

STUDI KINETIS SENYAWA FOSFOR DAN NITROGEN DARI RESUSPENSI SEDIMEN

(*KINETIC STUDY OF PHOSPHOR DAN NITROGEN COMPOUNDS FROM SEDIMENTARY RE-SUSPENSION*)

T. Prartono¹ dan T. Hasena¹

¹Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga–Bogor 16680
Email: trip@ipb.ac.id

Abstract

Kinetic study of phosphor and nitrogen compounds through resuspension sediment has been carried out to determine their time release from sediment to the water column. This laboratory study was performed by stirring the sediment within the seawater at an equal current speed of 1 m/sec. Nutrients were observed at several intervals of 5 minutes, 10 minutes, 15 minutes, 20 minutes, 25 minutes and 40 minutes by sampling 25 ml water mixture with 3 time as replicates. The increase of nutrient occurred significantly during 5 minutes. Their average contribution of nutrient per gram sediment reached 1.827 μg phosphate, 0.292 mg ammonia, 0.276 mg ammonium, 1.776 μg nitrite and 9.059 μg nitrate. The extent of nutrient increase was probably depended upon characteristic of sediment (composition of nutrient availability) and resuspension speed.

Keywords: kinetic, nutrient, resuspension, sediment, Jakarta Bay.

Abstrak

Studi kinetis senyawa nitrogen dan fosfor dari resuspensi sedimen telah dilakukan untuk memberikan informasi kecepatan kontribusi nutrien (fosfat, nitrat dan ammonium) dari sedimen yang dilepaskan kembali ke dalam air. Penelitian laboratorium ini dilakukan dengan mengaduk sediment dalam air laut dengan kecepatan setara kekuatan arus 1 m/det. Pengamatan nutrien dilakukan pada interval waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 40 menit dengan cara mengambil 25 ml contoh air campuran sebanyak 3 kali sebagai ulangan. Peningkatan nutrien sebagai indikasi pelepasan senyawa tersebut dalam air sangat nyata dalam waktu 5 menit. Peningkatan nutrien rata-rata per gram sedimen mencapai 1.827 μg fosfat, 0.292 mg ammonia, 0.276 mg ammonium, 1.776 μg nitrit dan 9.059 μg nitrat. Peningkatan konsentrasi senyawa nutrien diperkirakan sangat bergantung kepada karakter sedimen (komposisi keberadaan nutrien) dan kecepatan resuspensi.

Kata Kunci: kinetis, nutrien, resuspensi, sedimen, Teluk Jakarta.

1. PENDAHULUAN

Resuspensi sedimen merupakan salah satu proses yang berpotensi memberikan kontribusi masukkan nutrisi penting seperti nitrat, ammonium dan fosfat dari sedimen ke kolom air dan berdampak terhadap pertumbuhan alga (Cristiansen *et al.*, 1997; Phillips *et al.*, 2005; Dzialowski *et al.*, 2008). Pada wilayah-wilayah dangkal, resuspensi terjadi karena gelombang laut yang dibangkitkan oleh angin atau arus pasut. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kecepatan angin > 4 m/det mampu meningkatkan organik partikel secara nyata dari sedimen ke kolom air yang dapat memasok kehidupan produktivitas sekunder, tetapi tidak untuk kecepatan angin > 6 m/det (Demers *et al.*, 1987). Arfi *et al.* (1994) pada kecepatan angin > 3 m/det mampu menimbulkan resuspensi sedimen yang diikuti dengan peningkatan seston mineral dan amonia.

Pada wilayah pesisir termasuk Teluk Jakarta, akumulasi senyawa-senyawa hara (nutrien) di sedimen sangat mungkin terjadi akibat penyayaannya yang berasal dari masukan aktifitas manusia yang tinggi di daratan (Damar, 2003; Paongan, 2008). Hal ini juga ditunjukkan oleh 13 sungai yang melewati wilayah kota Jakarta. Ketigabelas sungai tersebut terdiri dari 3 sungai besar (Sungai Citarum, Sungai Bekasi dan Sungai Ciliwung) dan 10 sungai kecil (Sungai Kamal, Sungai Cengkareng Drain, Sungai Angke, Sungai Karang, Sungai Ancol, Sungai Sunter, Sungai Cakung, Sungai Blencong, Sungai Grogol dan Sungai Pesanggrahan).

