

DAMPAK PENGGUNAAN LAHAN DAERAH TANGKAPAN DAN PEMANFAATAN PERAIRAN DANAU PADA EUTROFIKASI DAN KEBERLANJUTAN DANAU TONDANO, PROVINSI SULAWESI UTARA

Sudarmadji,¹ Sofia Wantasen² dan Slamet Suprayogi¹

*¹⁾Fakultas Geografi UGM, ²⁾Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi
sudarmadji@geo.ugm.ac.id*

ABSTRAK

Danau Tondano merupakan salah satu dari 15 danau yang menjadi prioritas dalam pengelolaan. Penggunaan lahan daerah tangkapannya untuk pertanian serta pemanfaatan perairan danau Tondano untuk perikanan, obyek wisata, pembangkit tenaga listrik menimbulkan permasalahan terhadap keberlanjutan danau tersebut. Di satu sisi pembangkit tenaga listrik membutuhkan debit yang tinggi di sisi lain kegiatan yang lain dalam jangka panjang menimbulkan pendangkalan sehingga danau tersebut menurun kapasitasnya. Daerah tangkapan danau yang digunakan untuk kegiatan pertanian menyebabkan transport nutrisi ke dalam tinggi, menimbulkan masalah terhadap pemanfaatan air danau sebagai sumber baku air minum. Penelitian ini mengkaji distribusi spasial nutrisi yang terdapat di dalam danau tersebut serta mengkaji aspek pemanfaatan danau ke depan terkait dengan kelestarian danau tersebut. Contoh air dari berbagai kedalaman dan secara horisontal, dan dikaji dengan kegiatan yang terjadi di dalam danau. Analisis spasial ekologi digunakan di dalam penelitian tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara keruangan terjadi persebaran tidak merata terhadap kadar nutrisi. Di daerah hulu kadar nutrisi lebih tinggi daripada di daerah hilir. Hal ini menandakan bahwa terjadi penimbunan unsur nutrisi di dalam danau yang dapat mengarah ke proses eutrofikasi. Sumbangan kadar nutrisi dapat berasal dari kegiatan pertanian di daerah tangkapannya dan kegiatan perikanan yang bersumber dari pakan ikan. Diperlukan adanya zonasi untuk kegiatan pariwisata, perikanan serta kegiatan lain agar fungsi danau untuk kegiatan pariwisata, perikanan, pembangkit tenaga listrik dan bahan baku air minum tetap dapat berlangsung, tetapi fungsi ekologis danau tetap terjaga.

Kata kunci; Fungsi danau, nutrisi, eutrofikasi, sebaran spasial, ekologi.

ABSTRACT

Tondano is one among 15 lakes which considered as a priority in lake management. The use of lake water body and land use of the catchment area contributes environment problem to the lake. The use of Tondano lake for fisheries, tourism, power plants cause problems to the sustainability of the lake. On one side the power plant requires a high discharge, but on the other side other activities in the long run lead to siltation which cause the lake capacity to decrease. In addition, the lake catchment area is used for agricultural causing nutrient transport into the lake. It causes other problem as lake water is used as a raw drinking water source. This study examines the spatial distribution of nutrient concentration in the lake and some aspects of using lake water body to the sustainability of the lake. In this study water samples were collected from different depths and horizontal locations, and correlated those to the human activities in the lake. Ecological spatial analysis used in the study. The result shows that the spatial distribution of the nutrient level is uneven. The nutrient level in the upper parts of the lake are higher than those in the lower parts. This indicates that the accumulation of nutrient elements in the lake which can lead to eutrophication processes. Contribution of the nutrient can be originated from the agricultural activities in the catchment area and fishing activity in fish feeding. In managing the lake ecosystem some of zonation of the lake is needed, including zoning for tourism, fishing and other activities so that the function of the lake for tourism, fisheries, power generation and raw drinking water can still safely take place, but the ecological functions of the lake is still reasonably maintained.

Keywords: Functions of the lake, nutrients, eutrophication, spatial distribution, ecology

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Danau Tondano terletak di bagian tengah DAS Tondano, secara administrasi berada di Kabupaten Minahasa. Danau Tondano adalah termasuk danau alami/ danau vulkanik yang terbentuk dari akibat bencana alam (Hehanussa dan Haryani, 2009). Danau ini terkenal dengan obyek Wisata Remboken dengan nama *Sumaru Endo*, dalam Bahasa Tombulu (Minahasa), artinya: menghadap terbitnya mentari, karena dari sini wisatawan dapat menikmati matahari terbit di cakrawala hamparan air. Saat ini ekosistemnya terancam, akibat dari aktivitas manusia yang terdapat di hulu Daerah Aliran Sungai ini yaitu antara lain kegiatan permukiman, pariwisata, penggunaan pupuk kimia di lahan pertanian sekitarnya yang kurang terkendali serta aktivitas di danau itu sendiri.

Danau Tondano yang memiliki sekitar 34 inlet yang berasal dari sungai dan saluran irigasi/drainase, baik yang berasal dari persawahan dan tegalan maupun dari permukiman, dan satu outlet mempunyai potensi terjadi penyebaran nitrogen dan transformasi dari nitrogen menjadi senyawa nitrat, nitrit dan ammonia serta akumulasi senyawa-senyawa tersebut di Danau Tondano. Apalagi dikaitkan dengan intensifikasi pertanian lahan basah yang tinggi dalam penggunaan pupuk nitrogen (Urea: NH_2CONH_2).

