

## STUDI KINETIKA ADSORPSI DAN DESORPSI ION FOSFAT ( $PO_4^{2-}$ ) DI SEDIMEN PERAIRAN SEMARANG DAN JEPARA

### *KINETIC STUDY ON ADSORPTION AND DESORPTION PHOSPHAT ION ( $PO_4^{2-}$ ) IN SEDIMENT SEMARANG DAN JEPARA*

Lilik Maslukah<sup>1,2\*</sup>, Muhammad Zainuri<sup>2</sup>, Anindya Wirasatriya<sup>2,3</sup>, & Rikha Widiaratih<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Doktor Ilmu Kelautan, FPIK, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Oseanografi, FPIK, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia

<sup>3</sup>Pusat Kajian Mitigasi Bencana dan Rehabilitasi Pesisir,  
Universitas Diponegoro, Semarang, 50275, Indonesia

\*E-mail: lilik\_masluka@yahoo.com

#### ABSTRACT

*Adsorption and desorption are important processes that affect the distribution of chemicals in the environment. This research aims to determine the change pattern of  $PO_4^{2-}$  concentration by time through adsorption and desorption simulations. The simulation process was conducted on sediments from Semarang and Jepara waters. Through the analysis of desorption process, the contribution of sediment input to the P ion can be determined, based on the release of ions  $PO_4^{2-}$  at the beginning of time until the maximum conditions of the desorption process. The first and second order of (what) equations were used to determine the adsorption kinetics, while the isotherms of the adsorptions were determined based on the Langmuir and Freundlich models. The results show that the significant desorption process occurs during the first hour and the contribution of  $PO_4^{2-}$  ions by Semarang sediments are three times higher than Jepara sediments. Based on the adsorption kinetics and isotherms, the second order of the equation model and the Langmuir model are more appropriate for both locations. This model assumes that the adsorption capacity is proportional to the number of active sites occupied by  $PO_4^{2-}$  ions and the adsorption occurs in one homogeneous sedimentary layer. Semarang sediments have adsorp pollutants (P ions) ability greater than Jepara Sediments with capacity values respectively are 11.57 and 11.2  $\mu\text{mol g}^{-1}$ .*

**Keywords:** adsorption, desorption, Jepara,  $PO_4^{2-}$ , sediment, Semarang

#### ABSTRAK

Adsorpsi dan desorpsi merupakan proses penting yang memengaruhi distribusi bahan kimia di lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola perubahan konsentrasi ion  $PO_4^{2-}$  terhadap waktu melalui proses simulasi adsorpsi dan desorpsi sedimen perairan Semarang dan Jepara. Melalui proses desorpsi, dapat ditentukan kontribusi masukan ion  $PO_4^{2-}$  oleh sedimen yang ditentukan dari jumlah ion  $PO_4^{2-}$  yang terlepas pada awal sampai pada kondisi maksimum dari proses desorpsi. Penentuan kinetika adsorpsi ditentukan berdasarkan persamaan orde 1 dan 2 serta isoterm adsorpsinya berdasarkan model *Langmuir* dan *Freundlich*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses desorpsi terjadi pada 1 jam pertama dan kontribusi ion  $PO_4^{2-}$  yang dapat dilepaskan oleh sedimen perairan Semarang tiga kali lebih besar dibandingkan dengan sedimen perairan Jepara. Berdasarkan kinetika adsorpsi ion P oleh sedimen dari dua lokasi lebih tepat dijelaskan oleh model persamaan ordo 2 dan isoterm adsorpsinya berdasarkan model *Langmuir*. Model ini mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif yang ditempati oleh ion  $PO_4^{2-}$  dan adsorpsi terjadi dalam satu lapisan sedimen homogen. Sedimen Semarang memiliki kemampuan menyerap zat pencemar (ion P) lebih besar dibandingkan dengan sedimen Jepara dengan nilai kapasitas secara berurutan adalah 11,57 dan 11,2  $\mu\text{mol g}^{-1}$ .

**Kata kunci:** adsorpsi, desorpsi, Jepara,  $PO_4^{2-}$ , sedimen, Semarang

## I. PENDAHULUAN

Perairan Teluk Semarang dan Jepara merupakan bagian dari pantai utara Jawa yang mendapat pengaruh masukan air tawar dari beberapa sungai besar. Perairan Semarang telah banyak dipengaruhi masukan limbah hasil kegiatan industri (Bappedal, 2002) dan limbah rumah tangga serta kegiatan pertanian di daerah hulunya. Aktivitas antropogenik di Semarang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan Jepara dan tentunya beban masukan unsur-unsur kimia ke perairan juga lebih tinggi. Salah satu masukan unsur kimia dan dapat menimbulkan terjadinya penurunan kualitas perairan adalah ion fosfat atau ion P ( $\text{PO}_4^{2-}$ ). Masukan beban yang berlebihan oleh unsur ini dapat menimbulkan dampak positif dan negatif. Dampak positif terjadi karena produktivitas perairan menjadi tinggi, sedangkan dampak negatif akibat proses eutrofikasi yang menyebabkan algae jenis beracun berkembang dengan pesat dan menyebabkan oksigen perairan menjadi rendah. Hasil penelitian Maslukah *et al.* (2019) tentang unsur phosphat terlarut di perairan Semarang mencapai  $0,52 \mu\text{M}$  dan Jepara  $0,36 \mu\text{M}$ . Beban masukan ion P yang cukup tinggi telah menyebabkan konsentrasi klorofil-a menjadi lebih tinggi dibanding dengan perairan Jepara.

