

Hidden Impact: Toxic Dinoflagellates Threaten the Sustainability of Pearl Cultivation in Sekotong, West Lombok, Indonesia

Abd. Saddam Mujib^{1*} & Awan Dermawan²

¹Ilmu Kelautan, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

²Budidaya Perairan, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : October 09th, 2025

Revised : October 22th, 2025

Accepted : November 01th, 2025

*Corresponding Author: **Abd.**

Saddam Mujib, Ilmu Kelautan,

Universitas Mataram, Mataram,

Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Email:

abd.saddam.mujib@staff.unram.ac.id

Abstract: The Sekotong waters, which serve as a pearl aquaculture center, heavily rely on good water quality but face unseen threats that could jeopardize the sustainability of the pearl farming. This study aims to examine the presence and distribution of five major dinoflagellate genera *Dinophysis*, *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Ceratium*, and *Protopeiridium* in the waters of Sekotong, West Lombok, which is both a conservation area and a center for pearl aquaculture. This research is crucial given the potential impacts of harmful dinoflagellates on marine ecosystems and the sustainability of pearl production. Sampling was conducted at four stations, revealing variations in dinoflagellate abundance. Station 1 was dominated by *Protopeiridium* (approximately 15%), followed by *Gymnodinium* (around 11%) and *Dinophysis* (about 15%). At Station 2, only *Prorocentrum* was observed with an abundance of around 24%, whereas Station 3 was mainly inhabited by *Ceratium* (15%) and *Gymnodinium* (13%). Station 4 was characterized solely by *Ceratium* with a low abundance of approximately 4%. Oceanographic conditions such as temperature, salinity, nutrient levels, and current patterns are believed to influence the distribution and abundance of these dinoflagellates, supporting various ecological strategies including photosynthesis, mixotrophy, and heterotrophy. The presence of toxin-producing genera like *Dinophysis* and *Gymnodinium* poses a risk of harmful algal blooms (HABs), which can adversely affect the ecosystem and pearl farming activities. Therefore, the findings emphasize the importance of continuous monitoring and effective management to prevent the negative impacts of these harmful dinoflagellates. This study provides a strong scientific basis to support conservation efforts and enhance the sustainability of pearl aquaculture in Sekotong, a region with significant ecological and economic value.

Keywords: Dinoflagellate, harmful species, impact, toxin, pearl cultivation.

Pendahuluan

Perairan di sekitar Sekotong, Lombok Barat, tidak hanya berfungsi sebagai area konservasi laut, tetapi juga dikenal dengan banyaknya kegiatan budidaya mutiara. Budidaya mutiara di kawasan ini memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian lokal, termasuk penyediaan lapangan pekerjaan. Namun, kegiatan ini menghadapi tantangan lingkungan yang memengaruhi

kelangsungan hidup organisme di perairan tersebut. Salah satu permasalahan yang muncul adalah keberadaan spesies berbahaya dari kelompok dinoflagellata yang dapat memberikan dampak negatif terhadap ekosistem laut dan keberhasilan budidaya Mutiara.

Dinoflagellata merupakan plankton yang dapat ditemukan di perairan laut dengan berbagai spesies yang memiliki karakteristik dan peran ekologis yang berbeda. Sebagian besar spesies

dinoflagellata tidak berbahaya, namun beberapa spesies dapat menghasilkan racun yang merugikan bagi organisme laut, termasuk mutiara, serta mencemari kualitas air. Fenomena ini dikenal dengan istilah *red tide*, yang dapat mengubah warna air laut dan menyebabkan keracunan pada organisme akuatik. Menurut Fathurrahman & Aunurohim, (2014) salah satu spesies berbahaya yang ditemukan di perairan sekotong yaitu *Gonyaulax* sp. Spesies ini diketahui dapat memproduksi racun *Yessotoxin* (YTX) yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem saraf dan sistem kardiovaskular. Senyawa ini sangat stabil dan dapat terakumulasi dalam organisme laut yang terpapar, seperti kerang dan ikan, yang pada akhirnya mengancam kesehatan manusia jika dikonsumsi (Riccardi et al., 2009). Keberadaan dinoflagellata berbahaya di perairan Sekotong perlu dianalisis untuk mengidentifikasi potensi ancaman terhadap kelangsungan budidaya mutiara di daerah tersebut.

Sebelumnya, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa dinoflagellata berbahaya dapat memengaruhi kualitas air laut (Anderson et al., 2021), yang dapat berdampak pada kualitas mutiara yang dihasilkan (Almansoori, 2024). Mutiara yang terpapar racun dinoflagellata berpotensi mengalami gangguan pertumbuhan dan penurunan kualitasnya (Castrec et al., 2021). Keberadaan racun ini juga dapat mengancam keberlanjutan ekosistem perairan yang mendukung kehidupan organisme laut lainnya. Toksin ini dapat meracuni ikan, moluska, dan organisme laut lainnya, serta mengancam kesehatan manusia jika mengonsumsi produk laut yang terkontaminasi. Hal ini juga dapat menyebabkan kematian massal organisme laut dan mengganggu ekosistem pesisir (Anderson et al., 2012).

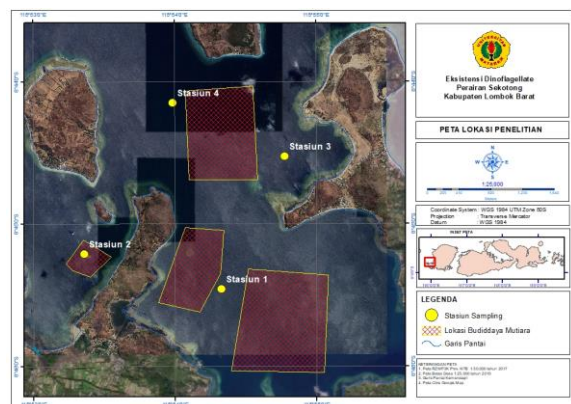
Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi eksistensi spesies dinoflagellata berbahaya di perairan Sekotong, Lombok Barat, serta memahami dampaknya terhadap kualitas air dan keberhasilan budidaya mutiara. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi untuk mengelola dan mengantisipasi potensi ancaman yang disebabkan oleh spesies berbahaya ini. Pemetaan distribusi spesies dinoflagellata berbahaya akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi produksi mutiara di kawasan tersebut.

