



**Pola Sebaran Produktivitas Primer pada Kawasan Reklamasi Laut PT. Timah Tbk
Di Perairan Penyusuk, Belinyu - Kab Bangka**

***Distribution Patterns of Primary Productivity in Offshore Reclamation Area of PT. Timah
Tbk in Waters of Penyusuk, Belinyu - Bangka Regency***

**Ahmad Nursoleh¹, Adam Dimas Purnawirawan^{1*}, Rachmad Yudistiawan¹, Fatur
Rahman¹, La Ode Wahidin¹, Obed Agtapura Taruk Allo²**

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian Perikanan dan Kelautan,
Universitas Bangka Belitung

²Area Bangka Utara - PT TIMAH Tbk

E-mail : ahmaddrawing19@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat produktivitas primer di kawasan reklamasi laut PT TIMAH Tbk, Perairan Penyusuk, Kabupaten Bangka, dengan melihat kelimpahan dan kepadatan fitoplankton sebagai indikator biologis utama. Pengambilan sampel dilakukan pada tanggal 16 September 2025 di dua stasiun pengamatan, yaitu Pulau Putri dan Pulau Lampu. Metode pengambilan sampel fitoplankton menggunakan *Plankton Net* dengan volume penyaringan 100 liter air laut, yang kemudian diawetkan dengan formalin 4% untuk analisis laboratorium. Identifikasi dan perhitungan fitoplankton dilakukan menggunakan mikroskop binokuler dan *Sedgewick Rafter*. Parameter oseanografi seperti suhu, pH, salinitas, kecerahan, oksigen terlarut (DO), dan kecepatan arus diukur secara *in situ*. Analisis produktivitas primer ditentukan melalui pendekatan *indirect method*, yaitu dengan mengkorelasikan kepadatan fitoplankton terhadap konsentrasi klorofil-a yang diperoleh dari pengolahan data citra Landsat 8 menggunakan perangkat lunak *QGIS*. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 31 genus fitoplankton yang tergolong dalam lima kelas utama, yaitu *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Ciliophora*, *Cyanophyceae*, dan *Dinophyceae*. Total kepadatan fitoplankton mencapai $4,37 \times 10^6$ individu/L, dengan dominasi kelas *Bacillariophyceae* (71,3%), terutama genus *Rhizosolenia*. Nilai klorofil-a berkisar antara 0,280–0,531 mg/m³, menunjukkan tingkat kesuburan perairan yang tergolong mesotrofik hingga eutrofik. Parameter kualitas air seperti suhu (29–30°C), pH (7), dan DO (5–6,4 mg/L) berada dalam kisaran optimal bagi biota laut, sedangkan salinitas (28–29 ppt) dan kecerahan (2,6–3,75 m) sedikit di bawah baku mutu. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas reklamasi laut PT TIMAH Tbk berkontribusi positif terhadap pemulihan ekosistem, ditandai oleh dominasi diatom produktif dan tingginya nilai klorofil-a. Namun, pemantauan berkelanjutan tetap diperlukan untuk mengantisipasi potensi eutrofikasi akibat peningkatan nutrisi di masa mendatang.

Kata Kunci: Produktivitas Primer, Fitoplankton, Klorofil-a, Reklamasi Laut, dan PT TIMAH Tbk

ABSTRACT

This study aims to analyze the level of primary productivity in the marine reclamation area of PT TIMAH Tbk, Penyusuk Waters, Bangka Regency, by examining the abundance and density of phytoplankton as the main biological indicators. Sampling was conducted on September 16, 2025, at two observation stations: Putri Island and Lampu Island. Phytoplankton sampling was carried out using a Plankton Net with a filtering volume of 100 liters of seawater, which was then preserved in 1% formalin for laboratory analysis.



Phytoplankton identification and counting were performed using a binocular microscope and a Sedgewick rafter. Oceanographic parameters such as temperature, pH, salinity, brightness, dissolved oxygen (DO), and current velocity were measured in situ. Primary productivity analysis was determined using an indirect method, namely by correlating phytoplankton density with chlorophyll-a concentration obtained from processing Landsat 8 image data using QGIS software. The results showed that there were 31 phytoplankton genera classified into five main classes, namely Bacillariophyceae, Chlorophyceae, Ciliophora, Cyanophyceae, and Dinophyceae. The total phytoplankton density reached 4.37×10^6 individuals/L, with the Bacillariophyceae class dominating (71.3%), especially the Rhizosolenia genus. Chlorophyll-a values ranged from 0.280–0.531 mg/m³, indicating a level of water fertility that was classified as mesotrophic to eutrophic. Water quality parameters such as temperature (29–30°C), pH (7), and DO (5–6.4 mg/L) were within the optimal range for marine biota, while salinity (28–29 ppt) and clarity (2.6–3.75 m) were slightly below the quality standard. These results indicate that PT TIMAH Tbk's marine reclamation activities have contributed positively to ecosystem recovery, characterized by the dominance of productive diatoms and high chlorophyll-a values. However, ongoing monitoring is still needed to anticipate potential eutrophication due to increased nutrients in the future.

Keywords: Primary Productivity, Phytoplankton, Chlorophyll-a, Sea Reclamation, and PT TIMAH Tbk

I. Pendahuluan

PT TIMAH Tbk merupakan salah satu produsen dan eksportir logam berat terbesar di Indonesia yang memiliki kegiatan usaha terintegrasi mulai dari eksplorasi, eksploitasi, pengolahan, reklamasi dan pasca-tambang hingga pemasaran produk timah. Kegiatan penambangan laut yang dilakukan oleh PT TIMAH Tbk, menggunakan berbagai jenis peralatan, antara lain Kapal Keruk (KK), Kapal Isap Produksi (KIP), Kapal Keruk *Bucket Wheel Dredge*, dan Ponton Isap Produksi (PIP). Sebagian besar wilayah operasional penambangan tersebut merupakan area yang telah mengalami aktivitas tambang sebelumnya (Rahendra, 2024). Proses penambangan menghasilkan sedimen yang terhisap dan kemudian di alirkan kembali ke perairan, sehingga berpotensi memberikan dampak terhadap perubahan keseimbangan ekosistem perairan laut, serta menurunkan kelimpahan fitoplankton yang berperan sebagai produsen primer dalam rantai makanan akuatik. Oleh karena itu, diterapkan upaya pengelolaan lingkungan berupa kegiatan reklamasi sebagai langkah awal dalam memulihkan kondisi ekosistem perairan pasca-tambang. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, pencemaran air merupakan masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam badan air akibat aktivitas manusia sehingga melebihi baku mutu yang telah ditetapkan dan menyebabkan air kehilangan fungsinya sesuai dengan peruntukan Menurut UU RI No 32 Tahun 2009.