Peningkatan konsentrasi nutrisi telah menimbulkan fenomena di laut yang dikenal sebagai eutrofikasi. Proses eutrofikasi Teluk Jakarta telah dilaporkan oleh berbagai peneliti dimana umumnya terjadi pada musim-musim tertentu

seperti bulan September dan Oktober (Sutomo *et al.*, 1994; Damar, 2003). Wouthuyzen (2006) mengungkapkan bahwa ledakan fitoplankton (algae bloom) rutin terjadi di perairan Teluk Jakarta sejak tahun 1970-an. Fenomena eutrofikasi terjadi hingga tiga kali pada 2004, empat kali pada 2005 dan tiga kali pada 2006 dan menyebabkan beberapa kali kematian massal ikan. Fenomena ini dideteksi semakin sering terjadi dengan area cakupan yang semakin luas, dari luasan 5 km di tahun 1988 hanya 5 km menjadi 12 km pada tahun 1992.

Tulisan ini memberikan informasi tentang waktu yang dibutuhkan bagi nutrisi untuk lepas dari sedimen dan masuk ke kolom air. Disamping itu, ditampilkan juga informasi potensi besaran sumbangan material nutrisi yang mampu memberikan kontribusi ke kolom air.

2. METODOLOGI

2.1. Persiapan Penelitian

Persiapan dilakukan untuk mempersiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian, seperti penentuan contoh sedimen dan air uji. Air laut uji berasal dari wilayah perairan Teluk Pelabuhanratu, Kabupaten Sukabumi yang diambil pada bulan Juni 2004 dengan pertimbangan kondisi perairan yang relatif tidak tercemar karena konsentrasi nutrisi yang rendah. Contoh air uji diambil pada permukaan (< 2 m) dengan menggunakan botol teflon "Van Dorn" yang telah dibersihkan dan dikondisikan agar terhindar dari kontaminasi. Air uji sebagai stok air laut ditampung dalam kontainer plastik volume 20 liter dan diaerasi sebelum dibawa ke laboratorium. Selama transportasi, air uji dipertahankan dalam

kondisi suhu rendah (4°C). Di laboratotium, stok air uji ditampung dalam akuarium 30 liter yang ditutup agar terlindung dari kontaminasi dan diaerasi untuk mempertahankan kondisi kualitas air baik.

Sedimen uji diambil di daerah perairan Muara Angke, Teluk Jakarta pada bulan Juli 2004 dengan pertimbangan bahwa wilayah tersebut telah menerima limpasan dari daratan aktif kegiatan. Contoh sedimen diambil tiga tempat dengan menggunakan "Van Veen Grab" dan dimasukkan perlahan-lahan ke dalam botol-botol gelas sebagai stok contoh sedimen dan didinginkan (4°C) dalam kotak pendingin selama transportasi ke laboratorium. Di laboratorium seluruh sedimen dikeringkan dengan menggunakan alat *freeze dryer* pada suhu -12°C. Ketiga contoh sedimen selanjutnya dihaluskan, dihomogenkan dan disimpan dalam botol gelas yang sudah dibersihkan.

2.2. Pelaksanaan Penelitian

Pengamatan resuspensi dilakukan pada bulan Agustus 2004 di Laboratorium Oseanografi Kimiawi, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan – IPB. Contoh sedimen 5 gram berat kering dimasukkan ke dalam gelas uji volume 3 liter dan dicampur air laut sebanyak 2 liter yang sebelumnya telah diketahui nilai konsentrasi awal fosfat, nitrat, nitrit dan ammonia. Kondisi air laut suhu 25°C dan salinitas 33. Campuran diaduk dengan kecepatan setara kekuatan arus 1 m/det. Pengamatan dilakukan pada interval waktu 5 menit, 10 menit, 15 menit, 20 menit, 25 menit dan 40 menit dengan mengambil 25 ml contoh air campuran sebanyak 3 kali sebagai ulangan untuk setiap pengamatan. Setiap contoh tersebut diendapkan dengan sentrifugasi

diikuti dengan penyaringan dengan kertas saring untuk memisahkan air dari partikel tersuspensi. Air tersaring tersebut selanjutnya dianalisis untuk menentukan konsentrasi fosfat, nitrat, nitrit dan ammonia dengan spektrofotometer SHIMADZU UV-120A.