Dengan semakin berkembangnya industri budidaya mutiara di Sekotong, penting bagi para stakeholder untuk memahami dinamika lingkungan dan ekosistem yang ada di sekitar perairan tersebut. Penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi dalam meningkatkan pemahaman ilmiah mengenai dinoflagellata berbahaya, tetapi juga memberikan dasar untuk pengelolaan yang lebih baik terhadap sumber daya alam perairan yang mendukung kegiatan budidaya mutiara.

Bahan dan Metode

Lokasi dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 di sekitar perairan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Pengambilan sampel fitoplankton dilakukan di empat stasiun dimana lokasi samplingnya mewakili lokasi budidaya mutiara (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Kajian

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai alat dan bahan yang disesuaikan dengan parameter atau objek yang disampling. Terdapat dua tahapan utama dalam pelaksanaan penelitian ini, yaitu pengambilan sampel di lapangan dan analisis di laboratorium. Di lapangan, parameter fisika-kimia seperti suhu, salinitas, pH, dan DO diukur menggunakan Water Quality Checker (WQC). Sampel air diambil untuk analisis unsur hara seperti amoniak, nitrit, nitrat, dan fosfat diambil dengan menggunakan botol niskin. Sampel air untuk dinoflagellata diambil menggunakan planktonet yang dilengkapi flowmeter pada mulut jaring, dengan sampel dinoflagellata diawetkan menggunakan larutan

lugol. Analisis unsur hara dan penghitungan dinoflagellata dilakukan di Laboratorium Penguji Balai Perikanan Budidaya Laut Lombok.

Analisis

Menghitung kelimpahan dinoflagellate

Alur dari S-R merupakan susunan volume air sampel dengan panjang 50 mm, tinggi 1 mm dan lebar 20 mm. Jumlah dari alur yang dihitung adalah ketelitian dari nilai perhitungan organisme per alur. Adapun perhitungan dinoflagellata pada S-R sebagai berikut:

$$N = nx \frac{V_t}{V_{cg}} \times \frac{1}{V_d}$$

Keterangan:

- N : Kelimpahan total plankton (*cell/L*)
n : Jumlah sel plankton yang teramati (*cell*)
V_t : Volume sampel yang tersaring (ml)
V_{cg} : Volume SRC (ml)
V_d : Volume sampel yang disaring (L)

Analisis data

Analisis data menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA) untuk melihat korelasi parameter terhadap kelimpahan dinoflagellate.

Hasil dan Pembahasan

Kelimpahan Dinoflagellate

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat lima genus dinoflagellata yang ditemukan di lokasi penelitian, yaitu *Dinophysis*, *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Ceratium*, dan *Protoberidinium*. Total kelimpahan dinoflagellata di setiap stasiun bervariasi antara 42 -195 sel/L (Tabel 1), dengan kelimpahan tertinggi tercatat di stasiun 1. Genus-genus ini memiliki strategi ekologis dan preferensi lingkungan yang unik, yang memengaruhi distribusi dan interaksi kompetitif mereka (Telesh et al., 2024). Perairan Sekotong, Lombok Barat, dengan karakteristik tropis dan potensi aktivitas pesisir yang beragam (seperti budidaya mutiara, perikanan, dan pariwisata), sangat rentan terhadap dinamika komunitas fitoplankton, termasuk kemunculan dinoflagellata berpotensi berbahaya.

Genus-genus yang telah disebutkan seperti *Dinophysis*, *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Ceratium*, dan *Protoberidinium* memiliki pola distribusi global dan dapat ditemukan di perairan

tropis hingga subtropis (Baek et al., 2008; Fernández et al., 2019; Funaki et al., 2024; Rojas-Castillo et al., 2023; Sathishkumar et al., 2021). Kondisi oseanografi Sekotong, yang merupakan perairan dangkal dan semi terlindung, dapat menciptakan lingkungan yang ideal untuk proliferasi dinoflagellata tertentu. Fluktuasi suhu air laut, salinitas, ketersediaan nutrisi dari limpasan daratan atau aktivitas antropogenik, serta pola arus lokal dapat memicu pertumbuhan dinoflagellata ini (Reguera et al., 2024; Tillmann et al., 2023).

Tabel 1. The abundance of dinoflagellates found around pearl farming areas

Genera	Stations			
	1	2	3	4
<i>Dinophysis</i>	71	-	-	-
<i>Gymnodinium</i>	53	-	62	-
<i>Prorocentrum</i>	-	118	-	-
<i>Ceratium</i>	-	-	71	21
<i>Protoberidinium</i>	71	-	-	-
Total (<i>cell/L</i>)	195	118	133	21

Genus *Dinophysis* tersebar luas di perairan tropis, sedang, dan boreal, mendominasi di lingkungan pesisir, neritik, dan Samudra (Reguera et al., 2024). Keberhasilan *Dinophysis* dalam berkompetisi seringkali terkait dengan kemampuannya untuk berfotosintesis dan pada beberapa spesies, juga bersifat mikсотrofik, artinya dapat mengonsumsi organisme lain. Ini memberi mereka keuntungan di perairan yang kondisi nutrisinya bervariasi. *Dinophysis* dikenal dapat membentuk *Harmful Algal Blooms* (HABs) yang menghasilkan toksin okadaic acid (OA) dan dinophysistoxin (DTX) yang berbahaya bagi kerang-kerangan dan dapat menyebabkan keracunan diare pada manusia (Diarrhetic Shellfish Poisoning – DSP) (Hallegraeff, 1992).

