

Studi Kandungan dan Sebaran Fosfat Serta Klorofil-A Sebagai Indikator Kesuburan di Perairan Pekalongan

Salma Ayu Sasmita*, Muhammad Zainuri, Kunarso, Heryoso Setiyono, Yusuf Jati Wijaya

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia
Email: *salmaasasmita@gmail.com

Abstrak

Perairan Pekalongan merupakan wilayah pesisir Utara Jawa Tengah yang menerima tekanan tinggi akibat kegiatan pengembangan, seperti industri batik, perikanan serta UMKM yang memanfaatkan sungai, muara, dan perairan pantai sebagai tempat pembuangan limbah. Penelitian sebelumnya menunjukkan buangan limbah pada perairan Pekalongan memiliki kandungan logam berat (Cd, Pb, Cu, dan Zn) yang tinggi, ditambah banjir rob akibat kenaikan muka air laut. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi dan pola persebaran fosfat dan klorofil-a sebagai indikator kesuburan perairan. Peningkatan masukan nutrisi, khususnya fosfat, berperan langsung terhadap konsentrasi klorofil-a sebagai indikator biomassa fitoplankton dan kondisi trofik perairan. Pengambilan data dilakukan pada 20 stasiun pada muara sungai Loji dan Sengkarang. Fosfat dianalisa menggunakan metode Strickland dan Parsons (1977) sedangkan klorofil-a dengan metode APHA (2005), kemudian dipetakan yang diolah pada *software ArcGIS*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat berada pada kisaran 0,017-3,419 mg/L (rata-rata 0,386mg/L), mengindikasikan bahwa perairan Pekalongan telah melampaui ambang batas nutrisi sedang hingga tinggi, terutama pada area muara yang menjadi titik masuk utama limbah dari daratan. Konsentrasi klorofil-a berkisar antara 0,059-1,334 mg/m³ (rata-rata 0,404 mg/m³), mengidentifikasi kondisi autotifikasi rendah. Pola persebaran kedua parameter memperlihatkan nilai tertinggi di muara dan menyebar mengikuti arus pasang-surut dari tenggara ke timur laut menuju perairan lepas.

Kata kunci : Fosfat, Klorofil-a, Sebaran, Loji-Sengkarang, Pekalongan

Abstract

Study of Concentration and Distribution of Phosphate and Chlorophyll-a as Indicators of Fertility in the Waters of Pekalongan

Pekalongan waters, located along the northern coast of Central Java, are subjected to high environmental pressure from development activities such as the batik industry, fisheries, and small-medium enterprises that use rivers, estuaries, and coastal waters as waste disposal sites. Previous studies have shown that wastewater discharged into Pekalongan waters contains high concentrations of heavy metals (Cd, Pb, Cu, and Zn), compounded by recurrent tidal flooding caused by sea level rise. This study aims to analyze the concentration and spatial distribution patterns of phosphate and chlorophyll-a as indicators of water fertility. Increased nutrient inputs, particularly phosphate, directly influence chlorophyll-a concentrations as an indicator of phytoplankton biomass and the trophic status of the waters. Sampling was conducted at 20 stations in the Loji and Sengkarang river estuaries. Phosphate was analyzed using the Strickland and Parsons (1977) method, while chlorophyll-a was analyzed following APHA (2005), and the results were mapped using ArcGIS. The results show that phosphate concentrations ranged from 0.017 to 3.419 mg/L (mean 0.386 mg/L), indicating moderate to high nutrient levels, especially in estuarine areas that serve as the main entry points of land-based waste. Chlorophyll-a concentrations ranged from 0.059 to 1.334 mg/m³ (mean 0.404 mg/m³), indicating low eutrophication. The spatial distribution of both parameters shows the highest values in estuaries and a gradual decrease toward offshore waters following the tidal current from southeast to northeast.

Keywords: Phosphate, Chlorophyll-a, Distribution, Loji-Sengkarang, Pekalongan

PENDAHULUAN

Perairan Utara Jawa Tengah merupakan perairan dengan potensi pengembangan yang tinggi karena menjadi pusat utama perkembangan ekonomi di Jawa Tengah. Kegiatan-kegiatan di Perairan Utara Jawa Tengah seperti perikanan tangkap, tambak, industri, dan pelabuhan yang ada di wilayah ini, yang menimbulkan limbah industri dan antropogenik, dimana terbuang dan masuk dalam perairan. Perairan Utara Jawa Tengah sangat dipengaruhi oleh aliran air tawar dari sungai-sungai besar, dimana badan air dipergunakan untuk membuang limbah dan mengalir hingga ke muara (Cahyo *et al.*, 2024). Kota Pekalongan setidaknya memiliki 917 industri batik yang tersebar di 4 Kecamatan. Aktivitas industri mempengaruhi sistem perairan karena meningkatkan polutan yang masuk ke muara sungai melalui aliran sungai. Unsur kimia organik dalam limbah cair yang masuk ke perairan sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia (Maslukah *et al.*, 2021). Perairan Pekalongan tersebut mengalami dinamika akibat masuknya material padatan tersuspensi hasil dari degradasi limbah, sehingga menyebabkan proses keterlarutan dan suspensi dari limbah pada perairan ini sangat tinggi. Kejadian banjir rob yang terjadi sebagai akibat pengaruh musim, memberikan dampak terhadap persebaran dari nutrisi degradasi limbah, sehingga membentuk pola persebaran yang melebar ke wilayah perairan pesisir Pekalongan (Zainuri *et al.*, 2024). Berdasarkan keadaan tersebut, kandungan nutrisi seperti fosfat, dan klorofil sebagai indikator kesuburan perairan di badan sungai, muara dan pantai wilayah pesisir terdampak oleh variabel hidrodinamika dan siklus biokimia pada perairan.

