

Eksistensi fitoplankton di kolong pascatambang timah dengan umur berbeda

Andri Kurniawan^{1*}, Denny Syaputra¹, Eva Prasetyono¹

¹Jurusan Akuakultur

Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Biologi, Universitas Bangka Belitung
Jl. Balunijuk, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia. 33172

*E-mail: andri_pangkal@yahoo.co.id

Abstrak: Kajian tentang keberadaan fitoplankton di danau (kolong) bekas tambang timah dengan urutan waktu yang berbeda di Pulau Bangka penting dilakukan sebagai bioindikator kualitas ekosistem pada waktu tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi fitoplankton pada kolong pascatambang timah dengan umur yang berbeda, yaitu < 1 tahun, 20-25 tahun, dan > 50 tahun. Penelitian dilakukan secara eksploratif dengan metode *purposive* sampling untuk pemilihan lokasi penelitian, sedangkan pengamatan fitoplankton dilakukan secara *ex situ* di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan empat genus fitoplankton adalah *Chlorella*, *Closterium*, dan *Coelastrum* dari Chlorophyceae serta *Synedra* dari Bacillariophyceae. *Chlorella* ditemukan pada semua jenis lubang dan jumlah individu tertinggi pada kolong dengan umur < 1 tahun yaitu sebanyak 1.325 ekor/L. *Synedra* juga ditemukan di semua jenis lubang dan jumlah individu tertinggi di kolong dengan umur antara 20-25 tahun, sebanyak 107 ind./L. Sedangkan *Closterium* dan *Coelastrum* tidak ditemukan pada pit dengan umur < 1 tahun, tetapi teridentifikasi pada kolong dengan umur > 20 tahun. Jumlah individu *Closterium* tertinggi ditemukan pada pit dengan umur antara 20-25 tahun sebanyak 17 ind./L, sedangkan jumlah individu *Coelastrum* tertinggi terdapat pada kolong dengan umur > 50 tahun sebanyak 30 ind./L. Hasil penelitian juga menunjukkan indeks keanekaragaman (H') dan indeks keseragaman (E) terendah pada kolong umur < 1 tahun (0,215), sedangkan indeks tertinggi pada kolong umur > 50 tahun (0,817). Indeks dominansi (D) menunjukkan nilai tertinggi terdapat pada kolong dengan umur > 50 tahun (0,522), sedangkan nilai terendah terdapat pada kolong dengan umur < 1 tahun (0,892).

Kata Kunci: bioindikator; fitoplankton; indeks keanekaragaman; kolong terabaikan; kronosekuens

Abstract: Study about the presence of phytoplankton in ex-tin mining lakes (pits) with different time sequences in Bangka Island are important as bioindicators of ecosystem quality during these chronosequences. The research aimed to identify phytoplankton in ex-tin mining pits with different ages, namely < 1 year, 20-25 years, and > 50 years. This research was conducted exploratively with purposive sampling method for research locations, while phytoplankton observation was conducted *ex situ* at laboratory. The results showed four genera of phytoplankton were *Chlorella*, *Closterium*, and *Coelastrum* from the Chlorophyceae and *Synedra* from the Bacillariophyceae. The *Chlorella* was found in all types of pits and the highest individual number in pit with age < 1 year, as many as 1,325 ind./L. *Synedra* was also found in all types of pits and the highest individual number in pit with age between 20-25 years, as many as 107 ind./L. While *Closterium* and *Coelastrum* was not found in pit with age < 1 year, but identified in pits with age > 20 years. The highest individual number of *Closterium* found in pit with age between 20-25 years as many as 17 ind./L, while the highest individual number of *Coelastrum* was found in pit with age > 50 years as many as 30 ind./L. The results also showed the lowest diversity index (H') and uniformity index (E) were in pit with age < 1 year (0.215), while the highest index was in pit with age > 50 years (0.817). Dominance index (D) indicated that the highest value was found in pit with age > 50 years old (0.522), while the lowest value was in pit with age < 1 year (0.892).

Keywords: abandoned pits; bioindicator; chronosequence; diversity index; phytoplankton

PENDAHULUAN

Perubahan struktur dan kualitas ekosistem telah terjadi akibat aktivitas penambangan timah di Pulau Bangka. Salah satu implikasi kegiatan penambangan tersebut adalah terbentuknya danau (kolong) sebagaimana juga ditemukan di daerah atau negara lainnya sebagai produsen mineral timah. Kerusakan makroekosistem terlihat dari deforestasi, penurunan kualitas tanah dan perairan, hingga munculnya potensi kontaminasi logam yang bersifat toksik bagi makhluk hidup dan lingkungan (Fan et al., 2002; Vyas & Pancholi, 2009; Ashraf et al., 2010; Dinis & Fiuza, 2011; Ahmad, 2013; Singh et al., 2013; Giri et al., 2014; Guan et al., 2014; Lad & Samant, 2015; Kurniawan, 2019; Kurniawan & Mustikasari, 2019). Perubahan makroekosistem tersebut dapat menginisiasi terjadinya perubahan mikroekosistem berimplikasi pada perubahan struktur komunitas mikroorganisme. Diversitas mikroorganisme dapat dihubungkan dengan variasi kondisi perairan yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca, geomorfologi, dan geokimia (Ashraf et al., 2011; Ashraf et al., 2012; Kurniawan, 2016).