Spesies dari *Gymnodinium*, terutama *Gymnodinium catenatum*, adalah kosmopolitan dan ditemukan di berbagai samudra, termasuk Pasifik Utara, Pasifik Tenggara, Atlantik, Laut Mediterania, dan Laut Arab (Band-Schmidt et al., 2010). *Gymnodinium* dikenal sebagai pembentuk *bloom* yang agresif, menghasilkan toksin *paralytic shellfish poisoning* (PSP) yang sangat kuat. Mereka seringkali berkompetisi melalui rasio pertumbuhan yang cepat dalam kondisi nutrisi tertentu dan kemampuannya

untuk bermigrasi secara vertikal di kolom air untuk mencari cahaya dan nutrien, memberikan keunggulan atas pesaing (Oikawa et al., 2018).

Spesies dari *Prorocentrum* sebagian besar hidup di laut dan memiliki distribusi global di lingkungan samudra, neritik, dan litoral (Tillmann et al., 2023). Beberapa spesies *Prorocentrum* juga mampu membentuk HABs dan menghasilkan toksin, seperti asam *okadaic* dan *dinophysistoxin*, yang dapat menyebabkan efek merugikan pada ekosistem laut dan manusia (Kalvelage & Rabus, 2024). Mereka seringkali unggul dalam kondisi perairan yang lebih stabil dan hangat, serta memiliki toleransi yang beragam terhadap ketersediaan nutrien, memungkinkan mereka untuk mendominasi di berbagai habitat.

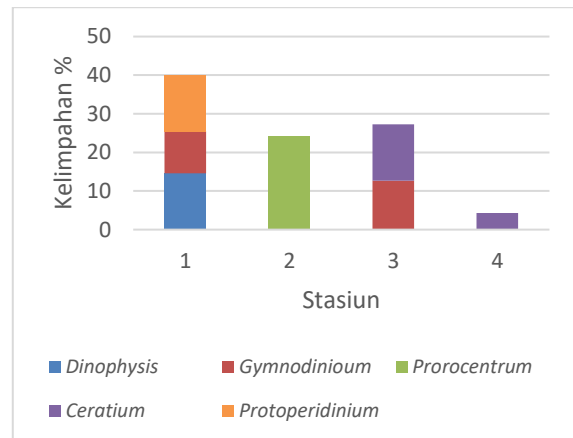
Spesies dari *Ceratium* banyak ditemukan di lingkungan laut, dengan beberapa spesies juga di perairan darat. Mereka umum di perairan beriklim hangat hingga tropis (Tunin-Ley et al., 2009). *Ceratium* dikenal dengan morfologi selnya yang kompleks, yang dapat membantu mereka dalam predasi atau menghindari predasi, serta kemampuan untuk berenang secara vertikal. Mereka berkontribusi signifikan terhadap produksi primer laut dan keberadaannya sering digunakan sebagai indikator biologis pemanasan laut (Rojas-Castillo et al., 2023). Kompetisi *Ceratium* seringkali didasarkan pada efisiensi penggunaan cahaya dan nutrien di perairan yang terstratifikasi (Mujib et al., 2015).

Tabel 2. Parameter kimia

Parameters	Stations			
	1	2	3	4
NO3 (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
NO2 (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
COD (mg/l)	9.0	41.0	19.0	0.0
BOD (mg/l)	2.7	2.7	3.5	2.7
NH3 (mg/l)	0.1	0.1	0.0	0.1
PO4 (mg/l)	0.1	0.1	0.1	0.1
TSS (mg/l)	0.0	0.0	0.0	0.0
Chlorophyl (mg/l)	2.1	0.1	1.7	0.4

Protoperidinium adalah salah satu genus dinoflagellata thecate terbesar dan paling melimpah, ditemukan di perairan laut dan payau (Phan et al., 2024). Berbeda dengan genus lain yang sebagian besar adalah fotoautotrof atau mikсотrof, *Protoperidinium* adalah heterotrof

obligat, yang berarti mereka mendapatkan energi dengan memangsa mikroorganisme lain. Mereka memainkan peran penting sebagai predator dalam jaring makanan laut (Siano & Montresor, 2005). Oleh karena itu, kompetisi *Protoperidinium* tidak langsung dengan fitoplankton lain untuk cahaya dan nutrien, melainkan dengan pemangsa lain (seperti mesozooplankton) untuk sumber makanan, yaitu diatom dan dinoflagellata yang lebih kecil (Sathishkumar et al., 2021).



Gambar 2. Persentase kehadiran dinoflagellate

Genus-genus dinoflagellata ini seringkali menjadi komponen utama dari HABs yang dapat memiliki dampak signifikan pada ekosistem perairan, termasuk budidaya mutiara. Keberadaan satu genus dapat memengaruhi yang lain melalui persaingan nutrisi, perubahan kondisi lingkungan, atau bahkan melalui rantai makanan. Misalnya, *Dinophysis* yang mixotrofik (mampu berfotosintesis dan memakan organisme lain) dapat memakan fitoplankton lain, termasuk spesies dari genus *Prorocentrum* atau *Gymnodinium*, yang pada gilirannya memengaruhi kelimpahan mereka.

Penelitian menunjukkan bahwa lokasi dengan kondisi hidrodinamika yang mendukung akumulasi fitoplankton, seperti perlindungan dari arus kuat atau pergerakan air yang lambat, seringkali menjadi tempat berkembangnya dinoflagellata ini. Seperti penelitian sebelumnya misalnya, menyoroti bahwa perairan pesisir Yunani sering mengalami fenomena HABs yang disebabkan oleh spesies-spesies beracun tersebut (Ignatiades & Gotsis-Skretas, 2010). Setiap genus dinoflagellata memiliki preferensi dan peran ekologisnya masing-masing. Perubahan

persentase suatu genus dapat menjadi alarm dini adanya perubahan kondisi lingkungan. Misalnya, peningkatan mendadak genus toksik bisa mengindikasikan risiko *Harmful Algal Bloom* (HABs) yang membahayakan biota laut dan manusia.