Selama keberadaannya di estuari, unsur-unsur kimia dalam bentuk terlarut dan tersuspensi saling berinteraksi (Praveena *et al.*, 2013; Maslukah *et al.*, 2017). Partikel tersuspensi mempunyai kemampuan mengadsorpsi unsur terlarut, dan diikuti proses destabilisasi membentuk agregat yang lebih besar dan akhirnya mengendap ke dasar perairan karena gaya gravitasi (Chester, 1990). Proses destabilisasi menyebabkan konsentrasi unsur kimia terlarut mengalami pengurangan dan menambah konsentrasinya dalam sedimen (Maslukah *et al.*, 2017). Namun demikian, adanya proses resuspensi dapat menjadi sumber elemen pada kolom perairan (Prariono & Hasena, 2009).

Nasib (*fate*) unsur kimia di estuari

dipengaruhi adanya proses adsorpsi ataupun desorpsi. Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat oleh suatu partikel (Maslukah *et al.*, 2017). Desorpsi yang terjadi pada ekstraksi padat-cair merupakan peristiwa keluarnya analit yang terkandung di dalam sedimen (padatan) ke dalam larutan. Handayani & Sulistiyono (2009) menjelaskan bahwa proses adsorpsi terjadi apabila ion yang teradsorpsi hanya tertahan atau menempel dipermukaan partikel penyerap saja. Faktor yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi dan desorpsi adalah waktu kontak, konsentrasi pelarut, konsentrasi zat terlarut dalam sedimen, spesiasi zat terlarut, kandungan organik/ anorganik dalam sedimen, suhu, ukuran butiran sedimen, konsentrasi asam (pH), dan salinitas (Cao *et al.*, 2017).

Fenomena perpindahan suatu ion dari badan air ke dalam sedimen yang kaya akan bahan organik biasanya melalui proses adsorpsi *isoterm* berdasarkan tiga model yaitu *partisi*, *Freundlich* dan *Langmuir* (Schnoor, 1996). Konsentrasi relatif dari setiap komponen dalam setiap fasenya dan menjadi parameter yang berguna untuk membandingkan kapasitas penyerapan dari suatu material yang berbeda dapat didekati berdasarkan model *partisi*, untuk jenis ionnya (Seo *et al.*, 2008). Sedangkan model *Langmuir* dan *Freundlich*, digunakan untuk memperkirakan kapasitas penyerapan dari partikel (Holmes *et al.*, 2012). Persamaan model *Langmuir* juga dapat digunakan untuk memprediksi proses adsorpsi dari bentuk terlarut ke bentuk padatan (Ghabbour & Davies, 2011). Adsorpsi adalah proses penting yang memengaruhi distribusi bahan kimia dilingkungan.

Secara alami beban P terlarut yang ada di perairan akan mengalami adsorpsi oleh partikel dan akan tersimpan ke dasar perairan (Zhang *et al.*, 2016). Hal ini merupakan mekanisme perairan dalam memulihkan keseimbangan lingkungan, sehingga dampak negatif tidak akan terjadi. Pengikatan unsur P terlarut dari perairan oleh suspensi

sedimen perlu dipelajari untuk melihat kemampuan sedimen suatu wilayah dalam mengadsorpsi unsur P terlarut (dalam penelitian ini adalah ion fosfat). Hal ini penting sebagai informasi dasar tentang potensi pelepasan dan retensi unsur kimia ke perairan (Yu *et al.*, 2014). Setiap sedimen dari suatu lokasi memiliki kemampuan adsorpsi yang berbeda, tergantung dari karakteristik sedimen. Tingginya adsorpsi sedimen dapat menggambarkan semakin baik kemampuan sedimen tersebut dalam mengendalikan dampak proses eutrofikasi.

