



Analisis Pengaruh *Harmful Algal Bloom* (HAB) Terhadap Produktivitas di Perairan Laut Jawa

Analysis of the Impact of Harmful Algal Bloom (HAB) on Productivity in The Java Sea Waters

Muhammad Reza Falevi^{1*}, Tegar Al-Ghifari Widiantara¹, Livela Rahmalia Azzahra¹, Aisyah Nur'aini¹, Muhammad Rizqy Ramadhani Hidayatulloh¹, Fajar Adiyanto¹

¹Manajemen Sumberdaya Perairan, Universitas Jenderal Soedirman, Jl. Prof. Dr. HR Boenyamin No. 708, Bobosan, Purwokerto Utara, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah, 53122, Indonesia

*Korespondensi: fajar.adiyanto@unsoed.ac.id

Copyright ©2026, Authors. Published by the Fisheries Science Study Program, Faculty of Science and Technology, Muhammadiyah University of Sidenreng Rappang.

Article Info: Received: December 05, 2025 Revised: February 19, 2026; Accepted: March 04 2026; Published: April 25, 2026.

Abstrak

Harmful Algal Bloom (HAB) merupakan fenomena ekologis yang semakin sering terjadi di perairan Laut Jawa dan berpotensi memengaruhi produktivitas perairan secara signifikan. Namun, kajian yang mengintegrasikan berbagai faktor pemicu HAB serta dampaknya terhadap produktivitas perairan di Laut Jawa masih terbatas dan cenderung bersifat parsial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh HAB terhadap produktivitas perairan Laut Jawa melalui metode literature review. Sebanyak 20 artikel ilmiah yang dipublikasikan dalam rentang waktu 2015–2025 dianalisis, terdiri atas 6 artikel utama dan 14 artikel pendukung, dengan fokus kajian pada wilayah pesisir Laut Jawa. Hasil telaah menunjukkan bahwa pemicu utama terjadinya HAB di Laut Jawa meliputi peningkatan konsentrasi nutrisi (nitrat dan fosfat), perubahan kondisi oseanografi (suhu, salinitas, dan dinamika arus), serta tekanan aktivitas antropogenik di wilayah pesisir. Spesies fitoplankton pemicu HAB yang dominan dilaporkan berasal dari kelompok *Dinoflagellata* dan *Bacillariophyceae*, yang dalam kondisi tertentu mampu meningkatkan produktivitas perairan secara kuantitatif, namun bersifat semu akibat penurunan oksigen terlarut, gangguan rantai makanan, dan meningkatnya risiko toksisitas bagi organisme perairan. Kebaruan kajian ini terletak pada sintesis hubungan antara faktor pemicu HAB dan implikasinya terhadap produktivitas perairan dalam satu kerangka analisis terintegrasi di Laut Jawa. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan kesuburan perairan tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan produktivitas perairan, sehingga pengelolaan nutrisi dan aktivitas pesisir menjadi kunci keberlanjutan ekosistem Laut Jawa.

Kata kunci: Bahan organik, eutrofikasi, fitoplankton, *Harmful Algal Bloom*, produktivitas perairan,

Abstract

Harmful Algal Bloom (HAB) is an ecological phenomenon that has been increasingly occurring in the Java Sea and has the potential to significantly affect marine productivity. However, studies that integrate multiple HAB triggering factors and their impacts on marine productivity in the Java Sea remain limited and largely fragmented. This study aims to analyze the influence of HAB on marine productivity in the Java Sea through a literature review approach. A total of 20 scientific articles published between 2015 and 2025 were analyzed, consisting of 6 primary articles and 14 supporting articles, with the main focus on coastal areas of the Java Sea. The review results indicate that the primary drivers of HAB occurrence in the Java Sea include increased nutrient concentrations (nitrate and phosphate), changes in oceanographic conditions (temperature, salinity, and current dynamics), and anthropogenic pressures in coastal regions. Dominant HAB-forming phytoplankton species were reported from the *Dinoflagellata* and *Bacillariophyceae* groups, which under certain conditions may quantitatively enhance marine productivity; however, this increase is considered pseudo-productivity due



to subsequent declines in dissolved oxygen, disruption of food web structures, and elevated risks of toxicity to aquatic organisms. The novelty of this study lies in the integrated synthesis of the relationship between HAB drivers and their implications for marine productivity within the Java Sea. These findings emphasize that increased water fertility does not necessarily correspond to enhanced marine productivity, highlighting the importance of nutrient and coastal activity management to ensure the sustainability of the Java Sea ecosystem.

Keywords: Organic matter, eutrophication, fitoplankton, harmful Algal Bloom, aquatic productivity

PENDAHULUAN

Produktivitas perairan merupakan laju penangkapan atau penyimpanan energi matahari oleh komunitas autotrof dalam suatu ekosistem akuatik. Secara umum, produktivitas terbagi menjadi produktivitas primer dan produktivitas sekunder. Produktivitas primer merujuk pada jumlah bahan organik yang dihasilkan organisme autotrof, yaitu organisme yang mampu mengubah bahan anorganik menjadi bahan organik dengan memanfaatkan energi cahaya melalui fotosintesis atau energi kimia melalui kemosintesis. Peran produktivitas primer sangat penting dalam ekosistem perairan karena menjadi dasar siklus karbon serta menjadi fondasi utama dalam pembentukan rantai makanan (Muhtadi, 2017).

Laut Jawa merupakan perairan yang dipengaruhi bagian daratan dan laut. Laut Jawa merupakan penghubung antara pulau-pulau besar yaitu pulau Kalimantan, Sumatera, Jawa, dan Sulawesi yang menyebabkan pengaruh besar daratan ke perairan laut Jawa. Akibat letaknya yang beradada di tengah perairan Indonesia, Laut Jawa cenderung menjadi tempat terjadinya pencampuran massa air laut. Tingginya konsentrasi nutrisi di perairan dapat menyebabkan peningkatan fitoplankton dan memungkinkan terjadinya *Harmful Algal Bloom* (HAB). HAB diakibatkan dari konsentrasi zat hara pada suatu perairan mengalami peningkatan kemudian terjadi eutrofikasi. HAB memiliki dampak yang masif sehingga diperlukan pemahaman yang lebih lanjut (Suhanda *et al.*, 2024).

Harmful Algal Bloom (HAB) merupakan lonjakan populasi fitoplankton yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap ekosistem perairan, organisme laut, dan masyarakat pesisir. HAB diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu *toxin producer* (alga penghasil racun) dan *red tide maker* (alga penyebab perubahan warna perairan) (Hanifah *et al.*, 2023). Fenomena ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, terutama pengkayaan unsur hara di perairan, seperti nitrat dan fosfat, yang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan perairan dan memicu terjadinya HAB (Gurning *et al.*, 2020). Sebagian besar penelitian sebelumnya membahas HAB secara lokal dan parsial, sementara kajian tentang dampak HAB terhadap produktivitas perairan di Laut Jawa masih minim dan terbatas, oleh karena itu dibuatnya kajian sintesis ini dimaksudkan untuk mengetahui dampak produktivitas perairan di Laut Jawa apabila terjadi HAB berdasarkan literatur yang telah terindeks sebagai sumber informasi dan rujukan.