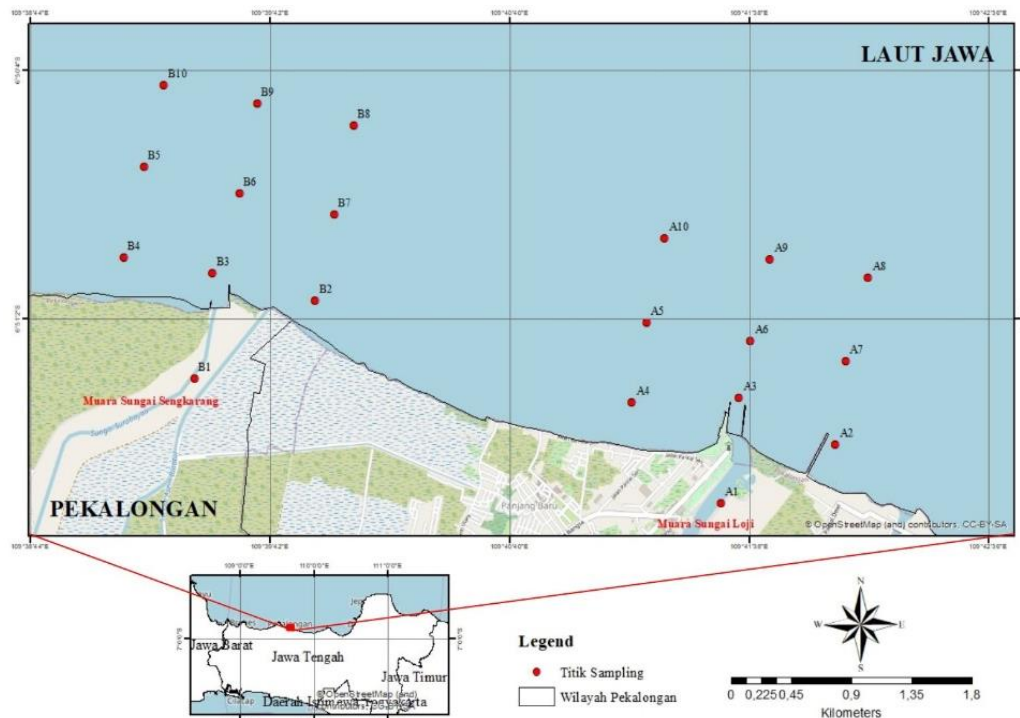
Kesuburan suatu perairan dipengaruhi oleh dinamika keberadaan nutrisi salah satunya fosfat. Fosfor (P) sebagai komponen utama dari fosfat adalah salah satu sumber nutrisi penting yang terkait dengan sistem ekologis wilayah perairan dan proses fotosintesis. Keberadaan fosfor sebagai unsur nutrisi di perairan terkait erat dengan proses fotosintesis dan siklus biogeokimia, dimana merupakan hasil dari degradasi molekul kompleks menjadi molekul sederhana atau ion nutrisi (Maslukah *et al.*, 2021; 2023; Mumtaz *et al.*, 2025). Fosfor merupakan unsur nutrisi pembatas bagi keberhasilan fitoplankton dalam proses fotosintesis, terutama pada pelepasan oksigen ke perairan di reaksi terang dan pembentukan karbohidrat pada reaksi gelap (Zainuri, 2020; Maslukah *et al.*, 2022; Amalya *et al.*, 2025). Fosfat merupakan nutrisi pada proses perubahan energi dalam proses fotosintesis yang dilakukan oleh fitoplankton. Pada saat fotosintesis, khususnya pada reaksi terang, klorofil-a akan mengubah cahaya matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan nitrogen untuk menghasilkan oksigen terlarut. Selanjutnya, pada reaksi gelap proses fotosintesis pigmen klorofil akan mengubah ion fosfat sebagai bagian dari proses untuk menghasilkan karbohidrat (Zainuri, 2020; Mishbach *et al.*, 2021), dan karenanya dapat digunakan sebagai indikator kesuburan suatu perairan (Agung *et al.*, 2018; Garini *et al.*, 2021). Hasil konsentrasi fosfat dan klorofil-a divisualisasikan sebarannya dengan menggunakan interpolasi melalui analisa geospasial. Pada penelitian ini pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi Perairan Pekalongan yang berkaitan dengan kesuburan perairan sebagai akibat aktivitas antropogenik yang terjadi.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Muara Sungai Loji dan Sengkarang, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah dengan koordinat 6°50'0" LS hingga 6°52'30" LS dan 109°37'0" BT hingga 109°43'0" BT pada tanggal 15 Mei 2025 pukul 06:45 – 10.30 WIB. Pengambilan data lapangan secara *in situ* berupa sampel air laut, yang akan digunakan untuk menganalisis kandungan fosfat dan klorofil-a pada daerah muara sungai hingga laut lepas pada 20 titik. Titik-titik stasiun tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan representasi kondisi perairan dan mewakili kondisi pantai. Data yang digunakan dalam penelitian berupa data primer dan data sekunder. Data primer merupakan hasil pengamatan *in situ* yang meliputi data fosfat, klorofil-a, dan kualitas perairan (suhu, pH, salinitas, dan DO), sedangkan data sekunder yang digunakan merupakan data pendukung penelitian ini meliputi data arus, data angin, serta data pasang surut.

