



Kualitas air Danau Ebony di kawasan Bukit Golf Mediterania, Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara

Water quality of Ebony Lakes in Bukit Golf Mediterania, Pantai Indah Kapuk, North Jakarta

Nawaf Syarif, Sigid Hariyadi*, Majariana Krisanti

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Received 23 August 2024 Received in revised 22 October 2024 Accepted 24 October 2024

ABSTRAK

Danau Ebony merupakan danau buatan yang difungsikan sebagai pengendali banjir dan menambah nilai estetika perumahan di sekitarnya. Penelitian dilakukan dimaksudkan untuk mengevaluasi apakah operasional pengelolaan Danau Ebony mampu memperbaiki kualitas air danau. Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret 2014-Februari 2015 dengan interval waktu satu bulan. Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Indeks Pencemaran dan Indeks STORET. Tingkat pencemaran danau Ebony berdasarkan Indeks STORET memiliki kisaran nilai -40 sampai -52. Nilai Indeks Pencemaran perairan Danau Ebony yang diperoleh untuk permukaan dan dasar perairan berkisar antara 1,54 sampai 10,26. Kondisi Danau Ebony yang tercemar dicirikan oleh parameter-parameter yang melebihi baku mutu air kelas III PP no 82 tahun 2001, di antaranya COD, BOD5, Nitrit, H₂S. Status perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran tergolong tercemar ringan hingga tercemar berat. Berdasarkan Indeks STORET status kualitas air Danau Ebony menunjukkan kondisi tercemar berat pada setiap stasiun dengan kecenderungan musim kemarau lebih tinggi dibandingkan musim hujan.

Kata kunci: baku mutu, Danau Ebony, pencemaran

ABSTRACT

Ebony Lakes is an artificial lake that used as flood control and as an aesthetic function to raise the aesthetic value of the residential. The study was conducted for the purpose of proving that the operational management of the Lake Ebony improve the water quality of the lake. This research was conducted from March 2014-February 2015. Analysis method used in this research is the Pollution Index and STORET Index. Ebony lake contamination levels based STORET Index on the surface and the bottom waters of Ebony Lake range from -40 to -52. Pollution index values that was obtained from the surface and the bottom waters of Ebony Lake range from 1.54 to 10.26. Ebony polluted lake conditions was seen from parameters that was exceeded the quality standards class III PP no 82 tahun 2001, such as COD, BOD5, nitrites, H₂. Status Ebony Lake based on Pollution Index relatively lightly polluted to heavily polluted. Based on STORET Index Ebony Lake, water quality status indicates heavily polluted conditions at each station with a higher trend in dry season than the wet season.

Keywords: *Ebony Lakes, pollution, quality standards*

1. Pendahuluan

Danau Ebony merupakan perairan buatan yang berada di kawasan perumahan Bukit Golf Mediterania Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara. Perairan ini memiliki luas 60.000 m² dengan kedalaman perairan \pm 1,2 m (Setyaningrum 2014). Letak perairan yang berada di selatan Teluk Jakarta menyebabkan air danau bersalinitas payau. Danau Ebony memiliki waktu tinggal air yang cukup lama karena letaknya yang berada di Jakarta Utara yang merupakan daerah dengan curah hujan yang rendah.

Danau Ebony memiliki fungsi untuk mengendalikan banjir di perumahan sekitar danau. Air hujan akan masuk ke danau yang kemudian dipompa keluar secara otomatis ketika melebihi ketinggian air yang telah ditetapkan sebelumnya. Air hujan dan limpasan air permukaan juga menjadi sumber utama air danau. Selain berfungsi sebagai pengendali banjir Danau Ebony memiliki fungsi estetika untuk menaikkan keindahan perumahan yang berada di sekitar perairan.

Danau Ebony mengalami pencemaran berupa bahan organik yang berasal dari limbah domestik rumah tangga sekitar danau. Limbah domestik rumah tangga umumnya mengandung bahan organik yang tinggi yang dapat menurunkan kualitas perairan, sehingga perlu dilakukan pengelolaan untuk menurunkan kadar bahan organik yang dihasilkan oleh limbah rumah tangga. Kluster-kluster di sekitar Danau Ebony memiliki STP (*Sewage Treatment Plant*) yang berfungsi sebagai instalasi pengolahan limbah di sekitar perumahan Bukit Golf Mediterania. Terdapat sebanyak tujuh STP di sekitar danau yang tersebar di setiap kluster yang mengelilingi Danau Ebony. Tujuh STP tersebut adalah STP Ebony, Akasia, Cendana, Damar, Flamboyan, Johar, dan Kenari.

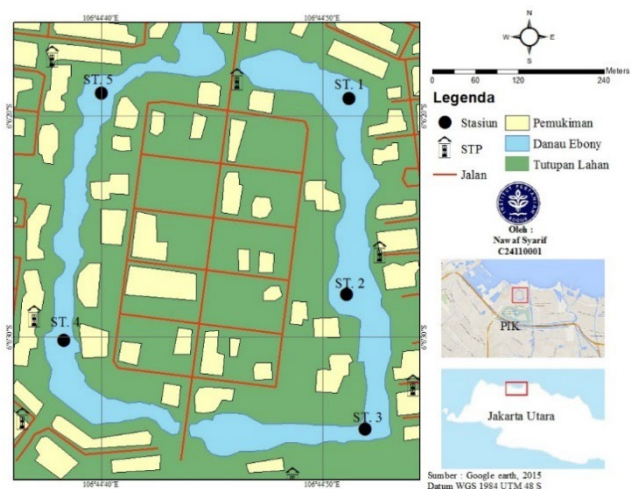
Instalasi pengelolaan limbah (STP) terkadang tidak berfungsi secara optimal sehingga olahan yang dihasilkan kurang baik. Air olahan tersebut akan tertampung di saluran gendong yang terdapat di sekeliling Danau Ebony dan secara otomatis akan terbuang ke laut. Namun, karena letak saluran gendong yang berdekatan dengan perairan membuat air

olahan yang terdapat pada saluran gendong tercampur ke dalam badan air danau saat terjadi luapan. Masuknya air hasil olahan yang berkualitas kurang baik ke perairan secara terus menerus dapat menyebabkan perubahan kualitas air danau. Indikasi perubahan kualitas perairan dapat dilihat dari munculnya bau yang menyengat pada air danau. Oleh karena itu diperlukan pemantauan kualitas air untuk mengetahui pencemaran perairan danau dalam mengevaluasi apakah operasional pengelolaan Danau Ebony dapat memperbaiki kualitas air danau.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di perairan Danau Ebony, Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara, pada bulan Maret 2014 hingga Februari 2015 dan dikelompokkan menjadi musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau terjadi pada bulan April hingga November 2015, sedangkan musim hujan terjadi pada bulan Maret 2014, Desember hingga Februari 2015 (BMKG 2015). Analisis kualitas air dan sedimen dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Peta lokasi penelitian Danau Ebony, Jakarta Utara disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Peta lokasi pengambilan data.

Tabel 1. Parameter yang diamati dan metode analisis.

Parameter	Satuan	Metode Analisis
Kualitas Air ^a		
Warna air	-	Visual
Temperatur	°C	Pemuaian (Termometer)
Kecerahan	Cm	Visual (Secchi disk)
Kekeruhan	NTU	Refraksi cahaya (Turbidimeter)
DHL	µmhos/cm	Potensiometrik (SCT meter)
TSS	mgL ⁻¹	Gravimetri (SCT meter)
TDS	mgL ⁻¹	Gravimetri (SCT meter)
Salinitas	Ppm	Eektrometrik (SCT meter)
pH	-	Elektrometrik (pH meter)
DO	mgL ⁻¹	Modifikasi Winkler (DO meter)
BOD	mgL ⁻¹	5 Day BOD Test
COD	mgL ⁻¹	Dicromatometry
Amonia (NH ₃)	mgL ⁻¹	Phenate Method
Nitrat (NO ₃ ⁻)	mgL ⁻¹	Brucine
Nitrit (NO ₂ ⁻)	mgL ⁻¹	Sulfanilamid
H ₂ S	mgL ⁻¹	Methylene Blue Method
Ortofosfat (PO ₄)	mgL ⁻¹	Ascorbic Acid
Fosfat total	mgL ⁻¹	Persulfat Digestion
Sedimen ^b		
Fosfat total	%	Acid Digestion
Nitrogen total	%	Acid Digestion
Organik Karbon	%	Dicromatometry

