

Karakteristik Geokimia Phosphor Sedimen Permukaan Perairan Mangunharjo (Semarang) Dan Marunda (Jakarta)

Geochemical Characteristics of Phosphorus in Surface Sediment of Mangunharjo (Semarang) and Marunda (Jakarta)

Noor Syafaat Wiratama Damardjati¹, Lilik Maslukah^{2*}, Sri Yulina Wulandari²

¹Program Sarjana Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan

²Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

*Corresponding author e-mail: Lilik_masluka@yahoo.com

Submitted: 10 Desember 2019 / Revised: 30 Desember 2019 / Accepted: 30 Desember 2019

<http://doi.org/10.21107/jk.v12i2.6062>

ABSTRACT

The waters of Mangunharjo, Semarang and Marunda, Jakarta are located in the area of industrial and dense population. There is the activity of industrial, household, urban waste and agricultural in the land or along the river upstream can potentially as a source of pollutants and impacting the aquatic environment. Pollutants get into the water together with a suspension of sediment through river water flow and precipitation in the coastal environment. The study aims to determine the geochemical characteristics of sedimentary phosphorus from two different locations. Determination of the phosphate fraction of sediment, using sequential determination extraction (SEDEX). The results showed that the concentration of the inorganic phosphorus sediment fraction has a similar relative distribution of Mangunharjo and Marunda waters i.e. Fe-P > Ca-P > Ads-P. The concentration of Ads-P, Ca-P, and Fe-P in Mangunharjo water is between 0.20-0.26 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 2.77-3.60 $\mu\text{mol g}^{-1}$, and 4.60-5.74 $\mu\text{mol g}^{-1}$ and Marunda water is between 0.28-0.61 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 2.91-4.13 $\mu\text{mol g}^{-1}$, and 0.92-2.83 $\mu\text{mol g}^{-1}$, respectively. The grain size of sediments and current patterns affect the distribution of phosphorus fraction.

Keywords: Phosphorus fraction, surface sediments, Mangunharjo, Marunda

ABSTRAK

Perairan Mangunharjo, Semarang dan Marunda, Jakarta berada didaerah kawasan industri dan padat penduduk. Terdapatnya aktivitas industri, rumah tangga, limbah perkotaan dan pertanian di daratan ataupun di sepanjang hulu sungai dapat berpotensi sebagai sumber pencemar dan berdampak bagi lingkungan perairan. Bahan pencemar masuk ke perairan bersama-sama muatan sedimen tersuspensi melalui aliran air sungai dan mengalami pengendapan di lingkungan pantai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik geokimia sedimen phosphor dari dua lokasi yang berbeda. Penentuan lokasi penelitian menggunakan metode purposive sampling. Penentuan fraksi phosphat sedimen, menggunakan ekstraksi bertingkat (SEDEX). Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi dari fraksi inorganic phosphor sedimen memiliki distribusi relatif yang serupa antara Perairan Mangunharjo dan Marunda yaitu Fe-P > Ca-P > Ads-P. Konsentrasi Ads-P, Ca-P, dan Fe-P di Perairan Mangunharjo adalah antara 0.20 - 0.26 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 2.77 - 3.60 $\mu\text{mol g}^{-1}$, dan 4.60 - 5.74 $\mu\text{mol g}^{-1}$ dan Perairan Marunda adalah antara 0.28 - 0.61 $\mu\text{mol g}^{-1}$, 2.91 - 4.13 $\mu\text{mol g}^{-1}$, dan 0.92 - 2.83 $\mu\text{mol g}^{-1}$, secara berurutan. Ukuran butir sedimen dan pola arus mempengaruhi konsentrasi fraksi fosfat pada kedua perairan tersebut.

Kata Kunci : Fraksi phosphor, Sedimen permukaan, Mangunharjo, Marunda

PENDAHULUAN

Kegiatan antropogenik seperti industrialisasi, pertanian, dan limbah kota telah dikaitkan dengan peningkatan nutrisi dan input bahan organik di muara dan perairan pantai (Boesch et al. 2001; Paerl, 2009), yang dapat berdampak negatif pada kualitas air, produktivitas dan struktur trofik (Gireeshkumar et al. 2013). Salah satu nutrisi ini adalah fosfor (Defforey dan Paytan, 2018). Fosfor dalam perairan umumnya berbentuk ion fosfat (PO_4^{2-}), dalam lingkungan perairan dapat meningkat karena adanya penggunaan pupuk yang berlebihan, kegiatan penambangan, penggunaan deterjen, limbah rumah tangga, dan industri (Lukkari, 2008). Fosfat diangkut ke lingkungan laut melalui sungai dan kemudian mengendap ke dalam sedimen pantai (Zhuang et al., 2014).

