Struktur Komunitas Fitoplankton di Area Tambang Timah dan Perairan Sekitar Kabupaten Bangka Barat

Phytoplankton Community Structure in The Waters Around The Coastal Tin Mining of West Bangka

ARIEF RACHMAN

Laboratorium Plankton dan Produktivitas Primer, Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara (14430). Phone/Fax: 021 64713850 / 021 64711948
Email: arie027@lipi.go.id

ABSTRACT

Tin mining in the coastal waters of West Bangka Regency is known to affect water quality, which has an impact on the phytoplankton community structure. This research aims to study phytoplankton communities in mining tin areas and outside of mining areas (non-mining areas). Sampling was carried out in 22 sampling stations with 7 stations in the tin mining area. Phytoplankton samples were taken by the vertical haul method. Zooplankton sampling and measurement of water parameters in the form of temperature, pH, and salinity were also conducted to determine the relationship of these parameters with the phytoplankton community. Based on the density of phytoplankton in the water column, the coastal waters of West Bangka are generally in the category of oligotrophic with cell densities ranging from 3.6×10^5 - 1.6×10^7 cells.m⁻³. The results of the IS-ID analysis showed a difference of 56% in phytoplankton community structures in the mining and non-mining areas of West Bangka coastal. Although no differences were found in the number of phytoplankton genus present, phytoplankton cell density in the waters around the tin mining area was found to be lower compared to the waters in the non-mining area. Differences in community structure and phytoplankton cell density in mining and non-mining areas are thought to be related to mining activities in the coastal. However, further studies are needed to study the magnitude of the influence and exact cause of the emergence of differences in community structure and phytoplankton density.

Keywords: Tin mining, spatial distribution, phytoplankton community, Bray-Curtis clustering

ABSTRAK

Penambangan timah di perairan pesisir Kabupaten Bangka Barat diketahui dapat mempengaruhi kualitas perairan sehingga berdampak pada struktur komunitas fitoplankton. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari komunitas fitoplankton di kawasan tambang timah pesisir (*mining*) dan di luar area tambang (*non-mining*) di pesisir Bangka Barat. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Oktober 2012 di 22 stasiun sampling, termasuk 7 stasiun sampling yang berada di area penambangan timah. Sampel fitoplankton diambil dengan metode *vertical haul* menggunakan jaring Kitahara (mata jaring 80 µm). Pengambilan sampel zooplankton dan pengukuran parameter air berupa suhu, pH, dan salinitas juga dilakukan untuk mengetahui hubungan parameter tersebut dengan komunitas fitoplankton di area kajian. Berdasarkan densitas fitoplankton di kolom air, perairan pesisir Bangka Barat secara umum berada dalam kategori oligotrofik dengan densitas sel berkisar antara $3,6 \times 10^5$ – $1,6 \times 10^7$ sel.m⁻³. Komunitas fitoplankton di Bangka Barat terdiri atas 28 genus, mencakup 23 genus Diatomae dan 5 genus Dinoflagellata, dengan *Bacteriastrum*, *Chaetoceros*, *Thalassiothrix*, *Rhizosolenia*, dan *Pseudo-nitzschia* sebagai genera paling dominan di perairan. Hasil analisis IS-ID menunjukkan perbedaan sebesar 56% pada struktur komunitas fitoplankton di area *mining* dan *non-mining* perairan Bangka Barat. Meskipun tidak ditemukan perbedaan pada jumlah genus fitoplankton yang hadir, densitas sel fitoplankton di perairan sekitar kawasan *mining* timah ditemukan lebih rendah dibandingkan dengan perairan yang ada di kawasan *non-mining* Kabupaten Bangka Barat. Perbedaan struktur komunitas dan densitas sel fitoplankton di area *mining* dan *non-mining* diduga terkait dengan aktivitas penambangan di perairan pesisir Bangka Barat. Namun diperlukan kajian lebih lanjut untuk mempelajari besar pengaruh dan penyebab pasti munculnya perbedaan struktur komunitas dan densitas fitoplankton tersebut.

Kata kunci: Tambang timah, distribusi spasial, komunitas fitoplankton, Bray-Curtis clustering

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Bangka Barat merupakan salah satu wilayah penghasil timah (Sn) di Pulau Bangka yang kegiatan pertambangannya tercatat telah berlangsung sejak zaman Kerajaan Sriwijaya pada abad ke 7 Masehi⁽¹⁾. Kegiatan penambangan timah di wilayah Bangka Barat tersebut dilakukan baik secara legal maupun ilegal oleh masyarakat lokal, investor lokal, dan investor asing⁽¹⁾.

Secara umum, proses penambangan timah di perairan pesisir Bangka Barat dilakukan dengan metode *cutter suction dredge* menggunakan kapal isap atau bagan (*platform*) apung berukuran kecil (inkonvensional)^(1,2,3). Meskipun penambangan timah di pesisir Bangka Barat dilakukan tanpa menggunakan bahan kimia, namun limbah seperti: tumpahan oli, bahan bakar, dan *tailing* merupakan beberapa contoh polutan dari proses penambangan timah yang mengakibatkan pencemaran perairan^(4,5,3).

Kegiatan penambangan timah di kawasan pesisir dapat meningkatkan laju sedimentasi dan turbiditas perairan akibat pengadukan sedimen dasar ke kolom air, sehingga menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya di air. Kondisi tersebut dapat menurunkan laju produktivitas fitoplankton di perairan sekitar penambangan⁽⁶⁾. Selain itu, proses penambangan sedimen dengan mengeruk dasar perairan menggunakan alat *cutter-suction dredge* umumnya tidak optimal, terutama yang dilakukan oleh tambang inkonvensional. Hal tersebut mengakibatkan kandungan timah dan logam berat lain masih cukup tinggi dalam sedimen yang dibuang sebagai *tailing*⁽²⁾. Kondisi tersebut mengakibatkan semakin tercemarnya perairan oleh berbagai senyawa logam berat yang dapat menyebabkan penurunan keanekaragaman dan densitas sel fitoplankton di air. Terkait hal tersebut, penelitian yang dilakukan oleh Nayar *et al.*⁽⁷⁾ menunjukkan bahwa peningkatan kandungan timah di air dapat menurunkan kelimpahan fitoplankton, namun terdapat peningkatan laju pertumbuhan bakteri yang toleran terhadap senyawa pencemar berupa timah tersebut.

Pengadukan dasar perairan akibat kegiatan tambang juga dapat melepaskan hara dan kista (*cyst*) fitoplankton dari sedimen dasar ke kolom air^(8,9,10). Hal tersebut tentu dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi perairan dan berpotensi memicu ledakan populasi (*blooming*) fitoplankton yang berbahaya di perairan. Eutrofikasi dan turbiditas tinggi di perairan juga dapat memicu terjadinya fenomena *oxygen depletion*, berupa kondisi minim oksigen (hipoksia) atau tanpa oksigen (anoksia), sehingga berpotensi menyebabkan kematian massal organisme laut di perairan sekitar area pertambangan⁽⁴⁾.

Perubahan kondisi perairan akibat penambangan timah di pesisir Bangka Barat diduga akan berpengaruh pada struktur komunitas fitoplankton di perairan. Hal tersebut terkait dengan kondisi fisiologis dari sel-sel fitoplankton yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan, seperti cahaya dan ketersediaan nutrien, sehingga perubahan kondisi perairan akan mengakibatkan respons yang tampak pada perubahan densitas dan komposisi komunitas fitoplankton di perairan^(11, 12). Selain itu, komunitas fitoplankton juga diketahui sensitif terhadap kehadiran senyawa logam pencemar dari sedimen, seperti: timah (Sn), timbal (Pb), nikel (Ni), kadmium (Cd), dan tembaga (Cu)⁽⁷⁾.

