Volume 19, No. 2, 2026

ISSN: 1907-9931 (print), 2476-9991 (online)

Sebaran Spasial Fitoplankton Dan Hubungannya Dengan Parameter Lingkungan Perairan Pesisir Utara Kota Tanjungpinang

Spatial Distribution Of Phytoplankton And Its Relationship With Environmental Parameters In The Northern Coastal Waters Of Tanjungpinang City

Aji Purnama, Tri Apriadi*, Andi Zulfikar, Ahmad Zahid

Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Maritim Raja Ali Haji
Jalan Politeknik, Senggarang, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau 29111

*Corresponding author email: tri.apriadi@umrah.ac.id

Submitted: 30 June 2026 / Revised: 29 July 2026 / Accepted: 18 August 2026

http://doi.org/10.21107/jk.v19i2.31065

ABSTRAK

Perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang berupa estuari yang meliputi daerah Sebauk, Kampung Madong, Sei Nyirih, dan Air Raja. Keberadaan fitoplankton di perairan estuari dapat menjadi gambaran produktivitas primer yang dapat menunjang produksi perikanan. Riset yang dilakukan pada Juli 2024 dan Januari 2025 ini bertujuan untuk mengetahui kelimpahan dan sebaran spasial fitoplankton serta hubungan parameter lingkungan terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang. Pengambilan sampel fitoplankton dan air untuk analisis nutrien serta pengukuran beberapa parameter lingkungan dilakukan di 30 titik sampling yang ditentukan secara acak sistematis. Kelimpahan fitoplankton pada Januari 2005 lebih tinggi dari Juli 2024. Sebaran spasial fitoplankton pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 menunjukkan pola yang serupa yaitu kelimpahan tinggi di area tengah perairan (Kampung Madong dan Sei Nyirih), dan kelimpahan yang rendah bagian timur (Air Raja) dan barat (Sebauk). Hal ini juga sejalan dengan sebaran spasial konsentrasi nutrien nitrat dan fosfat. Konsentrasi nitrat dan fosfat menunjukkan hubungan positif dan signifikan dengan kelimpahan fitoplankton pada kedua periode pengamatan. Temuan ini menyoroti peran penting ketersediaan nutrien dalam mengatur dinamika fitoplankton di wilayah studi.

***Kata kunci** : Chaetoceros, fitoplankton, fosfat, nitrat, sebaran spasial*

ABSTRACT

The northern coastal waters of Tanjungpinang City comprise estuarine ecosystems encompassing Sebauk, Kampung Madong, Sei Nyirih, and Air Raja. Phytoplankton communities in estuarine waters are widely recognized as indicators of primary productivity and play a crucial role in supporting fisheries resources. This study was conducted in July 2024 and January 2025 to assess phytoplankton abundance, evaluate the relationships between environmental parameters and phytoplankton abundance, and examine the spatial distribution of phytoplankton in the northern coastal waters of Tanjungpinang. Phytoplankton and water samples for nutrient analyses, together with in situ measurements of environmental parameters, were collected from 30 sampling stations established using a systematic random sampling approach. Phytoplankton abundance was higher in January 2025 than in July 2024. Spatial analysis revealed a consistent distribution pattern during both sampling periods, with the highest phytoplankton abundance occurring in the central waters (Kampung Madong and Sei Nyirih) and lower abundance in the eastern (Air Raja) and western (Sebauk) areas. This spatial pattern corresponded closely with the distribution of nitrate and phosphate concentrations. Furthermore, nitrate and phosphate concentrations were positively and significantly correlated with phytoplankton abundance during both observation periods, highlighting the important role of nutrient availability in regulating phytoplankton dynamics in the study area.

***Keywords** : Chaetoceros, nitrate, phosphate, phytoplankton, spatial distribution*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir merupakan daerah dengan produktivitas perairan yang sangat tinggi (Pérez-Ruzafa *et al*., 2024) sehingga kaya akan sumber daya perikanan yang dapat dimanfaatkan oleh berbagai biota hingga manusia. Produksi perikanan di suatu perairan tidak hanya ditentukan oleh jumlah aktivitas penangkapan akan tetapi oleh kondisi ekologis yang mendukung keberadaan fitoplankton sebagai produsen primer utama (Dai *et al*., 2023; Kampf, 2025). Fitoplankton adalah plankton autotrof yang berfungsi sebagai produsen primer dan menggunakan energi matahari untuk menghasilkan makanan dan oksigen (Hertika *et al*., 2021). Fitoplankton sangat penting di dalam perairan karena berperan sebagai rantai awal siklus jejaring makanan di pesisir dan laut. Kelimpahan fitoplankton sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter fisika dan kimia lingkungan perairan (Rahmah *et al*., 2022).

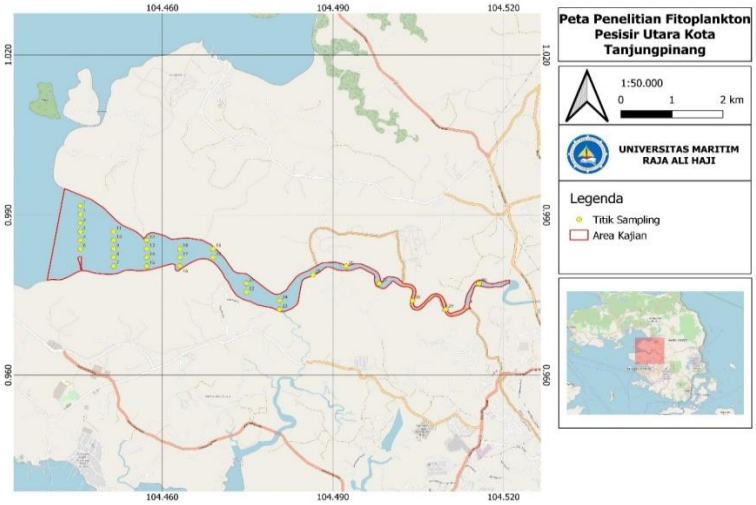
Perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang berada di perairan pertemuan antara Kota Tanjungpinang dan Kabupaten Bintan. Kawasan ini merupakan estuari yang meliputi daerah Sebauk, Kampung Madong, Sei Nyirih, dan Air Raja. Daerah tersebut juga terdapat ekosistem mangrove dan ekosistem lamun, dengan tingkat kesuburan perairan sedang hingga tinggi (Ismail *et al*. 2018). Perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang memiliki potensi biota ekonomis penting seperti ikan dengan biodiversitas yang tinggi (Zahid *et al*., 2024), potensi rajungan (Oktary *et al*, 2024), dan siput gonggong (Susiana *et al*., 2019). Tingginya potensi biota ekonomis penting di perairan ini tidak lepas dari keberadaan fitoplankton sebagai produsen utama di perairan.