Kondisi tersebut berpotensi mengancam keberlanjutan sumber daya air serta mengurangi kemampuannya untuk dimanfaatkan bagi kebutuhan manusia. Salah satu aktivitas antropogenik yang berkontribusi terhadap pencemaran air adalah penambangan timah, baik yang berlangsung di wilayah daratan maupun di perairan laut. Kegiatan reklamasi pada pertambangan merujuk pada UU No. 2 Tahun 2025 tentang Perubahan Keempat atas UU No. 4 Tahun 2009 tentang *Pertambangan Mineral dan Batubara*, yang mendefinisikan reklamasi sebagai kegiatan yang dilakukan sepanjang tahapan usaha pertambangan untuk menata, memulihkan, serta memperbaiki kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai dengan peruntukannya. Pada wilayah laut yang telah mengalami reklamasi,



perlu dilakukan analisis kondisi lingkungan perairan, termasuk parameter kualitas air dan tingkat kesuburan perairan yang dipengaruhi oleh ketersediaan nutrisi.

Salah satu pendekatan yang digunakan untuk menilai tingkat kesuburan dan kondisi ekosistem perairan tersebut adalah melalui pengukuran produktivitas primer, yang mencerminkan kemampuan perairan dalam menghasilkan bahan organik melalui aktivitas fotosintesis. Produktivitas primer adalah seberapa cepat tumbuhan di perairan melakukan proses fotosintesis, yaitu mengikat karbon dan menghasilkan karbohidrat atau zat organik dalam satuan volume dan waktu (Lee *et al.*, 2014). Produktivitas perairan sangat penting bagi kelangsungan hidup makhluk hidup yang tinggal di dalam ekosistem perairan. Kehidupan di laut dimulai dari kemampuan tumbuhan berklorofil yang berperan sebagai produsen. Mereka bisa menggunakan energi matahari untuk membuat makanan, proses ini disebut fotosintesis. Fotosintesis dilakukan oleh organisme kecil yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang, yaitu plankton (Sofyan, 2021). Plankton merupakan organisme akuatik berukuran mikroskopis yang melayang dan bergerak mengikuti arus air. Menurut Usman *et al.* (2013), plankton yang mampu melakukan fotosintesis untuk menghasilkan oksigen dan energi disebut fitoplankton. Fitoplankton tergolong sebagai plankton nabati yang berperan penting sebagai produsen primer dalam ekosistem perairan karena kemampuannya mengubah energi cahaya menjadi bahan organik melalui proses fotosintesis.

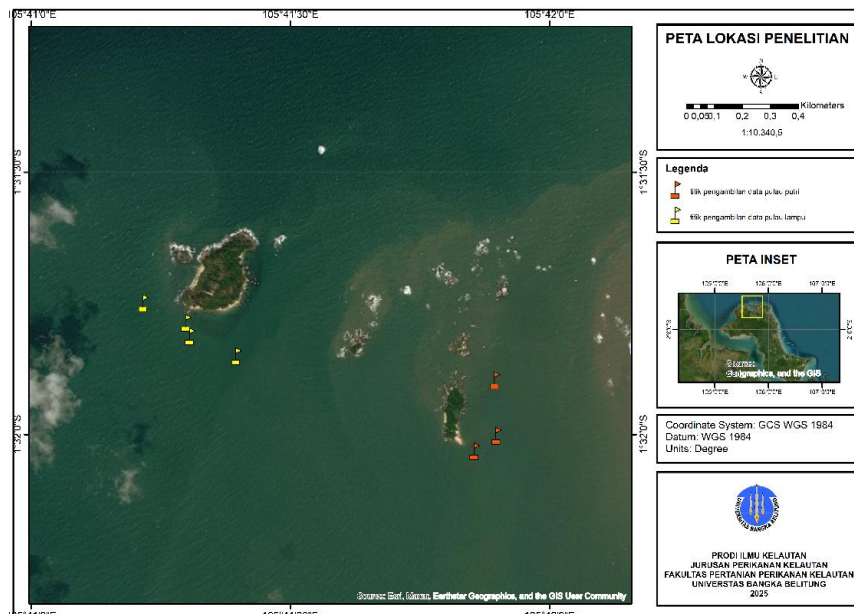
Tingkat produktivitas primer di perairan menjadi indikator penting dalam menilai kondisi ekosistem. Produktivitas yang terlalu tinggi dapat memicu eutrofikasi, yakni peningkatan kesuburan perairan yang berlebihan sehingga menyebabkan ledakan populasi alga dan menurunkan kualitas air. Sebaliknya, produktivitas yang terlalu rendah menunjukkan minimnya ketersediaan nutrisi, yang berdampak pada rendahnya kelimpahan fitoplankton serta berkurangnya sumber pakan bagi organisme lain, termasuk ikan. Wilayah reklamasi laut di Perairan Penyusuk, Kabupaten Bangka, merupakan kawasan bekas tambang timah yang telah melalui tahapan pemulihan ekosistem. Kegiatan reklamasi di area ini meliputi penenggelaman *fish shelter* dan *artificial reef*, disertai dengan kegiatan pemeliharaan rutin setiap tahun untuk mendukung rehabilitasi habitat laut. Penelitian ini akan berfokus pada analisis pola sebaran produktivitas primer melalui pengukuran kelimpahan dan kepadatan fitoplankton di wilayah perairan reklamasi tersebut guna menilai efektivitas upaya pemulihan ekosistem yang telah dilakukan.

II. Metode Penelitian

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan Reklamasi Laut Penyusuk, Belinyu, serta mencakup wilayah perairan Pulau Lampu dan Pulau Putri, Kabupaten Bangka. Pemilihan lokasi penelitian dilakukan secara sengaja menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu berdasarkan pertimbangan kondisi lingkungan perairan yang mewakili karakteristik area reklamasi serta aktivitas antropogenik yang berpotensi memengaruhi kualitas ekosistem laut. Kegiatan penelitian lapangan dilakukan pada tanggal 16 September 2025, yang meliputi pengambilan sampel fitoplankton serta pengukuran parameter fisika-kimia perairan pada setiap titik stasiun pengamatan. Parameter yang diukur meliputi suhu, salinitas, pH, kecerahan, oksigen terlarut (DO), dan arus laut untuk memperoleh gambaran menyeluruh terhadap kondisi perairan di lokasi reklamasi. Selanjutnya, kegiatan analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Perikanan, Kelautan, dan *Hatchery*, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Kelautan, Universitas Bangka Belitung. Proses analisis mencakup identifikasi dan kuantifikasi fitoplankton, serta pengolahan data hasil pengamatan lapangan guna

mendukung interpretasi hubungan antara kondisi lingkungan dengan struktur komunitas fitoplankton pada kawasan reklamasi laut tersebut.