Nitrogen tersebut menjadi residu yang terbawa air irigasi masuk ke saluran drainase/sungai kemudian ke danau selanjutnya akan mempengaruhi aspek spasial dan ekologis dalam hal ini adalah agihannya dan karakteristik lingkungan abiotik dan lingkungan biotik. Terhadap lingkungan abiotik yaitu pada penurunan kualitas air dan pencemaran air; lingkungan biotik yaitu dampak negatif pada flora akuatik di Danau Tondano yang diindikasikan dengan meningkatnya konsentrasi khlorofil-a. Hal tersebut berdampak negatif pada Danau Tondano karena dengan konsentrasi khlorofil-a tinggi menandakan perairan subur dan terjadi pengayaan danau.

Saluran-saluran irigasi akan membawa sisa-sisa unsur hara dari aktivitas pemupukan, terutama penggunaan pupuk Urea. Urea: NH_2CONH_2 akan terhidrolisis menghasilkan ammonium nitrat, dan tanaman menyerap unsur hara tersebut dalam bentuk ammonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-). Kehilangan nitrogen terutama disebabkan oleh adanya penguapan (*volatilization*), denitrifikasi (*denitrification*), pelindian

(*leaching*), atau menjadi tidak tersedia karena immobilisasi (*immobilization*). Cara pemberian pupuk dengan menabur di atas permukaan tanah dapat menyebabkan kehilangan nitrogen melalui proses pencucian, penguapan dan aliran drainase.

Masuknya nitrogen melalui sungai, saluran irigasi (*inlet* danau) ke Danau Tondano dan masuknya nitrogen yang langsung dari kegiatan yang terdapat di Danau Tondano akan mempengaruhi konsentrasi nitrogen dan transformasi nitrogen di *inlet* Danau Tondano, dan *outlet* danau yang digambarkan dalam bentuk neraca nitrogen di Danau Tondano.

Berbagai proses juga akan terjadi di dalam Danau Tondano, sehingga masukan (*inlet*) yang berupa aliran air tadi dapat diubah menjadi keluaran (*outlet*). *Inlet* dan *outlet* nitrogen di Danau Tondano dapat digambarkan dalam bentuk neraca nitrogen menggunakan analisis keseimbangan massa (*material/mass balance*).

Penelitian ini bertujuan untuk: 1). Mempelajari pengaruh penggunaan lahan di daerah tangkapan danau dan pemanfaatan danau terhadap eutrofikasi. 2). Mengkaji dampak eutrofikasi terhadap lingkungan hidup yaitu kualitas air (lingkungan abiotik) serta flora akuatik (lingkungan biotik) dan 3). Mendapatkan gambaran sebaran spasial total nitrogen dan transformasinya (Nitrat, Nitrit, Ammonia) di Danau Tondano.

BAHAN DAN METODE

1. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang diperlukan adalah Peta Rupa Bumi skala 1: 25.000 lembar Langowan (2417 – 21) dan lembar Manado (2417 – 23) yang diterbitkan Bakosurtanal Tahun 1991, dan Citra Satelit. Peta Topografi skala 1 : 10.000 (JICA, 2001), Peta Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Tondano skala 1: 50.000, Peta Sub Daerah Aliran Sungai Tondano skala 1: 50.000, Peta Batimetri Danau Tondano skala 1: 50.000, Peta Geologi Lembar Manado Tahun 1997, skala 1: 250.000 Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.

2. Alat Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a) untuk pengambilan sampel air digunakan: *water sampler* b). Peralatan yang digunakan untuk pengukuran kualitas air fisik dan kimia yaitu: alat ukur temperatur air (*thermometer*), pH-meter, DO-meter, EC-meter, *turbidimeter*, *current meter*,

spectrophotometer. c). Perangkat analisis kualitas air dan khlorofil-a adalah *spectrophotometer*. Peralatan yang dipergunakan untuk melakukan analisis Klorofil-a adalah *spectrophotometer* dengan panjang gelombang 750 dan 664 nm, d). Alat untuk mengukur kecerahan: *Secchi Disk/cakram Secchi*, e). Peralatan lainnya yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah *ice box*, GPS, kamera, dan angket untuk memperoleh data sosial ekonomi dan budaya