Pengambilan Sampel Air dan Analisa Laboratorium Fosfat serta Klorofil-a

Sampel air diambil pada muara Sungai Sengkarang dan Loji, dengan titik koordinat yang telah ditentukan. Sampel ditempatkan pada botol gelap kapasitas 1 liter untuk sampel klorofil-a, sedangkan botol terang kapasitas 1 liter untuk sampel fosfat. Botol gelap untuk sampel klorofil-a digunakan untuk mencegah terjadinya proses fotosintesis pada sampel air. Konsentrasi fosfat pada sampel air dianalisa menggunakan metode Strickland dan Parsons (1977) dengan kaidah SNI 06-6989.31-2005.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Konsentrasi klorofil-a dianalisa menggunakan metode spektrofotometri sesuai dengan kaidah SNI 06-4157-1996 serta metode standar APHA (2005). Sampel dimasukkan ke dalam kuvet untuk diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang trikromatik 664 nm, 647 nm, dan 630 nm (Maslukah *et al.*, 2020). Konsentrasi klorofil-a selanjutnya dihitung menggunakan rumus berikut:

$$Ca = 11.85(\lambda 664) - 1.54(\lambda 645) - 0.00(\lambda 630)$$

Keterangan: Ca: Konsentras klorofil-a dalam kuvet; $\lambda 664$, $\lambda 645$, $\lambda 630$: gelombang spektrofotometri

$$Chl - a (mg/m^3) = Ca \times v/V$$

Keterangan: v: Volume aseton yang digunakan dalam ekstraksi (L); V: Volume sampel air laut yang disaring (m^3)

Sebaran Fosfat dan Klorofil-a

Persebaran konsentrasi fosfat dan klorofil-a disajikan dalam bentuk peta persebaran yang diolah pada *software ArcGIS*. Koordinat pengambilan sampel serta nilai konsentrasi fosfat dan klorofil-a disajikan dalam tabel menggunakan *software microsoft excel* yang selanjutnya dimasukkan dalam ArcMAP dan diolah menggunakan metode *spline with barrier* untuk menghasilkan peta sebarannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsentrasi Fosfat dan Klorofil-a

Hasil analisa laboratorium fosfat serta klorofil-a pada setiap stasiun di Muara Sungai Loji dan Sengkarang, Pekalongan dapat ditinjau secara detail pada Tabel 1. Kandungan fosfat berada pada kisaran nilai 0,0171 mg/L-3,419 mg/L dengan rata-rata 0,386 mg/L Konsentrasi fosfat tertinggi dengan nilai 3.419244 mg/L yang berada pada stasiun A1, dan konsentrasi fosfat terendah dengan nilai 0,017 mg/L berada pada titik A10. Nilai tertinggi berada pada wilayah muara sungai, yang diasumsikan sebagai sumber keluarnya limbah.

Konsentrasi fosfat yang tinggi di badan sungai terjadi karena pengaruh sejumlah limbah yang berkaitan dengan kegiatan di daratan, seperti kegiatan manusia yang menghasilkan limbah organik kompleks. Hal ini