Gambar 1. Peta Penelitian Pengambilan Sampel dan Parameter

2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Tabel 1. Alat Penelitian

ALAT	FUNGSI
<i>Plankton Net</i> (250 ml)	Pengambilan sampel fitoplankton
Layang Arus	Mengukur kecepatan arus
<i>Secchi Disk</i>	Mengukur kecerahan
DO Meter	Mengukur kadar oksigen
<i>Thermometer</i>	Mengukur suhu
pH Meter	Mengukur kadar asam dan basa
<i>Refraktometer</i>	Mengukur kadar salinitas
GPS	Pengambilan titik sampel
Kompas	Untuk melihat arah arus laut
<i>Stopwatch</i>	Mengukur waktu tempuh layang-layang arus.
<i>CoolBox</i>	Menyimpan sampel
Mikroskop binokuler	Berfungsi untuk identifikasi serta menghitung plankton
<i>Sedgewick rafter</i>	media berupa bilik hitung atau <i>counting chamber</i>
Pipet tetes	Untuk menaruh sampel ke <i>Sedgewick</i>
Alat tulis	Mencatat semua data lapangan dan Identifikasi labolatorium.
<i>Cover glass</i>	Untuk menjaga bentuk sampel tetap datar.
Kamera	Media dokumentasi.
Ember 18 liter	Media menimbah air laut
Buku identifikasi plankton	Media verifikasi dalam identifikasi plankton
<i>Software Qgis</i>	Aplikasi guna mengolah dan memodelkan peta klorofil – a dari akusisi data citra landsat 8



Tabel 2. Bahan Penelitian

BAHAN	FUNGSI
Formalin	Untuk mengawetkan sampel
Botol Sampel 250ml	Media menyimpan sampel fitoplankton
Sampel	Media yang akan diidentifikasi
Data Citra Landsat 8	Data digunakan untuk pemetaan sebaran klorofil – a

2.3. Metode Pengambilan Sempel dan Parameter Penelitian

Pengambilan sampel fitoplankton dilakukan menggunakan plankton net dengan diameter pori jaring $\pm 20\text{-}64\ \mu\text{m}$ (Mikrometer), dengan air laut yang diambil menggunakan ember berkapasitas 18 liter sebanyak 5,5 kali timbahan sehingga total volume air mencapai 100 liter. Sampel yang telah disaring kemudian dipindahkan ke dalam botol sampel berukuran 250 ml dan diawetkan dengan tiga tetes formalin 4%. Setelah itu, sampel dikocok hingga homogen dan disimpan di dalam *CoolBox* agar terlindung dari paparan cahaya matahari (Winarsih *et al.*, 2024). Sementara itu, Pengambilan data parameter oseanografi dilakukan secara in situ pada setiap plot penelitian. Pengukuran kecepatan arus menggunakan layung arus sesuai dengan plot penelitian dan dihitung berapa menit serta arah kompas. Pengambilan kecerahan menggunakan secchi disk dan diturunkan hingga tidak terlihat. Pengukuran fisika-kimia berupa suhu, pH dan salinitas di lapangan menggunakan water quality checker. serta, pengukuran DO menggunakan DO meter.

2.4. Analisis Data Penelitian

Kepadatan

Metode analisis data yang diterapkan untuk menentukan kepadatan fitoplankton didasarkan pada persamaan yang dirumuskan oleh APHA (2005), sebagaimana dikutip dan diadaptasi oleh Pratiwi *et al.* (2017), dengan bentuk matematis sebagai berikut:

$$N = n \frac{V_t}{V_{cg}} \times \frac{A_{cg}}{A_a} \times \frac{1}{V_d} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

N : Jaringan Individu per Liter

n : Jumlah Spesies Individu

V_t : Volume Tersaring

V_{cg} : Volume Tertampung

A_a : Luas Amatan

A_{cg} : Luas *Cover Glass*

V_d : Volume Air yang Disaring

Kelimpahan

Kelimpahan Plankton (fitoplankton) per liter menggunakan rumus APPHA, AWWA, WPOF (1976), yaitu:

$$N = \frac{T}{L} \times \frac{P}{p} \times \frac{V}{v} \times \frac{l}{w} \dots\dots\dots (2)$$



Keterangan:

- N : Jumlah Plankton per Liter
 T : Luas Gelas Penutup (mm^2)
 L : Luas Lapang Pandang (mm^2)
 P : Jumlah Plankton Tercacah
 P : Jumlah Lapang Pandang Yang Diamati
 V : Plankton Yang Tersaring (mL)
 v : Volume Plankton di Bawah Gelas Penutup (mL)
 w : Volume Sampel Plankton Yang Disaring (mL)

III. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil uji laboratorium terdapat 31 genus yang ditemukan dengan komposisi fitoplankton yang disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3. Komposisi Fitoplankton

KELAS	GENUS	Kelimpahan (Ind/L)
<i>Bacillariophyceae</i>	<i>Bacteriastrum</i>	30
	<i>Isthmia</i>	3
	<i>Aulacoseira</i>	8
	<i>Chaetoceros</i>	3
	<i>Cymbella</i>	3
	<i>Entomoneis</i>	8
	<i>Guinardia</i>	5
	<i>Hemiaulus</i>	3
	<i>Leptocylindrus</i>	25
	<i>Melosira</i>	3
	<i>Pleurosigma</i>	40
	<i>Proboscia</i>	3
	<i>Rhizosolenia</i>	355
	<i>Skeletonema</i>	13
	<i>Synedra</i>	15
	<i>Thalassiosira weissflogii</i>	10
<i>Chlorophyceae</i>	<i>Chlorella</i>	5
	<i>Pediastrum</i>	3
	<i>Scenedesmus</i>	18
	<i>Tetraedon</i>	8
<i>Ciliophora</i>	<i>Amylax</i>	3
	<i>Loxophyllum</i>	10
	<i>Mesodinium rubrum</i>	3
<i>Cyanophyceae</i>	<i>Gloeocapsa</i>	20
	<i>Lyngbya</i>	5
	<i>Microcystis</i>	50
	<i>Oscillatoria</i>	8



<i>Dinophyceae</i>	<i>Akashiwo</i>	3
	<i>Amphidinium</i>	48
	<i>Dinophysis</i>	20
	<i>Gyrodinium</i>	8
Total		730

Hasil pengamatan menunjukkan adanya lima kelas fitoplankton, yaitu *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Ciliophora*, *Cyanophyceae*, dan *Dinophyceae*, dengan total kelimpahan sebesar 730 Ind/L. Struktur komunitas ini menggambarkan perairan yang subur dan memiliki keanekaragaman mikroalga yang tinggi (Idiawati *et al.*, 2021). Kelas *Bacillariophyceae* menjadi kelompok paling dominan dengan proporsi sekitar 71% dari total populasi, terutama dari genus *Rhizosolenia* yang memiliki kelimpahan tertinggi. Kondisi ini menandakan bahwa perairan kaya akan nutrisi yang mendukung pertumbuhan diatom. Kelompok *Chlorophyceae* menempati urutan berikutnya dengan proporsi kecil, namun tetap berperan penting sebagai penyumbang oksigen dan bahan organik. Kelas *Ciliophora* ditemukan dalam jumlah sedikit, namun memiliki fungsi ekologis sebagai sumber energi dan nutrisi bagi mikroorganisme seperti bakteri dan diatom yang hidup di biofilm permukaan batuan yang menjadi penting dalam rantai makanan mikroorganisme. Sementara itu, *Cyanophyceae* menunjukkan kelimpahan sedang dengan dominasi *Microcystis*, menandakan perairan yang cukup kaya nutrisi. Kelas *Dinophyceae* juga hadir dengan jumlah cukup tinggi, didominasi oleh *Amphidinium*, yang menunjukkan kemampuan adaptasi tinggi terhadap kondisi lingkungan. Secara keseluruhan, dominasi diatom dan keberadaan berbagai kelompok lain menunjukkan bahwa perairan memiliki tingkat produktivitas primer yang baik dan mendukung keseimbangan ekosistem akuatik.

