

Komposisi fitoplankton dan Produktivitas Primer di Danau Vulkanik Segara Anak Taman Nasional Gunung Rinjani

Taufik Arianto^{1*}, Ibnu Qayim², Ario Damar³

1. Pascasarjana Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University, Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

2. Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University, Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

3. Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan Fakultas Perikanan dan Kelautan, IPB University, Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

* Penulis Korespondensi: Taufik_123456@apps.ipb.ac.id

ABSTRAK

Keberadaan fitoplankton dalam ekosistem perairan memiliki peranan penting sebagai produsen utama dalam suatu ekosistem perairan. Segara Anak merupakan salah satu danau air tawar yang terbentuk karena proses vulkanologi. Danau ini berada di ketinggian 2100 mdpl dengan luas 11.3 km² dan kedalaman maksimum mencapai 230 m². Danau Segara Anak menjadi salah satu objek pariwisata yang ada di Taman Nasional Gunung Rinjani. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis produktivitas primer dan komposisi fitoplankton di Danau Segara Anak. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober sampai bulan Desember 2017 di Taman Nasional Gunung Rinjani, Lombok Nusa Tenggara Barat. Pengambilan contoh dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling method*. Data penelitian yang diambil berupa data fitoplankton, faktor fisika, nutrisi, klorofil-a, dan produktivitas primer. Analisis data yang digunakan antara lain *Analysis of Variance* (Anova), *Tukey Test*, *Kruskal Wallis*, *Cluster Analysis*, dan Analisis Komponen Utama. Hasil Penelitian ini menunjukkan kondisi nutrisi dan produktivitas primer perairan di danau Segara Anak masih tergolong rendah dengan komposisi fitoplankton yang didominasi oleh kelas *Cyanophyceae*.

Kata kunci: aktivitas vulkanik, Fitoplankton, klorofil-a, produktivitas primer.

PENDAHULUAN

Danau Segara Anak merupakan danau yang terbentuk karena proses letusan Gunung Rinjani atau disebut dengan danau kaldera. Danau ini terletak di Taman Nasional Gunung Rinjani (TNGR). Danau ini berada di ketinggian 2100 mdpl dan memiliki luas sekitar 11.3 km² dengan kedalaman maksimum mencapai 230 m (Aidin *et al.* 2011). Danau Segara Anak juga termasuk danau vulkanik karena masih mendapat pengaruh material vulkanik dari anak Gunung Rinjani (Gunung Baru Jari) (Lavigne *et al.* 2013). Danau Segara Anak mempunyai manfaat sebagai sumber air bersih bagi para wisatawan di wilayah TNGR. Rata-rata Jumlah pengunjung selama lima tahun terakhir di Gunung Rinjani mencapai 49 765 orang/tahun (BTNGR 2017).

Aktivitas vulkanik dan kegiatan antropogenik berupa pendakian dan perkemahan di sekitar Gunung Rinjani berpotensi memberikan masukan berupa pengaruh fisika dan kimia ke Danau Segara Anak. Masukan-masukan tersebut akan mempengaruhi kualitas dan kesuburan suatu perairan serta akan berdampak pada kehidupan organisme di perairan tersebut. Salah satu organisme perairan yang dapat merespons perubahan di lingkungan perairan adalah fitoplankton (Huszar dan Reynolds 1997). Struktur komunitas dan biomassa fitoplankton dapat berubah tergantung ketersediaan nutrisi yang ada di perairan (Cai *et al.* 2012). Ketersediaan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan silika menjadi faktor pembatas utama bagi fitoplankton. Unsur-unsur tersebut dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton (Zhang *et al.* 2015).

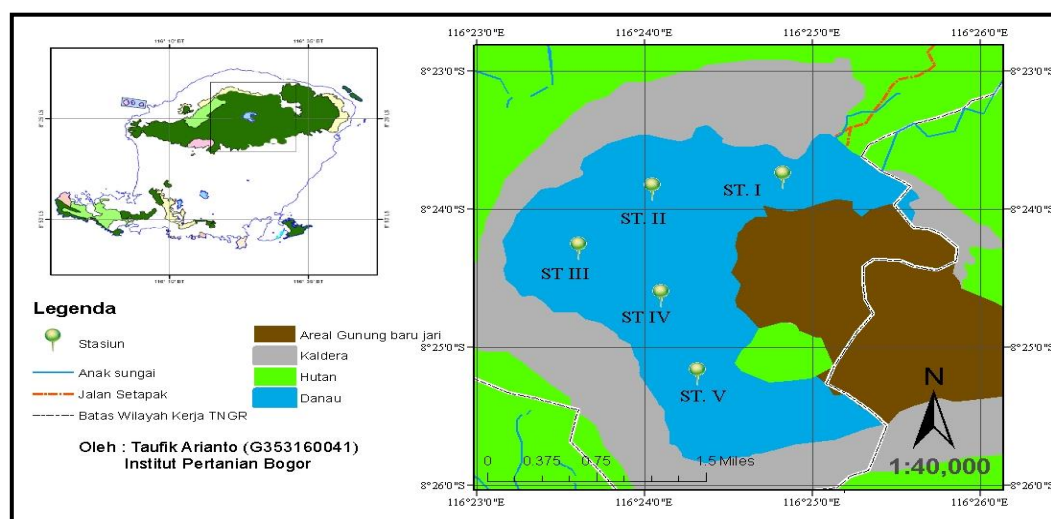
Peranan ekologi fitoplankton dalam struktur trofik perairan sangat penting untuk mendukung kehidupan biota di perairan tersebut. Fitoplankton merupakan organisme yang memiliki peran utama sebagai produsen primer di perairan. Melalui kemampuan melakukan fotosintesis, fitoplankton dapat mengontrol laju produktivitas primer di perairan (Cottingham dan Carpenter 1998). Produktivitas primer

merupakan syarat utama untuk mempelajari struktur dan fungsi ekosistem perairan. Besar kecilnya produktivitas primer tergantung pada beberapa faktor termasuk kelimpahan fitoplankton (Gocke dan Lenz 2004). Berdasarkan hal tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari komposisi fitoplankton dan pengaruh faktor lingkungan terhadap kehidupan fitoplankton secara spasial dan temporal di Danau Segara Anak serta produktivitas primer perairan Danau Segara Anak.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Oktober sampai bulan Desember 2017 di Danau Segara Anak Pulau Lombok Nusa Tenggara Barat. Secara geografis danau ini terletak pada 8°25'00" Lintang Selatan – 116°28'00" Bujur Timur (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Danau Segara Anak dan titik pengambilan contoh

