



PENGARUH UNSUR HARA UNTUK KEHIDUPAN BIOTA PADA PERAIRAN ESTUARI

Elrica April Yanti Mendrofa¹⁾

¹⁾Sumber Daya Akuatik, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia
Email: elricaapriyantimendrofa@gmail.com

Abstract

Estuary waters are transitional ecosystems between marine and terrestrial environments that are highly productive but vulnerable to environmental degradation. productive but vulnerable to environmental damage, especially due to nutrient pollution from human activities. Literature studies in the last five years the last five years have shown that key nutrient elements such as nitrate, phosphate and ammonium play an important role in estuary ecosystem dynamics. High concentrations of nitrate and phosphate concentrations are associated with an increase in phytoplankton, but can also lead to potential eutrophication. can lead to potential eutrophication, Changes in currents due to nutrient inputs affect the composition of the plankton community in the estuary, river flows carry high nutrient loads from the land which accelerates the eutrophication process as well as changes in the trophic status of the waters. changes in the trophic status of the waters. This article aims to assess the influence of nutrients on estuary waters based on a literature review, and provide recommendations for sustainable ecosystem-based management.

Keywords: Nutrients, Nitrogen, Phosphate, Ammonium.

Abstrak

Perairan estuari adalah ekosistem transisi antara lingkungan laut dan darat yang sangat produktif tetapi rentan terhadap kerusakan lingkungan, terutama akibat pencemaran unsur hara dari kegiatan manusia. Elemen nutrisi utama seperti nitrat, fosfat, dan amonium berperan penting dalam dinamika ekosistem estuari. Konsentrasi nitrat dan fosfat yang tinggi berhubungan dengan peningkatan fitoplankton, namun juga dapat menyebabkan potensi eutrofikasi, Perubahan arus akibat input hara mempengaruhi komposisi komunitas plankton di estuari, aliran sungai membawa muatan hara tinggi dari daratan yang mempercepat proses eutrofikasi serta perubahan status trofik perairan. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh unsur hara terhadap perairan estuari berdasarkan kajian literatur, serta memberikan rekomendasi pengelolaan berbasis ekosistem yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Unsur hara, Nitrogen, Fosfat, Amonium



PENDAHULUAN

Estuari adalah ekosistem peralihan yang memiliki produktivitas tinggi dan berperan penting dalam mendukung keanekaragaman hayati, fungsi ekologis, serta kegiatan sosial-ekonomi masyarakat pesisir. Sebagai area transisi antara ekosistem laut dan darat, estuari sangat dipengaruhi oleh kontribusi dari daratan, salah satunya adalah zat hara (nutrien) seperti nitrat, fosfat, dan amonium. Sumber pencemaran ini dapat muncul dari limpasan pertanian, limbah rumah tangga, atau kegiatan industri yang dibawa melalui aliran sungai menuju perairan pesisir (Yusal et al., 2022).

Unsur hara seperti nitrogen dan fosfor adalah elemen penting yang mendukung pertumbuhan organisme perairan serta produktivitas primer. Dalam keadaan alami, keberadaan nutrisi memiliki dampak yang baik untuk keseimbangan ekosistem perairan. Akan tetapi, peningkatan kadar unsur hara karena kegiatan manusia dapat mengakibatkan eutrofikasi, yang mengarah pada lonjakan populasi fitoplankton serta turunnya kadar oksigen terlarut. Keadaan ini berpengaruh buruk terhadap kehidupan organisme lain, seperti zooplankton, ikan, dan meiofauna. (Hindaryani et al., 2020; dan Prasetyo et al., 2021).