Secara umum, komunitas fitoplankton di perairan sekitar Pulau Bangka didominasi oleh jenis-jenis fitoplankton dari kelompok Diatomae. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thoha⁽¹³⁾, diketahui bahwa komunitas fitoplankton di perairan sekitar Pulau Bangka didominasi oleh kelompok Diatomae dari genus *Skeletonema*, *Rhizosolenia*, dan *Chaetoceros*, sedangkan Putri *et al.*⁽¹⁴⁾ menemukan komunitas fitoplankton yang didominasi *Chaetoceros*, *Thalassiothrix*, dan *Bacteriastrium* di perairan sekitar pulau tersebut.

Penelitian di perairan Pulau Bangka telah sering dilakukan, namun informasi mendetail terkait pola sebaran dan struktur komunitas fitoplankton di perairan sekitar perairan tersebut, terutama yang berada di sekitar area tambang timah perairan pesisir, masih belum banyak diketahui. Sehingga pengaruh kegiatan penambangan tersebut terhadap komunitas fitoplankton juga belum diketahui secara pasti. Oleh karena itu, penelitian ini secara umum bertujuan untuk mendeskripsikan komunitas fitoplankton di perairan pesisir di sekitar kabupaten Bangka Barat, serta mempelajari kemungkinan adanya efek penambangan timah di pesisir Bangka Barat terhadap densitas dan struktur komunitas fitoplankton di perairan. Selain itu, diharapkan informasi yang didapatkan dari penelitian ini dapat pula digunakan sebagai dasar untuk menentukan strategi pengelolaan wilayah pesisir Bangka Barat guna mempertahankan kualitas perairan kawasan tersebut, serta melakukan mitigasi terhadap dampak negatif dari kegiatan penambangan.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di perairan pesisir Kabupaten Bangka Barat dengan jarak stasiun pengambilan sampel terjauh ± 8 km dari tepi pantai. Perairan di sekitar Kabupaten Bangka

Barat tergolong dalam perairan dangkal dengan kedalaman antara 1 – 40 m. Lokasi penelitian berada pada koordinat derajat desimal (DD) 105.05939 – 105.67986 BT, serta -2.22118 – -1.50051 LS (Gambar 1). Di Kabupaten Bangka Barat terdapat dua sungai besar, yaitu Sungai Jebus di Kecamatan Jebus dan Sungai Niur di Kecamatan Tempilang (Gambar 1). Kota terbesar di Kabupaten Bangka Barat adalah Muntok, sedangkan di Paritiga terdapat perusahaan pertambangan timah terbesar di kabupaten tersebut.

Pengambilan sampel dilakukan pada 6 – 11 Oktober 2012 di 22 stasiun sampling yang terbagi dalam 2 zona, yaitu Zona Utara dan Zona Selatan (Gambar 1). Pembagian wilayah ini didasarkan atas pengaruh Sungai Jebus di wilayah utara, dan Sungai Niur di wilayah selatan. Zona Utara meliputi wilayah Paritiga, Jebus dan sebagian area utara Simpang Teritip, sedangkan Zona selatan meliputi wilayah Muntok, Tempilang, dan sebagian area selatan Simpang Teritip. Dari 22 stasiun sampling, terdapat 7 stasiun yang berada di sekitar area tambang timah aktif, yaitu stasiun 7, 9, 12, 13, 14, 18, dan 22 (Gambar 1). Penambangan timah di area penelitian ini dilakukan secara konvensional (kapal isap) maupun inkonvensional (bagan apung). Perairan di sekitar area tambang timah sering kali ditemukan dalam kondisi keruh, sebagai akibat dari penambangan timah yang menyebabkan teraduknya sedimen dasar perairan.

Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel di perairan sekitar Bangka Barat

2.2. Pengambilan sampel plankton dan pengukuran parameter fisik-kimia perairan

Sampel fitoplankton dalam penelitian ini diambil dengan metode penarikan vertikal (*vertical towing*) pada kedalaman maksimum 15 m menggunakan jaring plankton Kitahara (ukuran mata jaring 80 μm), sedangkan sampel zooplankton diambil menggunakan jaring NORPAC (ukuran mata jaring 300 μm). Dalam penelitian ini, plankton yang menjadi kajian, baik fitoplankton maupun zooplankton, tergolong dalam kategori ukuran microplankton (20 – 200 μm) dan mesoplankton (0,2 – 20 mm) ^(15,16,17,18,19). Sampel yang sudah disaring dimasukkan ke dalam botol sampel 250 ml, kemudian diawetkan menggunakan formalin dengan konsentrasi akhir $\pm 4\%$. Pengambilan sampel zooplankton dilakukan untuk mengkaji apakah komunitas zooplankton berperan mempengaruhi distribusi komunitas fitoplankton di perairan Bangka Barat. Koordinat setiap stasiun pengambilan sampel plankton dicatat dengan GPS Garmin 76. Parameter fisik-kimia perairan yang diukur meliputi salinitas, suhu air, dan pH air. Pengukuran salinitas dilakukan dengan refraktometer portabel; suhu air dengan termometer merkuri lapangan; dan pH air dengan Horiba TwinpH digital pHmeter.

2.3. Enumerasi dan identifikasi sampel plankton

Penghitungan dan identifikasi genus fitoplankton dilakukan menggunakan metode fraksi dengan memindahkan 1,5 ml sampel fitoplankton dari botol sampel ke dalam ke *Sedgewick Rafter Counting Cell* (SRCC). Fraksi sampel ini kemudian diamati dengan mikroskop Nikon Diaphot *inverted phase-contrast* pada perbesaran 200 – 400X. Identifikasi fitoplankton dilakukan hingga tingkat genus berdasarkan informasi dari buku-buku referensi taksonomi plankton ^(15,16,17,18,19). Penghitungan taksa zooplankton juga dilakukan dengan metode fraksi sampel, namun dengan memindahkan 2,5 mL sampel zooplankton ke *Ward counting wheel* menggunakan pipet stempel. Fraksi sampel zooplankton kemudian diamati dengan mikroskop stereo LEICA MZ-6 pada perbesaran 4 – 40X.

2.4. Analisa data

Analisis komunitas fitoplankton dalam penelitian ini dilakukan dengan menghitung nilai densitas absolut (DA), densitas relatif (DR), frekuensi (F), frekuensi relatif (FR), dan nilai penting (NP) ⁽²⁰⁾. Data parameter biotik dan abiotik lalu dianalisis lebih lanjut dengan matriks

korelasi Pearson⁽²¹⁾. Analisis Bray-Curtis *clustering* (*Simple Average Linkage*) dilakukan menggunakan BioDiversity Professional ver.2⁽²²⁾ untuk melihat tingkat kesamaan struktur komunitas fitoplankton pada setiap stasiun sampling. Pengelompokan (*clustering*) dilakukan terhadap data DR genus-genus fitoplankton pada semua stasiun penelitian berdasarkan nilai similaritas >70%. Nilai DR digunakan sebagai proses normalisasi dari tingginya perbedaan nilai DA spesies fitoplankton antar stasiun penelitian. Analisis Indeks Similaritas (IS) dan Indeks Disimilaritas (ID) Sorenson dilakukan untuk mengetahui tingkat kesamaan atau perbedaan struktur komunitas fitoplankton di dalam dan di luar area tambang timah⁽²⁰⁾. Peta kontur parameter biotik dan biotik dibuat dengan metode *Kriging Gridding* menggunakan program Surfer ver. 8.0 Surface Mapping System.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kategori trofik perairan Bangka Barat berdasarkan densitas fitoplankton