2.3. Pengambilan dan Pengukuran Data

Data yang dipantau selama penelitian mencakup pH (derajat keasaman) yang diukur dengan menggunakan alat pH-meter yang sebelumnya dilakukan kalibrasi pada pH standar 4 dan 7. Penentuan konsentrasi fosfat dalam contoh air laut ditentukan dengan menggunakan metode spektrofotometrik yang didasarkan pada penambahan pereaksi asam molibdate yang mengandung asam askorbit dan potassium antimoni tartrat pada contoh air. Keberadaan fosfat dengan pereaksi menghasilkan senyawa kompleks fosfat yang selanjutnya diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm (Grasshoff, *et al.*, 1999).

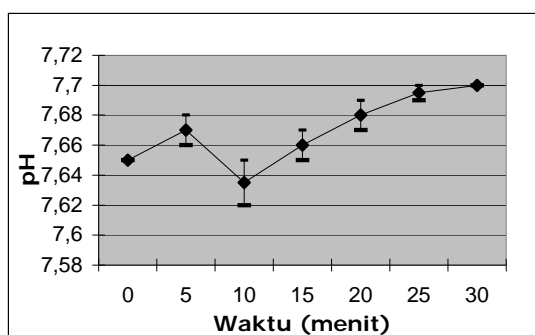
Penentuan ammonia dalam contoh air laut menggunakan metode spektrofotometrik pada panjang gelombang 640 nm yang didasarkan pada pembentukan senyawa indofenol yang berwarna biru (Grasshoff *et al.*, 1999). Kadar nitrit dalam contoh air laut ditentukan dengan menggunakan metode spektrofotometrik (543 nm) didasarkan pada reaksi nitrit dengan sulfanilamid yang dalam suasana asam menghasilkan senyawa diazonium. Banyaknya senyawa yang terbentuk ekuivalen dengan banyaknya nitrit dalam air contoh (Grasshoff *et al.*, 1999). Seperti halnya nitrit, kadar nitrat contoh air laut juga ditentukan dengan menggunakan metode spektrofotometrik (543 nm) yang sebelumnya telah direduksi menjadi nitrit

oleh butiran cadmium (Cd) yang dilapisi dengan tembaga (Cu) dalam suatu kolom reduktor (Grasshoff *et al.*, 1999).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

pH (Derajat Keasaman). Hasil pengukuran pH selama simulasi proses resuspensi berkisar 7,62 -7,70 dengan nilai pH awal air 7,65 dan pH awal sedimen 7,47 (Gambar 1). Nilai pH tertinggi sebesar 7,70 terjadi pada waktu pengamatan 25 dan 30 menit, sedangkan nilai terendah yaitu 7,62 terjadi pada waktu 10 menit. Pada Gambar 1 menunjukkan nilai pH cenderung meningkat seiring dengan lama masa percampuran dan memiliki variasi perbedaan antara 0,02-0,08 selama pengamatan.



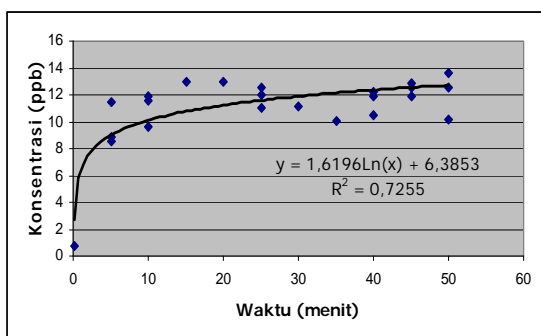
Gambar 1. Nilai pH Media Uji Selama Simulasi Resuspensi.

Penurunan nilai pH dapat terjadi akibat dari peningkatan proton (H^+), sebaliknya kenaikan pH adalah akibat dari penurunan proton. Perubahan pH adalah sebagai akibat pengaruh materi yang berasal dari sedimen uji, karena adanya sebagian pelarutan material alkali dari sedimen. Dengan memperhatikan perbedaan kondisi pH air 7,65 dan pH sedimen 7,47 sebelum proses simulasi, secara empiris seharusnya pH campuran berada pada kisaran antara 7,47 - 7,65.