Studi yang dilakukan oleh Nazar et al. (2024) mengungkapkan bahwa di area estuari dengan kadar nitrat dan fosfat yang tinggi, terdapat penurunan dalam kelimpahan serta keanekaragaman plankton. Kemungkinan ini terjadi akibat ketidakseimbangan nutrisi yang mendorong dominasi spesies fitoplankton tertentu, menekan spesies lainnya, dan mengganggu rantai makanan. Sementara itu, penelitian oleh Yusal et al. (2022) menunjukkan bahwa tingginya konsentrasi fosfat berkorelasi dengan penurunan keanekaragaman spesies meiofauna di sedimen dasar estuari. Meiofauna, yang peka terhadap perubahan lingkungan, dapat berfungsi sebagai indikator biologis kualitas air. Penurunan keanekaragaman pada kelompok ini menunjukkan stres lingkungan yang signifikan yang disebabkan oleh perubahan kimia pada air dan sedimen. Kelebihan unsur hara berpengaruh pada menurunnya stabilitas komunitas biotik. Ketidakseimbangan nutrisi juga dapat mempercepat suksesi ekologis yang tidak alami dan menurunkan kemampuan daya dukung lingkungan estuari.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menguraikan secara sistematis unsur hara yang berdampak pada keseimbangan ekologi estuari dan menyarankan strategi pengelolaan yang sesuai untuk mencegah degradasi lebih lanjut pada ekosistem pesisir yang penting ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Romadhony, (2023) menyatakan bahwa unsur hara seperti nitrogen (N) dan fosfor (P) adalah komponen vital yang memainkan peran

penting dalam memelihara keseimbangan dan produktivitas ekosistem estuari. Kedua elemen ini berperan sebagai nutrisi utama yang mendukung produktivitas primer, yaitu kapasitas organisme autotrof seperti fitoplankton, lamun (seagrass), dan mangrove untuk melakukan fotosintesis serta menghasilkan bahan organik sebagai fondasi rantai makanan di ekosistem perairan. Ketersediaan nitrogen dan fosfor dalam jumlah yang cukup akan mendorong pertumbuhan fitoplankton, yang kemudian menjadi sumber makanan untuk zooplankton, ikan, dan organisme akuatik lainnya. Estuari adalah area peralihan antara tanah dan laut yang menerima input dari berbagai sumber, seperti limpasan hujan yang membawa materi organik dan anorganik dari daratan, arus sungai yang mengandung limbah domestik dan pertanian, serta pasang surut laut yang membawa mineral dari perairan laut dalam. Proses ini menjadikan estuari sebagai kawasan yang secara alami melimpah dengan nutrient.

Menuurt Arizuna, et,al (2022) menyatakan bahwa dalam ekosistem estuari, sirkulasi nutrisi berlangsung dengan dinamis. Nutrien yang diambil oleh tumbuhan seperti fitoplankton, lamun, dan mangrove akan dimanfaatkan untuk mendukung pertumbuhan dan metabolisme. Setelah organisme ini mati atau melepaskan bagian tubuhnya (contohnya daun jatuh pada mangrove), sisa-sisa itu akan terurai oleh mikroorganisme dekomposer seperti bakteri pengurai. Proses dekomposisi ini mengembalikan nutrisi ke dalam lingkungan perairan sebagai senyawa-senyawa yang dapat digunakan lagi oleh tumbuhan, membentuk siklus nutrisi yang berkelanjutan (Wang, 2020).

METODOLOGI PENELITIAN

Studi ini merupakan sebuah tinjauan literatur. Tinjauan literatur adalah penjelasan mengenai teori, hasil, dan sumber penelitian lain yang diperoleh dari bahan referensi sebagai dasar dalam melakukan penelitian untuk merancang kerangka pemikiran yang jelas dari pengidentifikasian masalah yang ingin diteliti. Penulis menyimpulkan, menciptakan analisis, serta melakukan sintesis dengan cara kritis dan mendalam dari berbagai literatur sebelumnya, Zahra et al. (2023).

Menurut Arizuna, T., et al. (2022), menyatakan bahwa Penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif deskriptif yang berlandaskan studi literatur (literature review), dengan tujuan untuk menganalisis dan menggabungkan temuan-temuan penelitian sebelumnya mengenai dampak unsur hara, terutama nitrogen (N) dan fosfor (P), terhadap kehidupan biota dalam ekosistem estuari. Penelitian ini tidak mencakup pengumpulan data primer di lokasi, melainkan menggunakan data sekunder dari berbagai sumber ilmiah tepercaya yang diterbitkan dalam lima tahun terakhir (2020–2024).



