DISTRIBUSI DAN SIKLUS NUTRIEN DI PERAIRAN ESTUARI SERTA PENGENDALIANNYA

Deny Yogaswara^{1*}

¹Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl. Pasir Putih I, Ancol Timur, Jakarta Utara 14430

*Alamat email: deny.yogaswara@lipi.go.id

ABSTRACT

Nutrient components (consist of nitrogen and phosphorus) are needed for healthy ecosystems and they are naturally widespread throughout the aquatic and terrestrial environment. Nutrient loading as a result of anthropogenic activities comes from rivers that flow into the estuary. The abundance and the cycles of nutrients in the estuary are affected by physical factors (i.e. hydrodynamic conditions such as currents and tides, turbidity and waves), biological factors (i.e. filter feeder organism) and chemical factors (i.e. material fixation and decomposition). To supporting estuarine food webs, phytoplankton and primary productivity are fundamental importance. Besides, they are also key drivers of biogeochemical cycling and play a central role in determining water quality. But on the contrary, within the same conditions, it has negative impact on the estuary environment. The negative impact of high primary productivity in the estuary can cause an algae bloom. Algae bloom occurs when abundant nutrients and optimum sunlight intensity, with the lowest current at the same time. Algae bloom has a negative impact on estuary ecosystems because it makes depleting of dissolved oxygen, with the mass death of marine biota such as fish as a consequence. Therefore, the amount of nutrients from anthropogenic activities have to be controlled and monitored before they flow to the river. The method to control the waste is treated in a Waste Water Treatment Plant (WWTP) system. This treatment by using the WWTP system could reduce the concentration of nutrients spread in the estuary and it will prevent the occurrence of algae bloom phenomena.

Keywords: nutrient, primary productivity, algae bloom, Waste Water Treatment Plant.

PENDAHULUAN

Beberapa dekade terakhir, meningkatnya populasi manusia telah mengubah keseimbangan dan ekosistem lingkungan (UN, 2015). Adanya aktivitas manusia ini telah mengubah penggunaan lahan, habitat makhluk hidup, komposisi kimiawi atmosfer dan litosfer, laju dan keseimbangan proses biogeokimia, dan keanekaragaman hayati flora dan fauna di seluruh permukaan bumi (Cordell & White, 2014; Francis, 2012). Salah satu tindakan manusia yang menonjol dan telah

berdampak pada lingkungan diantaranya kegiatan yang memobilisasi unsur-unsur hara nitrogen dan fosfor melalui pembukaan lahan, produksi dan penggunaan pupuk, pembuangan limbah rumah tangga, produksi dan buangan peternakan hewan, dan pembakaran bahan bakar fosil (Wijesiri et al., 2018). Sebagai konsekuensi dari kegiatan ini, air permukaan dan air tanah saat ini memiliki konsentrasi nitrogen (N) dan fosfor (P) yang lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi di pertengahan abad ke-20 (Bertule et al., 2018; Cordell & White,

2014; Jain et al., 2020). Meningkatnya nilai konsentrasi N dan P ini telah mempercepat fluks unsur-unsur ini dari sungai ke perairan pesisir sehingga terjadi pengayaan nutrien di ekosistem pesisir. Hal ini merupakan masalah lingkungan yang cukup serius karena merangsang pertumbuhan tanaman alga dan mengganggu keseimbangan antara produksi dan metabolisme bahan organik di zona pesisir (Cloern, 2001; Wijesiri et al., 2019).

Aliran buangan perkotaan dan pertanian yang mengalir menuju sungai merupakan komponen alami yang paling berpengaruh terhadap peningkatan unsur kimia hara dan telah menjadi sumber utama nutrien dari banyak kota di seluruh dunia yang populasi penduduknya terus meningkat setiap tahun (Chen et al., 2019). Tingkat populasi penduduk ini memainkan peran ekologis dan sosial yang krusial dalam sistem buangan perkotaan (Francis, 2012) dan memengaruhi tingkat kesejahteraan penduduk kota (Chen et al., 2019). Kondisi ini tentu akan berdampak pada kualitas lingkungan perairan terutama di estuari yang merupakan kumpulan dan akumulasi dari semua buangan perkotaan, termasuk industri dan pertanian.

Estuari merupakan zona transisi antara sungai dan laut, dengan sifat fisika-kimia, biologi dan hidrologi yang spesifik karena pencampuran air tawar dan air laut. Ekosistem kunci di estuari ini dicirikan oleh keanekaragaman hayati dan produktivitas yang unik dan dinamis. Estuari juga merupakan tempat dari banyak kegiatan ekonomi (industri, pelabuhan) dan berada di dalam kondisi tekanan antropogenik yang tinggi (Herrmann et al., 2015). Setiap estuari memiliki bentuk topografi yang unik dan fungsinya sendiri. Selain sebagai sumber suplai bahan organik dan mineral dari sungai ke lautan, estuari juga

memainkan peran penting pada fluks CO₂ di atmosfer (Canuel & Hardison, 2016).