Penelitian terkait adsorpsi dan desorpsi ion P oleh sedimen pernah dilakukan oleh beberapa peneliti pada sistem perairan tawar (Wang *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2016; Cui *et al.*, 2018). Di Indonesia penelitian tentang kinetika senyawa P dari sedimen laut pernah dilakukan oleh Prartono & Hasena (2006) pada sedimen perairan Teluk Jakarta. Namun penelitian ini hanya mempelajari tentang proses pelepasan (desorpsi) unsur nutrien, termasuk ion P. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola perubahan konsentrasi ion  $PO_4^{2-}$  terhadap waktu melalui proses simulasi adsorpsi dan desorpsi sedimen yang diambil dari 2 lokasi yaitu sedimen perairan Semarang dan Jepara. Penentuan kinetika adsorpsi ditentukan berdasarkan persamaan orde 1 dan 2 serta isoterm adsorpsinya ditentukan berdasarkan model *Langmuir* dan *Freundlich* (Yang *et al.*, 2019).

Informasi yang akan didapatkan dari penelitian ini adalah tentang potensi kemampuan suatu wilayah untuk memulihkan dari adanya inputan beban P yang berlebih. Penelitian adsorpsi dan desorpsi P ini juga dapat membantu dalam menjelaskan mekanisme pelepasan ion dan perolehan kembali suatu unsur yang terikat oleh sedimen, sehingga dapat digunakan dalam prakiraan kesuburan perairan. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai pedoman dalam penetapan suatu perairan dalam mengendalikan dampak pencemaran.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Lokasi Pengambilan Sampel, Perlakuan Sedimen dan Analisis Kualitas Sedimen

Sampel sedimen pada penelitian ini diambil dari Muara Sungai Banjir Kanal Barat (mewakili area perairan Semarang) pada  $06^{\circ} 56' 32,6''$  LS,  $110^{\circ} 23' 11,1''$  BT dan Muara Sungai Wiso (mewakili perairan Jepara) pada  $06^{\circ} 35' 2''$  LS,  $110^{\circ} 39' 30''$  BT (*Figure 1*). Pengambilan sampel sedimen menggunakan *grab sampler* (ketebalan  $\pm 25$  cm). Sampel diambil dari 3 stasiun pada masing-masing muara dan dihomogenkan. Selanjutnya sampel sedimen dilakukan pengeringan dibawah sinar matahari dan dilakukan pengayakan (ukuran 150). Parameter kualitas sedimen yang diukur pada penelitian meliputi penentuan ukuran butir dan organik karbonnya. Fraksi sedimen pasir didapatkan melalui metode pengayakan, fraksi lanau dan lempung berdasarkan metode *pipetting*. Metode penentuan organik karbon berdasarkan metode LOI (Meng *et al.*, 2014a).

### 2.2. Material dan Data

#### 2.2.1. Metode Simulasi Kinetika Adsorpsi

Metode yang digunakan merupakan modifikasi dari beberapa peneliti (Cui *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2016 dan Cao *et al.*, 2017). Eksperimen dilakukan pada suhu ruangan ( $\pm 25^{\circ}C$ ). Data yang diamati adalah perubahan konsentrasi fosfat terlarut terhadap waktu dengan interval waktu, menit ke-5; 60, 360. Terlebih dahulu, sampel sedimen dilakukan pengocokan selama 24 jam untuk memperoleh kondisi kesetimbangan antara fase terlarut dan partikel untuk proses adsorpsinya. Sampel sedimen yang digunakan sebanyak 0,3 g dan dimasukkan ke dalam 200 ml air. Sampel air yang digunakan merupakan sampel dari perairan masing-masing (Jepara dan Semarang) dan diambil pada tanggal 14 Juli 2019, saat kondisi surut. Percobaan dilakukan pada kon-