karena fosfat di dalam badan air bersifat terlarut dan organik untuk kemudian digunakan sebagai bagian dari proses fotosintesis. Hal ini dijelaskan oleh Maslukah *et al.* (2017, 2022), bahwa konsentrasi fosfat yang tinggi dalam badan air di sungai merupakan keadaan yang dipengaruhi oleh masukan beban bahan pencemar lalu terakumulasi, seperti limbah domestik. Kisaran nilai fosfat di antara 0,017182 mg/L hingga 3,419 mg/L berada pada skala yang menunjukkan bahwa sebagian besar perairan telah melampaui ambang batas kategori nutrisi sedang hingga tinggi. Dengan demikian, kondisi tersebut mengindikasikan bahwa perairan memiliki potensi eutrofikasi yang cukup signifikan, terutama pada area dengan konsentrasi fosfat yang mendekati atau melebihi nilai 0,045 mg/L (Maslukah *et al.*, 2017, 2022; Feng *et al.*, 2024), yang menunjukkan bahwa badan air di sungai Loji dan Sengkarang mendapatkan pasok limbah bahan organik yang cukup tinggi. Konsentrasi klorofil-a di Muara Sungai Loji dan Sengkarang, Pekalongan berkisar antara 0,494 µg/L – 3,215 µg/L dengan rata-rata 1,826 µg/L.

Konsentrasi klorofil-a tertinggi dengan nilai 3,215 µg/L berada pada stasiun A1, dan konsentrasi klorofil-a terendah dengan nilai 0,494 µg/L berada pada stasiun A10. Hasil yang didapatkan menunjukkan daerah muara sungai memiliki konsentrasi yang tinggi dibandingkan dengan area lain. Hal ini dipengaruhi oleh banyaknya masukan bahan organik dari kegiatan antropogenik yang terbawa oleh massa air. Arus, pasang surut, dan musim mempengaruhi persebaran konsentrasi klorofil-a di perairan. Rata-rata konsentrasi 1,826 µg/L menunjukkan bahwa perairan Pekalongan berada pada indeks eutrofikasi rendah (Feng *et al.*, 2024). Konsentrasi klorofil-a pada muara sungai terutama pada muara sungai Loji lebih tinggi dibandingkan pada wilayah lain. Muara Sungai Loji berlokasi cenderung dekat dengan Pelabuhan Perikanan Nusantara Pekalongan (PPNP). Selain itu, aktivitas rumah tangga, pertanian, dan industri di sekitar sungai turut memengaruhi besarnya masukan nutrisi melalui aliran sungai. Pembuangan limbah dari berbagai aktivitas antropogenik tersebut berkaitan dengan tingginya kandungan bahan organik yang masuk ke perairan. Keberadaan bahan organik ini kemudian memasok nutrisi yang dapat meningkatkan produktivitas perairan melalui proses fotosintesis oleh fitoplankton, sebelum akhirnya mengalami degradasi oleh mikroorganisme (Sugianto *et al.*, 2025 dan Kunarso *et al.*, 2025).

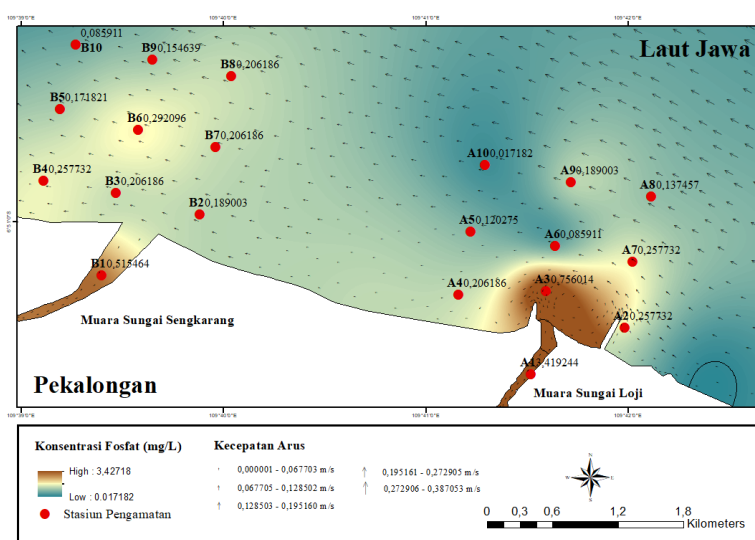
Tabel 1. Konsentrasi Fosfat serta Klorofil-a di Muara Sungai Loji dan Sengkarang, Pekalongan

Stasiun	Klorofil-a (µg/L)	Fosfat (mg/L)
A1	3,048	3,419
A2	1,904	0,257
A3	1,855	0,756
A4	2,648	0,206
A5	1,259	0,12
A6	1,496	0,085
A7	0,849	0,257
A8	0,613	0,137
A9	0,629	0,189
A10	0,494	0,017
B1	0,816	0,515
B2	2,546	0,189
B3	1,379	0,206
B4	2,398	0,257
B5	1,106	0,171
B6	2,721	0,292
B7	3,215	0,206
B8	2,619	0,206
B9	2,791	0,154
B10	2,145	0,085