^aAPHA tahun 2012 ^bBPT tahun 2005

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data primer kualitas air (fisika dan kimia) pada 5 stasiun dan sedimen pada 3 stasiun yakni pada Stasiun 2 dekat dengan STP dan *wetland*, Stasiun 3 dekat dengan *frame* tanaman air, dan Stasiun 5 dekat tempat pemompaan. Contoh air diambil dengan menggunakan *Van Dorn*, sementara contoh sedimen diambil dengan menggunakan *Van Veen Grab*. Air yang diambil adalah air bagian permukaan dan dasar untuk melihat perbedaan kualitas air pada bagian permukaan dan dasar. Data kualitas air diambil secara langsung (*in situ*) dan melalui analisis laboratorium. Pengumpulan data berupa data primer kualitas air (fisika dan kimia) pada 5 stasiun dan sedimen pada 3 stasiun yakni pada Stasiun 2 dekat dengan STP dan *wetland*, Stasiun 3 dekat dengan *frame* tanaman air, dan Stasiun 5 dekat tempat pemompaan. Contoh

air diambil dengan menggunakan *Van Dorn*, sementara contoh sedimen diambil dengan menggunakan *Van Veen Grab*. Air yang diambil adalah air bagian permukaan dan dasar untuk melihat perbedaan kualitas air pada bagian permukaan dan dasar. Data kualitas air diambil secara langsung (*in situ*) dan melalui analisis laboratorium. Pengumpulan data secara *in situ* meliputi parameter suhu, oksigen terlarut, dan salinitas. Parameter yang dianalisis dalam kualitas air beserta metode analisis yang digunakan dirinci dalam Tabel 1.

2.3. Analisis Data

2.3.1. Indeks Pencemaran

Indeks pencemaran (IP) digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran perairan. Penentuan Indeks pencemaran dilakukan dengan membandingkan konsentrasi parameter kualitas air dengan baku

mutu untuk pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 kelas III dengan rumus sebagai berikut.

$$P = \sqrt{\frac{(C_i/L_{ij})_M^2 + (C_i/L_{ij})_R^2}{2}}$$

Keterangan:

- IP : Indeks Pencemaran
 C_i : konsentrasi parameter kualitas air (i)
 L_{ij} : baku mutu peruntukkan air kelas III
 $(C_i/L_{ij})_M$: nilai maksimum C_i/L_{ij}
 $(C_i/L_{ij})_R$: nilai rata-rata C_i/L_{ij}

2.1.1. Indeks STORET

Indeks STORET ditentukan dengan membandingkan data parameter air dengan baku mutu kelas III sesuai PP Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Penentuan tingkat pencemaran dengan metode ini menggunakan sistem nilai dari US-EPA

(United States-Environmental Protection Agency) dengan mengklasifikasikan mutu air ke dalam empat kelas (Tabel 2).

Sistem penilaian pada Indeks STORET didasarkan pada jumlah pemantauan yang dilakukan, yaitu sebanyak dua belas kali pemantauan pada waktu yang berbeda dan dibedakan berdasarkan musim. Data yang digunakan dalam analisis Indeks STORET adalah gabungan dari data hasil pemantauan kualitas air Danau Ebony selama dua belas bulan ke dalam musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau terhitung sebanyak delapan bulan dan musim hujan sebanyak empat bulan, sehingga pemberian skor yang diberikan adalah < 10 (Tabel 3) karena jumlah pengamatan kurang dari 10. Data kualitas air yang digunakan untuk analisis Indeks STORET meliputi parameter DO, BOD₅, COD, TSS, TDS, pH, nitrat, nitrit, total fosfat, dan sulfida.

Tabel 2. Klasifikasi mutu air dengan sistem nilai US-EPA.

Kelas	Kriteria	Skor	Status Mutu Air
A	Baik sekali	0	Baik
B	Baik	-1 s/d -10	Tercemar ringan
C	Sedang	-11 s/d -30	Tercemar sedang
D	Buruk	≥ -31	Tercemar berat

Tabel 3. Penentuan sistem nilai untuk menentukan status mutu air pada Indeks STORET (Kepmen LH No. 115 Tahun 2003).

Jumlah parameter*	Nilai parameter	Kelompok Parameter		
		Fisika	Kimia	Biologi
< 10	Maksimum	-1	-2	-3
	Minimum	-1	-2	-3
	Rata- rata	-3	-6	-9
≥ 10	Maksimum	-2	-4	-6
	Minimum	-2	-4	-6
	Rata- rata	-6	-12	-18

*) Jumlah pemantauan yang dilakukan dalam menentukan status mutu air

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Operasional Danau Ebony

Danau Ebony merupakan perairan buatan yang memiliki luas 60.000 m² dan kedalaman ± 1,2 m (Setyaningrum 2014). Danau Ebony memiliki bentuk seperti cincin yang tidak sempurna dan terputus di bagian ujung Stasiun 1 dengan Stasiun 5. Danau Ebony dibagi menjadi lima stasiun pengamatan, masing-masing stasiun memiliki keterwakilan terhadap sistem pengelolaan yang berada di dalam danau. Stasiun 1 mewakili lokasi yang dekat pancuran air dan berada jauh dengan STP. Stasiun 2 mewakili lokasi yang berdekatan dengan STP yang mendapatkan masukan dari *wetland* dan terdapat pancuran air di sekitar lokasi Stasiun. Stasiun 3 mewakili lokasi pengamatan yang jauh dari STP dan berada dekat dengan bingkai tanaman air. Stasiun 4 merupakan lokasi yang berada dekat dengan STP, saluran air dari Danau Crown Golf dan

bingkai tanaman air. Stasiun 5 mewakili lokasi yang jauh dari STP dan dekat dengan 2 pancuran air. Stasiun 5 merupakan lokasi terakhir dan setelah lokasi pengamatan tersebut tepatnya berada diujung Danau Ebony terdapat pompa yang berfungsi untuk memompa air danau keluar ketika air melebihi batas ketinggian yang telah ditetapkan sebelumnya. Sumber utama air Danau Ebony adalah limpasan air hujan yang akan mengalir melalui Stasiun 1, 2, 3, 4, 5 secara berurutan dan ketika air danau melebihi batas ketinggian tertentu akan dipompa keluar secara otomatis.

3.1.2. Kualitas Air

Baku mutu air yang digunakan adalah baku mutu air kelas III PP no 82 tahun 2001 untuk perikanan budidaya. Parameter kualitas air yang melebihi baku mutu selama pengamatan adalah BOD₅, COD, Nitrit, dan Sulfida (H₂S). Berikut ini merupakan tabel nilai rata-rata parameter kualitas air selama pengamatan di Danau Ebony (Tabel 4).

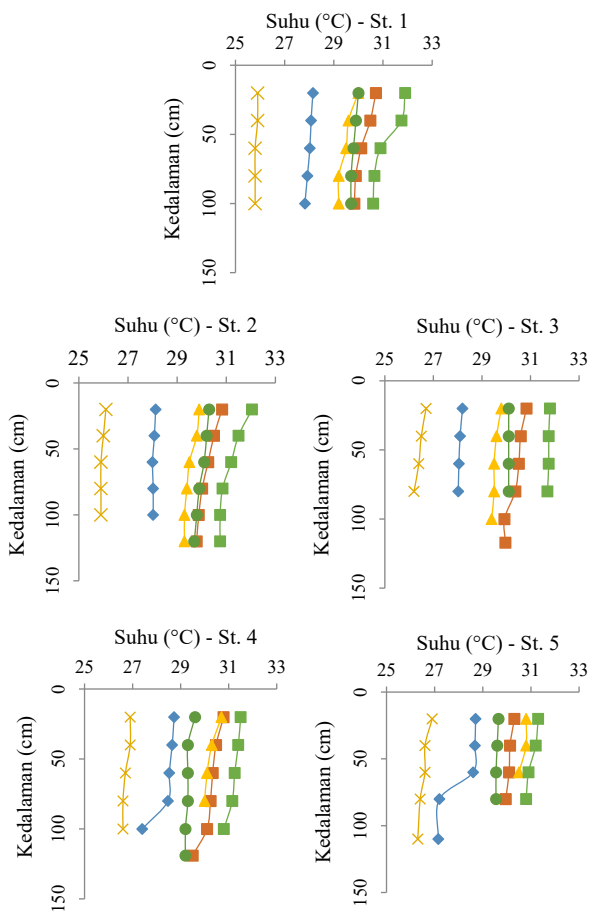
Tabel 4. Parameter kualitas air dan nilai rata-rata selama pengamatan.