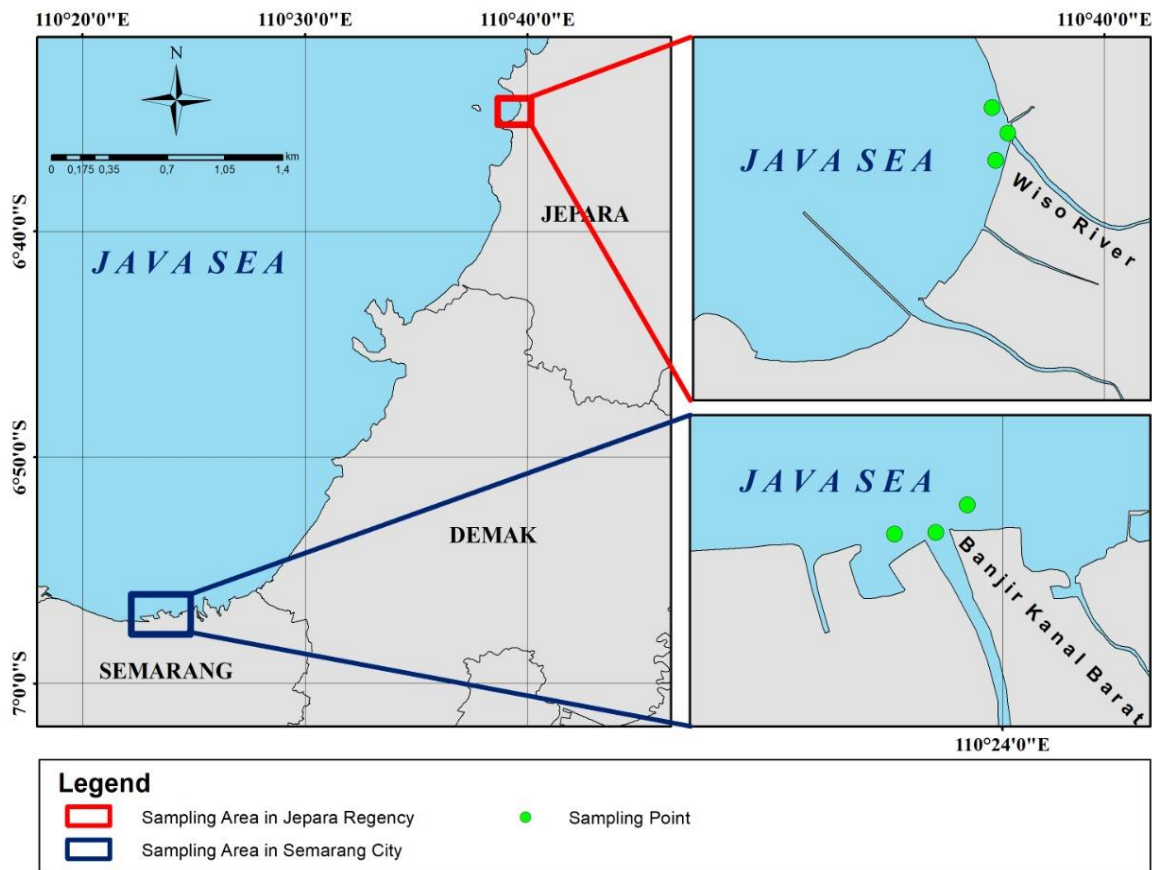


Figure 1. Location of the research.

sentensi larutan 6  $\mu\text{M}$  dan pada konsentrasi alami air laut. Desain percobaan terdiri dari:

Percobaan 1 (Ja)= 0,3 g sedimen Jepara + 200 ml air Jepara + 6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Percobaan 2 (Sa)= 0,3 g sedimen Semarang + 200 ml air Semarang + 6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Perhitungan nilai adsorpsi menggunakan formula dari Omari *et al.* (2019) sesuai formula 1:

$$Q_t = \frac{[C_0 - C_e] \cdot V}{m} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:  $Q_t$ = konsentrasi P teradsorpsi,  $C_0$ = konsentrasi awal phosphor,  $C_e$ = konsentrasi kesetimbangan ion P,  $V$ = volume dan  $m$ = massa sedimen

### 2.2.1.1. Penentuan *Isoterm* Adsorpsi

Penentuan pola *isoterm* adsorpsi digambarkan menggunakan dua model yaitu *isoterm Freundlich* dan *Langmuir*. *Isoterm Langmuir* ditentukan dengan membuat grafik antara perbandingan konsentrasi terlarut ( $C_e$ ) dan teradsorpsi ( $Q_e$ ) sebagai sumbu y terhadap konsentrasi terlarut ( $C_e$ ) sebagai sumbu x dan *isoterm Freundlich* ditentukan dengan membuat grafik antara  $\ln Q_e$  sebagai sumbu y terhadap  $\ln C_e$  sebagai sumbu x. Nilai kapasitas adsorpsi akan dihasilkan melalui persamaannya.

### 2.2.1.2. Penentuan Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi ditentukan dengan membuat grafik hubungan antara perubahan konsentrasi terhadap waktu. Penetapan ordo ditentukan dari besarnya kelinieran (nilai  $R^2$ ). Kinetika adsorpsi ditentukan dari nilai slope

dan intersep dari persamaan linier yang dihasilkan.

### 2.2.2. Metode Simulasi Kinetika Desorpsi

Sedimen sebanyak 0,3 g dijenuhkan terlebih dahulu menggunakan konsentrasi 6  $\mu\text{M}$  dan 60  $\mu\text{M}$  dan dikocok selama 24 jam. Tahap selanjutnya adalah pengendapan dan pengeringan. Sedimen yang telah kering ditambahkan 200 ml media air laut dan dilakukan pengkocokan kembali selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan pengukuran fosfat terlarut pada menit ke-0, 60, 360. Desain percobaan secara rinci adalah sebagai berikut:

Percobaan 1 (Jd6)=

0,3 g sedimen hasil penjenuhan 6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  + air laut Jepara + pengadukan selama 24 jam

Percobaan 2 (Jd60)=

0,3 g sedimen hasil penjenuhan 60  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  + air laut Jepara + pengadukan selama 24 jam

Percobaan 3 (Sd6)=

0,3 g sedimen hasil penjenuhan 6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  + air laut Semarang + pengadukan selama 24 jam

