



Kesuburan Perairan dan Komunitas Fitoplankton Danau Toba di Wilayah Kecamatan Ajibata Kabupaten Toba Samosir

Water Fertility and Phytoplankton Community of Lake Toba, Ajibata District, Toba Samosir Regency

YUDHI SOETRISNO GARNO*

Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan, BRIN
Gedung 820 Geostech, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten
*yusoegarno@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 8 November 2021

Accepted 27 June 2022

Published 31 July 2022

Keywords:

Toba

Water fertility

Phytoplankton

Abundance

ABSTRACT

In order to determine the waters fertility and Phytoplankton abundance of Lake Toba in the Ajibata District, and to compare them with other sub-districts in Lake Toba, this study was conducted. The research was conducted by in-situ observation and sampling for laboratory analysis according to ISO 5667-6:2014 and ISO 5667-3:2012 procedures. This study revealed that the waters of Lake Toba in the District of Ajibata contain total dissolved inorganic nitrogen (nitrite-N, nitrate-N and $\text{NH}_4\text{-N}$) dissolved 0.158–0.290 mg/l; and total phosphate 0.040–0.060 mg/l. This indicates that the waters are already included in fertile waters. These waters are inhabited by at least 24 types of phytoplankton which are included in 4 classes, namely Bacillariophyceae (11 sp.), Chlorophyceae (8 sp.), Cyanophyceae (3 sp.) and Dinophyceae (2 sp.). Even though they are fertile waters, when compared to the waters of Lake Toba in other sub-districts, the concentration of inorganic nitrogen and total phosphate is still much lower. This study also revealed that the presence of floating net cage (KJA) greatly affected the concentration of dissolved nitrogen and phosphate as well as the abundance of phytoplankton in the vicinity. This study did not show a positive correlation between nutrient concentration and abundance of phytoplankton where waters with higher nutrient concentrations did not always have a higher abundance of phytoplankton.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 8 November 2021

Disetujui 27 Juni 2022

Diterbitkan 31 Juli 2022

Kata kunci:

Toba

Kesuburan

Fitoplankton

Kelimpahan

ABSTRAK

Dalam rangka mengetahui kesuburan perairan dan komunitas fitoplankton Danau Toba di wilayah Kecamatan Ajibata, dan perbandingannya dengan wilayah kecamatan lain di Danau Toba penelitian ini dilakukan. Penelitian dilakukan dengan pengamatan in-situ dan pengambilan sampel untuk analisis laboratorium sesuai prosedur ISO 5667-6:2014 dan ISO 5667-3:2012. Penelitian ini mengungkapkan bahwa perairan Danau Toba di Wilayah Kecamatan Ajibata mengandung total nitrogen anorganik (nitrit-N, nitrat-N dan $\text{NH}_4\text{-N}$) terlarut 0,158–0,290 mg/l; dan total fosfat 0,040–0,060 mg/l. Hal ini mengisyaratkan bahwa perairan tersebut sudah terasuk perairan yang subur. Perairan tersebut dihuni oleh paling sedikit 24 jenis fitoplankton yang termasuk dalam 4 kelas yakni *Bacillariophyceae* (11 sp.), *Chlorophyceae* (8 sp.), *Cyanophyceae* (3 sp.) dan *Dinophyceae* (2 sp.). Meskipun termasuk perairan yang subur namun jika dibandingkan dengan perairan Danau Toba di wilayah kecamatan lain konsentrasi nitrogen anorganik dan total fosfat tersebut masih jauh lebih kecil. Penelitian ini juga mengungkapkan bahwa keberadaan keramba jaring apung (KJA) sangat berpengaruh terhadap konsentrasi nitrogen dan fosfat terlarut serta kelimpahan fitoplankton disekitarnya. Penelitian ini tidak menunjukkan adanya korelasi positif antara konsentrasi hara dan kelimpahan fitoplankton dimana perairan dengan konsentrasi hara yang lebih tinggi tidak selalu memiliki kelimpahan fitoplankton yang lebih tinggi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Tahun 2010–2025; kawasan Toba dan sekitarnya diutamakan untuk pengembangan pariwisata (Anonim, 2012). Sebagai daerah pengembangan pariwisata maka selain diperlukan untuk bahan baku air minum, perairan Danau Toba juga diperlukan sebagai objek dan sarana berbagai macam atraksi wisata, sehingga air Danau Toba harus memenuhi baku mutu air Kelas Satu dan air Kelas Dua (Anonim, 2021). Untuk menjadi sarana dan prasarana pariwisata, perairan Danau Toba diharapkan selalu jernih dan bebas dari bakteri dan virus penyebab gatal dan penyakit kulit lainnya. Kondisi tersebut tidak akan terjadi jika badan air Danau Toba mengalami eutrofikasi oleh unsur hara yang berasal dari luar badan air yang masuk melalui sungai dan daratan sekitarnya serta dari dalam badan air yang berasal dari limbah budidaya ikan dengan keramba jaring apung atau KJA (Barus, 2007; Rismawati, 2010; Haro, 2013; Siagian, 2013).

Peningkatan kesuburan perairan pada danau dengan peruntukan sarana wisata perlu dihindari karena perairan subur akan menjadi media hidup yang baik bagi mikroorganisme penyebab berbagai penyakit, termasuk gatal-gatal dan penyakit kulit lainnya. Lebih dari itu peningkatan kesuburan (eutrofikasi) perairan yang berlebihan dapat menyebabkan terjadinya *blooming* alga (*algal bloom*). *Blooming* alga sangat tidak diharapkan terjadi karena (a) biasanya komunitas fitoplankton terdiri atas jenis *blue green algae* yang berlendir dan beracun bagi organisme perairan lain seperti ikan. Perairan akan nampak tertutup gumpalan alga yang berbau anyir dan sangat mengganggu aktivitas manusia termasuk wisatawan; (b) pasca *algal bloom*, alga (fitoplankton) akan mati serentak dan mengalami dekomposisi secara bersamaan. Dekomposisi alga secara bersamaan akan memerlukan oksigen dalam jumlah besar, sehingga DO perairan akan berkurang secara drastis (deplesi). Kondisi perairan seperti ini akan menyulitkan kehidupan biota perairan, bahkan bisa mematikan organisme perairan lain, termasuk ikan. Jika fenomena tersebut terjadi di Danau Toba maka pesisir danau akan dipenuhi oleh ikan-ikan mati dan timbunan alga membusuk yang menjijikan bagaikan comberan raksasa. Pada kondisi perairan seperti itu sudah tentu wisatawan tidak akan mau datang. Untuk itulah maka jika Danau Toba benar-benar akan dikembangkan sebagai kawasan pariwisata maka proses penyuburan perairan Danau Toba harus diminimalisasikan.