Banyaknya aktivitas manusia di daerah perairan Utara Kota Tanjungpinang tepatnya pada daerah perairan pesisir Sebauk, Kampung Madong sebagai Kawasan Minapolitan Kampung Ikan (Amalia dan Pangestoeti, 2023), Sei Nyirih, dan Air Raja juga akan memengaruhi perubahan dari parameter lingkungan (fisika, kimia, dan biologi) yang berdampak terhadap kelimpahan fitoplankton, maupun sebaran fitoplankton pada daerah tersebut. Kajian mengenai produktivitas primer perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang yang sudah dilaporkan yaitu sebatas status kesuburan (Ismail *et al*. 2018) berdasarkan konsentrasi klorofil. Sehubungan dengan masih terbatasnya penelitian mengenai fitoplankton di perairan Utara Kota Tanjungpinang, maka perlu dilakukan penelitian fitoplankton serta sebaran spasial fitoplankton. Data sebaran spasial ini nantinya dapat mendeskripsikan dan menganalisis kelimpahan fitopankton pada perairan daerah tersebut dengan hubungan dengan parameter lingkungan (fisika dan kimia) menggunakan peta kontur interpolasi. Sebaran fitoplankton juga sebagai informasi untuk dijadikan pengelolaan sumberdaya perikanan. Oleh karena itu, kajian terhadap sebaran spasial fitoplankton menjadi penting untuk memahami dinamika ekosistem perairan dan mendukung upaya pengelolaan perikanan yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelimpahan fitoplankton, hubungan parameter terhadap kelimpahan fitoplankton, dan sebaran spasial fitoplankton di perairan pesisir bagian utara kota Tanjungpinang.

MATERI DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 yang berlokasi di Perairan Pesisir Utara Kota Tanjungpinang. Peta lokasi disajikan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

ALat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu GPS, multister,turbidimeter, refraktometer, Secchi disk, van dorn water sampler, plankton net, pH meter, current meter (modifikasi), cool box, sedgewick rafter counting chamber cells (SRC), kaca preparat, mikroskop, dan spektrofotometer. Bahan yang digunakan sampel air, lugol 10%, aquades, NaCL, Larutan campuran brusin-asam sulfanilat, H_2SO_4 5N, fenolftalin, dan larutan campuran fosfat (asam sulfat, kalium antimonil tartrat, amonium molibdat, asam askorbat).

Pengumpulan data dan Penentuan Titik Sampling

Metode pengumpulan data primer dilakukan dengan pengukuran parameter fisika kimia perairan langsung lokasi penelitian atau secara *insitu* dan pengukuran analisis parameter nitrat, fosfat dan kekeruhan serta identifikasi fitoplankton dilakukan di laboratorium. Sedangkan pegumpulan data sekunder berupa data curah hujan bulanan pada bulan Juli 2024 dan bulan Januari 2025 yang diperoleh dari Badan Meterologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Tanjungpinang.

Sebanyak 30 titik sampling ditentukan menggunakan metode *systematic random sampling*. Penentuan lokasi titik sampling dilakukan dengan bantuan perangkat lunak QGIS versi 3.34.0. Tahap awal meliputi penetapan *Area of Interest* (AoI) sebagai batas wilayah penelitian. Selanjutnya, titik sampling pertama ditentukan secara acak, kemudian titik-titik berikutnya disusun secara sistematis dengan interval 170 m pada arah lintang utara–selatan dan 650 m pada arah bujur timur–barat hingga diperoleh 30 titik sampling yang mewakili seluruh wilayah penelitian. Pengambilan sampel dilakukan pada dua periode, yaitu Juli 2024 dan Januari 2025, dengan menggunakan titik sampling yang sama pada kedua periode tersebut untuk memastikan konsistensi lokasi pengamatan serta memungkinkan analisis perubahan kondisi perairan secara temporal. Pengambilan sampel dilakukan satu kali di setiap titik sampling. Pengukuran parameter fisika dan kimia di perairan dilakukan pada saat air konda, yaitu situasi air laut tidak pasang dan tidak surut atau berada pada rentang surut tertinggi atau pasang terendah. Parameter fisika kimia perairan yang diukur yaitu kekeruhan, kecepatan arus, salinitas, kecerahan, suhu, pH, oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/ DO), nitrat, dan fosfat.

Pengambilan Sampel Fitoplankton

Pengambilan sampel fitoplankton dilakukan pada saat air konda, yaitu situasi air laut tidak pasang dan tidak surut atau berada pada rentang surut tertinggi atau pasang terendah. Sampel fitoplankton diambil menggunakan alat plankton net. Pengambilan sampel fitoplankton pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 (masing-masing mewakili periode musim timur dan musim barat). Pengambilan sampel fitoplankton menggunakan metode dinamis secara vertikal, dengan cara menarik plankton net dari kedalaman yang sesuai dengan nilai kecerahan hingga permukaan perairan atau zona eufotik. Kemudian sampel fitoplankton dimasukkan ke dalam botol sampel gelap (tidak tembus cahaya).

Identifikasi dan Pencacahan Fitoplankton

Sampel fitoplankton diidentifikasi menggunakan sedgewick rafter counting chamber cells (SRC) dan mikroskop optik binokuler dengan perbesaran 100 kali. Metode sensus digunakan dalam pencacahan dan identifikasi fitoplankton. Sedangkan untuk identifikasi genus fitoplankton berdasarkan buku identifikasi *Ilustrations of The Marine Plankton of Japan* (Yamaji, 1979) dan *The Marine and Fresh Water Plankton* (Davis, 1955). Kelimpahan fitoplankton dapat dihitung sebagai berikut (APHA 2017).

$$N = n \times \frac{A}{a} \times \frac{v}{vc} \times \frac{1}{Vd} \quad \text{..... (1)}$$

Dimana, N adalah Kelimpahan fitoplankton (sel/m^3); n adalah Jumlah sel atau individu yang diamati (sel); A adalah Luas gelas penutupan (1.000 mm^2); a adalah Luas satu lapang pandang (1.000 mm^2); v adalah Volume air terkonsentrasi (230 ml); vc adalah Volume air di bawah gelas penutup (1 mL); Vd adalah Volume air yang disaring (m^3)

Analisis Data

Rumus korelasi berganda sebagai berikut (Sugiono, 2017).

$$\boldsymbol{r}y.x1.x2 = \sqrt{\frac{(ryx_1)^2 + (ryx_2)^2 - 2(ryx_1).(ryx_2).(ryx_1x_2)}{1-(ryx_1x_2)^2}} \quad \text{... (2)}$$

Dimana, Y adalah Fitoplankton; $x_1,x_2,...,x_n$ adalah Kekeruhan, Kecepatan arua, Kecerahan, Suhu, pH, DO, Salinitas, Nitrat, Fosfat

Untuk menentukan kekuatan hubungan yang dilihat dari nilai korelasi koefisien yang memiliki hubungan –1, 0, 1. yaitu:

Pedoman untuk interprestasi terhadap kuatnya hubungan korelasi yang berpengaruh menurut Sugiyono (2017) seperti yang disajikan dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Pedoman untuk interprestasi terhadap kuatnya hubungan korelasi yang berpengaruh.