Percobaan 4 (Sd60)=

0,3 g sedimen hasil penjenuhan 6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$  + air laut Semarang + pengadukan selama 24 jam

Percobaan 5 (Jdn)=

0,3 g sedimen Jepara + Air laut Jepara + pengadukan selama 24 jam

Percobaan 6 (Sdn)=

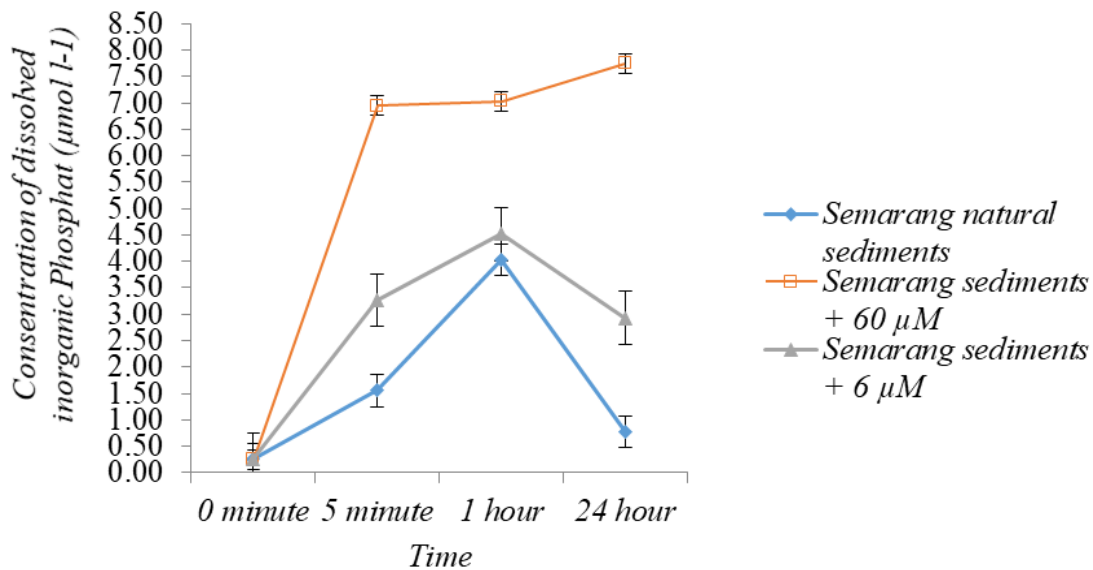
0,3 g sedimen Jepara + air Jepara + pengadukan selama 24 jam

Pengukuran fosfat terlarut menggunakan spektrofotometer UV-VIS SP 6000, pada panjang gelombang 885 nm dan perhitungan kontribusi sedimen dihitung dari nilai total hasil ion  $\text{PO}_4^{2-}$  yang terlepas dibagi jumlah sedimen percobaan (0,3 g).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Simulasi Kinetika Desorpsi

Proses desorpsi ion P terlarut oleh sedimen perairan Semarang dan Jepara dapat dilihat melalui adanya perubahan konsentrasi fosfat terlarut dalam media. Nilai perubahan ini disajikan pada *Figure 2*.



*Figure 2.* The change pattern of dissolved phosphate concentration (DIP) during 24 hours in Semarang waters.

Figure 2 dan 3 memperlihatkan pola perubahan konsentrasi DIP pada perlakuan sedimen alami (Sdn dan Jdn) dan sedimen  $6\mu\text{M}$  (Sd6 dan Jd6) perairan Semarang dan Jepara menunjukkan pola yang sama. Perlakuan Sd6, Jd6 menunjukkan nilai yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan perlakuan Sdn dan Jdn. Hal ini disebabkan karena pada perlakuan Sd6 dan Jd6 ada penambahan konsentrasi pada sedimen awalnya. Demikian juga pada perlakuan Sd60 dan Jd60, menyebabkan proses pelepasan ion  $\text{PO}_4^{2-}$  ke media menunjukkan nilai yang lebih tinggi. Haryanti (2010) menjelaskan bahwa konsentrasi awal berpengaruh terhadap jumlah yang dilepas. Proses pelepasan ion  $\text{PO}_4^{2-}$  (desorpsi) mencapai maksimum pada 1 jam pertama. Pada menit pertama terlihat bahwa anion fosfat yang terdesorpsi sedikit, kemudian meningkat secara signifikan hingga mencapai waktu optimumnya. Setelah mencapai waktu optimum dan kesetimbangannya, jumlah anion fosfat yang terdesorpsi konstan. Proses ini terjadi karena dalam media percobaan ada reaksi dua arah antara zat terlarut (ion P) sebagai adsorbat dan sedimen sebagai adsorbennya. Sedimen tidak mampu

lagi mendesorpsi jika media sudah jenuh dengan ion P dan selanjutnya reaksi menjadi konstan. Hasil penelitian Partono & Hasena (2006) menjelaskan bahwa terjadi proses pelepasan fosfat yang sangat signifikan pada 5 menit pertama dan proses pelepasan tetap terjadi pada menit ke 30, meskipun terjadi secara perlahan-lahan. Peningkatan pada 5 menit pertama terjadi secara signifikan karena konsentrasi awal air laut lebih kecil dari konsentrasi dalam sedimen. Hal ini memberikan gambaran bahwa proses desorpsi terjadi, yang mana ion fosfat dalam sedimen terlarut kembali. Proses kesetimbangan antara fase terlarut dan partikel akan terjadi kembali, dan proses desorpsi terhenti.