No.	Parameter	Satuan	Rata-rata	SD ±	Baku Mutu Kelas III
FISIKA :					
1	Kecerahan	m	18,6720	10,4982	-
2	Kekeruhan	NTU	67,5376	101,7600	-
3	TSS	mgL ⁻¹	117,0688	171,3089	400
4	TDS	mgL ⁻¹	921,4369	829,9123	1000
5	Suhu	°C	29,6311	2,6660	Alami
6	DHL	µmhos/cm	1868,176	584,4196	-
KIMIA :					
1	pH	-	7,6584	0,9893	6-9
2	Salinitas	Ppm	4,2440	2,9723	-
3	DO	mgL ⁻¹	3,3590	2,5100	3
4	BOD ₅ *	mgL ⁻¹	18,1150	7,4229	6
5	COD*	mgL ⁻¹	89,8823	33,7257	50
6	Ammonia	mgL ⁻¹	42,3142	53,0873	-
7	Nitrat	mgL ⁻¹	1,3055	1,2210	20
8	Nitrit*	mgL ⁻¹	0,4035	0,3310	0,06
9	Fosfat terlarut	mgL ⁻¹	0,3732	0,9174	-
10	Total Fosfat	mgL ⁻¹	0,4190	0,9503	1
11	Sulfida*	mgL ⁻¹	0,0711	0,0551	0,002

*) Parameter yang melebihi baku mutu

3.1.3. Distribusi vertikal suhu perairan pada setiap stasiun pengamatan

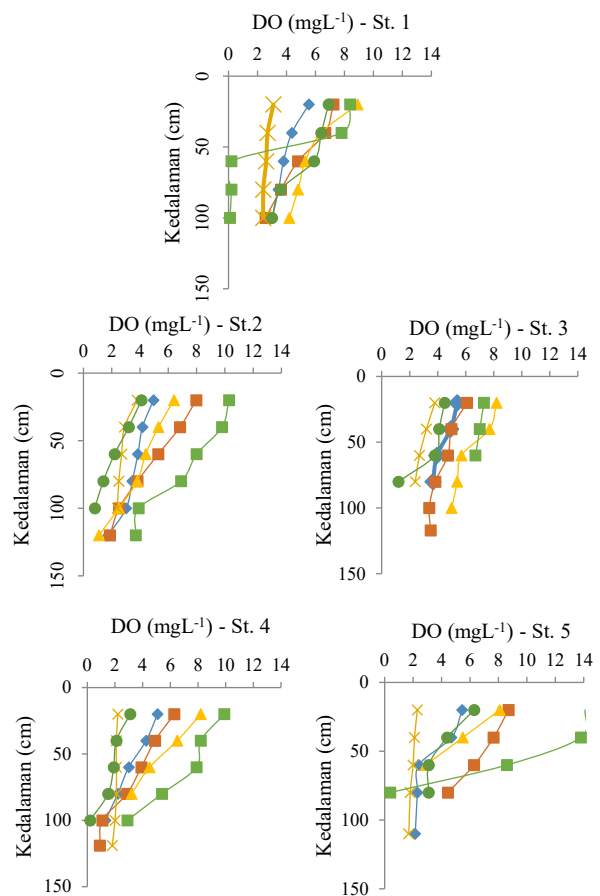
Suhu perairan Danau Ebony pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan pada musim hujan. Selama pengamatan kondisi suhu perairan Danau Ebony mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan. Secara umum pada setiap stasiun pengamatan kondisi suhu perairan tidak terlalu berbeda (Gambar 2).



Gambar 2. Distribusi vertikal konsentrasi suhu pada setiap stasiun pengamatan (■ nilai tertinggi pada musim kemarau, ● nilai terendah pada musim kemarau, ■ nilai rata-rata pada musim kemarau, ▲ nilai tertinggi pada musim hujan, × nilai terendah pada musim hujan, ◆ nilai rata-rata pada musim hujan).

3.1.4. Distribusi vertikal oksigen terlarut pada setiap stasiun pengamatan

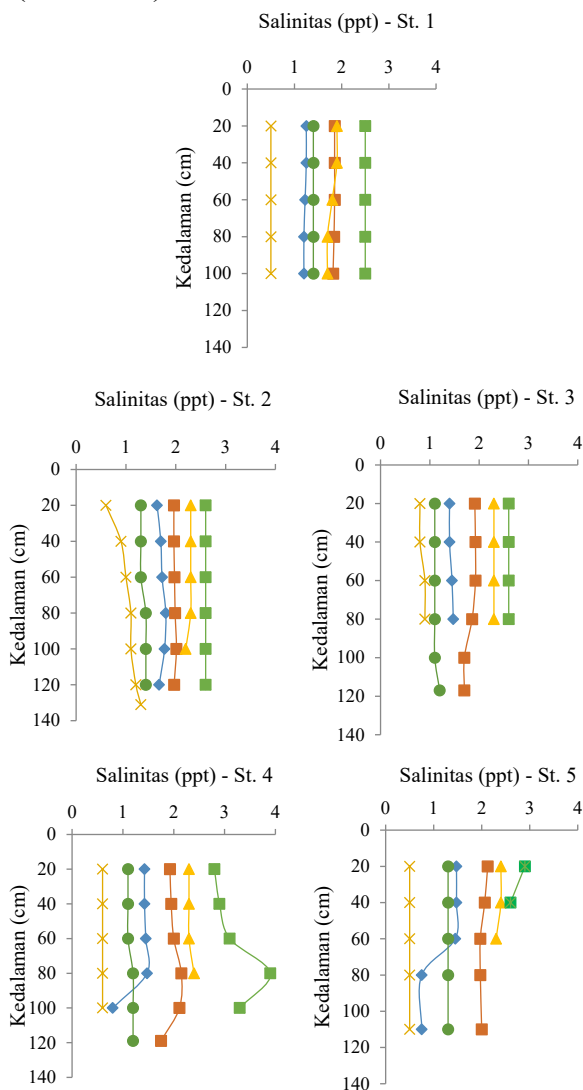
Konsentrasi oksigen terlarut pada setiap stasiun menunjukkan tren penurunan yang mengikuti dengan peningkatan kedalaman. Konsentrasi oksigen terlarut pada musim kemarau secara umum lebih tinggi daripada pada musim hujan (Gambar 3). Kondisi oksigen terlarut pada Stasiun 1 dan Stasiun 3 lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lainnya (Gambar 3).



Gambar 3. Distribusi vertikal konsentrasi oksigen terlarut pada setiap stasiun pengamatan (■ nilai tertinggi pada musim kemarau, ● nilai terendah pada musim kemarau, ■ nilai rata-rata pada musim kemarau, ▲ nilai tertinggi pada musim hujan, × nilai terendah pada musim hujan, ◆ nilai rata-rata pada musim hujan).

3.1.5. Distribusi vertikal salinitas perairan pada setiap stasiun pengamatan

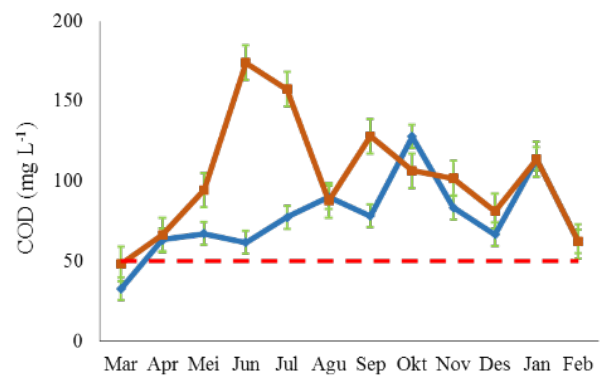
Konsentrasi salinitas Danau Ebony pada musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan (Gambar 4). Secara umum konsentrasi salinitas cenderung stabil dan tidak berubah seiring bertambahnya kedalaman perairan. Konsentrasi salinitas pada setiap stasiun pengamatan secara umum tidak terlalu berbeda (Gambar 4).