Penelitian oleh Lee et al. (2023) dan Zhou et al. (2022) menjadi acuan yang menegaskan bahwa kelebihan nutrisi di perairan estuarin berperan dalam ledakan fitoplankton serta penurunan keragaman hayati, yang juga diperkuat oleh hasil temuan Wang et al. (2021) mengenai efek ekologis jangka panjang akibat eutrofikasi. Melalui pendekatan ini, penelitian dapat menyusun ilustrasi yang komprehensif dan terpadu tentang dampak unsur hara terhadap dinamika kehidupan biota di ekosistem estuari.

PEMBAHASAN

Nitrogen (N)

Nitrogen di perairan estuari terdiri dari berbagai bentuk utama yang berpengaruh pada ketersediaannya untuk biota akuatik. Menurut Prasetyo dan Wulandari (2020), bentuk nitrogen anorganik seperti nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+) adalah yang paling mudah diserap oleh fitoplankton serta organisme autotrof lainnya. Di samping itu, nitrogen organik yang berasal dari dekomposisi bahan organik juga memiliki peranan penting dalam siklus nitrogen, namun perlu melalui proses mineralisasi terlebih dahulu untuk bisa dimanfaatkan (Sari et al., 2021).

Proses masuknya nitrogen ke dalam perairan estuari sangat dipengaruhi oleh aktivitas manusia di area daerah aliran sungai (DAS) yang mengalir ke estuari. (Sari 2021) menyatakan bahwa limbah dari rumah tangga dan aktivitas pertanian di daerah pesisir adalah penyebab utama nitrogen yang mengalir melalui sungai menuju ekosistem estuari.

Studi oleh Prasetyo et al. (2022) mengungkapkan bahwa penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan di lahan pertanian sekitar DAS menyebabkan peningkatan konsentrasi nitrat dan amonium di perairan estuari. Faktor lain yang turut memengaruhi adalah pengelolaan limbah industri yang kurang baik, seperti yang dinyatakan oleh Rahmawati et al. (2020), yang dapat meningkatkan kadar nitrogen dalam ekosistem estuari di area pesisir Indonesia. Secara keseluruhan, perpaduan aneka sumber input nitrogen ini mengakibatkan naiknya konsentrasi unsur hara yang berpotensi memicu eutrofikasi dan menurunkan kualitas air di perairan estuari.

Nitrogen memiliki peran krusial dalam mendukung produktivitas ekosistem estuari, pertumbuhan fitoplankton dan menjadi sumber energi bagi jaring makanan akuatik (Hidayati, 2020). Namun, peningkatan kadar nitrogen yang berlebihan juga memberikan dampak negatif yang serius. (Kusuma, 2021) menyatakan bahwa kelebihan nitrogen yang berasal dari limbah pertanian dan domestik menyebabkan eutrofikasi yang memicu pertumbuhan fitoplankton secara berlebihan, yang pada akhirnya menurunkan kadar oksigen terlarut dan mengakibatkan kematian massal organisme air seperti ikan dan udang.

Kelebihan nitrogen di estuari berperan dalam peningkatan biomassa fitoplankton secara signifikan yang menyebabkan terjadinya ledakan alga (bloom). Hal ini mengakibatkan berkurangnya penetrasi cahaya dan mengganggu proses fotosintesis di lapisan perairan yang lebih dalam. Saat fitoplankton mati dan terurai, proses dekomposisi menggunakan banyak oksigen sehingga mengurangi tingkat oksigen terlarut (DO). Situasi ini dapat menyebabkan hipoksia dan anoksia yang berujung pada kematian makhluk hidup seperti ikan dan invertebrata benthik (Wang et al., 2021). Di samping itu, studi oleh Lee et al. (2023) mengungkapkan bahwa kelebihan nitrogen juga mempercepat pertumbuhan harmful algal blooms (HABs) yang berbahaya untuk organisme lainnya.