Kesuburan perairan adalah kondisi suatu badan air dalam mendukung kehidupan tumbuhan air, terutama fitoplankton dalam melaksanakan hidupnya. Oleh karena itu, tingkat kesuburan suatu badan air dikelompokkan berdasarkan konsentrasi hara terlarut, terutama dari fraksi nitrogen dan fosfat; dan *standing crops*/kelimpahan fitoplankton dalam badan air tersebut. Publikasi yang ada telah mengelompokkan kesuburan air dalam empat tingkat yaitu oligotrofik, mesotrofik, eutrofik dan hipertrofik (Goldman & Horne, 1983).

Dalam penentuan tingkat kesuburan perairan, nitrogen dan fosfat dijadikan indikator utama karena pertumbuhan fitoplankton yang merupakan produsen primer di badan air

sangat dipengaruhi oleh kedua unsur hara tersebut. Fitoplankton menyerap nitrogen dalam fraksi Nitrat-N, dan Amonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), sedangkan fosfor dalam fraksi orthofosfat-P. Garno dan Sakamoto (1993) mengungkapkan bahwa dalam kondisi nitrogen berkecukupan, fitoplankton lebih dahulu menyerap nitrogen amonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) daripada nitrogen nitrat ($\text{NO}_3^-\text{-N}$).

Kehidupan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh sifat fisik, terutama cahaya matahari yang sangat berperan pada proses fotosintesisnya (Hutchinson, 1944; Margalef, 1958; Reynolds, 1989). Di perairan yang selalu mendapatkan cahaya matahari seperti di Indonesia, peningkatan konsentrasi unsur hara akan segera diikuti oleh peningkatan kelimpahan fitoplankton, dan secara alamiah akan diikuti peningkatan zooplankton dan ikan pemangsanya (Garno & Sakamoto, 1993). Sampai pada tahap ini peningkatan hara tidak menjadi masalah bahkan menjadi berkah bagi penangkap ikan.

Peningkatan hara yang berkelanjutan pada suatu badan air akan menyebabkan perairan menjadi sangat subur. Pada perairan yang sangat subur, paparan matahari yang cukup akan memicu pertumbuhan fitoplankton dengan pesat sehingga terjadi *algal bloom*. *Algal bloom* dapat dengan mudah terjadi pada perairan yang mengandung fosfor lebih besar dari 0,010 mgP/l dan nitrogen terlarut lebih besar dari 0,300 mgN/l (Hendersen & Markland, 1987).

Kandungan hara dan kelimpahan fitoplankton perairan Danau Toba di beberapa kecamatan yang memiliki wilayah perairan Danau Toba telah cukup banyak diteliti dan dipublikasikan. Kandungan hara dan kelimpahan fitoplankton di Kecamatan (Kec.) Parapat Kabupaten (Kab.) Simalungun dipublikasikan oleh Barus *et al.* (2008) dan Yaswar (2008), di Kec. Pangururan Kab. Toba Samosir oleh Sinurat (2009); di Kec. Haranggaol Kab. Simalungun oleh Anggita (2013); di Kec. Silahisabungan Kab. Dairi oleh Septiana (2015); di Kec. Dolok Pardamean Kab. Simalungun oleh Sembiring (2018) dan di Kec. Onanrungu Kab. Samosir oleh Harianja *et al.* (2018). Hasil penelitian mereka mengungkapkan bahwa perairan Danau Toba di wilayah kecamatan yang mereka teliti mengandung total nitrogen lebih besar dari 0,300 mg/l dan total fosfat lebih besar dari 0,010 mg/l, serta kelimpahan fitoplankton yang bervariasi antara 219.000–36.000.000 ind./m³. Besaran konsentrasi total nitrogen dan fosfat tersebut mengisyaratkan bahwa perairan Danau Toba di kecamatan-kecamatan yang mereka teliti sewaktu-waktu dapat mengalami *algal bloom*.

Hasil penelitian di berbagai kecamatan tersebut mengindikasikan bahwa tingkat kesuburan perairan dan kelimpahan fitoplankton Danau Toba di wilayah kecamatan yang satu berbeda dengan wilayah lainnya. Berkenaan dengan fenomena tersebut maka guna mengetahui gambaran kualitas air dan tingkat kesuburan perairan Danau Toba yang lebih lengkap diperlukan penelitian serupa di kecamatan-kecamatan lain yang belum diteliti, termasuk Kecamatan Ajibata. Garno *et al.* (2020) melaporkan kelayakan air Danau Toba wilayah Kecamatan Ajibata untuk bahan baku air minum. Untuk melengkapi publikasi tersebut maka akan dibahas tingkat kesuburan dan kelimpahan komunitas fitoplankton di perairan Danau Toba wilayah Kecamatan Ajibata, dan kaitannya dengan tingkat kesuburan

dan komunitas fitoplankton perairan Danau Toba di wilayah kecamatan lain.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kesuburan dan komunitas fitoplankton di perairan Danau Toba Kecamatan Ajibata, Kabupaten Toba Samosir, dan posisi kualitas air Kecamatan Ajibata terhadap wilayah kecamatan lain di Danau Toba

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada 23 September 2017 di perairan Danau Toba wilayah Kec. Ajibata Kab. Toba Samosir. Kegiatan lapangan dilaksanakan di 3 lokasi pengambilan sampel (LPS) yaitu LPS-1 di posisi LU: 02°35'56,2" & BT: 98°55'42,5" LPS-2 di posisi LU: 02°35'16,5" & BT: 98°55'21,2" dan LPS-3 di posisi LU: 02°36'09,3" & BT: 98°46'46,4". Kegiatan di ketiga LPS tersebut adalah (a) pengamatan *in-situ* yang meliputi pengukuran temperatur air dan pH; dan (b) pengambilan sampel air analisis parameter kesuburan dan identifikasi plankton. Pengambilan sampel air dilakukan sesuai prosedur ISO 5667-6:2014, sedangkan tata cara pengawetan dan penanganan sampel air mengikuti prosedur ISO 5667-3:2012.

Temperatur air diukur dengan SCT-meter. Sampel air diambil dengan *Var-Dorn water samples*; 500 ml diawetkan untuk parameter kesuburan (unsur hara) dan 500 ml disaring menggunakan *planktonnet* No. 25 menjadi 100 ml dan diawetkan. Di laboratorium *Global Quality Analytical* parameter kesuburan dianalisis sesuai *standard method for the examination of water and wastewater (APHA, 1985)* dan plankton diidentifikasi dan dihitung dibawah cahaya mikroskop (Mizuno, 1979; Edmondson, 1963).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kesuburan Perairan Danau Toba

Data parameter kesuburan dan kelimpahan komunitas fitoplankton di perairan Danau Toba wilayah Kecamatan Ajibata disajikan pada Tabel 1; data penelitian sebelumnya studi literatur tingkat kesuburan dan kelimpahan fitoplankton perairan Danau Toba wilayah kecamatan lain pada Tabel 1; dan data komunitas fitoplankton pada Tabel 3.

