. Laporan teknis litbang limnoteknologi pengelolaan danau 1995/1996. Puslitbang Limnologi-LIPI. 1996.
- Lehmusjuoto, P. 1995. Research project of the major Indonesian lakes and reservoirs. A limnological study in 1991-1994. progress report with main results and suggested further action. Expedition indodanau, Helsinki
- Sarnita, A. 1974. beberapa Aspek limnologi tentang danau Towuti, danau Matano, dan danau Mahalona, (Sulawesi Selatan). Lembaga Penelitian perikanan darat., Bogor, 27-21 pp.
- Whitten, A.J., Mustafa, M. Henderson, G. 1987. The ecology of Sulawesi:777pp. Gajah mada University Press, Yogyakarta
- Wibowo, H. 1996. Pulau Sulawesi. koleksi pribadi
- Wetzel, R.G & Gopal, B (Eds.). 1999. Limnology in developing countries. Vol.2. International Association of theoretical and Applied limnology. New Delhi International Scientific Publications. 330 pp.
- Wetzel, R.G., 2000. Limnology lake and river ecosystem. Third edition. Academic Press. San Diego, San Fransisko, New York, Boston, London, Sydney, Tokyo, 1006pp.