

ANALISIS KANDUNGAN NITROGEN, FOSFOR DAN KARBON ORGANIK DI DANAU SENTANI - PAPUA

(Analysis of Nitrogen, Phosphor and Organic Carbon Content at Lake Sentani-Papua)

Ervina Indrayani^{1,2,*}, Kamiso Handoyo Nitimulyo³, Suwarno Hadisusanto⁴ dan Rustadi³

¹ Program Doktor Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281.

² Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih, Jl. Kampus Baru UNCEN Wamena, Jayapura 99358.

³ Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281.

⁴ Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Sekip Utara, Yogyakarta 55281.

*Penulis Korespondensi. Telp. 081344521369. Email : ervina_indrayani@yahoo.com.

Diterima: 10 Februari 2015

Disetujui: 17 Maret 2015

Abstrak

Kajian mengenai analisis kandungan nitrogen (N), fosfor (P) dan karbon organik (KO) telah dilakukan di Danau Sentani, Papua. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kandungan ketiga unsur tersebut di perairan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei berstrata (*stratified sampling method*) sesuai dengan tujuan (*purposive*). Metode pengukuran dan pengambilan sampel menggunakan teknik *Composit Sampling*. Area penelitian dibagi atas 4 zona yaitu *inlet*, KJA, tengah danau dan *outlet*. Analisis data menggunakan Program Microsoft Excel 2007 dan Analisis Varians (ANOVA) pada taraf kepercayaan 90%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio N:P perairan danau adalah 10,248 mg/L/bln di *inlet*; 2,417 mg/L/bln di KJA; 0,683 mg/L/bln di tengah danau dan 8,351 mg/L/bln di *outlet*. Sementara itu, rasio C:N adalah 15,008 mg/L/bln di *inlet*; 47,647 mg/L/bln di KJA; 90,884 mg/L/bln di tengah danau dan 6,777 mg/L/bln di *outlet*.

Kata kunci: *nitrogen, phosphor, organic carbon, pollution control, waste, Lake Sentani.*

Abstract

Study on the analysis of nitrogen (N), phosphorus (P) and organic carbon (OC) content has been conducted at the Lake Sentani, Papua. This research aims to study the content of the three elements in the waters. This study using stratified sampling method in accordance with the purpose. Methods of measurement and sampling using Composite Sampling. Study area was divided into four zones, namely the inlet, netcage culture, the middle of the lake and outlet. Data analysis using Microsoft Excel 2007 program and Analysis of Variance (ANOVA) at 90% confidence level. The results showed that the N:P ratio in the water are 10, 248 mg/L/month in the inlet; 2.417 mg/L/month in the netcage culture area; 0.683 mg/L/month in the middle of the lake and 8.351 mg/L/month at the outlet. Meanwhile, C:N ratio are 15.008 mg/L/month in the inlet; 47.647 mg/L/month in netcage culture; 90.884 mg/L/month in the middle of the lake and 6.777 mg/L/month at the outlet.

Keywords: *nitrogen, fosfor, karbon organik, pengendalian pencemaran, limbah, Danau Sentani.*

PENDAHULUAN

Horne dan Goldman (1994) menerangkan bahwa danau merupakan jenis perairan tergenang dengan karakteristik yang khas. Brower dan Zar (1977) menyatakan bahwa keberadaan tumbuhan air tingkat tinggi sangat penting dalam mempengaruhi kondisi perairan danau. Luas danau di Indonesia sekitar 530 km², terdiri atas 65 buah danau alami dan 160 buah danau buatan atau waduk (Kamiso, 2003).

Danau memiliki struktur yang berbeda dan khas ditentukan oleh bentuk basin, cekungan, sifat fisik, kimia, dan interaksi biologis. Faktor-faktor tersebut menggambarkan banyak fitur penting dari

danau itu sendiri (Horne dan Goldman, 1994). Morfometri danau mengacu pada bentuk cekungan bawah air. Struktur fisik danau ditentukan oleh distribusi cahaya, panas, gelombang, arus dan variasi musiman. Struktur kimia merupakan hasil dari penyebaran senyawa seperti nutrisi dan oksigen terlarut. Sementara interaksi biologis berhubungan erat dengan interaksi organisme di dalam perairan, baik dengan faktor kimia atau di antara organisme.

Unsur penting di perairan yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi perairan adalah nitrogen, fosfat dan karbon (Boyd, 1979; Hartoto dkk., 1998) karena berperan penting dalam pembentukan komposisi dan biomassa fitoplankton yang akan

menentukan produktivitas primer perairan (Horne dan Goldman, 1994; Krebs, 2009). Selain itu, ketiga unsur ini saling berhubungan untuk menentukan tingkat kesuburan perairan. Rasio C:N:P fitoplankton dipengaruhi pH perairan, dengan nilai variasi rasio C:N = 4 sampai dengan 20 dan rasio C:P = 100 sampai dengan 5500. Sementara, rasio N:P > 12 (P sebagai faktor pembatas), N:P < 7 (N sebagai faktor pembatas) dan $7 < N:P < 12$ (N dan P tidak bertindak sebagai faktor pembatas). Selanjutnya, rasio C:N:P mempengaruhi jaring-jaring makanan dalam perairan, sehingga nilainya berbeda pada tanaman, bakteri, zooplankton dan ikan.