Fitoplankton merupakan salah satu organisme yang hidup di ekosistem perairan estuari ini. Fitoplankton memiliki peranan penting dalam suatu perairan yaitu sebagai produsen primer yang mampu mengubah komponen anorganik menjadi komponen organik dengan bantuan cahaya matahari dan pigmen fotosintetik klorofil-a. Pengukuran konsentrasi klorofil-a perairan merupakan salah satu cara untuk menentukan produktivitas primer. Produktivitas primer fitoplankton di laut tergantung pada beberapa faktor lingkungan antara lain: cahaya, suhu, kecerahan, salinitas, DO, pH dan nutrien (nitrat dan fosfat) (Aditee Mitra et al., 2014; Nybakken, 1992). Nitrat dan fosfat merupakan nutrien yang paling berpengaruh terhadap produksi biomassa fitoplankton, karena kedua unsur tersebut dibutuhkan dalam jumlah yang signifikan, namun keberadaannya terbatas di perairan. Oleh karena itu kedua nutrien ini disebut sebagai komponen pembatas bagi fitoplankton (Falkowski et al., 1998). Kesuburan suatu perairan sangat berhubungan dengan kelimpahan fitoplankton yang juga digunakan sebagai indikator tingginya konsentrasi klorofil-a. Umumnya sebaran konsentrasi klorofil-a tinggi di perairan pantai sebagai akibat tingginya nutrien yang berasal dari daratan melalui limpasan air sungai dan sebaliknya cenderung lebih rendah di perairan lepas pantai, meskipun pada beberapa tempat di laut masih ditemukan konsentrasi klorofil-a yang cukup tinggi (Amosu & Babalola, 2010). Keadaan tersebut disebabkan oleh adanya proses pengaruh keluaran dan pemasukan massa air dari aliran air tawar dan laut (pasang surut) (Davies, 2004; Susanti, 2001).

SIKLUS DAN MASUKAN NUTRIEN KE ESTUARI

Perairan air tawar dan perairan laut memiliki pola sistem yang berbeda terhadap siklus nutrisi, yang menyebabkan perbedaan penggunaan relatif unsur N dan P sebagai elemen pembatas. Fosfor umumnya dianggap sebagai elemen pembatas utama dalam sistem perairan air tawar, sedangkan nitrogen dianggap sebagai elemen pembatas utama dalam sistem air laut (Cloern, 2001).

Muara menerima beban nutrisi secara masif yang berasal dari kegiatan pertanian dan pembuangan limbah domestik maupun limbah industri (Gambar 1). Masukan nutrisi dari daratan tersebut baik secara langsung maupun tidak langsung memiliki korelasi yang sangat kuat terhadap kehidupan biota perairan terutama klorofil-a fitoplankton sebagai indikator tingkat kesuburan perairan (Marlian et al., 2015; Paerl & Justic, 2012).

Zona estuari sering dipengaruhi oleh pasang surut sebagai ekosistem transisi yang menghubungkan sistem perairan air tawar dan air laut. Kondisi ini memengaruhi sebaran nutrisi di perairan estuari dan konsentrasinya akan semakin menurun menuju laut lepas (Herrmann et al., 2015; Wu et al., 2020).

Faktor fisikohidrodinamika

Siklus nutrisi di perairan laut sangat dipengaruhi oleh pola arus dan pasang surut yang terjadi. Pengaruh dari proses hidrodinamika ini juga memengaruhi tinggi rendahnya produktivitas primer yang bergantung pada kelimpahan nutrisi dan intensitas sinar matahari di perairan. Saat air surut, sejumlah nutrisi melalui proses afeksi arus sungai akan terakumulasi di estuari sehingga konsentrasi nilai N dan P meningkat secara signifikan, sedangkan saat kondisi pasang konsentrasi nilai N dan P cenderung menurun. Hal ini terjadi

Gambar 1. Siklus nutrisi di estuari (Paerl & Justic, 2012).

karena minimnya suplai N dan P dari dari laut yang menuju sungai saat kondisi pasang. Selain pasang surut, kekuatan arus, angin, dan gelombang juga turut andil dalam siklus nutrisi di perairan estuari, utamanya memengaruhi penyebaran dan resuspensi nutrisi di dasar sedimen (Lalli & Parson, 1993; Ondara et al., 2017).

