

Struktur Komunitas Fitoplankton di Danau Toba, Sumatera Utara (The Structure of Phytoplankton Communities in Lake Toba, North Sumatera)

Arif Rahman*, Niken Tunjung Murti Pratiwi, Sigid Hariyadi

(Diterima Desember 2015/Disetujui Agustus 2016)

ABSTRAK

Danau Toba merupakan danau terbesar di Indonesia yang terletak di Provinsi Sumatera Utara. Danau Toba banyak dimanfaatkan oleh masyarakat untuk kegiatan budi daya ikan di keramba jaring apung (KJA), pertanian, pariwisata, dan pemukiman penduduk. Aktivitas-aktivitas tersebut akan memberikan masukan berupa bahan organik dan anorganik yang akan memengaruhi kualitas air dan dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi. Beberapa indikator eutrofikasi adalah terjadi peningkatan biomassa fitoplankton dan perubahan struktur komunitas fitoplankton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji struktur komunitas fitoplankton di Danau Toba. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 20–24 Oktober 2014 di 23 stasiun di perairan sekitar Pulau Samosir, Danau Toba. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelimpahan fitoplankton berkisar antara 216-68.319.716 sel/m³. Komposisi fitoplankton terdiri dari 35 genus dari empat kelas, yaitu Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, dan Dinophyceae. Cyanophyceae merupakan kelas fitoplankton yang dominan berdasarkan komposisi kelimpahannya (>40%). Struktur komunitas fitoplankton di Danau Toba didominasi oleh *Anabaena*.

Kata kunci: danau toba, fitoplankton, struktur komunitas

ABSTRACT

Lake Toba is the largest lake in Indonesia, located in the Province of North Sumatra. Lake Toba is used to aquaculture, agricultural, tourism, and residential areas. These activities will produce organic and anorganic matter that can affect water quality and can cause eutrophication. Some indicators of eutrophication are an increase in phytoplankton biomass and changes in phytoplankton community structure. The aim of this study was to describe the phytoplankton community structure in Lake Toba. This study was conducted on 20–24 October 2014 at 23 stations around the Samosir Island, Lake Toba. The results showed that the phytoplankton abundance ranged 216-68.319.716 cells/m³. The phytoplankton composition consists of 35 genera from four classes: Cyanophyceae, Chlorophyceae, Bacillariophyceae, and Dinophyceae. Cyanophyceae is a dominant phytoplankton groups based on the composition of abundance (>40%). Structure of phytoplankton communities in Lake Toba dominated by *Anabaena*.

Keywords: community structure, lake toba, phytoplankton

PENDAHULUAN

Danau Toba merupakan danau terbesar di Indonesia yang terletak di Provinsi Sumatera Utara. Danau Toba berada di pegunungan Bukit Barisan pada ketinggian 905 dpl. Danau Toba memiliki luas perairan sebesar 1.124 km², volume air 256,2 x 10⁹ m³, dan kedalaman rata-rata 228 m (Lukman & Ridwansyah 2010). Danau Toba banyak dimanfaatkan untuk berbagai macam aktivitas manusia, antara lain sebagai tempat budi daya ikan di keramba jaring apung (KJA), pertanian, pariwisata, transportasi, dan pemukiman penduduk. Aktivitas-aktivitas tersebut berpotensi memberikan masukan baik berupa bahan organik maupun anorganik ke dalam perairan.

Bahan organik yang masuk ke perairan akan

Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

* Penulis Korespondensi:

E-mail: arifrahman.msp.ipb@gmail.com

mengalami proses penguraian yang akan menghasilkan unsur hara. Sumber utama masukan unsur hara di perairan adalah limpasan pupuk dari lahan pertanian, deposisi nitrogen dari atmosfer, penggunaan deterjen yang mengandung fosfat, erosi tanah yang mengandung unsur hara, serta pembuangan limbah domestik dan industri (Alvarez-Vazquez *et al.* 2014). Bahan organik merupakan faktor yang sangat berpotensi memengaruhi dinamika fitoplankton melalui peningkatan variabilitas kekeruhan (May *et al.* 2003). Selain itu, masukan bahan organik dan unsur hara dapat memengaruhi kualitas air dan dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi.

Eutrofikasi merupakan proses pengayaan air oleh unsur hara, terutama nitrogen dan fosfor yang dapat meningkatkan pertumbuhan fitoplankton dan menyebabkan terjadinya perubahan kualitas air yang tidak diinginkan seperti penurunan oksigen terlarut, penurunan kecerahan perairan, peningkatan bahan organik, dan sebagainya. Secara umum, proses eutrofikasi berlangsung secara bertahap, yaitu mulai

dari oligotrofik, mesotrofik, hingga eutrofik. Proses eutrofikasi tersebut sangat ditentukan oleh proses fotosintesis, produksi biomassa fitoplankton, dan mineralisasi bahan organik menjadi unsur hara (Sager 2009).

Danau Toba telah mengalami eutrofikasi dalam beberapa tahun terakhir. Beberapa indikasi terjadinya eutrofikasi di Danau Toba adalah peningkatan unsur hara fosfat (Wijopriono *et al.* 2010) dan perubahan status kesuburan perairan (Lukman 2011). Di antara penyebab terjadinya eutrofikasi di Danau Toba diduga berasal dari adanya aktivitas budi daya ikan di KJA dan pencemaran limbah domestik (Lehmusuoto 2000). Salah satu dampak eutrofikasi adalah dapat memengaruhi keberadaan fitoplankton di perairan.