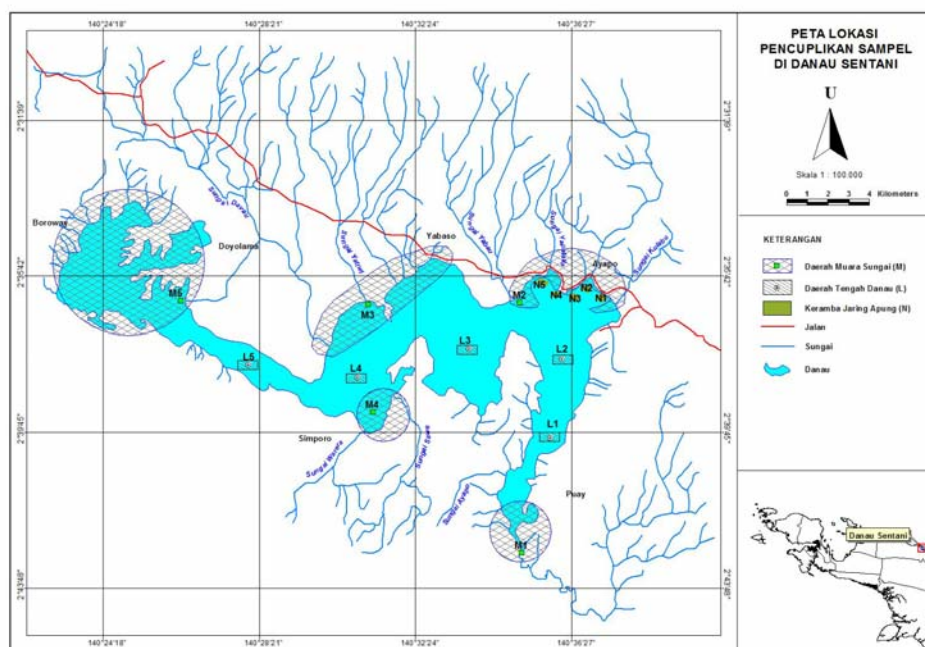
Ketiga unsur tersebut tersedia dalam bentuk senyawa dan memiliki proses yang terpisah serta sangat bergantung pada keberadaannya yang terlarut dalam air. Nitrogen sebagai bahan dasar pembuat protein diambil oleh tumbuhan air dalam bentuk amonia atau nitrat (Hartoto dkk., 1998). Boyd (1979) menyebutkan bahwa kadar nitrat yang baik untuk perairan adalah 2–5 mg/L. Perbandingan fosfor terhadap biomassa jauh lebih bervariasi daripada perbandingan karbon atau nitrogen terhadap biomassa organisme perairan, sehingga fosfor merupakan faktor pembatas pada ekosistem danau (Horne dan Goldman, 1994). Hadisusanto (2006) menyebutkan bahwa kandungan karbon organik (KO) berhubungan dengan pergerakan materi organik di dasar perairan, dengan kisaran 1–30 ppm di perairan alami. Kandungan karbon organik dalam sedimen berhubungan erat dengan partikel terlarut, kandungan nitrat dan fosfor di perairan (Indrayani dan Hadisusanto, 2009).

Danau Sentani terletak di Kabupaten Jayapura, pada posisi $2^{\circ}33' - 2^{\circ}41'$ LS dan $140^{\circ}23' - 140^{\circ}38'$ BT. Danau ini terletak pada ketinggian 70 – 90 m dpl dengan luas 9.360 Ha. Berdasarkan tipologinya, Danau Sentani merupakan tipe danau *Landslide* yaitu perairan tergenang yang terbentuk akibat pergeseran lahan yang membentuk basin, sehingga terbentuk tipe danau yang curam dan dikelilingi oleh bukit-bukit kecil yang terjal dan berlekuk-lekuk seperti teluk. Danau Sentani memiliki beberapa fungsi dan manfaat yaitu di sektor perikanan budidaya dan perikanan tangkap, sebagai sumber air irigasi, untuk keperluan transportasi masyarakat dan di sektor pariwisata (Anonim, 2008). Dengan fungsinya yang sangat beragam maka masukan unsur nitrogen, fosfor dan karbon dalam perairan juga tinggi. Hal ini tentunya akan sangat berpengaruh terhadap tingkat kesuburan perairan. Berdasarkan uraian tersebut, perlu dilakukan kajian mengenai kandungan nitrogen (N), fosfor (P) dan karbon organik (KO) di perairan Danau Sentani, Papua.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Bahan penelitian adalah nitrogen, fosfor dan karbon organik dalam air danau. Penelitian dilakukan di Danau Sentani ($2^{\circ}33' - 2^{\circ}41'$ LS dan $140^{\circ}23' - 140^{\circ}38'$ BT), Kabupaten Jayapura, Provinsi Papua (Gambar 1). Waktu pengambilan sampel selama 12 bulan, dengan jarak pengambilan sampel satu kali setiap dua bulan. Stasiun



Gambar 1. Peta lokasi pencuplikan sampel di Danau Sentani

pengamatan digolongkan atas empat zona, yaitu *outlet* (M1); muara sungai (*inlet* : M2, M3, M4, M5), tengah danau (L1, L2, L3, L4, L5), dan keramba jaring apung (KJA) (N1, N2, N3, N4, N5). Masing-masing stasiun pencuplikan terdiri atas 3 titik pencuplikan dengan jeluk 0 m; 0,5 m; 1 m; 2 m dan 3 m; serta 50 cm–2 m di atas dasar perairan.

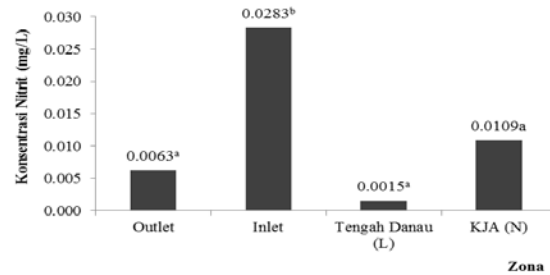
Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode survei berstrata (*stratified sampling method*) sesuai dengan tujuan (*purposive*) (Cochran, 1977; Singarimbun dan Effendi, 1989). Metode pengukuran dan pengambilan sampel menggunakan teknik *Composit Sampling* (Brower, dkk. 1990). Pengukuran sampel air dilakukan di Laboratorium Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas MIPA, Universitas Cenderawasih dan Laboratorium Intertek Utama Service Jakarta. Penetapan nitrat diukur dengan cara spektrofotometri, penetapan fosfat ditentukan dengan teknik kalorimetrik dengan pewarnaan biru molibden pada panjang gelombang 693 nm, dan penetapan karbon organik dilakukan dengan *Non-Dispersive Infra Red – Supercritical Water Oxidation* (NDIR-SCWO). Analisis sedimen dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas MIPA, Universitas Cenderawasih. Pengukuran N-total, ditetapkan dengan cara spektrofotometri menggunakan metode pembangkit warna indofenol biru, pengukuran P-total, dilakukan dengan Metode Bray I, dan penetapan C–Organik dengan Metode Walkley dan Black, dengan nilai kebenaran 77% (Anonim, 2005). Data dianalisis dengan Program Microsoft Excel 2007 dan Analisis Varians (ANOVA) pada taraf kepercayaan 90%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nitrit (NO_2^-) dan Nitrat (NO_3^-)