Faktor biologis

Fauna benthik merupakan elemen penting dalam proses degradasi polutan, terutama yang menghuni fase substrat sedimen di perairan. Pertama, bioakumulasi polutan oleh fauna benthik melalui jaring makanan akuatik. Kedua, polutan yang memiliki berat molekul rendah, dapat terdegradasi oleh mikroorganisme sedimen dalam kondisi aerobik, tetapi substrat bagian permukaan sedimen dalam perairan akan selalu kekurangan oksigen. Jenis tumbuhan perairan (makro alga) juga dapat mendegradasi polutan melalui serapan dan meningkatkan degradasi aerobik melalui kehilangan oksigen radial. Fauna benthik sangat penting untuk mengubah transfer oksigen melalui bioturbasi dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Ketiga, degradasi polutan oleh mikroba tergantung pada berbagai kondisi lingkungan, seperti nutrisi, sifat-sifat polutan, kondisi denitrifikasi, kadar oksigen, dan komposisi mikroba. Di bawah kondisi anaerob, efisiensi biodegradasi mikroba sangat tergantung pada reseptor elektron seperti nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), sulfat atau besi. Menurut penelitian yang telah dilakukan, fauna benthik dapat mengubah kultur nitrogen dalam substrat. Dengan demikian, fauna benthik dianggap secara signifikan memengaruhi degradasi polutan secara ekologis dan berkelanjutan. Kerang adalah fauna benthik khas di perairan.

Kerang di lingkungan akuatik terutama menghuni substrat sedimen, dengan kapasitas filtrasi yang sangat baik dalam penyerapan polutan organik, dan mengubah tingkat nutrisi dalam substrat. Dengan kata lain, karakter filter feeder pada kerang memiliki efek dalam penyerapan polutan selama metabolisme (Fan et al., 2017; Pan et al., 2017; Stief, 2013).

Faktor kimiawi

Estuari merupakan zona akumulasi material organik dan mineral yang keberadaannya sering dimanfaatkan oleh organisme planktonik sebagai sumber nutrisi. Sebagian material organik dan mineral akan tenggelam dalam dasar sedimen dan terdekomposisi. Material organik yang terdekomposisi oleh mikroorganisme akan dikonversi kembali menjadi nutrisi. Pengaruh kekuatan arus, angin dan gelombang dapat meresuspensi nutrisi tersebut di dasar sedimen dan dapat kembali menjadi sumber nutrisi baru bagi fitoplankton (Herrmann et al., 2015). Dekomposisi sedimen merupakan hasil komprehensif dari berbagai proses seperti fragmentasi fisik, imobilisasi mikroba, dan proses hidrologi sehingga tingkat prosesnya sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, substrat, dan ketersediaan mikroorganisme (Yin et al., 2019).

PENGAYAAN DAN PENIPISAN NUTRIEN

Pengaruh nutrisi terhadap produktivitas primer

Produktivitas primer perairan penting untuk diketahui karena peranannya sebagai penyedia makanan (produsen) dalam ekosistem perairan, serta sebagai pemasok kandungan oksigen terlarut di perairan

(Hariyadi et al., 2010). Kondisi suatu perairan dapat dikatakan produktif dalam menghasilkan biomassa tumbuhan, terutama fitoplankton dengan melihat tingkat produktivitas primer yang dihasilkan. Hal ini juga termasuk pasokan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis yang terjadi, sehingga mendukung perkembangan ekosistem perairan (Abigail et al., 2015). Produktivitas primer perairan yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan telah terjadi eutrofikasi, sedangkan yang terlalu rendah dapat memberikan indikasi bahwa perairan tidak produktif atau miskin nutrisi (Hariyadi et al., 2010).

Pertumbuhan fitoplankton membutuhkan unsur nitrogen dan fosfat dalam jumlah yang besar namun ketersediaannya dalam jumlah yang terbatas. Faktor intensitas cahaya juga memengaruhi laju produktivitas primer fitoplankton di perairan. Aspek dasar dari cahaya yang penting secara biologi adalah kuantitas dan kualitasnya (Lalli & Parson, 1993), kedua karakter ini berfluktuasi di laut, bergantung kepada waktu, ruang, kondisi cuaca, penyebaran sudut, dan polarisasi. Proses fotosintesis di dalam perairan hanya dapat berlangsung jika ada cahaya sampai pada kedalaman tertentu tempat fitoplankton berada. Tingkat penyerapan cahaya oleh fitoplankton sekitar 1,4% di perairan jernih dan 40% di perairan yang sangat keruh (A. Mitra et al., 2004).