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,19	Sangat Rendah
0,20-0,39	Rendah
0,40-0,79	Sedang
0,60-0,79	Kuat
0,80-1,00	Sangat Kuat

Pembuatan peta interpolasi fitoplankton menggunakan software QGIS 3.34.0. Peta interpolasi spasial bertujuan untuk memvisualisasikan perbandingan data melalui sebaran warna (Priyonggo, *et al.* 2023). Dalam proses interpolasi menggunakan metode Inverse Distance Weight (IDW) adalah metode perhitungan yang sederhana dan didasarkan pada titik-titik di sekitarnya. Metode ini menganggap bahwa nilai pada suatu lokasi akan lebih mendekati nilai dari titik data yang letaknya lebih dekat dibandingkan yang lebih jauh (Pramono, 2008).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Lingkungan Perairan Pesisir Utara Kota Tanjungpinang

Perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang merupakan kawasan yang memiliki banyak aktivitas masyarakat sebagai mata pencaharian seperti penangkapan ikan, budidaya di keramba jaring apung, jalur kapal nelayan, restoran *sea food*, permukiman warga, dan sebagainya. Banyaknya aktivitas tersebut juga akan memengaruhi parameter lingkungan. Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang disajikan dalam **Tabel 2**.

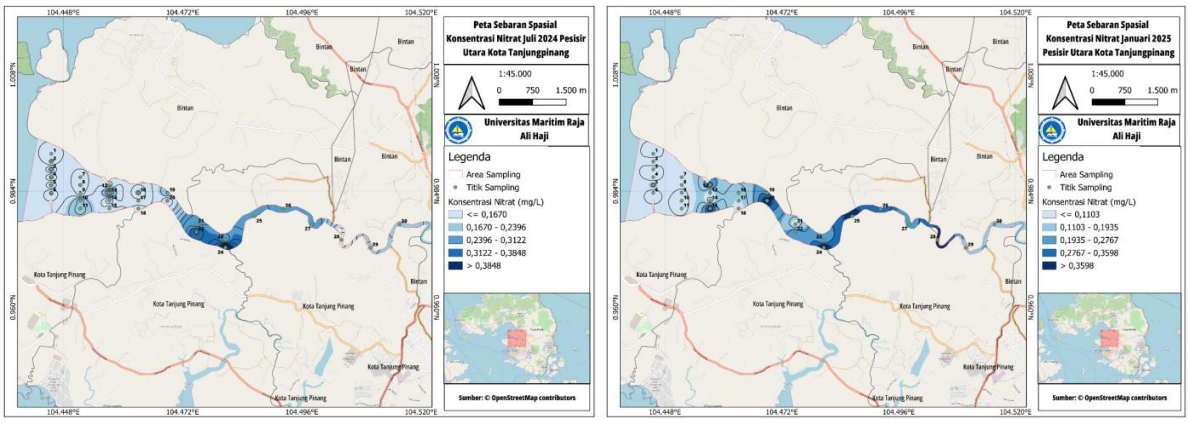
Berdasarkan hasil pengamatan, sebagian parameter fisika dan kimia perairan di pesisir utara Kota Tanjungpinang telah memenuhi baku mutu kualitas air laut untuk biota laut sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran VIII. Pada periode pengamatan Juli 2024, parameter yang memenuhi baku mutu meliputi kekeruhan, suhu, DO, dan pH. Sebaliknya, nilai kecerahan, salinitas, nitrat, dan fosfat berada di luar kisaran baku mutu yang ditetapkan. Pada periode pengamatan Januari 2025, parameter yang memenuhi baku mutu meliputi kekeruhan, DO, dan pH, sedangkan kecerahan, suhu, salinitas, nitrat, dan fosfat tidak memenuhi baku mutu. Perbedaan hasil antara kedua periode pengamatan menunjukkan adanya variasi kondisi kualitas perairan yang dipengaruhi oleh perubahan musim, terutama pada parameter suhu, yang memenuhi baku mutu pada Juli 2024 namun tidak pada Januari 2025.

Tabel 2. Nilai Rata-rata parameter fisika dan kimia di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang

No	Parameter	Satuan	Rata – Rata		Standar Baku Mutu*	Syarat Hidup Fitoplankton
			Juli 2024	Januari 2025		
	Fisika					
1	Kekeruhan	NTU	2,55 ± 1,74	3,21 ± 2,61	<5	-
2	Kecepatan Arus	m/s	0,12 ± 0,04	0,10 ± 0,05	-	-
3	Kecerahan	m	1,02 ± 0,33	1,54 ± 0,26	>3	0,45[a]
4	Suhu	°C	28,82 ± 0,47	27,32 ± 0,48	28 – 30	25–30[b]
5	Salinitas	ppt	27,70 ± 7,42	19,80 ± 7,55	33 – 34	30 – 35[c]
	Kimia					
6	DO	mg/l	6,38 ± 0,82	6,24 ± 0,68	>5	>5[d]
7	pH		7,76 ± 0,18	7,73 ± 0,45	7-8,5	6,5 – 8,5[e]
8	Nitrat	mg/l	0,18 ± 0,10	0,17 ± 0,14	0,06	0,09 – 3,5[f]
9	Fosfat	mg/l	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,05	0,015	0,09 - 1,8[g]