Senyawa nitrogen di perairan secara alami berasal dari metabolisme organisme perairan dan dekomposisi bahan-bahan organik oleh bakteri (Boyd, 1979). Nitrogen merupakan bahan dasar penyusun protein yang diserap oleh tumbuhan air dalam bentuk amonia atau nitrat. Ketersediaan nitrogen mempengaruhi variasi spesies, kelimpahan serta kandungan nutrisi hewan dan tumbuhan akuatik (Horne dan Goldman, 1994). Nitrogen dalam bentuk nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) merupakan salah satu parameter kesuburan. Keduanya berpengaruh pada nutrisi yang berperan dalam pembentukan biomassa organisme perairan, juga merupakan pembentuk komposisi dan biomassa fitoplankton sebagai produsen perairan



Gambar 2. Konsentrasi nitrit di tiap zona.

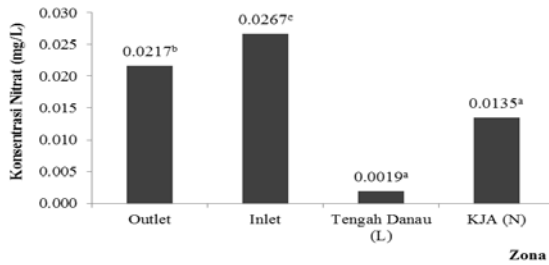
(Krebs, 2009) yang akan menentukan produktivitas primer perairan.

Konsentrasi nitrit sangat rendah (Gambar 2), baik di *inlet*, KJA, tengah danau maupun *outlet*. Konsentrasi nitrit di *inlet* berkisar antara 0,001–0,095 mg/L, tengah danau 0,001–0,002 mg/L, KJA antara 0,001–0,0095 mg/L dan 0,001–0,018 di *outlet*. Analisis varians menunjukkan bahwa konsentrasi nitrit di zona *inlet* berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan zona KJA, tengah danau dan *outlet*. Sementara konsentrasi nitrit di zona KJA, tengah danau dan *outlet* tidak berbeda nyata.

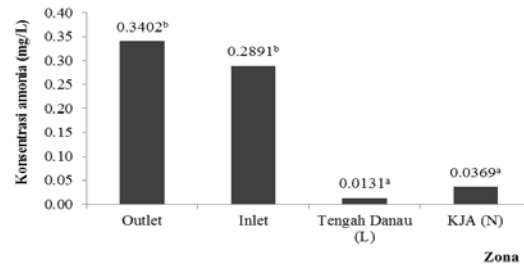
Konsentrasi nitrit yang cenderung menurun ke arah tengah danau, KJA dan outlet menunjukkan masa tinggal air dalam danau yang tinggi karena letak *outlet* yang jauh dari daerah *inlet*. Pada perairan, konsentrasi nitrit dijumpai dalam konsentrasi yang lebih rendah dari konsentrasi nitrat. Hal ini disebabkan karena bentuk senyawa nitrit yang bersifat tidak stabil dan akan segera teroksidasi jika kandungan oksigen terlarut mencukupi. Kandungan oksigen terlarut di daerah *inlet* mempengaruhi oksidasi nitrit menjadi nitrat.

Konsentrasi nitrit cenderung meningkat seiring dengan menurunnya curah hujan bulanan. Konsentrasi nitrit paling tinggi di zona inlet dengan nilai rata-rata $0,0283 \pm 0,029$. Hal ini berhubungan dengan kondisi aliran sungai yang dekat dengan aktivitas penduduk. Selain itu, kerusakan daerah sempadan danau juga berpengaruh pada nilai nitrit yang masuk ke perairan. Terjadi lonjakan konsentrasi nitrit pada zona KJA di bulan September 2012. Hal ini berhubungan erat dengan peningkatan curah hujan dan pakan ikan yang lepas ke perairan.

Sama halnya dengan nitrit, konsentrasi nitrat (NO_3^-) sangat rendah, baik di *inlet*, KJA, tengah danau maupun *outlet* (Gambar 3). Konsentrasi nitrit di *inlet* berkisar antara 0,006–0,096 mg/L, tengah danau 0,001–0,004 mg/L, KJA antara 0,001–0,11 mg/L dan *outlet* sebesar 0,006–0,031 mg/L. Analisis varians menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat di *inlet* berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan konsentrasi amonia di outlet, KJA dan tengah danau. Pada sisi lain, konsentrasi nitrat di *outlet*



Gambar 3. Konsentrasi nitrat di tiap zona



Gambar 4. Konsentrasi amonia di tiap zona.

berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan konsentrasi amonia di tengah danau dan KJA.

Konsentrasi nitrat tertinggi adalah di daerah *inlet*, yang dipengaruhi oleh masukan dari DAS dan aktivitas masyarakat di sekitarnya. Selain itu, pembangunan jalan nasional kabupaten menambah tingkat nitrat yang masuk dalam perairan danau. buangan limbah KJA. Clarck dkk. (1985) menyebutkan bahwa tiap kilogram ikan peliharaan akan menghasilkan nitrat sebesar 0,13–0,21 g/hari. Proses dekomposisi protein (proteolisis) dilakukan oleh bakteri atau fungi dengan reaksi enzimatik berlangsung pada suhu optimal 30–35 °C. selama 2–5 hari. Senyawa nitrat sebagai hasil oksidasi mikroba merupakan senyawa bersifat sangat reaktif dan mudah terlarut dalam air sehingga dapat langsung digunakan dalam proses biologis organisme. Kondisi nitrat di sekitar KJA cukup rendah diduga karena pemanfaatannya sebagai pakan alami fitoplankton dan ikan di luar jaring KJA. Boyd (1979) menyebutkan bahwa kadar nitrat yang baik untuk perairan adalah 2–5 mg/L.