3. Teknik Pengumpulan Data

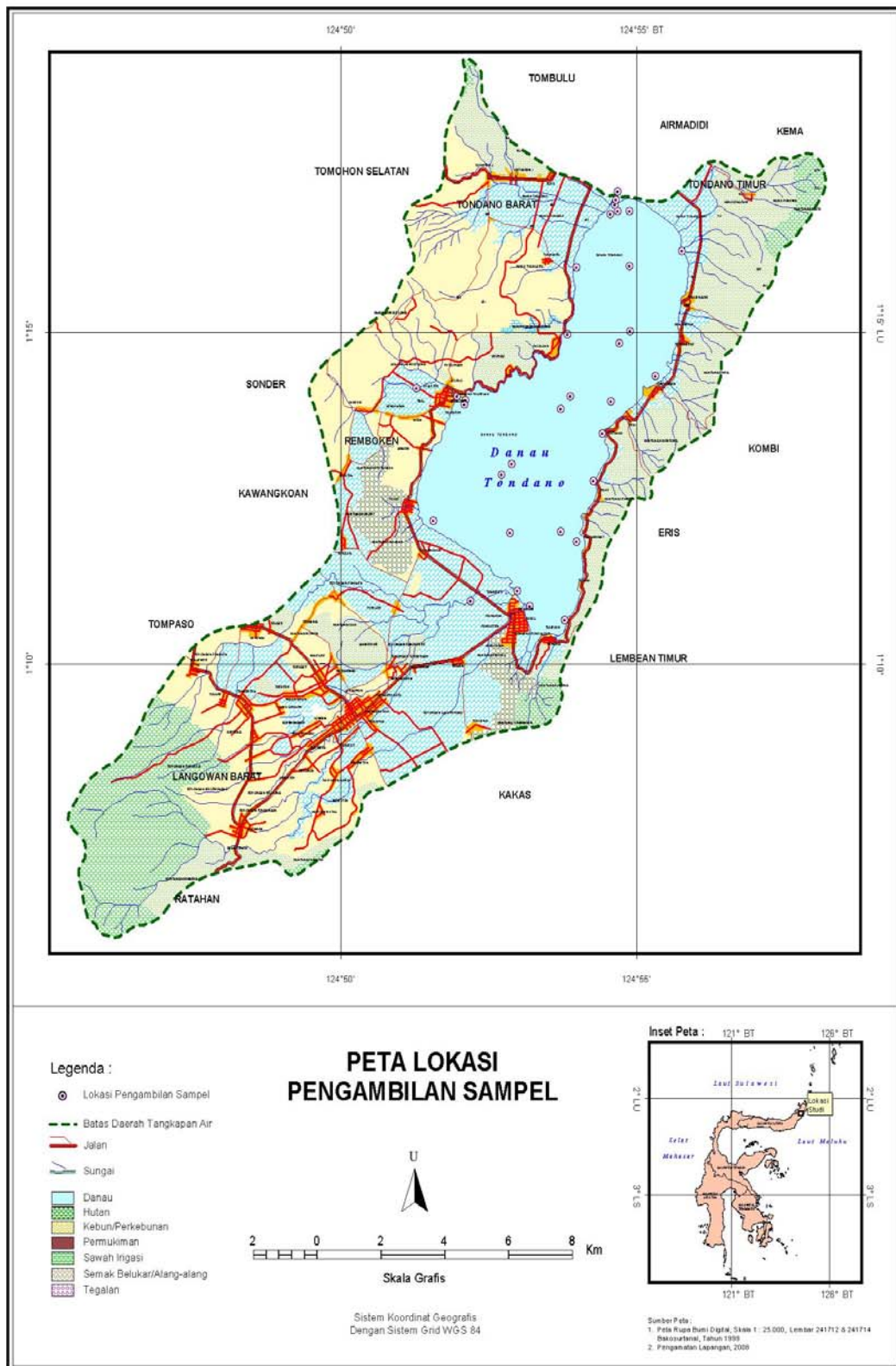
Data primer diperoleh dengan mengambil data langsung di lapangan yaitu untuk data kualitas air parameter nitrat, nitrit, ammonia sebagai parameter utama dan parameter penunjang kualitas air yaitu pH air, suhu, DO, kekeruhan, kecerahan, dan data debit badan air *inlet* dan *outlet* danau. Pengambilan air Danau Tondano mengacu AWWA (2005). Pemeriksaan parameter pH, suhu, DO dengan alat buatan APHA, kecerahan air danau dengan *Seichi Disk* diameter 16 cm. Analisis nitrat, nitrit dan ammonia mengacu metode AWWA (2005). Pengambilan sampel air dilakukan dengan menggunakan metode *composite sampling* yaitu di *inlet* danau, di dalam danau dan di *outlet* danau. Pada sampel air dilakukan preparasi di lapangan, pengukuran *insitu* dan selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk analisis kualitas air. Lokasi pengambilan sampel kualitas air dan khlorofi-a di dalam danau dan di *inlet* danau ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2).

Pengambilan sampel dilakukan pada dua dan tiga kedalaman yaitu pada lokasi yang memiliki kedalaman rerata lebih kecil sepuluh meter maka sampel diambil di dua titik yaitu 0,2 dan 0,8 kedalaman air (SNI 06-2421-1991). Pada lokasi yang memiliki kedalaman > 10 m, sampel air diambil di kedalaman 10 meter.