Distribusi cahaya dan unsur hara di perairan pada umumnya tidak selaras dengan kebutuhan fitoplankton. Adanya kekeruhan yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi mengakibatkan adanya perbedaan potensi tumbuh fitoplankton pada suatu kolom air. Hal ini akan berpengaruh pada produktivitas primer

fitoplankton (Alianto et al., 2008; Amosu & Babalola, 2010).

Dampak dari penipisan dan pengayaan nutrisi

Kesuburan suatu perairan ditentukan oleh buangan material organik dan nutrisi yang berasal dari aktivitas manusia yang. Jumlah material organik dan nutrisi yang rendah akan berdampak pada produktivitas primer yang rendah pula (Amosu & Babalola, 2010; Hariyadi et al., 2010). Dan sebaliknya dengan jumlah nutrisi yang berlebih dapat menyebabkan eutrofikasi yaitu jumlah nutrisi yang berlebihan di dalam ekosistem perairan yang berakibat tidak terkontrolnya pertumbuhan alga hingga dapat mengakibatkan terjadinya fenomena *harmful algal bloom* (HAB) (Alfionita et al., 2019; Cloern, 2001; Maslukah et al., 2014).

Dalam kurun waktu dua puluh tahun terakhir fenomena HAB yang semakin meningkat telah menimbulkan kekhawatiran terhadap negara di seluruh dunia. Fenomena HAB mendapatkan perhatian karena memiliki dampak negatif terhadap kelangsungan ekosistem pesisir, kegiatan perikanan tangkap, industri budidaya dan bahkan dapat membahayakan kesehatan manusia (Paerl & Justic, 2012). Peristiwa HAB juga berdampak negatif terhadap perekonomian dari suatu wilayah karena dapat mengakibatkan kematian pada biota perikanan yang membuat harga biota tersebut menurun bahkan tidak bernilai, meningkatkan biaya monitoring terhadap suatu perairan, dan dapat mengganggu aktifitas pariwisata pada perairan tersebut. Peningkatan fenomena HAB dapat diakibatkan oleh perubahan iklim di laut, buangan dari aktifitas industri dan rumah tangga di wilayah pesisir, pola pasang surut

dan fenomena *upwelling* yaitu naiknya massa air yang kaya nutrisi dari bawah permukaan perairan menuju ke atas permukaan perairan (Barokah et al., 2016; Tungka et al., 2017).

Peristiwa HAB dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu *red tide maker* dan *toxin producer*. Peristiwa *red tide maker* disebabkan oleh ledakan populasi fitoplankton berpigmen sehingga warna air laut akan berubah sesuai dengan warna pigmen spesies fitoplanktonnya. Ledakan populasi fitoplankton tersebut dapat menutupi permukaan perairan sehingga selain menyebabkan deplesi oksigen secara

signifikan, juga dapat menyebabkan gangguan fungsi mekanik maupun kimiawi pada insang ikan (Gambar 2a). Kondisi tersebut dapat mengakibatkan kematian massal ikan. Sedangkan peristiwa *toxin producer* disebabkan oleh metabolit sekunder yang bersifat toksik yang dihasilkan dari suatu fitoplankton sehingga toksin tersebut dapat terakumulasi pada biota perairan seperti ikan dan kerang (Gambar 2b). Pada kondisi ini ikan sebagai konsumen tingkat lanjut akan mengalami kematian akibat toksin tersebut (Kang et al., 2012; Paerl & Justic, 2012).

Gambar 2. Keterkaitan antara masukan nutrisi eksternal, siklus nutrisi internal, pembentukan alga dengan peningkatan nutrisi, dan hipoksia dalam kondisi stratifikasi salinitas (a) Dampak diferensial pada hipoksia spesies fitoplankton yang mudah dikonsumsi (diberi label (+) vs spesies yang bukan (-); dan (b) Deplesi oksigen akibat HAB (Paerl & Justic, 2012).

PENGENDALIAN MASUKAN NUTRIEN KE ESTUARI

Estuari dikenal sebagai salah satu lingkungan laut yang paling beragam dan produktif, dan memainkan peran penting dalam siklus karbon dan nutrisi biogeokimia. Penggunaan zona pesisir telah meningkat selama beberapa dekade terakhir, dan pantai sedang mengalami perubahan sosial ekonomi dan lingkungan yang signifikan secara global (Canuel & Hardison, 2016).