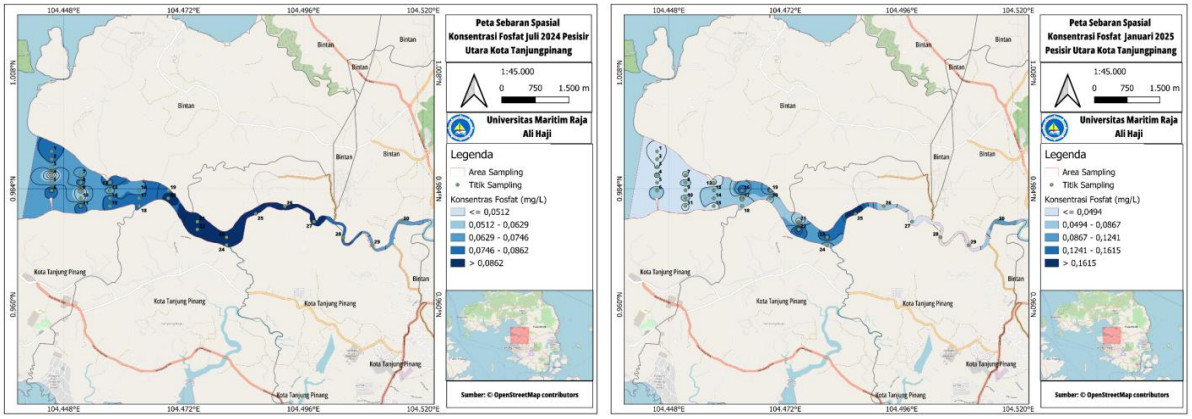
* Standar baku mutu Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 lampiran VIII; [a] Asmawi (1985); [b] Sofarini (2012); [c] Nurmala *et al.* (2017); [d] Maresi *et al.* (2015); [e] Siburian *et al.* (2017); [f & g] Permatasari *et al*. (2016)

Rata-rata konsentrasi nitrat dan fosfat di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang tergolong cukup tinggi. Selanjutnya berdasarkan hasil interpolasi data konsentrasi nitrat dan fosfat per titik diperoleh sebaran spasial konsentrasi nitrat dan fosfat pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 (**Gambar 2** dan **3**).



Gambar 2. Sebaran spasial Konsentrasi Nitrat Bulan Juli 2024 (kiri) dan Januari 2025 (kanan)

Berdasarkan **Gambar 2**, konsentrasi nitrat bulan Juli 2024 tertinggi di titik 24 (0,463 mg/L) dan terendah di titik 4 (0,088 mg/L). Konsentrasi nitrat bulan Januari 2025 tertinggi di titik 24 (0,450 mg/L dan terendah di titik 4 (0,018 mg/L). Berdasarkan **Gambar 3** diketahui bahwa pada bulan Juli 2024 konsentrasi fosfat tertinggi pada di titik 23 (0,098 mg/L) dan terendah di titik 4 (0,036 mg/L). Sedangkan bulan Januari 2025, fosfat tertinggi di titik 25 (0,202 mg/L) dan terendah di titik 1 (0,012 mg/L). Nutrien nitrat dan fosfat merupakan parameter lingkungan yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan algae di perairan (Shakouri dan Balouch, 2017). Hal ini disebabkan karena fitoplankton memerlukan kedua unsur tersebut dalam jumlah besar (Yaakob *et al*., 2021) dan kebutuhan setiap jenisnya sesuai dengan rasio N:P (Kesena, 2015). Namun, jika ketersediaannya di lingkungan perairan berada di bawah tingkat kebutuhan minimum, maka pertumbuhan fitoplankton dapat terganggu atau menyebabkan penurunan jumlah populasi dan biomassanya (Fried *et al*., 2003).



Gambar 3. Sebaran spasial Konsentrasi Fosfat Bulan Juli 2024 (kiri) dan Januari 2025 (kanan)

Sebaran spasial konsentrasi nitrat dan fosfat pada dua periode pengamatan memperlihatkan pola yang relatif sama. Bagian tengah dari estuari ini (Kampung Madong-Sei Nyirih) merupakan area dengan konsentrasi nutrien yang lebih tinggi dibandingkan daerah yang mengarah ke hulu (Air Raja) dan ke arah perairan yang lebih terbuka (Sebauk). Keberadaan ekosistem mangrove dan lamun di sekitar perairan dapat Kampung Madong menjadi penyumbang bahan organik *autochtonous* di perairan melalui produksi serasah dan biomassa yang memasuki kolom perairan. Selanjutnya masukan bahan organik ke perairan Kampung Madong berupa limbah domestik (permukiman dan restoran *sea food*) serta keberadaan keramba jaring apung/ KJA yang ada juga menjadi sumber bahan organik *allochtonous* di sana. Mishbach *et al*. (2023) menyebutkan bahwa aktivitas domestik tinggi yang dapat menjadi penyebab pengayaan nutrien di perairan muara sungai (estuari). Selanjutnya, pakan yang tidak termakan dan sisa feses ikan yang dibudidayakan di KJA dapat meningkatkan bahan organik (Ballester-Moltó *et al*., 2017), pengayaan nutrien (Price et al., 2015), dan berpengaruh terhadap rasio N:P

di perairan jika tidak dikelola dengan baik (Azizpour *et al*., 2025).

Kelimpahan Fitoplankton

Kelimpahan Fitoplankton yang terdapat di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang disajikan dalam **Tabel 3**. Berdasarkan hasil pengamatan, fitoplankton di Perairan Pesisir Utara Kota Tanjungpinang terdiri dari 4 divisi yaitu Bacillariophyta, Cyanophyta, Chlorophyta, dan Dinoflagellata. Total fitoplankton yang diidentifikasi sebanyak 25 genera, dengan jumlah genus terbanyak dari Bacillariophyta (19 genera). Bacillariophyta yang dikenal dengan kelompok diatom ini merupakan fitoplankton yang mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan (Aryawati *et al.,* 2021), bersifat kosmopolit (Hadi *et al*., 2023), sehingga keberadaannya seringkali mendominasi di perairan pesisir dan laut (Widianingsih *et al*., 2024). Bacillariophyta memiliki daya tahan yang relatif tinggi, sebagaimana dijelaskan oleh Sulastri dan Subehi (2002) bahwa kelompok ini mempunyai dinding sel yang lebih kuat dibandingkan kelompok lainnya dalam menghadapi perubahan lingkungan.

Tabel 3. Kelimpahan Fitoplankton di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang

No	Divisi	Genus	Kelimpahan Fitoplankton (sel/m^3)	
			Juli 2024	Januari 2025
1	Bacillariophyta	*Coscinodiscus*	23.547	49.378
2		*Pleurosigma*	29.410	6.415
3		*Thalassionema*	264.720	508.076
4		*Rhizosolenia*	42.560	8.344
5		*Skeletonema*	17.349	3.822
6		*Navicula*	22.518	4.648
7		*Biddulphia*	32.072	18.491
8		*Chaetoceros*	684.518	1.649.126
9		*Ditylum*	21.379	9.383
10		*Nitzschia*	9.058	5.737
11		*Bacteriastrum*	18.576	13.902
12		*Cerataulina*	84.196	18.214
13		*Triceratium*	3.146	1.207
14		*Cocconeis*	2.577	422
15		*Syenedra*	17.063	5.572
16		*Thalassiothrix*	105.063	301.021
17		*Fragilaria*	0	690
18		*Lauderia*	0	13.309
19		*Amphora*	4.157	515
20	Cyanophyta	*Planktothrix*	65.752	28.471
21		*Trichodesmium*	0	3.883
22	Chlorophyta	*Tetraedron*	1.676	1.041
23	Dinoflagellata	*Dinophyis*	1.069	2.248
24		*Ceratium*	6.280	2.905
25		*Peridinium*	1.559	3.715
Total			**1.458.243**	**2.660.536**