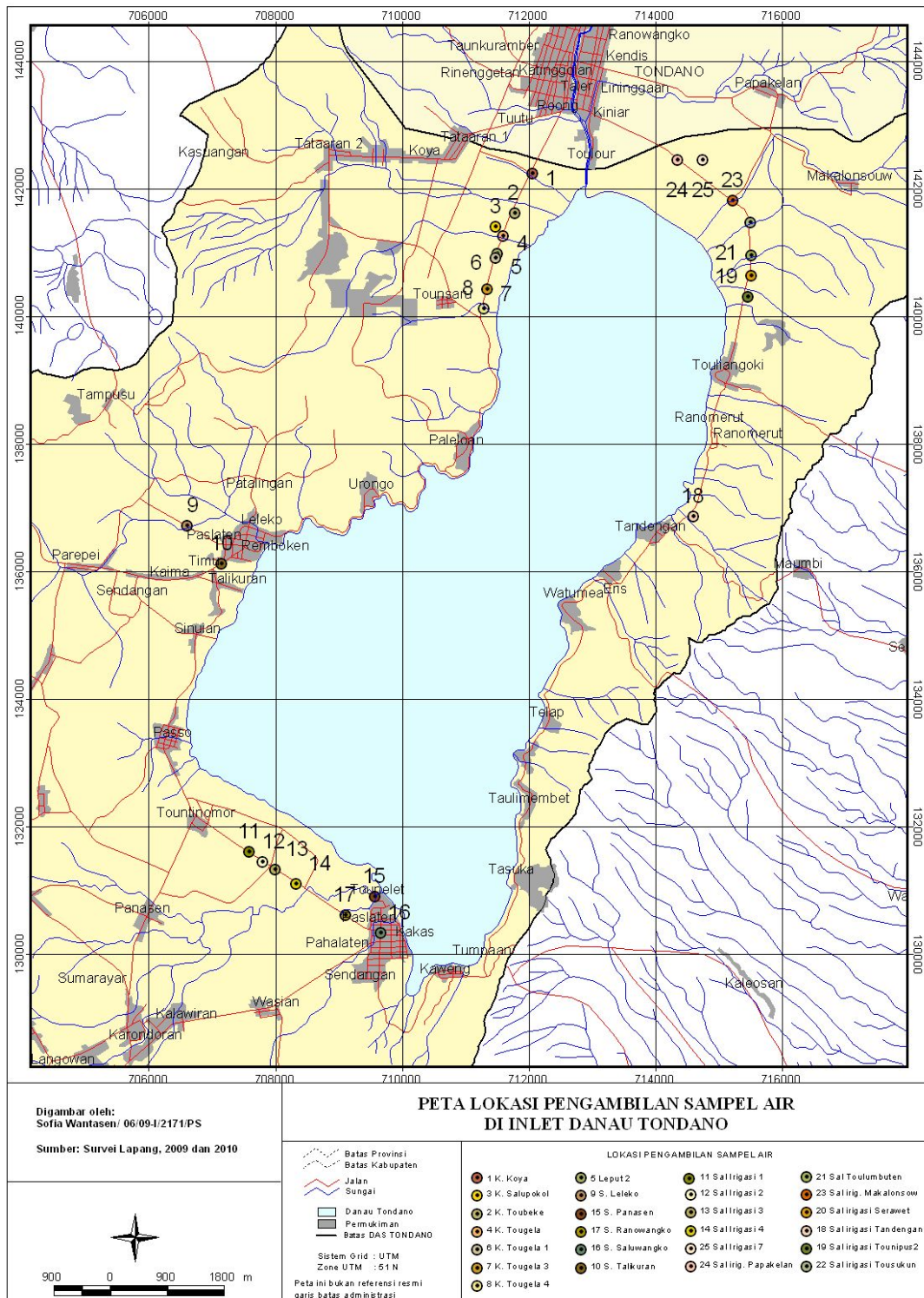
4. Analisis data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini, dianalisis menggunakan Metode Keseimbangan Massa (*material/mass balance*, Analisis Grafik dan Statistik, dan Analisis Spasial dan Kelingkungan).

Analisis keseimbangan massa. Dimaksudkan untuk mengkaji konsentrasi nitrogen di *inlet* dan *outlet* Danau Tondano serta di Danau Tondano.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air di Danau Tondano



Gambar 2. Lokasi Pengukuran Nitrogen di *Inlet* Danau Tondano

Analisis grafik dan statistik. Analisis grafik dimaksudkan untuk dapat mengetahui secara cepat parameter kualitas air yaitu nitrat, nitrit, ammonia, pH, DO, kekeruhan, suhu air danau. Untuk mengkaji pengaruh lingkungan abiotik (pH, suhu air, DO, kekeruhan) terhadap transformasi Nitrogen (Nitrat, Nitrit, Ammonia) di permukaan Danau Tondano, di kedalaman 5 meter dan kedalaman 10 meter dilakukan analisis dengan menggunakan Analisis Korelasi.

Analisis spasial dan ekologi. Analisis Spasial ekologi ditujukan untuk mengetahui sebaran spasial Nitrogen total dan transformasi Nitrogen (Nitrat, Nitrit, Ammonia) di Danau Tondano, juga dilakukan analisis sebaran spasial Nitrogen total dan transformasi Nitrogen menjadi Nitrat, Nitrit, Ammonia dengan cara interpolasi menggunakan Sistem Informasi Geografis *PC Arc info* dan *Arcview GIS software* versi 3.3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Ekosistem Danau Tondano

Perubahan ekosistem danau tidak terlepas dari perubahan lingkungan yang terjadi di daerah Daerah Aliran Sungai tangkapannya. Danau mendapatkan masukan berupa air sungai, sedimen dan unsur hara melalui sungai, saluran irigasi yang masuk ke dalamnya. Untuk mempertahankan lingkungan, danau tidak terlepas dari penataan terhadap Daerah Aliran Sungai tangkapannya, terutama adalah penggunaan lahan Daerah Aliran Sungai yang bersangkutan, termasuk mengatur aktivitas masyarakat yang tinggal di dalamnya (Sudarmadji, 2009).

Luas perairan Danau Tondano bervariasi antara 46 km² pada musim kemarau dan 51 km² pada musim penghujan (BPDAS, 2003). Danau Tondano berada pada ketinggian sekitar 675 m di atas permukaan laut yang memiliki luas sekitar 4.638 Ha (JICA, 2001) dan jika mengacu pada data Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Minahasa tahun 2008, luas Danau Tondano adalah sekitar 4950 ha, dan data tahun 2009 dari Dirjen Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia luas Danau Tondano adalah 4.650 ha.