Konsentrasi nitrat mencapai puncaknya di zona *inlet* pada bulan Juli 2012 dengan nilai 0,193 mg/L pada saat curah hujan sangat rendah (Gambar 20). Hal ini sesuai dengan pernyataan Laznik dkk. (1999) bahwa kandungan bahan pencemar tinggi saat musim kemarau. Konsentrasi nitrat di zona tengah danau dan outlet sangat rendah berhubungan dengan luas permukaan danau dan letaknya yang jauh dari inlet dan zona budidaya ikan intensif.

Amonia (NH₃)

Amonia merupakan salah satu jenis senyawa yang mudah larut dalam air dan turut mempengaruhi tingkat kesuburan perairan (Horne dan Goldman, 1994). Konsentrasi amonia paling tinggi di zona *outlet* dengan rata-rata 0,34 mg/L/bulan, diikuti zona *inlet* sebesar 0,29 mg/L/bulan, zona KJA sebesar 0,037 mg/L/bulan dan zona tengah danau sebesar 0,013 mg/L/bulan. Konsentrasi amonia paling tinggi pada bulan Juli 2012 dengan curah hujan paling rendah. Analisis varians menunjukkan bahwa rerata konsentrasi

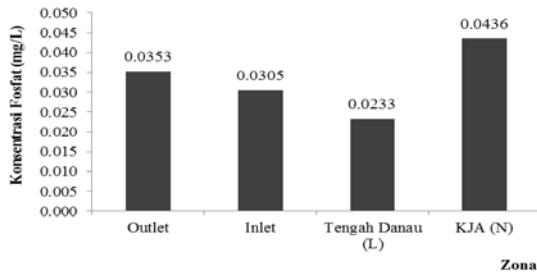
amonia di *outlet* dan *inlet* berbeda nyata dengan amonia di tengah danau dan KJA ($P < 0,05$) (Gambar 4).

Konsentrasi amonia di perairan danau dalam setahun adalah 0,68 mg/L. Hal ini lebih tinggi dibandingkan nilai baku mutu lingkungan. Amonia mudah terakumulasi dalam sistem perairan karena merupakan produk sampingan alami metabolisme ikan. Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi amonia di KJA lebih dipengaruhi oleh hasil metabolisme sampingan ikan budidaya sehingga nilainya relatif konstan setiap bulan. Pujiastuti dkk. (2013) menjelaskan bahwa amonia berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba dan jamur, dekomposisi limbah oleh mikroba pada kondisi anaerobik serta limbah domestik.

Chao dkk. (2007) menjelaskan bahwa untuk danau-danau dengan kolom air yang dalam maka, konsentrasi amonia dan nitrat sangat rendah berhubungan dengan pelepasan nutrient inorganik dan anorganik dari sedimen ke kolom air. Hal ini sama dengan hasil yang diperoleh di Danau Sentani. Tingginya konsentrasi amonia di zona inlet dan outlet menunjukkan bahwa input nutrient dalam kolom air sangat besar dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat yang mendiami wilayah sempadan danau.

Fosfat (PO₄)

Senyawa fosfat merupakan salah satu faktor pembatas kesuburan perairan yang berhubungan erat dengan komposisi fitoplankton (Reynolds dkk., 2001; Jonhson dan Gage, 1997). Meningkatnya senyawa fosfat dipengaruhi oleh asupan nutrien dari daerah tangkapan air, aktivitas penduduk sekitar danau dan kegiatan perikanan. Hasil analisis varians menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat di KJA berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan konsentrasi fosfat di tengah danau, *inlet* dan *outlet*. Rerata fosfat paling tinggi berturut-turut adalah di KJA (0,0436±0,0609), *outlet* (0,0353±0,0129), *inlet* (0,0305±0,0129), dan zona tengah danau (0,0233±0,0036) (Gambar 5).



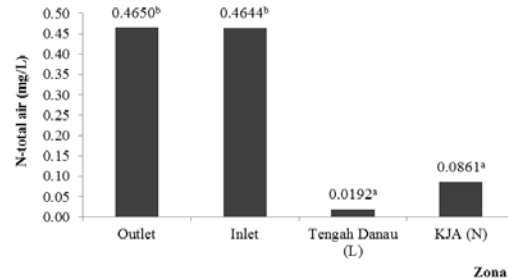
Gambar 5. Konsentrasi fosfat di tiap zona.

Konsentrasi fosfat cenderung naik dengan menurunnya curah hujan di bulan Mei dan Juli serta terus menurun di bulan September sampai Januari saat curah hujan tinggi (Gambar 5). Konsentrasi fosfat paling tinggi adalah di zona KJA sebesar 0,218 mg/L, diikuti zona inlet sebesar 0,122 mg/L, zona tengah danau 0,12 mg/L dan zona outlet sebesar 0,0353 mg/L. Lonjakan fosfat di zona KJA terjadi pada bulan Juli 2012. Konsentrasi fosfat di perairan dipengaruhi oleh curah hujan (Boge dkk., 2006). Sementara, fosfat dalam kolom air dipengaruhi oleh limpasan fosfat dari sedimen dalam bentuk fosfat organik (Olila dan Reddy, 1997). Lonjakan fosfat di zona KJA pada bulan September menunjukkan bahwa curah hujan yang tinggi dan didukung oleh dekomposisi yang terjadi di sedimen meningkatkan konsentrasi fosfat.