Fosfor adalah elemen penting yang berperan dalam siklus biogeokimia di lingkungan perairan, dan sumber utamanya berasal dari muara sungai (Slomp, 2011; Yang, et al., 2018). Fosfor (P) adalah nutrisi utama untuk ekologi akuatik dan kelebihan pasokannya mengarah ke eutrofikasi (Vicente et al., 2016; Bramha et al., 2014). Material padatan tersuspensi dapat mengadsorpsi P, dan akan mengendap di permukaan sedimen dan akan melepaskan P kembali ke dalam air. Arah transfer P pada kolom sedimen-air dipengaruhi oleh karakteristik sedimen dan konsentrasi P dalam kolom perairan (Yilmaz dan Koc, 2012; Meng et al., 2014;). Dengan demikian, dalam kondisi tertentu, sedimen dapat bertindak sebagai sumber P atau tenggelam dan selanjutnya dapat mempengaruhi sistem trophik.

Kang et al. (2017) mengklasifikasikan fosfat kedalam beberapa fraksi antara lain fosfat inorganik yang mudah terlepas (Ads-P), fosfat inorganik berikatan dengan besi (Fe-P), fosfat terbentuk pada lingkungan pengendapan dan berikatan dengan calcium (Ca-P), fosfat detrital (De-P), dan fosfat organik (Org-P). Fraksi fosfat Fe-P merupakan indikator kualitas sedimen dan tingkat pencemaran

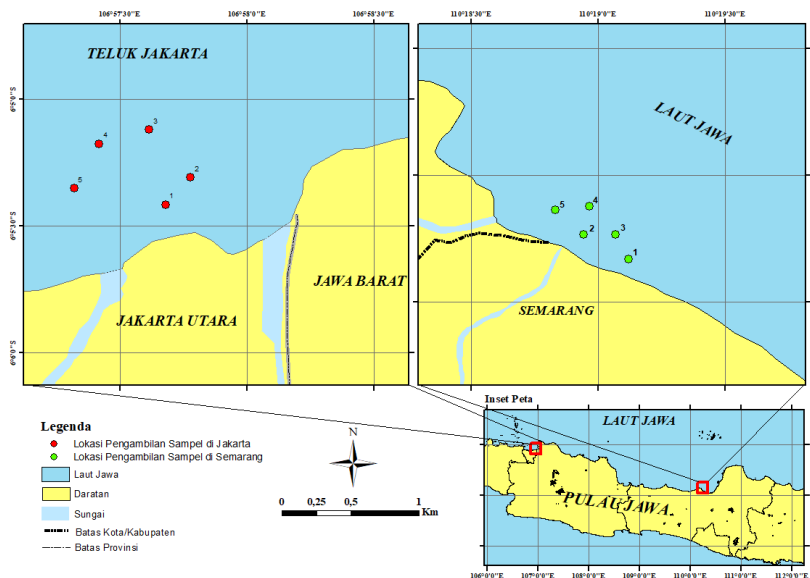
lingkungan (Vicente et al., 2016; Hou et al., 2008) yang dipengaruhi oleh reduksi oksidasi dan pH sedimen. Penelitian mengenai fraksi Phosphor di Indonesia telah dilakukan oleh Maslukah et al. (2019), tepatnya di Pulau Panjang, Jepara menunjukkan konsentrasi Ads-P berkisar $0,05 \mu\text{mol/gr}$ - $0,30 \mu\text{mol g}^{-1}$, Fe-P berkisar $0,66 \mu\text{mol g}^{-1}$ - $4,11 \mu\text{mol g}^{-1}$, Ca-P berkisar $2,90 \mu\text{mol g}^{-1}$ - $7,97 \mu\text{mol g}^{-1}$, dan Org-P berkisar $0,49 \mu\text{mol g}^{-1}$ - $4,55 \mu\text{mol g}^{-1}$.

Pemantauan kandungan P dalam sedimen sangat penting dilakukan secara berkala untuk mengontrol tingkat pencemaran dan menghindari terjadinya proses eutrofikasi di lingkungan perairan (Bramha et al., 2014). Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik fraksi fosfat dari dua lokasi, yang memiliki kawasan industri dan padat penduduk yaitu di Mangunharjo, Semarang dan Marunda, Jakarta. Fraksi geokimia fosfor sedimen yang dianalisis meliputi fraksi Ads-P, Ca-P, dan Fe/Al-P.

MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan pada penelitian ini meliputi sampel sedimen dasar perairan yang diambil menggunakan sedimen grab, dan arus yang diukur menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Parameter lingkungan seperti pH, suhu sedimen, dan kedalaman perairan diukur secara insitu. Adapun parameter sedimen antara lain ukuran butir dan bahan organik (TOC).

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2018. Lokasi penelitian di Perairan Mangunharjo berada di bagian barat Semarang, diantara $110^{\circ}19'6,88''\text{BT}$ - $110^{\circ}18'50,13''\text{BT}$ dan $6^{\circ}56'20,54''\text{LS}$ - $6^{\circ}56'7,76''\text{LS}$. Lokasi penelitian di Perairan Marunda berada di bagian timur Jakarta Utara, diantara $106^{\circ}57'46,856''\text{BT}$ - $106^{\circ}57'19,254''\text{BT}$ dan $6^{\circ}5'24,53''\text{LS}$ - $6^{\circ}5'7,019''\text{LS}$. Pengambilan sampel dilakukan di lima stasiun setiap lokasi penelitian. Adapun lokasi penelitian lebih lengkap disajikan pada Gambar 1.