Berdasarkan Figure 3, pola perubahan konsentrasi menunjukkan sedikit perbedaan pada perlakuan sedimen Jd6. Hal ini disebabkan karena sedimen awal perairan Jepara memiliki konsentrasi yang lebih rendah daripada Semarang, sehingga pada saat penjumlahan sedimen tersebut masih mampu menyerap ion fosfat. Ion P ini kemudian dilepaskan kembali ke medianya, melalui proses desorpsi dan masih berlanjut sampai 1 jam kemudian.

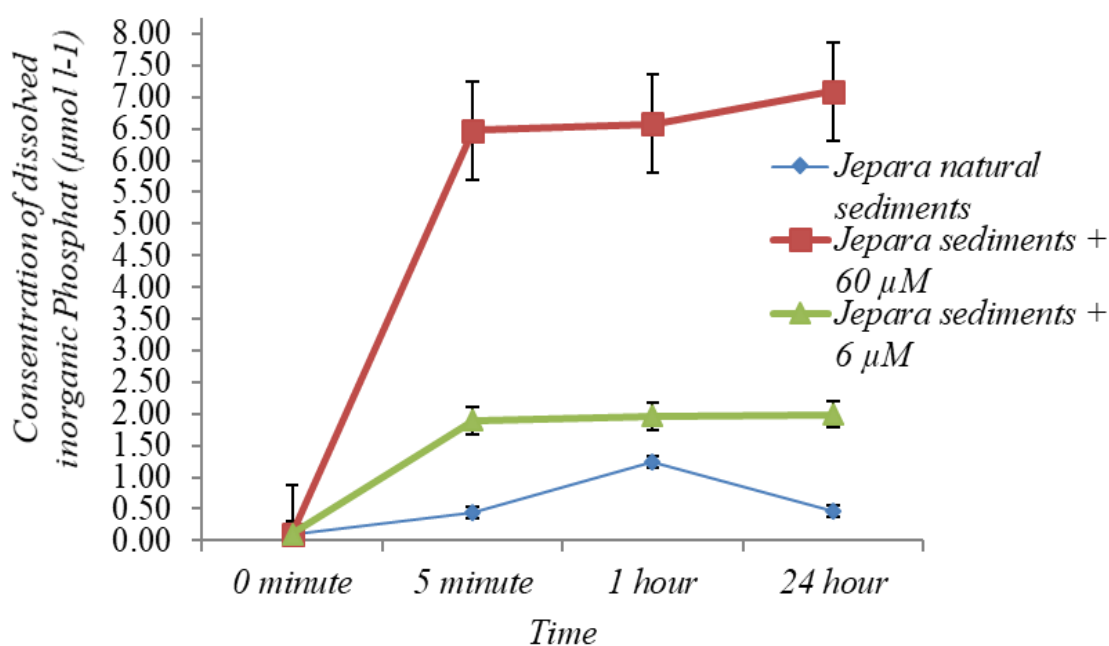


Figure 3. The change pattern of dissolved phosphate concentration (DIP) during 24 hours in Jepara waters.

Table 1. Total ions P released from Semarang and Jepara sediments ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ).

Location	Treatment	Minute		Total ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ )	Amount Release/g ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )
		5 <sup>th</sup>	60 <sup>th</sup>		
Jepara	Jdn	0.34	0.79	1.13	0.75
	Jd60	6.37	0.11	6.47	4.32
	Jd6	1.79	0.07	1.86	1.24
Semarang	Sdn	1.31	2.47	3.78	2.52
	Sd60	6.70	0.08	6.78	4.52
	Sd6	3.02	1.25	4.27	2.84