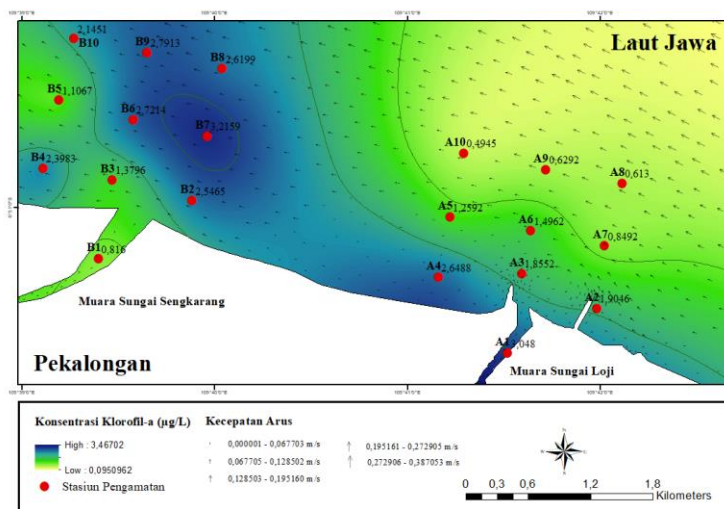
Sebaran Fosfat dan Klorofil-a

Pola sebaran fosfat dan klorofil-a dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa kandungan fosfat lebih tinggi pada wilayah sekitar muara sungai, dengan konsentrasi tertinggi 3,427 mg/L dan konsentrasi terendah 0,017 mg/L. Pola yang berbeda ditunjukkan oleh persebaran konsentrasi klorofil-a dengan arah pergerakan sebaran dari tenggara ke barat laut dengan konsentrasi tertinggi 3,215 $\mu\text{g/L}$ dan terendah 0,494 $\mu\text{g/L}$.

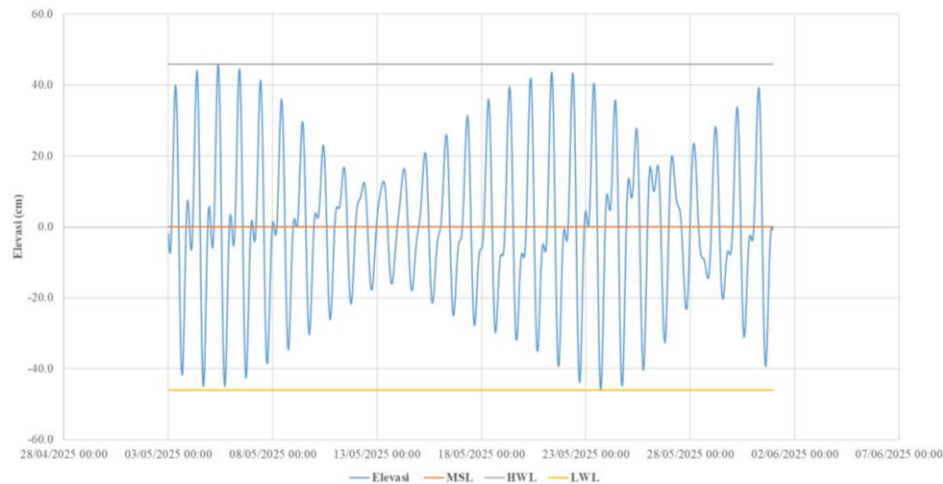
Berdasarkan hasil pengolahan pasang surut menggunakan metode Admiralty didapatkan nilai Formzahl sebesar 0,8 yang menunjukkan perairan Pekalongan memiliki tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda, hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh El-Fath *et al.* (2022), yang menunjukkan Perairan Pekalongan memiliki tipe pasang surut campuran condong harian ganda dengan nilai Formzahl yaitu 0,82. Hal ini menunjukkan bahwa Perairan Pekalongan mengalami dua kali pasang dan dua kali surut namun dengan tinggi dan periode pasang naik dan turunnya berbeda. Pada bulan Mei 2025, perairan Pekalongan menunjukkan HWL sebesar 45,8 cm; LWL sebesar -46 cm; dan MSL sebesar 0,1 cm. Grafik pasang surut perairan Pekalongan pada bulan Mei, 2025 dapat dilihat pada Gambar 5. Elevasi perairan saat dilakukan pengambilan sampling dapat dilihat pada Gambar 6. Dari grafik tersebut diketahui elevasi saat pengambilan sampel berkisar antara 3,6-21,0 cm.