2. Pemanfaatan danau Tondano

Perikanan tangkap. Ikan-ikan yang potensial terdapat di Danau Tondano adalah Ikan betutu, nike, mujair dan payangka. Ikan Payangka adalah termasuk ikan endemik danau

Tondano. Data Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Minahasa, 2009 menunjukkan bahwa capaian produksi penangkapan ikan-ikan tersebut adalah 400 ton/tahun.

Perikanan budidaya. Danau Tondano ini dimanfaatkan juga untuk perikanan budidaya sistem karamba jaring apung dengan *floating net* (Gambar 3). Data dari Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Minahasa Tahun 2009, menunjukkan bahwa terdapat sekitar 8.500–10.000 unit jaring apung yang terdapat di Danau Tondano. Capaian produksi Kegiatan budidaya: 5100 ton/tahun. (Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Minahasa, 2009).



Gambar 3. Perikanan Budidaya Jaring Apung di Danau Tondano

Sarana dan prasarana pariwisata.

Sistem pariwisata, tinjauannya mencakup sisi pasokan atau produk pariwisata maupun sisi kebutuhan atau pasar pariwisata. Sisi produk dapat dipilah atas atraksi atau daya tarik wisata dan aktivitas wisata, akomodasi, fasilitas, aksesibilitas, transportasi, prasarana pendukung, serta organisasi. Produksi pariwisata untuk wilayah Kabupaten Minahasa yang berada di dalam lingkup Kawasan DAS Tondano, atraksi terbesar adalah di Danau Tondano. Sejumlah titik atraksi yang menjadi kunjungan wisatawan terdapat di Danau Tondano (Gambar 4)



Gambar 4. Sarana Wisata Sekitar Danau Tondano

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Sungai Tondano dengan debit yang cukup besar dan kelerengan yang cukup curam berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Saat ini Sungai Tondano telah dimanfaatkan untuk mengoperasikan tiga buah pembangkit listrik: PLTA Tonsea Lama, PLTA Tanggari I, dan PLTA Tanggari II.

2. Eutrofikasi

Eutrofikasi ditunjukkan dengan kadar Nitrogen dan bentuk transformasinya, yaitu dari nitrogen menjadi nitrat, nitrit dan ammonia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformasi nitrogen di *inlet* Danau Tondano adalah 96% nitrat, 2% nitrit, 2% ammonia. Hal ini menandakan bahwa sungai, saluran irigasi yang menjadi *inlet* Danau Tondano membawa hara nitrogen dan pada kondisi tertentu mengalami transformasi dari nitrogen menjadi nitrat, nitrit dan ammonia. Sumber-sumber nitrat pada umumnya berasal dari kegiatan pertanian lahan basah. Bush (2000) mengemukakan bahwa Pupuk Urea (NH_2CONH_2) dapat mengalami proses *mineralization* yaitu proses pelapukan/penguraian protein menjadi ammonia (NH_3) dan amonium (NH_4).

Transformasi nitrogen di permukaan danau Tondano didominasi oleh ammonia sebesar 73%, nitrat 26% dan nitrit 1%. Hal ini diduga berasal dari limbah yang berasal dari sungai-sungai yang bermuara ke Danau Tondano dan saluran irigasi. Transformasi nitrogen di perairan Danau Tondano pada kedalaman lima meter diperoleh data bahwa senyawa yang terbesar adalah ammonia yaitu sebesar 40%, diikuti oleh senyawa nitrat sebesar 59% dan senyawa nitrit sebesar 1%.

Transformasi nitrogen di perairan danau Tondano pada kedalaman sepuluh meter diperoleh data bahwa senyawa yang terbesar adalah ammonia yaitu sebesar 52%,

diikuti oleh senyawa nitrat sebesar 44% dan senyawa nitrit sebesar 4%., yang diduga berasal dari limbah yang dibawa sungai-sungai yang bermuara ke danau Tondano dan saluran irigasi, sisa pakan ikan yang tidak terkonsumsi, feses ikan, dan disamping itu juga diduga berasal dari tumbuhan air yang mati (*decay*) seperti *Eichhornia crassipes*, *Hydrilla verticillata*, *Ceratophyllum demersu*.

Limbah tersebut merupakan komponen potensial sumber ammonia. Nitrit terbentuk oleh adanya proses nitrifikasi yaitu ammonia menjadi nitrit, yang sebetulnya dikendalikan oleh dua kelompok bakteri yaitu Nitrosomonas dan Nitrobacter (Manahan, 2005). Ammonia menjadi nitrit dikendalikan oleh bakteri Nitrosomonas dan nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri Nitrobacter. Proses nitrifikasi adalah proses transformasi nitrogen yaitu perubahan dari ammonium (NH_4^+) \rightarrow nitrit (NO_2^-) \rightarrow nitrat (NO_3^-). Keseimbangan nitrogen di lingkungan, nitrit hanyalah merupakan keadaan yang sementara. Hill (2004) mengemukakan bahwa waktu tinggal (*lifetime* NO_2^-) di danau adalah sekitar 14 hari. Konsentrasi NO_2^- meningkat pada hari kelima dan bertahan selama beberapa hari, kemudian hilang atau menguap ke atmosfer. Ammonia (NH_3) dikonversi menjadi nitrit (NO_2^-) oleh adanya metabolisme *Cyanobacterial* atau *heterotrophic bacterial*.

Konsentrasi Nitrogen (Nitrat, Nitrit, Ammonia di *inlet* Danau Tondano tinggi sedangkan keluaran (*outlet*) rendah (Tabel 1, Tabel 2).