Fitoplankton merupakan salah satu organisme perairan yang sangat penting berperan sebagai produsen primer di perairan. Fitoplankton akan memberikan respons terhadap perubahan kondisi perairan baik berupa perubahan pada kelimpahan, jumlah jenis, maupun struktur komunitas fitoplankton (Ferreira *et al.* 2011). Keberadaan fitoplankton dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya unsur hara, kondisi cahaya, suhu, pH, serta pemangsaan oleh zooplankton dan ikan planktivor (Lau & Lane 2002, Yu 2010; Jiang *et al.* 2014). Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji struktur komunitas fitoplankton di perairan sekitar Pulau Samosir, Danau Toba.

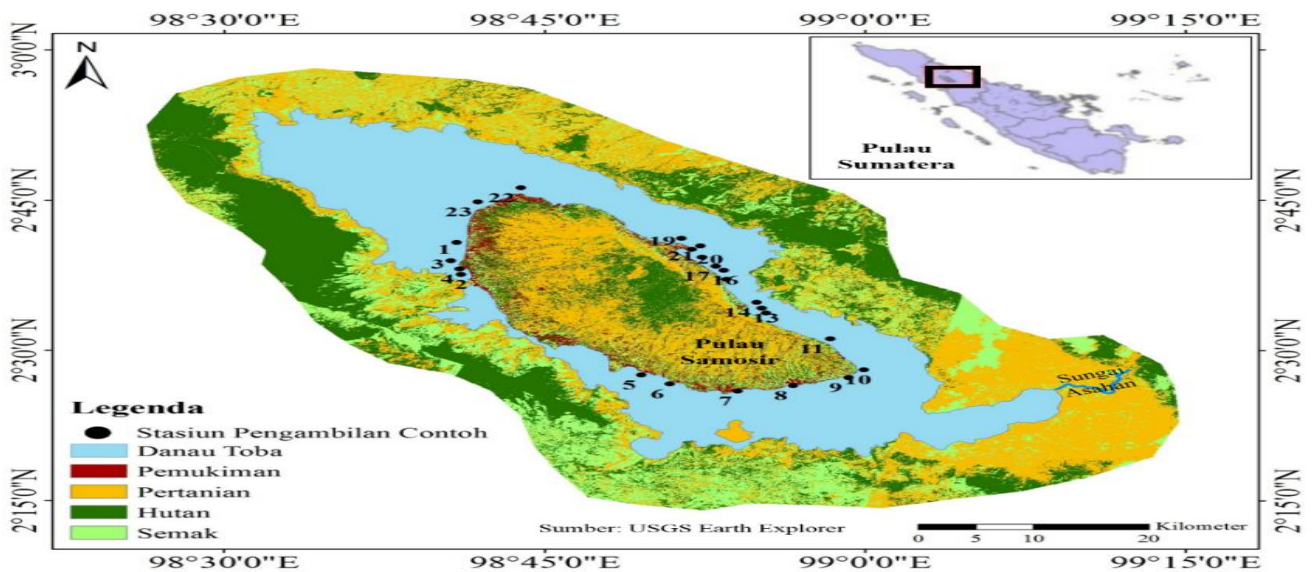
METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 20–24 Oktober 2014 yang terdiri dari pengambilan contoh air dan fitoplankton di Danau Toba. Lokasi pengambilan contoh berjumlah 23 stasiun yang tersebar di sekitar Pulau Samosir (Gambar 1). Stasiun-stasiun pengambilan contoh ditentukan berdasarkan perbedaan kondisi perairan dan tata guna lahan di perairan

sekitar Pulau Samosir, Danau Toba. Pengumpulan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan mengambil contoh air dan fitoplankton secara langsung mulai pukul 09:00–15:00 WIB di 23 stasiun yang telah ditentukan. Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mengumpulkan data hasil penelitian sebelumnya di Danau Toba dan data *monitoring* kualitas air Danau Toba. Wilayah Kabupaten Samosir tahun 2014 oleh Badan Lingkungan Hidup, Penelitian, dan Pengembangan (BLHPP) Kabupaten Samosir.

Pengambilan contoh air untuk analisis beberapa parameter kualitas air dilakukan dengan menggunakan alat *Van Dorn water sampler* pada kedalaman 1 dan 5 m di setiap stasiun yang telah ditentukan. Pengambilan contoh fitoplankton dilakukan dengan cara menarik (*hauling*) *plankton net* dengan *mesh size* 28 μ m secara vertikal dari kedalaman 5 m sampai permukaan perairan. Contoh air dan fitoplankton yang diperoleh, kemudian dimasukkan ke dalam botol contoh dan diberikan penanganan. Penanganan untuk contoh air berupa pendinginan, sedangkan untuk fitoplankton berupa pengawetan dengan larutan Lugol 1% untuk keperluan analisis di laboratorium. Beberapa parameter kualitas air serta alat dan metode yang digunakan dalam analisis contoh air pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Pengamatan dan identifikasi fitoplankton dilakukan di Laboratorium Biologi Mikro 1, Divisi Produktivitas dan Lingkungan Perairan, Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan (MSP), Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Identifikasi jenis fitoplankton menggunakan acuan Davis (1955) dan Mizuno (1979). Perhitungan kelimpahan fitoplankton menggunakan alat *Sedgewick Rafter Counting Cell* (SRC) yang diamati dengan mikroskop cahaya model Olympus CH-2. Kelimpahan fitoplankton dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut (Rice *et al.* 2012):