Perubahan ekologi kolong pascatambang timah pada sekuens waktu atau kronosekuens tertentu dapat menghasilkan karakteristik perairan yang berbeda. Konsekuensi perubahan ekologis kolong dalam kronosekuens tertentu dapat digunakan untuk mempelajari perubahan mikroekosistem melalui pendekatan analisis terhadap eksistensi organisme mikroskopis. Hal ini dikarenakan mikroorganisme memiliki kapasitas merespon suatu perubahan lingkungan dengan cepat (Paerl et al., 2003; Niemi & McDonald, 2004; Moscatelli et al., 2005; Lau & Lennon, 2012). Kemampuan ini sangat bermanfaat untuk dikaji dan dihubungkan dengan karakteristik lingkungan.

Keterkaitan erat antara kondisi lingkungan dan eksistensi mikroorganisme (Prosser et al., 2007) dapat digunakan sebagai dasar untuk mempelajari suksesi suatu ekosistem. Korelasi tersebut menjadi langkah penting untuk mengetahui interaksi dan kondisi atau perubahan ekosistem (Niemi & McDonald, 2004; Moscatelli et al., 2005) dengan diversitas mikroba tersebut (Lozupone & Knight, 2008) dan siklus biogeokimia di ekosistem tersebut (Bhowal & Chakraborty, 2015; Fashola et al., 2015).

Sejumlah penelitian menunjukkan diversitas sejumlah bakteri di perairan pascatambang timah seperti kelompok *Methane-Oxidizing Bacteria* (MOB), *Ammonia-Oxidizing Bacteria* (AOB), *Arsenic-Resistant Bacteria* (ARB), dan *Archaea* (Jareonmit et al., 2010; Valverde et al., 2011; Sow et al., 2014a; Sow et al., 2014b; Kurniawan, 2019) serta plankton seperti *Bacteriastrium*, *Thalassiothrix*, *Rhizosolenia*, *Chaetoceros*, dan *Pseudo-nitzschia* (Rachman, 2019). Namun penelitian-penelitian tersebut belum secara komprehensif menjelaskan terkait keterkaitan antara keberadaan mikroorganismes suksesi di ekosistem kolong pascatambang timah pada kronosekuens tertentu, khususnya yang melibatkan plankton di dalam rantai makanan dan perubahan lingkungan.

Kelimpahan fitoplankton dan ekosistem perairan selalu dipengaruhi oleh faktor lingkungan sehingga keberadaan fitoplankton dapat dijadikan bioindikator awal bagi kondisi ekosistem akuatik, termasuk akibat adanya suatu cemaran (Pourafrahyabi & Ramezanpour, 2014). Plankton juga memiliki hubungan erat di dalam rantai makanan dan lingkungan. Plankton dan bakteri saling membutuhkan karena bakteri dapat menjadi makanan plankton dan sebaliknya plankton mampu memberikan dukungan nutrisi bagi kehidupan bakteri (Work & Havens, 2003; Camarena-Gomez et al., 2018). Keberadaan plankton menjadi salah satu mata rantai di dalam rantai makanan pada suatu ekosistem yang turut menentukan suksesi dan kehidupan organisme selanjutnya (Hunt & Hosie, 2006; Rossi & Jamet, 2009). Suksesi lingkungan menjadi lebih baik dikarenakan

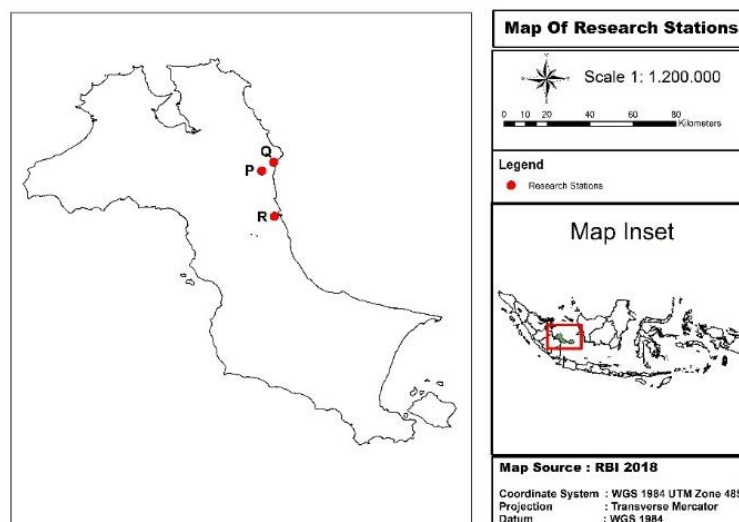
sejumlah plankton mampu menghasilkan klorofil yang berperan untuk meningkatkan aktivitas fotosintesis di perairan (Zhang et al., 2017). Peningkatan aktivitas fotosintesis dapat mempercepat keberadaan produsen dan secara tidak langsung meningkatkan kehidupan konsumen pada rantai makanan di dalam ekosistem tersebut.

Pendekatan studi ekologis dalam kronosekuens tertentu merupakan analisis penting untuk mempelajari dinamika temporal, proses dan pola ekologis serta perkembangan suatu ekosistem dalam spasial waktu tertentu (Walker et al., 2010). Berdasarkan uraian latar belakang maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keberadaan fitoplankton pada kolong pascatambang timah dengan umur yang berbeda. Kajian tentang eksistensi dan dinamika kehidupan organisme seperti plankton di ekosistem kolong pascatambang timah menjadi pengetahuan penting bagi manajemen kualitas ekosistem perairan pascatambang timah di Pulau Bangka.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di kolong pascatambang timah yang berada di Kota Pangkalpinang dan Kabupaten Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Lokasi penelitian dipilih secara *purposive sampling* sesuai dengan klaster umur yang direncanakan di dalam penelitian, yaitu kolong berumur < 1 tahun (kode P), kolong berumur 20-25 tahun (kode Q), dan kolong berumur > 50 tahun (kode R). Stasiun P terletak di Desa Riding Panjang, Kabupaten Bangka pada koordinat 1°58'S dan 106°6'T, Stasiun Q terletak di Desa Rebo, Kabupaten Bangka pada koordinat 1°55'S dan 106°9'T, serta Stasiun R terletak di Kelurahan Air Itam, Kota Pangkalpinang pada koordinat 2°9'S dan 106°9'T (Gambar 1).