Secara umum tingkat kesuburan suatu perairan ditentukan oleh sifat fisik seperti sinar/cahaya matahari dan unsur hara terlarut. Danau Toba sepanjang tahun mendapatkan sinar matahari, sehingga air selalu hangat dan fotosintesis selalu terjadi. Hal ini tercermin pada hasil penelitian ini (Tabel 1) dan penelitian-penelitian lainnya (Tabel 2). Tabel 2 menunjukkan bahwa sepanjang tahun temperatur Danau Toba berkisar antara 24,0 °C–27,0°C.

Tabel 1. Parameter kesuburan air Danau Toba di wilayah Kecamatan Ajibata

Parameter	Konsentrasi/Kelimpahan
Temperatur, °C.	26,3–26,6 ^(*)
Oksigen terlarut, mg/l	6,3–7,1 ^(*)
Total -P, mg/l	0,40–0,60 ^(*)
NO ₃ -N, mg/l	<0,01–0,1 ^(*)
NH ₃ -N, mg/l	0,054–0,186 ^(*)
NO ₂ -N, mg/l	<0,004 ^(*)
Fitoplankton (ind./m ³)	319.196–870.972 ^(**)

Sumber: (*) Garno *et al.*, 2020 dan (**) data primer 2017

Perairan Kec. Ajibata di 3 LPS tersebut mengandung oksigen terlarut antara 6,3–7,1 mgO₂/l. Kisaran oksigen terlarut (DO) antara 6,3–7,1 mg/l merupakan kisaran konsentrasi yang sangat menunjang kehidupan organisme air. Secara umum ikan dan organisme air lainnya dapat hidup normal pada perairan yang mengandung DO lebih dari 3 ppm (Boyd, 1982).

Konsentrasi nitrat-nitrogen di kecamatan Ajibata (3 LPS) berkisar antara <0,1–0,1 mgN/l. Untuk perairan umum, kisaran nilai konsentrasi tersebut tergolong rendah dan biasanya ditemukan pada perairan dengan tingkat kesuburan rendah. Selain nitrogen-nitrat pada perairan yang sama ditemukan pula nitrogen-amonia (NH₄-nitrogen) dengan konsentrasi berkisar antara 0,054–0,186 mg/l. kisaran konsentrasi tersebut biasa ditemukan pada perairan mesotrofik. Penjumlahan nitrit-N, nitrat-N dan NH₄-N pada Tabel 1 menghasilkan total anorganik nitrogen terlarut pada kisaran 0,158–0,290 mg/l; atau maksimal 0,290 mg/l. Telah diungkapkan bahwa perairan dengan kandungan total anorganik nitrogen terlarut (DIN) lebih besar dari 0,300 mg/l dengan mudah dapat mengalami *algal bloom* (Hendersen & Markland, 1987). Dengan demikian maka berdasarkan kandungan total nitrogen anorganik terlarut yang terukur, perairan Kecamatan Ajibata dalam kondisi tidak akan mudah mengalami *alga bloom* secara mendadak.

Tabel 2. Parameter kesuburan perairan Danau Toba di beberapa wilayah Kecamatan yang ada di Sekitar danau

No	Kecamatan (sumber data)	Perlakuan	Parameter Kesuburan Air					Kelimpahan Fitoplankton (ind./m ³)
			Suhu air (°C)	pH	N-Nitrat (mg/l)	N-Amonia (mg/l)	P-Orthofosfat (mg/l)	
1	Parapat-Simalungun (Barus <i>et al.</i> , 2008)	NKJA	25,0	7,13	1,155	-	0,039	2.583.110
		PKJA	24,7	7,03	1,074	-	0,024	2.377.575
2	Parapat (Yaswar, 2008)	NKJA	7,13	7,13	10,29	0,09	0,350	435.360
		PKJA	7,03	7,03	12,22	1,63	0,250	1.052.080
3	Pangururan (Sinurat, 2009)	NKJA	25,0	7,33	0,331	-	0,069	3.428.506
		PKJA	25,0	7,23	0,621	-	0,350	6.530.486
4	Haranggaol (Anggita, R, 2013)	NKJA	26,0	7,7	0,440	0,16	0,060	4.122.000
		PKJA	27,0	7,6	0,810	0,23	0,180	6.172.000
5	Silahi sabungan Kab. Dairi (Septiana, 2015)	NKJA	24	7,3	0,860	-	0,110	244.870
		PKJA	25	7,8	1,26	-	0,180	219.000

No	Kecamatan (sumber data)	Perlakuan	Parameter Kesuburan Air					Kelimpahan Fitoplankton (ind./m ³)
			Suhu air (°C)	pH	N- Nitrat (mg/l)	N- Amonia (mg/l)	P- Orthofosfat (mg/l)	
6	Dolak-Pardamean Kab. Simalungun (Sembiring, 2018)	NKJA	26,5	7,25	0,50 -	-	0,190	1.878.333-
		PKJA	27,0	7,20	0,51	-	0,510	3.460.000
7	Onanrunggu Kab. Samosir (Harianja <i>et al.</i> , 2018)	NKJA	25,0	8,04	3,90	0,12	0,087	3.200.000-
		PKJA	25,0	8,12	2,50	0,17	0,153	36.000.000
8	Parapat-Simanindio-Balige (Ginting, 2002)	NKJA	25,0	7,43	0,424	-	0,168	-
		PKJA	25,2	7,13	0,702	-	0,226	-
9	Simanindo Parapat (Barus, 2004)	NKJA	25,5	7,8	0,245	-	0,222	-
		PKJA	25,5	7,8	0,542	-	0,441	-
10	Girsang-Sip.Bolon & Pematang- Sidamanik (Ginting, 2011)	NKJA	-	-	0,424	-	0,168	-
		PKJA	-	-	0,702	-	0,226	-
11	Girsang Sipangan Bolon Kab. Simalungun (Tobing, 2014)	NKJA	26,8	7,09	0,77	-	0,150	-
		PKJA	27,1	7,07	1,86	-	0,240	-
12	Merek, Kab. Karo (Rankuti, 2018)	NKJA	24,6	7,32	0,5	-	0,14	-
		PKJA	25,6	7,53	0,5	-	0,25	-
13	Nainggolan, Kab. Samosir (Tampubolon, 2020)	-	-	-	0,5- 0,83	-	0,10-0,39	-

Keterangan: NJKA = Lokasi tidak ada KJA; PKJA = Lokasi padat dengan KJA; (-) = tidak ada data

Parameter kesuburan air lain adalah fosfat. Total fosfat (Total-P) di perairan Kec. Ajibata di 3 LPS berkisar antara 0,040–0,060 mg/l. Fosfat, terutama dalam bentuk orthofosfat merupakan unsur hara utama untuk pertumbuhan fitoplakton. Kisaran konsentrasi total fosfat yang lebih besar dari >0,010 mgP/l mengisyaratkan bahwa perairan Ajibata tergolong perairan yang subur, yang setiap saat dapat mengalami *algal bloom* (Hendersen & Markland, 1987). Konsentrasi fosfat yang tinggi di perairan Ajibata dapat berasal dari luar dan dari dalam badan air Danau Toba. Dari luar badan air, fosfat masuk ke perairan Danau Toba dibawa oleh air sungai yang sebelum masuk danau melewati sawah ladang, pemukiman dan mungkin industri. Dari dalam badan air, fosfat di perairan Ajibata dapat berasal dari KJA yang ada di Danau Toba. Di wilayah Ajibata memang tidak ada KJA, namun karena dipersatukan oleh masa air maka limbah KJA yang berada di Kecamatan lain yang jauh dari Ajibata, akan terbawa arus dan sampai ke wilayah Ajibata.