3.1. Kelas *Bacillariophyceae* (Diatom)

Kelas *Bacillariophyceae* merupakan kelompok yang paling melimpah dengan total kelimpahan sekitar 525 Ind/L atau sekitar 71,3% dari total populasi fitoplankton. Genus yang mendominasi adalah *Rhizosolenia* (355 Ind/L), diikuti oleh *Pleurosigma* (40 Ind/L), *Bacteriastrum* (30 Ind/L), dan *Leptocylindrus* (25 Ind/L). Dominasi kelompok ini menunjukkan bahwa perairan berada pada kondisi yang kaya akan nutrisi seperti silikat dan nitrat. Diatom umumnya tumbuh baik pada lingkungan yang stabil dengan ketersediaan cahaya dan nutrisi yang cukup, sehingga keberadaannya menjadi indikator ekosistem yang subur dan produktif.

3.2. Kelas *Chlorophyceae* (Alga Hijau)

Kelas *Chlorophyceae* memiliki kelimpahan sekitar 33 Ind/L atau 4,5% dari total populasi fitoplankton. Genus yang ditemukan meliputi *Chlorella*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*, dan *Tetraedon*, dengan *Scenedesmus* sebagai genus yang paling dominan (18 Ind/L). Kehadiran kelompok ini mengindikasikan kondisi perairan dengan intensitas cahaya tinggi dan ketersediaan nutrisi yang seimbang. Alga hijau umumnya tumbuh di lapisan permukaan yang mendapat pencahayaan optimal dan berperan penting dalam proses fotosintesis serta rantai makanan akuatik.

3.3. Kelas *Ciliophora*

Kelas *Ciliophora* memiliki kelimpahan sebesar 15 Ind/L atau sekitar 2,1% dari total komunitas. Genus yang ditemukan yaitu *Amylax*, *Loxophyllum*, dan *Mesodinium rubrum*,



dengan *Loxophyllum* sebagai genus yang banyak ditemukan sebanyak (10 Ind/L). Menurut Nybakken (1992), Kelompok ini berperan sebagai organisme heterotrofik dan *mixotrofik* yang membantu dalam daur ulang nutrisi dan menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Meskipun jumlahnya kecil, keberadaannya penting dalam menjaga kestabilan rantai makanan mikroplankton.

3.4. Kelas *Cyanophyceae*

Kelas *Cyanophyceae* menunjukkan kelimpahan sebesar 83 Ind/L atau 11,3% dari total populasi fitoplankton. Genus yang ditemukan antara lain *Gloeocapsa*, *Lyngbya*, *Microcystis*, dan *Oscillatoria*, dengan *Microcystis* sebagai genus yang paling dominan (50 Ind/L). Kelimpahan sianobakteri menunjukkan adanya masukan nutrisi yang cukup tinggi ke perairan, seperti nitrogen dan fosfat, yang dapat berasal dari aktivitas daratan. Apabila pertumbuhan kelompok ini tidak terkendali, dapat berpotensi menimbulkan *blooming algae* yang berdampak pada penurunan kualitas air.

3.5. Kelas *Dinophyceae* (Dinoflagellata)

Kelas *Dinophyceae* memiliki kelimpahan 78 Ind/L atau 10,6% dari total populasi. Genus yang ditemukan meliputi *Akashiwo*, *Amphidinium*, *Dinophysis*, dan *Gyrodinium*, dengan *Amphidinium* sebagai genus yang paling melimpah sebanyak (47,5 Ind/L). Kelompok ini memiliki kemampuan bergerak secara aktif untuk menyesuaikan diri terhadap kondisi lingkungan seperti cahaya dan nutrisi. Menurut Nybakken (1992), Keberadaan *Dinophyceae* menunjukkan bahwa ekosistem perairan memiliki keseimbangan ekologis antara kelompok autotrof dan *mixotrof*, yang penting bagi dinamika komunitas plankton. Komunitas fitoplankton pada lokasi penelitian didominasi oleh *Bacillariophyceae*, terutama genus *Rhizosolenia*. Hal ini menunjukkan bahwa perairan berada dalam kondisi produktif dengan ketersediaan nutrisi yang baik.

Kelimpahan *Cyanophyceae* dan *Dinophyceae* juga menandakan adanya pengayaan nutrisi dari lingkungan sekitar yang dapat memengaruhi keseimbangan ekosistem. Secara umum, struktur komunitas fitoplankton menggambarkan perairan yang produktif, dinamis, dan mendukung keberlanjutan ekosistem akuatik. Kelimpahan fitoplankton di perairan reklamasi laut PT Timah Tbk di Penyusuk mencapai 730 ind/L, dengan dominasi kuat dari kelas *Bacillariophyceae* (71,3%), terutama genus *Rhizosolenia*. Dominasi diatom ini menandakan bahwa perairan berada dalam kondisi produktif dan kaya nutrisi, yang mendukung proses fotosintesis dan pertumbuhan primer.

Hubungan antara kelimpahan fitoplankton dan parameter fisika-kimia perairan menunjukkan keterkaitan yang erat. Suhu perairan 29–30°C tergolong optimal bagi fitoplankton tropis dan mendukung aktivitas fotosintesis. Nilai pH netral (7) menjaga kestabilan enzimatis dan proses metabolisme plankton. Oksigen terlarut (DO) 5–6,4 mg/L menandakan kondisi oksigenasi baik, menunjukkan aktivitas fotosintesis yang tinggi. Sementara itu, salinitas 28–29 ppt sedikit di bawah baku mutu (33–34 ppt) akibat masukan air tawar dari darat, namun masih dalam batas toleransi bagi diatom laut seperti *Rhizosolenia* dan *Pleurosigma*. Kecerahan air (2,6–3,75 m) yang relatif rendah disebabkan oleh padatan tersuspensi akibat aktivitas reklamasi, tetapi *Bacillariophyceae* mampu beradaptasi karena efisien dalam memanfaatkan cahaya rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi antara suhu optimal, DO tinggi, pH netral, dan ketersediaan nutrisi mendukung tingginya kelimpahan diatom serta produktivitas primer yang stabil. Namun, penurunan kecerahan dan salinitas perlu diwaspadai karena dapat memengaruhi struktur komunitas fitoplankton jika terjadi secara berkelanjutan.