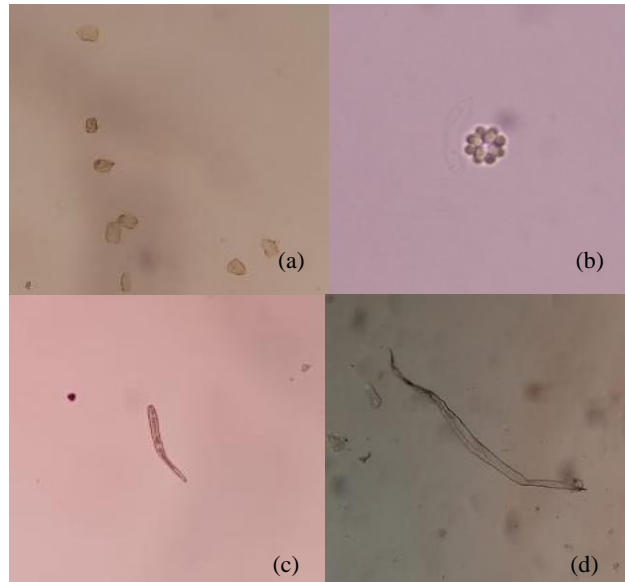
Plankton dikoleksi dengan menggunakan planktonet pada 10 titik sampling di setiap stasiun penelitian. Sampel air sebanyak 100 ml dipreservasi dengan menggunakan lugol sebanyak 15 ml dan kemudian diamati dengan menggunakan mikroskop untuk diamati plankton yang terdapat di dalam sampel air tersebut. Identifikasi plankton disesuaikan dengan buku panduan identifikasi. Analisis data dilakukan dengan menggunakan Program Excel 2010 untuk mengetahui jumlah, indeks keanekaragaman Shannon-Weiner (H), indeks keseragaman Magurran (E), dan indeks dominasi Simpson (D) (Pagora et al., 2015; Sirait et al., 2018; Apriadi et al., 2019), serta Program Statistica 6.0 untuk menganalisis *Principal Component Analysis* (PCA).



Gambar 1. Peta stasiun penelitian berupa kolong berumur < 1 tahun (kode P), kolong berumur 20-25 tahun (kode Q), dan kolong berumur > 50 tahun (kode R) di Pulau Bangka.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Plankton yang ditemukan di perairan kolong pascatambang timah dengan umur berbeda adalah Genus *Chlorella*, *Closterium*, dan *Coelastrum* dari Kelas Chlorophyta serta Genus *Synedra* dari Kelas Bacillariophyta (Gambar 2).



Gambar 2. Plankton yang ditemukan di perairan kolong pascatambang timah, yaitu (a) *Chlorella*, (b) *Coelastrum*, (c) *Closterium*, dan (d) *Synedra* yang diamati dengan mikroskop pada pembesaran 400x.

Hasil identifikasi menunjukkan bahwa genus yang dominan ditemukan di ketiga perairan tersebut adalah *Chlorella* dengan jumlah terbanyak diperoleh di kolong berumur > 50 tahun. Genus *Closterium* teridentifikasi paling sedikit di ketiga perairan dan bahkan di kolong berumur > 50 tahun tidak ditemukan genus tersebut. Genus *Synedra* ditemukan di ketiga perairan dan jumlah total individu menempati urutan kedua setelah *Chlorella* dengan jumlah tertinggi ditemukan di kolong berumur 20-25 tahun (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil identifikasi plankton pada kolong pascatambang timah dengan umur berbeda

Individu	Jumah Plankton (ind./L) di Stasiun Penelitian			
	P	Q	R	Total
Chlorophyta (<i>Green Algae</i>)/Kelas Chlorophyceae				
<i>Chlorella</i>	1.325	643	333	2.301
<i>Closterium</i>	-	17	11	28
<i>Coelastrum</i>	-	21	30	30
Bacillariophyta (Diatoms)/Kelas Bacillariophyceae				
<i>Synedra</i>	78	107	87	272
Total	1.403	788	461	

Keterangan: P (kolong berumur < 1 tahun), Q (berumur 20-25 tahun), dan R (berumur > 50 tahun R).

Jumlah fitoplankton yang ditemukan tersebut menggambarkan bahwa indeks keanekaragaman dan indeks keseragaman plankton tertinggi ditemukan di kolong berumur > 50 tahun, sedangkan indeks terendah ditemukan di kolong berumur < 1 tahun. Indeks dominansi tertinggi ditemukan di kolong berumur < 1 tahun, sedangkan indeks terendah ditemukan di kolong berumur > 50 tahun (Tabel 2).

Tabel 2. Indeks keanekaragaman, keseragaman dan dominansi plankton pada kolong pascatambang timah dengan umur berbeda

Stasiun	Keanekaragaman (H')	Keseragaman (E)	Dominansi (D)
P	0,215	0,357	0,892
Q	0,616	0,512	0,666
R	0,817	0,678	0,522

Keterangan: P (kolong berumur < 1 tahun), Q (berumur 20-25 tahun), dan R (berumur > 50 tahun R).