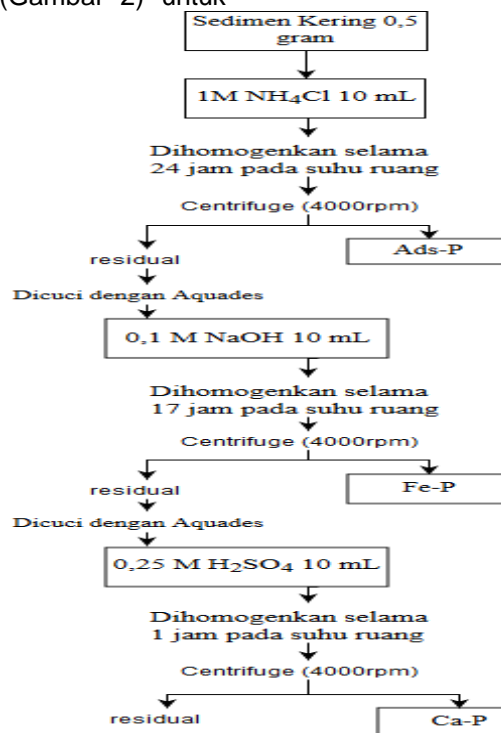


Gambar 1. Lokasi penelitian perairan Marunda (Jakarta) dan Mangunharjo (Semarang)

Ekstraksi Sampel Sedimen

Analisis fraksi fosfat sedimen merujuk pada metode yang telah dilakukan oleh Maslukah et al. (2019), hasil modifikasi dari Yamada & Kayama (1987) dan Aydin et al. (2009). Ekstraksi sampel sedimen dalam penelitian ini dilakukan secara berurut (Gambar 2) untuk

mendapatkan konsentrasi Ads-P, Fe-P, dan Ca-P. Fraksi Ads-P diekstraksi dari 0,5 gram sampel sedimen kering. Metode analisis bertahap di gambarkan pada Gambar 2. Hasil ekstrak dari setiap fraksi kemudian dianalisis dengan metode *spectrophotometric phosphomolybdene blue*.



Gambar 2. Diagram alir penentuan fraksi fosfat (SEDEX).

Analisis Ukuran Butir Sedimen

Analisis ukuran butir sedimen menggunakan metode hidrometer dan pengayakan. Distribusi butir sedimen didapatkan berdasarkan kecepatan mengendap butir sedimen (SNI 3423, 2008), karena perbedaan ukuran butir

akan memiliki waktu mengendap yang berbeda (Arafat et al., 2015). Prinsip hidrometer didasarkan pada prinsip Archimedes dalam hal ini benda padat yang tersuspensi pada fluida akan terkena gaya ke atas sebesar gaya berat fluida yang dipindahkan (Khatib et al., 2013).

Analisis Karbon Organik Total (TOC)

Analisis TOC merujuk pada penelitian Meng *et al.* (2014) menggunakan metode *Loss On Ignition* (LOI). Untuk mendapatkan karbon organik, sampel sedimen kering sejumlah 10 gram tiap lokasi lokasi pengambilan sampel direndam dengan 6M HCl. Setelah itu dibilas 3 kali dengan menggunakan aquabides lalu dikeringkan. Selanjutnya sampel diabukan dalam muffle furnace. Perhitungan berat hilang berdasarkan selisih berat sedimen kering sebelum dan setelah dilakukan pengabuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN Parameter Lingkungan dan Sedimen

Parameter lingkungan terdiri dari pH sedimen, suhu sedimen, dan kedalaman perairan.

Tabel 1. Parameter lingkungan dan sedimen perairan Mangunharjo dan Marunda

Sta-siun	Presentase Butir Sedimen			Jenis Sedimen	pH	Suhu (°C)	TOC (%)	Kedalaman (m)
	Pasir (%)	Lanau (%)	Lempung (%)					
S1	16,543	65,687	17,765	Lanau Lempungan	6,48	30,26	1,838	1,90
S2	17,646	51,614	30,697	Lanau Lempungan	6,55	30,35	7,085	1,75
S3	16,742	59,288	23,967	Lanau Lempungan	6,40	30,47	4,351	2,00
S4	19,867	57,371	22,762	Lanau Lempungan	6,78	30,45	3,388	2,20
S5	18,624	61,116	20,264	Lanau Lempungan	6,53	30,42	3,158	2,10
J1	76,543	14,804	8,653	Pasir Lanauan	6,50	30,67	3,195	3,00
J2	59,544	32,015	8,441	Pasir Lanauan	6,33	30,67	7,295	3,15
J3	28,178	61,812	10,009	Lanau Pasiran	6,17	31,00	3,937	3,40
J4	33,804	40,446	25,475	Lanau Pasiran	6,50	30,00	6,487	3,20
J5	72,356	15,654	11,991	Pasir Lanauan	6,67	30,33	3,937	2,75