Persentase Kehadiran Dinoflagellate

Komposisi genus dinoflagellata menunjukkan variasi yang signifikan antar stasiun (Gambar 2). Di Stasiun 1, *Protoperidinium* dan *Dinophysis* sama-sama mendominasi dengan kelimpahan sekitar 15% masing-masing, diikuti oleh *Gymnodinium* sekitar 11%. Stasiun 2 didominasi oleh satu genus tunggal yaitu *Prorocentrum* dengan kelimpahan 24%. Sementara itu, Stasiun 3 menunjukkan keberadaan *Ceratium* (15%) dan *Gymnodinium* (13%), dan Stasiun 4 hanya ditemukan *Ceratium* dengan persentase 4%.

Dominasi *Protoperidinium* di Stasiun 1 sangat relevan dengan karakteristik genus ini sebagai dinoflagellata heterotrofik atau mikсотrofik yang memakan fitoplankton lain atau detritus organik (Jeong et al., 2010). Keberadaannya dalam persentase tinggi sering dikaitkan dengan perairan yang kaya akan bahan organik atau fitoplankton yang menjadi mangsanya, seperti diatom kecil atau dinoflagellata lainnya. Pada penelitian lain juga menyebutkan dominasi protoperidinoid di sedimen perairan pesisir yang dipengaruhi antropogenik, menunjukkan preferensi untuk perairan yang mungkin lebih kaya nutrient (Narale & Anil, 2017). Kehadiran *Dinophysis* dengan persentase signifikan (15%) juga menarik.

Spesies *Dinophysis* dikenal sebagai produsen toksin okadaic acid (OA) dan dinophysistoxin (DTX) yang menyebabkan *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP). Genus ini sering menunjukkan strategi mikсотrofik, yaitu mampu berfotosintesis sekaligus memakan mangsa. Kehadiran *Dinophysis* dapat dipengaruhi oleh kondisi nutrien yang spesifik dan stratifikasi kolom air (García-Moreiras et al., 2021). *Gymnodinium* dengan 11% kelimpahan menunjukkan genus yang sangat beragam. Beberapa spesies non-toksik sedangkan yang lain dapat membentuk *Harmful Algal Blooms* (HABs). Kelimpahan *Gymnodinium* dapat

berkorelasi positif dengan variabel kualitas air tertentu seperti oksigen terlarut (DO) (Herawati et al., 2023).

Keunikan Stasiun 2 adalah hanya ditemukan *Prorocentrum* dengan kelimpahan sekitar 24%. *Prorocentrum* adalah genus kosmopolitan yang mencakup spesies fotosintetik dan beberapa produsen toksin (misalnya, *P. lima* menghasilkan okadaic acid). Dominasi satu genus ini menyiratkan adanya kondisi lingkungan yang sangat spesifik dan sangat mendukung pertumbuhan *Prorocentrum* saja, atau justru menghambat pertumbuhan genus dinoflagellata lainnya. *Prorocentrum* seringkali dominan di perairan pesisir, estuari, dan teluk yang terlindungi, terutama yang mengalami pengayaan nutrien (eutrofikasi) (Aissaoui et al., 2014; Golubkov et al., 2019). Lingkungan eutrofik ini menyediakan sumber daya yang memadai untuk pertumbuhan cepat *Prorocentrum*, yang dikenal adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk tingkat nutrien yang tinggi.

Ceratium adalah genus yang tersebar luas, banyak ditemukan di perairan pesisir dan laut terbuka. Spesies *Ceratium* umumnya fotosintetik dan dapat membentuk *blooms* di berbagai kondisi lingkungan (Herawati et al., 2023). Persentase yang lebih tinggi dibandingkan *Gymnodinium* menunjukkan bahwa kondisi perairan di Stasiun 3 mungkin lebih mendukung spesies fotosintetik yang mampu bersaing dalam kondisi cahaya atau nutrien tertentu. Keberadaan *Gymnodinium* dengan persentase 13% menunjukkan bahwa ada faktor lingkungan yang mendukung keberadaannya di sini, meskipun tidak sedominan di Stasiun 1. Interaksi kompetitif antara *Ceratium* dan *Gymnodinium* dapat dipengaruhi oleh ketersediaan silikat, suhu, dan stratifikasi air.

Stasiun 4 hanya menunjukkan kelimpahan *Ceratium* yang sangat rendah, sekitar 4%. Seperti yang Anda sebutkan, jika Stasiun 4 berada di perairan yang lebih terbuka dibandingkan stasiun lain, ini bisa menjelaskan kelimpahan dinoflagellata yang rendah secara keseluruhan. Perairan laut terbuka cenderung oligotrofik (rendah nutrien) dan memiliki turbulensi yang lebih tinggi, yang tidak mendukung pertumbuhan dinoflagellata yang membutuhkan kondisi lebih "stabil" atau kaya nutrien.

Meskipun kelimpahannya rendah, *Ceratium* dikenal sebagai genus yang mampu bertahan di perairan laut terbuka (Hernández-Becerril et al., 2023). Beberapa spesies *Ceratium* memiliki kemampuan untuk bermigrasi secara vertikal di kolom air untuk mengakses nutrisi di lapisan yang lebih dalam dan cahaya di lapisan permukaan, sebuah adaptasi yang menguntungkan di perairan oligotrofik (Rojas-Castillo et al., 2023). Kelimpahan *Ceratium* yang rendah mungkin menunjukkan bahwa meskipun genus ini dapat hadir di lingkungan laut terbuka, kondisi di Stasiun 4 mungkin masih kurang optimal untuk pertumbuhan yang masif.