Tabel 4. Nilai Parameter Kualitas Perairan

Parameter	Satuan	Baku mutu	Pulau Putri			Pulau Lampu			
			T1	T2	T3	T1	T2	T3	T4
Suhu	°C	Nature	30	29	29	30	30	30	29
Salinitas	ppt	33-34	28	29	29	29	28	28	28
pH		7-8,5	7	7	7	7	7	7	6
DO	mg/L	>5	5,5	5,3	5,3	5	5,2	6,4	5,4
Kecepatan arus	m/s	Nature	0,1	0,11	0,0265	0,088	0,0431	0,122	0,36
Kecerahan	M	>5	3,75	3,75	3,75	2,625	3,25	2,98	2,75

*Baku mutu berdasarkan PP No 22 Tahun 2021 lampiran VIII untuk kualitas laut biota dan Pelabuhan.

*T= Titik Sampling.

Berdasarkan hasil pengukuran di Pulau Putri dan Pulau Lampu, kondisi perairan pada umumnya masih baik dan mampu mendukung kehidupan biota laut, meskipun ada beberapa parameter yang sedikit berbeda dari baku mutu yang ditetapkan. Suhu perairan di kedua lokasi berkisar antara 29–30°C. Menurut Effendi (2003) kisaran suhu 25–32°C merupakan rentang ideal bagi pertumbuhan mikroalga tropis, termasuk kelas *Bacillariophyceae* (diatom) dan *Chlorophyceae* (alga hijau). Selain itu, suhu yang stabil di kisaran tersebut juga mendukung stabilitas kolom air, sehingga lapisan permukaan tetap kaya oksigen dan nutrisi yang diperlukan untuk fotosintesis. Jika suhu terlalu tinggi (>32°C), aktivitas fotosintesis dapat menurun akibat stres termal dan penurunan kelarutan oksigen.

Nilai ini masih tergolong normal untuk perairan tropis dan menunjukkan bahwa kondisi lingkungan cukup stabil. Suhu menunjukkan tidak ada perbedaan mencolok antara titik pengamatan, yang menandakan bahwa distribusi panas di perairan cukup merata. Salinitas perairan berkisar 28–29 ppt, sedikit di bawah standar baku mutu yaitu 33–34 ppt. Rendahnya salinitas ini bisa disebabkan oleh pengaruh air tawar dari hujan atau aliran sungai yang masuk ke wilayah pesisir. Kondisi ini masih bisa ditoleransi oleh biota laut yang mampu beradaptasi terhadap perubahan kadar garam di lingkungannya. Nilai pH pada semua titik pengamatan menunjukkan angka 7. Hal ini menunjukkan kondisi air yang netral dan stabil, sehingga mendukung proses kehidupan organisme laut serta reaksi biologis yang terjadi di dalam air.

Kandungan oksigen terlarut (DO) di perairan berkisar antara 5 hingga 6,4 mg/L. Semua nilai tersebut masih berada di atas batas minimal 5 mg/L, menandakan kondisi air yang baik dan cukup untuk mendukung proses pernapasan organisme akuatik. Nilai tertinggi ditemukan di Pulau Lampu (T3) dengan 6,4 mg/L, yang kemungkinan disebabkan oleh sirkulasi air yang lancar dan aktivitas fotosintesis yang cukup tinggi. Kecepatan arus di lokasi penelitian bervariasi antara 0,0265 hingga 0,122 m/s. Nilai arus yang rendah menunjukkan daerah yang tenang, sedangkan nilai yang lebih tinggi menunjukkan perairan yang lebih aktif. Arus yang cukup kuat berperan penting dalam membawa oksigen dan nutrisi, sehingga membantu menjaga kualitas lingkungan perairan.

Tingkat kecerahan perairan berada pada kisaran 2,625 hingga 3,75 meter. Nilai ini masih di bawah standar baku mutu (>5 meter), yang berarti air cukup keruh. Kondisi ini kemungkinan disebabkan oleh partikel sedimen, lumpur, atau aktivitas manusia di sekitar perairan. Kecenderungan yang rendah dapat menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam air, sehingga mengurangi proses fotosintesis organisme seperti fitoplankton dan lamun. Secara keseluruhan, kualitas air di kedua lokasi masih dalam kondisi baik, terutama untuk parameter



suhu, pH, dan oksigen terlarut. Namun, nilai salinitas dan kecerahan yang lebih rendah dari baku mutu perlu mendapat perhatian, karena dapat memengaruhi keseimbangan dan kesehatan ekosistem perairan dalam jangka panjang.

Tabel 5. Nilai Kepadatan Fitoplankton

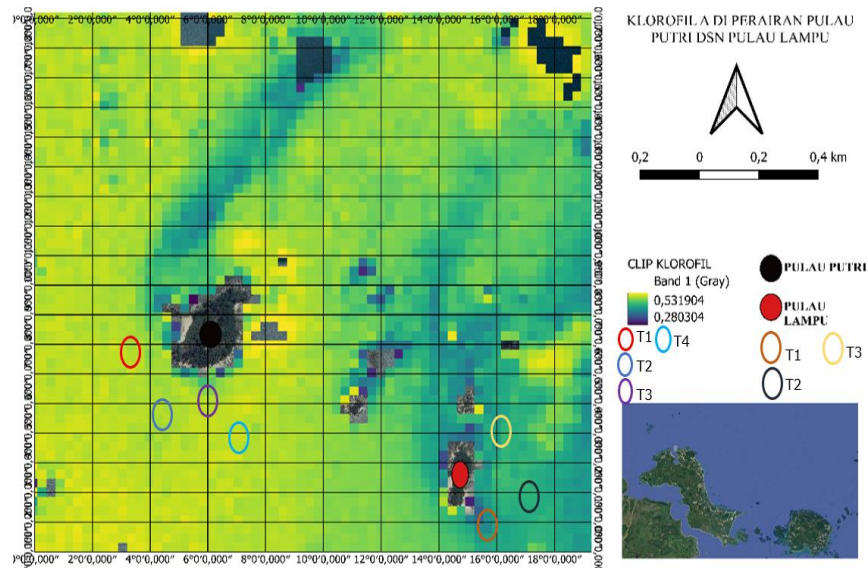
Genus	Kepadatan (Ind/L)						
	Pulau Putri			Pulau Lampu			
	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T4
<i>Synedra</i>		31250			62500		
<i>Skeletonema</i>		15625		15525	15625		2
<i>Rhizosolenia</i>	15625	1109375	15625		875000		13
<i>Chaetoceros</i>		15625					
<i>Aulacoseira</i>		31250			15625		
<i>Cymbella</i>					15625		
<i>Melosira</i>		15625					
<i>Amphidinium</i>			15625			281250	
<i>Dinophysis</i>			31250			93750	
<i>Gloeocapsa</i>						125000	
<i>Thalassiosira weissflogii</i>						62500	
<i>Gyrodinium</i>						46875	
<i>Oscillatoria</i>						46875	
<i>Entomoneis</i>			15625			31250	
<i>Leptosylindrus</i>			62500	31250		31250	15625
<i>Guinardi</i>			15625			15625	
<i>Mesodinium rubrum</i>						15625	
<i>Proboscia</i>						15625	
<i>Akashiwo</i>			15625				
<i>Amylax</i>			15625				
<i>microystis</i>	15625			46875			250000
<i>Tetmemorus</i>	46875						
<i>Bacteriastrum</i>	171875						15625
<i>Pleurosigma</i>	93750			156250			
<i>Loxophyllum</i>	15625			15625			46875
<i>Pediastrum</i>	15625						
<i>Scenedesmu</i>				109375			
<i>Lyngbia</i>				31250			