Pengambilan Contoh Fitoplankton

Pengambilan contoh air untuk fitoplankton dilakukan menggunakan *Van Dorn Water Sampler* dengan kapasitas 1 L. Air yang diambil sebanyak 50 L tiap kedalaman 1 m, 5 m, dan 10 m, kemudian disaring menggunakan jaring fitoplankton. Hasil penyaringan selanjutnya dimasukkan kedalam botol 100 mL dan diawetkan menggunakan lugol sebanyak 0,5 mL (Vollenweider *et al.* 1974). Perhitungan dan identifikasi fitoplankton dilakukan di Laboratorium Produktivitas dan Lingkungan Perairan Institut Pertanian Bogor menggunakan mikroskop *Zeiss Primo Star* perbesaran 10 x 10 dengan acuan identifikasi menggunakan buku identifikasi *The Marine and Freshwater Plankton* dari Davis (1955). Perhitungan kelimpahan fitoplankton menggunakan metode sensus penyapuan *Seedwick Rafter Cell* (SRC) dengan formula sebagai berikut (APHA 2012).

$$N = n \times V_t / V_{SRC} \times A_{SRC} / A_a \times 1 / V_d$$

Keterangan :

- N : Kelimpahan plankton (sel/L)
- n : Jumlah organisme yang teramati (sel)
- V_t : Volume air tersaring (mL)
- V_{SRC} : Volume satu SRC (1 mL)
- A_{SRC} : Luas penampang SRC (mm²)
- A_a : Luas amatan (mm²)
- V_d : Volume air yang disaring (L)

Analisis Klorofil a Fitoplankton

Contoh air danau untuk analisis klorofil a diambil sebanyak 500 mL dan disaring menggunakan botol filter dan membran milipor. Hasil saringan berupa klorofil yang berada di membran milipor selanjutnya diawetkan menggunakan $MgCO_3$ sebanyak 1 mL. Selanjutnya konsentrasi klorofil a diukur dengan menggunakan spektrofotometer yang dihitung dengan menggunakan persamaan menurut APHA (2012), sebagai berikut :

$Chl-a =$

$$\frac{26.7 (664_b - 665_a) \times V_1}{V_2 \times I}$$

Keterangan

V_1 = Volume yang diekstrak

V_2 = Volume contoh

664_b = Abs. pada 664 nm-abs. pada 750 nm sebelum pengasaman

665_a = Abs. pada 664 nm-abs. pada 750 nm sebelum pengasaman

I = Panjang kuvet

Pengukuran Faktor Fisika Perairan

Pengukuran faktor fisika perairan dilakukan secara *in situ* mulai pukul 9.00 WITA sampai selesai. Adapun parameter fisika perairan yang diukur antara lain intensitas cahaya, suhu air, pH, dan *Dissolved Oxygen* (DO). Perhitungan distribusi intensitas cahaya matahari pada kedalaman 1 m, 5 m, dan 10 m ditentukan menurut Hukum Beer-Lambert (Parsons *et al.* 1984) dengan formula sebagai berikut:

$$I_z = I_0 e^{K_T Z}$$

Keterangan :

I_z = Intensitas cahaya pada kedalaman (lx)

I_0 = Intensitas cahaya pada permukaan (lx)

$e^{K_T Z}$ = Koefisien peredupan pada kedalaman

Pengambilan Contoh Nutrien

Pengambilan contoh air untuk keperluan analisis nutrien di perairan menggunakan *Van Dorn Water Sampler* pada setiap stasiun dengan strata kedalaman 1 m, 5 m, dan 10 m. Parameter yang diukur yaitu *Dissolved Inorganic Nitrogen* (DIN), fosfat, dan silika dengan menggunakan metode analisis spektrofotometri (APHA 2012). Analisis tersebut dilakukan di Laboratorium Produktivitas Lingkungan dan Perairan IPB.

Produktivitas Primer

Pengukuran produktivitas primer dilakukan menggunakan metode oksigen botol terang-gelap. Prinsip kerja metode ini adalah mengukur perubahan kandungan oksigen dalam botol terang dan botol gelap yang berisi contoh air. Setelah diukur botol tersebut diinkubasikan selama beberapa jam. Produktivitas primer bersih dapat dihitung menggunakan persamaan Umlay dan Cuvin (1988): Pengukuran produktivitas primer hanya dilakukan di tiga stasiun yaitu stasiun I, III, dan V. Pengukuran produktivitas primer dimulai pukul 7.00-12.00 WITA

$$\frac{(O_2 BT) - (O_2 BG) \times 1000 \times 0.375}{PQ(t)}$$

Keterangan :

NPP : Produktivitas primer bersih ($mgC/m^3/jam$)

$O_2 BT$: Oksigen pada botol terang (BT) setelah inkubasi (mg/L)

$O_2 BG$: Oksigen pada botol Gelap (BG) (mg/L)

PQ : *Photosintetic Quotien* adalah perbandingan O_2 yang dihasilkan dengan CO_2 yang digunakan melalui proses fotosintesis. Nilai PQ berkisar 1.1-1.3 (Parsons *et al.* 1984).

t : Waktu inkubasi (jam)

1000 : Konversi liter menjadi (m^3)

0,375 : Koefisien konversi oksigen menjadi carbon (=12/32)

Analisis Data

Analisis perbedaan masing-masing faktor lingkungan dan kelimpahan fitoplankton dilakukan menggunakan uji *Analysis of Variance* (Anova), sedangkan untuk data yang tidak memenuhi asumsi uji Anova digunakan uji Kruskal Wallis menggunakan program SPSS Versi 21. Pengujian dilakukan untuk melihat perbedaan masing-masing variabel seperti faktor fisika, nutrien, dan kelimpahan fitoplankton secara spasial dan temporal, sedangkan untuk melihat pengelompokan stasiun dan keterkaitan antar variabel digunakan *Cluster Analysis* dan *Principal Component Analysis* (PCA).