Kualitas Air

Berdasarkan hasil pengamatan kualitas air (Tabel 2), kondisi kualitas air di Stasiun 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan variasi yang signifikan, yang memiliki implikasi penting terhadap kesehatan ekosistem akuatik di wilayah tersebut. Perbedaan ini mencerminkan kompleksitas interaksi antara faktor-faktor pencemaran dan respons biologis, sebuah isu yang menjadi perhatian global dalam pengelolaan sumber daya air.

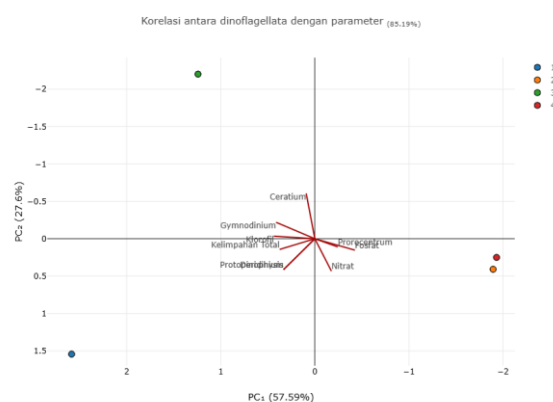
Stasiun 1, 3, dan 4 secara umum menunjukkan kualitas air yang relatif baik dengan kadar NO_3 , NO_2 , COD, BOD, NH_3 , PO_4 , dan TSS yang rendah. Kondisi ini konsisten dengan ekosistem akuatik yang sehat. Menariknya, ketiga stasiun ini memiliki kadar klorofil yang tinggi (Stasiun 1: 2,1063 mg/l; Stasiun 3: 1,6613 mg/l; Stasiun 4: 1,9305 mg/l). Klorofil yang tinggi seringkali menjadi indikator produktivitas fitoplankton yang signifikan, menunjukkan ekosistem yang subur dan mampu mendukung rantai makanan akuatik (Sathishkumar et al., 2021). Beberapa penelitian menggarisbawahi bahwa kondisi kualitas air yang optimal mendukung keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem (Tampo et al., 2024).

Sebaliknya, Stasiun 2 menyoroti masalah pencemaran organik yang serius, ditandai dengan nilai COD tertinggi (41 mg/l). Tingginya COD, bersama dengan NH_3 dan PO_4 yang lebih tinggi, mengindikasikan adanya masukan material organik dan nutrisi berlebihan (Wells et al., 2015). Fenomena ini, yang dikenal sebagai eutrofikasi, dapat menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut, mengancam kehidupan akuatik, dan merusak habitat (Tampo et al., 2024).

Meskipun kadar NO_3 dan NO_2 di Stasiun 2 rendah, tingginya COD adalah sinyal peringatan serius yang membutuhkan tindakan mitigasi. Selain itu, rendahnya kadar klorofil di Stasiun 2 (0,1483 mg/l) dibandingkan stasiun lain mungkin menunjukkan bahwa kondisi pencemaran yang ekstrem telah menghambat pertumbuhan fitoplankton atau mengubah komposisi spesiesnya, sehingga menekan produktivitas primer.

Keterkaitan parameter dengan Dinoflagellate.

Gymnodinium, *Dinophysis*, dan *Protoperidinium* merupakan genus dinoflagellata yang memiliki peran penting dalam ekosistem perairan laut, khususnya dalam kaitannya dengan distribusi dan konsentrasi klorofil-a, indikator utama biomassa fitoplankton (Gambar 3). Studi menunjukkan bahwa *Protoperidinium* memiliki puncak kelimpahan yang berkorelasi dengan tingkat maksimum klorofil-a di perairan, seperti hasil riset yang menyatakan bahwa puncak klorofil-a ($20,95 \text{ mg m}^{-3}$) bersamaan dengan kepadatan tertinggi *Protoperidinium* ($113,9 \times 10^4 \text{ sel/liter}$) (Sathishkumar et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa *Protoperidinium* sangat terkait dengan kondisi lingkungan yang kaya nutrisi yang mendukung pertumbuhan fitoplankton penyusun klorofil.



Gambar 3. Grafik Plot PCA (*Principal Component Analysis*)

Sementara itu, *Dinophysis* adalah dinoflagellata yang bersifat mixotrofik, mengandung plastida sekunder dengan klorofil c dan peridinin, yang memungkinkan mereka untuk melakukan fotosintesis sekaligus heterotofi (Reguera et al., 2024). Kondisi

klorofil-a yang memadai menunjukkan ketersediaan fitoplankton sebagai sumber makanan dan energi bagi *Dinophysis*, sehingga tinggi rendahnya klorofil dapat mempengaruhi kelimpahan *Dinophysis* secara tidak langsung melalui rantai makanan dan ketersediaan nutrisi.

Sedangkan *Gymnodinium* sering dikaitkan dengan fenomena fitoplankton beracun dan dapat tampil dominan pada periode pelepasan upwelling yang meningkatkan ketersediaan nutrisi sekaligus mempengaruhi dinamika klorofil-a di perairan (Díaz et al., 2019). Oleh karenanya, fluktuasi klorofil dapat berimplikasi pada dinamika populasi *Gymnodinium*, terutama pada kondisi fisik lingkungan laut yang berubah seperti kecepatan arus dan siklus upwelling. Secara keseluruhan, ketiga genus ini berhubungan dengan klorofil melalui interaksi langsung maupun tidak langsung dengan sumber nutrisi, ketersediaan fitoplankton, dan kondisi hidrodinamika lingkungan laut yang mendukung pertumbuhan dan penyebaran mereka.