Menurut Wang et al. (2021), peningkatan kadar nitrogen anorganik, seperti nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+), dapat mempercepat proses eutrofikasi yang ditandai dengan lonjakan populasi fitoplankton dan turunnya kadar oksigen terlarut. Keadaan ini menyebabkan hipoksia, yang berujung pada stres fisiologis dan dapat mengakibatkan kematian pada organisme akuatik seperti ikan dan invertebrata di dasar perairan.

Dampak lainnya menurut Zhou et al. (2022) adalah terganggunya keseimbangan mikroba serta menurunnya keanekaragaman hayati yang disebabkan oleh perubahan kondisi kimia air dan kerusakan habitat. Oleh sebab itu, para pakar sepakat bahwa pengelolaan input nitrogen ke perairan estuari merupakan langkah penting untuk menghindari kerusakan lingkungan jangka Panjang.

Menurut Manik, (2023) kadar nitrogen, terutama dalam bentuk nitrat, yang ideal untuk mendukung kehidupan biota di perairan estuari berkisar antara 0,013 hingga 0,015 mg/L. Kadar ini dianggap mendukung pertumbuhan fitoplankton tanpa memicu eutrofikasi yang merugikan. Konsentrasi nitrat melebihi 0,015 mg/L dapat menyebabkan ledakan populasi alga, yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem serta mengurangi kadar oksigen terlarut di dalam air. Sebaliknya, kadar nitrat yang sangat rendah dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton, yang merupakan fondasi rantai makanan dalam ekosistem perairan. Oleh karena itu, pengaturan kadar nitrogen di perairan estuari sangat krusial untuk mempertahankan kesehatan dan kelangsungan ekosistem akuatik.

Fosfat (P)

Fosfat memasuki perairan estuari terutama akibat aktivitas manusia yang meningkat di kawasan pesisir dan wilayah aliran sungai. Menurut Wulandari (2021), sumber utama fosfat diperoleh dari limbah domestik, khususnya deterjen dan sampah rumah tangga, yang memiliki kandungan senyawa fosfat tinggi dan langsung dibuang ke perairan tanpa proses pengolahan. Di samping itu, pupuk fosfat yang berasal dari kegiatan pertanian



dan terbawa oleh limbah air hujan juga berkontribusi signifikan terhadap naiknya tingkat fosfat di perairan estuari (Yuliana et al., 2020).

Studi oleh Ramadhani, (2023) mengindikasikan bahwa proses sedimentasi dan erosi tanah di kawasan hulu juga mengalirkan partikel-partikel yang mengandung fosfor ke daerah estuari, sehingga memperkaya kadar nutrisi di perairan tersebut. Akumulasi fosfat tersebut dapat memicu eutrofikasi, yang mengakibatkan lonjakan populasi fitoplankton, serta berpengaruh pada penurunan kadar oksigen terlarut dan kualitas lingkungan perairan secara keseluruhan.

Fosfat adalah salah satu unsur hara makro yang esensial dan memiliki peran penting dalam peningkatan produktivitas primer di ekosistem perairan estuari. Menurut Hidayat (2020), fosfat berperan sebagai nutrisi utama yang mendorong perkembangan fitoplankton, yang kemudian menjadi sumber energi bagi zooplankton dan organisme pada tingkat trofik yang lebih tinggi, seperti ikan dan udang. Ada fosfat dalam konsentrasi yang tepat dapat meningkatkan ketersediaan sumber makanan alami serta mempercepat siklus nutrisi, yang pada akhirnya mendukung kelimpahan dan ragam biota perairan (Putri et al., 2021).

Kelebihan fosfat di perairan estuari dapat menyebabkan efek ekologis yang negatif bagi biota akuatik. Fosfat yang masuk dalam jumlah yang berlebihan, umumnya berasal dari limbah rumah tangga, deterjen, dan pupuk pertanian, dapat memicu terjadinya eutrofikasi yang ditandai dengan pertumbuhan fitoplankton yang berlebihan (Wibowo, 2020).