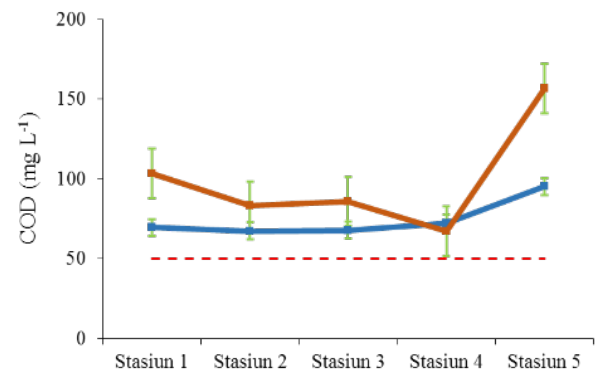
Gambar 4. Distribusi vertikal konsentrasi salinitas pada setiap stasiun pengamatan (nilai tertinggi pada musim kemarau, nilai terendah pada musim kemarau, nilai rata-rata pada musim kemarau, nilai tertinggi pada musim hujan, x nilai terendah pada musim hujan, nilai rata-rata pada musim hujan).

3.1.6. Chemical Oxygen Demand (COD)

Nilai rata-rata tertinggi konsentrasi COD di perairan Danau Ebony pada bagian permukaan terdapat pada pemantauan bulan Oktober dan nilai terendah terdapat pada pemantauan pertama (Gambar 5a). Nilai rata-rata tertinggi COD pada bagian dasar terdapat pada pemantauan bulan Juni dan nilai terendah terdapat pada pemantauan pertama (Gambar 5a). Nilai rata-rata terendah BOD berada pada Stasiun 2 dan tertinggi berada pada Stasiun 5 (Gambar 5b).



(a)

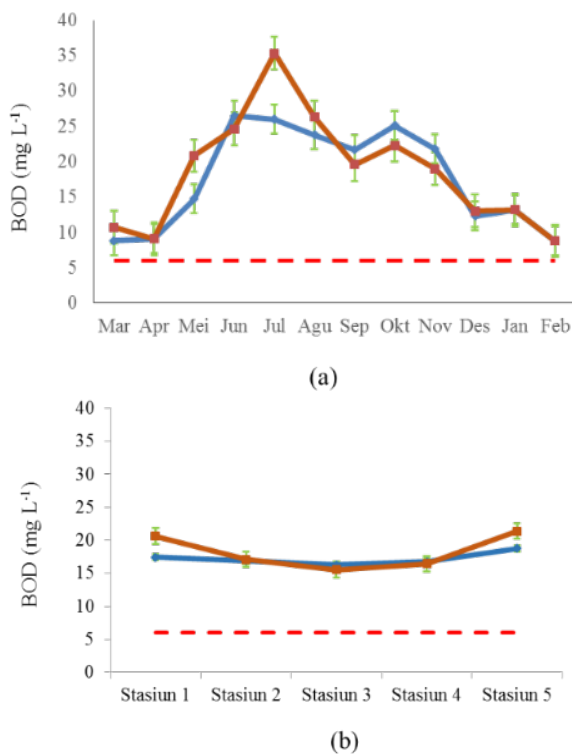


(b)

Gambar 5. Nilai rata-rata COD selama pengamatan (a) temporal, (b) spasial ((— dasar, — permukaan, --- baku mutu, I rentang) (Catatan: bulan Januari dan Februari merupakan campuran air permukaan dan dasar)).

3.1.7. Biochemical Oxygen Demand (BOD5)

Nilai rata-rata tertinggi konsentrasi BOD5 di perairan Danau Ebony pada bagian permukaan terdapat pada pemantauan bulan Juni dan nilai terendah terdapat pada pemantauan bulan Februari (Gambar 6a). Nilai rata-rata tertinggi BOD5 pada bagian dasar terdapat pada pemantauan Juli dan nilai terendah terdapat pada pemantauan bulan Februari (Gambar 6b). Nilai rata-rata terendah BOD5 berada pada Stasiun 3 dan tertinggi berada pada Stasiun 5 (Gambar 6b).

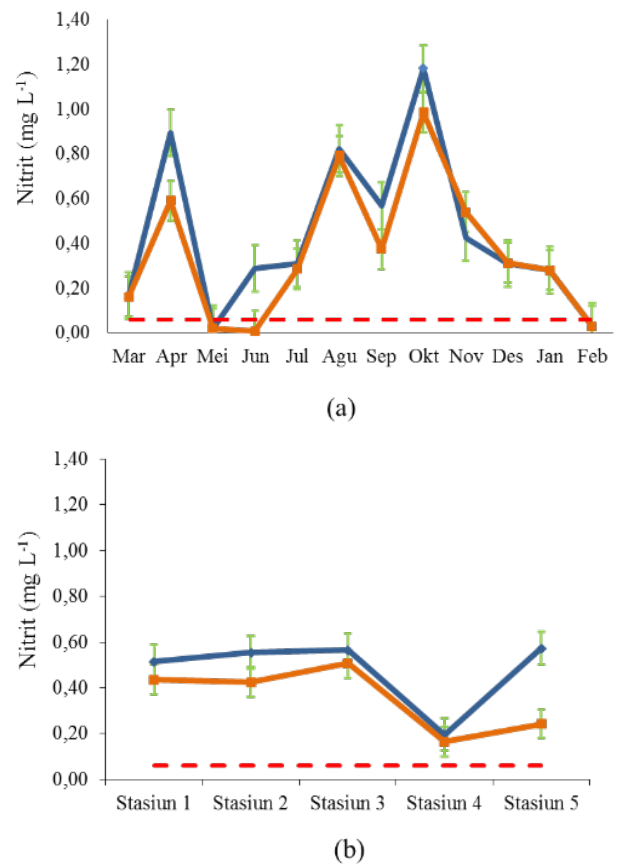


Gambar 6. Nilai rata-rata BOD selama pengamatan (a) temporal, (b) spasial ((— dasar, — permukaan, --- baku mutu, I rentang) (Catatan: bulan Januari dan Februari merupakan campuran air permukaan dan dasar)).

3.1.8. Nitrit (NO₃)

Nilai rata-rata tertinggi konsentrasi nitrit di perairan Danau Ebony pada bagian permukaan terdapat pada pemantauan bulan Oktober dan nilai terendah terdapat pada pemantauan bulan Mei (Gambar 7a). Nilai rata-rata tertinggi pada bagian dasar terdapat pada pemantauan bulan Oktober dan nilai terendah terdapat pada pemantauan bulan Juni (Gambar 7a). Nilai

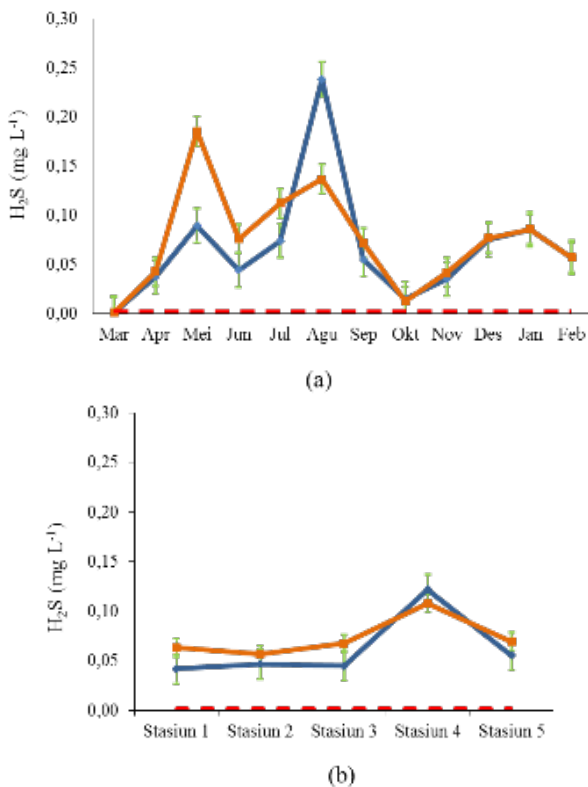
rata-rata terendah nitrit berada pada Stasiun 4 dan tertinggi berada pada Stasiun 5 (Gambar 7b).



Gambar 7. Nilai rata-rata nitrit selama pengamatan (a) temporal, (b) spasial ((— dasar, — permukaan, --- baku mutu, I rentang) (Catatan: bulan Januari dan Februari merupakan campuran air permukaan dan dasar)).