Tabel 1. Konsentrasi Nitrogen di *Inlet* dan *Outlet* Danau Tondano

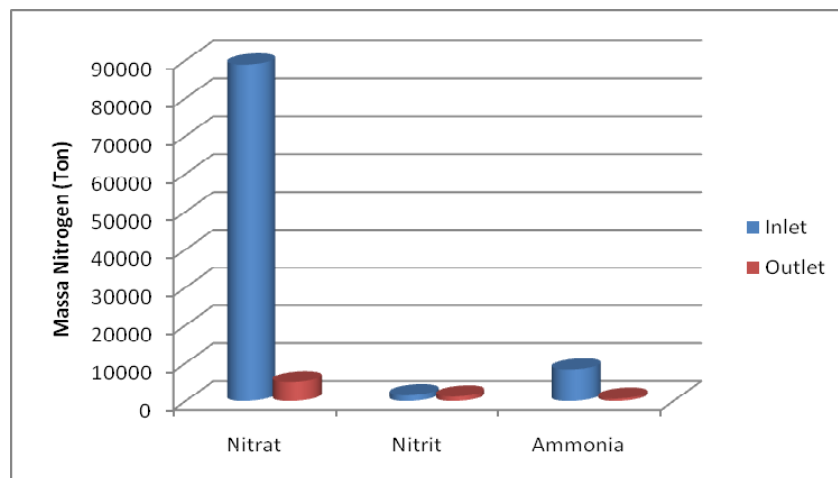
No.	Parameter	Konsentrasi di <i>inlet</i> (mg/L)	Konsentrasi di <i>outlet</i> (mg/L)
1.	NO_3^-	13,291	0,743
2.	NO_2^-	0,226	0,049
3.	NH_3^-	1,242	0,092

Sumber: Hasil Analisis, 2011

Tabel 2. Neraca Massa Nitrogen di *Inlet* dan *Outlet* Danau Tondano

No.	Para meter	Massa N di <i>Inlet</i> (ton)	Massa N di <i>Outlet</i> (ton)	Massa N tertinggal di danau (ton)
1.	NO ₃ ⁻	88.861,637	4.969,630	83.892,007
2.	NO ₂ ⁻	1.509,112	331,865	1.177,246
3.	NH ₃ ⁻	8.300,514	617,723	7.682,790

Sumber: Hasil Analisis, 2011



Gambar 5. Neraca Massa Nitrogen di Danau Tondano

Gambar 5 menunjukkan bahwa Massa Nitrogen (Nitrat, Nitrit, Ammonia di *inlet* Danau Tondano (*input*) lebih tinggi dibandingkan dengan massa Nitrogen (Nitrat, Nitrit, Ammonia di *outlet* Danau Tondano (*output*)). Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar nutrisi tertinggal di dalam Danau yang menyebabkan terjadinya pengayaan (*enrichment*) yang dinamakan eutrofikasi (Gambar 6).



Gambar 6. Eutrofikasi di Danau Tondano
(ditunjukkan oleh melimpahnya Eceng Gondok)

3. Dampak Eutrofikasi terhadap lingkungan

Kekeruhan meningkat di muara-muara sungai yang menjadi *inlet* danau, di bagian timur danau. Peningkatan kekeruhan menyebabkan ketersediaan oksigen terlarut (DO) menurun. ketersediaan oksigen di kedalaman 10 meter terendah terdapat di lokasi bagian timur Danau Tondano yaitu $DO = 2 \text{ mg/l}$. Kekeruhan pada perairan danau lebih banyak disebabkan oleh bahan tersuspensi yang berupa koloid dan partikel-partikel halus. Kekeruhan yang tinggi dapat menghambat penetrasi cahaya ke dalam air.

pH air danau pada kedalaman 5 meter lebih rendah di lokasi yang merupakan *outlet* sungai yaitu *outlet* Sungai Panasen (pH 7,25), *outlet* Sungai Ranoweleng (pH 7,77) dan *outlet* Sungai Leleko (pH 7,53) dibandingkan dengan pH di Danau Tondano yang pada umumnya berada pada kisaran > 7 . Hasil pengukuran pH air di permukaan adalah berkisar antara 7,11-8,86; pH di Danau Tondano pada kedalaman 5 meter adalah memiliki kisaran 7,11 – 8,83; pH di kedalaman 10 meter adalah berkisar antara 7,00-8,45.

Terdapat korelasi yang negatif konsentrasi Ammonia dan pH karena kesetimbangan Ammonia tergantung pada pH. Terdapat korelasi negatif konsentrasi Nitrat dan DO; konsentrasi Nitrat meningkat, menyebabkan DO menurun karena oksidasi $NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO_3$ memerlukan oksigen terlarut. Terdapat korelasi negatif antara Nitrat dan pH, peningkatan pH mendorong terbentuknya gas NH_3 dan NO_2 serta penurunan konsentrasi Nitrat (NO_3). Proses Nitrifikasi berlangsung pada pH

basa. Korelasi antara kekeruhan dan ketersediaan oksigen (DO), yaitu kekeruhan tinggi menghambat penetrasi cahaya sehingga konsentrasi DO menurun.