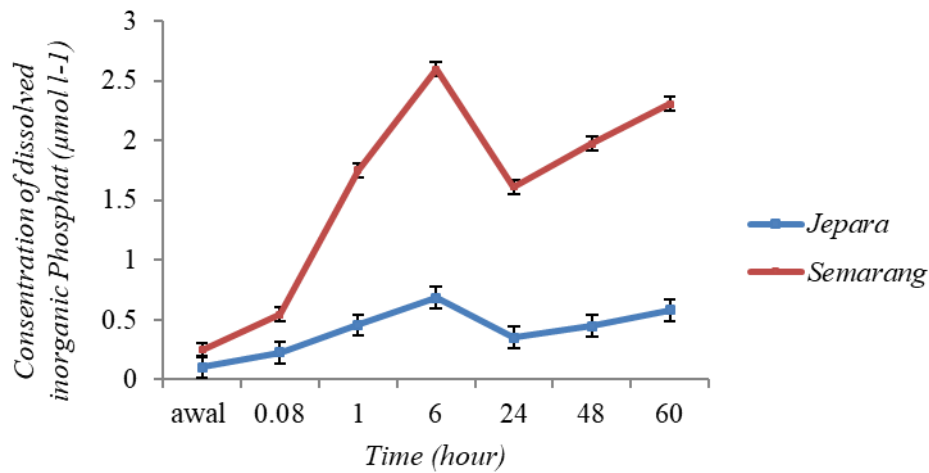


Figure 4. Desorption process of natural sediment in Semarang and Jepara waters.

Berdasarkan *Figure 2* dan *3* dilakukan perhitungan tentang kontribusi sedimen pada proses pelepasan fosfat. Perhitungan dilakukan dari menit ke-0 sampai menit ke-60 (selama 1 jam). Hasil menunjukkan bahwa sedimen alami memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan pada perlakuan penjenuhan. Nilai kontribusi pelepasan ion fosfat disajikan pada *Table 1*.

Pola perubahan proses desorpsi tanpa ada perlakuan penjenuhan sebelum eksperimen dapat dilihat pada *Figure 4*, proses pelepasan terjadi sampai 6 jam kemudian dan pola ini tidak diamati pada eksperimen sebelumnya.

### 3.2 Simulasi Kinetika Adsorpsi

Model kinetika berfungsi untuk mengetahui kecepatan adsorpsi dan tahapan yang mengontrol pada proses adsorpsi. Data kinetika yang didapatkan berupa kapasitas

adsorpsi, yang diperoleh melalui pemodelan dengan menggunakan model orde pertama semu dan orde kedua semu. Model kinetika yang cocok untuk sistem adsorpsi ion P dapat digambarkan melalui hubungan antara konsentrasi fosfat yang teradsorpsi terhadap waktu.

Hasil eksperimen yang diperoleh dapat dilihat pada *Figure 5*. Perubahan jumlah teradsorpsi dari waktu ke waktu menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung cepat dalam satu jam dan pada periode selanjutnya lebih lambat. Penelitian ini sejalan dengan penelitian Cui *et al.* (2016), Zhang *et al.* (2012) dan Meng *et al.* (2014b), yang menjelaskan proses penyerapan terjadi dengan cepat pada 30 menit pertama dan kemudian proses penyerapan melambat yang disebabkan oleh semakin sedikitnya situs adsorpsi yang tersisa untuk proses penyerapan P. Penelitian Omari *et al.*

(2019) mendapatkan hasil bahwa proses adsorpsi pada suhu  $24^{\circ}\text{C}$  berjalan lebih cepat dan setelah 6 jam kemudian, proses ini berjalan lambat.

Figure 5 juga memperlihatkan bahwa proses adsorpsi perairan Jepara diawal simulasi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen Semarang. Cui *et al.* (2018) menjelaskan bahwa kapasitas adsorpsi P terkait dengan nilai latar belakang sedimen P. Sema-

kin rendah nilai latar belakang sedimen P adalah, semakin tinggi kapasitas adsorpsi P sedimen.

Berdasarkan hasil pada Figure 3, 4, 5, dan 6, selanjutnya ditentukan persamaan kinetika adsorpsinya menggunakan persamaan orde 1 dan 2. Penentuan persamaan yang cocok berdasarkan nilai  $R^2$  (Maslukah *et al.*, 2017; Omari *et al.*, 2019) dan disajikan pada Table 2.

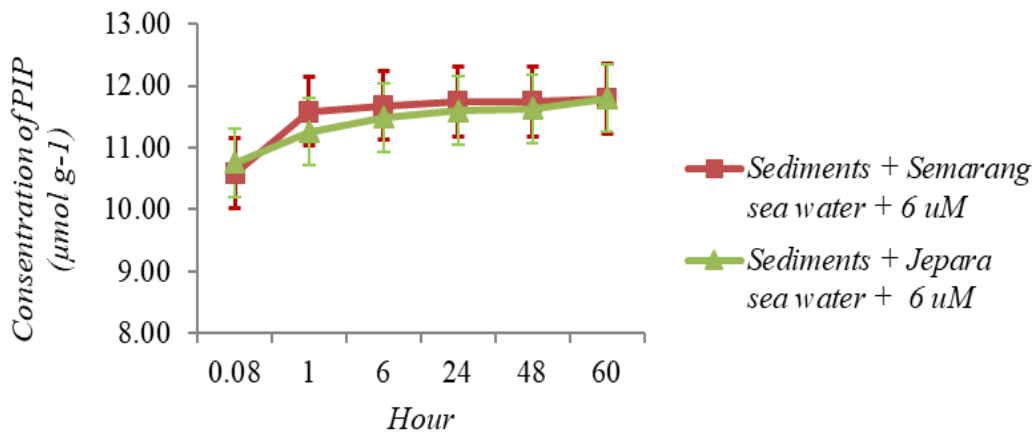


Figure 5. Concentration of P retained (PIP) to time change in Semarang and Jepara waters.