3.1.9. Hidrogen Sulfida (H₂S)

Nilai rata-rata tertinggi konsentrasi H₂S di perairan Danau Ebony pada bagian permukaan terdapat pada pemantauan bulan Agustus dan nilai terendah terdapat pada pemantauan pertama (Gambar 8a). Nilai tertinggi pada bagian dasar terdapat pada pemantauan bulan Mei dan nilai terendah terdapat pada pemantauan pertama (Gambar 8a). Nilai rata-rata terendah H₂S berada pada Stasiun 2 dan tertinggi berada pada Stasiun 4 (Gambar 8b).



Gambar 8. Nilai rata-rata H₂S selama pengamatan (a) temporal, (b) spasial ((— dasar, — permukaan, - - - baku mutu, I rentang) (Catatan: bulan Januari dan Februari merupakan campuran air permukaan dan dasar)).

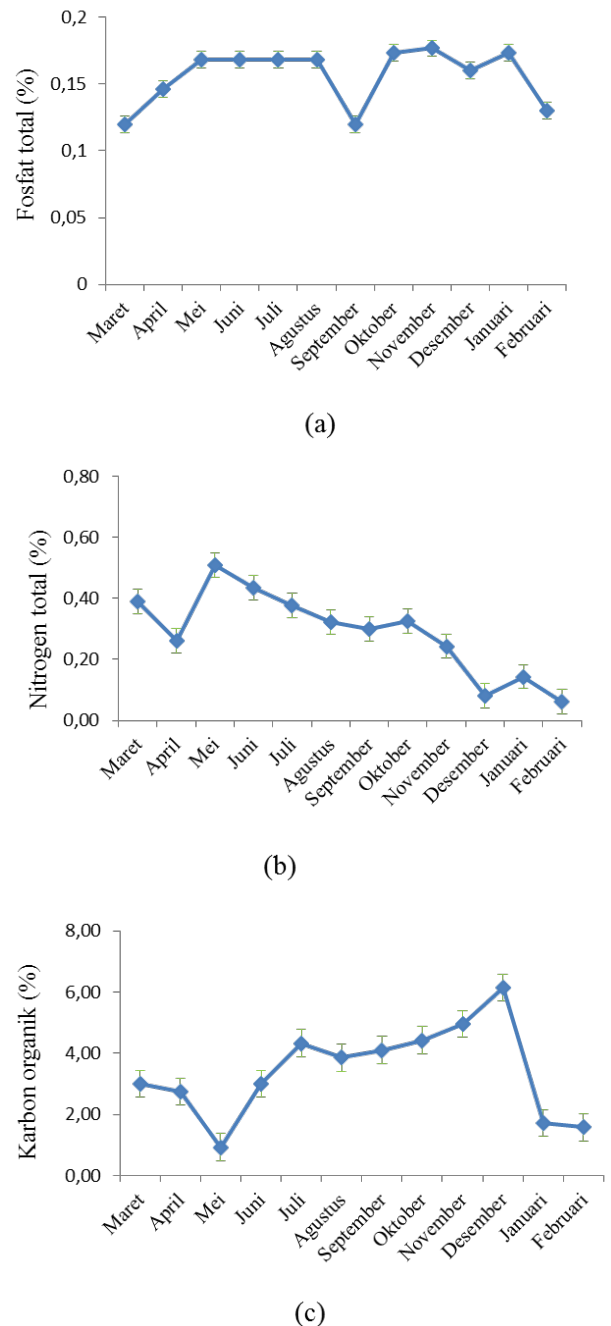
3.1.10. Konsentrasi N, P, dan C pada sedimen

Konsentrasi fosfat total, nitrogen total, dan karbon organik di sedimen menunjukkan hasil yang fluktuasi dengan adanya perubahan konsentrasi selama proses pemantauan (Gambar 9). Nilai rata-rata fosfat terendah terjadi pada bulan September 2014 dan tertinggi pada bulan November 2014. Konsentrasi rata-rata karbon organik terendah pada bulan Mei 2014 dan tertinggi pada bulan Desember 2014. Konsentrasi nitrogen total terendah berada pada bulan Februari 2015 dan tertinggi pada bulan Mei 2014.

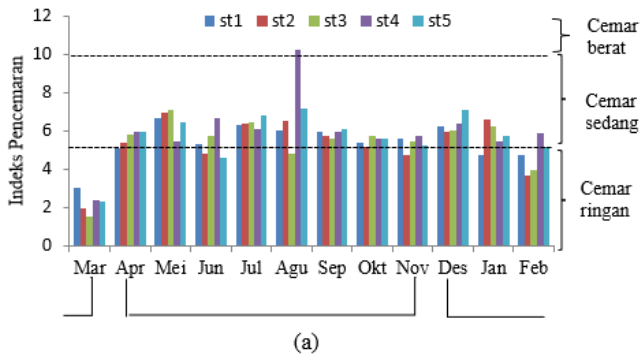
3.1.11. Tingkat pencemaran di perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran (IP)

Kondisi perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran hasil penilaian menunjukkan bahwa perairan Danau Ebony di bagian permukaan dan dasar perairan

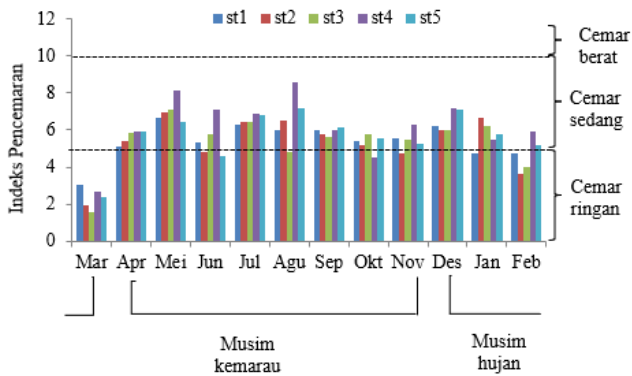
tercemar ringan hingga berat dengan kisaran nilai 1,54 sampai 10,26. Nilai Indeks Pencemaran pada musim kemarau secara umum lebih tinggi dibandingkan musim hujan (Gambar 10). Pada dasar perairan nilai Indeks Pencemaran lebih tinggi dibandingkan pada bagian permukaan (Gambar 10). Nilai Indeks Pencemaran tertinggi secara umum didominasi oleh stasiun 4 (Gambar 10).



Gambar 9. Sebaran secara temporal (a) fosfat total, (b) nitrogen total, (c) karbon organik (I rentang).



(a)

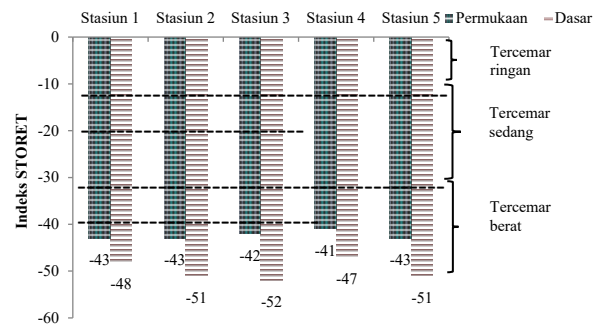


(b)

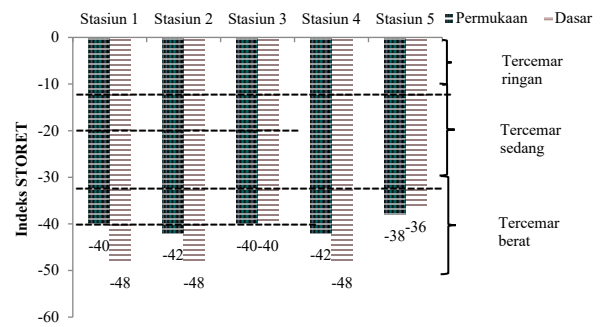
Gambar 10. Tingkat pencemaran Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran (IP) bagian permukaan (a) dan bagian dasar (b) (catatan: bulan Januari dan Februari merupakan hasil komposit antara permukaan dan dasar sehingga hasilnya sama).