Kelimpahan fitoplankton pada Januari 2025 lebih tinggi dari pada Juli 2024. Perbedaan kelimpahan fitoplankton pada dua waktu pengamatan ini diduga ada kaitannya dengan curah hujan. Berdasarkan data curah hujan bulanan dari badan meteorologi dan geofisika (BMKG) diketahui bahwa Bulan Januari 2025 (musim barat) curah hujan 566,5 mm, lebih tinggi dibandingkan pada bulan Juli 2024 (musim timur) sebesar 113,9 mm. Peningkatan curah hujan akan berdampak terhadap potensi peningkatan masukan nutrien dari daratan melalui limpasan air hujan, baik yang masuk ke sungai lalu bermuara ke laut maupun dari daratan yang berada di sekitar pesisir/ estuari. Dalam intensitas tinggi, limpasan nutrien dari permukaan tanah daratan dengan nutrien tinggi (misalnya perkebunan, peternakan, atau lahan terbuka) akan menyebabkan eutrofikasi di pesisir (Malone dan Newton, 2020). Yao *et al*. (2021) membuktikan bahwa intensitas curah hujan yang tinggi berkorelasi dengan penurunan unsur hara di tanah akibat adanya limpasan massa air hujan.

Kelimpahan fitoplankton dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Marpaung (2024) di perairan Kampung Bugis (pesisir bagian selatan Kota Tanjungpinang) yaitu 9.558.321 sel/m^3. Perairan Kampung Bugis dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang. Aktivitas di sekitar perairan Kampung Bugis seperti permukiman masyarakat pesisir, kegiatan bongkar muat perkapalan, pelabuhan, transportasi laut, bengkel kapal, dan pasar tradisional menyebabkan banyaknya masukan bahan organik ke dalam badan air. Menurut Abubakar

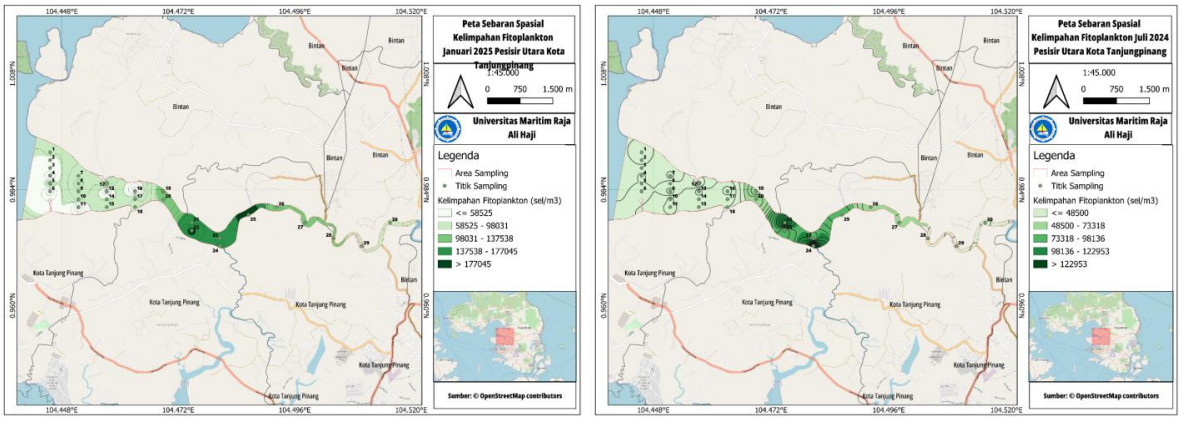
et al. (2021), keberadaan fitoplankton dipengaruhi oleh masukan antropogenik dari lingkungan, seperti kandungan nitrat, nitrit, dan fosfat yang berasal dari wilayah pesisir dan kemudian masuk ke badan air, sehingga berdampak pada kualitas perairan.

Chaetoceros merupakan genus yang memiliki kelimpahan tertinggi pada setiap pengamatan. Hal ini terkait dengan morfologi dari *Chaetoceros* sp. yang membentuk rantai atau koloni sel serta mempunyai chaeta, sehingga laju tenggelamnya lebih lambat dan menjadikannya kurang disukai oleh pemangsa herbivora (Wulandari *et al.,* 2014).

Sebaran Spasial Fitoplankton

Sebaran spasial kelimpahan fitoplankton pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang disajikan dalam **Gambar 4**. Berdasarkan **Gambar 4** peta sebaran kelimpahan fitoplankton pada bulan Juli 2024 tertinggi di titik 24 (149.669 sel/m^3), sedangkan kelimpahan terendah di titik 1 (23.674 sel/m^3). Sedangkan pada pada bulan Januari 2025, kelimpahan fitoplankton tertinggi pada titik 25 dengan kelimpahan sebesar 219.225 sel/m^3 dan terendah pada titik 16 dengan kelimpahan sebesar 18.790 sel/m^3. Sebaran spasial fitoplankton berdasarkan kelimpahan pada Juli 2024 dan Januari 2025 memperlihatkan pola yang relatif sama, kelimpahan fitoplankton tinggi berada di bagian tengah dari estuari (Kampung Madong-Sei Nyirih) dan kelimpahan rendah di daerah yang mengarah ke hulu (Air Raja) dan ke arah perairan yang lebih terbuka (Sebauk).

Aktivitas masyarakat yang tinggi di sekitar perairan Kampung Madong-Sei Nyirih tersebut memungkinkan intensitas input nutrien yang berasal dari buangan antropogenik semakin bertambah. KJA yang ada juga dapat menambah kandungan nutrien di perairan, yang pada akhirnya mendorong pertumbuhan fitoplankton (Utomo *et al*., 2011). Menurut Permatasari *et al*. (2016), kelimpahan fitoplankton meningkat seiring dengan naiknya konsentrasi nutrien seperti nitrat dan fosfat. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Abubakar *et al.* (2021) bahwa kelimpahan fitoplankton di perairan yang berada dekat dengan pemukiman umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan perairan yang jauh dari aktivitas masyarakat. Konsentrasi nitrat dan fosfat berpengaruh dalan kelimpahan fitoplankton di suatu perairan.