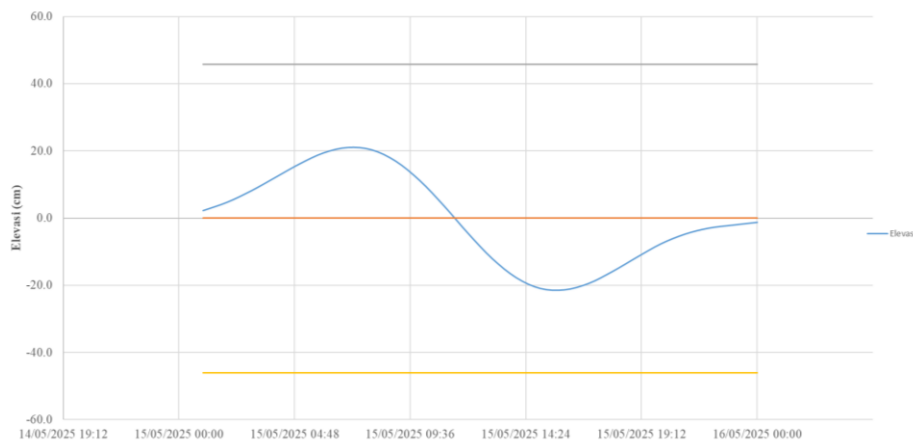
Gambar 2. Peta Sebaran Konsentrasi Fosfat dan Arus Pasang Surut



Gambar 3. Peta Sebaran Konsentrasi Klorofil-a dan Arus Pasang Surut



Gambar 4. Pasang Surut Perairan Pekalongan, Mei 2025



Gambar 5. Pasang Surut Perairan Pekalongan 15 Mei 2025

Pada fase pasang menuju surut, pergerakan massa air cenderung mengarah menjauhi daratan, sehingga air dari wilayah muara terdorong ke perairan yang lebih luar. Meskipun demikian, hasil *overlay* sebaran fosfat dengan arus pasang surut yang diperlihatkan pada Gambar 2, menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat justru lebih tinggi pada stasiun-stasiun yang berdekatan dengan muara. Kondisi ini mengindikasikan bahwa masukan nutrien dari daratan, terutama melalui aliran sungai, merupakan sumber utama peningkatan fosfat di wilayah tersebut. Arah arus yang bergerak dari tenggara menuju timur laut berpotensi membawa sebagian nutrien ke arah luar, namun tidak sepenuhnya menghilangkan akumulasi fosfat di sekitar muara. Hal ini dapat terjadi karena laju pengenceran dan transport nutrien oleh arus lebih lambat dibandingkan laju pemasukan fosfat dari aktivitas daratan. Dengan demikian, zona dekat muara tetap menjadi area dengan konsentrasi fosfat tertinggi. Pola arus pasang surut ini berbeda dengan kondisi angin pada bulan Mei di perairan Pekalongan, yang tidak menunjukkan kecenderungan arah dominan. Ketidakjelasan pola angin diduga dipengaruhi oleh kondisi musim peralihan, yang umumnya dicirikan oleh arah angin yang bervariasi dan tidak stabil. Hal ini menunjukkan bahwa angin tidak memberikan dampak yang signifikan dalam persebaran fosfat pada periode pengamatan.

Distribusi fosfat didalam perairan lebih banyak dipengaruhi oleh masukan daratan dan dinamika pasang surut dibandingkan oleh proses pengadukan permukaan akibat angin (Maslukah *et al.*, 2017, 2022; Damayanti *et al.*, 2022). Nilai konsentrasi klorofil-a pada sekitar muara sungai sengkarang tertinggi berada pada titik B6, B7, dan B9 berada pada perairan lepas cenderung lebih tinggi dibandingkan pada daerah muara sungai pada titik B1. Hal tersebut dikarenakan saat sampling terjadi pasang menuju surut yang menyebabkan kandungan klorofil yang tinggi di muara sungai terbawa massa air bergerak ke laut lepas. Di wilayah pesisir, aktivitas manusia yang menghasilkan limpasan nutrien (terutama fosfat dan nitrat) sangat berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi klorofil-a, karena fitoplankton memanfaatkan nutrien ini untuk fotosintesis.

Ketersediaan nutrisi yang melimpah di muara sungai dan perairan pesisir menghasilkan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi di wilayah ini, dengan nilai yang secara bertahap menurun seiring jarak dari pesisir menuju perairan lepas pantai (Helmi *et al.*, 2025). Distribusi klorofil-a dipengaruhi oleh pasang surut yang dapat membelokkan massa air, sehingga muncul lapisan-lapisan tertentu berbentuk cekungan. Pada peta distribusi klorofil-a (Gambar 3), menunjukkan Ketersediaan nutrisi yang melimpah di muara sungai dan perairan pesisir menghasilkan konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi di wilayah ini, dengan nilai yang secara bertahap menurun seiring jarak dari pesisir menuju perairan lepas pantai (Kunarto *et al.*, 2025).