HASIL

Faktor Fisika Perairan

Hasil analisis beberapa parameter fisika menunjukkan perbedaan signifikan secara spasial dan temporal. Parameter suhu berbeda antar stasiun dan kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Uji lanjut (Tukey, $p \leq 0.05$) menunjukkan perbedaan antar stasiun I, II dengan stasiun III, IV, dan V. Sedangkan hasil uji lanjut (Tukey, $p \leq 0.05$) tiap kedalaman menunjukkan perbedaan. Rata-rata suhu perairan pada stasiun I lebih tinggi jika dibandingkan stasiun lainnya, sedangkan rata-rata suhu pada kedalaman 1 m lebih tinggi dibandingkan kedalaman 5 m dan 10 m (Tabel 1). Suhu tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan danau kaldera lainnya. Cocquyt *et al.* (2010) melaporkan suhu di Danau Kyaninga berkisar antara 22.80-23.10 °C. Degefu *et al.* (2014) juga melaporkan suhu di Danau Wonchi berkisar 14.5-17.5 °C.

Tabel 1 Hasil pengukuran faktor fisika perairan berdasarkan stasiun dan kedalaman

Stasiun	Kedalaman 1 m				Kedalaman 5 m				Kedalaman 10 m			
	Suhu	pH	DO	Cahaya	Suhu	pH	DO	Cahaya	Suhu	pH	DO	Cahaya
	(°C)		(mg/L)	(lx)	(°C)		(mg/L)	(lx)	(°C)		(mg/L)	(lx)
I	23.6	5.1	6.7	839.8	21.3	4.7	6.7	77.3	19.3	4.2	5.4	4.2
II	21.5	5.4	6.8	777.8	20.6	4.9	6.6	73.5	19.3	4.7	5.2	3.9
III	21.7	5.7	7.0	797.1	20.6	5.1	6.5	95.0	20.1	5.4	5.6	6.7
IV	21.0	5.3	7.3	765.4	19.9	5.5	6.7	99.4	20.1	5.0	6.1	8.0
V	20.7	5.4	7.2	792.6	20.2	4.8	6.4	107.2	19.0	4.5	5.8	9.0

Hasil analisis pH antar stasiun dan kedalaman tidak berbeda signifikan (Anova, $p \geq 0.05$). pH di Danau Segara Anak bersifat asam. Nilai pH tersebut lebih rendah dibandingkan danau kaldera lainnya yang bersifat netral dan cenderung basa. Satyanayaran *et al.* (2006) melaporkan pH di Danau Lonar India berkisar antara 9.85-10.1, sedangkan di Danau kaldera lainnya seperti Kawah Ijen nilai pH tersebut jauh lebih tinggi. pH di Kawah Ijen memiliki derajat keasaman 0.3 (Lohr *et al.* 2006). Kondisi pH yang asam di Danau Segara Anak dapat disebabkan karena peningkatan magma sulfur dioksida akibat proses erupsi Gunung Baru Jari (Solikhin *et al.* 2010).

Nilai DO tidak berbeda signifikan antar stasiun (Anova, $p \geq 0.05$), namun berbeda signifikan berdasarkan kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Uji lanjut DO antar kedalaman menunjukkan perbedaan antara kedalaman 1 m dengan 10 m (Tukey, $p \leq 0.05$). Nilai DO mengalami penurunan berdasarkan kedalaman pengambilan contoh. Rata-rata nilai DO pada kedalaman 1 m lebih tinggi dibandingkan 10 m.

Rata-rata intensitas cahaya tidak berbeda signifikan antar stasiun (Anova, $p \geq 0.05$) akan tetapi berbeda signifikan antar kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Hasil pengukuran cahaya menunjukkan bahwa cahaya berkurang dengan bertambahnya kedalaman. Jarak antar stasiun yang tidak terlalu jauh dapat menjadi faktor penyebab persebaran cahaya seragam antar stasiun.

Berdasarkan waktu pengambilan contoh, parameter fisika perairan dalam penelitian ini mengalami penurunan. Parameter suhu, pH, DO, dan cahaya antar waktu pengambilan contoh berbeda signifikan (Anova, $p \leq 0.05$). Terjadi penurunan pada parameter fisika di bulan November dan Desember (Tabel 2). Penurunan nilai parameter tersebut dapat disebabkan karena pengaruh musim penghujan. Data BMKG (2017) menunjukkan bahwa pada Bulan November dan Desember 2017 di daerah Gunung Rinjani memasuki musim penghujan.

Tabel 2 Hasil pengukuran faktor fisika perairan berdasarkan waktu pengambilan contoh

Stasiun	Oktober				November				Desember			
	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Cahaya (lx)	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Cahaya (lx)	Suhu (°C)	pH	DO (mg/L)	Cahaya (lx)
I	24.3	4.8	6.7	503.9	23.8	4.3	6.3	262.3	22.7	4.9	5.9	155.1
II	21.4	5.1	6.8	529.3	20.5	4.9	6.0	184.2	19.5	4.8	5.8	141.7
III	22.0	5.4	6.7	470.8	20.7	5.3	6.1	246.6	19.7	5.2	6.4	181.5
IV	21.2	5.5	7.0	452.5	19.5	4.8	6.7	266.9	19.1	5.2	6.3	153.5
V	20.6	5.6	7.1	484.5	19.6	4.5	6.8	261.0	19.7	4.6	5.7	163.3

Nutrien

Hasil pengukuran nutrisi berdasarkan stasiun dan kedalaman disajikan dalam Tabel 3. Hasil pengukuran tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi DIN dan fosfat tidak berbeda signifikan antar stasiun dan kedalaman (Kruskal Wallis, $p \geq 0.05$). Konsentrasi silika tidak berbeda signifikan berdasarkan stasiun (Anova $p \geq 0.05$), tetapi berbeda signifikan berdasarkan kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Silika memiliki konsentrasi tertinggi di antara nutrisi lainnya. Tingginya konsentrasi silika di Danau Segara Anak dapat berasal dari batuan atau sedimen. Rachmat *et al.* (2016) melaporkan bahwa silika di Danau Segara Anak merupakan senyawa yang paling banyak ditemukan setelah aluminium oksida.