Konsentrasi fosfat dalam setahun di perairan danau adalah 0,133 mg/L. Kondisi ini masih berada di bawah nilai maksimal baku mutu lingkungan untuk kriteria mutu air kelas II (Anonim, 2001). Penelitian yang dilakukan di Waduk Gajah Mungkur oleh Pujiastuti dkk. (2013) menghasilkan nilai fosfat dengan kisaran 0,06 – 0,37 mg/L. Tingginya konsentrasi senyawa fosfat dipengaruhi oleh asupan nutrisi dari daerah tangkapan air, aktivitas penduduk sekitar danau dan kegiatan perikanan budidaya. Hal ini sesuai pernyataan menyebabkan senyawa fosfat digunakan sebagai faktor pembatas kesuburan perairan yang berhubungan erat dengan komposisi fitoplankton (Reynolds dkk., 2001; Ramm dan Scheps, 1997).

Konsentrasi N-total dan P-total dalam air

Rerata konsentrasi N-total paling tinggi berturut-turut adalah di *outlet* (0,465 mg/L/bulan), *inlet* (0,465 mg/L/bulan), KJA (0,086 mg/L/bulan) dan tengah danau (0,019 mg/L/bulan). Kandungan N-total tertinggi adalah pada *inlet* (0,681 mg/L) dan paling rendah di tengah danau (0,015 mg/L), keduanya di bulan Juli 2012. Curah hujan yang rendah menyebabkan limpasan nutrisi yang rendah dari daerah *inlet* ke arah tengah danau. Temperatur perairan mempengaruhi konsentrasi N-total. Hal ini



Gambar 6. Konsentrasi N-total air di tiap zona.

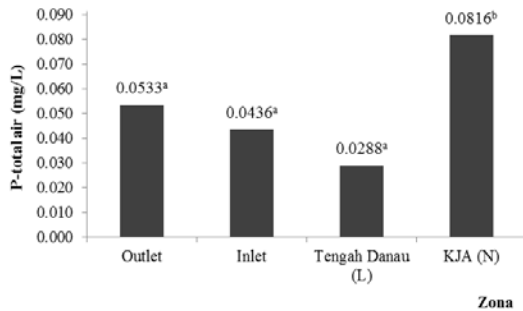
berkaitan dengan kebutuhan oksigen organisme memanfaatkan oksigen untuk proses dekomposisi.

Rerata konsentrasi N-total air paling tinggi adalah di *outlet* (0,465±0,2124), diikuti *inlet* (0,4644±0,231), KJA (0,0861±0,084) dan tengah danau (0,0192±0,0026). Sementara, kandungan N-total air di *outlet* dan *inlet* berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan kandungan N-total air di KJA dan tengah danau. Tetapi, tidak berbeda nyata antara *outlet* dan *inlet*, sama halnya konsentrasi N-total di KJA tidak berbeda nyata dengan tengah danau (Gambar 6). Lovett dkk. (2000) menyebutkan bahwa temperatur perairan mempengaruhi konsentrasi N-total. Hal ini berkaitan dengan kebutuhan oksigen organisme memanfaatkan oksigen untuk proses dekomposisi.

Kandungan P-total dalam kolom air sangat dipengaruhi oleh partikel yang berasal dari daratan yang masuk ke perairan akibat erosi dan aktivitas manusia, input nutrisi atmosfer dan pH (Goldman dan Horne, 1994; Kopacek dkk., 1995). Fosfor memainkan peran utama dalam metabolisme biologis karena merupakan unsur penting pembentukan protein dan membantu metabolisme sel. Dengan demikian, fosfor menjadi faktor pembatas komposisi fitoplankton perairan sebagai produsen. Konsentrasi fosfor menunjukkan tingkat kesuburan perairan yaitu rendah (0–0,2 mg/L), cukup (0,021–0,05 mg/L), baik (0,051–0,1 mg/L) dan sangat baik (> 0,101 mg/L). Dengan demikian, kesuburan pada masing-masing zona berturut-turut adalah kategori cukup di *inlet* (0,044 mg/L/bulan) dan tengah danau (0,029 mg/L/bulan) serta kategori baik di KJA (0,082 mg/L/bulan) dan *outlet* (0,053 mg/L/bulan).

Analisis varians menunjukkan bahwa konsentrasi P-total air di KJA berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan konsentrasi P-total air di *inlet*, tengah danau dan *outlet*. Sementara, konsentrasi N-total di *inlet*, tengah danau dan *outlet* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan (Gambar 7).

Rasio N:P air di *inlet* adalah 10,248; KJA sebesar 2,417, tengah danau adalah 0,683 dan *outlet* sebesar 8,351. Hadisusanto (2006) menerangkan bahwa rasio N:P air > rasio N:P sedimen, hal ini



Gambar 7. Konsentrasi P-total air di tiap zona per bulan.

sama dengan hasil pencuplikan di Danau Sentani. Rasio TN:TP berhubungan erat dengan status trofik perairan (Kopacek dkk., 1995), berkisar antara 0,5 sampai dengan 240. Rasio TN:TP yang rendah menunjukkan kondisi eutrofik atau terjadi karena adanya pemanfaatan oleh organisme perairan. Rasio N:P juga berhubungan dengan deposisi N atmosfer di daerah tangkapan air dan pH.

Nitrogen dan fosfor di perairan tawar berperan pada peningkatan biomassa fitoplankton, perubahan komunitas fitoplankton, komunitas alga benthik, perubahan komposisi dan biomassa organisme makrofita, pengurangan transparansi air, mempengaruhi rasa dan aroma air, meningkatkan oksigen terlarut, peningkatan frekuensi kematian ikan, penurunan populasi ikan konsumsi, penurunan produksi hasil panen ikan, dan pengurangan nilai estetika perairan.