Pelimpahan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfor, dari sumber alami maupun aktivitas manusia menjadi pemicu utama eutrofikasi di perairan, yang pada gilirannya mendorong peningkatan produktivitas primer melalui ledakan pertumbuhan fitoplankton. Fosfat, sebagai nutrisi esensial, berfungsi sebagai indikator kunci kesuburan perairan karena secara langsung membatasi laju pertumbuhan fitoplankton; sumbernya meliputi erosi tanah, limbah hewan, dan dekomposisi tumbuhan, tetapi meningkat drastis akibat input limbah domestik, industri, serta praktik pertanian dan perkebunan yang kaya fosfat (Hamuna *et al.*, 2018). Kondisi eutrofik ini berpotensi memicu *Harmful Algal Blooms* (HAB) jika peningkatan nutrisi tidak seimbang dengan faktor pembatas lingkungan lainnya. Menurut Nirmalasari *et al.*, (2016), faktor musiman turut berperan, di mana musim hujan cenderung menurunkan konsentrasi nutrisi dan kepadatan fitoplankton karena kekeruhan tinggi, penetrasi cahaya rendah, serta suhu dan salinitas yang lebih rendah dibandingkan musim kemarau, sehingga interaksi antara alga dan nutrisi menjadi kurang optimal.

Fenomena *Harmful Algal Bloom* (HAB) merupakan salah satu ancaman ekologis utama di perairan pesisir Indonesia, termasuk Laut Jawa. Menurut Sachoemar *et al.*, (2025) kejadian ini sering muncul akibat tekanan lingkungan yang tinggi, terutama dari aktivitas antropogenik, eutrofikasi, dan perubahan dinamika oseanografi. Spesies berpotensi toksik seperti *Noctiluca scintillans*, *Trichodesmium erythraeum*, *Pseudo-nitzschia*, serta berbagai dinoflagellata telah dilaporkan mendominasi beberapa wilayah Laut Jawa. *Blooming* tersebut berkaitan erat dengan fluktuasi musim, peningkatan nutrisi, serta perubahan kondisi fisik-kimia perairan. Penelitian menunjukkan bahwa masukan nutrisi yang tinggi dari daratan, degradasi habitat pesisir, dan peningkatan suhu permukaan laut dapat memperkuat peluang terjadinya HAB yang berdampak pada ekosistem dan kegiatan perikanan. Fenomena HAB dapat terjadi di berbagai belahan laut di dunia termasuk salah satunya di perairan Laut Jawa (Sachoemar *et al.*, 2025).

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh *Harmful Algal Bloom* (HAB) terhadap tingkat produktivitas perairan di Laut Jawa. Tujuan khusus penelitian ini berupaya mengidentifikasi keterkaitan antara hasil limpasan daratan dengan intensitas kemunculan HAB dan mengevaluasi implikasi ekologis yang ditimbulkan. Melalui kajian tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran ilmiah mengenai pentingnya pengendalian limpasan nutrisi dalam upaya mengurangi risiko terjadinya HAB di perairan pesisir.

METODE PENELITIAN

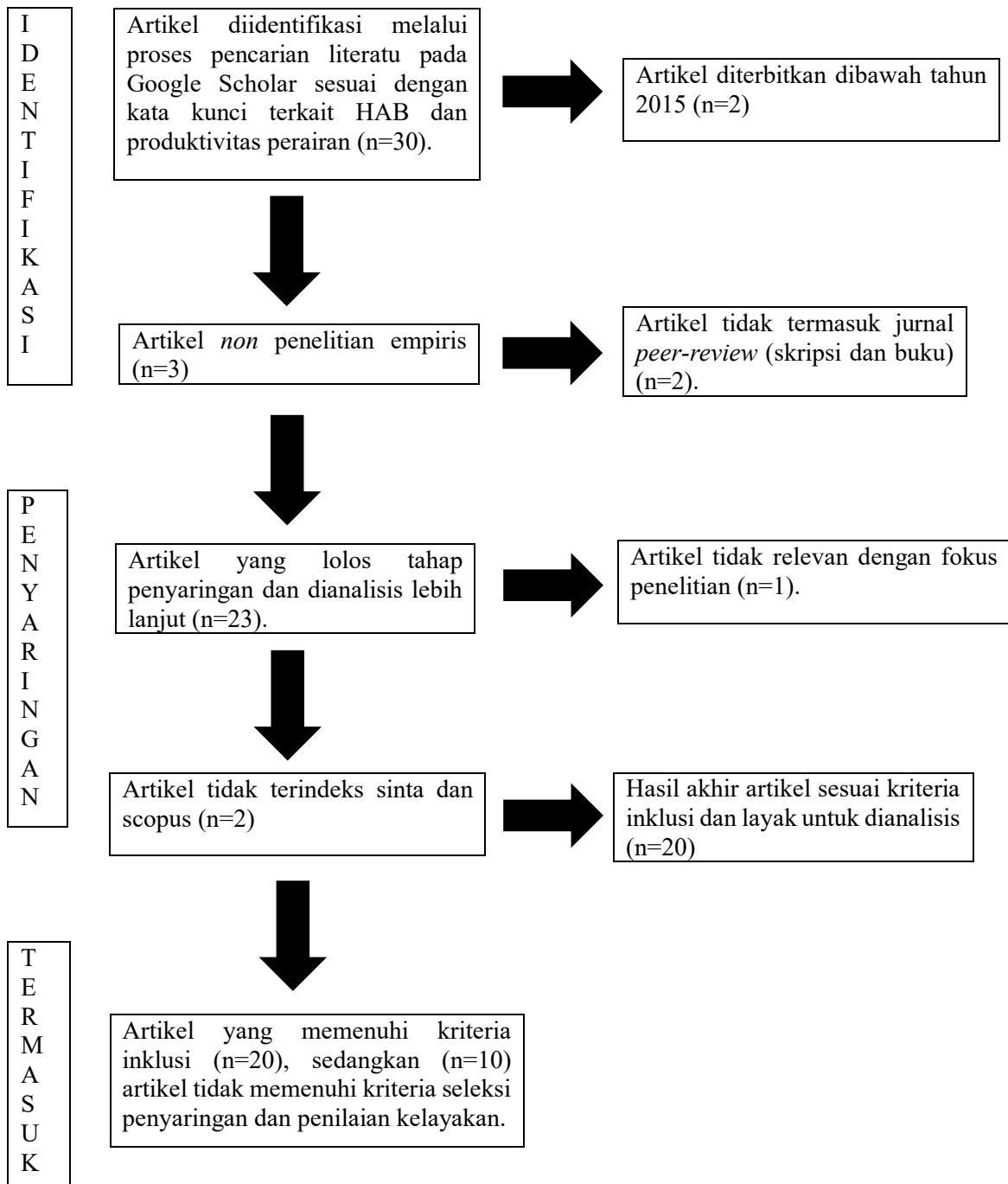
Artikel ini dibuat menggunakan metode *systematic literature review* untuk mengkaji Pengaruh *Harmful Algal Bloom* (HAB) terhadap Produktivitas Perairan di Laut Jawa dengan mengacu pada kriteria PRISMA (2020). Artikel yang dipakai berupa artikel dari penelitian terdahulu yang sesuai dengan tema dan judul yang di ambil yaitu tentang *harmful algal bloom* dan dampaknya bagi produktivitas di laut jawa. Artikel pendukung lain yang masuk dalam cakupan tema seperti artikel yang

membahas tentang faktor-faktor yang menyebabkan HAB di laut jawa juga di ambil untuk di review dan dijadikan sebagai referensi pendukung atau perbandingan antar studi terkait. metode systematic literatur review ini dilaksanakan melalui lima tahapan utama, yaitu: (1) merumuskan pertanyaan penelitian dan tujuan secara jelas dan terarah, (2) mengidentifikasi serta menelusuri artikel yang relevan sesuai dengan tujuan dan pertanyaan penelitian yaitu bagaimana dampak HAB pada produktivitas perairan di laut jawa ? (3) menerapkan kriteria inklusi dan eksklusi untuk menyeleksi serta mengevaluasi artikel yang telah dikumpulkan, (4) menyajikan dan menganalisis data yang diperoleh, serta (5) menafsirkan temuan-temuan dari artikel yang dikaji hingga akhirnya menghasilkan kesimpulan penelitian (Alifah *et al.*, 2023). Adapun kriteria inklusi dan eksklusi artikel yang di ambil di tampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. kriteria inklusi dan eksklusi