Tabel 3 Hasil pengukuran nutrisi berdasarkan stasiun dan kedalaman

Stasiun	Kedalaman 1 m			Kedalaman 5 m			Kedalaman 10 m			Rasio N:P
	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	
I	0.260	0.045	2.079	0.120	0.041	1.607	0.075	0.048	1.283	3:1
II	0.151	0.045	2.022	0.104	0.040	1.528	0.122	0.041	1.413	3:1
III	0.092	0.050	1.898	0.164	0.042	1.419	0.146	0.031	1.278	3:1
IV	0.107	0.048	1.910	0.590	0.041	1.357	0.167	0.042	1.448	6:1
V	0.125	0.039	1.768	0.081	0.047	1.313	0.122	0.027	1.555	2:1

Konsentrasi fosfat dan silika menunjukkan perbedaan signifikan antar waktu (Kruskal wallis, $p \leq 0.05$). Konsentrasi kedua nutrisi tersebut menurun pada bulan November dan Desember (Tabel 4). Hal tersebut berbanding terbalik dengan konsentrasi DIN yang tidak berbeda antar bulannya (Kruskal Wallis, $p \leq 0.05$).

Tabel 4 Hasil pengukuran nutrisi berdasarkan waktu pengambilan contoh

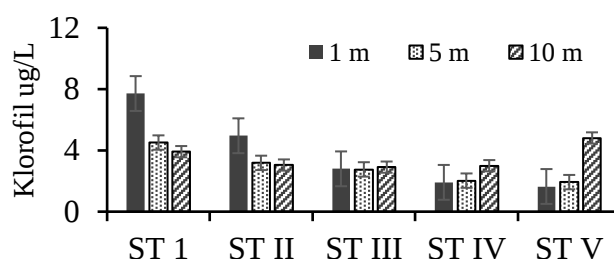
Stasiun	Oktober			November			Desember			Rasio N:P
	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	DIN (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Silika (mg/L)	
I	0.180	0.061	2.857	0.068	0.040	1.619	0.261	0.044	1.433	3:1
II	0.119	0.048	3.045	0.066	0.051	1.335	0.125	0.031	1.632	2:1

III	0.072	0.058	2.922	0.066	0.046	1.331	0.209	0.033	1.391	2:1
IV	0.072	0.054	2.697	0.399	0.054	1.370	0.187	0.031	1.510	4:1
V	0.180	0.044	2.402	0.066	0.047	1.366	0.134	0.026	1.513	3:1

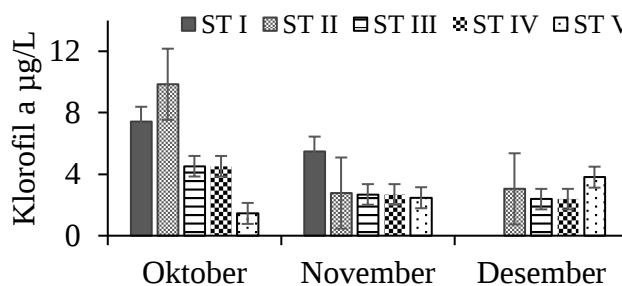
Rasio N:P pada penelitian ini rata-rata di bawah 16:1 (Tabel 4). Rasio 16:1 merupakan rasio yang optimal bagi fitoplankton sesuai dengan rasio *Redfield*. Rasio di bawah 16:1 mengindikasikan nitrogen menjadi nutrisi pembatas bagi pertumbuhan fitoplankton, sedangkan rasio di atas 16:1 mengindikasikan fosfat sebagai faktor pembatas (Ptacnick *et al.* 2010). Dalam penelitian ini seluruh stasiun mengindikasikan nitrogen merupakan faktor pembatas.

Klorofil a

Konsentrasi klorofil a dalam penelitian ini bervariasi secara spasial dan temporal. Kandungan klorofil a berbeda signifikan antar stasiun dan kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Rata-rata kandungan klorofil a tertinggi berada pada stasiun I yaitu $5.37 \pm 0.68 \mu\text{g/L}$ sedangkan terendah berada pada stasiun IV $2.31 \pm 0.99 \mu\text{g/L}$ (Gambar 2).



Gambar 2 Rata-rata klorofil a berdasarkan stasiun dan kedalaman



Gambar 3 Rata-rata klorofil a berdasarkan waktu pengambilan contoh

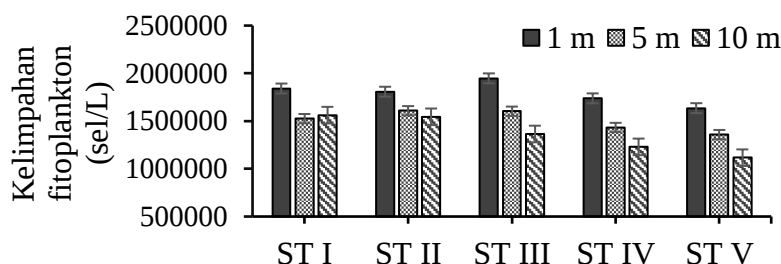
Kandungan klorofil secara temporal tidak berbeda signifikan (Anova, $p \geq 0.05$). Penurunan konsentrasi klorofil terjadi pada bulan November dan Desember. Rata-rata kandungan klorofil a tertinggi berada pada bulan Oktober yaitu $5.55 \pm 1.06 \mu\text{g/L}$ sedangkan terendah berada pada bulan Desember $2.90 \pm 0.22 \mu\text{g/L}$ (Gambar 3).