Berdasarkan Tabel 1, Mangunharjo (S1-S5) memiliki jenis sedimen lebih halus dan diduga berkaitan dengan kondisi arus pada lokasi tersebut (Tabel 2 dan Gambar 3). Berdasarkan pola arus pada kondisi menuju pasang, rerata kecepatan arus di Marunda lebih besar dibandingkan dengan Mangunharjo. Flemming (2000) menjelaskan bahwa pengendapan sedimen lanau dan lempung terjadi karena proses hidrodinamika yang lemah. Prosentase pasir ditemukan pada lokasi Marunda (J1-J5). Prosentase pasir dominan di J1, J2, dan J5, merupakan lokasi yang lebih dekat dengan muara sungai, sedangkan J3 dan J4 mengarah ke perairan lebih dalam. Kondisi arus di Marunda mengakibatkan ukuran butir sedimen lebih

Parameter lingkungan lebih lengkap disajikan pada Tabel 1. Parameter kualitas sedimen yang diukur antara lain meliputi ukuran butir sedimen dan TOC. Hasil analisis ukuran butir sedimen pada penelitian ini diperoleh pasir, lanau, dan lempung dengan prosentase yang berbeda. Jenis sedimen dari perairan Mangunharjo didominasi lanau lempungan dengan presentase lanau berkisar antara 51,614 - 65,687 % dan memiliki presentase TOC berkisar antara 1,838 - 7,085% dengan nilai terendah pada stasiun S1 dan tertinggi pada S2. Jenis sedimen di Marunda didominasi pasir lanauan dengan presentase pasir mencapai 76,543 % dan presentase TOC berkisar antara 3,195 - 7,295 %. Parameter sedimen lebih lengkap disajikan pada Tabel 1.

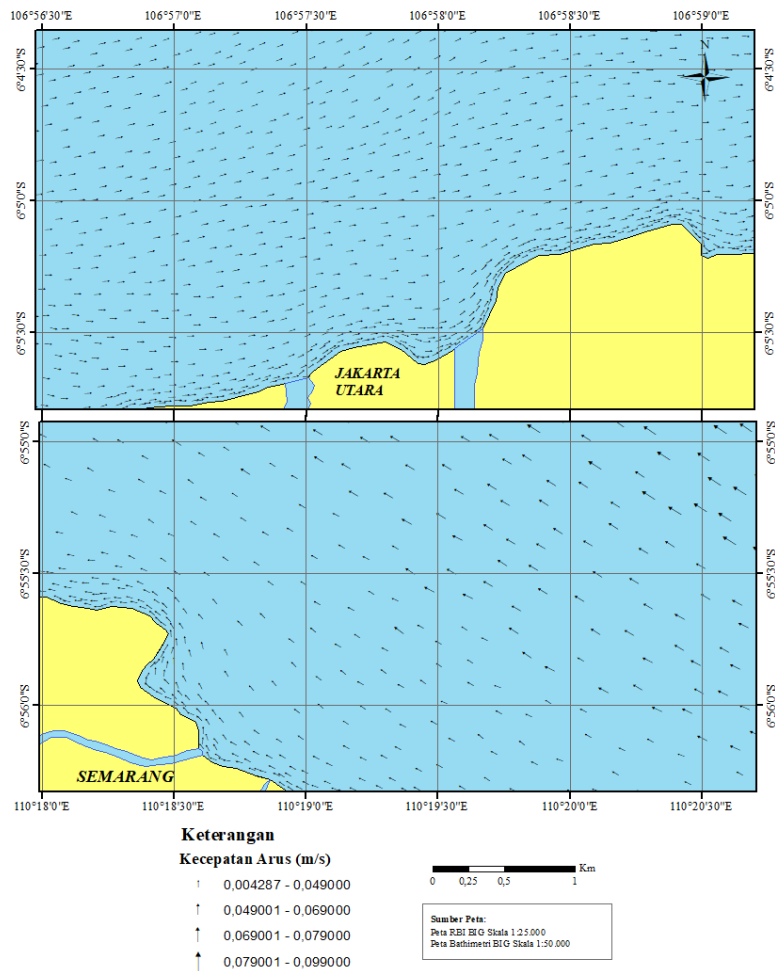
kecil dari pasir lebih sulit terendapkan, sehingga kandungan pasir tinggi. Nilai kecepatan arus pada masing-masing perairan dapat dilihat pada Tabel 2.

Nilai Kecepatan dan pola arus perairan Marunda dan Mangunharjo

Kecepatan rata-rata arus setiap stasiun di Mangunharjo lebih rendah dibandingkan dengan Marunda. Pada saat kondisi surut menuju pasang arah arus di perairan Marunda menuju arah timur, dengan kecepatan rerata di tiap stasiun yaitu berkisar 0.018 - 0.023 m/s. Perairan Mangunharjo memiliki arah arus menuju Barat Laut dengan kecepatan rata-rata berkisar 0.017 - 0.020 m/s.