Keempat jenis plankton yang teridentifikasi, yaitu *Chlorella*, *Closterium*, dan *Coelastrum* yang berasal dari kelompok Chlorophyceae (Chellappa et al., 2009; Ambarwati et al., 2014; Harmoko et al., 2017; Hegab et al., 2019) serta *Synedra* berasal dari kelompok Bacillariophyceae (Bhat et al., 2015). Jumlah spesies yang ditemukan sedikit dapat mengindikasikan rendahnya kualitas perairan di kolong tersebut seperti dijelaskan Kurniawan (2016) serta Kurniawan et al. (2019) bahwa perairan kolong pascatambang memiliki pH rendah, nutrisi sedikit, dan tercemar logam. Kondisi kualitas kolong pascatambang timah juga mirip dengan perairan kolong pascatambang bauksit yang diteliti Apriadi et al., (2019) dengan umur inundasi atau genangan < 5 tahun, yaitu memiliki produktivitas primer rendah dan tingkat kesuburannya juga rendah (oligotrofik). Spesies plankton yang sedikit di kolong pascatambang timah, khususnya berumur < 1 tahun berkorelasi dengan rendahnya kualitas di perairan tersebut. Hal ini diungkapkan Kurniawan et al. (2020) terkait kondisi perairan di ketiga kolong tersebut (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik perairan kolong pascatambang timah dengan umur berbeda

Stasiun	Parameter Penelitian									
	pH	Suhu (°C)	DO (ppm)	COD (ppm)	TDS (ppm)	TSS (ppm)	Eh (V)	Kond. (Us.cm ⁻¹)	Tot. Nitrogen (ppm)	Tot. Fosfat (ppm)
P	3.71	31.36	5.20	10.173	98.25	3.667	0.18	143.75	0.069	0.019
Q	7.09	31.67	7.07	13.900	81.63	6.000	0.01	122.45	0.021	0.021
R	6.98	31.70	7.20	15.400	38.93	6.000	0.02	58.40	0.041	0.013

Ket: P (kolong berumur < 1 tahun), Q (berumur 20-25 tahun), dan R (berumur > 50 tahun) (Kurniawan et al., 2020)

Karakteristik perairan di kolong berumur < 1 tahun terlihat lebih rendah dibandingkan kolong lainnya terutama pada parameter pH, DO, COD, dan TSS. Nilai pH menjadi faktor utama yang mempengaruhi eksistensi organisme di perairan tersebut, sedangkan faktor DO dan TSS maupun faktor lainnya dipengaruhi oleh keberadaan organisme yang hidup di perairan tersebut. Kurniawan et al. (2019) dan Kurniawan (2019) menegaskan bahwa pH air di kolong pascatambang timah berumur < 1 tahun memiliki nilai rendah (pH 3) atau bersifat asam, sedangkan kolong berumur > 15 tahun memiliki pH netral (pH 7) merupakan faktor utama di perairan asam (*acid mine drainage*) yang berpengaruh terhadap keberadaan organisme.

Nilai pH menjadi parameter terpenting yang dapat dihubungkan dengan keberadaan fitoplankton, khususnya jumlah individu dominan di kolong karena berbeda signifikan antarperiode umur kolong. Hal tersebut menjelaskan bahwa keberadaan plankton di kolong tersebut dapat dihubungkan dengan kondisi perairan, khususnya nilai pH. Kurniawan et al. (2020) menjelaskan bahwa parameter lainnya yang ditampilkan pada Tabel 3 menggambarkan bahwa adanya korelasi antara pH dengan sejumlah parameter lainnya. Kondisi pH yang bersifat asam dikarenakan adanya aktivitas oksidasi di perairan tersebut yang ditandai dengan nilai Eh dan konduktivitas yang tertinggi di kolong berumur < 1 tahun. Aktivitas oksidasi yang terjadi menyebabkan partikel-partikel terlarut menjadi tinggi sebagaimana terjadi di kolong berumur < 1 tahun tersebut. Kondisi

perairan yang cukup ekstrem tersebut menyebabkan kehidupan organisme terganggu sehingga oksigen yang terlarut (DO) dan kebutuhan oksigen kimiawi (COD) di perairan menjadi rendah.

Karakteristik perairan juga berkorelasi dengan indeks keanekaragaman dan keseragaman (Tabel 2) yang menunjukkan indeks terendah ditemukan di kolong berumur < 1 tahun dibandingkan kolong berumur > 20 tahun. Pagora et al. (2015) dan Sirait et al. (2018) menjelaskan indeks keanekaragaman Shannon-Weiner (H'), indeks keseragaman Magurran (E), dan indeks dominansi Simpson (D). Indeks keanekaragaman (H') menunjukkan $H' < 2,3026$ yang berarti keanekaragaman kecil dan kestabilan komunitas rendah; $2,3026 < H' < 6,9078$ berarti keanekaragaman sedang dan kestabilan komunitas sedang; serta $H' > 6,9078$ berarti keanekaragaman tinggi dan kestabilan komunitas tinggi. Indeks keseragaman (E) berkisar antara 0-1, yaitu E mendekati 0 berarti sebaran individu antarjenis tidak merata atau ada jenis tertentu yang dominan serta E mendekati 1 berarti sebaran individu antarjenis merata. Indeks dominansi Simpson berkisar antara 0 sampai 1, yaitu semakin kecil nilai indeks dominansi menunjukkan bahwa tidak ada spesies yang mendominasi dan sebaliknya semakin besar dominansi menunjukkan ada spesies tertentu yang dominan.