Dampaknya terhadap Budidaya Mutiara Produksi Toksin dan Akumulasi Biologis

Salah satu dampak paling merugikan adalah produksi toksin oleh dinoflagellata tertentu. *Dinophysis* spp., misalnya, dikenal sebagai produsen toksin okadaic acid (OA) dan dinophysistoxins (DTXs) yang dapat menyebabkan *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP) pada manusia (Cho et al., 2020). Meskipun mutiara itu sendiri mungkin tidak langsung terkontaminasi toksin ini, kerang mutiara (*oyster*) sebagai inang sangat rentan. Akumulasi toksin dalam kerang mutiara dapat membahayakan kesehatan kerang, mengganggu proses fisiologis, dan bahkan menyebabkan kematian massal, yang secara langsung berdampak pada produksi mutiara. Selain itu, toksin ini dapat membatasi atau menghentikan panen produk laut di area yang terdampak, menyebabkan kerugian ekonomi yang besar bagi industri budidaya mutiara.

Dampaknya terhadap Budidaya Mutiara Kematian Organisme dan Gangguan Ekosistem

Kelimpahan *Gymnodinium* spp. yang berlebihan seringkali menyebabkan kematian ikan secara massal, seperti yang terjadi pada tahun 1999 di Teluk Kuwait (Heil et al., 2001).

Peristiwa ini adalah salah satu contoh nyata bagaimana HABs dapat memicu disrupsi ekologis. Kematian ikan dan organisme laut lainnya dapat menyebabkan kerusakan jaringan makanan, mengurangi ketersediaan makanan bagi kerang mutiara, dan menciptakan lingkungan yang tidak sehat bagi pertumbuhan mutiara. Mekarnya alga ini juga dapat menyebabkan hipoksia (kekurangan oksigen) di perairan karena dekomposisi biomassa alga yang mati, sehingga menciptakan kondisi stres yang parah bagi kerang Mutiara.

Perubahan Kualitas Air dan Lingkungan Budidaya

Genus-genus seperti *Prorocentrum* spp. dan *Ceratium* spp. memiliki potensi untuk membentuk *bloom* yang sangat padat. *Prorocentrum minimum*, misalnya, diketahui membentuk *bloom* yang signifikan di berbagai perairan, termasuk Teluk Chesapeake, yang dapat mengubah parameter kualitas air secara drastis (Tango et al., 2005). *Ceratium furca* juga dilaporkan dapat mencapai densitas yang sangat tinggi, menyebabkan dampak negatif pada organisme akuatik karena kemampuannya untuk menguras nutrisi dan menciptakan kondisi air yang tidak optimal (Hasani et al., 2022). Perubahan pH, penurunan kadar oksigen terlarut, dan penyumbatan insang pada kerang mutiara dapat terjadi akibat *bloom* ini, menghambat pertumbuhan, dan kualitas mutiara. Kerang air tawar, misalnya, telah menunjukkan respon stres terhadap *bloom* fitoplankton yang tinggi (Emma, 2024).

Stres Fisiologis dan Pengendalian

Protoperidinium spp., meskipun tidak selalu menjadi penyebab utama HABs toksik yang mematikan, merupakan bagian integral dari komunitas dinoflagellata dan dapat berkontribusi pada perubahan ekologis yang memengaruhi budidaya Mutiara (Matsuyama, 2012). Fluktuasi populasi *Protoperidinium* dan dinoflagellata lain dapat menjadi indikator perubahan kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan stres pada kerang mutiara. Kehadiran HABs ini membutuhkan pengawasan ketat, langkah-langkah mitigasi seperti penutupan area budidaya, atau bahkan relokasi, yang semuanya menambah biaya operasional dan mengurangi efisiensi produksi Mutiara (Almansoori, 2024).

Dengan demikian, pengelolaan dan pemantauan dinoflagellata ini menjadi krusial untuk menjaga keberlanjutan industri budidaya Mutiara.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa perairan Sekotong, Lombok Barat, yang merupakan area konservasi dan budidaya mutiara, menjadi habitat bagi lima genus dinoflagellate yaitu *Dinophysis*, *Gymnodinium*, *Prorocentrum*, *Ceratium*, dan *Protoperdinium* dengan kelimpahan dan distribusi yang bervariasi antar stasiun. Keberadaan genus-genus ini dipengaruhi oleh karakteristik oseanografi lokal seperti suhu, salinitas, nutrisi, dan arus, yang mendukung strategi ekologis unik mereka, mulai dari fotosintetik hingga heterotrofik atau mikсотrofik. Namun, kehadiran *Dinophysis* dan *Gymnodinium* yang berpotensi menghasilkan toksin, menimbulkan ancaman serius terhadap keberlanjutan budidaya mutiara dan kesehatan ekosistem laut serta manusia di wilayah tersebut, sehingga diperlukan pemantauan dan pengelolaan yang efektif.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada semua rekan-rekan di Prodi Ilmu Kelautan dan Budidaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Mataram serta terima kasih kepada Perusahaan Budidaya Mutiara (PT Sino Indo Mutiara) yang memberikan support untuk penelitian ini.