Fosfat berperan menjadi nutrisi esensial dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan fitoplankton, sehingga peningkatan konsentrasi fosfat cenderung diikuti oleh peningkatan klorofil-a sebagai indikator biomassa fitoplankton. Dimana dapat dilihat pada titik A1 memiliki konsentrasi fosfat tertinggi dengan nilai 3,419 mg/L dan konsentrasi klorofil-a tertinggi dengan nilai 3,048 µg/L dan pada titik A10 dengan titik konsentrasi fosfat terendah dengan nilai 0,017 mg/L dengan konsentrasi klorofil-a terendah dengan nilai 0,494 µg/L. Namun, dalam persebaran fosfat dan klorofil-a menunjukkan bahwa pada beberapa titik sampling dengan konsentrasi fosfat yang relatif tinggi, nilai klorofil-a tidak selalu meningkat secara proporsional. Hal ini mengindikasikan bahwa fosfat bukan satu-satunya faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton. Faktor lainnya seperti intensitas cahaya, kekeruhan perairan, salinitas, dan dinamika arus turut memberikan pengaruh konsentrasi klorofil-a (Pradiva *et al.*, 2023). Fosfat menunjukkan potensi eutrofikasi, sedangkan klorofil-a menunjukkan respons biologis yang dipengaruhi banyak faktor lingkungan.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi fosfat di Muara Sungai Loji dan Sengkarang, Pekalongan, berada pada kisaran 0,017-3,419 mg/L dengan rata-rata 0,386 mg/L yang mengindikasikan kondisi nutrisi sedang hingga tinggi, dengan nilai tertinggi ditemukan di wilayah muara sebagai lokasi utama masukan limbah daratan. Konsentrasi klorofil-a berkisar antara 0,494-3,215 µg/L dengan rata-rata 1,826 µg/L yang menunjukkan tingkat eutrofikasi rendah, dimana nilai tertinggi juga teridentifikasi di muara sungai. Pola persebaran fosfat dan klorofil-a memperlihatkan bahwa tingginya konsentrasi di muara dipengaruhi oleh masukan nutrisi dari daratan, sementara arus pasang-surut berperan dalam mendistribusikan keduanya ke perairan yang lebih lepas, sehingga konsentrasinya cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari muara.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini oleh Hibah Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK): 16/UN7.F10/PP/III/2025, RPI: 222-435/UN7.D2/PP/IV/2025, dan Fundamental Reguler: 066/C3/DT.05.00/PL/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, A., Zainuri, M., Wirasatriya, A., Maslukah, L., Subardjo, P., Suryosaputro, A. A. D., & Handoyo, G. 2018. Analisis Sebaran Klorofil-A dan Suhu Permukaan Laut Sebagai Fishing Ground Potensial (Ikan Pelagis Kecil) di Perairan Kendal, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, 7(2): 67-74. <https://doi.org/10.14710/buloma.v7i2.20378>.
- Amalya, A., Indrayanti, E., Handoyo, G., & Zainuri, M. 2025. Konsentrasi dan Sebaran Klorofil-A di Muara Sungai Mrican, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(1): 79-86. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i1.25529>.
- Andreas, R., Megasari, I., Trenggono, M., Hendrayana, H., & Oktaviani, A. S. 2025. Macronutrient Distribution on the North Coast of Pekalongan City, Central Jawa, Indonesia: Implications for Water Quality. *E3S Web of Conferences*, 609 (01001): 1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560901001>.
- Budiyanto, S., Purnaweni, H., & Sunoko, H. R. 2018. Environmental Analysis of the Impacts of Batik Waste Water Pollution on the Quality of Dug Well Water in the Batik Industrial Center of Jenggol Pekalongan City. In *E3S Web of Conferences*, 31(09008): 1-7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183109008>.
- Cahyo, D. M. N., Indrayanti, E., & Maslukah, L. 2024. Pola Distribusi Klorofil-a di Perairan Pekalongan-Kendal. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(1): 01-08. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v6i1.16870>.
- Damayanti, T. R., Ismanto, A., Indrayanti, E., Zainuri, M., & Maslukah, L. 2022. Sebaran Konsentrasi Fosfat di Muara Sungai Sengkarang dengan Pendekatan Model Matematika 2 Dimensi. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 12-22. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v4i1.12691>.
- El-Fath, D. D. I., Atmodjo, W., Helmi, M., Widada, S., & Rochaddi, B. 2022. Analisis Spasial Area Genangan Banjir Rob Setelah Pembangunan Tanggul di Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 4(1): 96-110.