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Artikel diterbitkan antara tahun 2015-2025	Artikel diterbitkan sebelum tahun 2015
Artikel berupa penelitian empiris	Artikel berupa penelitian non empiris
Artikel berupa peer review jurnal	Artikel berupa non peer review jurnal
Jurnal minimal terindeks sinta 6 untuk jurnal nasional, bagi jurnal internasional minimal terindeks scopus Q4	Jurnal tidak terindeks sinta maupun scopus
Jurnal ditulis dalam bahasa inggris atau bahasa indonesia	Jurnal tidak ditulis dalam bahasa inggris maupun bahasa indonesia
Sesuai tema, topik, dan judul artikel yang akan di buat	Tidak sesuai tema, topik, dan judul artikel yang akan di buat

Proses pencarian artikel dilakukan pada tanggal 15 November 2025 sampai dengan 20 Novembar 2025 dengan kata kunci berupa *Harmful Algal Bloom*, bahan organik, produktivitas perairan, dan eutrofikasi di *website* google scholar dengan menggunakan alat berupa laptop dan handphone, pencarian dilakukan dengan cara mencari satu persatu artikel secara manual di *website* Google Scholar yang memenuhi tema dengan satu per satu kata kunci tersebut, kemudian artikel yang di temukan akan dipilah terlebih dahulu sesuai dengan kriteria eksklusi dan inklusi yang ada dalam tabel 1. Total artikel yang di dapat sebanyak 30 artikel yang kemudian dilakukan *screening* sesuai dengan tabel 1. kriteria inklusi dan eksklusi, dan di dapat hasil akhir sebanyak 20 artikel yang sesuai dengan kriteria tersebut, proses screening tercantum dalam gambar 1. Langkah selanjutnya dari ke 20 artikel tersebut terdapat 6 artikel utama dan 14 artikel pendukung sebagai bahan perbandingan atau persamaan yang akan dikaji, direview, dan di analisis secara naratif dan mendalam sesuai dengan tema yaitu tentang *harmful algal bloom* (HAB) meliputi faktor penyebab dan dampaknya bagi produktifitas perairan. Pemilihan artikel dengan batas indeksasi SINTA 6 dan Scopus Q4 ditujukan untuk memastikan bahwa artikel yang di review merupakan artikel yang telah melewati proses *peer review* yang ketat dan hasilnya dapat di pertanggungjawabkan.



Gambar 1. Identifikasi dan Screening artikel (keterangan (n) dalam artian total)

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Potensi jenis fitoplankton yang dapat menyebabkan HAB

Harmful Algal Bloom (HAB) adalah fenomena yang sering terjadi di perairan laut ketika ketersediaan nutrisi meningkat secara berlebihan. Secara sederhana, HAB merupakan kondisi di mana

jumlah fitoplankton tumbuh sangat cepat hingga mencapai tingkat yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, membahayakan organisme laut, dan bahkan menimbulkan dampak bagi masyarakat yang tinggal di kawasan pesisir. *Blooming* alga dalam suatu perairan dapat diketahui dengan menghitung kelimpahannya, berdasarkan kategorinya dibagi menjadi 3 yaitu oligotrofik (kelimpahan < 2000 ind/L) kesuburan perairan rendah, mesotrofik (kelimpahan 2000 - 15.000 ind/L) keaburan perairan sedang, dan eutrofik (kelimpahan > 15.000 ind/L) kesuburan perairan tinggi (Gurning *et al.*, 2020). Informasi tentang keberadaan fitoplankton pemicu HAB di suatu perairan menjadi sangat penting, terutama karena banyak masyarakat yang menggantungkan hidupnya pada sumber daya laut. Memahami struktur komunitas serta mengukur potensi jenis-jenis fitoplankton yang dapat menyebabkan HAB diperlukan untuk mencegah berbagai dampak yang mungkin muncul. Upaya ini membantu mengurangi risiko kerugian ekologis dan ekonomis yang dapat dirasakan oleh komunitas pesisir (Ramili *et al.*, 2023).

Table 2. Kelimpahan Fitoplankton Penyebab HAB yang telah di Identifikasi di perairan Desa Bedono, Demak (Gurning *et al.*, 2020)

Kelas	Genus	Stasiun			Total
		1	2	3	
Bacillariophyceae	<i>Nitzschia</i>	185	397	806	1388
	<i>Skeletonema</i>	674	449	767	1890
	<i>Pseudo Nitzschia</i>	26	40	344	410
	<i>Thalassiosira</i>	198	145	145	488
	<i>Chaetoceros</i>	106	40	185	331
	<i>Dinophysis</i>	26	0	383	409
Dinophyceae	<i>Protoperidinium</i>	106	185	132	423
	<i>Ceratium</i>	172	317	344	833
	<i>Peridinium</i>	0	0	172	172
	Total	1493	1573	3278	-

Berdasarkan hasil penelitian Gurning *et al.*, (2020) menemukan bahwa terdapat sembilan genus fitoplankton dari dua kelas, yaitu Bacillariophyceae dan Dinophyceae, yang berpotensi memicu *Harmful Algal Bloom* (HAB) di perairan Desa Bedono, demak yang merupakan salah satu perairan yang masuk ke dalam kategori laut jawa. Genus yang paling mendominasi adalah *Skeletonema* dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 1890 ind/L, yang meski tidak beracun, bisa menyebabkan ikan mati massal karena menyumbat insang dan menurunkan kadar oksigen saat populasinya melonjak. Setelah itu, genus *Nitzschia* dengan tingkat kelimpahan 1388 ind/L dan *Pseudo-nitzschia* dengan kelimpahan 410 ind/L menjadi perhatian karena genus tersebut dapat menghasilkan asam domoat, racun berbahaya yang dapat terakumulasi pada kerang dan berdampak pada kesehatan manusia maupun biota laut. Genus lain seperti *Ceratium*, *Dinophysis*, dan *Peridinium* dapat menimbulkan *red tide* atau menghasilkan toksin yang dapat mengganggu organisme laut, sedangkan *Chaetoceros*, *Thalassiosira*, dan *Protoperidinium* meski

tidak semuanya beracun, tetap dapat menciptakan tekanan ekologis jika tumbuh terlalu cepat. Secara keseluruhan kelimpahan fitoplankton penyebab HAB di perairan desa bedono, Demak paling tinggi terdapat pada stasiun 3 dengan kelimpahan mencapai 3.278 ind/L, hasil tersebut dapat dikategorikan belum mengalami blooming algae dikarenakan kepadatannya belum mencapai 10^6 ind/L (Gurning *et al.*, 2020).