Densitas fitoplankton di perairan Bangka Barat diketahui berkisar antara $3,6 \times 10^5 - 1,6 \times 10^7$ sel.m⁻³ (Gambar 2B). Berdasarkan sistem

klasifikasi Spatharis & Tsirtsis⁽²³⁾, secara umum perairan pesisir Bangka Barat digolongkan dalam kategori oligotrofik yang memiliki densitas sel fitoplankton $< 4,16 \times 10^6$ sel.m⁻³ (Tabel 1). Namun beberapa stasiun penelitian diketahui memiliki kondisi mesotrofik-bawah (*lower mesotrophic*) dengan densitas fitoplankton pada kisaran $4,16 \times 10^6 - 3,14 \times 10^7$ sel.m⁻³ (Tabel 1). Kondisi tersebut serupa dengan penelitian Thoha⁽¹³⁾ dan Putri *et al.*⁽¹⁴⁾ yang menemukan bahwa perairan di sekitar Bangka-Belitung secara umum bersifat oligotrofik dan mesotrofik-bawah. Pada dua penelitian tersebut, densitas sel fitoplankton di perairan berkisar antara $2,1 \times 10^6 - 2,3 \times 10^7$ sel.m⁻³⁽¹³⁾ dan $2,6 \times 10^5 - 5 \times 10^6$ sel.m⁻³⁽¹⁴⁾. Selain itu, penelitian terdahulu tersebut^(13,14) menemukan adanya beberapa area yang bersifat mesotrofik-atas (*higher-mesotrophic*) yang memiliki densitas fitoplankton dengan kisaran $3,2 \times 10^7 - 1,8 \times 10^8$ sel.m⁻³⁽²³⁾. Namun, berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya, area yang bersifat mesotrofik-atas tersebut tidak ditemukan pada penelitian ini. Sebagian besar stasiun sampling (16 stasiun) di perairan sekitar Kabupaten Bangka Barat dalam penelitian ini diketahui memiliki kondisi oligotrofik, sedangkan kondisi mesotrofik-bawah hanya ditemukan pada 6 stasiun saja (Tabel 1).

Tabel 1. Kategori trofik stasiun-stasiun pengambilan sampel di Bangka Barat. Kategori trofik didasarkan pada kelimpahan atau densitas sel fitoplankton di setiap stasiun pengambilan sampel.

Stasiun	Densitas Fitoplankton (sel.m ⁻³)	Kategori Trofik*			
		Oligotrofik (<i>Oligotrophic</i>) (< 4.16×10^6 sel.m ⁻³)	Mesotrofik-Bawah (<i>Lower-mesotrophic</i>) ($4.16 \times 10^6 - 3.14 \times 10^7$ sel.m ⁻³)	Mesotrofik-Atas (<i>Higher-mesotrophic</i>) ($3.14 \times 10^7 - 1.88 \times 10^8$ sel.m ⁻³)	Eutrofik (<i>Eutrophic</i>) (> 1.88×10^8 cells.m ⁻³)
1	1,716,981	V	-	-	-
2	3,472,727	V	-	-	-
3	1,198,113	V	-	-	-
4	12,509,194	-	V	-	-
5	9,695,898	-	V	-	-
6	8,647,808	-	V	-	-
7**	623,762	V	-	-	-
8	1,243,816	V	-	-	-
9**	531,825	V	-	-	-
10	860,606	V	-	-	-
11	359,264	V	-	-	-
12**	654,545	V	-	-	-
13**	653,465	V	-	-	-
14**	915,194	V	-	-	-
15	876,945	V	-	-	-
16	1,587,694	V	-	-	-
17	2,000,000	V	-	-	-
18**	1,516,266	V	-	-	-
19	15,593,640	-	V	-	-
20	3,951,909	V	-	-	-

Stasiun	Densitas Fitoplankton (sel.m ⁻³)	Kategori Trofik*			
		Oligotrofik (<i>Oligotrophic</i>) (<4.16×10 ⁶ sel.m ⁻³)	Mesotrofik-Bawah (<i>Lower-mesotrophic</i>) (4.16×10 ⁶ – 3.14×10 ⁷ sel.m ⁻³)	Mesotrofik-Atas (<i>Higher-mesotrophic</i>) (3.14×10 ⁷ – 1.88×10 ⁸ sel.m ⁻³)	Eutrofik (<i>Eutrophic</i>) (>1.88×10 ⁸ cells.m ⁻³)
21	8,571,429	-	V	-	-
22**	4,741,867	-	V	-	-
Rerata	3,723,770	V	-	-	-

Note: *Kategori trofik berdasarkan densitas sel plankton dari penelitian Spatharis & Tsirtsis⁽²³⁾

**Stasiun pengambilan sampel berada di kawasan penambangan timah pesisir pantai

3.2 Pola Distribusi Fitoplankton di Perairan Bangka Barat

Densitas fitoplankton tertinggi di perairan Bangka Barat ditemukan di stasiun 19 dengan densitas sebesar 1,56×10⁶ sel.m⁻³, sedangkan densitas fitoplankton terendah ditemukan di stasiun 11 yaitu <5×10⁵ sel.m⁻³ (Gambar 2). Selain itu, densitas fitoplankton di perairan zona utara diketahui lebih rendah dibandingkan dengan zona selatan (Gambar 2B), yaitu sebesar 5,3×10⁵ – 1,6×10⁶ sel.m⁻³ (zona selatan) dan 3,6×10⁵ – 4,7×10⁶ sel.m⁻³ (zona utara).

Pola distribusi fitoplankton bertipe agregat terlihat pada zona selatan perairan Bangka Barat dengan pusat densitas fitoplankton terletak di stasiun 4 dan 19 (Gambar 2A). Berbeda dari zona selatan, pola distribusi spasial fitoplankton di zona utara cenderung lebih homogen (Gambar 2A). Densitas fitoplankton dalam penelitian ini juga ditemukan semakin rendah di area yang berhadapan dengan perairan terbuka (*oceanic*), seperti stasiun 13, 15, dan 16 (Gambar 2A). Selain itu, densitas fitoplankton di stasiun-stasiun sekitar tambang timah, yaitu stasiun 7, 9, 12, 13, 14, 18, dan 22, diketahui lebih rendah dibandingkan dengan stasiun lain yang ada di sekitarnya (Gambar 2B).

Densitas fitoplankton yang tinggi di stasiun 19 diduga merupakan efek dari suplai hara yang berasal dari Sungai Niur (Gambar 2A). Sedangkan tingginya densitas fitoplankton di sekitar stasiun 4 (Gambar 2A) diduga merupakan efek gabungan dari suplai hara yang berasal dari kota Muntok, serta aliran sungai Niur di selatan (Gambar 1). Asumsi tersebut disusun berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Hafsah *et al.*⁽²⁴⁾ menunjukkan bahwa kandungan fosfat dan nitrat yang tinggi di pesisir kawasan pulau Bangka merupakan efek dari tingginya suplai hara dari aliran sungai yang melewati perkotaan di kawasan tersebut. Pengayaan nutrisi di perairan akibat peningkatan curah hujan dan masukan sungai merupakan salah satu faktor yang menstimulasi aktivitas fitoplankton, sehingga produktivitas primer di perairan bertambah hingga dua kali lipat dari kondisi normal^(25,26,27). Zona utara perairan Bangka Barat mendapat pengaruh minimum dari aliran sungai, sehingga perairannya cenderung bersifat oligotrofik (Gambar 2A). Meskipun demikian, tidak diketahui secara pasti penyebab rendahnya densitas fitoplankton di stasiun 10 yang berada di depan muara Sungai Jebus (Gambar 2A). Kondisi ini sangat berbeda dari stasiun 19 di depan muara Sungai Niur, yang diketahui memiliki densitas fitoplankton sangat tinggi (Gambar 2A).