3.1.12. Tingkat pencemaran di perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks STORET

Tingkat pencemaran Danau Ebony berdasarkan Indeks STORET pada bagian permukaan dan dasar memiliki status tercemar berat dengan kisaran nilai -40 sampai -52 (Gambar 11). Pada dasar perairan kondisi pencemaran lebih tinggi daripada permukaan. Nilai Indeks STORET pada musim kemarau lebih besar daripada musim hujan (Gambar 11). Pada musim kemarau nilai Indeks STORET terendah berada pada Stasiun 4 dan pada musim hujan nilai terendah berada pada Stasiun 5 (Gambar 11).



(a)



(b)

Gambar 11. Tingkat pencemaran Danau Ebony berdasarkan Indeks STORET musim kemarau (a) dan musim hujan (b).

2.1. Pembahasan

Danau Ebony merupakan perairan buatan yang berada di kawasan perumahan Bukit Golf Mediterania, Pantai Indah Kapuk. Danau Ebony memiliki sistem pengelolaan danau yang dilakukan oleh pihak pengelola Bukit Golf Mediterania. Pengelolaan yang dilakukan antara lain dengan membersihkan danau dari sampah, aplikasi tanaman air dalam bingkai, dan aerasi yang berupa pompa, pemasangan kincir, dan pembuatan air mancur.

Pemasangan pompa, kincir dan air mancur bertujuan untuk menambahkan oksigen ke perairan. Menurut Effendi (2003) difusi oksigen ke perairan dapat terjadi karena adanya pergolakan masa air akibat gelombang atau ombak dan air terjun. Proses penambahan oksigen di perairan disebut aerasi. Selain menambah konsentrasi oksigen di perairan, aerasi juga dapat menurunkan kadar H₂S, amonia, dan fosfor (Rahman 2011). Bentuk hidrogen sulfida (H₂S) di perairan merupakan senyawa yang tidak stabil yang dihasilkan dari

proses perombakan bahan organik secara anaerob. Hidrogen sulfida merupakan senyawa yang tidak berwarna, gas yang sangat berbahaya dan berbau busuk. Konsentrasi H₂S di Danau Ebony selama pengamatan menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu air kelas III perairan sebesar 0,002 mgL⁻¹. Nilai konsentrasi H₂S di Danau Ebony yang diperoleh berkisar 0,001-0,18 mgL⁻¹ (Gambar 8). Menurut Suparjo (2009), pada kondisi H₂S sebesar 0,1-0,2 mgL⁻¹ ikan akan keracunan H₂S dan dapat membahayakan organisme.

Distribusi oksigen terlarut secara vertikal di Danau Ebony semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman perairan (Gambar 3). Menurut Siagian *et al.* (2014), konsentrasi oksigen yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman disebabkan semakin banyaknya bahan organik yang membutuhkan oksigen dalam proses dekomposisi. Distribusi vertikal oksigen terlarut pada danau dipengaruhi oleh biomassa fitoplankton yang berpengaruh pada produksi oksigen serta konsumsi oksigen (Schladow 1997). Oksigen terlarut di perairan dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan maupun proses dekomposisi, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan (Amanah 2011).

Konsentrasi oksigen di permukaan sangat dipengaruhi oleh proses fotosintesis fitoplankton dan penetrasi cahaya ke dalam danau sebagai elemen penting dalam proses fotosintesis (Barus 2004). Penetrasi cahaya ke dalam danau juga mempengaruhi dapat mempengaruhi suhu perairan. Suhu perairan sangat berpengaruh terhadap semua aktivitas metabolisme dan aktifitas psikologis, serta proses yang diperlukan dalam bertahan hidup oleh biota perairan seperti proses memakan, pergerakan dan distribusi organisme (Senthikumar 2008).

Berdasarkan tipe distribusi oksigen terlarut secara vertikal Danau Ebony tergolong tipe clinograde. Clinograde merupakan tipe perairan dimana kondisi oksigen terlarut semakin berkurang dengan bertambahnya kedalaman atau bahkan habis sebelum mencapai dasar (Wetzel 2001). Penurunan

konsentrasi oksigen ini disebabkan oleh adanya proses dekomposisi bahan organik oleh organisme. Menurut Salmin (2005), oksigen terlarut dibutuhkan dalam proses oksidasi untuk perombakan (dekomposisi) bahan organik oleh mikroorganisme.

Kondisi oksigen yang semakin berkurang di dasar perairan Danau Ebony diduga karena adanya kandungan bahan organik fosfat total dan nitrogen total di sedimen (Gambar 9). Fosfat total dan nitrogen total di sedimen yang tinggi menunjukkan indikasi adanya peningkatan konsumsi oksigen terlarut oleh aktivitas mikroorganisme sebagai hasil perombakan (dekomposisi) bahan organik di sedimen. Sedimen merupakan sumber dan tempat menampung fosfat perairan (Ruhmayati 2010). Tingginya kadar fosfat disebabkan oleh limbah minyak dan limbah domestik yang banyak mengandung kadar fosfat (Barus 2004) yang dapat menyebabkan penyuburan perairan (Lambert *et al.* 1992).

Konsentrasi total fosfat pada sedimen Danau Ebony berkisar 0,12% - 0,18% (Gambar 9a). Konsentrasi nitrogen total pada sedimen danau Ebony berkisar antara 0,06% sampai 0,44% (Gambar 9b). Menurut A'in (2009) perairan dengan kandungan Nitrogen total 0,1% - 0,3% termasuk dalam kriteria rendah, 0,3% - 0,6% termasuk dalam kriteria sedang dan 0,6% - 1,0% termasuk dalam kriteria tinggi. Selain nitrogen total dan fosfat total terdapat juga karbon organik dalam sedimen. Konsentrasi karbon organik pada sedimen di Danau Ebony mengalami fluktuasi dengan kisaran 0,93 % sampai 6,14 % (Gambar 9c).

Aplikasi tanaman air yang digunakan pada pengelolaan Danau Ebony adalah dengan menggunakan Eceng gondok (*Eichornia sp.*). Pemilihan Eceng gondok dalam pengelolaan Danau Ebony dilakukan karena menurut penelitian Gupta (2012), Eceng gondok dapat menurunkan zat pencemar seperti TSS, TDS, DHL, BOD, COD, nitrogen, fosfor, logam berat, dan pencemar lainnya. Eceng gondok cukup efektif dalam menurunkan kadar nitrat dan sulfat perairan. Kemampuan Eceng gondok dalam menurunkan zat pencemar di perairan karena adanya akar yang banyak dan

panjang membuat proses penyerapan menjadi semakin cepat dan mampu mengumpulkan lumpur maupun partikel-partikel terlarut yang larut dalam air. Menurut Setyanigrum (2014), penggunaan Eceng gondok pada pengelolaan Danau Ebony lebih efektif dibandingkan Kayu apu (*Pistia sp.*) dalam menurunkan kadar zat pencemar yang ada di dalam perairan. Aplikasi tanaman air Eceng gondok di Danau Ebony bermula pada bulan Desember 2013.

Hasil pengamatan konsentrasi nitrit di Danau Ebony menunjukkan bahwa konsentrasi nitrit telah melebihi baku mutu air kelas III sebesar $0,06 \text{ mgL}^{-1}$ (Gambar 7). Konsentrasi nitrit di Danau Ebony yang melebihi baku mutu diduga disebabkan banyaknya bahan organik di dalam danau yang menyebabkan meningkatnya proses nitrifikasi antara amonia menjadi nitrit dengan perubahan nitrat menjadi nitrit. Nitrit dalam jumlah yang besar dapat mengikat oksigen dalam air yang mengakibatkan air kekurangan oksigen. Bagi makhluk hidup nitrit lebih toksik daripada nitrat (Effendi 2003).

Konsentrasi BOD dan COD di Danau Ebony secara umum telah melebihi baku mutu (Gambar 6 dan 7). Kondisi tersebut menunjukkan adanya pencemaran bahan organik yang tinggi. Pencemaran bahan organik tersebut diduga berasal dari limbah domestik sekitar danau. Menurut Suhartono (2009) dan Handayani *et al.* (2011), limbah domestik hasil rumah tangga mengandung bakteri, mengandung bahan organik, dan padatan tersuspensi sehingga nilai BOD biasanya tinggi.