Penelitian di pesisir perairan Pantai Gapang, Sabang Provinsi Aceh menegaskan bahwa *influx* nutrisi dari daratan melalui aktivitas tambak, aliran sungai, dan limpasan pemukiman merupakan pendorong utama peningkatan produktivitas fitoplankton serta risiko *bloom*, khususnya di area dengan tekanan antropogenik intensif, kajian tersebut mendukung pernyataan bahwa produktivitas perairan pesisir sangat di pengaruhi oleh berbagai faktor yang salah satunya adalah limpasan nutrient dari daratan dan aktivitas industri tidak terkecuali di perairan Laut Jawa (Kurniandra & Kazina, 2017). Walaupun data *Total Suspended Solid* (TSS) di Bedono tidak disebutkan secara rinci, studi di pesisir lain menunjukkan bahwa kenaikan TSS sering berkorelasi dengan lonjakan klorofil-a, terutama di dekat saluran pembuangan tambak dan muara sungai. Pola ini menggarisbawahi bagaimana limpasan kaya sedimen dan nutrisi mempercepat proliferasi fitoplankton, termasuk genus oportunistik penyebab HAB. Kehadiran genus *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia*, *Ceratium*, dan *Dinophysis* di Bedono menandakan tekanan eutrofik dini, selaras dengan kondisi pesisir yang terpapar input nutrisi dari budidaya. Peningkatan nitrat dan fosfat dari daratan menyediakan substrat nutrisi yang cukup untuk genus-genus ini, meski kelimpahannya masih rendah. Secara keseluruhan, dinamika di perairan Laut Jawa ini menandakan bahwa kawasan pesisir berlimpasan tinggi rentan memasuki fase produktivitas primer yang labil, berpotensi eskalasi menjadi HAB jika kondisi fisika air mendukung.

Tabel 3. Komposisi, kisaran kelimpahan, dan jumlah stasiun perolehan fitoplankton pada kawasan tambak di lokasi penelitian (Tarunamulia *et al.*, 2016).

Jenis fitoplankton (<i>Type of phytoplankton</i>)	Kelimpahan (sel/L) (<i>Density</i>)		Jumlah stasiun perolehan (<i>Total of observed station</i>)
	Total individu (<i>Total individual</i>)	Kisaran (<i>Range</i>)	
Kelas/ <i>Class</i> : Bacillariophyceae			
<i>Chaetoceros</i> sp.	62	0–32	8
<i>Gyrosigma</i> sp.	97	29–90	4
<i>Navicula</i> sp.	89	0–20	8
<i>Nitzschia</i> sp.	153	0–15	8
<i>Pleurosigma</i> sp.	66	0–26	4
Kelas/ <i>Class</i> : Dinophyceae			
<i>Ceratium</i> sp.	11	0–11	1

<i>Gymnodinium</i> sp.	11	0–10	1
<i>Prorocentrum</i> sp.	508	0–69	21
<i>Protoperidinium</i> sp.	71	0–21	6
Kelas/Class: Trebouxiophyceae			
<i>Chlorella</i> sp.	304	0–108	7
Kelas/Class: Mediophyceae			
<i>Clamidocum</i> sp.	10	0–10	1
<i>Lauderia</i> sp.	10	0–10	1
<i>L. leptonyxicus</i> sp.	10	0–10	1
<i>Streptotheca</i> sp.	10	0–10	1
<i>Thalassiosira</i> sp.	10	0–10	1
Kelas/Class: Cryptophyceae			
<i>Cryptomonas</i> sp.	432	0–70	15
Kelas/Class: Coscinodiscophyceae			
<i>Coscinodiscus</i> sp.	291	0–73	14
<i>Dactyliosolen</i> sp.	10	0–10	1
<i>Melosira</i> sp.	124	0–88	10
Kelas/Class: Fragilariophyceae			
<i>Fragilaria</i> sp.	36	0–10	7
Kelas/Class: Cyanophyceae			
<i>Lyngbya</i> sp.	50	0–20	4
<i>Oscillatoria</i> sp.	455	0–46	20
<i>Synechocystis</i> sp.	214	0–59	9

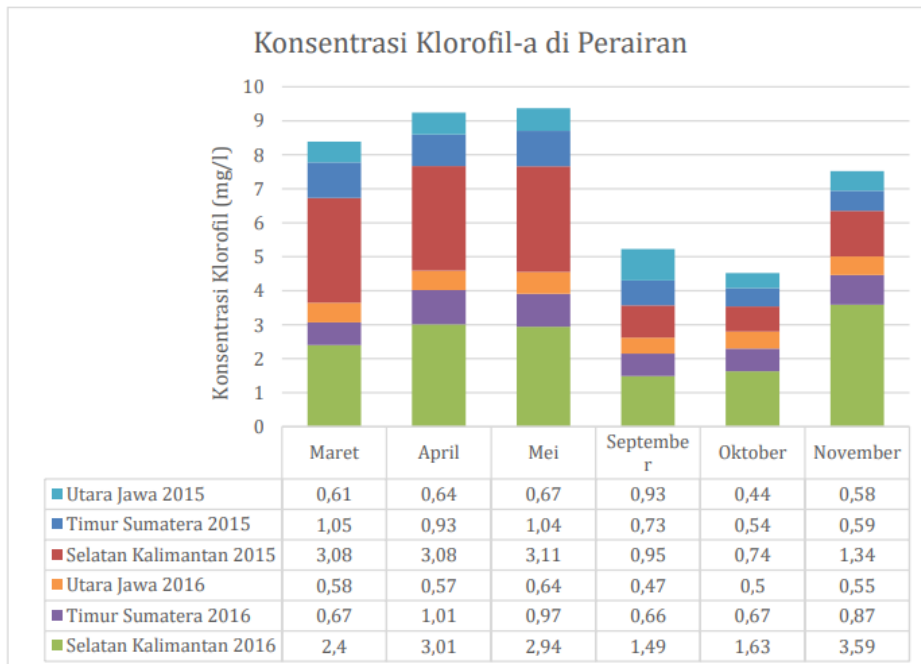
Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Tarunamulia *et al.*, 2016) menunjukkan bahwa kondisi fitoplankton pada kawasan tambak yang diamati berada pada kategori kelimpahan rendah (tidak terjadi *blooming* alga) dikarenakan jumlah setiap individunya tidak lebih dari 2000 ind/L dan nilai tertinggi secara keseluruhan mencapai 508 sel/L pada *Prorocentrum* sp., sedangkan *Oscillatoria* sp. menjadi spesies dengan frekuensi kehadiran terbesar karena ditemukan pada 45 stasiun pengamatan. Komposisi fitoplankton tersusun atas delapan kelas utama dengan kelompok Bacillariophyceae, Mediophyceae, Coscinodiscophyceae, dan Fragilariophyceae sebagai kelompok yang paling banyak diwakili, sementara kelas lain muncul dalam jumlah yang lebih sedikit, mencerminkan bahwa tidak semua kelompok fitoplankton mampu beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang ada. Rendahnya kelimpahan dan terbatasnya kemunculan beberapa kelas diduga kuat dipengaruhi oleh berkurangnya vegetasi mangrove

di sekitar kawasan tambak yang menyebabkan penurunan suplai bahan organik serta berkurangnya kemampuan perairan dalam mempertahankan kesuburan alami. Selain itu, penggunaan bahan kimia seperti pestisida, aktivitas pemupukan yang tidak teratur, serta kemungkinan adanya tekanan lingkungan seperti intensitas cahaya rendah, fluktuasi oksigen terlarut, dan perubahan kualitas perairan turut memengaruhi rendahnya produktivitas fitoplankton. Kondisi lingkungan yang tidak stabil ini membuat beberapa spesies hanya mampu muncul secara sporadis atau dalam jumlah kecil, sementara spesies yang memiliki toleransi tinggi seperti dari kelas Cyanophyceae dapat berkembang lebih luas. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menggambarkan bahwa perairan tambak yang dikaji memiliki tingkat produktivitas primer yang rendah dan berada dalam kondisi yang kurang mendukung perkembangan fitoplankton, sehingga dapat dijadikan indikator penting dalam menganalisis degradasi habitat, kualitas lingkungan, serta efektivitas pengelolaan ekosistem tambak di wilayah tersebut.