Gambar 2. Peta distribusi spasial densitas fitoplankton (A) dan densitas absolut sel fitoplankton di tiap stasiun (B), serta distribusi spasial zooplankton (C), pH (D), salinitas (E), dan suhu (F) pada penelitian ini. Stasiun pengambilan sampel yang diberi tanda (*) berada di sekitar tambang timah.

Berdasarkan penelitian ini, diketahui bahwa pola distribusi pH, salinitas, suhu, dan densitas zooplankton (Gambar 2D-2E) tidak memiliki korelasi signifikan secara statistik terhadap komunitas fitoplankton di Bangka Barat ($p > 0,05$; $r < 0,7$) (Tabel 2). Meskipun demikian, densitas fitoplankton cenderung memiliki korelasi positif-lemah dengan densitas zooplankton dan pH air ($r_{\text{fito-zoo}} = 0,32$; $r_{\text{fito-pH}} = 0,05$; $r < 0,7$; $p > 0,05$). Sebaliknya, densitas fitoplankton di perairan Bangka Barat ditemukan memiliki korelasi negatif-lemah dengan salinitas dan suhu air ($r_{\text{fito-salin}} = -0,26$; $r_{\text{fito-temp}} = -0,40$; $r < 0,7$; $p > 0,05$). Hasil tersebut mengindikasikan bahwa parameter-parameter yang diukur dalam penelitian ini tidak berpengaruh cukup kuat terhadap pola distribusi komunitas

fitoplankton di perairan Bangka Barat. Sehingga, diduga faktor-faktor fisika-kimia lain yang tidak diukur dalam penelitian ini, seperti kandungan hara serta pola arus, memiliki peranan yang lebih besar dalam menentukan pola distribusi, ataupun komposisi genus dalam komunitas fitoplankton di area kajian. Parameter fisik seperti pola arus dan pasang-surut diketahui dapat mengubah komposisi spesies penyusun komunitas fitoplankton, terutama di kawasan pesisir dan muara sungai⁽²⁸⁾. Di Teluk Tokyo misalnya, pola arus merupakan salah satu faktor yang mendistribusikan masukan nuriel dari sungai ke perairan, sehingga ikut berperan menentukan pola distribusi fitoplankton di ekosistem sekitarnya⁽²⁷⁾.

Tabel 2. Hasil korelasi antara densitas fitoplankton, densitas zooplankton, salinitas, pH, dan suhu air permukaan di pesisir Bangka Barat. Tidak ditemukan korelasi kuat dan/atau signifikan antara parameter-parameter yang diukur dalam penelitian ini.

	Phytoplankton	Zooplankton	Salinity	pH	Temperature
Phytoplankton	1				
Zooplankton	0.33	1			
Salinity	-0.27	-0.12	1		
pH	0.05	-0.17	0.14	1	
Temperature	-0.40	0.08	-0.07	-0.12	1

Meskipun fitoplankton dan salinitas tidak memiliki korelasi yang signifikan dalam penelitian ini, namun suksesi komunitas fitoplankton di perairan pesisir dan estuari sungai pada umumnya sangat bergantung pada kombinasi antara salinitas dan gradien parameter lingkungan lainnya, seperti suhu di kolom air^(29, 27). Sebagai contoh, kombinasi suhu tinggi ($> 20^{\circ}\text{C}$) dan salinitas rendah (< 30 ppt) diketahui memicu tingginya densitas fitoplankton seperti *Thalassiosira*, *Navicula*, *Cerataulina*, *Eucampia*, dan *Skeletonema* di perairan Teluk Tokyo Dalam (*Inner Tokyo Bay*)⁽²⁷⁾. Serupa dengan penelitian tersebut, dalam penelitian di pesisir Bangka Barat ini terdapat kecenderungan bahwa pusat distribusi fitoplankton (stasiun 19) (Gambar 2A) berada di area yang memiliki salinitas terendah (28 ppt) (Gambar 2E) dan suhu cukup tinggi (24°C) (Gambar 2F).

Peta distribusi spasial fitoplankton (Gambar 2A) menunjukkan tidak adanya perbedaan densitas fitoplankton yang ekstrem antara area tambang timah (*mining*) dan sekitarnya (*non-mining*). Stasiun-stasiun penelitian yang berada di sekitar area penambangan, yaitu stasiun 7, 9, 12, 13, 14, dan 18 (Gambar 2A), juga memiliki perairan yang bersifat oligotrofik berdasarkan kriteria Spatharis & Tsirtsis (2010)⁽²³⁾ (Tabel 1). Hanya stasiun 22 yang berada di area *mining* yang termasuk kategori mesotrofik-bawah (Tabel 1). Secara umum, densitas fitoplankton lebih tinggi di zona perairan luar area penambangan timah (Gambar 2A). Pola serupa juga tampak pada distribusi spasial zooplankton di area kajian (Gambar 2C). Selain itu, diketahui bahwa densitas plankton lebih tinggi di zona selatan perairan Bangka Barat (Gambar 2A & 2C) yang merupakan

wilayah utama penangkapan ikan (*fishing ground*) oleh nelayan lokal. Oleh karena itu, tingginya densitas fitoplankton (Gambar 2A) dan zooplankton (Gambar 2C) di zona selatan merupakan salah satu faktor pendukung kegiatan perikanan di wilayah Bangka Barat.

3.3 Struktur komunitas fitoplankton di perairan Bangka Barat secara umum

Dalam penelitian ini ditemukan 28 genus fitoplankton di perairan Bangka Barat yang terdiri atas: 23 genus Diatomae dan 5 genus Dinoflagellata (Gambar 3). Secara umum, *Bacteriastrum*, *Chaetoceros*, dan *Thalassiothrix* merupakan tiga genus fitoplankton yang paling melimpah di perairan Bangka Barat (Gambar 3A & 3B). Masing-masing genus tersebut memiliki rata-rata densitas absolut (DA) sebesar $1,13 \times 10^6$ sel.m⁻³, $1,05 \times 10^6$ sel.m⁻³, dan $4,05 \times 10^5$ sel.m⁻³ (Gambar 3A) serta memiliki densitas relatif (DR) sebesar 30,12%, 27,93%, dan 10,78% (Gambar 4B).

Genus fitoplankton dominan dalam penelitian ini serupa dengan penelitian terdahulu⁽¹⁴⁾ di perairan Pulau Bangka. Genus lain yang ditemukan memiliki densitas tinggi di perairan Bangka Barat adalah *Rhizosolenia* dan *Pseudo-nitzschia* (Gambar 3A & 3B). Rata-rata DA untuk kedua genus tersebut adalah $2,66 \times 10^5$ sel.m⁻³ dan $2,86 \times 10^5$ sel.m⁻³ (Gambar 3A). Dominasi *Chaetoceros*, *Bacteriastrum*, *Rhizosolenia*, *Thalassiothrix*, *Rhizosolenia*, *Pseudo-Pseudo-nitzschia*, dan *Leptocylindrus* umum ditemukan di perairan pesisir pantai kawasan tropis, terutama pada musim hujan⁽²⁵⁾.

Gambar 3. Nilai (A) rata-rata densitas absolut (DA), (B) densitas relatif (DR), (C) frekuensi kehadiran (F), dan (D) nilai penting (NP) komunitas fitoplankton.