Selanjutnya untuk mengetahui tingkat kesuburan perairan Danau Toba di Kecamatan Ajibata dibandingkan kecamatan lain di Danau Toba disusun Tabel 2. Tabel 2 disusun berdasarkan publikasi dan laporan hasil penelitian kualitas air di kecamatan-kecamatan yang wilayahnya mencakup perairan Danau Toba. Beberapa penelitian melaporkan konsentrasi hara dan kelimpahan fitoplankton (Barus *et al.* 2008; Yaswar, 2008; Sinurat, 2009; Anggita, 2013; Septiana 2015; Harianja *et al.* 2018; Sembiring, 2018) dan beberapa penelitian lainnya hanya melaporkan konsentrasi hara (N-nitrat dan P-orthofosfat) dan oksigen terlarut (Ginting, 2002; Barus, 2004; Ginting, 2011; Tobing, 2014; Rankuti, 2018; Tampubolon, 2020).

Secara umum penelitian-penelitian tersebut berusaha mengungkapkan pengaruh keberadaan KJA terhadap tingkat kesuburan perairan Danau Toba. Masing-masing penelitian dilakukan di 3–4 lokasi, dimana setiap lokasi merepresentasikan perlakuan yang berbeda. Ada yang merepresentasikan lokasi padat KJA, lokasi dekat pemukiman/ pasar/ pelabuhan dan ada yang merepresentasikan lokasi tanpa KJA atau sebagai kontrol. Selain itu ada juga penelitian yang tidak membandingkan

KJA dengan non KJA namun membandingkan daerah yang padat kegiatan (pemukiman & pelabuhan) dengan daerah yang relatif sepi. Guna menyederhanakan pembahasan maka Tabel 2 hanya mengambil dan memuat data hasil pengukuran di lokasi padat KJA disingkat PKJA dan lokasi tanpa KJA/kontrol disingkat NKJA. Tabel 2 menunjukkan bahwa kecuali di Kec. Parapat (Barus *et al.*, 2008). konsentrasi N-nitrat dan juga N-amonia di lokasi padat dengan KJA (PKJA) lebih tinggi daripada di lokasi tanpa KJA (NKJA). Berkenaan dengan fenomena tersebut maka para peneliti menyimpulkan bahwa tingginya konsentrasi N-nitrat dan N-amonia di lokasi PKJA adalah merupakan hasil dari proses dekomposisi limbah organik dari KJA (Yaswar, 2008; Sinurat, 2009; Anggita, 2013; Septiana 2015; Harianja *et al.* 2018). Kesimpulan tersebut bisa diterima karena secara umum telah diketahui bahwa budidaya ikan dengan KJA menghasilkan limbah organik yang sangat besar. Garno (2002) mengungkapkan bahwa dengan rasio konversi pakan (RPK) 1,50 maka untuk memproduksi 1 ton ikan diperlukan 1,5 ton pakan. Dengan kandungan air ikan basah yang 75% maka limbah yang dihasilkan pada proses produksi 1 ton ikan adalah 1,5 ton (organik sebagai pakan) – 0,25 ton (organik sebagai ikan kering) = 1,25 ton (organik sebagai limbah).

Di Kecamatan Ajibata konsentrasi N-nitrat di adalah ≤0,01 mg/l (Tabel 1). Konsentrasi N-nitrat ini sangat jauh lebih kecil dari semua hasil penelitian di wilayah kecamatan lain di Danau Toba (Tabel 2) baik di lokasi tidak ada KJA (NKJA) yang tercatat berkisar antara 0,245–10,29 mg/l (Yaswar, 2008; Ginting, 2002) maupun di lokasi padat KJA (PKJA) yang tercatat berkisar antara 0,51–12,22 mg/l (Yaswar, 2008; Harianja 2018). Fenomena ini mengisyaratkan bahwa tingginya konsentrasi N-nitrat di lokasi dengan KJA adalah benar disebabkan oleh hasil dekomposisi limbah organik dari KJA. Oleh karena itu, layak diduga bahwa rendahnya konsentrasi N-nitrat di Kec. Ajibata dibandingkan dengan kecamatan lain, baik di lokasi PKJA maupun NKJA adalah karena di perairan wilayah Ajibata tidak ada KJA. Dugaan tersebut mungkin masih dipertanyakan; kenapa sama-sama dilokasi tanpa KJA, tetapi konsentrasi N-nitrat di Ajibata jauh lebih

rendah dari konsentrasi N-nitrat di lokasi NKJA hasil penelitian di kecamatan lain. Fenomena ini terjadi karena meskipun NKJA disebut tanpa KJA atau kontrol namun sebenarnya lokasi-lokasi tersebut (NKJA) hanya berjarak beberapa puluh atau ratus meter dari lokasi padat KJA sehingga sesungguhnya air di lokasi tersebut sudah banyak (sangat) dipengaruhi dan berbau dengan air dari lokasi padat KJA. Hal ini berbeda dengan lokasi perairan Ajibata yang sangat jauh dari lokasi KJA. Untuk itu maka tidak mengherankan jika N-nitrat di lokasi NKJA tersebut jauh lebih tinggi daripada perairan Kec. Ajibata.

Dugaan tersebut mengarahkan pada kesimpulan bahwa kisaran konsentrasi N-nitrat terlarut antar wilayah perairan Danau Toba adalah sangat besar karena keberadaannya sangat dipengaruhi oleh keberadaan sumber pencemar, seperti pemukiman, pelabuhan, muara sungai dan KJA di masing-masing wilayah tersebut. Sebenarnya besarnya kisaran konsentrasi N-nitrat di perairan Danau Toba telah tersirat pada publikasi Rahman *et al.* (2016) yang mengungkapkan bahwa N-nitrat di 23 lokasi yang berada di sepanjang pesisir yang melingkari Pulau Samosir sangat bervariasi, yakni berkisar antara 0,10–4,10 mg/l. Hasil penelitian ini N-amonia di perairan wilayah Kec. Ajibata berkisar antara 0,054–0,186 mg/l. Seperti N-Nitrat, konsentrasi N-amonia juga cenderung lebih rendah dari kisaran nilai di Anggita, 2013) maupun di lokasi padat KJA (PKJA) yang berkisar antara 0,23–1,63 mg/l (Yaswar, 2008; Anggita, 2013). Seperti pada N-nitrat, N-amonia juga lebih rendah di lokasi NKJA daripada PKJA sehingga rendahnya N-amonia di perairan Ajibata dibanding dengan kecamatan lain diduga karena ketiadaan KJA di perairan Ajibata. Oleh karena itu, dapat diduga pula bahwa konsentrasi N-amonia di Danau Toba cenderung berbeda pada lokasi berbeda, tergantung besar kecilnya pengaruh sumber limbah disekelilingnya. Dugaan tersebut juga tersirat pada publikasi Rahman *et al.* (2016) yang mengungkapkan bahwa N-amonia di 23 lokasi yang berada di sepanjang pesisir yang melingkari Pulau Samosir adalah sangat bervariasi yakni berkisar antara 0,01–0,40 mg/l.