Komposisi dan kelimpahan fitoplankton

Komposisi fitoplankton di lokasi penelitian ini terdiri atas 19 genera yang terbagi menjadi lima kelas, yaitu Bacillariophyceae, Cyanophyceae, Chlorophyceae, Charophyceae dan Dinophyceae. Kelas Bacillariophyceae ditemukan dengan jumlah genera paling banyak dibandingkan kelas lainnya. Jumlah genera fitoplankton lebih sedikit dibandingkan hasil penelitian sebelumnya di danau yang sama yaitu 39 genera (Arianto *et al.* 2015).

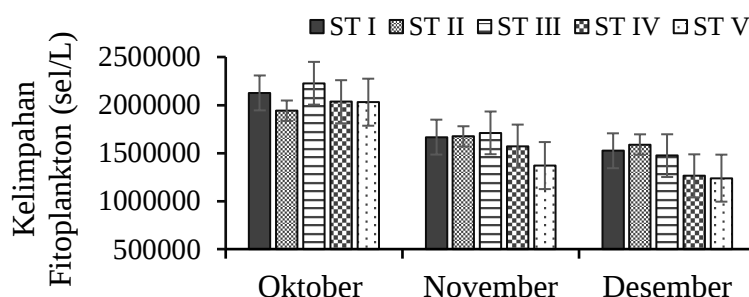
Kelimpahan fitoplankton menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar stasiun (Anova, $p \geq 0.05$), tetapi berbeda signifikan berdasarkan kedalaman (Anova, $p \leq 0.05$). Hasil uji lanjut menunjukkan perbedaan signifikan antara kedalaman 1 m dengan 5 m dan 1 m dengan 10 m, sedangkan antara kedalaman 5 m dan 10 m tidak berbeda signifikan (Tukey, $p \leq 0.05$). Hasil ini menunjukkan bahwa strata kedalaman untuk kelimpahan fitoplankton pada penelitian ini terbagi menjadi dua strata. Strata

pertama pada kedalaman 1 m dan strata kedua pada kedalaman 5 m dan 10 m. Rata-rata kelimpahan fitoplankton tertinggi berada pada kedalaman 1 m yaitu $1\,797\,318 \pm 15\,852$ sel/L, sedangkan kelimpahan terendah berada di kedalaman 10 m yaitu $1\,363\,411 \pm 26\,452.15$ sel/L (Gambar 4).



Gambar 4 Rata – rata kelimpahan fitoplankton berdasarkan stasiun dan kedalaman

Berdasarkan waktu pengambilan contoh kelimpahan fitoplankton berbeda signifikan (Anova, $p \leq 0.05$). Uji Tukey menunjukkan perbedaan antara bulan Oktober dengan bulan November dan Desember (Tukey, $p \leq 0.05$). Sedangkan antara bulan November dan Desember kelimpahan fitoplankton tidak berbeda signifikan (Tukey, $p \leq 0.05$) (Gambar 5).



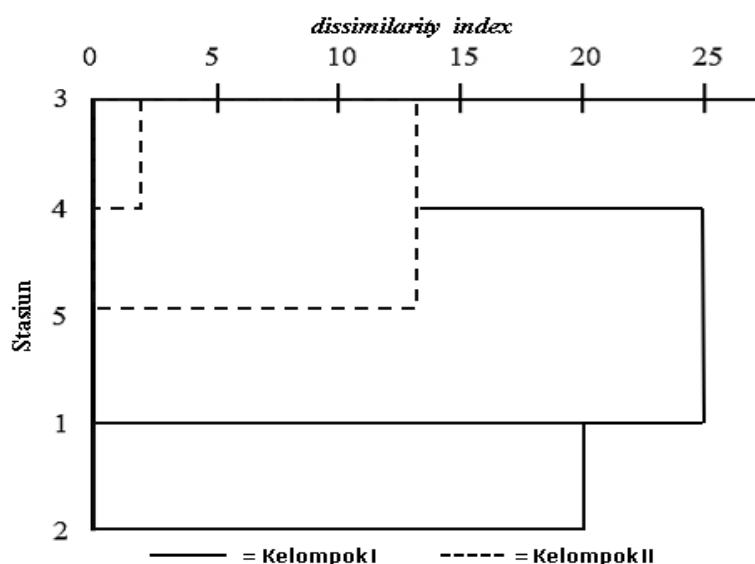
Gambar 5 Rata-rata kelimpahan fitoplankton berdasarkan waktu

Kelimpahan fitoplankton berdasarkan kelas didominasi oleh kelas Cyanophyceae di seluruh stasiun. Kelas Cyanophyceae memiliki rata-rata kelimpahan tertinggi di seluruh stasiun yaitu $7\,624\,498 \pm 215\,849$ sedangkan kelas fitoplankton yang memiliki kelimpahan terendah yaitu kelas Charophyceae dengan rata-rata kelimpahan di seluruh titik pengambilan contoh hanya mencapai $27\,537 \pm 2\,714.78$ sel/L. Dominansi kelimpahan fitoplankton di Danau Segara Anak mengalami perubahan dibandingkan penelitian sebelumnya. Arianto *et al.* (2015) melaporkan bahwa kelimpahan fitoplankton pada tahun 2014 didominasi oleh kelas Bacillariophyceae.