Pentingnya pengendalian nutrisi

Keberadaan dan kelimpahan nutrisi di perairan sangat dipengaruhi oleh interaksi antara proses fisika dan biogeokimia yang sangat kompleks; yang terjadi pada skala spasial yang berbeda (misal sirkulasi muara, debit sungai dan air tanah, siklus pasang surut, proses resuspensi sedimen, dan pertukaran air yang berasal dari sumber sungai lain yang berdekatan), dan pengaruh variabilitas musim (Canuel & Hardison, 2016). Nutrien (unsur N dan P) sangat penting untuk pertumbuhan fitoplankton. Kelimpahan nutrisi akan memengaruhi tingkat produktivitas primer yang dihasilkan dan mempengaruhi siklus jejaring makanan khususnya di *lower trophic level*. Peningkatan pelepasan N dan P ke dalam lingkungan sejauh ini cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Hal ini tentu dapat berdampak negatif bagi lingkungan karena berpotensi menyebabkan terjadinya eutrofikasi dan deplesi oksigen (UNEP, 2013). Oleh karena itu, jumlah nutrisi di perairan estuari perlu dikendalikan untuk mencegah terjadinya kerugian yang akan berdampak tidak baik bagi ekosistem perairan dan jejaring makanan.

Cara pengendalian nutrisi

Pengelolaan sumber daya air terpadu merupakan proses yang mendukung pengembangan dan pengelolaan air yang terkoordinasi, juga termasuk pengelolaan tanah dan jenis sumber daya lain yang terkait, yang dapat mendukung pembangunan ekonomi dan sosial tanpa mengurangi tekanan terhadap kualitas lingkungan khususnya sumber daya air baik secara kuantitas maupun kualitas (Gavrilescu et al., 2020).

Ribuan bahan kimia organik termasuk nutrisi telah diidentifikasi sebagai kontaminan yang dikhawatirkan muncul (*Contaminants of Emerging Concern/CEC*). Sebagian besar dari bahan kimia ini memiliki dampak buruk dalam hal keberadaannya di lingkungan perairan dan efek potensialnya terhadap makhluk hidup termasuk manusia. Bahan kimia organik tertentu telah terbukti berbahaya bagi ikan, hewan lain, dan mungkin juga manusia. Namun masih belum jelas, mana dari bahan kimia ini yang merupakan penyebab terburuk (Diamond et al., 2011).

Pengambilan sampel dan identifikasi CEC dalam berbagai matriks lingkungan untuk memprioritaskan CEC seringkali memakan waktu, menjenuhkan, dan mahal. Oleh karena itu, beberapa metode penyaringan untuk CEC potensial telah ditawarkan. Metode penyaringan biasanya mempertimbangkan persistensi, potensi bioakumulasi, dan toksisitas bahan kimia (pendekatan Persistent, Bioaccumulation potential and Toxicity/PBT). Namun, pendekatan PBT ini tidak mempertimbangkan dua aspek penting yang memengaruhi risiko yang ditimbulkan oleh bahan kimia bagi manusia dan ekosistem: tingkat produksi bahan kimia saat ini dan perilaku individu bahan kimia

dalam sistem biologis sebenarnya. Penjelasan peralatan mengenai tingkat penggunaan bahan kimia dan kemampuan biodegradasi kimiawi yang sebenarnya dengan demikian akan menjadi tambahan yang baik untuk kotak alat penilai risiko yang ditugaskan memprioritaskan dan mengelola CEC (Conder et al., 2012).

Sebagian besar bahan kimia yang digunakan dalam produk konsumen pada akhirnya dicuci ke saluran pembuangan dan dikumpulkan di saluran pembuangan kota. Pemantauan bahan kimia yang efisien di instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dapat memberikan informasi terkini tentang tingkat penggunaan bahan kimia untuk penilaian epidemiologis. Pendekatan yang disebut 'epidemiologi limbah' ini telah digunakan oleh peneliti lain untuk mengevaluasi penggunaan obat-obatan terlarang di masyarakat melalui pengukuran tingkat obat dalam air limbah influen. Dalam hal ini mengambil contoh penggunaan repositori sampel dari *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) negara Amerika untuk memperoleh informasi tentang kejadian dan identitas CEC serta potensi bioakumulasi dan kecenderungannya untuk menahan proses

degradasi (Gambar 3). Istilah WWTP ini di Indonesia dikenal sebagai IPAL atau Instalasi Pengolahan air Limbah. Hipotesis yang mendasari sistem ini adalah bahwa IPAL dapat berfungsi sebagai observatorium kimia untuk mempelajari prevalensi dan kemungkinan nasib bahan kimia dan potensi bioakumulasinya pada manusia dan lingkungan (Venkatesan & Halden, 2014).