Satu hal yang perlu mendapat perhatian adalah adanya fenomena yang menunjukkan bahwa konsentrasi N-amonia disetiap kecamatan lebih kecil dari konsentrasi N-nitrat di kecamatan tersebut, baik di lokasi PKJA maupun NKJA. Fenomena tersebut tidak dibahas oleh peneliti kualitas air kecamatan-kecamatan lain. Penulis menduga bahwa fenomena tersebut terjadi karena fitoplankton menyerap N-amonia lebih dahulu untuk pertumbuhannya daripada N-nitrat. Dugaan tersebut mengacu pada penelitian Garno dan Sakamoto (1992) yang mengungkapkan bahwa di perairan tawar, fitoplankton menyerap N-amonia lebih dahulu daripada N-nitrat.

Hasil studi literatur (Tabel 2) menunjukkan bahwa kecuali di perairan kecamatan Parapat (Barus *et al.* 2008; Yaswar, 2008), konsentrasi total fosfat di lokasi PKJA selalu lebih tinggi daripada lokasi NKJA. Seperti pada konsentrasi N-nitrat dan N-Amونيا, fenomena ini juga diduga disebabkan oleh dekomposisi limbah KJA di lokasi PKJA.

Kandungan total fosfat di wilayah Ajibata berkisar antara 0,04–0,06 mg/l. (Tabel 1). Dengan konsentrasi yang >0,010 mgP/l perairan Ajibata sudah tergolong subur. Meskipun

tergolong tinggi namun konsentrasi total fosfat di Ajibata tersebut masih jauh lebih kecil daripada perairan Danau Toba di wilayah kecamatan lain baik di lokasi PKJA maupun NKJA kecuali di Kec. Parapat Kab. Simalungun (Barus *et al.* 2008). Berkenaan dengan kelimpahan fitoplankton di perairan Kec. Parapat Simalungun yang jauh lebih besar dari Ajibata, maka lebih rendahnya konsentrasi ortofosfat di Parapat diduga terjadi wilayah kecamatan lain di Danau Toba baik di lokasi tidak ada KJA (NKJA) yang berkisar antara 0,09–0,16 mg/l (Yaswar, 2008); karena saat disampling ortofosfat terlarut di Kec. Parapat telah diserap oleh fitoplankton sehingga fosfat disintesa menjadi organik (fitoplankton).

3.2 Fitoplankton

Hasil identifikasi dan penghitungan fitoplankton sampel yang diambil menggunakan planktonet disampaikan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa di 3 lokasi (LPS) wilayah Ajibata dihuni oleh paling sedikit 24 jenis fitoplankton yang termasuk dalam 4 kelas yakni *Bacillariophyceae* (11 sp.), *Chlorophyceae* (8 sp.), dan *Cyanophyceae* (3 sp.) dan *Dinophyceae* (2 sp.). Satu hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa meskipun ditemukan 24 jenis namun di tiap LPS ditemukan jumlah jenis yang berbeda, yakni di LPS-1 ada 15 jenis, di LPS-2 ada 13 jenis dan di LPS-3 ada 17 jenis. Hal ini terjadi karena tidak setiap jenis ditemukan di tiap LPS; seperti *Bacillaria* sp. yang hanya di LPS-2 dan *Cyclotella* sp. di LPS-1 dan LPS-3; sementara *Cosmarium* sp. ditemukan di setiap LPS.

Fenomena tidak ditemukannya suatu jenis/ spesies di setiap LPS tersebut diatas, tidak berarti bahwa jenis/spesies yang tidak ditemukan tersebut benar benar tidak ada di LPS tersebut. Sebagai contoh di Tabel 2; *Bacillaria* sp. yang hanya tercatat ada di LPS-2 tidak berarti benar-benar tidak ada di LPS-1 dan LPS-3; dan *Cyclotella* sp. yang tidak ada di LPS-1 dan LPS-3 tidak berarti benar benar tidak ada di LPS-2. Hal tersebut hanya mengindikasikan bahwa (a) di perairan tersebut populasi jenis (spesies) tersebut sangat sedikit, dan/atau (b) *plankton net* yang digunakan untuk sampling memiliki *mesh size* (mata jaring) yang terlalu besar sehingga sebagian besar fitoplankton jenis tersebut lolos saringan (tidak tersaring) dan yang tertangkap sangat sedikit atau lolos semua (Garno, 1998; Garno, 1999).

Tabel 3 Kelimpahan Fitoplankton di Danau Toba Wilayah Kec Ajibata Kab. Tobasa (sel/m³)

No	Organisme	Lokasi Pengambilan Sampel (LPS)		
		LPS-1	LPS-2	LPS-3
	Bacillariophyceae			
1	<i>Bacillaria</i> .	-	14.436	-
2	<i>Climacosphenia</i> sp.	802	-	-
3	<i>Cyclotella</i> sp.	1.604	-	2.406
4	<i>Cocconeis</i> sp.	-	4.812	1.604
5	<i>Diatoma</i> sp.	802	802	802
6	<i>Gyrosigma</i> sp.	-	-	802
7	<i>Navicula</i> sp.	-	802	802
8	<i>Nitzschia</i> sp.	136.340	802	313.582
9	<i>Pleurosigma</i> sp.	802	802	-
10	<i>Synedra</i> sp.	-	-	802

No	Organisme	Lokasi Pengambilan Sampel (LPS)		
		LPS-1	LPS-2	LPS-3
11	<i>Tabellaria</i> sp. Chlorophyceae	12.030	-	-
12	<i>Closterium</i> sp.	802	-	4.010
13	<i>Cosmarium</i> sp.	12.832	27.268	27.268
14	<i>Crucigenia</i> sp.	802	8.822	-
15	<i>Microspora</i> sp.	105.062	173.232	167.618
16	<i>Mougeotia</i> sp.	10.426	3.208	-
17	<i>Protococcus</i>	-	6.416	6.416
18	<i>Staurastrum</i> sp.	92.230	82.606	48.120
19	<i>Tetraedron</i> sp. Cyanophyceae	8.822	9.624	48.120
20	<i>Anabaena</i> sp.	-	-	23.258
21	<i>Oscillatoria</i> sp.	273.482	-	223.758
22	<i>Spirulina</i> sp. Dinophyceae	9.624	-	-
23	<i>Ceratium</i> sp.	-	-	802
24	<i>Peridinium</i> sp.	-	-	802
Jumlah jenis		15	13	17
Kelimpahan		666.462	319.196	870.972

Keterangan: Data primer September 2017

Posisi	LPS-1	LPS-2	LPS-3
LU	02 35'56,2"	02 35'16,5"	02 36'09,3"
BT	98 55'42,5"	98 55'21,2"	98 46'46,4"

Tabel 3 menunjukkan bahwa kelimpahan fitoplankton di Kec. Ajibata berkisar antara 319.196–826.862 ind/m³. Kelimpahan tersebut sebenarnya adalah nilai semu, karena pengambilan sampel yang menggunakan *plankton net* No. 25 dengan mata-jaring 64 µm telah meloloskan sebagian besar fitoplankton (Garno, 1998; 1999). Garno dan Sakamoto (1992) mengungkapkan bahwa sebagian besar fitoplankton berukuran < 10 µm.