Gambar 4. Kelimpahan Fitoplankton Juli 2024 (kiri) dan Januari 2025 (kanan)

Hubungan Parameter Lingkungan Perairan dengan Kelimpahan Fitoplankton

Analisis hubungan parameter fisika kimia perairan terhadap fitoplankton pada bulan Juli 2024 dan Januari 2025 disajikan dalam **Tabel 4** dan **5**. Koefisien korelasi dalam **Tabel 4** menunjukkan bahwa parameter perairan yang memiliki hubungan yang signifikan dengan kelimpahan fitoplankton pada Juli 2024 yaitu parameter kecerahan (negatif, sangat kuat), nitrat (postif, kuat), dan fosfat (positif, sedang). Sedangkan untuk bulan Januari 205, parameter yang memiliki hubungan yang signifikan yaitu kecepatan arus (positif, sedang), salinitas (negatif, sedang), konsentrasi nitrat (positif, kuat), dan konsentrasi fosfat (positif, sedang). Kecerahan menyatakan kemampuan cahaya matahari menembus perairan hingga kedalaman tertentu.

Tingkat kecerahan perairan memiliki hubungan erat dengan padatan tersuspensi (Wirasatriya *et al*., 2023). Semakin tinggi padatan tersuspensi dalam air maka kecerahan akan semakin rendah. Kondisi ini akan menurunkan intensitas cahaya matahari yang pada akhirnya mengurangi produktivitas primer fitoplankton. Keberadaan arus laut menentukan pola distribusi organisme laut, khususnya

fitoplankton. Arus laut memengaruhi persebaran organisme di lautan. Marlian (2017) menyatakan bahwa fitoplankton dan nutrien terbawa oleh arus laut sesuai dengan kecepatan arus serta arah pergerakannya. Beberapa kelompok fitoplankton mampu beradaptasi terhadap hidrodinamika pesisir, misalnya perubahan salinitas. Bacillariophyta merupakan kelompok fitoplankton yang memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap perubahan kondisi lingkungan perairan.

Kelimpahan fitoplankton di suatu perairan diduga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang mendukung kehidupan fitoplankton, seperti kadar oksigen terlarut dan ketersediaan nutrien yang memadai (Wulandari *et al.,* 2014). Dalam studi ini, diperoleh hasil bahwa konsentrasi nitrat dan fosfat merupakan parameter lingkungan yang memiliki hubungan positif dan signifikan dengan kelimpahan fitoplankton pada setiap pengamatan (Juli 2024 dan Januari 2025). Hubungan ini juga dapat dilihat dari sebaran spasial kelimpahan fitoplankton pada Juli 2024 dan Januari 2025 yang sesuai dengan sebaran spasial konsentrasi nitrat (**Gambar 2**) dan fosfat (**Gambar 3**), yaitu kelimpahan tertinggi berada di daerah Kampung Madong-Sei Nyirih.

Korelasi antara konsentrasi masing-masing nutrien dengan kelimpahan adalah postitif kuat (nitrat) dan positif, sedang-kuat (fosfat). Hal ini sesuai dengan pernyataan Yanti *et al*. (2024) bahwa pertumbuhan dan peningkatan populasi fitoplankton sangat bergantung pada tersedianya nutrien di dalam air. Selanjutnya Haumahu (2005) serta Rahmah *et al*. (2022) menambahkan fosfat memiliki peran yang sangat penting karena berfungsi sebagai faktor pembatas dan turut memengaruhi tingkat produktivitas fitoplankton.

Tabel 4. Hubungan Parameter Fisika Kimia Terhadap Kelimpahan Fitoplankton pada Juli 2024

No	Parameter	Koefesien Korelasi	Keterangan
	Fisika		
1	Kekeruhan	-0,168	Negatif (sangat rendah)
2	Kecepatan Arus	-0,120	Negatif (sangat rendah)
3	Kecerahan	-0,813***	Negatif (sangat kuat dan signifikan)
4	Suhu	-0,156	Negatif (sangat rendah)
5	Salinitas	-0,348	Negatif (rendah)
	Kimia		
6	DO	0,001	Positif (sangat rendah)
7	pH	-0,090	Negatif (sangat rendah)
8	Nitrat	0,716***	Positif (kuat dan signifikan)
9	Fosfat	0,530**	Positif (sedang dan signifikan)

Keterangan: *p < 0,05; **p < 0,01; : ***p <0,001
(-) korelasi negatif artinya berbanding terbalik (+) korelasi positif artinya berbanding lurus.

Tabel 5. Hubungan Parameter Fisika Kimia Terhadap Kelimpahan Fitoplankton pada Januari 2025

No	Parameter	Koefesien Korelasi	Keterangan
	Fisika		
1	Kekeruhan	-0,314	Negatif (rendah)
2	Kecepatan Arus	0,481**	Positif (sedang dan signifikan)
3	Kecerahan	-0,187	Negatif (sangat rendah)
4	Suhu	-0,355	Negatif (rendah)
5	Salinitas	-0,459*	Negatif (sedang dan signifikan)
	Kimia		
6	DO	0,081	Positif (sangat rendah)
7	pH	-0,272	Negatif (rendah)
8	Nitrat	0,603***	Positif (kuat dan sangat signifikan)
9	Fosfat	0,505**	Positif (sedang dan signifikan)

Keterangan: *p < 0,05; **p < 0,01; : ***p <0,001
(-) korelasi negatif artinya berbanding terbalik (+) korelasi positif artinya berbanding lurus

KESIMPULAN DAN SARAN

Kelimpahan fitoplankton di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang menunjukkan variasi temporal yang dipengaruhi oleh kondisi musim. Pada Januari 2025, kelimpahan fitoplankton (2.660.536 sel/m³) lebih tinggi dibandingkan Juli 2024 (1.458.243 sel/m³), dengan *Chaetoceros* sp. sebagai genus yang mendominasi pada kedua periode pengamatan. Peningkatan kelimpahan fitoplankton pada Januari 2025 berkaitan dengan kondisi musim hujan yang dicirikan oleh curah hujan lebih tinggi, sehingga meningkatkan masukan nutrien dari daratan melalui limpasan permukaan (*surface runoff*). Analisis statistik menunjukkan bahwa