Dengan adanya instalasi pengolahan air limbah (IPAL), khususnya dari buangan rumah tangga dan industri yang berkontribusi besar terhadap kelimpahan nutrien di sungai dan estuari diharapkan dapat mengontrol jumlah nutrien yang berlebihan, yang dapat berdampak negatif bagi lingkungan perairan estuari seperti terjadinya alga bloom atau marak alga.

Selain itu, terdapat pula beberapa fenomena dan kasus pencemaran perairan yang terjadi akibat buangan dari limbah rumah tangga dan industri yang menyebabkan menurunnya kualitas perairan seperti yang terjadi di Sungai Batang Arau, Sumatera Barat (Putri, 2010), Sungai Blukar (Agustiningsih & Sasongko, 2012), Teluk Jakarta (Breckwoldt et al., 2016; Rositasari et al., 2017), dan beberapa lokasi lain di Indonesia.

Gambar 3. Siklus dan transport bahan kimia antropogenik dan pembangunan buangan rumah lingkungan (Venkatesan & Halden, 2014).

PENUTUP

Jumlah nutrisi yang optimal dibutuhkan fitoplankton untuk menghasilkan produktivitas primer di perairan. Distribusi terbesar nutrisi bersumber dari sungai yang bermuara ke laut. Nutrisi yang berlimpah di perairan dapat menghasilkan nilai produktivitas primer yang tinggi sehingga dapat mendukung terciptanya jejaring rantai makanan yang berkelanjutan dan akan berdampak pada kondisi sosial khususnya pada manusia seperti berlimpahnya ikan konsumsi. Namun dalam kondisi yang sama, dapat terjadi hal yang sebaliknya. Dampak negatif dari tingginya nilai kelimpahan nutrisi, dapat menyebabkan terjadinya *algal bloom*. *Algal bloom* dapat berdampak negatif bagi ekosistem perairan karena menurunkan kandungan oksigen terlarut, sehingga dapat menyebabkan kematian massal biota laut seperti ikan. Oleh karena itu jumlah nutrisi yang masuk ke dalam muara sungai perlu dikendalikan dengan cara mengolah buangan hasil aktivitas antropogenik dan industri dengan membangun Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). Diharapkan dengan adanya sistem IPAL terpadu yang mampu mengolah buangan penduduk dan industri, dapat mengontrol jumlah nutrisi yang masuk ke dalam perairan muara sehingga konsentrasi nutrisinya dalam jumlah yang proporsional.

DAFTAR PUSTAKA

- Abigail, W., Zainuri, M., Tisiana Dwi Kuswardani, A., & Setiyo Pranowo, W. (2015). Sebaran nutrisi, intensitas cahaya, klorofil-a dan kualitas air di Selat Badung, Bali pada Monsun Timur. *Depik*, 4(2): 87-94. doi.org/10.13170/depik.4.2.2494.
- Agustiningsih, D., & Sasongko, S.B. (2012). Analisis Kualitas Air Dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Blukar Kabupaten Kendal. *Jurnal Presipitasi - Merdia Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 9(2), 64-71. doi.org/10.14710/presipitasi.v9i2.64-71.
- Alfionita, A.N.A., Patang, P., & Kaseng, E.S. (2019). Pengaruh Eutrofikasi Terhadap Kualitas Air Di Sungai Jeneberang. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 5(1): 9. doi.org/10.26858/jptp.v5i1.8190.
- Alianto, Adiwilaga, E.M., & Damar, A. (2008). Produktivitas Primer Fitoplankton dan Keterkaitannya dengan Unsur Hara dan Cahaya di Perairan Teluk Banten. *Jurnal Ilmu Perairan Dan Perikanan Indonesia*, 1: 21-26.
- Amosu, O.A., & Babalola, O.O. (2010). Coastal Environment Mangement and Aquatic Resources. *Coastal Environment Management and Aquatic Resources*, July 2010.
- Barokah, G.R., Kurniasari, A., & Gunawan. (2016). Kelimpahan Fitoplankton Penyebab Kelimpahan Fitoplankton Penyebab Hab (Harmful Algae Bloom)di Perairan Teluk lampung pada Musim barat dan Timur . *JPB Kelautan Dan Perikanan*, 11(2): 115-125.
- Bertule, M., Glennie, P., Bjørnsen, P.K., Lloyd, G.J., Kjellen, M., Dalton, J., Rieu-clarke, A., Romano, O., Tropp, H., Newton, J., & Harlin, J. (2018). Management Implementation. *Water*, 10(1744): 1-20. doi.org/10.3390/w10121744.
- Breckwoldt, A., Dsikowitzky, L., Baum, G., Ferse, S.C.A., van der Wulp, S., Kusumanti, I., Ramadhan, A., & Adrianto, L. (2016). A review of stressors, uses and management perspectives for the larger Jakarta Bay Area, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 110(2): 790-794. doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.08.040.
- Canuel, E.A., & Hardison, A.K. (2016).