Gambar 1 Lokasi stasiun pengambilan contoh di sekitar Pulau Samosir, Danau Toba.

$$N = n \times \frac{V_t}{V_{src}} \times \frac{A_{src}}{A_a} \times \frac{1}{V_d}$$

Keterangan:

- N : Kelimpahan fitoplankton (sel/m³)
 n : Jumlah sel yang teramati
 V_t : Volume air tersaring (ml)
 V_{src} : Volume dalam satu SRC (1 ml)
 A_{src} : Luas penampang SRC (1000 mm²)
 A_a : Luas amatan (mm²)
 V_d : Volume air yang disaring (m³)

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini meliputi analisis struktur komunitas fitoplankton, kluster, dan komponen utama. Analisis struktur komunitas fitoplankton ditentukan dengan menggunakan beberapa indeks biologi seperti indeks keanekaragaman (H'), keseragaman (E), dan dominansi (C) yang mengacu pada Krebs (1989). Analisis kluster dilakukan untuk mengelompokkan stasiun pengambilan contoh menggunakan indeks similaritas Bray-Curtis (Brower *et al.* 1990) berdasarkan parameter biologi (kelimpahan fitoplankton). Hasil pengelompokan ini disajikan dalam bentuk dendrogram dan digunakan untuk menggambarkan kesamaan antar stasiun berdasarkan kelimpahan setiap jenis fitoplankton yang ditemukan di setiap stasiun. Nilai pengamatan yang mendekati 100% memiliki tingkat kesamaan yang tinggi dan nilai yang mendekati 0 berarti memiliki tingkat kesamaan yang rendah. Analisis komponen utama adalah suatu teknik analisis statistik multivarian yang digunakan untuk menentukan karakter setiap kelompok berdasarkan parameter

fisika, kimia, dan biologi serta mengetahui hubungan kelimpahan fitoplankton dengan parameter kualitas air (Ludwig & Reynold 1988).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi kualitas air di Danau Toba menunjukkan bahwa suhu air pada saat penelitian berkisar antara 24,00–24,88 °C, kekeruhan air 0,61–1,50 FTU, dan pH air cenderung basa berkisar antara 7,59–8,18. Pada penelitian ini, beberapa parameter kualitas air masih tergolong baik berdasarkan PP RI No. 82 Tahun 2001 kelas III (Tabel 2). Walaupun beberapa parameter kualitas air masih cukup baik, konsentrasi nitrat rata-rata pada penelitian ini menunjukkan nilai yang tinggi sebesar 1,66 mg/l. Konsentrasi nitrat > 0,2 mg/l menunjukkan bahwa perairan termasuk ke dalam tingkat eutrofik (Goldman & Horne 1983). Nitrat merupakan bentuk utama nitrogen di perairan, bersifat stabil dan sangat mudah larut dalam air. Nitrat banyak terdapat pada perairan yang tercemar limbah organik. Konsentrasi nitrat antara 1–2 mg/L mengindikasikan adanya pencemaran pupuk dari kegiatan pertanian (Weiner 2008).

Konsentrasi fosfat total yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara 0,12–1,53 mg/l dengan nilai rata-rata sebesar 0,74 mg/l. Konsentrasi fosfat total tersebut telah menunjukkan tingkat kesuburan yang tinggi atau eutrofik (>0,20 mg/l) (Wu & Wang 2012). Konsentrasi fosfat total di Danau Toba mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Pada tahun 1991, konsentrasi fosfat total rata-rata sebesar 0,239 mg/l (Schmittou 1991; Wijopriyono *et al.* 2010);

Tabel 1 Parameter dan metode yang digunakan dalam analisis contoh air

| Parameter kualitas air | Unit | Alat/metode | Acuan |
|-------------------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| Fisika | | | |
| Suhu | °C | pH meter | SNI 06-2413-1991 |
| Kekeruhan | FTU | Turbidimeter | SNI 06-2413-1991 |
| Kimia | | | |
| pH | - | pH meter | SNI 06-1140-1989 |
| Amonium | mg/l | Spektrofotometri | SNI 19-1655-1989 |
| Nitrat | mg/l | Spektrofotometri | SNI 06-2480-1991 |
| Nitrit | mg/l | Spektrofotometri | SNI 06-2484-1991 |
| Fosfat total | mg/l | Spektrofotometri | SNI 06-2483-1991 |
| Biologi | | | |
| Kelimpahan fitoplankton | sel/m ³ | Pencacahan | Rice <i>et al.</i> 2012 |

Tabel 2 Kisaran kualitas air berdasarkan 23 stasiun di perairan sekitar Pulau Samosir

| Parameter | Nilai | Rata-rata | PP RI No. 82 Tahun 2001 |
|---------------------|-------------|-----------|-------------------------|
| Fisika | | | |
| Suhu (°C) | 24,00–24,88 | 24,39 | Deviasi 3 |
| Kekeruhan (FTU) | 0,61–1,50 | 0,93 | - |
| Kimia | | | |
| pH | 7,59–8,18 | 8,02 | 6–9 |
| Amonium (mg/l) | 0,01–0,40 | 0,10 | - |
| Nitrat (mg/l) | 0,10–4,10 | 1,66 | 10 |
| Nitrit (mg/l) | 0,01 | 0,01 | 0,06 |
| Fosfat total (mg/l) | 0,12–1,53 | 0,74 | 1 |
| Ortofosfat (mg/l) | 0,06–0,73 | 0,35 | - |

sedangkan pada tahun 2005, konsentrasi fosfat total rata-rata sebesar 0,547 mg/l (Wijopriyono *et al.* 2010). Peningkatan konsentrasi fosfat tersebut merupakan indikator bahwa Danau Toba telah mengalami eutrofikasi (Walker *et al.* 2007).