Secara umum, semua genus fitoplankton dominan dalam penelitian ini juga memiliki

distribusi yang luas di perairan Bangka Barat. Hal tersebut ditandai dengan nilai $F > 90\%$ untuk genus

Chaetoceros, *Bacteriastrum*, *Thalassiothrix*, *Rhizosolenia*, serta *Pseudo-nitzschia* (Gambar 3C). Beberapa genus fitoplankton, yaitu yaitu *Odontella*, *Coscinodiscus*, *Lauderia*, dan *Guinardia* ditemukan memiliki distribusi luas namun dengan densitas sel yang sangat rendah, yang ditunjukkan dengan nilai $DR < 1\%$ (Gambar 3B) dan nilai $F > 80\%$ (Gambar 3C) dari keempat genus tersebut. Kondisi tersebut kemungkinan merupakan akibat dari rendahnya kemampuan dalam melakukan kompetisi hara dengan genus lain yang lebih dominan di perairan.

Dalam penelitian ini, ditemukan pula beberapa genus fitoplankton yang tergolong langka di perairan Bangka Barat, yaitu *Surirella*, *Amphizolenia*, dan *Pyrocystis* (Gambar 3A-3C). Ketiganya digolongkan dalam genus langka karena memiliki DR dan F yang rendah di semua perairan Bangka Barat. Genus dari kelompok Dinoflagellata, seperti *Ceratium*, *Protoperdinium*, *Amphizolenia*, *Pyrophacus*, dan *Pyrocystis* juga ditemukan di perairan Bangka Barat, namun dengan DA yang sangat rendah (Gambar 3A) dan nilai $DR < 1\%$ (Gambar 3B). Kelima genus tersebut merupakan Dinoflagellata autotrofik yang umum ditemukan di perairan pantai kawasan tropis, namun jarang menjadi dominan dalam komunitasnya⁽²⁵⁾. Di antara genera Dinoflagellata yang hadir di perairan Bangka Barat, hanya *Ceratium* yang ditemukan di hampir semua stasiun penelitian dan memiliki nilai F sebesar 86,36% (Gambar 3C).

Rendahnya densitas sel Dinoflagellata di perairan dapat terkait dengan kemampuan kompetisi yang lebih rendah dibandingkan fitoplankton lain, terutama Diatomae (Tabel 1). Di ekosistem perairan yang didominasi oleh Diatomae, densitas sel Dinoflagellata umumnya tidak terlalu tinggi, bahkan bila eutrofikasi terjadi di perairan tersebut⁽²⁶⁾. Namun kondisi tersebut dapat berbalik apabila parameter fisik-kimia perairan berubah menjadi lebih sesuai untuk reproduksi dan pertumbuhan Dinoflagellata. Sebagai contoh, pergeseran spesies penyebab fenomena *Harmful Algal Blooms* (HABs) dari Diatomae *Skeletonema costatum* menjadi Dinoflagellata *Prorocentrum donghaiense*, diketahui terjadi secara periodik di pesisir timur Cina yang diakibatkan oleh perubahan temperatur dan masukan (*input*) nutrisi di perairan tersebut^(30, 31).

Analisis nilai penting (NP) menunjukkan bahwa genera fitoplankton dominan memiliki NP yang tinggi, seperti *Bacteriastrum* 18%, *Chaetoceros* 16,94%, *Thalassiothrix* 8,33%, *Pseudo-nitzschia* 6,74%, dan *Rhizosolenia* 6,48 % (Gambar 3D). Nilai tersebut mengindikasikan bahwa kelima genus fitoplankton itu memiliki peranan paling penting dalam komunitasnya. Sehingga, perubahan kelimpahan kelima genus tersebut dapat mempengaruhi semua struktur komunitas fitoplankton di perairan. Selain itu, tidak ditemukan adanya over-dominasi satu genus fitoplankton di perairan Bangka Barat, yang umumnya ditandai dengan nilai penting genus yang sangat tinggi (NP $> 70\%$) (Gambar 3D).

3.4 Struktur Komunitas Fitoplankton di Area Tambang Timah Perairan Pesisir Bangka Barat

Dalam analisis sub-bab ini, semua stasiun penelitian dikelompokkan menjadi stasiun yang berada di dalam tambang (*mining*) dan di luar area tambang timah (*non-mining*). Hasil analisis menunjukkan bahwa genus *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, dan *Thalassiothrix* secara umum mendominasi kelimpahan fitoplankton di perairan tambang timah (*mining*) (Gambar 4A). Proporsi dominasi nilai DR ketiga genus tersebut nyaris serupa, yaitu masing-masing sebesar 21,6%, 21,2%, dan 22,1%. Berbeda dengan area tambang timah, area di luar tambang timah (*non-mining*) didominasi oleh genus *Bacteriastrum*, *Chaetoceros*, dan *Thalassiothrix* (Gambar 7B), dengan nilai DR masing-masing sebesar 33,7%, 29,2%, dan 9,3%. Selain itu diketahui pula bahwa secara umum densitas sel fitoplankton di area tambang timah lebih rendah dibandingkan dengan perairan sekitarnya (Gambar 7A). Kondisi tersebut mengindikasikan adanya gangguan pada komunitas plankton di area tambang timah di pesisir Bangka Barat. Gangguan tersebut dapat berasal dari tingginya turbiditas di kolom air akibat kegiatan penambangan, sehingga dapat mengurangi penetrasi cahaya dan menyebabkan penurunan aktivitas fotosintesis fitoplankton yang hidup di area tersebut. Namun, jumlah genus yang hadir di area *mining* dan *non-mining* ditemukan sama, yaitu berjumlah 25 genus (Gambar 7B).

Gambar 4. Perbedaan struktur komunitas fitoplankton (A) di dalam area tambang timah (*mining*) dan (B) di luar area tambang timah (*non-mining*) berdasarkan nilai densitas relatif (DR). Tabel di kanan (C) menunjukkan rerata densitas sel tiap genus fitoplankton di area *mining* dan *non-mining*

Stasiun-stasiun *non-mining* dalam penelitian ini dicirikan dengan berlimpahnya *Bacteriastrium* dan *Chaetoceros* di perairan, sedangkan perairan kawasan penambangan dicirikan dengan tingginya densitas *Chaetoceros*, *Thalassiothrix*, dan *Rhizosolenia* (Gambar 5). Genus Diatomae seperti *Bacteriastrium* dapat ditemukan semakin berlimpah seiring dengan bertambahnya konsentrasi fosfat di perairan, sedangkan densitas sel genus fitoplankton seperti *Chaetoceros* diketahui meningkat seiring dengan semakin tingginya masukan air sungai dan curah hujan⁽²⁶⁾. Selain itu, *Bacteriastrium* dan *Chaetoceros* merupakan dua genus fitoplankton yang umum ditemukan berlimpah di perairan yang mengalami proses eutrofikasi⁽³⁷⁾. Meskipun demikian, dalam penelitian ini tidak ditemukan stasiun penelitian dengan kategori eutrofik (Tabel 2).