- Sources, Ages, and Alteration of Organic Matter in Estuaries. *Annual Review of Marine Science*, 8(1): 409-434. doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034058.
- Chen, W.Y., Li, X., & Hua, J. (2019). Science of the Total Environment Environmental amenities of urban rivers and residential property values : A global meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 693: 133628. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133628.
- Cloern, J.E. (2001). *Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem*. 210: 223-253.
- Conder, J.M., Gobas, F.A.P.C., Borgå, K., Muir, D.C.G., & Powell, D.E. (2012). Use of trophic magnification factors and related measures to characterize bioaccumulation potential of chemicals. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 8(1): 85-97. doi.org/ 10.1002/ieam.216.
- Cordell, D., & White, S. (2014). *Life's Bottleneck: Sustaining the World's Phosphorus for a Food Secure Future*. doi.org/10.1146/annurev-environ-010213-113300.
- Davies, P. (2004). Nutrient processes and chlorophyll in the estuaries and plume of the Gulf of Papua. *Continental Shelf Research*, 24(19): 2317-2341. doi.org/10.1016/j.csr.2004.07.012.
- Diamond, J.M., Latimer, H.A., Munkittrick, K.R., Thornton, K.W., Bartell, S.M., & Kidd, K.A. (2011). Prioritizing contaminants of emerging concern for ecological screening assessments. *Environmental Toxicology and Chemistry / SETAC*, 30(11): 2385-2394. doi.org/10.1002/etc.667.
- Falkowski, P.G., Barber, R.T., & Smetacek, V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281: 200-206.
- Fan, S., Wang, B., Liu, H., Gao, S., Li, T., Wang, S., Liu, Y., Liu, X., & Wan, Y. (2017). Trophodynamics of organic pollutants in pelagic and benthic food webs of Lake Dianchi : Importance of ingested sediment as uptake route. *Environmental Science & Technology*, 1-34. doi.org/10.1021/acs.est.7b03681.
- Francis, R.A. (2012). *Positioning urban rivers within urban ecology*. *March*, 285-291. doi.org/10.1007/s11252-012-0227-6.
- Gavrilescu, D., Teodosiu, C., & David, M. (2020). Environmental assessment of wastewater discharges at river basin level by means of waste absorption footprint. *Sustainable Production and Consumption*, 21: 33-46. doi.org/ 10.1016/j.spc.2019.10.006.
- Hariyadi, S., Adiwilagab, E.M., Prartonoc, T., Hardjoamidjojod, S., & Damar, A. (2010). Produktivitas Primer Estuari Sungai Cisadane Pada Musim Kemarau. *Limnotek*, 17(1): 49-57. doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Herrmann, M., Najjar, R.G., Kemp, W.M., Alexander, R.B., Boyer, E.W., Cai, W., Griffith, P.C., Kroeger, K.D., McCallister, S.L., & Smith, R.A. (2015). Global Biogeochemical Cycles estuaries : A synthesis approach. *Global Biogeochemical Cycles*, 29: 96-111. doi.org/ 10.1002/2013GB004736.Received.
- Jain, S., Singhal, S., & Pandey, S. (2020). Resources , Conservation & Recycling Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling : A case of urban India. *Resources, Conservation & Recycling*, 155(November 2019): 104642. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104642.
- Kang, H.Y., Rule, R.A., & Noble, P.A. (2012). Artificial Neural Network Modeling of Phytoplankton Blooms and its Application to Sampling Sites within the Same Estuary. In *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (Vol. 9). Elsevier Inc. doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00908-6.
- Lalli, C.M., & Parson, T. R. (1993). *Biological oceanography: an introduction* (Second). University of