Menurut Arnando, et.al (2022) konsentrasi fosfat yang ideal untuk mendukung kehidupan organisme di perairan estuari berada pada rentang 0,005 hingga 0,015 mg/L. Kadar ini dipandang mendukung pertumbuhan fitoplankton tanpa menyebabkan eutrofikasi yang merugikan. Konsentrasi fosfat yang melebihi 0,015 mg/L bisa menyebabkan ledakan populasi alga, yang berisiko mengganggu keseimbangan ekosistem dan mengurangi kadar oksigen terlarut dalam air. Sebaliknya, tingkat fosfat yang sangat rendah dapat menghambat pertumbuhan fitoplankton, yang menjadi fondasi rantai makanan di ekosistem perairan. Oleh sebab itu, pengaturan kadar fosfat di perairan estuari sangat krusial untuk mempertahankan kesehatan dan keberlanjutan ekosistem akuatik.

Amonium

Proses masuknya amonium (NH_4^+) ke dalam perairan estuari biasanya disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti pembuangan limbah rumah tangga, pertanian, dan budidaya ikan. Amonium dihasilkan dari penguraian bahan organik yang tinggi nitrogen oleh mikroba, dan fenomena ini dipicu oleh keterbatasan sistem pengelolaan limbah di daerah pesisir (Utami et al., 2023).

Menurut Mufidah et al. (2022), peningkatan kadar amonium memiliki korelasi dengan intensitas limpasan air hujan yang mengangkut sisa pupuk dan limbah organik ke hilir sungai. Proses pasang surut di estuari menghasilkan variasi distribusi spasial amonium, di mana konsentrasi paling tinggi biasanya ditemukan di lokasi-lokasi dekat muara sungai dan kawasan pertambakan.

Amonium (NH_4^+) berfungsi penting sebagai sumber nitrogen yang vital bagi pertumbuhan fitoplankton dan organisme autotrof lainnya di lingkungan estuari. Kandungan amonium yang memadai dapat meningkatkan produktivitas primer dengan memberikan nutrisi yang mudah diambil oleh mikroalga, sehingga mendukung rantai makanan akuatik dan keragaman hayati (Manik et al., 2023).

Amonium juga berfungsi dalam proses nitrifikasi yang menghasilkan nitrat, yang kemudian dapat digunakan oleh berbagai jenis organisme air (Suryadi et al., 2022). Melalui pengelolaan yang tepat, kadar amonium yang tersedia dapat mendukung keberlangsungan produktivitas ekosistem estuari tanpa menyebabkan efek negatif seperti eutrofikasi.

Kehadiran amonium (NH_4^+) dalam konsentrasi yang tinggi di perairan estuari dapat mengakibatkan efek buruk bagi ekosistem akuatik. Amonium yang berlebihan sering kali berasal dari limbah rumah tangga, pertanian, dan industri yang tidak dikelola dengan baik, sehingga meningkatkan risiko eutrofikasi yang menyebabkan lonjakan populasi alga dan penurunan kadar oksigen terlarut dalam air (Manik et al., 2023). Keadaan ini bisa menyebabkan kematian massal pada biota perairan, seperti ikan dan organisme benthik, serta mengurangi kualitas habitat estuari (Mufidah et al., 2022). Amonium dalam bentuk bebas (NH_3) berbahaya bagi organisme perairan dan dapat mengganggu proses fisiologis seperti respirasi dan reproduksi (Yuliana 2021). Oleh sebab itu, pengelolaan konsentrasi amonium sangat krusial untuk menjaga kesehatan dan keseimbangan ekosistem perairan estuari.

Kadar amonium (NH_4^+) yang optimal di perairan estuari sangat penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung kehidupan biota akuatik. Kadar amonium yang baik biasanya berada pada rentang 0,01 hingga 0,05 mg/L, di mana konsentrasi tersebut mampu memenuhi kebutuhan nitrogen untuk pertumbuhan fitoplankton tanpa menimbulkan efek toksik atau memicu eutrofikasi (Manik et al., 2023). Kandungan amonium yang melampaui ambang tersebut dapat menimbulkan stres pada organisme dan mengganggu fungsi ekologi perairan (Mufidah et al., 2022). Dengan demikian, pengawasan dan pengaturan level amonium secara rutin sangat penting untuk mempertahankan kualitas lingkungan di perairan estuari.