Beberapa stasiun di perairan Bangka Barat dalam penelitian ini ditemukan memiliki struktur komunitas fitoplankton yang khas (Gambar 5). Tren tersebut dipertegas oleh hasil analisis Bray-

Curtis (Gambar 6) yang menunjukkan bahwa stasiun 1, 3, 8, dan 17 memiliki karakteristik komunitas fitoplankton yang jauh berbeda dari stasiun lainnya. Komunitas fitoplankton di stasiun 1 dicirikan dengan nilai densitas relatif *Climacodium*, dan *Bacillaria* yang lebih tinggi dibandingkan stasiun lainnya (Gambar 5). Namun dalam komunitas tersebut tidak ditemukan genus *Thalassiothrix*, yang umumnya hadir dalam komunitas fitoplankton di stasiun lainnya di perairan Bangka Barat (Gambar 5). Mengacu pada pola distribusi zooplankton di area kajian (Gambar 2C), diketahui bahwa stasiun 1 merupakan pusat densitas individu zooplankton di perairan Bangka Barat. Hal tersebut diduga terkait dengan kemunculan karakteristik komunitas fitoplankton yang khas di stasiun 1. Tekanan predasi yang tinggi ketika zooplankton melimpah di perairan diketahui dapat mengubah komposisi spesies atau genus fitoplankton di area

tersebut^(28,32). Meskipun demikian, belum diketahui pasti hubungan antara tingginya

densitas zooplankton dan ketidakhadiran genus *Thalassiothrix* di stasiun 1.

Gambar 5. Struktur komunitas fitoplankton di semua stasiun penelitian perairan Bangka Barat yang dibagi menjadi stasiun di dalam area tambang (*mining*) dan di luar tambang timah (*non-mining*).

Berbeda dari stasiun lainnya, genus *Thalassiosira*, dengan nilai DR sebesar 29,9% tampak lebih mendominasi komunitas fitoplankton di stasiun 3 dibandingkan genus lainnya, seperti *Chaetoceros* atau *Bacteriastrum* (Gambar 5). Keunikan struktur komunitas fitoplankton di stasiun 3 diduga muncul akibat percampuran massa air laut dan tawar (Gambar 3). Sehingga pH dan salinitas air di stasiun 3 lebih rendah dibandingkan perairan sekitarnya (Gambar 2D & 2E). Namun belum diketahui penyebab stasiun 19 yang berada di depan muara Sungai Niur (Gambar 2A) tidak memiliki komunitas fitoplankton khas seperti stasiun 3 (Gambar 5). Stasiun 19 justru memiliki > 70% kemiripan struktur komunitas fitoplankton dengan stasiun 18 yang berada di area tambang timah (Gambar 6).

Dalam penelitian ini, hanya stasiun 8 yang diketahui memiliki struktur komunitas tanpa kehadiran genus *Chaetoceros* (Gambar 4). Dibandingkan dengan stasiun lainnya, nilai DR genus dominan seperti *Thalassiothrix* dan *Rhizosolenia* juga ditemukan lebih rendah pada komunitas fitoplankton di stasiun 8 (Gambar 4). Stasiun ini diketahui berada dekat area pesisir kota Muntok yang memiliki perairan dengan salinitas terendah dalam penelitian ini, yaitu sebesar 28 ppt, serta nilai pH cukup rendah, yaitu sebesar 7,6 (Gambar 2E & 2D). Tidak diketahui pasti penyebab tidak hadirnya *Chaetoceros* di stasiun 8, meskipun lokasi tersebut berdekatan dengan perkotaan yang seharusnya memberikan banyak suplai hara ke perairan.

Gambar 6. Hasil analisis Bray-Curtis clustering (*Simple Average Linkage*). Stasiun yang diberi tanda (*) berada di sekitar area tambang timah di pesisir Bangka Barat. Stasiun-stasiun dianggap berada dalam satu kelompok yang sama bila memiliki nilai kesamaan (*similarity*) $\geq 70\%$

Hasil analisis IS-ID menunjukkan bahwa struktur komunitas fitoplankton di area tambang timah memiliki tingkat kesamaan <50% dengan komunitas fitoplankton perairan sekitarnya (Gambar 7C). Perbedaan struktur komunitas fitoplankton tersebut (Gambar 4A & 4B) diduga muncul sebagai efek kegiatan penambangan timah di perairan Bangka Barat yang mengakibatkan perubahan kondisi fisik-kimia di kolom air. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, penambangan timah dengan *cutter suction dredge* mengaduk dasar perairan serta menghasilkan polutan yang dapat berasal dari mesin-mesin tambang.

Perubahan struktur komunitas fitoplankton akibat tekanan senyawa beracun (*toxicant stress*), umumnya terjadi dalam bentuk

pergeseran dominasi fitoplankton berukuran besar (makro- atau mikro-) ke fitoplankton berukuran kecil (nano- atau pico-)⁽³³⁾. Meskipun demikian, fenomena *co-dominance* *Rhizosolenia* bersama *Thalassiothrix* dan *Chaetoceros* di kawasan penambangan timah (*mining*) dalam penelitian tampak bertolak belakang dengan pola pergeseran dominansi fitoplankton di perairan (Gambar 4). *Rhizosolenia* sendiri merupakan genus fitoplankton yang berukuran besar, yaitu memiliki diameter sel hingga 250 μm ⁽³⁴⁾. Meskipun demikian, data penelitian ini (Gambar 4C & 7A) menunjukkan bahwa densitas sel fitoplankton di perairan yang berada di kawasan *mining* jauh lebih rendah dibanding perairan di kawasan *non-mining*.

Gambar 7. Rerata densitas sel fitoplankton (A), jumlah genus (B), dan nilai IS-ID antara komunitas fitoplankton di dalam dan di luar area tambang timah (C).

Pergeseran besar peranan *Rhizosolenia* ke genus *Bacteriastrium* yang berukuran lebih kecil (Gambar 4A & 4B), dapat terjadi akibat pelepasan senyawa pencemar dari sedimen yang teraduk ke kolom air akibat kegiatan penambangan timah⁽⁷⁾. Penelitian yang dilakukan oleh Kim *et. al*⁽³⁵⁾ menunjukkan bahwa fitoplankton berukuran kecil dapat mengalami *blooming* (ledakan populasi) pada perairan keruh akibat resuspensi sedimen yang tercemar oleh polutan berupa senyawa merkuri. Meskipun tidak memberikan penjelasan detail, Kim *et. al*⁽³⁵⁾ menduga resuspensi sedimen melepaskan senyawa anorganik (zat hara) yang memicu percepatan pertumbuhan fitoplankton di kolom air. Fitoplankton juga diketahui dapat melakukan penyerapan (*uptake*) terhadap logam-logam terlarut dalam air sehingga berpotensi memicu bioakumulasi pada organisme yang berada di tingkat trofik lebih tinggi, seperti pada zooplankton dan kerang⁽³⁵⁾.

Selain akibat senyawa pencemar, perubahan struktur komunitas fitoplankton dapat pula terjadi akibat terlepasnya sel-sel fitoplankton bentik ataupun kista fitoplankton di sedimen dasar perairan⁽³⁶⁾ akibat resuspensi sedimen karena aktivitas pertambangan. Hal tersebut menimbulkan kekhawatiran akan munculnya fenomena *blooming* genus fitoplankton yang

toleran terhadap stres turbiditas tinggi^(35,31), dan/atau konsentrasi logam terlarut yang tinggi di perairan pesisir Bangka Barat. Fenomena *blooming* tersebut dapat dipicu dari munculnya pencampuran vertikal (*vertical mixing*) secara periodik^(8,9), ataupun akibat aktivitas manusia seperti *dredging* dan penambangan⁽³⁶⁾. Dalam kasus perairan pesisir Bangka Barat, proses penambangan timah yang mengakibatkan teraduknya sedimen dasar perairan berpotensi memicu terjadinya *blooming* fitoplankton, terutama bila perairan tersebut juga mengalami tekanan akibat eutrofikasi yang berasal dari aktivitas manusia lain di kawasan pesisirnya.