- British Columbia. doi.org/10.1016/0022-0981(96)02604-4.
- Marlian, N., Damar, A., & Effendi, H. (2015). The Horizontal Distribution Chlorophyll-a Fitoplankton as Indicator of the Tropic State in Waters of Meulaboh Bay, West Aceh. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 20(3): 272-279.
https://doi.org/10.18343/jipi.20.3.272.
- Maslukah, L., Indrayanti, E., & Rifai, A. (2014). Sebaran Material Organik dan Zat Hara Oleh Arus Pasang Surut di Muara Sungai Demaan, Jepara. *Ilmu Kelautan*, 19(4): 189-194.
- Mitra, A., Banerjee, K., & Gangopadhyay, A. (2004). *Introduction to marine plankton*. Daya Publication.
- Mitra, Aditee, Castellani, C., Gentleman, W.C., Jónasdóttir, S.H., Flynn, K. J., Bode, A., Halsband, C., Kuhn, P., Licandro, P., Agersted, M.D., Calbet, A., Lindeque, P.K., Koppelman, R., Møller, E.F., Gislason, A., Nielsen, T.G., & St. John, M. (2014). Bridging the gap between marine biogeochemical and fisheries sciences; configuring the zooplankton link. *Progress in Oceanography*, 129(PB): 176-199. doi.org/10.1016/j.pocean.2014.04.025.
- Nybakken, J.W. (1992). *Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologi* (Kedua). PT Gramedia Pustaka Utama.
- Ondara, K., Rahmawan, G.A., Wisha, U.J., & Hasanah Ridwan, N.N. (2017). Hidrodinamika Dan Kualitas Perairan Untuk Kesesuaian Pembangunan Keramba Jaring Apung (Kja) Offshore Di Perairan Keneukai, Nangroe Aceh Darussalam. *Jurnal Kelautan Nasional*, 12(2): 45. doi.org/10.15578/jkn.v12i2.6242.
- Paerl, H.W., & Justic, D. (2012). Primary Producers: Phytoplankton Ecology and Trophic Dynamics in Coastal Waters. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 6(January): 23-42. doi.org/10.1016/B978-0-12-374711-2.00603-3.
- Pan, W., Wu, C., Wang, Q., Su, Z., Zhou, H., King, A., Chung, C., Hartley, W., & Ge, L. (2017). Effect of wetland plants and bacterial inoculation on dissipation of phenanthrene. *International Journal of Phytoremediation*, 6514(March). doi.org/10.1080/15226514.2017.1301877.
- Putri, W. (2010). Pencemaran bahan organik di Muara Sungai Batang Arau Padang Sumatera Barat. *Maspatri Journal - Marine Science Research (Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya)*, 1(1): 30-34.
- Rositasari, R., Puspitasari, R., Nurhati, I., Purbonegoro, T., & Yogaswara, D. (2017). Review Penelitian Oseanografi di Teluk Jakarta 1970-2015. Dalam *5 Dekade LIPI di Teluk Jakarta*.
- Stief, P. (2013). Stimulation of microbial nitrogen cycling in aquatic ecosystems by benthic macrofauna: mechanisms and environmental implications. *Biogeosciences*, 10: 7829-7846. doi.org/10.5194/bg-10-7829-2013.
- Susanti, I.I. (2001). *Produktivitas Primer Fitoplankton Serta Keterkaitannya dengan Nutrien dan Intensitas Cahaya di Perairan Teluk Hurun, Bandar Lampung*.
- Tungka, A.W., Haeruddin, H., & Ain, C. (2017). Konsentrasi Nitrat dan Ortofosfat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat dan Kaitannya dengan Kelimpahan Fitoplankton Harmful Alga Blooms (HABs). *SAINTEK PERIKANAN: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 12(1): 40. doi.org/10.14710/ijfst.12.1.40-46.
- UN. (2015). *Resolution adopted by the General Assembly on 1 September 2015: Vol. A/Res/69/3* (Issue 15 September).
- UNEP. (2013). *Our Nutrient World. The Challenge to Produce More Food and Energy With Less Pollution* (M. A. S.

- et Al (ed.); First). Center for Ecology and Hydrology (CEH).
- Venkatesan, A.K., & Halden, R.U. (2014). Wastewater treatment plants as chemical observatories to forecast ecological and human health risks of manmade chemicals. *Scientific Reports*, 4: 4-10. doi.org/10.1038/srep03731.
- Wijesiri, B., Deilami, K., & Goonetilleke, A. (2018). Evaluating the relationship between temporal changes in land use and resulting water quality *. *Environmental Pollution*, 234: 480-486. doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.096.
- Wijesiri, B., Liu, A., Deilami, K., He, B., Hong, N., & Yang, B. (2019). Nutrients and metals interactions between water and sediment phases: An urban river case study +. *Environmental Pollution*, 251: 354-362. doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.018.
- Wu, Y., Fan, D., Wang, D., & Yin, P. (2020). Increasing hypoxia in the Changjiang Estuary during the last three decades deciphered from sedimentary redox-sensitive elements. *Marine Geology*, 419(September 2019): 106044. doi.org/10.1016/j.margeo.2019.106044.
- Yin, S., Bai, J., Wang, W., Guan, Y., Yan, J., Li, X., & Liu, X. (2019). Decomposition and nutrient variations of Suaeda salsa litters under different hydrological connectivities and placement patterns in a typical Chinese estuary. *Ecohydrology & Hydrobiology*, xxxx. doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.11.002.