Berkenaan dengan kenyataan itulah maka dalam beberapa publikasi terdahulunya, Garno (2000^a; 2000^b; 2000^c) mengungkapkan bahwa nilai kelimpahan fitoplankton yang disampling menggunakan *planktonnet* nilainya tergantung besaran mata jaring, pengulangan sampling hasilnya berbeda dan sangat *underestimate*. Lebih jauh Garno (1998; 1999) mengungkapkan pula bahwa penggunaan *plankton net* bukan hanya menyebabkan *under estimate* pada kelimpahan total yang diperoleh, namun menghasilkan struktur dan jenis fitoplankton dominan yang berbeda dengan komunitas aslinya. Oleh karena itu, maka Garno (2018) menyimpulkan bahwa penggunaan planktonnet pada saat pengambilan sampel fitoplankton menjadikan nilai kelimpahan yang diperoleh semu dan tidak mencerminkan kelimpahan sebenarnya. Data tersebut hanya layak untuk identifikasi jenis/spesies dan sangat tidak layak untuk menganalisis status kualitas perairan di lokasi sampling. Dengan alasan berbagai ketidaklayakan tersebut maka data fitoplankton hasil penelitian ini (Tabel 3) tidak dibahas dan hanya digunakan untuk identifikasi dan menginformasikan bahwa di perairan Kecamatan Ajibata dihuni paling sedikit 24 jenis fitoplankton.

Di perairan tropis pertumbuhan fitoplankton sangat ditentukan oleh konsentrasi unsur hara terlarut dalam air, sehingga tidak mengherankan jika ada yang menyimpulkan bahwa di perairan yang mengandung nutrien tinggi akan

ditemukan kelimpahan fitoplankton yang tinggi pula. Pada publikasi terdahulu Garno (2020) mengungkapkan bahwa hipotesis tersebut tidak terjadi di perairan pesisir. Hipotesis ini juga terjadi di perairan tawar, khususnya di Danau Toba seperti terlihat pada Tabel 2 kolom unsur hara dan kelimpahan fitoplankton.

Pertama perlu dicermati apakah fenomena tersebut berlaku di wilayah yang sama dengan kondisi berbeda yaitu di kecamatan sama lokasi nya berbeda; lokasi KJA (PKJA) dan non KJA (NKJA) yang jarak antara keduanya dibawah 1 kilometer. Pada Tabel 2 tercatat ada 7 wilayah seperti itu yaitu wilayah No-1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7. Dengan adanya perbedaan aktifitas KJA tersebut maka lokasi padat KJA (PKJA) diduga akan lebih subur dari lokasi Non-KJA (NKJA) sehingga diharapkan unsur hara dan kelimpahan fitoplankton di PKJA lebih tinggi dari tempat NKJA.

Pengamatan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa di wilayah Kecamatan:

- Parapat Simalunggun (No-1): konsentrasi hara (NO₃⁻N; PO₄⁻³) yang tinggi ditemukan di NKJA, dan kelimpahan fitoplankton tinggi juga di NKJA (Barus *et al.* 2008),
- Parapat (No-2): konsentrasi hara (NO₃⁻N, NH₄⁺-N) yang tinggi ditemukan di PKJA, dan kelimpahan fitoplankton yang tinggi juga di PKJA namun fosfat yang tinggi di NKJA (Yaswar, 2008),
- Pangururan (No-3): konsentrasi hara (NO₃⁻& PO₄⁻³) tinggi ditemukan di PKJA dan kelimpahan fitoplankton tinggi juga di PKJA (Sinurat, 2009),
- Haranggaol (No-4): konsentrasi hara (NO₃⁻& PO₄⁻³) tinggi ditemukan di PKJA dan kelimpahan fitoplankton tinggi juga di PKJA (Anggita, 2013),
- Silahi Sabungan (No-5): konsentrasi hara (NO₃⁻N; PO₄⁻³) tinggi ditemukan di PKJA, kelimpahan fitoplankton tinggi di NKJA (Septiana, 2015),
- Dolok Pardamean (No-6): unsur hara (NO₃⁻N; PO₄⁻³) tinggi ditemukan di PKJA, kelimpahan fitoplankton tinggi di PKJA (Sembiring, 2018),
- Onanrungu (No-7) konsentrasi hara (NO₃⁻N) tinggi ditemukan di NKJA, kelimpahan fitoplankton tinggi di PKJA (Harianja *et al.*, 2018).

Uraian diatas menunjukkan bahwa hanya lokasi No-3 (Pangururan), No-4 (Haranggaol) dan No-6 (Dolok Pardamean) yang sesuai hipotesis tersebut diatas. Fenomena tersebut mengisyaratkan bahwa hipotesis yang menyatakan di perairan dengan konsentrasi hara lebih tinggi akan ditemukan kelimpahan fitoplankton lebih tinggi tidak selalu terjadi.

Untuk mengetahui lebih jauh kebenaran hipotesis tersebut secara lebih luas, yakni hubungan kesuburan dan kelimpahan fitoplankton antar wilayah perairan yang sama (Danau Toba) perlu dicermati lagi Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa di lokasi NKJA; ditemukan urutan dari terendah ke tertinggi pada;

- 1) konsentrasi hara nitrogen adalah di Pangururan (Sinurat, 2009) < Haranggaol (Anggita, 2013) < Dolok-Pardamean (Sembiring, 2018) < Silahi Sabungan (Septiana, 2015) < Parapat (Barus *et al.*, 2008) < Onanrungu (Harianja *et al.*, 2018) < Parapat (Yaswar, 2008);
- 2) konsentrasi hara fosfat adalah di Parapat (Barus *et al.*, 2008) < Haranggaol (Anggita, 2013) < Pangururan

(Sinurat, 2009) < Onanrungru Kab. Samosir (Harianja *et al.*, 2018) < Parapat (Yaswar, 2008) < Silahi Sabungan (Septiana, 2015) < Dolok-Pardamean (Sembiring, 2018) < Parapat (Yaswar, 2008),

- 3) kelimpahan fitoplankton adalah di Silahi Sabungan (Septiana, 2015) < Parapat (Yaswar, 2008) < Dolok Pardamean (Sembiring, 2018) < Onanrungru (Harianja *et al.*, 2018) < Parapat (Yaswar, 2008); < Parapat (Barus *et al.*, 2008) < Pangururan (Sinurat, 2009) < Haranggaol (Anggita, 2013).