Referensi

- Aissaoui, A., Armi, Z., Akrou, F., & Ben Hassine, O. K. (2014). Environmental Factors and Seasonal Dynamics of *Prorocentrum* lima Population in Coastal Waters of the Gulf of Tunis, South Mediterranean. *Water Environment Research*, 86(12), 2256–2270. <https://doi.org/10.2175/106143014x13975035526266>
- Almansoori, H. A. (2024). *Investigating The Mass Mortality Induced Factors Of Pearl Oyster(PINCTADA RADIATA) at Abu Dhabi Pearls Farm, UAE*. United Arab Emirates University.
- Anderson, D. M., Cembella, A. D., & Hallegraeff, G. M. (2012). Progress in understanding harmful algal blooms: Paradigm shifts and new technologies for research, monitoring, and management. *Annual Review of Marine Science*, 4, 143–176. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081121>
- Anderson, D. M., Fensin, E., Gobler, C. J., Hoeglund, A. E., Hubbard, K. A., Kulis, D. M., Landsberg, J. H., Lefebvre, K. A., Provoost, P., Richlen, M. L., Smith, J. L., Solow, A. R., & Trainer, V. L. (2021). Marine harmful algal blooms (HABs) in the United States: History, current status and future trends. *Harmful Algae*, 102(March), 101975. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2021.101975>
- Baek, S. H., Shimode, S., Han, M. S., & Kikuchi, T. (2008). Growth of dinoflagellates, *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* in Sagami Bay, Japan: The role of nutrients. *Harmful Algae*, 7(6), 729–739. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.02.007>
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J. J., López-Cortés, D. J., Gárate-Lizárraga, I., Núñez-Vázquez, E. J., & Hernández-Sandoval, F. E. (2010). Ecological and physiological studies of *Gymnodinium catenatum* in the Mexican Pacific: A review. *Marine Drugs*, 8(6), 1935–1961. <https://doi.org/10.3390/md8061935>
- Castrec, J., Fabioux, C., Le Goïc, N., Boulais, M., Soudant, P., & Hégaret, H. (2021). The toxic dinoflagellate *Alexandrium minutum* affects oyster gamete health and fertilization potential. *Marine Environmental Research*, 169(June), 105401. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105401>
- Cho, K., Heo, J., Han, J., Hong, H. D., Jeon, H., Hwang, H. J., Hong, C. Y., Kim, D., Han, J. W., & Baek, K. (2020). Industrial applications of dinoflagellate phycotoxins based on their modes of action: A review. *Toxins*, 12(12), 1–17. <https://doi.org/10.3390/TOXINS12120805>
- Díaz, P. A., Reguera, B., Moita, T., Bravo, I., Ruiz-Villarreal, M., & Fraga, S. (2019). Mesoscale dynamics and niche segregation

- of two *Dinophysis* species in Galician-Portuguese coastal waters. *Toxins*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/toxins11010037>
- Emma, L. (2024). *Exploring harmful algal dynamics and oyster aquaculture in Nasketucket Bay, Massachusetts : insights , interplay , and management strategies : a thesis in Marine Science and Technology*. University of Massachusetts Dartmouth.
- Fathurrahman, & Aunurohim. (2014). Kajian Komposisi Fitoplankton dan Hubungannya dengan Lokasi Budidaya Kerang Mutiara (*Pinctada Maxima*) di Perairan Sekotong, Nusa Tenggara Barat. *Teknik Pomits*, 3(2), 93–98.
- Fernández, R., Mamán, L., Jaén, D., Fuentes, L. F., Ocaña, M. A., & Gordillo, M. M. (2019). *Dinophysis* species and diarrhetic shellfish toxins: 20 years of monitoring program in andalusia, south of spain. *Toxins*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/toxins11040189>
- Funaki, C., Kuwata, K., Lum, W. M., Takahashi, K., Iwataki, M., & Takahashi, K. (2024). Effects of temperature and light intensity on growth in *Prorocentrum cf. balticum* (*Dinophyceae*) isolated from the Oyashio-Kuroshio Mixed Water region , North Pacific. *Plankton and Benthos Research*, 19(4), 191–202. <https://doi.org/10.3800/pbr.19.191>
- García-Moreiras, I., Oliveira, A., Santos, A. I., Oliveira, P. B., & Amorim, A. (2021). Environmental Factors Affecting Spatial Dinoflagellate Cyst Distribution in Surface Sediments Off Aveiro-Figueira da Foz (Atlantic Iberian Margin). *Frontiers in Marine Science*, 8(August), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.699483>
- Golubkov, M., Nikulina, V., & Golubkov, S. (2019). Effects of environmental variables on midsummer dinoflagellate community in the Neva Estuary (Baltic Sea). *Oceanologia*, 61(2), 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.09.001>
- Hallegraeff, G. M. (1992). Harmful algal blooms in the Australian region. *Marine Pollution Bulletin*, 25(5–8), 186–190. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90223-S](https://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90223-S)
- Hasani, Q., Yusup, M. W., Caesario, R., Julian, D., & Muhtadi, A. (2022). Autoecology of *Ceratium furca* and *Chaetoceros didymus* as potential harmful algal blooms in tourism and aquaculture sites at Teluk Pandan Bay, Lampung, Indonesia. *Biodiversitas*, 23(11), 5670–5680. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231117>
- Heil, C. A., Glibert, P. M., Al-sarawi, M. A., Faraj, M., Behbehani, M., & Husain, M. (2001). First Record of a Fish-Killing *Gymnodinium* Sp Bloom in Kuwait Bay. *Marine Ecology Progress Series*, 214, 15–23.
- Herawati, E. Y., Valina, R., Dini, C. A. F., Cahyani, V., Khasanah, R. I., Wiratno, E. N., & Samuel, P. D. (2023). Abundance and composition analysis of dinoflagellates in Mayangan and Binor Coastal Area, Probolinggo, East Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1191(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1191/1/012001>
- Hernández-Becerril, D. U., Pichardo-Velarde, J. G., Alonso-Rodríguez, R., Maciel-Baltazar, E., Morquecho, L., Esqueda-Lara, K., Barón-Campis, S. A., & Quiroz-González, N. (2023). Diversity and distribution of species of the planktonic dinoflagellate genus *Alexandrium* (*Dinophyta*) from the tropical and subtropical Mexican Pacific Ocean. *Botanica Marina*, 66(6), 539–557. <https://doi.org/10.1515/bot-2023-0037>
- Ignatiades, L., & Gotsis-Skretas, O. (2010). A review on toxic and harmful algae in Greek coastal waters (E. Mediterranean Sea). *Toxins*, 2(5), 1019–1037. <https://doi.org/10.3390/toxins2051019>
- Jeong, H. J., du Yoo, Y., Kim, J. S., Seong, K. A., Kang, N. S., & Kim, T. H. (2010). Growth, feeding and ecological roles of the mixotrophic and heterotrophic dinoflagellates in marine planktonic food webs. *Ocean Science Journal*, 45(2), 65–91. <https://doi.org/10.1007/s12601-010-0007-2>
- Kalvelage, J., & Rabus, R. (2024). Multifaceted Dinoflagellates and the Marine Model *Prorocentrum cordatum*. *Microbial Physiology*, 34(1), 197–242.