<i>Cholorella</i>	31250
<i>Isthima</i>	15625
<i>Hemiaulus</i>	15625
Total	375000 1218750 187500 406150 984375 765625 390640

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa total kepadatan fitoplankton di seluruh titik pengambilan sampel mencapai 4,37 juta Ind/L, menandakan kondisi perairan yang tergolong produktif. Komunitas fitoplankton didominasi oleh kelompok *Bacillariophyceae*, diikuti oleh *Dinophyceae* dan *Cyanophyceae*. Di Stasiun Pulau Putri, titik dengan kepadatan tertinggi terdapat pada T2 sebesar 1,22 juta Ind/L, titik T2 di stasiun pulau putri memiliki kepadatan fitoplankton tertinggi (1,22 juta Ind/L) karena kondisi lingkungan di titik tersebut paling mendukung pertumbuhan diatom, khususnya *Rhizosolenia*. Arus yang tenang ($\pm 0,1$ m/s) memungkinkan akumulasi nutrisi, sementara kecerahan cukup (3,75 m) dan suhu stabil 29–30°C mendukung fotosintesis optimal. Selain itu, oksigen terlarut tinggi (± 6 mg/L) dan nutrisi melimpah meningkatkan produktivitas primer yang ditunjukkan oleh nilai klorofil-a tertinggi (0,53 mg/m³). Kombinasi faktor tersebut menjadikan T2 sebagai zona paling subur dan produktif di perairan pulau putri, sedangkan titik terendah pada T1 sebesar 375 ribu Ind/L, titik T1 di stasiun pulau putri memiliki kepadatan fitoplankton terendah (375 ribu Ind/L) karena kondisi perairannya lebih berarus kuat dan kecerahan rendah ($\pm 2,6$ m), sehingga banyak fitoplankton tersuspensi atau terbawa arus keluar zona produktif. Selain itu, distribusi nutrisi yang tidak merata dan nilai klorofil-a rendah ($\sim 0,30$ mg/m³) menunjukkan aktivitas fotosintesis yang lemah, sehingga pertumbuhan fitoplankton, khususnya diatom, menjadi terbatas.

Kelimpahan ini didominasi oleh genus *Rhizosolenia* yang berperan besar dalam peningkatan produktivitas perairan. Genus lain seperti *Bacteriastrum*, *Pleurosigma*, dan *Synedra* juga ditemukan dengan jumlah yang cukup tinggi meskipun bervariasi antar titik. Pada Stasiun Pulau Lampu, nilai kepadatan berkisar 390 ribu hingga 984 ribu Ind/L. Titik T2 memiliki kelimpahan tertinggi karena dominasi *Rhizosolenia* dan *Amphidinium*. Variasi komposisi genus seperti *Dinophysis*, *Gloeocapsa*, dan *Thalassiosira* menunjukkan perbedaan kondisi lingkungan antar titik pengamatan. Sementara pada T4, penurunan kepadatan disebabkan oleh berkurangnya jumlah diatom dan meningkatnya kehadiran *Microcystis*. Dominasi *Rhizosolenia* dan *Amphidinium* menunjukkan perairan dengan nutrisi tinggi, arus tenang, dan kecerahan cukup, yang mendukung pertumbuhan diatom dan dinoflagelata. Variasi genus seperti *Dinophysis*, *Gloeocapsa*, dan *Thalassiosira* mencerminkan perbedaan salinitas dan kecerahan antar titik. Pada T4, kepadatan menurun karena arus lebih kuat dan kecerahan rendah, sehingga diatom berkurang, sedangkan peningkatan *Microcystis* menandakan pengayaan nutrisi di area tersebut. Secara umum, Stasiun Pulau Lampu memiliki kepadatan total yang lebih tinggi dibandingkan Pulau Putri, yang menunjukkan kondisi perairan yang lebih subur. Dominasi *Rhizosolenia* di kedua stasiun menandakan bahwa genus tersebut merupakan komponen penting dalam struktur komunitas fitoplankton di lokasi penelitian, sementara variasi pada genus lain menunjukkan dinamika ekologi yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti nutrisi, cahaya, dan sirkulasi air.



Gambar 2. Peta Klorofil-a Perairan Penyusuk

Penelitian menunjukkan bahwa angin berperan penting dalam menyebarkan klorofil-a melalui beberapa cara yaitu melalui angin mendorong arus naik, sehingga meningkatkan ketersediaan nutrisi (Indah Purwanti dan Yudo Prasetyo, 2017). Ada hubungan positif antara kecepatan angin dengan jumlah klorofil-a (Cahyo *et al.*, 2024). Pola angin musiman bisa menyebabkan perubahan kadar klorofil-a, dan beberapa daerah menunjukkan nilai maksimum klorofil-a pada kondisi angin tertentu (Putra *et al.*, 2025). Pada data yang di akusisi oleh citra Landsat 8 yang diolah di *software* QGIS nilai klorofil-a dikelompokkan secara terus menerus (*gradient*) menggunakan skala warna spektral: Warna ungu hingga biru mewakili nilai rendah (sekitar 0,28 mg/m³). Warna hijau hingga kuning terang mewakili nilai tinggi (sekitar 0,53 mg/m³). Rentang nilai ini menunjukkan perbedaan tingkat kesuburan perairan. Dari legenda pada peta tertera bahwa nilai tertinggi klorofil – a yakni; 0,531904 mg/m³ dan nilai terendah klorofil – a yakni; 0,280304 mg/m³. Hijau hingga kuning terang 0,53 mg/m³ konsentrasi klorofil - a tinggi menunjukkan produktivitas fitoplankton tinggi. Pada warna hijau sedang 0,4 mg/m³ menunjukkan produktivitas sedang dengan kondisi normal dan pada warna ungu – biru 0,28 mg/m³ memiliki konsentrasi rendah dengan nutrisi terbatas.