Status trofik Danau Tondano apabila dilihat dari konsentrasi khlorofil-a secara *absolute* adalah pada taraf *eutrof* bahkan sudah mengarah ke *Hipereutrof* konsentrasi khlorofil-a 0,93-27,01 µg/l, kecerahan 2-2,5 m. Konsentrasi rata-rata Total-N: 1,11-3,81(mg/l), Konsentrasi Total-P: 0,66-3,99 (mg/l). Konsentrasi khlorofil-a tertinggi terdapat di kedalaman 3 meter, dibandingkan dengan konsentrasi khlorofil-a yang terdapat di permukaan danau. Hal tersebut disebabkan oleh faktor cahaya dan nutrien. Tingkat kecerahan Danau Tondano sekitar 2,0-3 meter dengan demikian radiasi matahari bisa sampai pada kedalaman 3 meter dan didukung oleh ketersediaan nutrien (Nitrogen) menyebabkan fotosintesis berlangsung baik sehingga pertumbuhan phytoplankton meningkat pada kedalaman 3 meter. Nitrogen yang dapat dimanfaatkan phytoplankton adalah NO_3^- dan NH_3^- (Sulawesty dan Sumarni, 2004).

4. Sebaran spasial nitrogen total nitrat, nitrit dan ammonia

Konsentrasi nitrogen dan transformasinya dikelompokkan menjadi beberapa kelompok agar mudah menganalisisnya secara spasial. Dalam uraian selanjutnya, sebaran spasial nitrogen dan transformasinya diutamakan pada lokasi yang mempunyai konsentrasinya tinggi bagi setiap kedalaman air danau.

Nitrogen Total

Konsentrasi total nitrogen di Danau Tondano berkisar antara 1,11 mg/l-3,77 mg/l. Sebaran total nitrogen di Danau Tondano tertinggi terdapat di bagian selatan, barat dan timur Danau Tondano yang pada umumnya terdapat di pinggiran danau. Sebaran spasial nitrogen total konsentrasi tinggi terdapat di *outlet* saluran irigasi dan *outlet* sungai yang menjadi *inlet* Danau Tondano. Hal ini menandakan bahwa sumber nitrogen adalah dari kegiatan pertanian (pemupukan).

Nitrat

Konsentrasi nitrat di permukaan yang termasuk menengah sampai tinggi, yaitu konsentrasi 0,544-0,655 mg/l, konsentrasi 0,655-0,766 mg/l, konsentrasi 0,766-0,877 mg/l, konsentrasi 0,877-0,988 mg/l, dan konsentrasi 0,988- 1,100 mg/l terdapat di dekat *outlet* danau, menandakan bahwa senyawa nitrat larut dan hanyut terbawa arus. Di kedalaman 5 meter lokasi yang memiliki konsentrasi antara 0,367-0,433 mg/l,

konsentrasi 0,433-0,500 mg/l, konsentrasi 0,500-0,567 mg/l, konsentrasi 0,567-0,633 mg/l, dan konsentrasi 0,633- 0,700 mg/l, terkonsentrasi di bagian selatan dan bagian tengah Danau Tondano, dipengaruhi oleh buangan dari kegiatan di Danau Tondano yaitu oleh makanan ikan (*pellet*) yang terlarut di kedalaman 5 meter. Pada kedalaman 10 meter dengan konsentrasi nitrat antara 0,367-0,411 mg/l, 0,411-0,456 mg/l, dan konsentrasi 0,456-0,500 mg/l. terakumulasi di bagian selatan, dan timur Danau Tondano. Hal ini terjadi antara lain oleh proses pembusukan bahan organik dari limbah sisa makan ikan (*pellet*) dan pmbusukan tumbuhan air di dnau.

Nitrit

Tempat-tempat di permukaan danau yang memiliki konsentrasi nitrit antara 0,066-0,079 mg/l, konsentrasi 0,079-0,092 mg/l, konsentrasi 0,092-0,105 mg/l, dan konsentrasi 0,105-0,118 mg/l. Terdapat menyebar dan terkonsentrasi pada bagian selatan, timur dan ke arah utara. Di kedalaman 5 meter tempat-tempat yang memiliki konsentrasi 0,057-0,068 mg/l, konsentrasi 0,068-0,080 mg/l, konsentrasi 0,080-0,091 mg/l, dan konsentrasi 0,091-0,102 mg/l, terakumulasi di bagian selatan danau dan di wilayah timur, utara Danau Tondano. Pada kedalaman 10 meter yang memiliki nitrit dengan konsentrasi antara 0,057-0,068 mg/l, konsentrasi 0,068-0,080 mg/l, konsentrasi 0,080-0,091 mg/l, dan konsentrasi 0,091-0,102 mg/l, terakumulasi di bagian selatan danau dan di *outlet* Danau Tondano. Hal ini diduga oleh adanya muara-muara sungai yang menjadi *inlet* danau terdapat di bagian selatan danau yaitu Sungai Panasen (Sungai Saluwangko bergabung dengan Sungai Panasen), dan Sungai Ranoweleng menyebar mengikuti arus air ke bagain utara (*outlet* danau).