Jika ketiga uraian tersebut diatas dicermati dengan baik maka nampak bahwa ketika konsentrasi nitrogen terendah ditemukan di Pangururan (Sinurat, 2009) dan rendah di Haranggaol (Anggita, 2013), ternyata kelimpahan fitoplankton di wilayah tersebut justru ditemukan tinggi di Pangururan (Sinurat, 2009) dan tertinggi di Haranggaol (Anggita, 2013). Demikian pula ketika konsentrasi ortofosfat terendah ditemukan di Silahi Sabungan (Septiana, 2015) dan rendah di Haranggaol (Anggita, 2013), ternyata kelimpahan fitoplankton di wilayah tersebut justru ditemukan tinggi di Pangururan (Sinurat, 2009) dan tertinggi di Haranggaol (Anggita, 2013). Jadi hipotesis bahwa diperairan dengan kandungan unsur hara lebih tinggi akan ditemukan kelimpahan yang lebih tinggi tidak selalu benar. Selanjutnya akan sama pula hasilnya jika dilakukan pada lokasi padat KJA (PKJA), yakni tidak akan selalu ditemukan korelasi positif bahwa di perairan dengan konsentrasi hara tinggi baik nitrogen maupun fosfat akan ditemukan kelimpahan fitoplankton yang tinggi.

Korelasi positif antara konsentrasi hara dengan kelimpahan fitoplankton tidak selalu ditemukan di perairan umum diduga karena (a) di perairan umum kelimpahan fitoplankton tidak hanya ditentukan oleh konsentrasi unsur hara tetapi ditentukan pula oleh pemangsaan zooplankton, ikan, dan kondisi fisik lokasi sampling seperti arus, serta faktor lainnya (Garno, 1993); (b) secara teknis penggunaan planktonnet menyebabkan hasil *underestimate* yang tidak konsisten pada setiap sampling; apalagi jika sampling menggunakan planktonet dengan *mesh size* yang berbeda (Garno, 1999; 2000^a; 2000^b). Beberapa *mesh size plankton net* yang telah digunakan peneliti untuk mengambil sampel fitoplankton adalah adalah 20 μ m (Adnan, 1993), 40 μ m (Sulastri *et al.*, 2019); 45 μ m (Prayogo, 2021), 53 μ m (Sulawesty *et al.*, 2020); 64 μ m (Sidabutar, 1996), 80 μ m (Effendi, 1998); dan 110 μ m, (Praseno & Adnan, 1996).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian tingkat kesuburan perairan dan komunitas fitoplankton Danau Toba di Wilayah Kecamatan Ajibata Kabupaten Toba Samosir diketahui bahwa:

- a) Perairan Danau Toba di Wilayah Kecamatan Ajibata mengandung total nitrogen anorganik (nitrit-N, nitrat-N dan $\text{NH}_4\text{-N}$) terlarut 0,158–0,290 mg/l; dan total fosfat 0,040–0,060 mg/l. Kedua nilai konsentasi hara tersebut mengindikasikan bahwa perairan di wilayah Ajibata mengalami penyuburan. Di perairan ini dihuni oleh paling sedikit oleh 24 jenis fitoplankton yang termasuk dalam 4 kelas yakni *Bacillariophyceae* (11 sp.),

Chlorophyceae (8 sp.), *Cyanophyceae* (3 sp.) dan *Dinophyceae* (2 sp.). Meskipun tergolong subur namun kandungan nitrogen anorganik dan total fosfat tersebut sebenarnya sangat kecil dibandingkan dengan perairan Danau Toba.

- b) Hasil penelitian di berbagai kecamatan mengindikasikan bahwa keberadaan KJA sangat berpengaruh pada kandungan nitrogen dan fosfat terlarut serta kelimpahan fitoplankton. Namun demikian tidak ada korelasi positif antara hara dan kelimpahan fitoplankton dimana makin tinggi hara pada satu perairan tidak ditemukan kelimpahan fitoplankton yang lebih tinggi.

PERSANTUNAN

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. Joko Prayitno Susanto, Dr. Agung Riyadi, Lestario Widodo, M.S., Teguh Prayogo, M.Sc., atas dukungan selama pelaksanaan studi di Kabupaten Toba Samosir.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, Q. (1993). PSP and red tide status in Indonesia. In: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea (T.J. Maeda. and Y. Shimizu, Eds.).Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam:199-202.
- Anggita, R. (2013). Struktur Komunitas Plankton di Sekitar Keramba Jaring Apung Danau Toba, Kecamatan Haranggaol, Kabupaten Simalungun.
- Anonim. (2012). Peraturan Pemerintah Nomor 50 Tahun 2011 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Tahun 2010-2025. Lembaran Negara RI Tahun 2011, No. 125. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Anonim. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- APHA. (1985). Standart Method for th eexamination of water and waste water, 16th Ed. Washinton D.C.
- Barus, T. A. (2004). Faktor-Faktor Lingkungan Abiotik dan Keanekaragaman Plankton Sebagai Indikator Kualitas Perairan Daanau Toba. *Manuasia Dan Lingkungan* 11(2), 64-72.
- Barus, T. A. (2007). Keanekaragaman hayati Ekosistem Danau Toba dan Upaya Pelestariannya. Naskah Ilmiah Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Ilmu Limnologi. Fakultas MIPA. Universitas Sumatra Utara. 22 Halaman.
- Barus T. A., S. S. Sinaga, & R. Tarigan. (2008). Produktivitas Primer Fitoplankton & Hubungannya Dengan Faktor Fisik-Kimia Air Di Perairan Parapat, Danau Toba. *Jurnal Biologi Sumatera*. 3(1), 11-16.
- Boyd, C. E. (1982). *Water Quality in Warm Water Fish Pond*. Auburn University Agricultural Experimenta Satation. Auburn Alabama.
- Edmondson, W. T. (1963). *Fresh Water Biology*. Second Edition New York: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Effendi, M. (1998). Penelitian Kepadatan Biota Perairan antara Pulau Tarakan dan P. Bunyu, Seminar Akuakultur secara Terpadu. Dir. TPLH-BPPT, Jakarta, 351-363.