Konsentrasi nitrogen dan fosfor merupakan faktor pembatas kesuburan perairan (Horne dan Goldman, 1994; Beveridge, 1984). Rasio TN:TP > 12 maka P berperan sebagai pembatas, jika rasio TN:TP < 7 maka N berperan sebagai pembatas dan jika $7 < \text{TN:TP} < 12$ maka baik N maupun P tidak berperan sebagai pembatas. Rasio TN:TP di Danau Sentani dalam setahun adalah 130,195; sehingga P berperan sebagai faktor pembatas kesuburan perairan. Hal ini tidak sesuai dengan pernyataan Horne dan Goldman (1994) bahwa unsur P memegang peranan dalam menentukan tingkat kesuburan perairan di air tawar. Kondisi ini sama dengan yang terjadi di Waduk Mrican (Piranti dkk., 2012) bahwa penentuan kriteria trofik berdasarkan konsentrasi TP dan NH_4 di musim penghujan dan berdasarkan NO_3 di musim kemarau. Rata-rata curah hujan selama penelitian adalah 184,82 mm/bulan yang terdiri atas 9 bulan basah dan 3 bulan kering berdasarkan Klasifikasi Mohr. Dengan demikian, jika dihubungkan kembali dengan status trofik, maka perairan Danau Sentani berada dalam kondisi eutrofik.

Berdasarkan sumbernya, N-total yang masuk ke danau berasal dari sungai-sungai yang mengalir masuk ke danau (0,456%), kegiatan budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA) (35,474%) dan kegiatan lainnya (64,071%). Sementara, P-total yang masuk ke danau berasal dari sungai yang mengalir masuk ke danau (0,00015%), kegiatan budidaya ikan dalam keramba jaring apung (KJA) (10,688%) dan kegiatan lainnya (89,312%). Selain itu, output N-total dan P-total masing-masing adalah dari aliran air yang keluar dari danau (8,25% dan 0,008%), ikan panen (29,317% dan 32,774%) dan kegiatan lainnya (62,433% dan 67,218%).

Konsentrasi Total Karbon Organik dalam air

Konsentrasi total karbon organik (TKO) berturut-turut mulai yang paling tinggi adalah di tengah danau (1,823 mg/L/bulan), *inlet* (1,723 mg/L/bulan), *outlet* (1,727 mg/L/bulan) dan KJA (1,330 mg/L/bulan). Kandungan total karbon organik paling tinggi di tengah danau sebesar 2,4780 mg/L di bulan Januari 2013. Kandungan paling rendah di KJA pada bulan Juli dan September 2012 (0,0001 mg/L) dan di tengah danau sebesar 0,0001 mg/L di bulan Juli 2012.

Berdasarkan parameter klasifikasi kualitas lingkungan, jika TKO < 20 mg/g maka lingkungan dikategorikan sangat baik (kelas 1), jika TKO berkisar antara 20–27 (Kelas 2) maka lingkungan dikategorikan baik, jika TKO bernilai 27–34 maka lingkungan dikategorikan intermediet (kelas 3), jika TKO antara 34–41 maka lingkungan dikategorikan rendah (kelas 4) dan jika nilai TKO > 41 maka kualitas lingkungan dikategorikan sangat buruk (kelas 5). Dengan demikian, berdasarkan nilai TKO air danau yang di bawah 20 mg/g, maka kualitas perairan Danau Sentani dikategorikan sangat baik.

Analisis varians menunjukkan tidak ada konsentrasi total C-organik yang berbeda nyata ($P < 0,05$) pada masing-masing zona di Danau Sentani. Konsentrasi karbon organik yang rendah diduga akibat adanya proses sedimentasi C-organik yang tinggi pada saat curah hujan rendah dan pemanfaatan oleh organisme. Sondergaard dkk. (1995) menyebutkan bahwa kandungan C-organik terendah di danau eutrofik adalah 4 mg/L, sehingga diduga nilai 0 mg/L masih mungkin untuk perairan yang tergolong eutrofik. Dugaan lain adalah curah hujan berpengaruh terhadap perubahan partikel senyawa C-organik sehingga berubah menjadi bentuk senyawa anorganik melalui proses metabolisme organisme dan mineralisasi sedimen. Trumbore dkk. (1992) menjelaskan bahwa konsumsi karbon organik di air dipengaruhi oleh konsentrasi karbon organik terlarut limpasan dari DAS, dekomposisi dan atau pelepasan dari sedimen

ke air (*in situ*) dan kondisi karbon organik di tanah sekitar DAS.

Rasio C:N menunjukkan kandungan partikel organik. Rasio C:N tertinggi berturut-turut adalah di zona tengah danau (90,884 mg/L/bulan), zona KJA (47,647 mg/L/bulan), zona inlet (15,008 mg/L/bulan) dan zona outlet (6,777 mg/L/bulan). Rasio C:N yang tinggi menunjukkan tingginya materi organik yang terlarut dalam perairan. Materi organik ini sangat dipengaruhi oleh kondisi daratan di sekitar danau. Semakin tinggi aktivitas penduduk di sekitar danau maka semakin tinggi rasio C:N akibat erosi.

Kestabilan rasio C:N:P di perairan tawar dipengaruhi oleh aktivitas zooplankton (Parmenter dan Lamara, 1991; Li dkk., 2003; Legovic dkk., 2008). Pada tingkat curah hujan rendah, aktivitas Copepoda menyebabkan rasio N:P meningkat sehingga N berperan sebagai faktor pembatas kesuburan perairan. Aktivitas Daphnia akan menurunkan konsentrasi fosfor di perairan sehingga rasio N:P rendah sehingga P berperan sebagai faktor pembatas kesuburan perairan. Sebaliknya, aktivitas Calanoida akan meningkatkan rasio N:P karena menurunkan kadar P di perairan yang memberikan pengaruh negatif terhadap pertumbuhan alga. Bryhn, dkk. (2007) menyebutkan bahwa konsentrasi P-total yang tinggi akan menurunkan rasio C:P karena alga menambah biomasanya melalui fiksasi karbon.