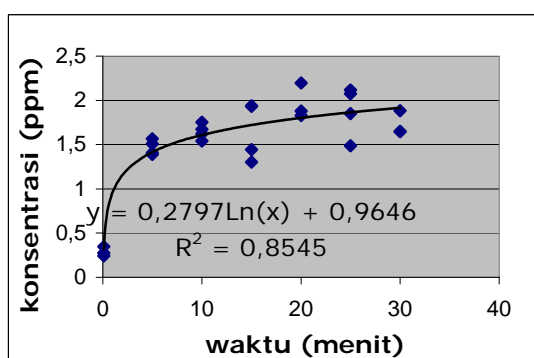
Data menunjukkan bahwa nilai pH dapat mencapai di atas 7,65, sehingga proses campuran antara sedimen dan air pada simulasi diatas, peranan komposisi mineral sedimen menjadi sangat penting. Walaupun dalam penelitian ini analisis mineral sedimen tidak dilakukan, namun penambahan sifat alkali pada air simulasi adalah faktor yang paling mungkin sebagai penentu peningkatan kecenderungan nilai pH. Beberapa komponen yang dapat menyumbang dari sedimen ke kolom air adalah $CaCO_3$, $MgCO_3$, $NaHCO_3$ dan $KHCO_3$ (Chester, 1990).

Fosfat. Hasil pengamatan simulasi proses resuspensi menunjukkan peningkatan konsentrasi fosfat seiring dengan waktu (Gambar 2). Konsentrasi fosfat meningkat cepat dari konsentrasi awal 0,757 ppb menjadi 8,549 ppb pada lima menit pertama. Selanjutnya konsentrasi cukup bervariasi dengan kisaran antara 10,060-13,650 ppb pada akhir percobaan. Secara umum variasi ini masih cenderung meningkat walaupun tidak secara nyata dari perubahan konsentrasi pada lima menit pengamatan pertama.

Senyawa Nitrogen. Disamping telah terjadi perubahan terhadap pH dan fosfat, beberapa senyawa nitrogen (ammonia, amonium, nitrit dan nitrat) teramati juga mengalami perubahan yang berturut-turut disajikan pada Gambar 4, 5, 6 dan 7. Konsentrasi ammonia awal (NH_3) 0,273 ppm meningkat cepat menjadi 1,565 ppm dalam waktu 5 menit, meningkat lambat sampai dengan waktu pengamatan 10 menit dan menunjukkan sangat bervariasi dengan kisaran 1,674- 2,198 ppm sampai 30 menit (Gambar 3). Konsentrasi maksimum dicapai pada waktu 20 menit dengan nilai 2,198 ppm.



Gambar 2. Perubahan Konsentrasi Ortofosfat (ppb) Selama Simulasi Resuspensi.

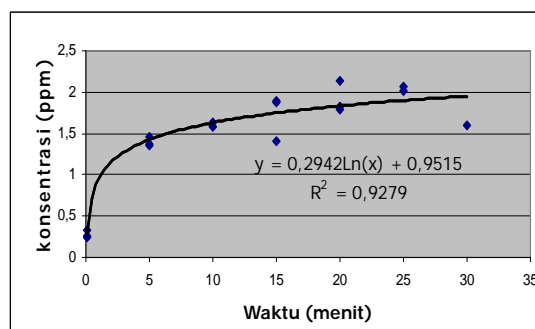


Gambar 3. Perubahan Konsentrasi Ammonia (ppm) Selama Simulasi Resuspensi.