Indeks keanekaragaman (H') pada Tabel 2 menunjukkan keanekaragaman fitoplankton kecil dan kestabilan komunitasnya rendah di ketiga kolong pascatambang timah, meskipun umur kolong > 50 menunjukkan nilai tertinggi dan kolong berumur < 1 tahun memiliki nilai terendah. Indeks keseragaman (E) pada Tabel 2 menunjukkan sebaran individu di kolong berumur > 50 tahun lebih mendekati 1 yang berarti bahwa sebaran individu antarjenis merata dan tidak ada jenis fitoplankton yang dominan di kolong tersebut sebagaimana juga ditunjukkan indeks dominansi (D) paling rendah. Indeks keseragaman (E) terendah dan indeks dominansi (D) tertinggi ditemukan di kolong berumur < 1 tahun yang berarti bahwa sebaran individu antarjenis tidak merata atau ada jenis tertentu yang dominan, yaitu *Chlorella*.

Indeks keanekaragaman sangat dipengaruhi oleh kualitas perairan, yaitu nilai yang rendah dapat dihubungkan dengan kualitas perairan yang rendah juga dan terdapatnya cemaran di perairan tersebut (Hecca et al., 2017). Karakteristik perairan kolong pascatambang timah pada umur < 1 tahun menunjukkan nilai pH rendah (asam), nilai DO, nitrit, dan total fosfat yang juga rendah, serta potensial redoks tinggi. Kondisi tersebut berbeda dengan kolong berumur > 15 tahun yang menunjukkan nilai pH netral, nilai DO, nitrit, dan total fosfat tinggi, serta dan potensial redoks rendah (Kurniawan, 2019).

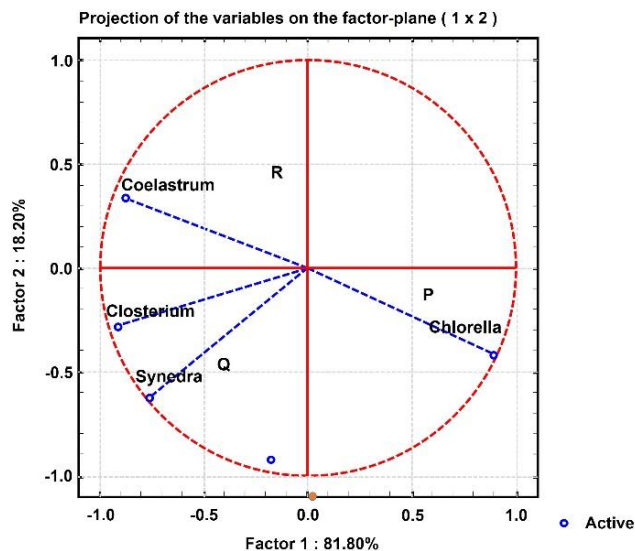
Chlorella yang teridentifikasi di perairan kolong pascatambang timah secara umum ditemukan di ketiga kolong dengan umur berbeda. *Chlorella* sp. mampu hidup di perairan dengan rentang pH bersifat asam hingga basa. Aktivitas biokimia, khususnya protein dari *Chlorella* sp. lebih maksimal berlangsung pada kondisi asam dengan nilai pH 4 dan kemudian cenderung mengalami penurunan pada nilai pH yang bersifat basa (Khalil et al., 2010). Nilai pH merupakan parameter yang dapat mempengaruhi pertumbuhan fitoplankton dan *Chlorella* mampu hidup pada kondisi pH ekstrem seperti kondisi asam. *Chlorella* mampu mempertahankan pH netral intraseluler pada kondisi lingkungan asam dengan mengatur pertukaran proton untuk merespon perubahan pH eksternal tersebut (Cortés et al., 2018).

Fitoplankton lainnya yang teridentifikasi (Tabel 1) adalah *Closterium* dan *Coelastrum* yang keduanya tidak ditemukan di kolong berumur < 1 tahun dengan kondisi lingkungan asam. Hal ini sejalan dengan sejumlah penelitian yang menjelaskan bahwa *Closterium* sp. hidup baik pada pH 7,5-7,6 (Hamaidi-Chergui et al., 2013), *Synedra* sp.

dapat tumbuh baik pada pH 7,5-8 atau < 8, serta *Coelastrum* sp. pada pH 7,8-99,5 (Jonker et al., 2013; Li et al., 2017). Meskipun demikian, keberadaan fitoplakton bukan hanya dipengaruhi oleh nilai pH, namun juga parameter lainnya yang mendukung atau menghambat kehidupan dan pertumbuhannya seperti konduktivitas elektron, nitrat, nitrit, amonia, mineral, karbon organik, serta unsur nutrisi seperti fosfat dan nitrogen (Hamaidi-Chergui et al., 2013; Miazek et al., 2017). *Closterium* dan *Coelastrum* yang tidak terdapat di kolong pascatambang timah dapat dijadikan bioindikator terhadap karakteristik perairan berdasarkan umur kolong tersebut.

Fitoplankton adalah produsen bahan organik paling penting di lingkungan perairan, produsen utama di dalam rantai makanan, dan sangat menentukan produktivitas primer di ekosistem tersebut (Chitra et al., 2020). Hasil penelitian menunjukkan fitoplankton yang mendominasi perairan kolong baru setelah aktivitas penambangan adalah *Chlorella*. Kondisi perairan kolong baru yang berumur < 1 tahun adalah berifat asam (pH 3) (Kurniawan et al., 2019) yang dikaitkan dengan keberadaan *Chlorella*, maka dapat disimpulkan bahwa *Chlorella* merupakan kelompok organisme asidofilik. Hal ini diperkuat Nancuqueo & Johnson (2012) bahwa *Chlorella* sp. adalah salah satu jenis *acidophilic algae* yang berhasil diisolasi dari lingkungan asam ekstrem dengan pH 2,5-2,6 dan *Chlorella* sp. mampu hidup optimum pada pH 2,5. Eksistensi *Chlorella* sp. dapat dijadikan indikator bagi kolong pascatambang timah yang memiliki sifat perairan asam.