Tabel 2. Kecepatan arus tiap lokasi pengambilan sampel.

Stasiun	Rata-Rata Kecepatan (m/s)
S1	0,020
S2	0,018
S3	0,019
S4	0,019
S5	0,017
J1	0,018
J2	0,019
J3	0,022
J4	0,023
J5	0,021



Gambar 3. Pola arus kondisi surut menuju pasang.

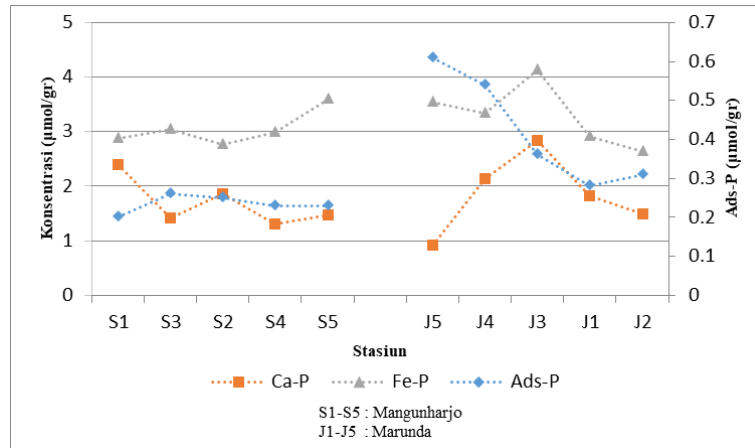
Fraksi Phosphor (P) di Perairan Mangunharjo (Semarang) dan Marunda (Jakarta)

Konsentrasi fraksi P memiliki nilai fluktuatif seperti pada Gambar 4, dan secara berurut mengikuti pola arah arus pada masing-masing lokasi (Gambar 3). Fluktuasi konsentrasi fraksi P di Perairan Marunda (J1-J5) lebih besar dibandingkan dengan Perairan Mangunharjo (S1- S5) (Gambar 4). Konsentrasi fraksi Fe-P lebih fluktuatif dibandingkan dengan fraksi Ca-

P dan Ads-P. Fraksi Ads-P memiliki nilai konsentrasi berkisar 0,20 - 0,61 $\mu\text{mol g}^{-1}$. Pada Perairan Marunda konsentrasi fraksi Ads-P memiliki rentang lebih besar dibandingkan dengan Perairan Mangunharjo dengan nilai terendah 0,28 $\mu\text{mol g}^{-1}$ di stasiun J1 dan tertinggi 0,61 $\mu\text{mol g}^{-1}$ di stasiun J5. Konsentrasi fraksi Ads-P di Perairan Mangunharjo memiliki rentang 0,20 $\mu\text{mol g}^{-1}$ di stasiun S1 dan tertinggi 0,26 $\mu\text{mol g}^{-1}$ di stasiun S3. Konsentrasi Fe-P berkisar antara

2,77 - 4,13 $\mu\text{mol g}^{-1}$. Konsentrasi terendah terdapat di stasiun S2 dan tertinggi di stasiun J3. Konsentrasi fraksi Ca-P berkisar antara 0,92 - 2,83 $\mu\text{mol g}^{-1}$ tertinggi di stasiun J3 dan di stasiun J5. Fraksi Fe-P di Marunda memiliki konsentrasi lebih besar dibandingkan dengan Mangunharjo, dengan nilai rata-rata Fe-P secara berurut adalah 3,31 $\mu\text{mol g}^{-1}$ dan 3,05

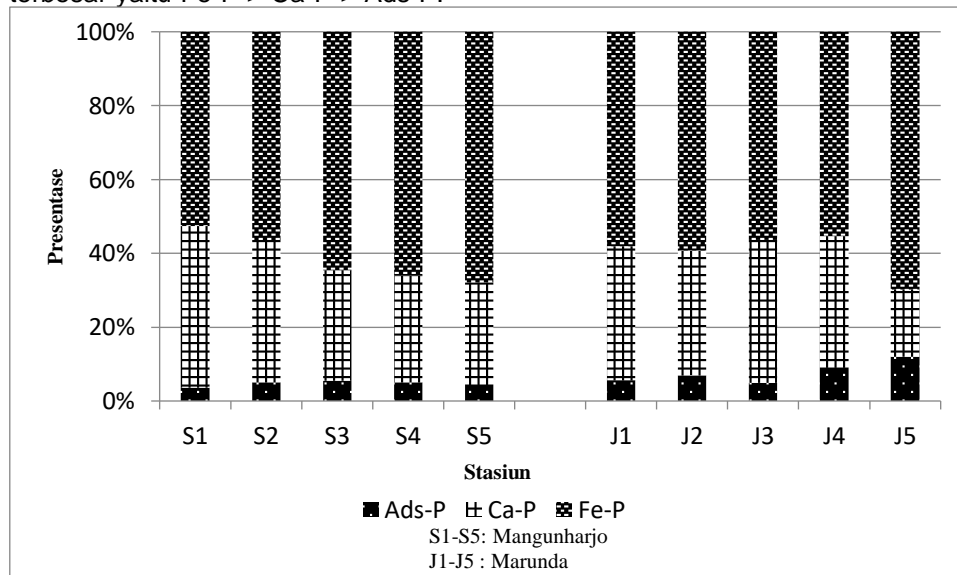
$\mu\text{mol g}^{-1}$. Demikian juga dengan konsentrasi fraksi Ca-P, di Marunda memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan Mangunharjo yaitu 1,84 $\mu\text{mol g}^{-1}$ dan 1,69 $\mu\text{mol g}^{-1}$. Berdasarkan nilai total inorganik phosphor (TIP), perairan Marunda memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding Mangunharjo yaitu 5.57 dan 4.98 $\mu\text{mol g}^{-1}$