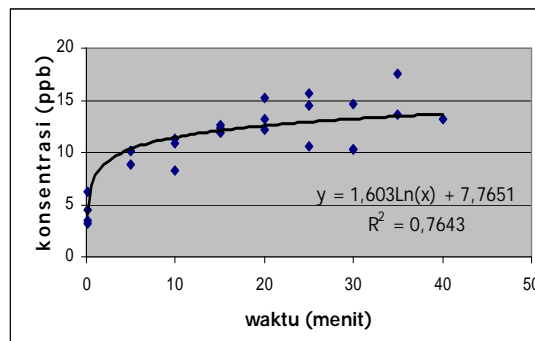
Walaupun konsentrasi spesies ammonium (NH_4^+) relatif tinggi dari konsentrasi ammonia, namun pola peningkatan masih relatif sama yaitu dari konsentrasi awal yang berkisar 0,235-0,337 ppm, meningkat cepat dalam waktu 5 menit, dan cenderung meningkat pada pengamatan 10 menit. Variasi nilai konsentrasi cukup besar juga terjadi dalam pengamatan waktu antara 15-30 menit dengan nilai kisaran antara 1,407-2,140 ppm (Gambar 4).

Konsentrasi nitrit (NO_2^-) dan nitrat (NO_3^-) juga memiliki pola yang serupa yaitu meningkat cepat dalam kurun waktu lima pengamatan dan cenderung bervariasi sampai pengamatan diakhir percobaan (Gambar 5 dan 6). Konsentrasi nitrit secara keseluruhan berkisar antara 7,816-17,480 ppb dan

konsentrasi tertinggi ditemukan pada pengamatan menit ke-35. Senyawa nitrat tampak paling berfluktuasi selama pengamatan dengan suatu kisaran antara 44,816-79,782 ppb dengan konsentrasi tertinggi di waktu 10 menit dengan konsentrasi 79,782 ppb. Selanjutnya dalam waktu 15-40 menit memiliki pola peningkatan yang relatif konstan dengan kisaran 33,902-63,333 ppb.



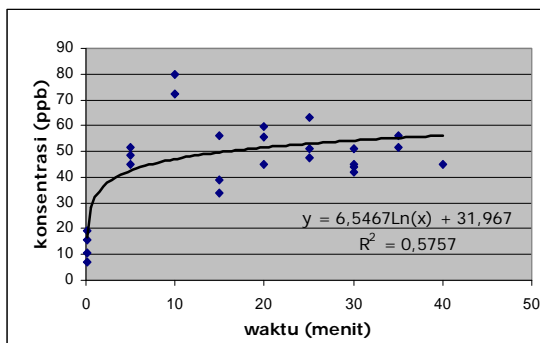
Gambar 4. Perubahan Konsentrasi Ammonium (ppm) Selama Simulasi Resuspensi



Gambar 5. Perubahan Konsentrasi Nitrit (ppb) Selama Simulasi Resuspensi

3.2. Pembahasan

Nilai konsentrasi fosfat dan spesies nitrogen hasil simulasi resuspensi (Gambar 3, 4, 5, 6 dan 7) menunjukkan hasil yang nyata terjadinya mekanisme transpor fosfat, ammonia, ammonium, nitrit dan nitrat dari sedimen ke dalam air. Proses tersebut terjadi dengan cepat dalam waktu 5 menit dalam kasus peneli-



Gambar 6. Perubahan Konsentrasi Nitrat (ppb) Selama Simulasi Resuspensi

tian ini. Disamping itu, konsentrasi yang berubah-ubah selama pengamatan yang diperkirakan dari proses reaksi “adsorpsi-desorpsi” menuju suatu kestabilan terjadi dengan cepat. Peningkatan konsentrasi (fosfat, ammonia, ammonium, nitrit dan nitrat) dalam waktu 5 menit diduga karena konsentrasi awal dari air laut contoh lebih kecil daripada konsentrasi di sedimen. Hal ini menunjukkan proses *desorpsi* yang dominan terjadi yaitu nutrisi di sedimen melarutkan kembali (*redissolved*) saat resuspensi sedimen yang menyebabkan konsentrasi nutrisi air laut contoh meningkat.

Proses pelarutan nutrisi menurun seiring dengan berjalannya waktu diduga terkait dengan pola kesetimbangan antara nutrisi dalam air dan sedimen (reaksi partikel ↔ terlarut). Hasil analisis grafik logaritmik terhadap pola perubahan fosfat, ammonia, ammonium dan nitrit terhadap waktu diperoleh nilai korelasi cukup tinggi untuk fosfat, ammonia, ammonium dan nitrit berturut-turut adalah 0,72, 0,85, 0,93 dan 0,76. Berbeda dengan ketiga spesies tersebut, nitrat memiliki nilai korelasi yang lebih rendah yaitu 0,57 yang mengindikasikan variabilitas nilai konsentrasi yang relatif tinggi. Hal ini mengindikasikan dinamika proses reaksi “adsorpsi-desorpsi” nitrat sangat tidak stabil atau

mudah berubah keberadaannya di kedua fase (partikel dan terlarut).