Pengendalian Pencemaran Air

Kondisi kualitas air Danau Sentani diuji dengan Metode Indeks Pencemaran (IP) terhadap 9 (sembilan) parameter, yaitu, temperatur air, pH, oksigen terlarut, TSS, TDS, amonia, nitrit, nitrat dan total fosfat. Kondisi kualitas air masing-masing zona dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1. menunjukkan bahwa kondisi kualitas air pada masing-masing zona dalam kondisi tercemar sedang. Kondisi ini terjadi karena di daerah inlet sedang dilakukan kegiatan pelebaran jalan nasional sehingga menambah masuknya senyawa pencemar ke danau dan ditambah dengan kondisi sungai yang

dekat dengan aktivitas rumah tangga penduduk setempat. Pada zona KJA, kondisi cemar sedang ini berasal dari masuk limbah pakan yang lepas ke perairan dan letak KJA yang dekat dengan pemukiman penduduk karena letaknya berdekatan dengan akses jalan. Kondisi di tengah danau tidak jauh berbeda karena terdapat beberapa kampung yang berada di posisi tengah danau sehingga menambah senyawa pencemar akibat aktivitas rumah tangga yang masuk ke perairan. Zona outlet juga mengalami kondisi yang sama, di mana telah tercemar sedang akibat dari pengaruh inlet, tengah danau, KJA dan letak outlet yang berada dekat dengan aktivitas penduduk. Selain itu, di daerah outlet juga terdapat beberapa keramba tancap masyarakat. Rustadi dkk. (2002) juga menjelaskan bahwa fluktuasi kualitas air dipengaruhi oleh temperatur, DO, pH, transparansi dan total partikel terlarut.

Dengan melihat kondisi perairan danau yang keseluruhannya berada dalam tahap tercemar sedang, maka perlu dilakukan beberapa kegiatan untuk mengendalikan tingkat pencemaran air danau. Kegiatan yang bertujuan untuk mengendalikan tingkat pencemaran danau dapat dilakukan oleh masyarakat ataupun dengan bantuan pemerintah; antara lain dengan membatasi pembuangan limbah rumah tangga ke perairan danau, tidak membuang timbunan hasil pemangkasan gunung untuk pembangunan jalan nasional kabupaten ke perairan danau, atau dengan menggalakan kegiatan di sektor perikanan.

Kegiatan di sektor perikanan yang dapat dilakukan antara lain dengan melakukan penebaran ikan untuk mengurangi limbah fosfat. Kegiatan ini dapat dilakukan dengan memodifikasi KJA menjadi jaring ganda, artinya ikan budidaya yang berada dalam jaring dalam diberikan pakan buatan (pellet) dan ikan budidaya di jaring luar tidak perlu diberi pakan karena akan memanfaatkan pakan alami. Pakan alami diperoleh dari biomassa fitoplankton yang meningkat karena adanya pemanfaatan mengambil limbah N dan P (Elser dan Goldman, 1991; Reynolds, 1993; Komatsu dkk., 2006). Peningkatan biomassa dan sebaran fitoplankton akan berpengaruh terhadap peningkatan biomassa dan sebaran zooplankton (Bruce dkk., 2006). Fitoplankton dan zooplankton ini yang akan dimanfaatkan sebagai pakan alami ikan budidaya di jaring luar. Selain itu, perlu juga dilakukan peningkatan kegiatan penangkapan ikan melalui aktivitas nelayan.

Beberapa kegiatan tersebut diharapkan mampu mengendalikan tingkat pencemaran N dan P di danau, sehingga proses eutrofikasi dapat ditekan serta sedimentasi dan pendangkalan danau dapat

Tabel 1. Nilai Indeks Pencemaran (IP) tiap zona di Danau Sentani.

Daerah danau	Jumlah sampel	Nilai IP	Kondisi air
<i>Inlet</i>	216	9.09	Tercemar sedang
Tengah danau	270	6.41	Tercemar sedang
KJA	270	8.54	Tercemar sedang
<i>Outlet</i>	54	7.27	Tercemar sedang

dihindari. Dengan demikian, potensi Danau Sentani dapat dimanfaatkan secara optimal dengan tetap menjaga kelestariannya.