Hasil tersebut sejalan dengan temuan pada penelitian lain, tentang kajian struktur komunitas fitoplankton di perairan Timur Surabaya, yang menunjukkan bahwa komposisi dan kelimpahan fitoplankton sangat bergantung pada ketersediaan zat hara serta stabilitas parameter kualitas air. Studi pada Putri & Sari (2015) menemukan bahwa tingginya konsentrasi nitrat, fosfat, dan silikat di wilayah pesisir yang menerima tekanan antropogenik dapat meningkatkan kelimpahan beberapa kelompok fitoplankton tertentu, terutama dari kelas Bacillariophyceae, namun sekaligus menyebabkan penurunan keanekaragaman apabila kondisi fisik-kimia perairan tidak seimbang. Pola ini menegaskan bahwa keberhasilan komunitas fitoplankton dipengaruhi oleh kombinasi faktor nutrisi, kekeruhan, dan dinamika perairan, di mana lingkungan yang mengalami gangguan atau kekurangan suplai bahan organik, seperti pada tambak dengan vegetasi mangrove yang menurun akan cenderung menghasilkan produktivitas primer yang rendah. Dengan demikian, hasil penelitian di Timur Surabaya memperkuat interpretasi bahwa rendahnya kelimpahan fitoplankton pada kawasan tambak yang diteliti oleh Tarunamulia *et al.* (2016) tidak hanya mencerminkan kondisi lokal, tetapi juga merupakan respon ekologis terhadap keterbatasan nutrisi, tekanan lingkungan, serta degradasi habitat yang umum terjadi pada ekosistem pesisir yang mengalami perubahan tata guna lahan.

b. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan HAB

Wilayah pesisir, terutama area di sekitar muara sungai, menjadi tempat berkumpulnya aliran sungai yang membawa berbagai jenis limbah dari daratan, seperti limbah rumah tangga, industri, pertanian, hingga peternakan. Masukan limbah tersebut membentuk karakter fisik dan kimia perairan yang khas, termasuk meningkatkan kadar nutrisi seperti nitrat dan fosfat. Kedua unsur ini yaitu nitrat dan fosfat menurut Junaidi (2017) dalam Hanifah *et al.*, (2023), merupakan nutrisi penting bagi pertumbuhan fitoplankton. Keberadaan nutrisi tersebut apabila konsentrasinya berlebihan dapat menyebabkan pertumbuhan fitoplankton melonjak drastis dan tidak terkendali, sehingga berpotensi mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Kondisi inilah yang dikenal sebagai *Harmful Algal Bloom* (HAB).



Gambar 2. Grafik Konsentrasi Klorofil a Bulanan, pada Musim Peralihan I dan II pada Tahun 2015 dan 2016 di Perairan Laut Jawa (Suhanda *et al.*, 2024)

Fenomena *Harmful Algal Bloom* (HAB) di Laut Jawa memperlihatkan dinamika yang erat kaitannya dengan kondisi oseanografi, musim, dan masukan nutrisi dari daratan. Berdasarkan penelitian Suhanda *et al.*, (2024) mengatakan bahwa proses terbentuknya HAB tidak terjadi secara tiba-tiba, tetapi merupakan hasil interaksi antara curah hujan, pola arus laut, serta konsentrasi klorofil-a sebagai indikator produktivitas primer. Laut Jawa merupakan perairan yang tertutup, dan menerima banyak aliran sungai, sehingga memungkinkan menerima masukan nutrisi dari berbagai limpasan yang tinggi dan menjadi penyebab utama ledakan populasi fitoplankton berbahaya. Curah hujan yang tinggi akan menyebabkan proses *surface run off* dari daratan yang membawa banyak limpasan nutrisi menuju sungai dan sungai akan membawa limpasan tinggi nutrisi tersebut menuju laut yang dapat mempengaruhi kadar klorofil a di perairan dan berpotensi menyebabkan *blooming* alga. Musim peralihan I, intensitas hujan yang tinggi menyebabkan meningkatnya *run-off* dari daratan ke perairan pesisir. Aliran sungai membawa limpasan nutrisi, terutama nitrogen dan fosfat, yang kemudian menjadi “bahan bakar” bagi pertumbuhan fitoplankton, pernyataan tersebut juga didukung oleh Octavianna *et al.*,(2025) yang menyatakan bahwa Konsentrasi klorofil-a di perairan lepas lebih kecil daripada konsentrasi klorofil-a di pesisir. Hal itu disebabkan karena terdapat faktor lain yang lebih mempengaruhi konsentrasi klorofil-a di perairan lepas. Perairan pesisir terkena limpasan air dari daratan yang kaya akan nutrisi dan material mengalir dari sungai bermuara ke pesisir pantai. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Kunarso *et al.*, (2019) juga menyebutkan bahwa curah hujan akan meningkatkan *run-off* sungai yang mengandung nutrisi yang cukup tinggi. Semakin besar intensitas hujan yang terjadi maka akan lebih banyak air yang mengalir ke muara dan kemungkinan akan semakin membawa lebih banyak unsur hara dan nutrisi dari kawasan darat. Hal ini terlihat dari konsistennya peningkatan klorofil-a di selatan

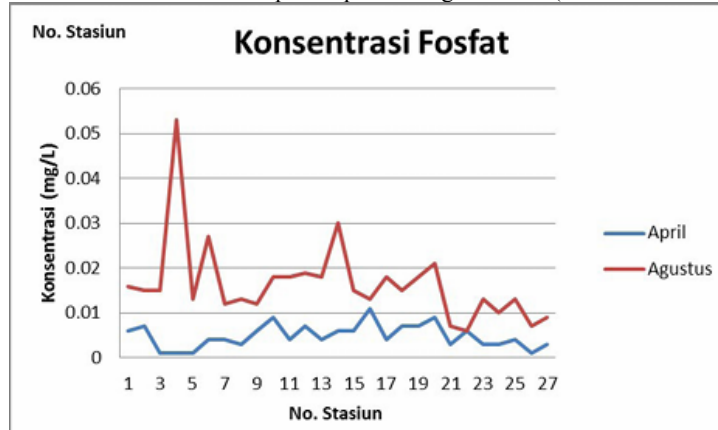
Kalimantan, utara Jawa, dan timur Sumatra pada periode Maret–Mei 2015–2016. Ketika suplai nutrisi meningkat, klorofil-a sebagai indikator kesuburan perairan juga naik sehingga potensi terjadinya HAB menjadi lebih besar. Sebaliknya, pada musim peralihan II ketika curah hujan dan input nutrisi menurun, intensitas HAB cenderung fluktuatif (Suhanda *et al.*, 2024).

Faktor kedua yang mendapat perhatian besar adalah pola arus laut, yang secara langsung mempengaruhi distribusi spasial HAB. Saat musim peralihan, perubahan arah angin monsun menyebabkan terjadinya pencampuran massa air yang cukup kuat, pernyataan tersebut juga didukung oleh penelitian Haryanto *et al.*, (2020) yang menyatakan bahwa pola angin monsun di Laut Jawa dipengaruhi oleh daratan Asia dan Australia. Pada saat Asia musim dingin angin dominan dari Asia sehingga dapat dikatakan monsun barat laut atau angin baratan yang membawa banyak uap air sehingga wilayah Laut Jawa mengalami musim hujan. Sebaliknya pada saat Australia musim dingin angin bertiup dari Australia yang disebut monsun tenggara atau angin timuran yang membawa sedikit uap air sehingga Laut Jawa mengalami musim kemarau. Hal tersebut menyebabkan arus di kawasan selatan Kalimantan, misalnya, bergerak membawa massa air kaya nutrisi ke arah selatan sehingga membentuk akumulasi klorofil-a yang mencapai nilai puncak. Arus juga menentukan ke mana koloni fitoplankton terbawa, sehingga area pesisir yang menerima banyak input sungai seperti Teluk Jakarta, Laut Jawa bagian utara, dan Selat Madura menjadi *hotspot* kemunculan HAB (Suhanda *et al.*, 2024).