Konsentrasi BOD dan COD terendah berada pada Stasiun 3 yang letaknya berdekatan dengan bingkai tanaman air Eceng gondok (Gambar 6b dan 7b). Eceng gondok cukup efektif dalam mengurangi konsentrasi BOD dan COD sesuai dengan penelitian Zimmels (2006) bahwa Eceng gondok dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi COD dan BOD dari air limbah. Menurut Dewi (2012), Eceng gondok berpengaruh nyata dalam mengurangi bahan-bahan organik yang terdapat pada limbah domestik. Efektivitas penggunaan Eceng gondok dalam memperbaiki kualitas air Danau Ebony secara

umum tidak menunjukkan adanya perbaikan. Pada penelitian ini nilai parameter COD justru mengalami peningkatan dan parameter DO justru menurun (Tabel 5). Peningkatan konsentrasi COD diduga akibat dari pembuangan limbah secara langsung ke danau tanpa melalui STP oleh masyarakat secara sembunyi-sembunyi. Berikut ini merupakan Tabel perbandingan konsentrasi rata-rata DO, BOD₅, dan COD pada penelitian yang sebelumnya dengan penelitian saat ini.

Tabel 5. Perbandingan konsentrasi rata-rata parameter DO, BOD, dan COD.

Parameter	Setyanigrum (2014)		Penelitian ini	
	Desember 2013	Februari 2014	Maret 2014	Februari 2015
DO (mgL^{-1})	5,8	8,6	3,52	3
BOD ₅ (mgL^{-1})	16,1	6,2	8,84	8,8
COD (mgL^{-1})	211	63	32,7	62,2

Perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran tergolong tercemar ringan hingga berat dengan kisaran nilai 1,54 hingga 10,52. Kondisi Danau Ebony yang tercemar ringan terjadi pada bulan Maret 2014, setelah itu kondisi pencemaran Danau Ebony cenderung meningkat. Secara umum tingkat pencemaran Danau Ebony berfluktuasi untuk setiap bulan pengamatan. Fluktuasi nilai Indeks Pencemaran ini disebabkan oleh adanya fluktuasi masukan bahan organik ke dalam danau. Fluktuasi masukan bahan organik ke danau menyebabkan bertambahnya beban tanaman air dalam mengurangi bahan organik, sehingga tingkat pencemaran perairan danau menjadi berfluktuasi.

Tingkat pencemaran perairan tertinggi berada pada bulan Agustus 2014, hal ini diduga karena pada bulan tersebut merupakan bulan puncak musim kemarau (Gambar 10). Berdasarkan parameter yang melebihi baku mutu pada bulan Agustus nilai rata-rata H₂S lebih tinggi dibandingkan dengan bulan pemantauan lain (Gambar 8). Perbandingan nilai rata-rata H₂S terhadap baku pada bulan Agustus lebih tinggi dibandingkan dengan parameter lain sehingga dapat diduga penyebab tingginya nilai IP pada bulan Agustus adalah konsentrasi H₂S di perairan.

Pola pencemaran Danau Ebony untuk di

dasar dan permukaan berbeda, dimana di dasar perairan kondisi air lebih tercemar dibandingkan dengan permukaan. Kondisi pencemaran danau yang ada di dasar perairan lebih tinggi dibandingkan dengan permukaan karena pada umumnya bahan pencemar akan mengendap di dasar perairan.

Status mutu perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks STORET tergolong tercemar berat baik pada musim hujan maupun musim kemarau dengan kisaran nilai sebesar -31 hingga -52 (Gambar 11). Kondisi pencemaran Danau Ebony pada musim kemarau lebih tinggi daripada musim hujan karena pada musim kemarau waktu tinggal air danau lebih lama sehingga bahan pencemar akan mengendap di dasar perairan. Pada musim hujan kondisi pencemaran berdasarkan Indeks STORET lebih rendah karena umumnya waktu tinggal air danau menjadi lebih cepat.

Danau Ebony memiliki waktu tinggal (*Retention time*) yang cukup lama dan tergantung dengan perubahan musim. Pada musim hujan waktu tinggal air Danau Ebony lebih cepat dikarenakan kedalaman perairan danau yang cukup dangkal. Perairan danau yang dangkal akan mempercepat bertambahnya volume air ketika hujan lebat sehingga pihak pengelola akan memompa air danau untuk mengurangi volume air danau. Berbeda hal dengan musim kemarau dimana curah yang rendah akan menyebabkan waktu tinggal air danau menjadi lama karena sistem Danau Ebony yang cenderung tertutup. Sistem pengaturan yang digunakan dalam pengelolaan air danau adalah dengan pengaturan volume air danau. Ketika hujan volume air akan dipantau dengan batas ketinggian tertentu yang kemudian air akan dipompa keluar danau apabila telah melebihi batas ketinggian air yang telah ditentukan.

Parameter kualitas air yang menjadi penyebab tingginya nilai pencemaran untuk Indeks STORET dan Indeks Pencemaran secara umum relatif sama kecuali untuk parameter oksigen terlarut (Tabel 6). Parameter oksigen terlarut pada Indeks Pencemaran hanya ditemui pada bulan Maret dan April 2014. Terdapat perbedaan status

pencemaran perairan Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran dan Indeks STORET. Status pencemaran perairan untuk Indeks Pencemaran diperoleh hasil kondisi perairan yang lebih baik dibandingkan dengan Indeks STORET. Perbedaan status pencemaran tersebut karena adanya perbedaan sistem penilaian pada kedua metode tersebut. Salah satu perbedaan tersebut terkait dengan jumlah data yang digunakan dalam penentuan status mutu perairan. Penentuan status mutu perairan dengan Indeks STORET memerlukan satu series data kualitas air yang terdiri atas sedikitnya dua buah data pengamatan pada lokasi yang sama, sedangkan untuk Indeks Pencemaran dapat ditentukan hanya dengan satu buah data pengamatan kualitas air.

Tabel 6. Parameter kualitas penyebab tingginya nilai pencemaran.

Parameter kualitas air	
Indeks Pencemaran	Indeks STORET
Padatan Terlarut (TDS)	Padatan Terlarut (TDS)
Oksigen Terlarut (DO)	Oksigen Terlarut (DO)
BOD ₅	BOD ₅
COD	COD
Nitrit (NO ₂ ⁻)	Nitrit (NO ₂ ⁻)
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	Hidrogen Sulfida (H ₂ S)

Suwari (2010) menyatakan bahwa Indeks Pencemaran memiliki toleransi yang cukup besar atau kurang sensitif terhadap perbedaan nilai parameter pencemaran. Indeks Pencemaran dapat lebih menjelaskan kondisi yang sebenarnya namun Indeks STORET lebih baik digunakan dalam acuan pengelolaan untuk meningkatkan usaha perbaikan kualitas air. Menurut Saraswati *et al.* (2014), Indeks STORET cukup sensitif merespon dinamika kualitas air di setiap lokasi dengan sedikit atau banyak parameter. Sensitivitas Indeks STORET menjadi berkurang ketika data pengamatan kualitas air menunjukkan hasil yang melebihi baku mutu secara signifikan. Hal ini justru menjadikan Indeks STORET tidak sensitif terhadap besaran perubahan nilai kualitas air dengan baku mutu. Penurunan sensitivitas ini dapat menyebabkan terjadinya kesalahan penafsiran terhadap status

pencemaran perairan yang sebenarnya. Selain itu Indeks STORET juga tidak dapat menjelaskan kondisi status kualitas air pada satu waktu pengamatan.

Indeks pencemaran dapat memberikan penilaian yang lebih baik terhadap status mutu perairan dibandingkan dengan Indeks STORET, karena dalam penilaiannya Indeks Pencemaran menggunakan perbandingan yang proporsional dengan baku mutu perairan. Indeks STORET dalam memberikan penilaian hanya berdasarkan pada melebihi atau tidaknya data kualitas air dengan baku mutu dan kemudian diberikan skor sesuai dengan jumlah pengamatan dan jenis data pengamatan (fisika, kima, biologi). Indeks Pencemaran memiliki keunggulan dapat melihat perubahan tingkat pencemaran perairan selama waktu pemantauan.

Terdapat perbedaan nilai pencemaran Danau Ebony yang diperoleh terhadap penelitian yang sudah ada sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan terjadi peningkatan pencemaran dibandingkan dengan penelitian Setyaningrum (2014), baik dengan metode STORET maupun Indeks Pencemaran. Nilai Indeks STORET pada penelitian ini sebesar -33 hingga -51 dibandingkan penelitian sebelumnya sebesar -9 hingga -55. Adapun nilai Indeks Pencemaran pada penelitian ini sebesar 1,54 hingga 10,52 dibandingkan penelitian selumnya sebesar 1,4 hingga 4,9. Perbedaan ini diduga akibat dari proses pengelolaan danau yang tidak berjalan konsisten dan optimal seperti yang diharapkan pada umumnya. Selain itu bahan pencemar yang masuk ke perairan diduga lebih banyak dibandingkan dengan penelitian yang ada sebelumnya sehingga sistem pengelolaan Danau Ebony tidak mampu mengelola limbah secara optimal.