- Garno, Y. S., & Sakamoto, M. (1992). Dynamics of phytoplankton community in nutrient enriched enclosures and effects of experimental manipulation of zooplankton, Japanese journal of limnology. 53(4) pp.281-292.
- Garno, Y. S., & Sakamoto, M. (1993). Grazing Impact Of Zooplankton Bulletin Japan Society. Vol. 8(1). 17-25.
- Garno, Y. S. (1993). Pengaruh grazing zooplankton terhadap struktur komunitas fitoplankton. Lokakarya Tekn. Konservasi Fauna. Dir. TPLH-BPPT., 159-174.
- Garno, Y. S. (1998). Peran Plankton Net pada pemisahan dan strukturisasi komunitas Fitoplankton. Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Kawasan Akuakultur Secara Terpadu. DPPLH- BPPT, Jakarta., 374- 392.
- Garno, Y. S. (1999), Studi Evaluasi Penggunaan *Plankton-Net* Pada *Sampling* Fitoplankton Dalam Analisis Status Lingkungan Ekosistem Perairan JSTI-BPPT. 1(5), 146-155
- Garno, Y. S. (2000). Aplikasi Metode Pengendapan pada Analisis Fitoplankton dan Tingkat Kesuburan Waduk Saguling. J.Tekling 1 (2), 126-134.
- Garno, Y. S. (2000). Penerapan Metode pengendapan pada Penentuan Kelimpahan Fitoplankton Perairan Pesisir dan Laut. JSTI-BPPT. 4(5), 53-60.
- Garno, Y. S. (2000). Kelayakan Penggunaan Metode Pengendapan Pada Penentuan Kelimpahan Fitoplankton Diberbagai Jenis Perairan. Prosiding Semiloka Pengelolaan dan Pemanfaatan Danau Dan Waduk Fakultas Perikanan UNPAD Bandung.
- Garno, Y. S. (2002). Beban Pencemaran Limbah Perikanan dan Eutrofikasi di Waduk Das Citarum. J.Tekling 3(2) 112-120.
- Garno, Y. S. (2018) Dilema Penentuan Status Kualitas Air Dengan Fitoplankton. Prosiding Seminar Teknologi Lingkungan.
- Garno, Y. S., Nugroho, R., & Hanif, M. 2020 Kualitas Air Danau Toba.di wilyah Kabupaten Toba Samosir dan kelayakan Peruntukannya J.Tekling 21 (1), 118-124.
- Garno, Y. S. (2020). Status Kualitas Air Pesisir Bukit Ameh di Kawasan Ekonomi Khusus Mandeh di Kabupaten Pesisir Selatan. J.Tekling. 21(2), 190-197.
- Ginting, E. M. (2002). Pengaruh Aktivitas Manusia terhadap Kualitas Air di Perairan Parapat D. Toba. Thesis. 116 Halaman.
- Ginting, O. (2011). Studi Korelasi Kegiatan Budidaya Ikan Keramba Jaring Apung Dengan Pengayaan Nutrien (Nitrat Dan Fosfat) Dan Klorofil-a Di Perairan Danau Toba. Program Pascasarjana Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara Medan. Thesis: 121 Halaman.
- Goldman, C. R., & A. J. Horne. (1983). Limnology. International Student Edition. McGraw-Hill, Inc. Tokyo. pp: 464.
- Harianja, D., Damanik M. R. S. & Restu. (2018). Penelitian Tingkat Pencemaran Air Di Kawasan Perairan Danau Toba. Jurnal Geografi Vol 10 No.2 (176-183).
- Haro, D. D. (2013). Dampak Kegiatan Budidaya Keramba Jaring Apung (KJA), Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Skripsi. 95 halaman.
- Hendersen, B., & H. R. Markland (1987): Decaying Lakes-The Origins and Control of Cultural Eutrofication. John & Willey Sons Ltd. New York Chichester, Brisbane, Toronto, Singapura.
- Hutchinson, G. E. (1944). Limnological studies in Connecticut. 7. A critical examination of supposed relationship between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake waters. Ecology, 25: 3-25.
- Margalef, R. (1958): Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton, p. 323- 349. In A. A. Buzzati-Traverso (ed.), Perspectives in Marine Biology. Univ. California Press.
- Mizuno, T. (1979). Illustrations of the Freshwater Plankton of Japan. Osaka (JP): Hoikusha Publishing Co Ltd.
- Praseno, D. P., & Adnan, Q. (1996). Phytoplankton Community and Abundance In Some Estuaries of The Northern Coast of Java. Dir.TPLH-BPPT, Jakarta, 17-24.
- Rahman, A., Pratiwi, N. T. M., & Hariyadi, S. (2016). Struktur Komunitas Fito-plankton di Danau Toba Sumatra Utara. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI). 21(2): 120-127.
- Rankuti, S. (2018). Penentuan Kualitas Air Di Perairan Tongging Kecamatan Merek Kab. Karo Sumut, Usu, Skripsi 67 Halaman.
- Reynolds, C. S. (1989): Physical determinants of phytoplankton succession, p. 9-51. In U.Sommer. (Ed.), Plankton Ecology. Springer Verlag. Provasol.
- Rismawati. (2010). Analisis Daya Dukung Perairan Danau Toba. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan. Thesis, 105 halaman.
- Prayogo, R. (2021). Keterkaitan Faktor Fisika Kimia Perairan dengan Fitoplankton Sebagai Bioindikator pada Kedalaman Berbeda Di Danau Toba Desa Silalahi, Dairi, Sumatera Utara. Skripsi, Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. 99 halan.
- Sembiring, A. (2018). Hubungan Kelimpahan Fitoplankton dan Faktor Fisika kimia Perairan D. Toba Desa Tiragas Kec. Pardamea Kab Simalungun. USU Skripsi 68 Halaman.
- Septiana. (2015). Keanekaragaman Fitolankton Di Perairan Danau Toba Desa Silalahi Kabupaten Dairi.Skripsi: 50 Halaman.
- Siagian, M. T. (2013). Model Pengelolaan Keramba Jaring Apung (KJA) Masyarakat Berkelanjutan. Di Danau Toba. Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan. Desertasi: 163 halaman.
- Sidabutar, T. (1996). Kondisi Plankton dan Hidrologi di Perairan Seram Barat dan Sekitarnya pada Musim Timur, Seminar Maritim Selonesia. BPP Teknologi Wanhankamnas, Makkasar, 283-297.
- Sinurat. (2009). Studi Tentang nilai Produktivitas Primer di Pangururan Toba. Departemen Biologi, Universitas Sumatera Utara. Skripsi 58 Halaman.
- Sulastri, Henny, H., & Nomosatryo, S. (2019) Keanekaragaman fitoplankton dan status trofik Perairan Danau Maninjau di Sumatera Barat, Indonesia. Pros Sem Nas Masy Biodiv Ind. 5(2): 242-250.

- Sulawesty, F., Yustiawati, & Aisyah, S. (2020). Komunitas Fitoplankton di Daerah Litoral Danau Maninjau dan Sungai Ranggeh, Kabupaten Agam; Kaitannya dengan Kandungan Nutrien di Perairan OLDI. 5(1): 47-59.
- Tampubolon, Y. C. (2020). Analisis Kualitas Air Dan Tingkat Pencemaran Di Danau Toba Ds Sipinggan Kab Samosir, USU, Skripsi 76 halaman.
- Tobing, S. L. (2014). Analisis Kualitas Air Akibat Keramba Jaring Apung Di Danau Toba Dusun Sualan Desa Sibaganding Kabupaten Simalungun Sumatera. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Skripsi: 65 Halaman.
- Yaswar. (2008). Keanekaragaman Plankton dan Keterkaitannya dengan Kualitas Air di Parapat Danau Toba. Sekolah Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara. Thesis - 84 Halaman.