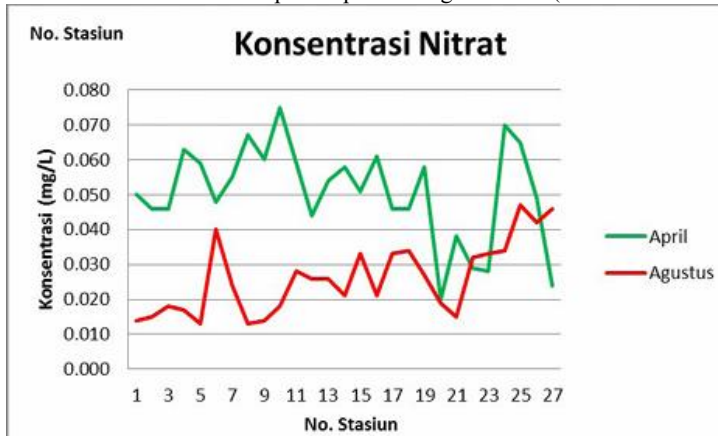
Penelitian lain yang menggambarkan kondisi perairan di Laut Jawa yaitu perairan di pulau Bintan yang penting untuk diketahui karena berkaitan dengan kehidupan biota laut. Salah satunya dengan mengetahui kandungan parameter kimia nutrisi yaitu nitrat, fosfat dan silikat. Nutrisi tersebut berperan dalam produktivitas primer laut, siklus nutrisi, dan jaring makanan (Mohamed & Amil, 2015). Selain itu, nitrogen (N), fosfor (P) dan silikon (Si) merupakan elemen biogenik yang menentukan geokimia karakteristik laut dan khususnya derajat eutrofikasi (Li *et al.*, 2015). Pertumbuhan populasi manusia telah menyebabkan perubahan ekosistem seperti pembukaan lahan pertanian dan aktivitas domestik pemukiman sehingga akan berdampak pada siklus biogeokimia karbon, nitrogen dan fosfor. Kelebihan N yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman di daerah pertanian dapat mengakibatkan beberapa kemungkinan yaitu N tersebut terakumulasi dalam tanah, bergerak dari daratan ke permukaan perairan, bermigrasi ke air tanah atau memasuki atmosfer melalui penguapan amonia dan produksi nitro oksida. Kegiatan manusia juga berdampak pada penambahan fosfor. Sejumlah besar P ditambang dan dibuat untuk bahan pupuk. Kelebihan P yang tidak diserap oleh tumbuhan ini akhirnya terakumulasi di dalam tanah. Pemantauan konsentrasi nutrisi menjadi penting untuk menilai tingkat kesuburan perairan serta potensi terjadinya pengayaan unsur hara atau eutrofikasi. Penelitian ini penting untuk menggambarkan bagaimana dinamika nutrisi memengaruhi kesuburan perairan Pulau Bintan (Meirinawati & Muchtar, 2017).



Gambar 3. Grafik Konsentrasi Silikat pada April dan Agustus 2014 (Meirinawati & Muchtar, 2017).



Gambar 4. Grafik Konsentrasi Fosfat pada April dan Agustus 2014 (Meirinawati & Muchtar, 2017).



Gambar 5. Grafik Konsentrasi Nitrat pada April dan Agustus 2014 (Meirinawati & Muchtar, 2017).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Meirinawati & Muchtaryan, 2017) menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat dan silikat pada April lebih tinggi dibandingkan Agustus, fosfat mengalami kenaikan pada Agustus mencerminkan pengaruh dinamika musiman dan limpasan daratan terhadap ketersediaan unsur hara di perairan. April, nitrat (0,051 mg/L) dan silikat (0,266 mg/L) lebih tinggi kemungkinan berasal dari peningkatan masukan nutrisi melalui aliran permukaan selama musim hujan, serta proses pelapukan batuan yang intens di wilayah pesisir. Tingginya konsentrasi silikat disebabkan oleh kontribusi nutrisi dari ekosistem itu sendiri, yang berfungsi sebagai perangkap alami bagi sedimen

dan nutrisi (Astuti *et al.*, 2024). Masukan dari sungai memiliki peran penting (Gunady *et al.*, 2025) menyatakan bahwa perairan pesisir dan muara memiliki konsentrasi silikat yang lebih tinggi karena pengangkutan sedimen dari daratan. Agustus nilai nitrat (0,026 mg/L) dan silikat (0,057 mg/L) menurun karena minimnya limpasan dan meningkatnya pemanfaatan oleh fitoplankton. Fosfat meningkat dari 0,005 mg/L menjadi 0,016 mg/L pada Agustus, mengindikasikan bahwa pemanfaatannya oleh organisme lebih rendah atau adanya peningkatan masukan antropogenik seperti limbah domestik. Dari hasil pengamatan konsentrasi nitrat, fosfat, dan silikat di perairan Bintan dapat dilihat bahwa konsentrasi nitrat, fosfat, dan nitrat di perairan Bintan pada pengamatan April dan Agustus berfluktuasi. Tinggi tendahnya konsentrasi nitrat, fosfat, dan silikat di perairan ini selain tergantung pada keadaan sekelilingnya, seperti adanya pengaruh daratan yang menyumbangkan buangan-buangan organik yang berasal dari limbah pertanian, industri, dan rumah tangga melalui sungai yang mengalir ke perairan tersebut. Konsentrasi nitrat dan silikat yang tinggi pada bulan April menunjukkan peningkatan nutrisi yang mendukung produktivitas primer, peningkatan fosfat pada Agustus menunjukkan adanya tekanan antropogenik seperti limpasan domestik (Meirinawati & Muchtaryan, 2017).

c. Dampak yang ditimbulkan akibat pengkayaan unsur hara dan HAB

Peningkatan populasi fitoplankton secara berlebihan (*algae bloom*) dapat terjadi karena kondisi lingkungan perairan yang mendukung. Ledakan populasi fitoplankton yang diikuti dengan keberadaan beberapa jenis fitoplankton beracun akan menyebabkan ledakan populasi alga berbahaya (*Harmful Alga Bloom*) (Mulyani *et al.*, 2012 dalam Tungka *et al.*, 2016). Adanya fitoplankton beracun dapat membahayakan kehidupan organisme perairan. Racun yang terdapat di jaringan tubuh fitoplankton HAB dapat terakumulasi dalam tubuh ikan, kerang, dan udang. Keberadaan toksik dalam organisme tersebut mungkin tidak mematikan organisme tersebut, namun jika dikonsumsi oleh manusia akan menimbulkan gangguan kesehatan atau bahkan kematian.

Tabel 4. *Temporal change in the area (km²) of each eutrophication status in Jakarta Bay, 2001–2019* (Damar *et al.*, 2020).