Konsentrasi unsur hara yang tinggi di perairan dapat dipengaruhi oleh banyaknya aktivitas manusia yang ada di sekitar perairan. Beberapa hal yang dapat memengaruhi konsentrasi unsur hara adalah masukan unsur hara dari atmosfer, daerah tangkapan air dan sedimen danau (Levine & Schindler 1992), dan siklus unsur hara di danau (Schindler *et al.* 1993). Unsur hara di perairan juga dipengaruhi oleh pemakaian pupuk di lahan pertanian, penggunaan deterjen yang mengandung fosfat, erosi tanah yang mengandung unsur hara, dan pembuangan limbah industri (Alvarez-Vazquez *et al.* 2014).

Kelimpahan fitoplankton yang ditemukan di perairan sekitar Pulau Samosir, Danau Toba selama penelitian berkisar antara 216-68 319 716 sel/m³. Komposisi fitoplankton yang ditemukan terdiri dari 35 genus dari empat kelas, yaitu Chlorophyceae, Bacillariophyceae, Cyanophyceae, dan Dinophyceae. Cyanophyceae merupakan kelas fitoplankton yang dominan berdasarkan kelimpahannya. Cyanophyceae memiliki kelimpahan yang sangat tinggi dengan persentase rata-rata >40% (Gambar 2). Henderson-Seller & Markland (1987) menyatakan bahwa komunitas fitoplankton yang paling sering ditemukan dan cenderung mendominasi di perairan tergenang (seperti danau dan waduk) adalah Cyanophyceae dan Chlorophyceae.

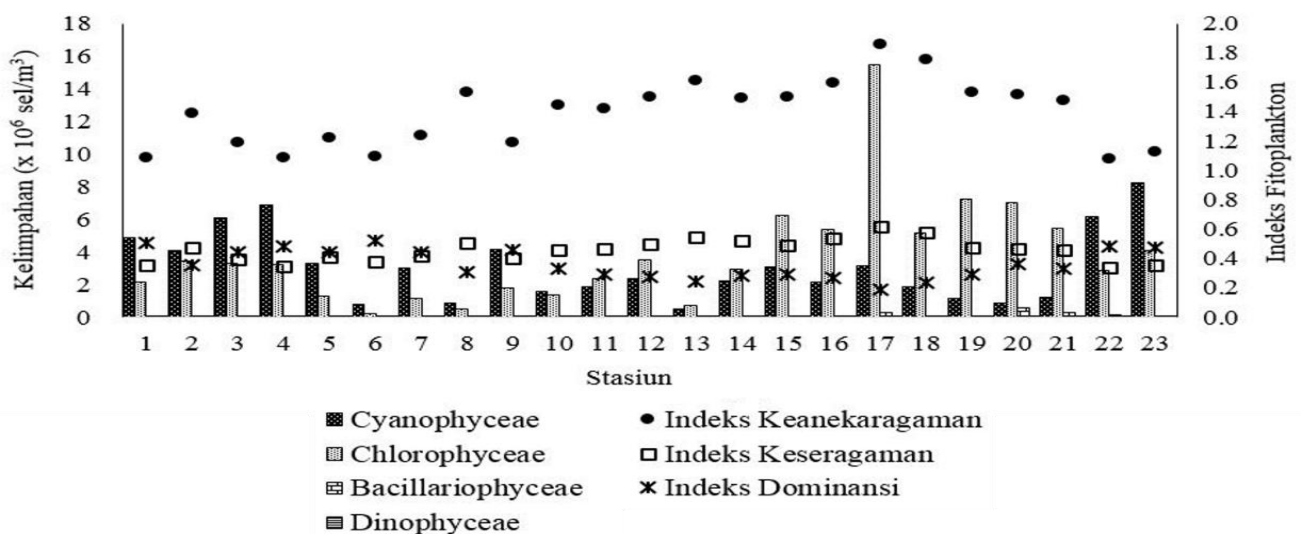
Dominasi fitoplankton dari kelas Cyanophyceae disebabkan oleh adanya pengaruh dari kondisi perairan eutrofik dengan konsentrasi unsur hara yang tinggi. Cyanophyceae banyak dijumpai pada kondisi perairan dengan konsentrasi fosfat total yang tinggi (Sulastri 2011). Hal ini sesuai dengan hasil analisis komponen utama yang menunjukkan bahwa fitoplankton dari kelas Cyanophyceae dipengaruhi oleh konsentrasi ortofosfat dan nitrat. Hasil penelitian lain

juga menyebutkan bahwa keberadaan Cyanophyceae dipengaruhi oleh konsentrasi ortofosfat di mana jenis fitoplankton dari kelas ini sangat melimpah pada konsentrasi ortofosfat yang tinggi (Lv *et al.* 2011; Jiang *et al.* 2014).