Konsentrasi klorofil-a tinggi (0,53 mg/m³) yang ditunjukkan oleh warna hijau–kuning terang berkorelasi dengan kelimpahan fitoplankton tinggi, terutama dominasi *Rhizosolenia* dan *Amphidinium* di titik T2, menandakan perairan eutrofik dengan nutrisi melimpah. Pada klorofil-a sedang (0,4 mg/m³), kelimpahan fitoplankton seperti *Pleurosigma* dan *Thalassiosira* menunjukkan kondisi perairan normal dan stabil. Sedangkan pada klorofil-a rendah (0,28 mg/m³) berwarna ungu–biru, kelimpahan menurun, didominasi oleh *Microcystis* dan *Gloeocapsa*, yang menandakan nutrisi terbatas dan produktivitas rendah.

Hasil observasi di lapangan menunjukkan bahwa jumlah fitoplankton di perairan Pulau Putri dan Pulau Lampu berada dalam rentang 375.000 hingga 1.218.750 individu per liter. Komunitas fitoplankton paling banyak terdiri dari kelas *Bacillariophyceae*, khususnya genus *Rhizosolenia*, yang mencapai 71,3% dari keseluruhan populasi. Dominasi diatom ini menunjukkan bahwa perairan memiliki kadar nutrisi tinggi, yang mendukung pertumbuhan fitoplankton. Hasil ini sesuai dengan data dari pengolahan citra satelit Landsat 8, yang menunjukkan konsentrasi klorofil-a berkisar antara 0,280304 hingga 0,531904 mg/m³. Warna

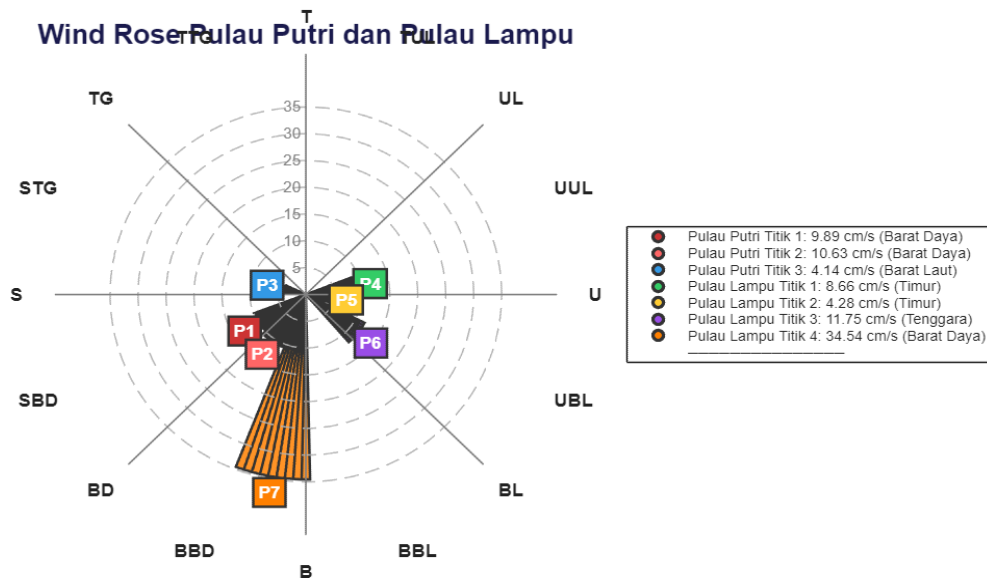


hijau hingga kuning terang pada peta, yaitu sekitar $0,53 \text{ mg/m}^3$, menunjukkan daerah yang sangat produktif, sedangkan warna biru–ungu, sekitar $0,28 \text{ mg/m}^3$, menandakan daerah dengan produktivitas rendah karena kekurangan nutrisi. Hubungan ini menunjukkan bahwa semakin banyak fitoplankton yang ditemukan di lapangan, semakin tinggi nilai klorofil-a yang tercatat dari satelit. Penyebaran klorofil-a juga dipengaruhi oleh pola angin. Di Pulau Putri, angin dari arah barat daya–timur laut dengan kecepatan 4–10 cm/s mendorong pengumpulan plankton di daerah yang tenang, seperti titik T2, sehingga meningkatkan konsentrasi klorofil-a. Sementara itu, di Pulau Lampu, angin dari timur–tenggara dengan kecepatan 4–11 cm/s membawa nutrisi ke seluruh area, yang mendukung pertumbuhan fitoplankton pada titik T2 dan T3. Jadi, selain menunjukkan nilai optik klorofil-a, citra satelit juga mencerminkan pengaruh distribusi angin dan aliran terhadap produktivitas perairan.

Tabel 6. Korelasi Data Citra Setiap Titik Sampling

Lokasi	Titik	Kategori Trofik	Kelimpahan Fitoplankton (ind/L)	Klorofil-a (mg/m^3)	Ciri Utama
Pulau Putri	1	Mesotrofik	375.000	~0.30	Arus kuat, distribusi nutrisi merata
Pulau Putri	2	Eutrofik	1.218.750	~0.53	Akumulasi nutrisi tinggi, dominasi <i>Rhizosolenia</i>
Pulau Putri	3	Mesotrofik–Eutrofik	187.500	~0.40	Arus lemah, cahaya cukup
Pulau Lampu	1	Mesotrofik	406.150	~0.33	Kecerahan rendah, arus sedang
Pulau Lampu	2	Eutrofik–Hipertrofik	984.375	~0.53	Arus tenang, nutrisi tinggi
Pulau Lampu	3	Eutrofik	765.625	~0.45	DO tinggi, arus aktif
Pulau Lampu	4	Mesotrofik	390.640	~0.30	Arus kuat, plankton tersuspensi

Hubungan antara data lapangan dan citra menunjukkan bahwa ada korelasi positif, yaitu nilai klorofil-a meningkat ketika kelimpahan fitoplankton juga meningkat. Faktor utama yang memengaruhi variasi di lokasi tertentu adalah angin, arus, dan intensitas cahaya air. Kondisi ekologis perairan berada dalam kategori mesotrofik hingga eutrofik, dengan Pulau Lampu T2 mencapai tingkat hipertrofik. Implikasi dari reklamasi: Kegiatan reklamasi oleh PT TIMAH Tbk tidak mengurangi produktivitas primer, bahkan membantu pemulihan ekosistem karena meningkatkan populasi diatom produktif seperti *Rhizosolenia*.



Gambar 3. Wind Rose Sebaran Arah Arus

Tabel 7. Korelasi Permodelan Wind Rose dengan Nilai Kepadatan Fitoplankton

Lokasi	Arah WindRose	Kecepatan (Cm/s)	Kepadatan Fitoplankton (Ind/L)	Keterangan Lokasi
Pulau Putri T1 – T3	Barat Daya → Timur Laut	4–10	187.500–1.218.750	Menunjukkan bahwa akumulasi plankton terjadi di T2, di mana kadar fitoplankton tinggi karena adanya turbulensi yang rendah dan sedimentasi nutrisi yang tinggi.
Pulau Lampu T1–T3	Timur–Tenggara	4–11	406.150–765.625	Arah angin membantu mengalirkan nutrisi ke semua bagian → yang mendukung pertumbuhan fitoplankton.
Pulau Lampu T4	Barat Daya	34,54	390.640	Arah angin sedikit kuat → menurunkan kepadatan plankton karena massa air tidak stabil, plankton tersuspensi terbawa keluar zona produktif.