Kondisi asam menyebabkan solubilitas air dari nitrogen dan amonia menjadi tinggi, namun sebaliknya kondisi basa menyebabkan solubilitas rendah (Luo et al., 2015). Hal ini sesuai dengan kondisi di kolong berumur < 1 tahun yang bersifat asam, namun memiliki nilai total nitrogen tinggi. Keberadaan nitrogen yang tinggi juga dapat dipengaruhi oleh aktivitas kelompok bakteri yang mampu hidup di kondisi pH asam seperti Planctomycetes yang mampu melakukan oksidasi ammonium secara anaerob (*anaerobic ammonia oxidation* atau *anammox*) dengan menggunakan nitrit sebagai pengganti O₂ dan menghasilkan N₂ melalui reaksi $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (Ward, 2008). Menurut Ramaraj et al. (2016), selanjutnya *Chlorella* menggunakan nitrogen di lingkungan untuk aktivitas dan pertahanan hidupnya.



Gambar 3. Grafik *Principal Component Analysis* (PCA) dari spesies plankton teridentifikasi pada perairan kolong pascatambang timah dengan umur berbeda

Keterkaitan antara keberadaan plankton, khususnya *Chlorella* maupun spesies lainnya mengindikasikan bahwa plankton dapat menjadi indikator kualitas perairan di kolong pascatambang timah. Keberadaan *Chlorella* di kolong pascatambang timah tidak memiliki korelasi yang kuat dengan jenis lainnya. Hal ini terlihat pada grafik PCA (Gambar 3) yang menunjukkan bahwa *Chlorella* hanya berperan besar di kolong berumur < 1 tahun. Keberadaan *Closterium* dan *Coelastrum* di kolong berumur > 1 tahun berkorelasi dengan keberadaan *Synedra* di kolong tersebut yang juga *Synedra* ditemukan di kolong berumur < 1 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa *Synedra* berperan penting terhadap keberadaan organisme lainnya, meskipun jumlah *Synedra* lebih sedikit dibandingkan *Chlorella* di setiap kolong. Keberadaan fitoplankton lainnya tersebut dapat mendukung suksesi primer di perairan kolong dan berkontribusi terhadap aktivitas biogeokimiawi dan peningkatan kesuburan perairan.

KESIMPULAN

Fitoplankton yang ditemukan di kolong pascatambang timah dapat digunakan sebagai indikator kondisi kolong dan perubahan yang terjadi di ekosistem tersebut dalam sekuens waktu tertentu. Namun, keberadaan dan keterlibatan fitoplankton sebagai produsen di dalam rantai makanan belum tampak secara maksimal di kolong yang didasarkan pada sedikitnya jumlah dan spesies plankton yang di temukan di perairan itu. Kemampuan *Chlorella* dan *Synedra* dinilai cukup penting sebagai suksesor bagi perubahan ekosistem di kolong pascatambang timah. *Chlorella* dapat berkontribusi sebagai produsen utama, sedangkan *Synedra* dapat mendukung keberadaan organisme lainnya sehingga dapat mempengaruhi aktivitas biofisikokimia bagi perubahan kualitas perairan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan dan Universitas Bangka Belitung yang telah memfasilitasi penulis untuk melakukan penelitian ini melalui bantuan Hibah Penelitian Skema Penelitian Dosen Tingkat Jurusan tahun 2020 dengan Kontrak Penelitian Nomor: 301.I/UN50.11/PP/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F. (2013). Distribusi dan prediksi tingkat pencemaran logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn, dan Ni) dalam sedimen di perairan Pulau Bangka menggunakan indeks beban pencemaran dan indeks geoakumulasi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5(1), 170-181.
- Ambarwati, A., Saifullah, S., & Mustahal, M. (2014). Identifikasi fitoplankton dari perairan Waduk Nadra Krenceng Kota Cilegon Banten. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 4(4), 283-291.
- Apriadi, T., Putra, R. D., & Idris, F. (2019). Produktivitas primer perairan kolong bekas tambang bauksit di Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 4(2), 113-121.
- Ashraf, M. A., Maah, M. J., & Yusoff, I. (2011). Analysis of physio-chemical parameters and distribution of heavy metals in soil and water of ex-mining area of Bestari Jaya, Peninsular Malaysia. *Asian Journal of Chemistry*, 23(8), 3493-3499.
- Ashraf, M. A., Maah, M. J., & Yusoff, I. B. (2010). Study of water quality and heavy metals in soil & water of ex-mining area Bestari Jaya, peninsular Malaysia. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS*, 10(3), 7-23.
- Ashraf, M. A., Maah, M., & Yusoff, I. (2012). Morphology, geology and water quality assessment of former tin mining catchment. *The Scientific World Journal*, 2012, 1-15.
- Bhat, N. A., Wanganeo, A., & Raina, R. (2015). Variability in water quality and phytoplankton community during dry and wet periods in the Tropical Wetland, Bhopal, India. *Journal of Ecosystem & Ecography*, 5(2), 1-8.
- Bhowal, S. S., & Chakraborty, R. (2015). *Microbial diversity of acidophilic heterotrophic bacteria: an overview. Biodiversity, Conservation and Sustainable Development*. Jha P.(ed). New Delhi: New Academic Publishers.
- Camarena-Gómez, M. T., Lipsowers, T., Piiparinen, J., Eronen-Rasimus, E., Perez-Quemaliños, D., Hoikkala, L., ... & Spilling, K. (2018). Shifts in phytoplankton community structure modify bacterial production, abundance and community composition. *Aquatic Microbial Ecology*, 81(2), 149-170.