Gambar 4. Grafik fluktuasi konsentrasi fraksi fosfat dalam sedimen

Untuk mengetahui presentase tiap fraksi fosfat dapat dilihat pada gambar 5. Presentase fraksi Fe-P adalah yang paling dominan di setiap stasiun pada lokasi Mangunharjo dan Marunda. Kelimpahan relatif secara berurut dari yang terbesar yaitu Fe-P > Ca-P > Ads-P.

Presentase fraksi Fe-P di stasiun S3, S4, S5, dan J5 dalam rentang 65% sampai 70%. Presentase fraksi Ads-P tertinggi mencapai 12% di stasiun J5, sedangkan stasiun lainnya berkisar 4% sampai 8%.



Gambar 5. Grafik presentase fraksi fosfat inorganik dalam sedimen dasar

Penelitian yang dilakukan Lili *et al.* (2013) menyatakan, bahwa kelimpahan fraksi Fe-P lebih besar dibandingkan fraksi Ca-P, akibat pengaruh kontaminasi limbah serta proses abrasi dan sedimentasi dari material yang mengandung besi. Penelitian Hu *et al.* (2001); Yue dan Huang (2005) juga menyebutkan, di daerah muara dan estuari akan memiliki kandungan fraksi Fe-P lebih tinggi akibat

kontaminasi dari sungai dibandingkan fraksi fosfat lainnya. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Maslukah *et al.* (2019) dan Yang *et al.* (2018) menunjukkan, kelimpahan nilai fraksi Ca-P lebih besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh proses degradasi bahan biologis. Kandungan fraksi Fe-P sangat dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik seperti limbah domestik dan limbah industri (Zhuang

et al., 2014). Fraksi Ads-P memiliki konsentrasi paling rendah pada kedua lokasi penelitian. Pada beberapa penelitian lain menunjukkan, bahwa nilai terendah dari konsentrasi fraksi fosfat adalah Ads-P (Bramha et al., 2016; Zhou et al., 2016; Yang et al., 2018; Lili et al., 2013). Fraksi Ads-P merupakan fraksi fosfat yang mudah terlepas ke kolom air dan dapat digunakan secara langsung oleh fitoplankton (Zhuang et al., 2014). Faktor fisika-kimia di perairan yaitu pH, temperatur, dan kondisi hidrodinamika dapat mendorong terjadinya pelepasan fraksi Ads-P ke kolom air (Chen et al., 2011).

Hubungan Fraksi Terhadap Parameter Lingkungan dan Sedimen

Hubungan fraksi fosfat terhadap parameter lingkungan dan sedimen dapat diketahui dengan menggunakan analisis Korelasi Pearson (Tabel 2 dan 3). Jenis sedimen lempung dengan fraksi Ads-P di Perairan

Mangunharjo dan Marunda mempunyai korelasi positif, tetapi perairan Marunda lebih kuat korelasinya. Korelasi lanau dengan fraksi Ca-P dan Fe-P di Marunda dan Mangunharjo memiliki hubungan positif yang kuat. Korelasi lanau dengan fraksi Ads-P pada kedua lokasi adalah negatif. Pada kedua lokasi fraksi Fe-P memiliki hubungan berbanding terbalik yang kuat dengan jenis sedimen pasir. TOC memiliki korelasi positif yang kuat terhadap fraksi Ads-P di Mangunharjo sedangkan lemah di Marunda. TOC memiliki korelasi positif dengan jenis sedimen Lempung pada kedua lokasi penelitian. Parameter pH sedimen sangat mempengaruhi jenis sedimen pasir, karena memiliki korelasi kuat. Sebaliknya, pH sedimen berbanding terbalik dengan fraksi Ca-P dan jenis sedimen lanau pada kedua lokasi. Hasil lebih lengkap terkait korelasi konsentrasi fraksi fosfat dengan parameter lingkungan dan sedimen di Mangunharjo dan Marunda terdapat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Korelasi pearson antar variabel di perairan Mangunharjo, Semarang.