Hasil pengamatan secara umum juga menunjukkan bahwa konsentrasi ammonia (NH_3) umumnya sangat dominan bila dibandingkan dengan senyawa nitrit dan nitrat, ammonia dan nitrit. Hal ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik senyawa nitrogen ammonia, nitrit dan nitrat asal sedimen. Beberapa hal yang mungkin dapat mempengaruhi hasil pengamatan resuspensi adalah jenis sedimen, ukuran sedimen dan kecepatan simulasi resuspensi.

Terlepas dari proses dan variabilitas kondisi sedimen terkait dengan kandungan nutrisi, penelitian ini menunjukkan adanya kontribusi nutrisi dari sedimen karena sedimen merupakan tempat terakumulasinya berbagai bahan pencemar. Proses resuspensi sedimen merupakan salah satu mekanisme terhadap pelepasan kembali nutrisi dari sedimen ke kolom perairan dalam waktu tertentu, sehingga hal tersebut dapat diduga menjadi sumber potensi nutrisi pada suatu perairan. Dalam penelitian ini, contoh sedimen diambil dari perairan Teluk Jakarta yang sampai saat ini telah mengandung nutrisi tinggi sebagai akibat masukan dari daratan. Proses pengadukan atau gerakan adveksi massa air lainnya dapat menimbulkan transfer nutrisi dari sedimen ke kolom air.

Berdasarkan hasil pengamatan ini menunjukkan telah terjadi peningkatan rata-rata setelah lima resuspensi sebesar 9.135 ppb fosfat (Tabel 1). Jika jumlah sedimen yang diresuspensi sebanyak 5 gram, jumlah fosfat yang dilepas dari sedimen selama 20 menit (waktu maksimum secara umum dari release senyawa tertinggi) adalah $9,135 \mu\text{g}/5\text{gr} = 1.827 \mu\text{g}/\text{gr}$. Jika diasumsikan TSS hasil pengamatan di perairan Teluk Jakarta adalah 9-20 mg/L (Paongan, 2008), maka kontribusi minimum ke dalam air laut adalah $1.827 \times 9/1000 = 0,017 \mu\text{g}/\text{L}$

Tabel 1. Perkiraan Tambahan Peningkatan Minimum dan Maksimum Senyawa Fosfat dan Nitrogen sebagai Kontribusi Sedimen ke dalam Air Laut selama 20 Menit.

Senyawa	Peningkatan Konsentrasi	Kontribusi per gr sedimen	Konsentrasi minimum	Konsentrasi maksimum
Fosfat*	9,135	1.827	0,017	0,037
Amonia**	1.460	0.292	0.013	0.029
Ammonium**	1.378	0.276	0.012	0.028
Nitrit*	8.881	1.776	0.080	0.178
Nitrat*	45.296	9.059	0.408	0.906

* satuan ppb; ** satuan ppm

dan maksimum fosfat yang masuk dalam air laut adalah $1,827 \times 20/1000 = 0,037$ $\mu\text{g/L}$ (ppb). Dengan memperhatikan hasil peningkatan rata-rata amonia, amonium, nitrit dan nitrat berturut-turut adalah 1.378 ppm, 1,46 ppm, 8,881 ppb dan 45,296 ppb, maka kontribusi masing-masing ke dalam air laut dapat dihitung dengan cara yang sama dan diperoleh seperti tercantum pada Tabel 1. Kontribusi ini relative rendah bila dibandingkan dengan suatu penelitian, sebagai contoh Phillips *et al.* (2005) menunjukkan hasil bahwa rata-rata harian fluks difusi NH_4^+ , NO_3^- and P dari pasir kasar sediment estuary ke kolom air diperkirakan berturut-turut mencapai 24.6, 0.02 dan 0.39 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$, sedangkan pada pasir halus adalah 66.9, 0.017 dan 0.002 $\text{mg m}^{-2} \text{hr}^{-1}$.