3.5 Implikasi Terhadap Pengelolaan Pengelolaan Penambangan Timah di Pesisir Bangka Barat

Hasil penelitian menunjukkan indikasi adanya pengaruh kegiatan penambangan timah di perairan pesisir Bangka Barat terhadap densitas sel (Gambar 7A) dan komposisi genus fitoplankton di perairan (Gambar 4). Meskipun demikian, tidak diketahui sejauh mana kegiatan tersebut mampu memengaruhi densitas serta struktur komunitas fitoplankton di perairan sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan rutin yang mencakup pengukuran

terhadap parameter fisika-kimia, komunitas fitoplankton, dan komposisi kista fitoplankton di sedimen dasar perairan Bangka Barat. Hal ini penting untuk dilakukan, mengingat adanya potensi masalah ekologis akibat ledakan populasi fitoplankton di perairan Bangka Barat.

Selain kegiatan pemantauan, diperlukan pula penataan dan pengelolaan kegiatan penambangan timah di perairan Bangka Barat. Salah satu alat (*tools*) yang dapat digunakan untuk membantu kegiatan tersebut adalah dengan menggunakan kehadiran taksa plankton tertentu sebagai indikator biologis (bioindikator) terhadap gangguan di kolom air akibat penambangan timah. Beberapa genus fitoplankton yang diketahui sangat sensitif terhadap perubahan kondisi kolom air akibat pengadukan sedimen yang dihasilkan dari aktivitas *dredging* pada penambangan di pesisir. Genus tersebut di antaranya adalah *Surirella* spp., *Asterionellopsis* spp., dan *Thalassiosira* spp. Sedangkan genus yang cenderung tahan terhadap anomali kolom air akibat pengadukan sedimen adalah *Coscinodiscus* spp., *Navicula* spp., dan *Nitzschia* spp.⁽³⁶⁾. Oleh karena itu pergeseran dominasi fitoplankton dapat menjadi indikator akan adanya gangguan di kolom air, terutama bila taksa yang mendominasi adalah taksa yang resistan terhadap perubahan kualitas perairan.

Untuk menghindari pengadukan sedimen akibat penambangan, dapat pula dipertimbangkan untuk menggunakan alat tambang yang menghasilkan gangguan minimal terhadap sedimen di dasar perairan, sehingga resuspensi sedimen berlebihan di kolom air dapat dihindari. Selain itu, dapat pula melakukan pembuangan limbah sedimen hasil penambangan pada kedalaman jauh di bawah SML (*surface mixing layer*)⁽³⁸⁾, sehingga tidak semua kolom air mengalami peningkatan turbiditas yang berdampak pada penurunan produktivitas primer akibat berkurangnya penetrasi cahaya untuk fotosintesis fitoplankton atau karena adanya polutan yang terlepas dari sedimen dasar ke kolom air.

Hal serupa juga berlaku untuk pemantauan komposisi plankton berdasarkan musim, yang pada penelitian ini, belum dilakukan akibat keterbatasan waktu, tenaga, dan dana. Perubahan musim, yang mengakibatkan perubahan curah hujan, besaran masukan (*input*) daratan ke perairan, serta pola arus dapat memunculkan karakter komunitas plankton yang berbeda dengan yang ditemukan pada penelitian ini.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini secara umum disimpulkan bahwa kegiatan penambangan timah di perairan pesisir Bangka Barat dapat memunculkan karakter komunitas fitoplankton yang khas, serta menyebabkan terjadinya penurunan densitas sel fitoplankton di perairan sekitar kegiatan penambangan. Terdapat perbedaan sebesar 56% pada struktur komunitas fitoplankton yang terdapat pada area di luar (*non-mining*) dan di dalam tambang timah (*mining*) perairan Bangka Barat. Secara umum, densitas fitoplankton di area tambang timah lebih rendah dibandingkan dengan area di luar tambang. Namun jumlah genus yang ditemukan di area *mining* dan *non-mining* tidak berbeda. Sebagai catatan, beberapa taksa plankton dalam penelitian ini diketahui memiliki potensi untuk digunakan sebagai bioindikator dampak gangguan perairan sebagai efek resuspensi sedimen akibat adanya kegiatan penambangan di perairan pesisir.

Selain itu, berdasarkan penelitian ini diketahui pula bahwa densitas fitoplankton di perairan selatan Bangka Barat lebih tinggi dibandingkan perairan utara, yang diduga kuat terkait dengan tingginya pengaruh sungai dan kota-kota di perairan selatan Bangka Barat tersebut. Namun demikian, distribusi spasial fitoplankton di perairan kajian dalam penelitian ini tidak dipengaruhi secara signifikan oleh distribusi zooplankton, pH, salinitas, dan suhu permukaan air, sehingga dibutuhkan kajian lebih lanjut untuk memahami mekanisme regulasi yang menentukan distribusi dan kelimpahan fitoplankton di perairan Bangka Barat, terutama terkait dengan adanya aktivitas pertambangan timah di perairan pesisir kawasan tersebut.

PERSANTUNAN

Penelitian ini merupakan bagian dari kajian rona dasar lingkungan Kabupaten Bangka Barat pada tahun 2012, atas kerja sama antara Puslit Oseanografi LIPI, Puslit Geoteknologi LIPI, dan Pemda Bangka Barat. Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya pada rekan-rekan Pemda Bangka Barat yang telah membantu dan memfasilitasi kegiatan pengambilan sampel di lapangan. Selain itu saya mengucapkan terima kasih kepada Prof. Wahyoe S. Hantoro, sebagai koordinator penelitian ini, dan atas diskusi yang berharga mengenai proses sedimentasi perairan.

Terima kasih juga saya berikan kepada Sugestiningsih, Trimaningsih, dan Elly Asnariati, teknisi Laboratorium Plankton dan

Produktivitas Primer Puslit Oseanografi-LIPI (P2O-LIPI), yang semuanya kini telah memasuki masa pensiun, namun sangat membantu dalam proses analisa sampel plankton pada saat penelitian ini dilakukan. Saya juga berterima kasih kepada Prof. Yasuwo Fukuyo, dan Dr. Mitsunori Iwataki dari Tokyo University, Jepang, serta peneliti senior di Laboratorium Plankton dan Produktivitas Primer P2O-LIPI, Hikmah Thoha, atas diskusi dan saran yang diberikan