Jenis fitoplankton yang memiliki kelimpahan sangat tinggi dan ditemukan di semua stasiun selama penelitian adalah *Anabaena* (Cyanophyceae) dengan kelimpahan total sebesar 68.319.716 sel/m³ (42,53%). Munculnya *Anabaena* merupakan salah satu indikasi yang menunjukkan bahwa perairan dalam kondisi eutrofik karena *Anabaena* merupakan salah satu jenis fitoplankton yang menjadi penciri pada perairan eutrofik. Beberapa jenis fitoplankton yang umumnya sangat melimpah pada perairan eutrofik adalah *Anabaena*, *Microcystis*, *Chroococcus*, dan jenis filamentous seperti *Aphanizomenon* (Abrantes *et al.* 2006; Elliott & May 2007; Jiang *et al.* 2014). *Anabaena* dan *Microcystis* merupakan jenis fitoplankton yang beracun dan penyebab masalah yang terkait dengan hipoksia serta perubahan struktur komunitas biologis (Carmichael 2001; Chen *et al.* 2008).

Jenis-jenis fitoplankton lain yang memiliki kelimpahan tinggi di Danau Toba adalah *Gloeoitha* dan *Sphaerocystis* (Chlorophyceae) dengan kelimpahan total masing-masing sebesar 34.534.869 sel/m³ (21,50%) dan 31.917.017 sel/m³ (19,87%). Beberapa jenis fitoplankton yang memiliki kelimpahan tinggi pada penelitian ini berbeda dengan jenis fitoplankton yang ditemukan pada penelitian sebelumnya di Danau Toba. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa jenis fitoplankton yang melimpah adalah *Staurastrum* dan *Fragilaria* (Barus *et al.* 2008). Perbedaan jenis fitoplankton yang melimpah ini dapat disebabkan oleh perbedaan kondisi kualitas air terutama konsentrasi unsur hara. Pada penelitian ini, konsentrasi unsur hara terutama nitrat dan ortofosfat, memiliki nilai rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Barus *et al.* (2008).

Struktur komunitas fitoplankton ditentukan dengan



Gambar 2 Komposisi kelimpahan dan struktur komunitas fitoplankton di sekitar Pulau Samosir, Danau Toba.

menggunakan beberapa indeks biologi seperti indeks keanekaragaman, keseragaman, dan dominansi (Gambar 2). Indeks keanekaragaman fitoplankton di Danau Toba berkisar antara 1,08–1,86. Berdasarkan indeks keanekaragaman tersebut, fitoplankton di Danau Toba menunjukkan keanekaragaman yang rendah dan komunitas fitoplankton yang tidak stabil. Indeks keseragaman di Danau Toba berkisar antara 0,34–0,62, sedangkan indeks dominansi berkisar antara 0,19–0,52. Indeks keseragaman tersebut menunjukkan penyebaran jumlah individu setiap jenis di dalam suatu komunitas fitoplankton rendah hingga merata.

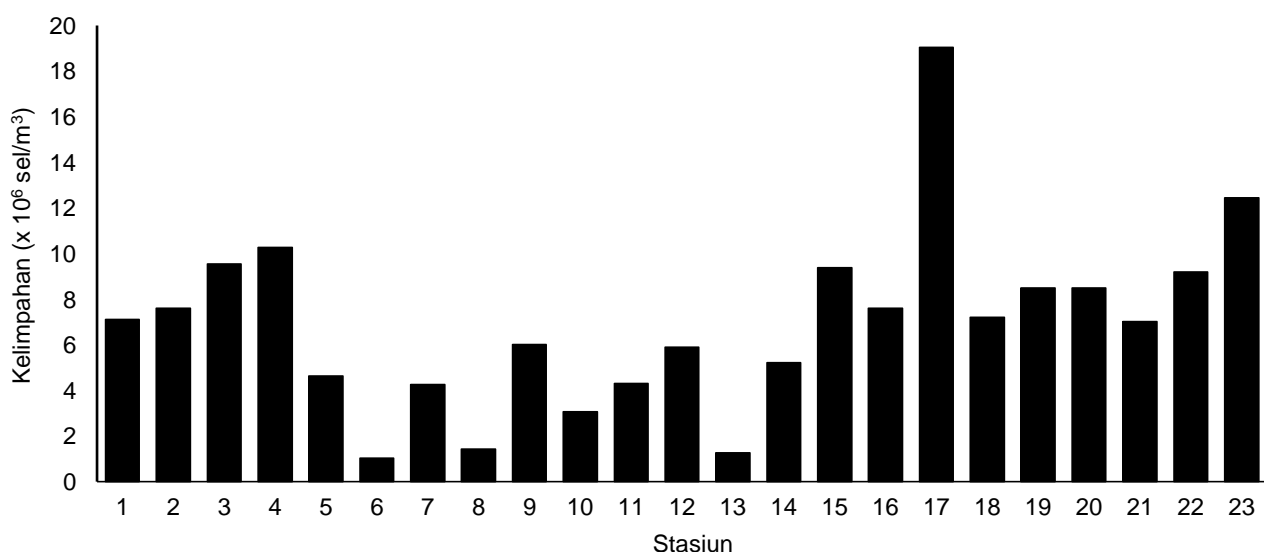
Indeks keanekaragaman dan keseragaman yang diperoleh pada penelitian ini berhubungan dengan keberadaan fitoplankton terutama jenis fitoplankton dari kelas Cyanophyceae dan Chlorophyceae. Pada saat kelimpahan Cyanophyceae lebih rendah dibandingkan Chlorophyceae seperti di Stasiun 17, indeks keanekaragaman dan keseragaman menunjukkan nilai yang tinggi; sedangkan pada saat kelimpahan Cyanophyceae lebih rendah dibandingkan Chlorophyceae seperti di Stasiun 22, indeks keanekaragaman dan keseragaman menunjukkan nilai yang rendah (Gambar 2).