konsentrasi nitrat dan fosfat memiliki hubungan positif dan signifikan dengan kelimpahan fitoplankton pada kedua periode pengamatan, yang menegaskan bahwa ketersediaan nutrien merupakan faktor penting yang memengaruhi dinamika fitoplankton di wilayah penelitian. Sebaran spasial fitoplankton pada kedua periode pengamatan memperlihatkan pola yang relatif konsisten, dengan kelimpahan tertinggi terkonsentrasi di bagian tengah perairan, terutama di kawasan Kampung Madong dan Sei Nyirih, serta kelimpahan yang lebih rendah di bagian timur (Air Raja) dan barat (Sebauk). Pola tersebut sejalan dengan distribusi spasial nitrat dan fosfat, yang menunjukkan bahwa variasi spasial ketersediaan nutrien berperan penting dalam membentuk distribusi fitoplankton di perairan pesisir utara Kota Tanjungpinang. Temuan penelitian ini mengindikasikan bahwa pengelolaan kualitas perairan pesisir perlu difokuskan pada pengendalian masukan nutrien dari kawasan pesisir, terutama yang berasal dari limpasan permukaan pada musim hujan serta aktivitas antropogenik. Upaya tersebut perlu didukung melalui pemantauan berkala terhadap konsentrasi nutrien dan komunitas fitoplankton sebagai indikator dini perubahan kualitas perairan, sehingga potensi eutrofikasi dan gangguan keseimbangan ekosistem pesisir dapat diantisipasi secara lebih efektif. Hasil penelitian ini juga menyediakan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi pengelolaan pesisir yang berkelanjutan melalui pengendalian sumber pencemar berbasis daratan dan perlindungan kualitas ekosistem pesisir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM UMRAH) yang menyedian bantuan pendanaan penelitian, dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pengambilan data, pengamatan, serta analisis data penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan mendapatkan hasil seperti yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

Abubakar, S. Akbar, N. Baksir, A. Masangadji, H, U. Najamudin. Tahir, I. Paembonan, R, E. Ismail, F. (2021). Distribusi spasial dan temporal fitoplankton di perairan laut tropis. *Jurnal Kelautan*, 14(2), 149-163. https://doi.org/10.21107/jk.v14i2.10285

Amalia, E & Pangestoeti, W. (2023). Perencanaan dan Pengembangan Kampung Madong Sebagai Destinasi Minapolitan Kampung Ikan Berbasis Masyarakat (Kajian Pendekatan Tematik, Holistik, Integratif, dan Spasial). *Jurnal Mata Pariwisata 2*(2), 41-47.

APHA (American Public Health Association). (2017). *Standard Methods for the Examinatoin of Water and Waste Water*.19th ed. APHA. Awwa. And WPCF Washington DC.

Aryawati, R., Ulqodry, T. Z., & Surbakti, H. (2021). Fitoplankton Sebagai Bioindikator Pencemaran Organik di Perairan Sungai Musi Bagian Hilir Sumatra Selatan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 13*(1), 163-171. https://doi.org/10.29244/jitkt.v13i1.25498

Asmawi, S. 1985. *Ekologi Ikan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Fakultas Perikanan Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.

Azizpour, J., Manbohi, A., Rahnama, R., Hamzepour, A., Bastami, K.D., Bagheri, H., Taheri, M., Farjami, H., Mehdinia, A. (2025). Environmental Impacts of Fish Cage Cultures in the Southern Caspian Sea. Environmental Research 266: 120574. https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.120574

Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., Cerezo-Valverde, J., Aguado-Giménez, F. (2017). Particulate Waste Outflow from Fish-Farming Cages. How Much is Uneaten Feed?. *Marine Pollution Bulletin, 119*(1), 23-30. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.03.004

Dai, Y., Yang, S., Zhao, D., Hu, C., Xu, W., Anderson, D.M., Li, Y., Peng Song, X, Boyce, D.G., Gibson, L, Zheng, C., Feng, L. (2023). Coastal Phytoplankton Blooms Expand and Intensify in the 21st Century. *Nature, 615*, 280-284. https://doi.org/10.1038/s41586-023-05760-y

Davis, G.C. (1955). *The Marine and Freshwater Plankton*. Michigan State University Press, USA. 526 p.

Fried S, B. Mackie, E. Nothwehr. (2003. Nitrate and phosphate levels positively affect the growth of algae species found in Perry Pond. *Tillers 4*, 21-24.

Hadi, Y.S., Japa, L., Zulkifli, L. (2023). Bacillariophyceae Diversity as Bioindicator of Pollution in the Coastal Waters of Klui Beach, North Lombok. *Jurnal Biologi Tropis, 23*(1), 73 – 79. https://doi.org/10.29303/jbt.v23i1.4387

Haumahu, S. 2005. Distribusi Spasial Fitoplankton di Perairan Teluk Haria

Saparua Maluku Tengah. *Ilmu Kelautan, 10*(3), 126-134.

Hertika, A. M. S., Arsad, S., & Baghaz, R. (2021). *Ilmu Tentang Plankton dan Peranannya di Lingkungan Perairan*. Malang: UB Press.

Ismail., Melani, W, R., & Apriadi, T. (2018) Tingkat Kesuburan Perairan di Perairan Kampung Madong, Kelurahan Kampung Bugis, Kota Tanjungpinang. *Jurnal Akuatiklestari, 2*(1), 9 – 13. https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v2i1.931

Kampf, J. (2025). Phytoplankton and Zooplankton Production in the Bonney Coast Upwelling,Australia: A Coupled Physical-Biological Model Investigation. *Continental Shelf Research, 285*, 105373. https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105373

Kesena, E.J. (2015). Determination of the Limiting Effects of Nitrate-Nitrogen (NO_3-N) and Phosphate- Phosphorus ($PO_4^{=}$P) on the Growth of Selenastrum Gracile in Laboratory Culture. *International Journal of Research Studies in Biosciences (IJRSB), 3*(5), 1-7.

Marlian, N. (2017). Hubungan Parameter Kualitas Air Terhadap Distribusi Kelimpahan Fitoplankton di Perairan Teluk Meulaboh Aceh Barat. *Journal of Aceh Aquatic Sciences, 1*(1), 18-31. https://doi.org/10.35308/.v1i1.672

Malone, T.C.& Newton, A. (2020). The Globalization of Cultural Eutrophication in the Coastal Ocean: Causes and Consequences. *Frontier in Marine Science. 7*, 670. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00670

Maresi, S. R. P., Priyanti, P., & Yunita, E. (2015). Fitoplankton sebagai bioindikator saprobitas perairan di Situ Bulakan Kota Tangerang. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi, 8*(2), 113-122. https://doi.org/10.15408/kauniyah.v8i2.2697

Marpaung, T.R. (2024). Pola Sebaran Fitoplankton Dan Kaitannya dengan Parameter Fisika dan kimia di Perairaran Kampung Bugis Kota Tanjungpinang. *Skripsi Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Raja Ali Haji. Tanjungpinang.*

Mishbach, I., Zainuri, M., Tuhumena, K., Gea, L., Agamawan, L.P.I., &Hamuna, B. (2023). Analisis Nitrat dan Fosfat Terhadap Kesuburan Perairan Muara Sungai Bodri. *Acropora Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan Papua, 6*(2), 78-83. https://doi.org/10.31957/acr.v6i2.3516

Nurmala, E., Utami, E., & Umroh. (2017). Analisis klorofil-a di Perairan Kurau Kabupaten Bangka Tengah. *Jurnal Sumberdaya Perairan, 11*(1), 61-68.