- Feng, M., Li, W., Huang, X., Hou, W., & Yu, J. 2024. Distribution Characteristics and Driving Factors of Chlorophyll a and Pollutants in the Liugu Estuary. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(8): 490-500. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07290-3>.
- Garini, B. N., Suprijanto, J., & Pratikto, I. 2021. Kandungan Klorofil-a dan Kelimpahan di Perairan Kendal, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 10(1): 102-108. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i1.28655>.
- Helmi, M., Sugianto, D. N., Widayani, A. P., Candrasekar, A. R., Zainuri, M., Ferdian, R. A., Widada, S., Rochaddi, B., Rofiqoh, F. N., Sitanggang, M. M. N., Durhan, Y. Z., Ratu, K. A. S., & Jihadi, M. S. 2025. Influence of Embankment Construction on Oceanographic Parameters and Emerging Pollutant Dynamics in Pekalongan Waters, Central Java. *Environmental Quality Management*, 35(1): 1-17. <https://doi.org/10.1002/tqem.70125>.
- Kunarso, K., Zainuri, M., Fadhilah, S. N., Ismunarti, D. H., Rochaddi, B., Ananda, A. F., Candrasekar, A. R., Fajrin, M. N. A., Pratiwi, N., Levina, E. S., Amalya, A., Agnadiva, A. K., & Jihadi, M. S., 2025. Emerging Pollutions From Small-Scale Industries and Chlorophyll-a as a Eutrophication Indicator in Pekalongan Waters Using Hydrodynamic Modeling. *Environmental Quality Management*, 35(1): 1-8. <https://doi.org/10.1002/tqem.70134>.
- Maslukah, L., Handoyo, G., Wulandari, S. Y., & Sihite, C. B. 2023. The Chlorophyll-a Response of Phytoplankton to Ratio N/P in Different Coastal Waters. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(9): 121-129. [10.12912/27197050/172292](https://doi.org/10.12912/27197050/172292).
- Maslukah, L., Wirasatriya, A., Widada, S., Ismunarti, D. H., Yusuf, M., Salma, U., & Zainuri, M. 2022. Fractionation and Bioavailability of Phosphorus and its Relation to Chlorophyll-a at the Coastal Area of Semarang City. *Ecological Chemistry and Engineering*, 29(2): 183-197. <https://doi.org/10.2478/eces-2022-0014>.
- Maslukah, L., Wirasatriya, A., Yusuf, M., Sari, R. S., Salma, U., & Zainuri, M. 2021. Phosphorous fractionation distribution in surface sediments of the Jobokuto Bay. *Molekul*, 16(2): 100-109. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2021>.
- Maslukah, L., Wulandari, S. Y., & Prasetyawan, I. B. 2017. Konsentrasi Klorofil-A dan Keterkaitannya dengan Nutrient N, P Di Perairan Jepara: Studi Perbandingan Perairan Muara Sungai Wisu dan Serang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(2): 72-77. <https://doi.org/10.14710/jkt.v20i2.1697>.
- Maslukah, L., Zainuri, M., Wirasatriya, A., & Maisyarah, S. 2020. The Relationship Among Dissolved Inorganic Phosphate, Particulate Inorganic Phosphate, and Chlorophyll-A in Different Seasons in the Coastal Seas of Semarang and Jepara. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3): 135-142. <https://doi.org/10.12911/22998993/118287>.
- Mishbach, I., Zainuri, M., Widianingsih, W., Kusumaningrum, D. N. S., Sugianto, D. N., & Pribadi, R. 2021. Analisis Nitrat dan Fosfat Terhadap Sebaran Fitoplankton Sebagai Bioindikator Kesuburan Perairan Muara Sungai Bodri. *Buletin Oseanografi Marina*, 10(1): 88-104. <https://doi.org/10.14710/buloma.v10i1.34645>.
- Mumtaz, F., Maslukah, L., Widada, S., Zainuri, M., & Endrawati, H. 2025. Pola Sebaran Konsentrasi Nitrat Dan Fosfat Sebagai Indikator Kesuburan Perairan Pantai Kaliratu, Kabupaten Kebumen. *Indonesian Journal of Oceanography*, 7(3): 201-209. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v7i3.26963>.
- Pradiva, Z. A., Zainuri, M., dan Rochaddi, B., 2023. Sebaran Fosfat terhadap Konsentrasi Klorofil-a di Perairan Kota Pekalongan. *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(4): 249-255. <https://doi.org/10.14710/ijoce.v5i4.17543>.
- Sugianto, D. N., Helmi, M., Candrasekar, A. R., Widayani, A. P., Zainuri, M., Iranda, F., Widada, S., Rochaddi, B., Levina, E. S., Fadhilah, S. N., Amalya, A., Agnadiva, A. K., Febrilian, A. A., Simatupang, A. O. P., Afifah, H., Simangunsong, F. G. A., & Jihadi, M. S. 2025. Unraveling Coastal Pollution: The Hidden Threats to Pekalongan's Estuarine Ecosystem. *Environmental Quality Management*, 35(1): 1-12. <https://doi.org/10.1002/tqem.70133>.
- Zainuri, M. 2020. Waters Productivity: Chlorophyll-a Distribution, Dissolved Oxygen dan Ocean Color Spectrum. In. A. Wirasatriya, Kunarso, A. Ismanto, M. Helmi, D. N. Sugianto and M. Zainuri. 2020. *Oceanography: Research Essence of Oceanography Department*. Chapter 6: 108-24.
- Zainuri, M., Suryani, O. G. A., Ismanto, A., Handoyo, G., Rifai, A., Rochaddi, B., ... & Hadibarata, T. 2024. Geospatial Modeling of the Nitrate Distribution as an Indicator of Aquatic Fertility in the Lagoon Waters of the Mangrove Information Center (PIM), Pekalongan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 27(3): 401-407. <https://doi.org/10.14710/jkt.v27i3.24081>.