Baik indeks keanekaragaman maupun keseragaman pada penelitian ini mengalami penurunan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya di Danau Toba (Yazwar 2008). Penurunan indeks keanekaragaman dan keseragaman tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan kualitas air di Danau Toba. Nilai indeks keanekaragaman fitoplankton yang rendah dapat disebabkan oleh kondisi kualitas air yang tidak baik atau telah mengalami eutrofikasi, sehingga hanya jenis-jenis fitoplankton yang toleran terhadap pencemaran yang dapat hidup di perairan tersebut (Soedibjo 2006).

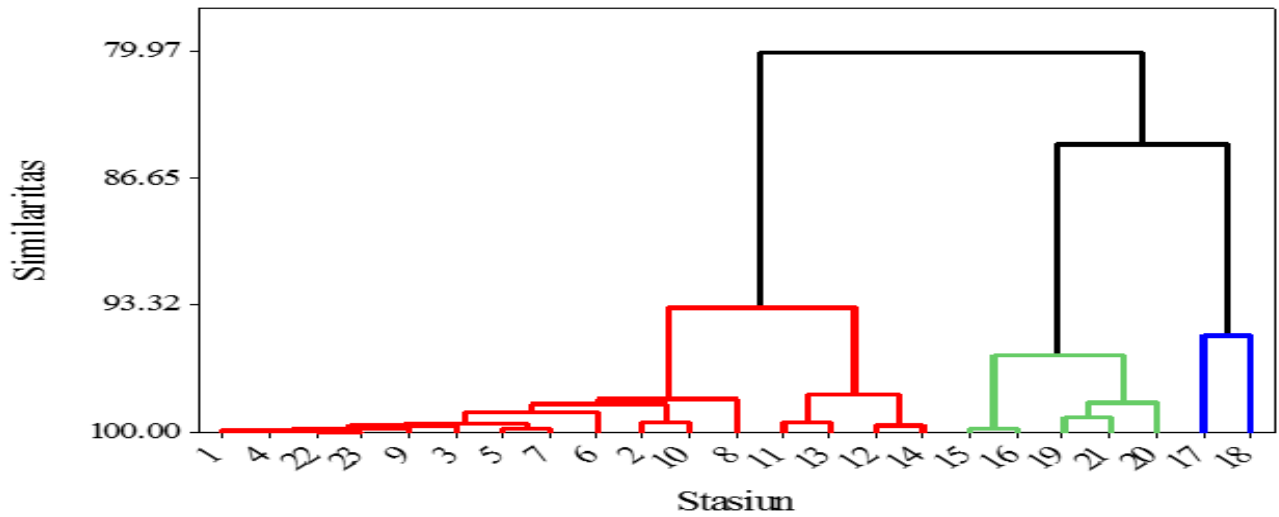
Kelimpahan total fitoplankton pada penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan di setiap stasiun (Gambar 3). Kelimpahan total fitoplankton pada setiap

stasiun berkisar antara 1.042.534–19.047.213 sel/m³. Kelimpahan total fitoplankton tertinggi terdapat di stasiun yang terletak dekat dengan KJA. Hal ini berhubungan dengan konsentrasi unsur hara terutama amonium yang tinggi di stasiun tersebut. Pada umumnya nitrogen yang diabsorpsi oleh fitoplankton dalam bentuk nitrat dan amonium. Namun, pada penelitian ini di perairan sekitar Pulau Samosir diduga fitoplankton lebih menyukai amonium yang keberadaannya selalu tersedia di perairan tersebut. Welch (1980) menyatakan bahwa fitoplankton lebih banyak menyerap amonium dibandingkan dengan nitrat karena ketersediaan amonium lebih banyak di perairan.