DAFTAR PUSTAKA

1. Erman, E. (2008). Rethinking Legal and Illegal Economy: A Case Study of Tin Mining in Bangka Island. *Southeast Asia: History and Culture*, 2008(37), 91-111.
2. Hutahaean, B. P., & Yudoko, G. (2013). Analysis and Proposed Changes of TIN ORE Processing System on Cutter Suction Dredges Into Low Grade to Improve Added Value for the Company. *Indonesian Journal of Business Administration*, 2(16).
3. Syarbaini, S., Warsona, A., & Iskandar, D. (2014). Natural Radioactivity in Some Food Crops from Bangka-Belitung Islands, Indonesia. *Atom Indonesia*, 40(1), 27-32.
4. Charlier, R. (2002). Impact on the coastal environment of marine aggregates mining. *International journal of environmental studies*, 59(3), 297-322.
5. Prasetya, N. B. A., Aulia, W., Syahbana, A., & Kewe, E. (2010). Pemantauan kadar logam berat Pb, Cd, Cu, Zn dan Ni dalam air laut dan sedimen di Perairan Pulau Bangka. Dalam: R. Nuchsin (ed.). *Perairan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung sumber daya laut dan oseanografi*. 136-151. LIPI Press, Jakarta.
6. Alldredge, A. L., Elias, M., & Gotschalkt, C. C. (1986). Effects of drilling muds and mud additives on the primary production of natural assemblages of marine phytoplankton. *Marine environmental research*, 19(2), 157-176.
7. Nayar, S., Goh, B. P. L., & Chou, L. M. (2004). Environmental impact of heavy metals from dredged and resuspended sediments on phytoplankton and bacteria assessed in situ mesocosms. *Ecotoxicology and environmental safety*, 59(3), 349-369.
8. Usup, G., & Azanza, V. (1998). Physiology and bloom dynamics of the Tropical dinoflagellate *Pyrodinium bahamense*. In G. Usup, V. Azanza, D. Anderson, A. Cembella, & G. Hallegraeff (Eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms* (pp. 81-92). Berlin: Springer-Verlag.
9. Kremp, A. (2001). Effects of cyst resuspension on germination and seeding of two bloom-forming dinoflagellates in the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 216, 57-66.
10. Oberholster, P. J., Myburgh, J. G., Ashton, P. J., & Botha, A.-M. (2010). Responses of phytoplankton upon exposure to a mixture of acid mine drainage and high levels of nutrient pollution in Lake Loskop, South Africa. *Ecotoxicology and environmental safety*, 73(3), 326-335.
11. Reynolds, C. S. (1997). Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. Oldendorf/Luhe: Ecology Institute.
12. Alves-de-Souza, C., González, M. T., & Iriarte, J. L. (2008). Functional groups in marine phytoplankton assemblages dominated by diatoms in fjords of southern Chile. *Journal of Plankton Research*, 30(11), 1233-1243.
13. Thoha, H. (2010). Kelimpahan plankton di perairan Bangka-Belitung dan Laut Cina Selatan, Sumatera, Mei-Juni 2002. *Makara Journal of Science*.
14. Putri, B., Retnoningtyas, H., Mujib, A., Firman, S., & Thoha, H. (2010). Kelimpahan dan sebaran plankton di perairan Pulau Bangka. In B. Putri, H. Retnoningtyas, A. Mujib, S. Firman, H. Thoha, Ruyitno, Sulistijo, Pramudji, M. Muchtar, T. Susana, & Fahmi (Eds.), *Perairan provinsi Kepulauan Bangka Belitung: Sumber daya laut dan oseanografi* (pp. 105-112). Jakarta: LIPI Press.
15. Davis, C. (1955). *The marine and fresh-water plankton*. Michigan State University Press; USA.
16. Shiota, A. (1966). *The plankton of South Vietnam-fresh water and marine plankton*. Japan: Over Tech Coop Agent.
17. Yamaji, I. (1966). *Illustrations of the marine plankton of Japan*. Hoikusha.
18. Wickstead, J. H. (1976). *The Institute of Biology's studies in biology no. 62: marine zooplankton*. USA: Edward Arnold Publisher Ltd. USA.
19. Praseno, D. P., & Sugestiningih. (2000). *Retaid di perairan Indonesia*. Jakarta:

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi-LIPI.
20. Cox, G. (1976). Laboratory manual of general ecology 3rd ed. Iowa: Wm C. Brown Company Pub.
 21. Bakus, G. (2007). Quantitative analysis of Maine biological communities: Field biology and Environment. USA: John Wiley & Sons, Inc.
 22. McAleece, N., Gage, J., Lambshead, J., & Peterson, G. (1997). Biodiversity Professional Statistical Analysis Software. London: The Natural History Museum & Scottish Association of Marine Science.
 23. Spatharis, S., & Tsirtsis, G. (2010). Ecological quality scales based on phytoplankton for the implementation of Water Framework Directive in the Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 10(4), 840-847.
 24. Hafsa, Gumbira, G., Taufik, N., & Muchtar, M. (2010). Dinamika konsentrasi nitrat, fosfat, derajat keasaman, dan oksigen terlarut di perairan Bangka. In Hafsa, G. Gumbira, N. Taufik, M. Muchtar, Ruyitno, Sulistijo, Pramudji, M. Muchtar, T. Susana, & Fahmi (Eds.), *Perairan provinsi Kepulauan Bangka Belitung: Sumber Daya Laut dan Oseanografi* (pp. 85-104). Jakarta: LIPI Press.
 25. Lugomela, C., Wallberg, P., & Nielsen, T. G. (2001). Plankton composition and cycling of carbon during the rainy season in a tropical coastal ecosystem, Zanzibar, Tanzania. *Journal of Plankton Research*, 23(10), 1121-1136.
 26. Malej, A., Mozetič, P., Turk, V., Terzič, S., Ahel, M., & Cauwet, G. (2003). Changes in particulate and dissolved organic matter in nutrient-enriched enclosures from an area influenced by mucilage: the northern Adriatic Sea. *Journal of plankton research*, 25(8), 949-966.
 27. Nakane, T., Nakaka, K., Bouman, H., & Platt, T. (2008). Environmental control of short-term variation in the plankton community of inner Tokyo Bay, Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(4), 796-810.
 28. Brunet, C., & Lizon, F. (2003). Tidal and diel periodicities of size-fractionated phytoplankton pigment signatures at an offshore station in the southeastern English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 56(3-4), 833-843.
 29. Gasiūnaitė, Z. R., Cardoso, A. C., Heiskanen, A.-S., Henriksen, P., Kauppila, P., Olenina, I., Pilkaitytė, R., Purina, I., Razinkovas, A. & Sagert, S. (2005). Seasonality of coastal phytoplankton in the Baltic Sea: influence of salinity and eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(1-2), 239-252.
 30. Zhou, M. J., & Yu, R. C. (2007). Mechanisms and impacts of harmful algal blooms and the countmeasures. *Chinese Journal of Nature*, 29(2), 72-77.
 31. Xu, N., Duan, S., Li, A., Zhang, C., Cai, Z., & Hu, Z. (2010). Effects of temperature, salinity and irradiance on the growth of the harmful dinoflagellate *Prorocentrum donghaiense* Lu. *Harmful Algae*, 9(1), 13-17.
 32. Aßmus, J., Melle, W., Tjøstheim, D., & Edwards, M. (2009). Seasonal cycles and long-term trends of plankton in shelf and oceanic habitats of the Norwegian Sea in relation to environmental variables. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 56(21-22), 1895-1909.
 33. Petersen, S., & Gustavson, K. (1998). Toxic effects of tri-butyl-tin (TBT) on autotrophic pico-, nano-, and microplankton assessed by a size fractionated pollution-induced community tolerance (SF-PICT) concept. *Aquatic toxicology*, 40(2-3), 253-264.
 34. Hasle, G., & Syvertsen, E. (1997). Chapter 2: Marine diatoms. In G. Hasle, E. Syvertsen, & C. Tomas (Ed.), *Identifying Marine Phytoplankton* (pp. 5-385). USA: Academic Press.
 35. Kim, E.-H., Mason, R., Porter, E., & Soulen, H. (2004). The effect of resuspension on the fate of total mercury and methyl mercury in a shallow estuarine ecosystem: a mesocosm study. *Marine Chemistry*, 86(3-4), 121-137.
 36. Cabrita, M. T. (2014). Phytoplankton community indicators of changes associated with dredging in the Tagus estuary (Portugal). *Environmental pollution*, 191, 17-24.
 37. Sankar, C. S. (2012). Species Composition, Abundance and Distribution of Phytoplankton in the Harbour Areas and Coastal Waters of Port Blair, South Andaman 1R. Siva Sankar and 2G. Padmavati. *Int. J. Oceanogr. Marine Ecol. Sys*, 1(3), 76-83

38. Ellis, D. V. (2001). A review of some environmental issues affecting marine mining. *Marine Georesources & Geotechnology*, 19(1), 51-63.

39.

40.