Variabel	Ads-P	Ca-P	Fe-P	Pasir	Lanau	Lempung	TOC	pH Sedimen	Keda-laman
Ads-P	1	-0.632	-0.022	0.009	-0.716	0.417	0.763	-0.180	0.182
Ca-P		1	-0.466	-0.641	0.576	0.109	-0.187	-0.355	-0.843
Fe-P			1	0.328	0.531	-0.912	-0.366	-0.070	0.370
Pasir				1	-0.323	-0.199	-0.007	0.900	0.770
Lanau					1	-0.612	-0.937	-0.317	-0.053
Lempung						1	0.625	0.090	-0.174
TOC							1	-0.023	-0.239
pH Sedimen								1	0.627
Kedalaman									1

Tabel 3. Korelasi pearson antar variabel di perairan Marunda, Jakarta.

Variabel	Ads-P	Ca-P	Fe-P	Pasir	Lanau	Lempung	TOC	pH Sedimen	Keda-laman
Ads-P	1	-0.378	0.375	-0.089	-0.129	0.618	0.039	0.635	-0.451
Ca-P		1	0.511	-0.808	0.853	0.164	-0.072	-0.782	0.917
Fe-P			1	-0.588	0.613	0.144	-0.460	-0.264	0.308
Pasir				1	-0.946	-0.500	-0.315	0.638	-0.849
Lanau					1	0.193	0.210	-0.830	0.912
Lempung						1	0.391	0.286	0.131
TOC							1	-0.168	0.285
pH Sedimen								1	-0.905
Kedalaman									1

Jenis sedimen lempung mempengaruhi kandungan fraksi Ads-P pada tiap stasiun. Fraksi Fe-P dan Ca-P memiliki hubungan yang positif terhadap jenis sedimen lanau (Tabel 2 dan 3). Hal tersebut sesuai dengan penelitian

Yang et al. (2016); Loyer dan Aminot (2001) yang menyebutkan, bahwa ukuran butir sedimen semakin halus dalam volume yang sama akan memiliki luas permukaan yang lebih besar. Hal tersebut memungkinkan

ikatan fraksi fosfat terendapkan dalam sedimen menjadi lebih besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses hidrodinamika perairan Marunda dan Mangunharjo telah mempengaruhi kondisi sedimen perairan dan mengakibatkan adanya perbedaan karakteristik geokimia phosphor sedimen. Konsentrasi total fraksi P (IP) dalam sedimen dasar perairan Marunda lebih tinggi dibanding Mangunharjo, dan secara umum memiliki kelimpahan relatif yang sama, secara berurut dari yang terbesar yaitu Fe-P>Ca-P>Ads-P. Konsentrasi fraksi P di perairan Marunda secara berurut adalah 4,13 $\mu\text{mol g}^{-1}$; 2,83 $\mu\text{mol g}^{-1}$; dan 0,61 $\mu\text{mol g}^{-1}$ dan di perairan Mangunharjo adalah 3,60 $\mu\text{mol g}^{-1}$; 2,40 $\mu\text{mol g}^{-1}$; dan 0,26 $\mu\text{mol g}^{-1}$. Ukuran butir sedimen memiliki hubungan yang kuat terhadap fraksi P tertentu. Fraksi Ads-P lebih dipengaruhi oleh ukuran butir lempung dan fraksi Fe-P dan Ca-P lebih dipengaruhi oleh ukuran butir lanau.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y., Pallu, M.S., Maricar, F., & Lopa, R.T. 2015. Studi Karakteristik Sebaran Sedimen Hilir Bendung Karet Sungai Jeneberang. *Prosiding Seminar Nasional*, ITM.
- Aydin, F., Aydin, A., Saydut, C. J., & Hamamci. 2009. A sequential extraction to determine the distribution of phosphorus in the seawater and marine surface sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 168: 664–669.
- Boesch, D.F., Burreson, E., Dennison, W., Houde, E., Kemp, M., Kennedy, V., Newell, R., Paynter, K., Orth, R. and Ulanowicz, W. 2001. Factors in the decline of coastal ecosystems. *Science*, 293: 629–638. doi:10.1126/science.293.5535.1589c
- Bramha, S. N., Mohanty, A.K., Padhi, R.K., Panigrahi, S.N., & Satpathy, K.K. 2014. Phosphorus Speciation In The Marine Sediment of Kalpakkam Coast, Southeast Coast of India. *Environ Monit Assess.*, 186 : 6003–6015 <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3836-0>
- Chen, J., Lu, S, Zhao, Y., Wang, W. & Huang, M. 2011. Effects of Overlying Water Aeration on Phosphorus Fractions and Alkaline Phosphatase Activity in Surface Sediment. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (2): 206–211.
- Defforey, D., & Paytan, A. 2018. Phosphorus cycling in marine sediments: Advances and challenges. *Chemical Geology.*, 477: 1–11.
- Flemming, B. W. 2000. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Continental Shelf Research.*, 20: 1125–1137.
- Hu, C., P. Jianming, L. Xiaoya. 2001. Species of Phosphorus in Sediments From Peal River Estuary. *Marine Environmental Science.*, 20 (4): 21-25
- Hou, L.J., Liu, M., Ou, D.N, Yang, Y. & Xu, S.Y. 2008. Influences Of The Macrophyte (Scirpus Mariqueter) On Phosphorous Geochemical Properties In The Intertidal Marsh Of The Yangtze Estuary. *Journal Geophysis.*, 113 (G04038).
- Kang, X., Song, J., Yuan, H., Shi, X., Yang, W., Li, X., & Duan, L. 2017. Phosphorus Speciation and Its Bioavailability in Sediments of The Jiaozhou Bay. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 188 : 127-136
- Khalil, M. K. H., Radwan, A.M., & El-Moselhy, K.M. 2007. Distribution of Phosphorus Fractions and Some of Heavy Merals in Surface Sediments of Burullus Lagoon and Adjacent Mediterranean Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research.*, 33 (1): 277-289.
- Khatib, A., Y. Adriati, & Wahyudi, A.E. 2013. Analisis Sedimentasi dan Alternatif Penanganannya di Pelabuhan Selat Baru Bengkalis. *Konferensi Nasional Teknik Sipil*.
- Lili, W., Y. Mei, L. Qusheng, Z. Hang, Z. Yongsheng. 2013. Phosphorus Speciation in Wetland Sediments of Zhujiang (Pearl) Reptil Estuary, China. *Chin. Geogra. Science.*, 23 (5): 574-583.
- Lukkari, K. 2008. Chemical Characteristic and Behavior of Sediment Phosphorus in the Northeastern Baltic Sea. Academic dissertation in Environmental Soil Science. Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki 64p.
- Loyer, F. A. dan Aminot, A. 2001. Phosphorus Forms Related to Sediment Grain Size and Geochemical Characteristic in French Coastal Areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 52: 617-629.
- Maslukah, L., Sugianto, D.N, Salma, U., & Zainuri, M. 2019. Phosphorus Fractionation and Its Bioavailability in Panjang Island, Jepara. *4th International Conference on Tropical and Coastal*