KESIMPULAN

Rasio N-P perairan Danau Sentani adalah 10, 248 mg/L/bln di lokasi inlet; 2,417 mg/L/bln di lokasi KJA; 0,683 mg/L/bln di tengah danau dan 8,351 mg/L/bln di outlet. Sementara itu, rasio C-N adalah 15,008 mg/L/bln di inlet; 47,647 mg/L/bln di KJA; 90,884 mg/L/bln di tengah danau dan 6,777 mg/L/bln di outlet. Selain itu, perairan danau berada dalam kondisi tercemar sedang. Untuk itu, diperlukan upaya untuk pengendalian pencemaran danau dengan membatasi pembuangan limbah rumah tangga, mengurangi erosi serta peningkatan kegiatan perikanan budidaya dan tangkap yang diharapkan mampu mengendalikan pencemaran unsur N dan P sebagai sumber pencemar perairan danau.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2001. *Peraturan Pemerintah Nomor 82 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.
- Anonim, 2005. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Edisi Pertama. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Anonim, 2008. *Potensi Perikanan dan Kelautan Kabupaten Jayapura*. Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Papua, Jayapura.
- Beveridge, M.C.M., 1982. Cage and Pen Fish Farming. Carrying Capacity Models and Environmental Impact. *FAO Fish. Tech. Paper*. 255:13.
- Boge, G., Jean, N., Jamet, J.J., Jamet, D., dan Richard, S., 2006. Seasonal Changes in Phosphatase Activities in Toulon Bay (France). *Marine Environmental Research* 61:1-18.
- Boyd, C.E., 1979. *Water Quality in Warmwater Fish Ponds*. Auburn University. Auburn, Alabama.
- Brower, J.E., dan Zar, J.H., 1977. *Field & Laboratory Methods for General Ecology*, 2nd Edition. WCB Publisher. Dubuque-Iowa.
- Brower, J.E., Jar, J.H., dan von Ende, C.N., 1990. *Field and Laboratory Methods for General Ecology 3th Edition*. Wm.C. Brown Publisher. Dubuque. 234 p.
- Bruce, L.C., Hamilton, D., Imberger, J., Gal, G., Gophen, M., Zohary, T., dan Hambright, K.D., 2006. A Numerical of The Role of Zooplankton in C, N and P Cycling in Lake Kinneret, Israel. *Ecological Modelling* 193:412-436.
- Bryhn, A.C., Hessen D.O., dan Blenckner, T., 2007. Predicting Particulate Pools of Nitrogen, Phosphorus and Organic Carbon in Lakes. *Aquatic Sciences*, 69:484-494.
- Chao, X., Jia, Y., Shield D.F.Jr., Wang S.S.Y., dan Cooper, C.M., 2007. Numerical Modeling of Water Quality and Sediment Processes. *Ecological Modeling*, 201:385-397.
- Clark, E.R., Harman, J.P., dan Foster, J.R.M., 1985. Production of Metabolic and Waste Products by Intensively Farmed Rainbow Trout, *Salmo gairdneri*, Richardson. *Journal of Fish Biology* 27:381-393.
- Cochran, W.G., 1977. *Sampling Techniques*. Third Edition. John Wiley & Sons. New York.
- Elser, J.J., dan Goldman, C.R., 1991. Zooplankton Effects on Phytoplankton in Lakes of Contrasting Trophic Status. *Limnology Oceanography* 36(1):64-90.
- Hadisusanto, S., 2006. *Distribusi dan Kemelimpahan Larva Bentonik Chironomidae (Diptera) : Hubungannya Dengan Jeluk dan Nutrien di Waduk Sempor, Kebumen, Jawa Tengah*. Disertasi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Hartoto, D.I., Sunanisari, S., Syawal, M.S., Yustiawati, Ridwansyah, I., dan Nomosatryo, S., 1998. Alternatif Tata Guna Danau Teluk Berdasar Sifat Limnologis. *Hasil-Hasil Penelitian PUSLITBANG Limnologi, LIPI*. Cibinong.
- Horne, A.J., dan Goldman, C.R., 1994. *Limnology*. Second Edition. McGraw-Hill Inc. New York.
- Indrayani, E., dan Hadisusanto, S., 2009. Biomassa Zoobentos, Kandungan Nutrien Sedimen dan Kualitas Air berdasarkan Zonasi di Rawa Jombor, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Moluska 2*. IPB. Bogor.
- Johnson, L.B., dan Gage, S.H., 1997. Landscape Approaches to The Analysis of Aquatic Ecosystems. *Freshwater Biology*, 37:113-132.
- Kamiso, H.N., 2003. Manajemen Danau di Indonesia. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi PBI*. 8 Februari 2003. Yogyakarta.
- Komatsu, E., Fukushima, T., dan Shiraiishi, H., 2006. Modelling of P: Dynamics and Algal Growth in A Stratified Reservoir – Mechanism of P-Cycle In Water Interaction between Overlying Water and Sediment. *Ecological Modelling*, 197:331-349.
- Kopáček, J., Procházková, L., Stuchlík, E., dan Blažka, P., 1995. The Nitrogen-Phosphorus Relationship in Mountain Lakes : Influence of

- Atmospheric Input, Watershed, and pH. *Limnology and Oceanography*, 40(5):930-937.
- Krebs, C.J., 2009. *Ecology : The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 2nd Ed. Pearson Education, Inc. New York.
- Laznik, M., Stålnacke, P., Grimvall A., dan Wittgren, H.B., 1999. Riverine Input of Nutrients to the Gulf of Riga – Temporal and Spatial Variation. *Journal of Marine System*, 23:11-25.
- Legović, T., Palerud, R., Christensen, G., White, P., dan Regpala, R., 2008. A Model to Estimate Aquaculture Carrying Capacity in Three Areas of the Philippines. *Science Diliman*, 20(2):31-40.
- Li, M., Wei, H., Wang, G., dan Ni, J., 2003. Distribution and Different Forms of Phosphorus in Sediments from the Changjiang Estuary and Hangzhou Bay. *International Conference on Estuaries and Coasts, Hangzhou Bay, China*.
- Lovett, G.M., Weathers, K.C., dan Sobczak, W.V., Nitrogen Saturation and Retention in Forested Watersheds of The Catskill Mountains, New York. *Ecological Application*, 10(1):73-84.
- Olila, O.G., dan Reddy, K.R., 1997. Influence of Redox Potential on Phosphate-Uptake by Sediments in Two Sub-Tropical Eutrophic Lakes. *Hydrobiologia*, 345:45-57.
- Parmenter, R.R., dan Lamarra. V.A., 1991. Nutrient Cycling in A Freshwater Marsh : The Decomposition of Fish and Waterfowl Carrion. *Journal of Limnology & Oceanography*, 36(5):976 – 987.
- Piranti, A.S., Sudarmadji., Maryono, A., dan Hadisusanto, S., 2012. Penentuan Kriteria Nutrient Untuk Penilaian Status Trofik Perairan Waduk Mrica Banjarnegara, Indonesia. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 19(2):184-192.
- Pujiastuti, P., Ismail., B., dan Pranoto, 2013. Kualitas dan Beban Pencemaran Perairan Waduk Gajah Mungkur. *Jurnal Ekosains*, 5(1):59-75.
- Ramm, K., dan Scheps, V., 1997. Phosphorus Balance of A Polyrophic Shallow Lake with The Consideration of Phosphorus Release. *Hydrobiologia*, 342/343:43-53.
- Reynolds, C.S. 1993. *The Ecology of Freshwater Phytoplankton*, Fourth edition. Cambridge University Press. Melbourne.
- Reynolds, C.S., A.E. Irish, and J.A. Elliot. 2001. The Ecological Basis for Simulating Phytoplankton Responses to Environmental Change (PROTECH). *Ecological Modelling* 140:271-291.
- Rustadi, R. Kuwabara, and Kamiso H.N. 2002. Water Quality and Planktological Approach to Monitor Eutrophication by Cage-Culture of Red Tilapia (*Oreochromis sp.*) at the Sermo Reservoir, Yogyakarta, Indonesia. *Asian Fisheries Science*, 15:135-144.
- Singarimbun, M., dan Effendi, S., 1989. *Metode Penelitian Survei*. LP3ES. Jakarta.
- Trumbore, S.E., Schiff, S.L., Aravena, R., dan Elgood, R., 1992. Sources and Transformation of Dissolved Organic Carbon in The Harp Lake Forested Catchment : The Role of Soils. *Radiocarbon*, 34(3):626-635.