Perubahan komposisi fitoplankton di Danau Segara Anak dapat disebabkan oleh beberapa hal. Faktor fisika terutama pH dapat menjadi faktor pembatas bagi sebagian besar fitoplankton. Contohnya pada kelas Bacillariophyceae, proses metabolisme seperti pembentukan cangkang akan terganggu pada pH yang rendah. Hal ini menjelaskan kondisi di Danau Segara Anak yang memiliki silika tinggi akan tetapi, kelimpahan kelas Bacillariophyceae justru lebih rendah. Kelas yang toleran terhadap pH rendah seperti Cyanophyceae dapat berkembang dengan sangat baik dan menjadi kelas yang dominan. Adanya beberapa protein yang berperan dalam stres asam seperti *Anabaena*-GG-SK A7 pada beberapa spesies dari kelas Cyanophyceae membuat spesies ini tahan dalam kondisi pH asam bahkan hingga pH 4 (Karthikeyan dan Gopalaswamy 2009). Selain itu faktor nutrisi juga berperan penting dalam komposisi fitoplankton di Danau Segara Anak. Rasio N:P pada penelitian ini rata-rata dibawah 10:1. Rasio N:P yang dibawah 10:1 menjadikan kelas Cyanophyceae dominan dalam penelitian ini (Baffico dan Pendrozo 1996).

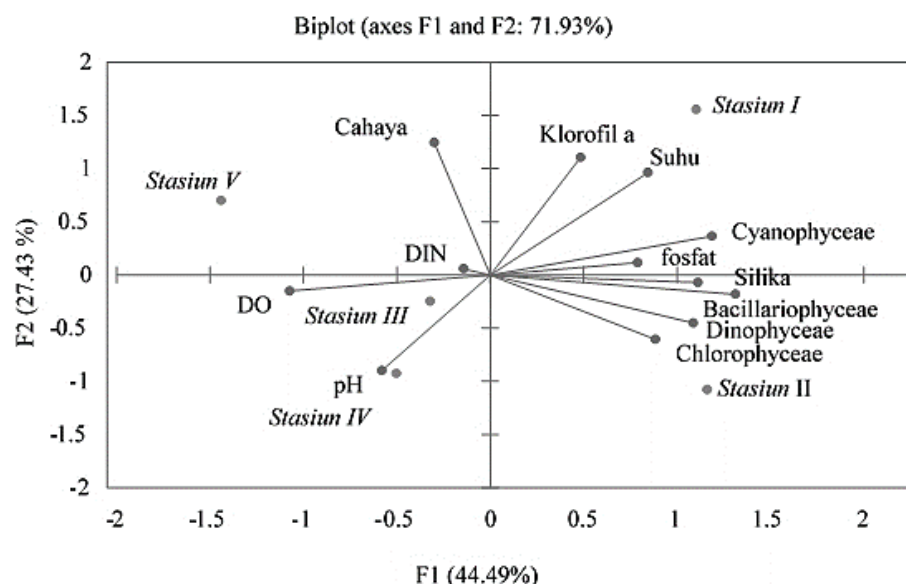
Keterikatan Faktor Fisika dan Nutrien Terhadap Kelimpahan Fitoplankton

Hasil analisis kelompok menghasilkan dua kelompok stasiun yang mempunyai karakter faktor fisika, nutrien, klorofil a, dan kelimpahan fitoplankton yang sama. Kelompok satu terdiri dari stasiun I dan II sedangkan kelompok dua terdiri dari stasiun III, IV, dan V (Gambar 6). Pengelompokan tersebut terjadi karena adanya karakteristik lingkungan perairan yang berbeda di stasiun tersebut. Stasiun I dan II merupakan stasiun yang terdekat dengan aktivitas Gunung Baru Jari dan terdapat banyak aktivitas perkemahan sedangkan stasiun III, IV, dan V cukup jauh dari lokasi perkemahan dan aktivitas Gunung Baru Jari.



Gambar 6 Dendrogram analisis kelompok faktor lingkungan kelimpahan dan klorofil a

Analisis PCA juga menunjukkan bahwa posisi stasiun I dan II dengan posisi stasiun III, IV, dan V berbeda jauh dalam kuadran. Hal tersebut memperkuat bahwa karakteristik lingkungan di kedua kelompok stasiun tersebut berbeda. Hasil PCA juga menunjukkan bahwa stasiun I dan II memiliki kelimpahan fitoplankton yang tinggi dan kualitas air yang lebih baik bagi pertumbuhan fitoplankton dibandingkan pada stasiun III, IV, dan V (Gambar 7).

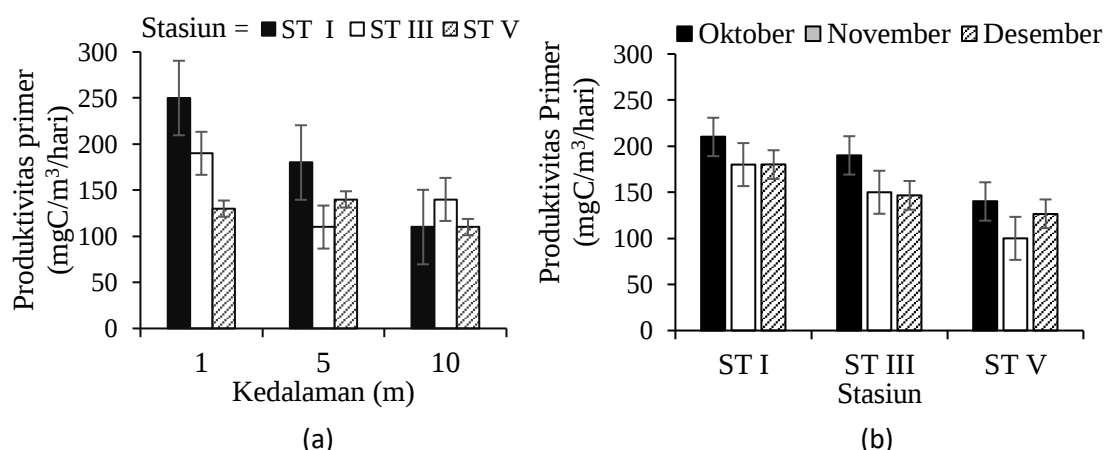


Gambar 7 Diagram biplot keterkaitan fitoplankton dan faktor lingkungan

Berdasarkan kelasnya kelimpahan fitoplankton pada analisis PCA menunjukkan karakter yang khas. Kelimpahan kelas Cyanophyceae pada stasiun I mempunyai korelasi yang erat dengan klorofil a, suhu dan fosfat. Konsentrasi fosfat dan suhu pada stasiun I mempunyai pengaruh besar terhadap pertumbuhan Cyanophyceae. Hal tersebut berbanding terbalik dengan parameter pH, DO, dan cahaya yang tidak mempunyai korelasi dengan kelimpahan Cyanophyceae. Toleransi yang tinggi pada kelas Cyanophyceae khususnya terhadap pH mengakibatkan adanya dominasi dari kelas tersebut walaupun pH di Danau Segara Anak tergolong rendah. Kelimpahan Bacillariophyceae juga terlihat mempunyai korelasi erat dengan konsentrasi silika. Silika merupakan salah satu nutrisi utama bagi Bacillariophyceae karena pemanfaatannya sebagai bahan utama untuk pembentukan dinding sel.