- Chellappa, N. T., Câmara, F. R. A., & Rocha, O. (2009). Phytoplankton community: indicator of water quality in the Armando Ribeiro Gonçalves reservoir and Pataxó channel, Rio Grande do Norte, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 69(2), 241-251.
- Chitra, T., Uthirasamy, S., & Madheswari, A. (2020). Phytoplankton diversity of Canalwater at Rangampalayam in Erode District, Tamilnadu. *International Journal of Science and Research*, 9(1), 1151-1152.
- Cortés, A. A., Sánchez-Fortún, S., García, M., & Bartolomé, M. C. (2018). Effects of pH on the growth rate exhibited of the wild-type and Cd-resistant *Dictyosphaerium chlorelloides* strains. *Limnetica*, 37(2), 229-238.
- Dinis, M. D. L., & Fiuza, A. (2011). Exposure assessment to heavy metals in the environment: measures to eliminate or reduce the exposure to critical receptors. In *Environmental heavy metal pollution and effects on child mental development*. Dordrecht: Springer.
- Fashola, M. O., Jeme, V. M. N., & Babalola, O. O. (2015). Diversity of acidophilic bacteria and archaea and their roles in bioremediation of acid mine drainage. *Microbiology Research Journal International*, 8(3), 443-456.
- Giri, K., Mishra, G., Pandey, S., Verma, P. K., Kumar, R., & Bisht, N. S. (2014). Ecological degradation in northeastern coal fields: Margherita Assam. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3(3), 881-884.
- Guan, Y., Shao, C., & Ju, M. (2014). Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(7), 7286-7303.
- Hamaidi-Chergui, F., Brahim Errahmani, M., Benouaklil, F., & Hamaidi, M. S. (2013). Preliminary study on physico-chemical parameters and phytoplankton of Chiffa River (Blida, Algeria). *Journal of Ecosystems*, 2013, 148793.
- Harmoko, H., Lokaria, E., & Misra, S. (2017). Eksplorasi mikroalga di air terjun watervang Kota Lubuklinggau. *Bioedukasi (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 8(1), 75-82.
- Hecca, D., Hidayat, S., & Dewiyeti, S. (2017). Diversity of water environment gastropoda in the water of Empayang-Kasap River in Lahat Regency South Sumatra. *Biovalentia: Biological Research Journal*, 3(1), 1-7.
- Hegab, M. H., S Zaher, S., & RA Mola, H. (2019). The consumption rate of three zooplankton species of different size fed on the green microalgae *Chlorella vulgaris*. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 23(2), 575-583.
- Hunt, B. P., & Hosie, G. W. (2006). The seasonal succession of zooplankton in the Southern Ocean south of Australia, part I: the seasonal ice zone. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 53(7), 1182-1202.
- Jareonmit, P., Sajjaphan, K., & Sadowsky, M. J. (2010). Structure and diversity of arsenic-resistant bacteria in an old tin mine area of Thailand. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20(1), 169-178.
- Jonker, C. Z., Van Ginkel, C., & Olivier, J. (2013). Association between physical and geochemical characteristics of thermal springs and algal diversity in Limpopo Province, South Africa. *Water SA*, 39(1), 95-104.
- Khalil, Z. I., Asker, M. M., El-Sayed, S., & Kobbia, I. A. (2010). Effect of pH on growth and biochemical responses of *Dunaliella bardawil* and *Chlorella ellipsoidea*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(7), 1225-1231.
- Kurniawan, A. (2016). Microorganism communities response of ecological changes in post tin mining ponds. *Journal of Microbiology and Virology*, 6(1), 17-26.
- Kurniawan, A. (2019). Diversitas metagenom bakteri di danau pascatambang timah dengan umur berbeda. [Disertasi]. Universitas Jenderal Soedirman.
- Kurniawan, A., & Mustikasari, D. (2019). Review: Mekanisme akumulasi logam berat di ekosistem pascatambang timah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 408-415.
- Kurniawan, A., Oedjijono, O., Tamad, T., & Sulaeman, U. (2019). The pattern of heavy metals distribution in time chronosequence of ex-tin mining ponds in Bangka Regency, Indonesia. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(1), 254-261.
- Kurniawan, A., Prasetyono, E., & Syaputra, D. (2020). Analisis Korelasi Parameter Kualitas Perairan Kolong Pascatambang Timah dengan Umur Berbeda. *Samakia: Jurnal Ilmu Perikanan*, 11(2), 91-100.
- Lad, R. J., & Samant, J. S. (2015). Impact of bauxite mining on soil: a case study of bauxite mines at Udgeri, Dist-Kolhapur, Maharashtra State, India. *International Research Journal of Environment Sciences*, 4(2), 77-83.
- Lau, J. A., & Lennon, J. T. (2012). Rapid responses of soil microorganisms improve plant fitness in novel environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(35), 14058-14062.
- Li, X. L., Marella, T. K., Tao, L., Li, R., Tiwari, A., & Li, G. (2017). Optimization of growth conditions and fatty acid analysis for three freshwater diatom isolates. *Phycological Research*, 65(3), 177-187.
- Lozupone, C. A., & Knight, R. (2008). Species divergence and the measurement of microbial diversity. *FEMS Microbiology Reviews*, 32(4), 557-578.
- Luo, X., Yan, Q., Wang, C., Luo, C., Zhou, N., & Jian, C. (2015). Treatment of ammonia nitrogen wastewater in low concentration by two-stage ozonization. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(9), 11975-11987.
- Miazek, K., Kratky, L., Sulc, R., Jirout, T., Aguedo, M., Richel, A., & Goffin, D. (2017). Effect of organic solvents on microalgae growth, metabolism and industrial bioproduct extraction: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(7), 1429.
- Moscatelli, M. C., Lagomarsino, A., Marinari, S., De Angelis, P., & Grego, S. (2005). Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecological Indicators*, 5(3), 171-179.
- Nancuqueo, I., & Johnson, D. B. (2012). Acidophilic algae isolated from mine-impacted environments and their roles in sustaining heterotrophic acidophiles. *Frontiers in Microbiology*, 3(2012), 325.
- Niemi, G. J., & McDonald, M. E. (2004). Application of ecological indicators. *Annual Review of Ecology, Evolution,*