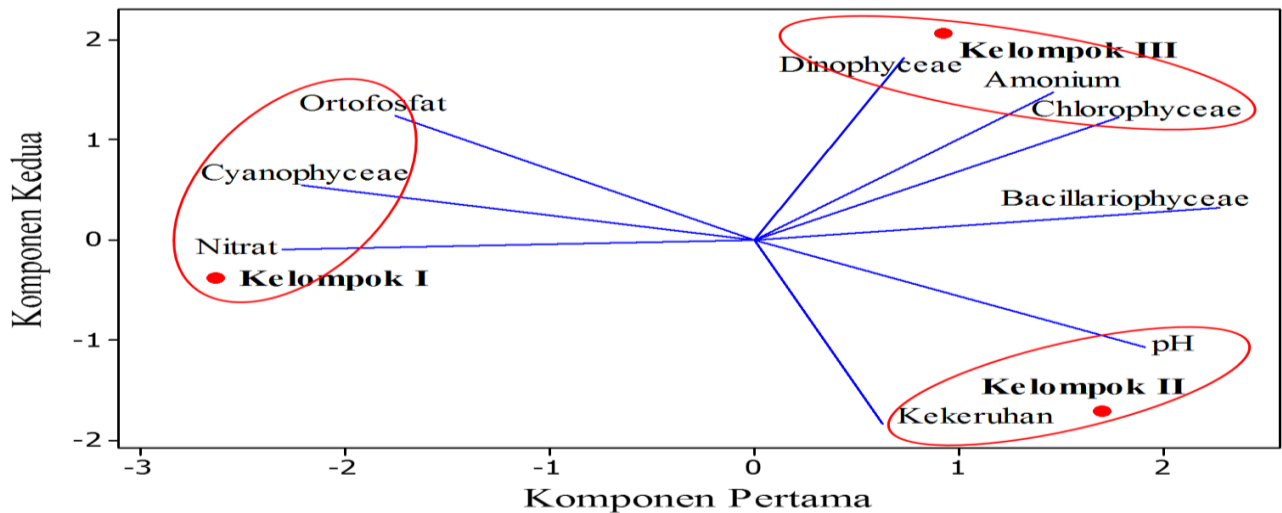
Hasil pengelompokan stasiun berdasarkan kelimpahan fitoplankton pada penelitian ini disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan taraf kesamaan 85%, pengelompokan stasiun terbagi menjadi 3 kelompok. Kelompok I terdiri dari stasiun 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 22, dan 23. Kelompok II terdiri dari stasiun 15, 16, 19, 20, dan 21; sedangkan kelompok III terdiri dari stasiun 17 dan 18. Kelompok-kelompok tersebut terbentuk karena adanya kesamaan nilai kelimpahan setiap jenis di stasiun pengamatan. Pada tiga kelompok yang terbentuk, masing-masing dicirikan dengan jenis fitoplankton tertentu yang dominan. Jenis fitoplankton yang melimpah pada kelompok I, II, dan III, masing-masing adalah *Anabaena*, *Gloeotila*, dan *Sphaerocystis*. Adanya jenis fitoplankton yang dominan ini diduga berhubungan dengan ketersediaan unsur hara dan parameter kualitas air lainnya pada setiap kelompok tersebut yang mendukung pertumbuhan fitoplankton jenis tertentu. Hasil analisis komponen utama menunjukkan bahwa kelimpahan *Anabaena* (Cyanophyceae) dipengaruhi oleh konsentrasi ortofosfat dan nitrat, sedangkan kelimpahan *Gloeotila* dan *Sphaerocystis* (Chlorophyceae) dipengaruhi oleh konsentrasi amonium (Gambar 5).



Gambar 3 Kelimpahan total fitoplankton di sekitar Pulau Samosir, Danau Toba.



Gambar 4 Dendrogram hasil pengelompokan stasiun berdasarkan kelimpahan fitoplankton.



Gambar 5 Biplot hasil analisis komponen utama berdasarkan komposisi fitoplankton dan kualitas air.

KESIMPULAN

Kelimpahan fitoplankton di Danau Toba berkisar antara 216-68.319.716 sel/m³. Struktur komunitas fitoplankton selama penelitian didominasi oleh *Anabaena* (Cyanophyceae). Danau Toba memiliki keanekaragaman fitoplankton yang rendah dan keseragaman yang rendah hingga merata yang menunjukkan kondisi kualitas air di Danau Toba tidak baik sehingga perlu rencana pengelolaan yang baik untuk memperbaiki kondisi kualitas air Danau Toba.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIKTI) atas biaya penelitian yang telah diberikan dan Badan Lingkungan Hidup, Penelitian, dan Pengembangan (BLHPP) Kabupaten Samosir atas bantuan yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian di Danau Toba. Penulis pertama juga mengucapkan terima

kasih kepada Institut Pertanian Bogor atas sarana dan prasarana pendidikan yang baik selama studi di Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Perairan, Departemen Manajemen Sumber Daya Perairan.

DAFTAR PUSTAKA

Abrantes N, Antunes SC, Pereira MJ, Goncalves F. 2006. Seasonal succession of cladocerans and phytoplankton and their interactions in a shallow eutrophic lake (Lake Vela, Portugal). *Acta Oecologica*. 29(1): 54–64. <http://doi.org/dn5tb9>

Alvarez-Vazquez LJ, Fernandez FJ, Martinez A. 2014. Optimal control of eutrophication processes in a moving domain. *Journal of the Franklin Institute*. 351(8): 4142–4182. <http://doi.org/bnfp>

Barus TA, Sinaga SS, Tarigan R. 2008. Produktivitas primer fitoplankton & hubungannya dengan faktor fisik-kimia air di perairan Parapat, Danau Toba. *Jurnal Biologi Sumatera*. 3(1): 11–16.