Eutrophication Status	2001	2007	2013	2017	2018	2019
<i>Hyper-eutrophic</i>	75.1	73.14	83.33	87.58	92.64	114
<i>Eutrophic</i>	186.21	188.76	214.66	235.39	207.08	211.73
<i>Mesotrophic</i>	210.69	210.1	174.01	149.03	172.28	146.27

Perubahan status trofik perairan di Teluk Jakarta selama periode 2001–2019 menunjukkan peningkatan signifikan pada area *hyper-eutrophic* dari 75,1 km² menjadi 114 km², disertai meluasnya area *eutrophic* dan menyusutnya area *mesotrophic*. Pola ini mencerminkan peningkatan beban nutrisi yang ada di wilayah pesisir Laut Jawa, khususnya pada zona yang menerima limpasan darat dari DAS besar dan aktivitas antropogenik intensif (Damar *et al.*, 2020). Secara fungsional, kondisi tersebut

merupakan prasyarat utama terjadinya *Harmful Algal Bloom (HAB)*. Dalam konteks produktivitas perairan Laut Jawa, peningkatan status *hyper-eutrophic* berkaitan dengan meningkatnya produktivitas primer yang ditunjukkan oleh tingginya biomassa fitoplankton dan konsentrasi klorofil-a. Produktivitas yang tinggi ini tidak selalu bersifat menguntungkan secara ekologis. Dominasi fitoplankton tertentu yang berasosiasi dengan *HAB* justru dapat menurunkan kualitas produktivitas ekosistem melalui ketidakseimbangan struktur komunitas dan gangguan pada tingkat trofik yang lebih tinggi. Sejalan dengan temuan Suhandha *et al.* (2024) yang melaporkan bahwa wilayah pesisir Laut Jawa dengan suplai nutrisi tinggi mengalami peningkatan frekuensi *HAB*, terutama pada musim hujan, disertai fluktuasi tajam produktivitas biologis. Area *eutrophic* di Teluk Jakarta juga menunjukkan peningkatan yang menandakan ekspansi zona perairan dengan produktivitas primer tinggi tetapi rentan terhadap *blooming* alga berbahaya. Peningkatan nutrisi anorganik terlarut (DIN dan fosfat) mendorong pertumbuhan cepat fitoplankton oportunistik, termasuk spesies penyebab *HAB*. Kondisi ini berdampak ganda terhadap produktivitas yakni pada fase awal *blooming* produktivitas meningkat, namun pada fase setelah *blooming* terjadi penurunan oksigen terlarut yang dapat menekan produktivitas sekunder, khususnya zooplankton dan organisme benthik. Penurunan area *mesotrophic* dari 210,69 km² menjadi 146,27 km² mengindikasikan berkurangnya perairan dengan produktivitas yang relatif stabil dan seimbang. Hilangnya zona *mesotrophic* ini penting dalam perairan Laut Jawa karena perairan *mesotrophic* umumnya mendukung rantai makanan yang lebih efisien dan berkelanjutan. Pergeseran menuju kondisi *eutrophic* dan *hyper-eutrophic* memperbesar risiko dominasi *HAB*, yang akhirnya dapat menurunkan produktivitas perikanan meskipun produktivitas primer tampak meningkat. Ini mendukung konsep bahwa *HAB* di perairan Laut Jawa bukan hanya fenomena biologis, tetapi juga indikator perubahan fungsi ekosistem akibat eutrofikasi. Seperti dijelaskan oleh Damar *et al.* (2019), peningkatan beban nutrisi memang meningkatkan produktivitas primer, tetapi secara bersamaan menggeser struktur ekosistem menuju kondisi yang kurang stabil. Penelitian Dewi *et al.* (2018) juga menunjukkan bahwa perairan pesisir dengan sirkulasi lemah, seperti Teluk Jakarta, cenderung mengalami akumulasi biomassa fitoplankton berbahaya yang berdampak negatif terhadap produktivitas jangka panjang.

Tabel 5. Potensi dampak yang ditimbulkan dari spesies *HAB* (Choirun *et al.*, 2015)

Nama Spesies	Potensi dampak <i>HAB</i>
<i>Ceratium spp.</i>	<i>Hypoxia, anoxia</i>
<i>Dinophysis spp.</i>	<i>Diarrhetic Shellfish Poisoning (DSP)</i>
<i>Gonyaulax polygramma</i>	<i>Red tide</i> , menyebabkan efek osmoregulatorik biota
<i>Gonyaulax triacantha</i>	Efek hemolitik, hepatotoksik, osmoregulatorik <i>Red tide</i> , menghasilkan busa, lender dan zat allelopatik,
<i>Noctiluca scintillans</i>	<i>hypoxia</i> dan <i>anoxia</i>
<i>Peridinium claudicans</i>	<i>Red tide</i> , toksik pada biota, reduksi kualitas air
<i>Chaetoceros spp.</i>	Dampak mekanik pada insang ikan (pada pernapasan)
<i>Nitzschia sp.</i>	<i>Amnesic Shellfish Poisoning (ASP)</i>