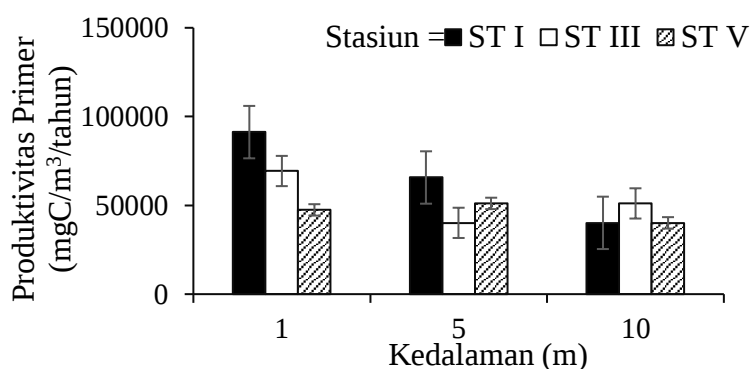
Produktivitas Primer

Hasil analisis statistik produktivitas primer menunjukkan perbedaan yang signifikan secara spasial dan temporal di Danau Segara Anak. Produktivitas primer perairan berdasarkan stasiun dan kedalaman berbeda signifikan (Anova, $p \leq 0.05$). Uji lanjut Tukey menunjukkan perbedaan signifikan antara stasiun I dengan stasiun V dan kedalaman 1 m dengan kedalaman 10 m (Tukey, $p \leq 0.05$). Produktivitas tertinggi berada di stasiun I kedalaman 1 m yaitu $250 \text{ mgC/m}^3/\text{hari}$ sedangkan produktivitas terendah berada pada stasiun V dengan kedalaman 10 m yaitu $110 \text{ mgC/m}^3/\text{hari}$ (Gambar 8a).



Gambar 8 Rata-rata produktivitas primer perairan secara spasial (a) dan (b) temporal

Secara temporal tidak ada perbedaan yang signifikan produktivitas primer di lokasi penelitian (Anova $p \geq 0.05$). Rata-rata produktivitas primer pada bulan Oktober sedikit lebih tinggi dibandingkan pada bulan November dan Desember. Rata-rata produktivitas primer bulan Oktober, November dan Desember berturut-turut $180.00 \pm 63.25 \text{ mgC/m}^3/\text{hari}$, $143.33 \pm 56.17 \text{ mgC/m}^3/\text{hari}$, dan $151.11 \pm 44.58 \text{ mgC/m}^3/\text{hari}$ (Gambar 8b). Hasil perhitungan produktivitas tahunan di Danau Segara Anak berkisar $40 \text{ mgC/m}^3/\text{tahun}$ (Gambar 9).



Gambar 9 Rata-rata produktivitas primer perairan tahunan

Nilai produktivitas primer harian di Danau Segara Anak lebih rendah jika dibandingkan nilai produktivitas primer di danau sejenis lainnya. Produktivitas primer di Danau Segara Anak berkisar antara 143.33-180.00 mgC/m³/hari. Barus *et al.* (2008) melaporkan bahwa rata-rata produktivitas primer harian di Danau Toba berkisar antara 387.87- 825.79 mgC/m³/hari. Hal ini dapat disebabkan karena waktu pengukuran produktivitas primer yang dilakukan pagi hari sehingga kurang optimal. Menurut Yulianto *et al.* (2014) pengukuran produktivitas primer tertinggi didapatkan pada siang hari mulai pukul 10.00 hingga pukul 02.00. Waktu-waktu tersebut adalah waktu ketika cahaya optimum bagi proses fotosintesis.

Hasil analisis produktivitas primer juga berbanding lurus dengan klorofil-a. Klorofil-a merupakan salah satu pigmen fotosintesis penting yang berperan dalam penangkapan gelombang cahaya pada proses fotosintesis. Kerapatan klorofil-a pada suatu perairan memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan produktivitas primer (Pitoyo dan Wiryanto 2002; Nuzapril *et al.* 2017). Semakin besar jumlah klorofil dalam suatu satuan luas akan meningkatkan efektifitas penangkapan cahaya. Dalam penelitian ini persebaran klorofil tertinggi berada di stasiun I, hal ini serupa dengan nilai produktivitasnya yang juga tertinggi di stasiun tersebut. Selain itu, berdasarkan kedalaman nilai klorofil-a juga menurun pada kedalaman 5 m dan 10 m.