Oktary, Q., Zahid, A., &Susiana. (2024). Distribusi Ukuran dan Faktor Kondisi Rajungan (Portunus pelagicus Linnaeus, 1758) di Perairan Kampung Madong, Kota Tanjungpinang. *Akuatiksile, 8*(2), 55-61. https://doi.org/10.29239/j.akuatikisle.8.2.55-61

Pérez-Ruzafa, A., Molina-Cuberos, G.J., García-Oliva, M., Umgiesser , G, & Marcos, C. (2024). Why Coastal Lagoons are So Productive? Physical Bases of Fishing Productivity in Coasta Lagoons. *Science of the Total Environment, 922*, 171264. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171264

Permatasari, R.D., Djuwito, D., & Irwani, I., 2016. Pengaruh Kandungan Nitrat dan Fosfat Terhadap Kelimpahan Diatom di Muara Sungai Wulan, Demak. *Management of Aquatic Resources Journal, 5*(4), 224-232. https://doi.org/10.14710/marj.v5i4.14411

Pramono, G. H. (2008). Akurasi metode IDW dan kriging untuk interpolasi sebaran sedimen tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan. *In Forum Geografi, 22*(2), 145-158. https://doi.org/10.23917/forgeo.v22i2.4988

Price, C., Black, K.D., Hargrave, B.T., & Morris Jr., J.A. (2015). Marine Cage Culture and the Environment: Effects on water quality and primary production. *Aquaculture Environment Interactions, 6*, 151-174. https://doi.org/10.3354/aei00122

Priyonggo, B., Azadi, A., Hafidz, M., Wirawan, A., Ummah, N., Rahayu, D., & Mufidah, Z. (2023). Kalibrasi silang pengukur EC tanah (RS-485) dengan WET-2 sensor di Rumpin, Bogor. *Sultra Journal of Mechanical Engineering*, *2*(2), 100-106. https://doi.org/10.54297/sjme.v2i2.533

Rahmah. R., Andi. Z., & Tri. A. (2022). Kelimpahan fitoplankton dan kaitannya dengan beberapa parameter lingkungan perairan di estuari Sei Carang, Tanjungpinang. *Jurnal of Marine Research, 11*(2), 189-200. https://doi.org/10.14710/jmr.v11i2.32945

Shakouri, A., & Balouch, G. M. (2017). The Effects of Nitrate and Phosphate on Growth of Algae, Ulva rigida in 40L Out-door Tanks. *Journal of*

Oceanography, *7*(28), 29-36. https://doi.org/10.18869/acadpub.joc.7.28.29

Siburian, R., L. Simatupang, & M. Bukit. 2017. Analisis Kualitas Perairan Laut Terhadap Aktivitas di Lingkungan Pelabuhan WaingapuAlor Sumba Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 23*(1), 225-232. https://doi.org/10.24114/jpkm.v23i1.6639

Sofarini, D. (2012). Keberadaan dan kelimpahan fitoplankton sebagai salah satu indikator kesuburan lingkungan perairan di Waduk Riam Kanan. *EnviroScienteae, 8*(1), 30-34.

Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif*, Kualitatif, dan R&D. Alfabeta Bandung

Sulastri., Ap & Subehi, L. 2002. *Perubahan Komposisi Fitoplankton dan Tingkat Eutrofikasi Danau Maninjau Sumatra Barat*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. LIPI Press, Jakarta.

Susiana, Apriandi, A., Rochmady. (2019). Identifikasi Jenis Kelamin Siput Gonggong Strombus sp. Secara Morfologi di Perairan Madung, Tanjungpinang, Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis, 11*(3), 555-567. https://doi.org/10.29244/jitkt.v11i3.29053

Utomo AD, Ridho MR, Putranto DDA, & Saleh E. 2011. Keanekaragaman Plankton dan tingkat kesuburan perairan di waduk Gajah Mungkur. *BAWAL, 3*(6), 415-422. https://doi.org/10.15578/bawal.3.6.2011.415-422

Widianingsih, Khotimah, A.K., & Nuraini, R.A.T. (2024). Indek Ekologi Diatom (Bacillariophyceae) di Perairan Delta Wulan Demak Jawa Tengah. *Journal of Marine Research, 13*(4), 643-652. https://doi.org/10.14710/jmr.v13i4.44049

Wirasatriya, A., Maslukah, L., Indrayanti, E., Yusuf, M., Milenia, A. P., Adam, A.A., & Helmi, M. 2023. Seasonal Variability of Total Suspended Sediment off the Banjir Kanal Barat River, Semarang, Indonesia Estimated from Sentinel-2 Images. *Regional Studies in Marine Science, 57*, p.102735. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102735

Wulandari, D. Y., Pratiwi, N. T. M., & Adiwilaga, E. M. (2014). Distribusi Spasial Fitoplankton di Perairan Pesisir Tangerang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia, 19*(3), 156-162.

Yaakob, M.A., Mohamed, R.M.S.R., Al-Gheethi, A., Aswathnarayana Gokare, R., & Ambati,R.R. (2021). Influence of Nitrogen and Phosphorus on Microalgal Growth, Biomass, Lipid, and Fatty Acid Production: An Overview. Cells 10, 393. https://doi.org/10.3390/cells10020393

Yamaji, C. S. (1979). *Illustration of the marine plankton of Japan*. Hoikiska Pub. l. Co. Ltd. Japan. 572p.

Yanti, E., Apriadi, T., & Zulfikar, A. (2024). Keanekaragaman Fitoplankton dan Kaitannya dengan Kondisi Perairan di Senggarang Besar, Kota Tanjungpinang, Kepulauan Riau. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, *17*(1), 55-64. https://doi.org/10.21107/jk.v17i1.18184

Yao, Y., Dai, Q., Gao, R., Gan, Y., & Yi, X. (2021). Effects of Rainfall Intensity on Runoff and Nutrient Loss of Gently Sloping Farmland in A Karst Area of SW China. PLoS ONE 16(3): e0246505. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246505

Zahid, A., Susiana, Kurniawan, D., Apriadi, T., Melani, R.M., Muzammil, W., Zulfikar, A., Sari, T.E.Y, Putra, D.W., Kasradianti, Y., & Abdillah, I.D.N. (2024). Prey Composition of Spotted Scat, Scatophagus argus (Linnaeus, 1766) from Madong - Sei Nyirih Waters,Tanjungpinang, Riau Island, Indonesia. BIO Web of Conferences 134, 07010. MaCiFIC 2024. https://doi.org/10.1051/bioconf/202413407010