- Brower JE, Zar J, von Ende CN. 1990. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. 3rd ed. Dubuque Iowa (US): Wm.C. Brown Co. Publisher.
- Carmichael WW. 2001. Health effects of toxin-producing cyanobacteria: “the CyanoHABs”. *Human and Ecological Risk Assessment*. 7(5): 1393–1407. <http://doi.org/dn96sc>
- Chen W, Song LR, Peng L, Wan N, Zhang XM, Gan NQ. 2008. Reduction in microcystin concentrations in large and shallow lakes: water and sediment-interface contributions. *Water Research*. 42(3): 763–773. <http://doi.org/cwpcph>
- Davis CC. 1955 *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan (US): Michigan State University Press.
- Elliott JA, May L. 2007. The sensitivity of phytoplankton in Loch Leven (U.K.) to changes in nutrient load and water temperature. *Freshwater Biology*. 53(1): 32–41. <http://doi.org/ccbtk3>
- Ferreira JG, Andersen JH, Borja A, Bricker SB, Camp J, Cardoso da Silva M, Garces E, Heiskanen AS, Humborg C, Ignatiades L, Lancelot C, Menesguen A, Tett P, Hoepffner N, Claussen U. 2011. Overview of eutrophication indicators to assess environmental status within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 93(2): 117–131. <http://doi.org/dstftp>
- Goldman CR, Horne AJ. 1983. *Limnology*. United States of America (US): McGraw-Hill Book Company.
- Henderson-Sellers B, Markland HR. 1987. *Decaying Lakes: The Origins and Control of Cultural Eutrophication*. Great Britain (GB): John Wiley and Sons Ltd.
- Jiang YJ, He W, Liu WX, Qin N, Ouyang HL, Wang QM, Kong XZ, He QS, Yang C, Yang B, Xu FL. 2014. The seasonal and spatial variations of phytoplankton community and their correlation with environmental factors in a large eutrophic Chinese lake (Lake Chaohu). *Ecological Indicators*. 40: 58–67. <http://doi.org/bnfq>
- Krebs CJ. 1989. *Ecological Methodology*. New York (US): Harper Collins Publishers, Inc.
- Lau SSS, Lane SN. 2002. Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long-term study. *The Science of the Total Environment*. 288(3): 167–181. <http://doi.org/dzk3m4>
- Lehmusluoto P. 2000. Lake Toba, The first sound science initiative to abate change in the lake environment. *Research and Monitoring for Basin Management Decisions*. 1–12.
- Levine SN, Schindler DW. 1992. Modification of the N:P ratio in lakes by in situ processes. *Limnology and Oceanography*. 37(5): 917–935. <http://doi.org/bh6hsq>
- Ludwig JA, Reynolds JF. 1988. *Statistical Ecology a Primer on Methods and Computing*. New York (US): John Wiley & Sons, Inc..
- Lukman, Ridwansyah I. 2010. Kajian kondisi morfometri dan beberapa parameter stratifikasi perairan Danau Toba. *Limnotek*. 17(2): 158–170.
- Lukman. 2011. Ciri wilayah eufotik perairan Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Hari Lingkungan Hidup*. 131–139.
- Lv J, Wu H, Chen M. 2011. Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. *Limnologica*. 41(1): 48–56. <http://doi.org/b9phkk>
- May CL, Koseff JR, Lucas LV, Cloern JE, Schoellhamer DH. 2003. Effects of spatial and temporal variability of turbidity on phytoplankton blooms. *Marine Ecology Progress Series*. 254: 111–128. <http://doi.org/cv9z6d>
- Mizuno T. 1979. *Illustrations of the Freshwater Plankton of Japan*. Osaka (JP): Hoikusha Publishing Co Ltd.
- [PP-RI] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air. Sekretaris Negara Republik Indonesia Jakarta.
- Rice EW, Baird RB, Eaton AD, Clesceri LS. 2012. *APHA (American Public Health Association): Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22th ed*. Washington DC (US): AWWA (American Water Works Association) and WEF (Water Environment Federation).
- Sager L. 2009. Measuring the thropic status of ponds: Relationships between summer rate of periphytic net primary productivity and water physico-chemistry. *Water Research*. 43(6): 1667–1679. <http://doi.org/fqbrvq>
- Schindler DW, Bayley SE, Schlesinger WH. 1993. The biosphere as an increasing sink for atmospheric carbon: Estimates from increasing nitrogen deposition. *Global Biogeochemical Cycles*. 7(4): 717–734. <http://doi.org/bcd8pr>
- Schmittou HR. 1991. *Cage culture: A Method of Fish Production in Indonesia*. FRDP. Central Research Institute for Fisheries. Jakarta (ID): Indonesia.
- Soedibjo BS. 2006. Struktur komunitas fitoplankton dan hubungannya dengan beberapa parameter lingkungan di perairan Teluk Jakarta. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*. 40: 65–78.
- Sulastris. 2011. Perubahan temporal komposisi dan kelimpahan fitoplankton di Situ Lembang, Jawa Barat. *Limnotek*. 18(1): 1–14.

- Walker JL, Younus T, Zipper C. 2007. *Nutrients in Lakes and Reservoir: A Literature Review for Use in Nutrient Criteria Development*. Virginia (US): Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg.
- Weiner ER. 2008. *Applications of Environmental Aquatic Chemistry*. United States of America (US): CRC Press. <http://doi.org/fjjjcx>
- Welch EB. 1980. *Ecological Effect of Waste Water*. Cambridge (GB): Cambridge University Press.
- Wijopriono, Purnomo K, Kartamihardja ES, Fahmi Z. 2010. Fishery resources and ecology of Toba Lake. *Indonesian Fisheries Research Journal*. 16(1): 7–14.
- Wu FF, Wang X. 2012. Eutrophication evaluation based on set pair analysis of Baiyangdian Lake, North China. *Procedia Environmental Sciences*. 13: 1030–1036. <http://doi.org/bnfs>
- Yazwar. 2008. Keanekaragaman plankton dan keterkaitannya dengan kualitas air di Parapat Danau Toba. [Tesis]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Yu T. 2010. Phytoplankton Community Structure in Chaohu Lake. [Thesis]. Hefei (CN): Anhui University.