Amonia

Ammonia di permukaan danau dengan konsentrasi antara 0,322-0,387 mg/l, konsentrasi 0,387-0,451 mg/l, konsentrasi 0,451-0,516 mg/l, dan konsentrasi 0,516-0,580 mg/l, menyebar secara merata. Sumber ammonia berupa urine dan feses, akan terbawa air masuk ke saluran drainase, ke sungai dan selanjutnya masuk ke danau. Pada kedalaman 5 meter lokasi dengan konsentrasi 0,393-0,440 mg/l, konsentrasi 0,440-0,487 mg/l, konsentrasi 0,487-0,533 mg/l, dan konsentrasi 0,533-0,580 mg/l, terakumulasi tinggi di bagian selatan danau dan menyebar. Hal ini dikaitkan dengan kondisi lingkungan yaitu pH basa menyebabkan transformasi nitrogen ke bentuk ammonia, juga ditentukan oleh sumber ammonia: Urine dan feses (di bagian selatan

danau terdapat aktivitas ternak itik dan terdapat 3 sungai yang menjadi *inlet* danau (Sungai Saluwangko yang bergabung dengan Sungai Panasen, dan Sungai Ranoweleng). Pada kedalaman 10 meter konsentrasi amonia antara 0,393-0,440 mg/l, konsentrasi 0,440-0,487 mg/l, konsentrasi 0,487-0,533 mg/l, konsentrasi 0,533-0,580 mg/l, menyebar secara merata dan lebih banyak terkonsentrasi di *outlet* sungai yang menjadi *inlet* danau (*outlet* Sungai Panasen, *outlet* Sungai Saluwangko, *outlet* Sungai Ranoweleng) di bagian selatan danau.

Pola penyebaran nitrat di permukaan danau adalah terakumulasi di *outlet* danau, hal ini menandakan nitrat terlarut dan terbawa arus. Pola penyebaran nitrit di permukaan danau menyebar dan terkonsentrasi pada bagian selatan, timur dan ke arah utara danau. Pola penyebaran ammonia di permukaan Danau Tondano adalah menyebar secara merata dan lebih banyak terkonsentrasi muara sungai yang menjadi *inlet* danau.

KESIMPULAN

1. Transformasi nitrogen menjadi nitrat, nitrit, ammonia, konsentrasinya terdapat lebih tinggi di daerah masukan (*inlet*) dibandingkan dengan di daerah keluaran (*outlet*), karena *inlet* Danau Tondano adalah *outlet* dari saluran irigasi, tiga sungai yang melewati areal pertanian lahan basah dan lahan kering, permukiman, membawa nutrisi masuk ke Danau Tondano. Danau Tondano menunjukkan bahwa massa N yang tertinggal di Danau Tondano adalah $\text{NO}_3^- = 83.892 \text{ ton}$; $\text{NO}_2^- = 1177 \text{ ton}$; $\text{NH}_3^- = 7683 \text{ ton}$. Dilihat dari kandungan Chlorofil-a Danau Tondano sudah berstatus *eutrof* bahkan sudah mengarah ke *Hipereutrof*.
2. Dampak terhadap lingkungan biotik telah menyebabkan pertumbuhan flora akuatik dengan komposisi yang didominasi oleh *Eichhornia crassipes* dan *Hydrilla verticillata* sehingga indeks dominansi tinggi oleh tutupan *Eichhornia crassipes* dan *Hydrilla verticillata* yaitu terdapat di semua wilayah pesisir Danau Tondano.
3. Sebaran spasial Nitrogen total konsentrasi tinggi terdapat di *outlet* sungai dan *outlet* saluran irigasi, menandakan bahwa daerah tangkapan danau memberikan kontribusi yang besar terhadap proses eutrofikasi danau.
4. Selain daerah tangkapan danau, pemanfaatan perairan danau untuk budidaya perikanan memberi sumbangan terhadap eutrofikasi di sebagian danau.

SARAN

- 1). Sebaiknya dibuat zona pemanfaatan di Danau Tondano dalam rangka untuk pengelolaan dan pemantauan Danau Tondano yang berkelanjutan. Bagian barat Danau Tondano adalah untuk kegiatan pariwisata dan bagian timur Danau Tondano adalah untuk perikanan budidaya dengan mempertimbangkan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup.
- 2). Diupayakan untuk mencegah nutrien masuk ke Danau Tondano yaitu dari aktivitas pertanian dengan menggunakan pupuk organik, aktivitas perikanan budidaya (KJA) dengan menggunakan *pellet* secara optimal

DAFTAR PUSTAKA

- Ahalya, N and Ramachandra T.V. 2001. Wetlands Restoration and Conservation – What, How and Why? *Proceedings of National Conference on Control of Industrial Pollution and Environmental Degradation*. September 14-15, 2001. PSG College of Engineering, Coimbatore : 560-564.
- Bush, M.B., 2000. *Ecology of a Changing Planet*. Prentice Hall, New Jersey.
- Goldman, C. R. and A. J. Horne. 1983. *Limnology*. International Student Edition. Mc. Graw Hill. Int. Book. Co. Tokyo.
- Hehanussa , P dan Haryani,G., 2009. Klasifikasi Morfogenesis Danau di Indonesia untuk Dampak Perubahan Iklim, *Makalah: Konferensi Nasional Danau di Indonesia I di Bali 13-15 Agustus 2009*
- JICA, 2001. The Study on Critical Land and Protection Forest Rehabilitation at Tondano Watershed in Republic of Indonesia. Vol I, *Main Report*, Nippon Koei Co. Ltd and Kokusai Kogyo Co. Ltd.
- Rapaglia, John P., and Henry J. Bokuniewicz. 2009. The effect of groundwater advection on salinity in pore waters of permeable sediments. *Limnology and Oceanography*. Vol. 54(2) : 630-643.
- Sudarmadji, 2009. Perubahan Ekosistem danau sebagai Dampak Kerusakan Daerah Aliran Sungai dan Pengelolaannya. *Makalah Konferensi danau Indonesia I di bali 13-15 Agustus 2009*.
- Wantasen, S., 2012. Sebaran Spasial Ekologi Nitrogen di Danau Tondano. Provinsi Sulawesi Utara. *Disertasi*. Sekolah Pascasarjana, UGM, Yogyakarta.