SIMPULAN

Karakteristik perairan Danau Segara Anak banyak dipengaruhi oleh aktivitas vulkanik dan posisi geografis danau dibandingkan aktivitas antropogenik. Struktur komunitas fitoplankton di Danau Segara Anak lebih banyak dipengaruhi oleh kondisi fisika dibandingkan makronutrientnya. Beberapa faktor fisika seperti pH dan cahaya menjadi faktor pembatas terhadap komposisi jenis dan kelimpahan fitoplankton secara spasial dan temporal. Kondisi makronutrien seperti nitrat dan fosfat relatif rendah dibandingkan beberapa danau tropis lainnya. Pengaruh mikronutrien di danau vulkanik seperti Fe dapat menjadi faktor penting dalam peningkatan dan dominasi kelimpahan Cyanophyceae di Danau Segara Anak. Selain hal tersebut produktivitas primer bulanan dan tahunan di Danau Segara Anak juga tergolong masih rendah dibandingkan danau-danau lainnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih Kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan yang telah menjadi sumber utama pendanaan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianto T, Bachtiar I, Japa L. 2015. Plankton community at Segara Anak Lake Gunung Rinjani National Park. *Natural B.* 3(1):69-80.
- Aidin S, Surahman, Satriawan E, Asnawi A, Gunawan M. 2011. *Profil Objek dan Taman Wisata Alam Taman Nasional Gunung Rinjani*. Mataram(ID): BTNGR Press.
- [APHA] American Public Health Association. 2012. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, D.C.(US) APHA-AWWA WEF.
- Baffico G.D, Pedrozo F.L. 1996. Growth factors controlling periphyton production in a temperate reservoir in Patagonia used for fish farming. *Lakes Reserv Res Manag.* (3-4): 243–249.
- Barus TA, Sinaga SS, Tarigan R. 2008. Produktivitas primer fitoplankton dan hubungannya dengan faktor fisik-kimia air di perairan Parapat, Danau Toba. *J Biol Sum.*3(1):11 – 16.
- [BMKG] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2017. Prakiraan Musim Hujan di Indonesia. [Internet]. [Diunduh 2018 Agustus 13]: Tersedia pada <https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-musim>.
- [BTNGR] Balai Besar Taman Nasional Gunung Rinjani. 2017. Tentang Taman Nasional Gunung Rinjani. [Internet]. [Dinduh 2017 Maret 17]: Tersedia pada <https://www.tnrinjani.net/home>.

- Cai L, Zhu G, Zhu M, Xu H, Qin B. 2012. Effects of temperature and nutrients on phytoplankton biomass during bloom seasons in Taihu Lake. *AJWSE*. 5(4):361–374.
- Cocquyt C, Plisnier P D, Gelorini V, Rumes B, Verschuren D. 2010. Observations on the limnology and phytoplankton community of crater Lake Kyaninga (Uganda), with special attention to its diatom flora. *Plant Ecol Evol*. 143(3): 365-377.
- Cottingham KL, Carpenter SR. 1998. Population, community, and ecosystem variables as ecological indicators: Phytoplankton responses to whole-lake enrichment. *Ecol Appl*. 8(2):508–530.
- Davis CC. 1955. *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan(US): Michigan State University Press.
- Degefu F, Herzig A, Jirsa F, Schagerl, M. 2014. First limnological records of highly threatened tropical high-mountain crater lakes in Ethiopia. *Trop Conserv Sci*. 7(3) :365-381.
- Gocke K, Lenz J. 2004. A new “turbulence incubator” for measuring primary production in nonstratified waters. *J. Plankton Res*. 26(3): 357-369.
- Huszar VLDM, Reynolds CS. 1997. Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in an Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Para, Brazil): Responses to gradual environmental change. *Hydrobiologia*. 346:169–181.
- Karthikeyan, C.V, Gopalaswamy G. 2009. Studies on acid stress tolerant proteins of cyanobacterium. *IJBSC*. 3(1):1-10
- Lavigne F, Degeai J P, Komorowski J C, Guillet S, Robert V, Lahitte P, Oppenheimer C, Stoffel M, Vidal CM, Surono, Pratomo I, Wassmer P, Hajdas I, Hadmoko DS, de Belizal E. 2013. Source of the great A.D. 1257 mystery eruption unveiled, Samalas volcano, Rinjani Volcanic Complex, Indonesia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 110(42):16742–16747.
- Lohr A J, Sluik R, Olaveson M M, Ivorra N, Van Gestel C A, Van Straalen N M. 2006. Macroinvertebrate and algal communities in an extremely acidic river and the Kawah Ijen crater lake (pH< 0.3), Indonesia. *Archiv für Hydrobiologie*. 165(1):1-21.
- Nuzapril M, Susilo SB, Panjaitan JP. 2017. Hubungan antara konsentrasi klorofil-a dengan tingkat produktivitas primer menggunakan citra satelit landsat-8. *JTPK*. 8(1):105-114.
- Parsons T R, Takahashi M, Hargrave B. 1984. *Biological Oceanographic Processes 2nd Edition*. Oxford (UK): Pergamon Press.
- Pitoyo A, Wiryanto. 2002. Produktivitas primer perairan Waduk Cengklik Boyolali. *Biodiversitas*. 3(1):189-195.
- Ptacnik R, Andersen T, Tamminen T. 2010. Performance of the Redfield ratio and a family of nutrient limitation indicators as thresholds for phytoplankton N vs. P limitation. *Ecosystems*. 13(8): 1201-1214.
- Rachmat H, Rosana M F, Wirakusumah A D, Jabbar G A. 2016. Petrogenesis of Rinjani Post-1257-Caldera-Forming-Eruption Lava Flows. *IJOG*. 3(2):107-126.
- Satyanarayan S, Chaudhari P.R, Dhadse, S. 2006. Limnological Study on Lonar lake: A Unique Brackish Crater Lake in India. 2007 Okt-Nov 29-02; Jaipur, India. Jaipur (IN): ILEC. hlm 2061-2066
- Solikhin A, Kunrat A, Bernat A. 2010. Geochemical and Thermodynamic Modeling of Segara Anak Lake and the 2009 Eruption of Rinjani Volcano, Lombok, Indonesia. *IJOG*. 5(4):227–239.
- Vollenweider R A, Talling J F, Westlake D F, 1974. *A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments*. New Jersey (US): Blackwell Scientific Pub.
- Yulianto D, Muskananfolo MR, Purnomo PW. 2014. Tingkat produktivitas primer dan kelimpahan fitoplankton berdasarkan waktu yang berbeda di Perairan Pulau Panjang, Jepara. *Man Aqua Resour*. 3(4):195-200.
- Zhang X, Mei X, Gulati R D, Liu Z. 2015. Effects of N and P enrichment on competition between phytoplankton and benthic algae in shallow lakes: a mesocosm study. *ESPR*. 22(6):4418-4424.