Hasil pengamatan nutrien di Teluk Jakarta rata-rata adalah 0,608 ppm fosfat, 0,224 ppm nitrat, 0,236 ppm nitrit dan 0,142 ppm ammonium (Damar, 2003). Konsentrasi-konsentrasi ini jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan kontribusi tertera dalam tabel. Kontribusi nutrien dari sedimen yang relatif rendah ini juga dialami oleh Phillips *et al.* (2005). Namun demikian, hasil penelitian ini cukup memberikan indikasi adanya sumbangan nutrien dari sedimen, dan potensi besaran sumbangan sangat ditentukan oleh tingkat kekeruhan, kandungan senyawa dalam sedimen dan kolom air.

4. KESIMPULAN

Sedimen memberikan potensi terhadap sumbangan nutrien ke dalam air laut. Proses pelepasan kembali nutrien ke dalam air laut berlangsung dalam waktu relatif cepat yaitu dalam 5 menit, sedangkan pada waktu lebih dari 20 menit peningkatan konsentrasi kurang nyata. Sumbangan nutrien yang diberikan sangat bergantung kepada kekuatan gerakan masa air yang akan berpengaruh terhadap kandungan kekeruhan. Kekeruhan tinggi memberikan sumbangan relatif tinggi terhadap nutrien ke dalam kolom air laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfi, R., D. Guiral, dan M. Bouvy. 1994. Wind Induced Resuspension in a Shallow Tropical Lagoon. *Est. Coast. Shelf. Sci.*, 36:587-604.
- Chester, R. 1993. Marine Geochemistry. Unwin Hyman Ltd. London
- Cristiansen, C., F. Gertz, M.J.C. Laima, L.C. Lund-Hansen, T. Vang, dan C. Jürgensen. 1997. Nutrient (P, N) Dynamics in the Southwestern Kattegat, Scandinavia: Sedimentation and Resuspension Effects. *Environ. Geol.*, 29:66-77.

- Damar, A. 2003. Effect of Enrichment on Nutrient Dynamic, Phytoplankton Dynamic and Productivity in Indonesian Tropical Waters: a Comparison between Jakarta Bay, Lampung Bay and Semangka Bay. Ph.D Thesis. Christian-Alberchts University, Kiel, German.
- Demers, S., J-C. Therriault., E. Bourget, and A. Bah. 1987. Resuspension in the Shallow Sublittoral Zone of a Microtidal Estuarine Environment: Wind Influence. *Limnol. Oceanogr.*, 32:327-339.
- Dzialowski, A.R. Dzialowski, Shih-Hsien W., Niang-Choo L., J.H. Beury, dan D.G. Huggins. 2008. Effects of Sediment Resuspension on Nutrient Concentrations and Algal Biomass in Reservoirs of the Central Plains. *Lake and Reservoir Management*, 24; 313 – 320.
- Grasshoff, K., M. Ehrhardt, K. Kremling, L. G. Anderson. 1999. Methods of Sea Water Analysis. Wiley-VCH. New York, NY.
- Hutagalung, H. P dan Rozak. 1997. Metode Analisa Air Laut, Sedimen dan Biota. Buku 2. P3O – LIPI. Jakarta
- Paongan, Y. 2008. Analisis Invasi Makroalga ke Koloni Karang Hidup Kaitannya dengan Konsentrasi Nutrien dan Laju Sedimentasi di Pulau Bokor, Pulau Pari dan Pulau Payung, DKI Jakarta. Desertasi Doktor. Sekolah Pascasarjana, Intitut Pertanian Bogor.
- Phillips, I.R, E.D. Burton dan D.W. Hawker. 2005. Effects of Diffusion and Resuspension on Nutrient Release from Submerged Sediments', *Toxicol. Environ. Chem.*, 87:373 – 388.
- Sutomo, A.B., Q. Adnan, dan Ermaitis. 1994. Pelacakan Noctiluca miliaris Suriray di Teluk Jakarta. Seminar Pemantauan Pencemaran Laut, Jakarta 07-09 Februari, 1994.
- Wouthuyzen, S. 2006. Ekosistem Perairan: Fenomena Ledakan Fitoplankton Tak Teratasi, Kompas 8 September 2006.