- and Systematics, 35(2004), 89-111.
- Paerl, H. W., Dyble, J., Moisaner, P. H., Noble, R. T., Piehler, M. F., Pinckney, J. L., ... & Valdes, L. M. (2003). Microbial indicators of aquatic ecosystem change: current applications to eutrophication studies. *FEMS Microbiology Ecology*, 46(3), 233-246.
- Pagora, H., Ghitarina, G., & Udayana, D. (2015). Kualitas Plankton Pada Kolam Pasca Tambang Batu Bara Yang Dimanfaatkan Untuk Budidaya Perairan. *Ziraa'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 40(2), 108-113.
- Pourafrahyabi, M., & Ramezanpour, Z. (2014). Phytoplankton as bio-indicator of water quality in Sefid Rud River, Iran (South of Caspian Sea). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 12(1), 31-40.
- Prosser, J. I., Bohannon, B. J., Curtis, T. P., Ellis, R. J., Firestone, M. K., Freckleton, R. P., ... & Young, J. P. W. (2007). The role of ecological theory in microbial ecology. *Nature Reviews Microbiology*, 5(5), 384-392.
- Rachman, A. (2019). Struktur komunitas fitoplankton di area tambang timah dan perairan sekitar Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(2), 189-204.
- Ramaraj, R., Unpaprom, Y., & Dussadee, N. (2016). Cultivation of green microalga, *Chlorella vulgaris* for biogas purification. *International Journal of New Technology and Research IJNTR*, 2(3), 117-122.
- Rossi, N., & Jamet, J. L. (2009). Structure and succession of plankton communities in two Mediterranean neighbouring coastal ecosystems (Toulon bays, France). *New Oceanography Research Developments*, 1(14), 269-282.
- Singh, P. K., Afzal, I., Ravi, S., Dhanesh, S., & Shivi, S. (2013). A study about ecological imbalance in Surguja (India) coalfield area due to mining. *International Research Journal of Environment Sciences*, 2(4), 10-14.
- Sirait, M., Rahmatia, F., & Pattulloh, P. (2018). Komparasi indeks keanekaragaman dan indeks dominansi fitoplankton di Sungai Ciliwung Jakarta. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 75-79.
- Sow, S. L. S., Khoo, G., Chong, L. K., Smith, T. J., Harrison, P. L., & Ong, H. K. A. (2014a). Molecular diversity of the methanotrophic bacteria communities associated with disused tin-mining ponds in Kampar, Perak, Malaysia. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(10), 2645-2653.
- Sow, S. L. S., Khoo, G., Chong, L. K., Smith, T. J., Harrison, P. L., & Ong, H. K. A. (2014b). Molecular diversity of the ammonia-oxidizing bacteria community in disused tin-mining ponds located within Kampar, Perak, Malaysia. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(2), 757-766.
- Valverde, A., González-Tirante, M., Medina-Sierra, M., Santa-Regina, I., García-Sánchez, A., & Igual, J. M. (2011). Diversity and community structure of culturable arsenic-resistant bacteria across a soil arsenic gradient at an abandoned tungsten–tin mining area. *Chemosphere*, 85(1), 129-134.
- Vyas, A., & Pancholi, A. (2009). Environmental degradation due to mining in South Rajasthan: a case study of Nimbahera, Chittorgarh, India. *Journal of Environmental Research and Development*, 4(2), 405-412.
- Walker, L. R., Wardle, D. A., Bardgett, R. D., & Clarkson, B. D. (2010). The use of chronosequences in studies of ecological succession and soil development. *Journal of Ecology*, 98(4), 725-736.
- Ward, B. B. (2008). *Nitrification*. In *Encyclopedia of Ecology: 2511–2518*. Elsevier. DOI:10.1016/b978-008045405-4.00280-9
- Work, K. A., & Havens, K. E. (2003). Zooplankton grazing on bacteria and cyanobacteria in a eutrophic lake. *Journal of Plankton Research*, 25(10), 1301-1306.
- Yinghong, F., Zhaohua, L., Jianlong, C., Zhongxuan, Z., & Gang, W. (2003). Major ecological and environmental problems and the ecological reconstruction technologies of the coal mining areas in China. *Acta Ecologica Sinica*, 23(10), 2144-2152.
- Zhang, D., Lavender, S., Muller, J. P., Walton, D., Karlson, B., & Kronsell, J. (2017). Determination of phytoplankton abundances (Chlorophyll-a) in the optically complex inland water-The Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 601(2017), 1060-1074.