KESIMPULAN

Dampak unsur hara seperti nitrogen, fosfat, dan amonium sangat penting bagi kehidupan biota di perairan estuari karena unsur-unsur tersebut adalah nutrisi utama yang mendukung berbagai proses dalam ekosistem. Nitrogen, yang biasanya ditemukan dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan amonium (NH_4^+), adalah unsur penting untuk pertumbuhan fitoplankton dan organisme autotrof lainnya yang menjadi fondasi rantai makanan akuatik. Nitrogen memainkan peran penting dalam pembentukan protein dan asam nukleat yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup. Fosfat (PO_4^{3-}) memiliki peran penting dalam produksi primer karena merupakan salah satu nutrisi yang membatasi, yang berpengaruh terhadap laju fotosintesis dan pertumbuhan mikroorganisme. Akan tetapi, saat konsentrasi nitrogen dan fosfat meningkat secara berlebihan karena limpasan dari limbah domestik, pertanian, dan industri, ini dapat mengakibatkan eutrofikasi, yaitu kondisi di mana terjadi ledakan populasi alga secara besar-besaran. Eutrofikasi ini menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut di dalam air karena dekomposisi alga yang mati, yang mengganggu keseimbangan ekosistem dan dapat mengakibatkan kematian masal biota akuatik.

Di samping itu, amonium, meskipun adalah sumber nitrogen yang mudah diambil dan bermanfaat bagi organisme, bisa menjadi beracun saat terakumulasi dalam konsentrasi tinggi di dalam air. Amonium yang terdapat dalam bentuk bebas (NH_3) bersifat racun dan dapat merugikan sistem pernapasan serta metabolisme organisme akuatik. Maka dari itu, manajemen yang efektif dan pengawasan kadar unsur hara secara kontinu sangat diperlukan untuk mempertahankan kualitas air dan keberlangsungan hidup biota di ekosistem estuari. Langkah ini mencakup pengendalian sumber polusi, penerapan teknologi pengolahan limbah, serta konservasi ekosistem pesisir agar fungsi ekologis estuari tetap terawat dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnando, R., et al. (2022). *Karakteristik Distribusi Zat Hara Nitrat dan Fosfat pada Air dan Sedimen di Perairan Tanjung Limau*. *Tropical Aquatic Sciences*, 1(2), 46–53.
- Hidayat, M., & Suryani, N. (2020). Peran fosfat dalam mendukung produktivitas primer di perairan estuari. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(1), 22–29.
- Hidayati, N. & Santoso, P. (2020). Peran nitrogen dalam produktivitas fitoplankton di estuari pesisir Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 115–124.
- Hindaryani, A. D., Susilo, E., & Sugianto, D. N. (2020). Sebaran Unsur Hara di Perairan Pantai Mangunharjo, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*, 2(1), 21–29.
- Kusuma, R. & Rahman, F. (2021). Dampak eutrofikasi akibat kelebihan nitrogen pada biota perairan estuari di Jawa Timur. *Jurnal Sumberdaya Akuatik*, 7(1), 45–53.
- Lee, J. H., Kim, T. S., & Jeong, H. J. (2023). Emerging harmful algal blooms associated with nutrient enrichment in estuarine ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114647.
- Manik, M. I. S., Perwira, I. Y., & Ernawati, N. M. (2023). Kandungan Nutrien Nitrat dan Fosfat Pada Air di Kawasan Estuari DAM, Badung, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 9(2), 260–267.
- Mufidah, D. N., Handayani, T., & Marsoedi, S. (2022). *Hubungan Nitrat, Fosfat dan Amonium terhadap Fitoplankton di Muara Sungai Lumpur, Gresik*. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 13(2), 103–110.
- Mufidah, D. N., Handayani, T., & Marsoedi, S. (2022). *Hubungan Nitrat, Fosfat dan Amonium terhadap Fitoplankton di Muara Sungai Lumpur, Gresik*. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 13(2), 103–110.
- Nazar, M., Yusriadi, R., & Nopriawan, Y. (2024). Hubungan Arus terhadap Keanekaragaman Plankton di Estuari Sungai Selan, Bangka Tengah. *Jurnal Maritim dan Perikanan Tropis*, 6(1), 45–54.
- Prasetyo, A., Nur, A., & Lestari, D. (2021). Evaluasi Status Trofik di Teluk Jakarta Berdasarkan Konsentrasi Nutrien. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Perairan*, 10(2), 67–76.
- Prasetyo, R. H., & Wulandari, S. (2020). Karakteristik nitrogen anorganik di perairan estuari pesisir Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(3), 135–142.
- Prasetyo, R. H., Nugroho, A. S., & Wahyuni, S. (2022). Dampak penggunaan pupuk nitrogen terhadap kualitas air estuari di wilayah pesisir Jawa Timur. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 9(2), 78–88.
- Putri, R. N., Santosa, D. A., & Wijayanti, E. (2021). Hubungan antara konsentrasi fosfat dan kelimpahan fitoplankton di estuari pesisir utara Jawa. *Jurnal Ekosistem dan Sumberdaya Perairan*, 9(2), 45–52.
- Rahmawati, F., Putri, D. A., & Setiawan, R. (2020). Evaluasi limbah industri dan kontribusinya terhadap peningkatan nitrogen di estuari Sungai Ciliwung. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 8(3), 123–130.
- Ramadhani, A. & Sutopo, W. (2023). Transportasi fosfor dari hulu ke hilir di DAS dan dampaknya terhadap ekosistem estuari. *Jurnal Lingkungan dan Sumber Daya Alam*, 10(1), 32–40.
- Sari, D. P., & Putra, I. G. N. (2021). Pengaruh limbah domestik dan pertanian terhadap