Dengan dilakukannya penelitian ini, status mutu kualitas air Danau Ebony berdasarkan Indeks Pencemaran menunjukkan hasil tercemar ringan hingga berat dengan dicirikan oleh parameter TDS, DO, BOD₅, COD, NO₂⁻, dan H₂S. Parameter kualitas air tersebut merupakan penciri banyaknya bahan organik di perairan danau. Banyaknya bahan organik di perairan Danau Ebony diduga disebabkan

oleh luapan hasil pengolahan limbah STP melalui saluran gendong dan hasil buangan limbah rumah tangga langsung ke dalam perairan oleh masyarakat sekitar perumahan. Kondisi pencemaran Danau Ebony juga dipengaruhi oleh musim dimana pada musim kemarau kondisi pencemaran relatif lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan.

Upaya perbaikan kualitas air Danau Ebony dapat dilakukan dengan pemantauan volume limbah yang masuk ke dalam perairan, sehingga dalam proses pengelolaan dapat berjalan secara optimal. Penegakkan aturan dalam pembuangan limbah domestik perumahan perlu dilakukan untuk menurunkan volume limbah yang masuk ke danau. Penutupan saluran gendong yang ada di sekeliling Danau Ebony dapat dilakukan untuk mencegah masuknya luapan air hasil olahan yang kurang baik dari STP. Optimalisasi dan perbaikan sistem pengelolaan limbah (STP) dapat dilakukan untuk menghasilkan hasil olahan limbah yang sesuai dengan baku mutu.

4. Kesimpulan

Operasional pengelolaan Danau Ebony berjalan kurang optimal yang ditunjukkan dengan adanya fluktuasi nilai pencemaran. Status pencemaran danau berdasarkan Indeks Pencemaran tergolong tercemar ringan hingga berat dengan kecenderungan musim kemarau lebih tinggi dibandingkan dengan musim hujan. Tingginya nilai Indeks Pencemaran Danau Ebony disebabkan oleh parameter TDS, DO, BOD₅, COD, NO₂⁻, dan H₂S.

Perlu adanya evaluasi dan perbaikan dalam sistem pengelolaan Danau Ebony oleh pihak pengelola terutama sistem pengawasan terhadap volume limbah yang masuk ke danau.

Daftar Pustaka

- American Public Health Association [APHA]. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Ed ke-22. American Water Works Association [AWWA], Water Environment Federation [WEF]. Washington DC (US): APHA.
- [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Darmaga

- Bogor. 2015. *Data Curah Hujan Tahun 2015*. Bogor (ID): BMKG.
- Chapman, D. 2000. *Water Quality Assesment*. E & FN Spon. London.
- Costa OS, Nimmo M, Cordier E. 2008. Coastal nitrification in Brazil: A Review of The Role of Nutrien Excess on Coral Reef Demise. *Journal of South American Sciences*. Vol (210). Hal. 257-270.
- Dwight RH, Caplan JS, Brinks MV, Catlin SN, Buescher G, Semenza JC. 2011. Influence of variable precipitation on coastal water quality in Southern California. *Water Environmet Research*. 83(12):2121-2130.
- Ford D, Williams P. 1989. *Karst Geomorphology and Hidrology*. London: Chapman and Hall.
- Guo F, Yuan D, Qin Z. 2009. Groundwater Contamination in Karst Areas of Southwestern China and Recommended Countermeasure. *Karst Dynamics*. Vol 39(2). Hal.389-399.
- Hadijah O. 2002. *Kajian Morfometri dan Karakteristik Kualitas Air Situ Cilala, Kemang, Bogor, Jawa Barat*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Herlambang A. 2005. *Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya*. *Jurnal Lingkungan..* Vol 2 (1). Hal 1-14.
- Hoerunisa I. *Kajian Morfometri dan Karakteristik Kualitas Air Perairan Situ Malangnegah, Kecamatan Ciseeng, Kabupaten Bogor, Jawa Barat*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [KepMenLH] *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup*. 2003. *Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 115 Tahun 2003 tentang Pedoman Penentuan Status Mutu Air*. Jakarta (ID): KepMenLH.
- Kurniawan B. 2006. *Analisis Kualitas Air Sumur Sekitar Wilayah Tempat Pembuangan Akhir Sampah (Studi Kasus di TPA Galuga Cibungbulang Bogor)*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Kusnaedi.2010. *Mengolah Air Kotor Untuk Air Minum*. Penebar Swadaya: Jakarta
- Maniagasi R, Tumembouw SS, Mundeng Y. 2013. Analisis Kualitas Fisika Kimia Air di Areal Budidaya Ikan Danau Tondano Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Budidaya Perairan*. Vol 1 (2). Hal 29-37.
- Nugroho N. 2002. *Analisis Beberapa Aspek Limnologis Situ Cibuntu, Cibinong, Bogor, Jawa Barat*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ott WR. 1978. *Enviromental Indices: Theory and Practice*, Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan, 1978.
- Ouseph PP, Prasanthan V, Abhilash PP, Udayakuma P. 2007. Occurrence and Distribution of Some Enteric Bacteria Along The Soutern Coast of Kerala. Chemical Science Division, Centre For Earth Science Studies Thiruvananthapuram India. *Indian Journal of Marine Science*. Vol 38 (1). Hal. 97-103.
- Permana RS. 2012. *Kelayakan Air Sumur Sebagai Sumber Air Bersih di Desa Sendangsari Kecamatan Pajangan Kabupaten Bantul*. [skripsi]. Yogyakarta (ID): Universitas Negeri Yogyakarta.
- [PerMenLH] *Perturan Menteri Lingkungan Hidup*. 2008. *Peraturan Menteri Lingkunga Hidup Nomor 20 Tahun 2008 tentang Petunjuk Teknis Standar Pelayanan Minimal Bidang Lingkungan Hidup Daerah Provinsi*. Jakarta (ID): PerMenLH.
- Rosadi D. 2006. *Tinjauan Kualitas Air Tanah di Daerah Karst Sukolilo dan Sekitarnya, Kabupaten Pati, Jawa Tengah*. *Jurnal Geologi Tata Lingkungan*. Vol 16 (1). Hal 24-27.
- Saeni MS. 1989. *Kimia Lingkungan*. Depdikbud, Ditjen Pendidikan Tinggi. PAU – Ilmu Hayat, IPB. Bogor.
- Salmin. 2005. *Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) Sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan*. *Jurnal Oseana*. Vol 30 (3). Hal 21-26.

- Stankovic I, Ivancica T, Furax L. 2010. Crustacean Plankton Community in Gypsum Karst Lakes and Their Relation to Abiotic Parameters. *Journal Hylobiologia*. Vol 666. Hal 145-153.
- Subchan M. 2008. Kajian Keberadaan Penambangan Marmer di Karst Hutan Lindung Bulusaraung Studi Kasus di Kelurahan Leang-Leang Kecamatan Bantimurung, Kabupaten Maros, Provinsi Sulawesi Selatan. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Subratayati AMF. 2008. Kajian Tentang Pengembangan Sumberdaya Air Sungai Bawah Tanah Bribin di Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul DIY. [tesis]. Surakarta (ID): Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Vaheedunnisha, Shukla SK. 2013. Water Quality Assessment of Roop Sagar Pond of Satna using NSF-WQI. *International Journal of Innovative Research In Science, Engineering and Technology*. Vol 2. Hal 5.
- Vuckovic I, Bozak I, Ivkovic M. 2009. Composition and Structure of Benthic Macroinvertebrate Communities in The Mediterranean Karst River The Cetina And Tributary The Ruda, Croatia. *Journal Scientific*. Vol 18(1). Hal 49-82.
- Wetzel RG. 2001. Limnology. Lake and River Ecosystems. 3rd. Ed. Academic Press, San Diego, CA, USA
- Welch EB, Lindell T. 1992. Ecological effects of Wastewater: Applide Limnology and Pollution Effects. Chambridge University Press. 452p.