IV. Kesimpulan

Penelitian mengenai pola sebaran produktivitas primer di kawasan reklamasi laut PT Timah Tbk di Perairan Penyusuk bertujuan untuk menilai tingkat kesuburan perairan dan efektivitas kegiatan reklamasi dalam mendukung pemulihan ekosistem laut pasca-penambangan timah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perairan reklamasi berada dalam kategori produktif dan subur secara alami, ditandai oleh tingginya kelimpahan dan keragaman fitoplankton. Dari hasil identifikasi ditemukan 31 genus fitoplankton yang tergolong dalam lima kelas utama, yaitu *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Ciliophora*, *Cyanophyceae*, dan *Dinophyceae*, dengan kelimpahan total sebesar 730 ind/L dan kepadatan mencapai $4,37 \times 10^6$ ind/L. Kelas *Bacillariophyceae* mendominasi komunitas fitoplankton sebesar 71,3%, dengan genus *Rhizosolenia* sebagai penyumbang tertinggi.

Dominasi diatom ini menjadi indikator kuat bahwa perairan memiliki ketersediaan nutrisi (nitrat, fosfat, dan silikat) yang cukup tinggi, serta kondisi lingkungan yang stabil untuk mendukung proses fotosintesis dan produksi primer. Parameter fisika-kimia perairan juga mendukung tingginya produktivitas. Suhu berkisar 29–30°C, pH 7, dan kadar oksigen terlarut 5–6,4 mg/L menunjukkan kondisi lingkungan yang ideal bagi aktivitas metabolisme dan fotosintesis fitoplankton. Sementara itu, nilai salinitas 28–29 ppt dan kecerahan 2,6–3,75 m sedikit di bawah baku mutu, namun masih dalam kisaran yang dapat ditoleransi oleh diatom yang bersifat euryhalin. Penurunan kecerahan yang disebabkan oleh partikel tersuspensi tidak secara signifikan menghambat pertumbuhan fitoplankton karena kemampuan adaptasi diatom dalam memanfaatkan cahaya rendah.

Analisis citra satelit Landsat 8 memperkuat hasil tersebut dengan menunjukkan konsentrasi klorofil-a antara 0,280–0,531 mg/m³, di mana nilai tertinggi berasosiasi dengan titik yang memiliki kepadatan fitoplankton terbesar, khususnya di lokasi dominasi *Rhizosolenia* dan *Amphidinium*. Hal ini menegaskan adanya korelasi positif antara konsentrasi klorofil-a dan kelimpahan fitoplankton, yang menggambarkan produktivitas primer tinggi di area dengan ketersediaan nutrisi melimpah. Selain itu, analisis pola angin menunjukkan bahwa arah dan kecepatan angin berpengaruh signifikan terhadap distribusi klorofil-a dan akumulasi plankton. Angin berkecepatan moderat membantu penyebaran nutrisi secara merata dan meningkatkan produktivitas di wilayah dengan turbulensi rendah, sedangkan angin yang lebih kuat dapat menyebabkan plankton tersebar keluar dari zona produktif.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas reklamasi laut PT Timah Tbk memberikan dampak positif terhadap pemulihan ekosistem perairan, ditandai dengan meningkatnya populasi diatom produktif dan kestabilan kondisi fisika-kimia perairan. Perairan Penyusuk dapat dikategorikan sebagai mesotrofik hingga eutrofik, dengan tingkat produktivitas primer yang tinggi dan keseimbangan ekosistem yang baik. Namun demikian, pemantauan berkelanjutan terhadap konsentrasi nutrisi, kecerahan, dan klorofil-a perlu dilakukan secara periodik untuk mencegah potensi eutrofikasi jangka panjang akibat akumulasi bahan organik dan nutrisi berlebih. Dengan demikian, kegiatan reklamasi yang dilakukan telah terbukti mendukung restorasi ekologis dan peningkatan produktivitas primer di kawasan pesisir bekas tambang timah, serta dapat menjadi model pengelolaan berkelanjutan bagi wilayah pesisir lainnya.

Daftar Pustaka

Cahyo, D. M. N., Indrayanti, E., & Maslukah, L. (2024). Pola Distribusi Klorofil-a di Perairan Pekalongan sampai Kendal Berdasarkan Data Sentinel. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(1), 1–8.



- Indah Purwanti, Yudo Prasetyo, A. P. (2017). Analisis Pola Persebaran Klorofil-a, Suhu Permukaan Laut Dan Arah Angin Untuk Identifikasi Kawasan *Upwelling* Secara Temporal Tahun 2003-2016 (Studi Kasus: Laut Halmahera) Indah. *Jurnal Geodesi Undip*, 6, 506–516.
- Lee, Z.P., Marra, J., Perry, M.J. and Kahru, M. 2014. Estimating Oceanic Primary Productivity from Ocean Color Remote Sensing: A Strategic Assesment. *Journal of Marine Systems*, 149, 50–59.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia [PP].2021. Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Pratiwi.D, Tri.R.S dan Ari.H.Y. 2017. Komposisi mikro alga epilitik di sungai mentuka kabupaten Sekadau. *Jurnal Protobion*, 6(3),102-107.
- Putra, R. D., Prista, D. M., Ritonga, A. R., Siringoringo, R. M., Suhana, M. P., & Apdillah, D. (2025). *Angin Berdasarkan Perbedaan Musim Di Perairan Pulau Bintan Bagian Timur Patterns of Sea Surface Temperature Distribution , Chlorophyll-a*. 205–218.
- Rahendra. 2024. Analisis Program Reklamasi Laut Menggunakan Artificial Reef di Perairan Rebo Kabupaten Bangka PT TIMAH Tbk. Tesis Universitas Sriwijaya, 2024.
- Sofyan D.A., Zainuri M. 2021. Analisis Produktivitas Primer Dan Kelimpahan Fitoplankton Di Perairan Estuari Daerah Bancaran Kecamatan Kota Bangkalan Kabupaten Bangkalan. *Juvenil*, 2(1), 47-52.
- Usman, M. S., Kusen, J. D., & Rimper, J. R. T. S. L. (2013). Struktur Komunitas Plankton di Perairan Pulau Bangka Kabupaten Minahasa Utara. *Jurnal Pesisir Dan Laut Tropis*, 2(1), 51–57.
- Winarsih, L., Susanto, D., & Duya, N. (2024). Efektifitas Larutan Pengawet pada Sampel Plankton pada Pemeriksaan di Laboratorium. *Indonesian Journal of Laboratory*, 1(3), 226. <https://doi.org/10.22146/ijl.v1i3.89737>