- <https://doi.org/10.1159/000540520>
- Matsuyama, Y. (2012). Impacts of the harmful dinoflagellate *Heterocapsa circularisquama* bloom on shellfish aquaculture in Japan and some experimental studies on invertebrates. *Harmful Algae*, 14, 144–155. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2011.10.019>
- Mujib, A. S., Damar, A., & Wardiatno, Y. (2015). Spatial Distribution of Planktonic Dinoflagellate in Makassar Waters, South Sulawesi. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 7, 479–492. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v7i2.11033>
- Narale, D. D., & Anil, A. C. (2017). Spatial distribution of dinoflagellates from the tropical coastal waters of the South Andaman, India: Implications for coastal pollution monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 115(1–2), 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.11.035>
- Oikawa, H., Watanabe, R., Matsushima, R., & Suzuki, T. (2018). Large-scale Cultivation of *Gymnodinium Catenatum* for Paralytic Shellfish Poisoning Toxin Standards. *Food Safety*, 6(2), 83–87. <https://doi.org/10.14252/foodsafetyfscj.2017027>
- Phan, L. T., Krakhmalnyi, M., Le, H. T. T., Tran, V. T. Le, Tran, H. T. M., Ngoc Huynh, D. T., Zarei Darki, B., & Krakhmalnyi, A. (2024). A new species and a new combination in *Protoperidinium* sect. *Oceanica* (Peridinales, Dinophyceae) from Vietnamese waters. *Nordic Journal of Botany*, 2024(5), 1–9. <https://doi.org/10.1111/njb.04206>
- Reguera, B., García-Portela, M., Velasco-Senovilla, E., Rial, P., Escalera, L., Díaz, P. A., & Rodríguez, F. (2024). Dinophysis, a highly specialized mixoplanktonic protist. *Frontiers in Protistology*, 1(January), 1–9. <https://doi.org/10.3389/frpro.2023.132802>
- Riccardi, M., Guerrini, F., Roncarati, F., Milandri, A., Cangini, M., Pigozzi, S., Riccardi, E., Ceredi, A., Ciminiello, P., Dell'Aversano, C., Fattorusso, E., Forino, M., Tartagliione, L., & Pistocchi, R. (2009). *Gonyaulax spinifera* from the Adriatic sea: Toxin production and phylogenetic analysis. *Harmful Algae*, 8(2), 279–290. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2008.06.008>
- Rojas-Castillo, O. A., Pereira, L., Buffon, P., & de Souza Cardoso, L. (2023). Drivers and ecology of *Ceratium furcoides* invasion of a Brazilian subtropical reservoir and its interaction with the phytoplankton community. *Limnologia*, 101, 126080. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2023.126080>
- Sathishkumar, R. S., Sahu, G., Mohanty, A. K., Arunachalam, K. D., & Venkatesan, R. (2021). First report of *Protoperidinium steinii* (Dinophyceae) bloom from the coastal marine ecosystem – an observation from tropical Indian waters. *Oceanologia*, 63(3), 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2021.04.003>
- Siano, R., & Montresor, M. (2005). Morphology, ultrastructure and feeding behaviour of *Protoperidinium vorax* sp. nov. (Dinophyceae, Peridinales). *European Journal of Phycology*, 40(2), 221–232. <https://doi.org/10.1080/09670260500128293>
- Tampo, L., Kaboré, I., Alfa-Sika Mande, S.-L., & Mactar Bawa, L. (2024). Water Quality and Aquatic Ecosystem Assessment Using Water Quality Indices in West Africa: Challenge and Perspectives. In *Water Quality - New Perspectives* (pp. 1–27). <https://doi.org/10.5772/intechopen.109137>
- Tango, P. J., Magnien, R., Butler, W., Luckett, C., Luckenbach, M., Lacouture, R., & Poukish, C. (2005). Impacts and potential effects due to *Prorocentrum minimum* blooms in Chesapeake Bay. *Harmful Algae*, 4(3), 525–531. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2004.08.014>
- Telesh, I., Schubert, H., & Skarlato, S. (2024). Wide ecological niches ensure frequent harmful dinoflagellate blooms. *Heliyon*, 10(4), e26495. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26495>
- Tillmann, U., Wietkamp, S., Gottschling, M., & Hoppenrath, M. (2023). *Prorocentrum pervagatum* sp. nov. (Prorocentrales, Dinophyceae): A new, small, planktonic

- species with a global distribution. *Phycological Research*, 71(1), 56–71. <https://doi.org/10.1111/pre.12502>
- Tunin-Ley, A., Ibañez, F., Labat, J. P., Zingone, A., & Lemée, R. (2009). Phytoplankton biodiversity and NW Mediterranean Sea warming: Changes in the dinoflagellate genus *Ceratium* in the 20th century. *Marine Ecology Progress Series*, 375, 85–99. <https://doi.org/10.3354/meps07730>
- Wells, M. L., Trainer, V. L., Smayda, T. J., Karlson, B. S. O., Trick, C. G., Kudela, R. M., Ishikawa, A., Bernard, S., Wulff, A., Anderson, D. M., & Cochlan, W. P. (2015). Past and Present To Forecast the Future. *Harmful Algae*, 1(49), 68–93. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2015.07.009>. Harmful