- kualitas air di perairan estuari pesisir Jawa Tengah. *Jurnal Lingkungan dan Pembangunan*, 12(1), 45-56.
- Sari, D. P., Nugroho, A. S., & Putri, L. (2021). Peran nitrogen organik dalam siklus nutrien estuari. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(2), 67-75.
- Utami, D. A., et al. (2023). *Pemantauan Parameter Kualitas Air di Estuari Terkait Aktivitas Antropogenik*. Jurnal Perikanan dan Kelautan, 14(1), 51–58.
- Wang, S., Li, X., Xu, J., & Chen, Y. (2020). Relationship between nutrient enrichment and hypoxia in estuarine systems: A review. *Science of The Total Environment*, 748, 142377.
- Wang, X., Liu, L., & Gao, Y. (2021). Effects of nitrogen and phosphorus on aquatic biodiversity in coastal estuaries. *Science of The Total Environment*, 777, 146191.
- Wibowo, A., & Nurhayati, S. (2020). Dampak kelebihan fosfat terhadap kualitas air dan kehidupan biota di estuari pesisir utara Jawa. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 97–104.
- Wulandari, S., & Pranowo, W. S. (2021). Kontribusi limbah domestik terhadap kandungan fosfat di perairan estuari pesisir utara Jawa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(2), 115–123.
- Yuliana, D., Harahap, F., & Nugraha, R. (2020). Pengaruh limpasan pertanian terhadap peningkatan kadar fosfat di estuari Sungai Serayu. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indonesia*, 5(1), 45–52.
- Yuliana, I. & Akbar, M. (2021). *Distribusi Konsentrasi Amonium pada Zona Estuari Sungai Musi*. *Dinamika Maritim*, 7(1), 12–20.
- Yusal, M., Ridwan, H., & Lestari, F. (2022). Dampak Pencemaran Nutrien terhadap Keanekaragaman Meiofauna di Pesisir Losari, Makassar. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 112–120.
- Zahra, A., Mansyur, K., & Putra, A. E. (2023). Pengaruh filter berbeda terhadap parameter kualitas air media pemeliharaan ikan mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Ilmiah AgriSains*, 24(2), 92–102.
- Zhou, M., Zhang, Y., & Li, Y. (2022). Dynamics of oxygen depletion and phytoplankton shifts under eutrophication in estuarine waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 267, 107736.