Keberadaan spesies fitoplankton pemicu *Harmful Algal Bloom* (HAB) di Perairan Pesisir Brondong menunjukkan potensi dampak signifikan terhadap produktivitas perairan Laut Jawa, mengingat wilayah ini merupakan bagian dari sistem pesisir yang menerima limpasan nutrien tinggi dari daratan. Dominasi spesies HAB seperti *Ceratium* spp., *Gonyaulax* spp., dan *Noctiluca scintillans* dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut hingga kondisi hipoksia atau anoksia akibat peningkatan respirasi dan proses dekomposisi pasca-bloom, yang pada akhirnya menekan produktivitas perikanan melalui kematian organisme akuatik dan gangguan rantai makanan. Keberadaan *Dinophysis* spp. dan *Nitzschia* sp. berdampak langsung pada produktivitas ekonomi perairan Laut Jawa karena toksin yang dihasilkan dapat terakumulasi pada organisme filter feeder seperti kerang dan memicu *Diarrhetic Shellfish Poisoning* (DSP) serta *Amnesic Shellfish Poisoning* (ASP), sehingga menurunkan kelayakan konsumsi dan membatasi aktivitas pemanfaatan sumber daya perikanan. Fenomena blooming yang didominasi spesies HAB juga mencerminkan peningkatan produktivitas primer yang bersifat semu, karena meskipun biomassa fitoplankton meningkat, efisiensi transfer energi ke tingkat trofik lebih tinggi justru menurun akibat dominasi spesies toksik dan berbahaya. Dengan demikian, dinamika HAB di wilayah pesisir ini mempertegas bahwa peningkatan kesuburan perairan di Laut Jawa tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan produktivitas perikanan, melainkan dapat berujung pada degradasi kualitas perairan dan penurunan produktivitas secara ekologis maupun ekonomi (Choirun *et al.*, 2015).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa fenomena *Harmful Algal Bloom* (HAB) di perairan Laut Jawa sangat dipengaruhi oleh meningkatnya masukan nutrien, terutama nitrat dan fosfat, yang bersumber dari aktivitas pertanian, permukiman, industri, serta kegiatan tambak di wilayah pesisir. Limpasan nutrien tersebut memicu eutrofikasi yang selanjutnya mendorong pertumbuhan fitoplankton secara berlebihan, khususnya dari kelompok Dinoflagellata dan Bacillariophyceae. Intensitas dan persebaran HAB juga dipengaruhi oleh faktor musiman serta dinamika oseanografi yang mengatur pergerakan dan akumulasi massa air kaya nutrien. Meskipun kondisi ini dapat meningkatkan produktivitas perairan, peningkatan tersebut bersifat tidak berkelanjutan karena diikuti oleh penurunan kualitas perairan, berkurangnya oksigen terlarut, terganggunya rantai makanan, serta meningkatnya risiko toksisitas bagi biota dan manusia. Meluasnya wilayah eutrofik dan *hyper*-eutrofik di pesisir Laut Jawa menunjukkan adanya penurunan fungsi ekosistem yang berpotensi berdampak negatif terhadap produktivitas perairan dalam jangka panjang. Oleh sebab itu, upaya pengendalian limpasan nutrien, pengelolaan aktivitas pesisir, dan pemantauan kualitas perairan secara berkelanjutan menjadi langkah penting untuk meminimalkan risiko HAB dan menjaga kestabilan produktivitas perairan di Laut Jawa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Jenderal Soedirman yang telah memberikan dukungan serta fasilitas dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada dosen pembimbing kami yaitu Fajar Adiyanto, S.Pi.,M.Pi yang telah memberikan arahan, bimbingan dan bantuan selama proses penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alifah, H. N., Virgianti, U., Sarin, M. I. Z., Hasan, D. A., Fakhriyah, F., Ismaya, E. A. (2023). Systematic literature review: Pengaruh media pembelajaran digital pada pembelajaran tematik terhadap hasil belajar siswa SD. *Jurnal Ilmiah Dan Karya Mahasiswa*, 1(3), 103-115.
- Astuti, R. D., Muslim, M., & Ismanto, A. (2024). Sebaran Horizontal Silikat dan Hubungannya Dengan Klorofil-A Di Perairan Pesisir Pantai Tirang Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 357-367.
- Choirun, A., Sari, J., Hikmah, S., Iranawati, F. 2015. Identifikasi Fitoplankton Spesies Harmfull Algae Bloom (HAB) Saat Kondisi Pasang di Perairan Pesisir Brondong, Lamongan, Jawa Timur. *Jurnal Administrasi dan Kebijakan Kesehatan Indonesia*. 25(2): 106-193.
- Damar, A., Colijn, F., Hesse, K. J., Adrianto, L., Yonvitner, Fahrudin, A., Kurniawan, F., Prismayanti, A. D., Rahayu, S. M., Rudianto, B. Y., Ramli, A. 2020. Phytoplankton biomass dynamics in tropical coastal waters of jakarta bay, indonesia in the period between 2001 and 2019. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(9): 674.
- Damar, A., Hesse, K. J., Colijn, F., Vitner, Y. 2019. The eutrophication states of the Indonesian sea large marine ecosystem: Jakarta Bay, 2001–2013. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 163: 72-86.
- Dewi, R., Zainuri, M., Anggoro, S., Winanto, T., Endrawati, H. 2018. Potential harmful algal blooms (HABs) in segara anakan lagoon, Central Java, Indonesia. In E3S Web of Conferences (Vol. 47, p. 04010). EDP Sciences.
- Gunady, S. M., Ismunarti, D. H., & Muslim, M. (2025). Sebaran Konsentrasi Silikat dan Hubungannya Dengan Konsentrasi Klorofil-A pada Pantai Ujung Piring, Kabupaten Jepara. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(2), 190-200.
- Gurning, L. F. P., Nuraini, R. A. T., Suryono, S. 2020. Kelimpahan Fitoplankton Penyebab Harmful Algal Bloom di Perairan Desa Bedono, Demak. *Journal of Marine Research*. 9(3): 251-260.
- Hamuna, B., Tanjung, R. H., MAury, H. 2018. Kajian kualitas air laut dan indeks pencemaran berdasarkan parameter fisika-kimia di perairan Distrik Depapre, Jayapura.
- Hanifah, N., Nofrita, N., Nurdin, J. 2023. Sebaran Spasial Fitoplankton Penyebab Harmful Algal Blooms (HABs) pada Perairan Pesisir Kota Padang, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi UNAND*. 11(2): 108-116.
- Haryanto, Y. D., Agdialta, R., Hartoko, A. 2020. Analisis Monsun di Laut Jawa. *Berkala Perikanan Terubuk*. 48(2): 492-500.
- Kunarso, K., Helmi, M., Satriadi, A., Irwani, I., Prayogi, H., Wirasatriya, A., Munandar, B. 2019. Impact of Climate Variability to Aquatic Productivity and Fisheries Resources in Jepara Waters. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 246(1): 012-021.
- Kurnianda, V., & Kazrina, C. S. M. 2017. Status Tropik Perairan Pantai Gapang, Sabang Provinsi Aceh Berdasarkan Kelimpahan Klorofil-A Terhadap Konsentrasi Nitrat Dan Fosfat. In *Prosiding Seminar Nasional USM (Vol. 1, No. 1)*.
- Li, H. M., Zhang, C. S., Han, X. R., Shi, X. Y. (2015). Changes in concentrations of oxygen, dissolved nitrogen, phosphate, and silicate in the southern Yellow Sea, 1980–2012: sources and seaward

- gradients. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 163: 44-55.
- Meirinawati, H., dan Muchtar, M. 2017. Fluktuasi nitrat, fosfat dan silikat di perairan Pulau Bintan. *Jurnal Segara*. 13(3): 141–148.
- Mohamed, K.N., R. Amil. 2015. Nutrients enrichment experiment on seawater samples at Pulau Perhentian, Terengganu. *Procedia Environmental Sciences*. 30: 262-267.
- Muhtadi, A. 2017. Produktivitas primer perairan. *Researchgate Net*. 14(1): 1-19.
- Nirmalasari, K. P., Lukitasari, M., Widiyanto, J. 2016. Pengaruh Intensitas Musim Hujan Terhadap Kelimpahan Fitoplankton Di Waduk Bening Saradan. *Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 2(1), 41-47.
- Octavianna, P. D., Helmi, M., Maslukah, L., Atmodjo, W., Handoyo, G. 2025. Analisis Hubungan antara Intensitas Curah Hujan dan Kandungan Klorofil-a serta Suhu Permukaan Laut di Perairan Utara Jawa. *Indonesian Journal of Oceanography*. 7(4): 389-402.
- Putri, S. I. P., Sari, S. H. J. 2015. Community structure of phytoplankton and its relationship to nutrient availability and other water quality parameters in Eastern of Surabaya coastal waters. *Depik*. 4(2): 79-86
- Ramili, Y., Umasangaji, H., Drakel, A. 2023. Komposisi dan Kelimpahan Fitoplankton Berpotensi Harmful Algal Blooms (HABs) di Perairan Pesisir Pulau Ternate, Maluku Utara. *Jurnal Ilmiah agribisnis dan Perikanan (agrikan UMMU-Ternate)*. 16(1): 83-93.
- Sachoemar, S. I., Rachman, A., Aliah, R. S., Megawati, N., Romadhona, E. I., Meirinawati, H., Prayogo, T., Dewa, R. P., Zamroni, Y., Ahyadi, H., Fitriya, N., Hamzah, F., Garno, Y. S., Susanto, J. P., Riyadi, A., Haryanti, H., Ihsan, I. M. 2025. Evaluasi Kondisi Biofisika kimia Lingkungan Perairan Pada Musim Hujan Untuk Mitigasi Bencana Ekologi Ciguatera Fish Poisoning (CFP) dan Marak Alga Berbahaya (MAB) di Taman Wisata Perairan Gili Matra-Lombok. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 26(2): 202-212.
- Suhanda, D., Sari, F. W., Putra, G. 2024. Pola Distribusi Harmful Algal Bloom (HAB) Menggunakan Data Satelit Aqua Modis Di Laut Jawa Saat Musim Peralihan. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research)(J-Tropimar)*. 6(2): 49-61.
- Tarunamulia, T., Kamariah, K., Mustafa, A. (2016). Keterkaitan spasial kualitas lingkungan dan keberadaan fitoplankton berpotensi HABs pada tambak ekstensif di Kecamatan Losari Kabupaten Cirebon, Jawa Barat. *Jurnal Riset Akuakultur*, 11(2): 181-195.
- Tungka, A. W., Haeruddin, H., Ain, C. 2016. Concentration of Nitrate and Orthophosphate at Banjir Kanal Barat Estuary and their Relationship with the Abundance of Harmful Algae Blooms. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 12(1): 40-46.