- Region Eco Development.*, 246 : 012051. doi:10.1088/1755-1315/246/1/012051.
- Meirinawati, H. 2015. Siklus Fosfor di Lautan. *Oseana.*, 15 (4):31-40.
- Meng, J., Yao, P., Yu, Z., Bianchi, T.S., Zhao, B., Pan, H., & Li, D. 2014. Speciation, Bioavailability And Preservation Of Phosphorus In Surface Sediments Of The Changjiang Estuary And Adjacent East China Sea Inner Shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.*, 144: 27–38.
- Paerl, H.W. 2009. Controlling Eutrophication along the Freshwater–Marine Continuum: Dual Nutrient (N and P) Reductions are Essential. *Estuaries and Coasts*, 32:593–601
- Slomp, C. P. 2011. Phosphorus Cycling in the Estuarine and Coastal Zones : Sources , Sinks , and Transformations. *Treatise on Estuarine and Coastal Science.*, 5.
- SNI 3424. 2008. Cara Uji Analisis Ukuran Butir. Badan Standarisasi Nasional., ICS 93.020.
- Vicente, M. A. F., Melo, G. V. D., Neto, J. A. B., & Oliveira, A. S. D. 2016. Phosphorus fractionation distribution in Guapimirim estuary : SE Brazil. *SpringerPlus.*, 5 (1406) : 1-11. DOI 10.1186/s40064-016-3065-9
- Yamada, H., & Kayama, M. 1987. Distribution And Dissolution Of Several Forms Of Phosphorus In Coastal Marine Sediments. *Oceanologica Acta.*, 10 (3).
- Yang, B., Liu, S., & Zhang, G. 2018. Geochemical Characteristics Of Phosphorus In Surface Sediments From The Continental Shelf Region Of The Northern South China Sea. *Marine Chemistry.*, 198: 44–55.
- Yilmaz, E. dan Koc, C. 2012. A Study On Seasonal Changes Of Phosphorus Fractions In Marine " Kova Bay , Turkey Sediments Of The Akyaka Beach In Go., 14: 299–307.
- Yue, W. dan Huang, X. 2005. Distribution Characteristics of Phosphorus in Core Sediments From Zhujiang River Esstuary and Its Environmental Significance. *Journal of Tropical Oceanography.*, 24 (1): 21-27.
- Zhuang, W., Gao, X, Zhang, Y., Xing, Q., Tosi, L., & Qin, S. 2014. Geochemical Characteristics Of Phosphorus In Surface Sediments Of Two Major Chinese Mariculture Areas : The Laizhou Bay And The Coastal Waters Of The Zhangzi Island. *Marine Pollution Bulletin*, 83 : 343–351. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.040>
- Zhou, F., Gao, X., Yuang, H., Song, J., Chen, C. T. A., & Lui, H.K., & Zhang, Y. 2016. Geochemical Forms and Seasonal Variations of Phosphorus In Surface Sediments of The Eat China Sea Shelf. *Journal of Marine Systems*, 159 : 41-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.03.005>