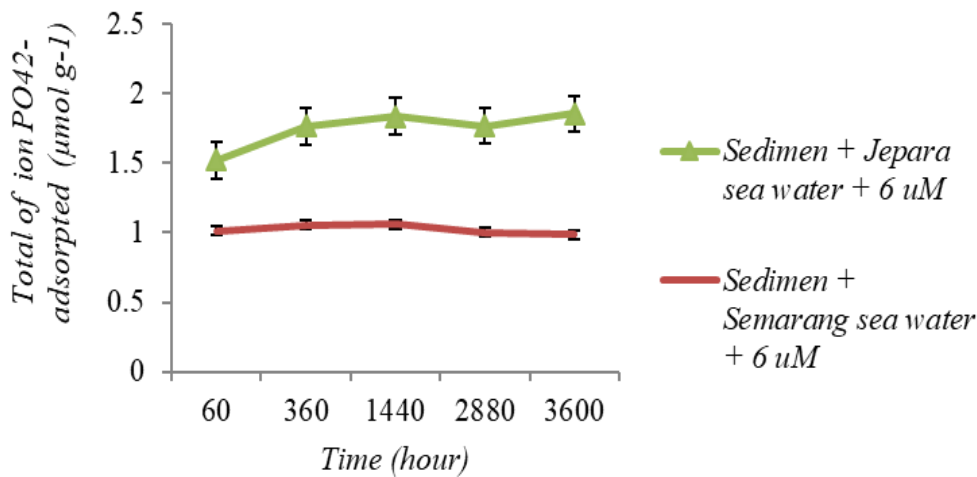


Figure 6. Total of ions  $\text{PO}_4^{2-}$  adsorbed as time function.

Table 2. Determination coefficient value ( $R^2$ ) and linier equation of adsorption kinetics.

Equation	Linear Equation and Value of $R^2$	
	Semarang	Jepara
orde 1	$Y = 1.10^{-5}x + 0.0443, R^2 = 0.42$	$Y = 1.10^{-4}x - 0.5103, R^2 = 0.63$
orde 2	$Y = 1.0143x - 34.853, R^2 = 0.99$	$Y = 1.1824x + 105.1, R^2 = 0.99$



Hasil ini menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi ion P oleh sedimen Semarang dan Jepara lebih tepat dijelaskan oleh model persamaan ordo 2 (*pseudo-second-order*) daripada model persamaan kinetika orde 1 (*pseudo-first-order*). Model ini mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif yang ditempati oleh ion P dan adsorpsi maksimum adalah pembentukan *monolayer* di permukaan sedimen (Omari *et al.*, 2019). Beberapa penelitian sebelumnya juga membuktikan bahwa model kinetika persamaan ordo 2 merupakan pendekatan yang sesuai untuk kinetika adsorpsi fosfat. Kinetika adsorpsi fosfat lebih cocok mengikuti model kinetika ordo 2 (Huang *et al.*, 2014; Larasati & Notodarmojo, 2014; Mangwandi *et al.*, 2014; Rout *et al.*, 2014).

Berdasarkan persamaan model ordo 2

(Table 2) dapat dihitung nilai kecepatan adsorpsi. Dari persamaan tersebut dapat diketahui nilai slope adalah 1,0143 dan intersep 34,853 untuk sedimen Semarang dan 1,1824 dengan intersep 105,1 untuk sedimen Jepara. Hasil perhitungan menggunakan nilai slope =  $1/Qt$  dan intersep =  $1/(k Qt^2)$  dihasilkan nilai kecepatan reaksi (k) sedimen Semarang dan Jepara yaitu  $0,03 \text{ g } \mu\text{mol}^{-1}\text{menit}^{-1}$  dan  $0,01 \text{ g } \mu\text{mol}^{-1}\text{menit}^{-1}$ . Sedimen Semarang memiliki kemampuan kecepatan adsorpsi lebih cepat dibandingkan dengan sedimen Jepara. Hal ini berdampak pada kecepatan hilangnya ion P dari kolom perairan dan proses eutrofikasi tidak terjadi. Pohan *et al.* (2016) menemukan adanya kecepatan adsorpsi ion P lebih tinggi oleh zeolit termodifikasi yaitu  $0,112 \text{ g mmol}^{-1} \text{ menit}^{-1}$ . Selanjutnya, untuk melihat *isotherm* adsorpsinya dijelaskan pada Figure 7.

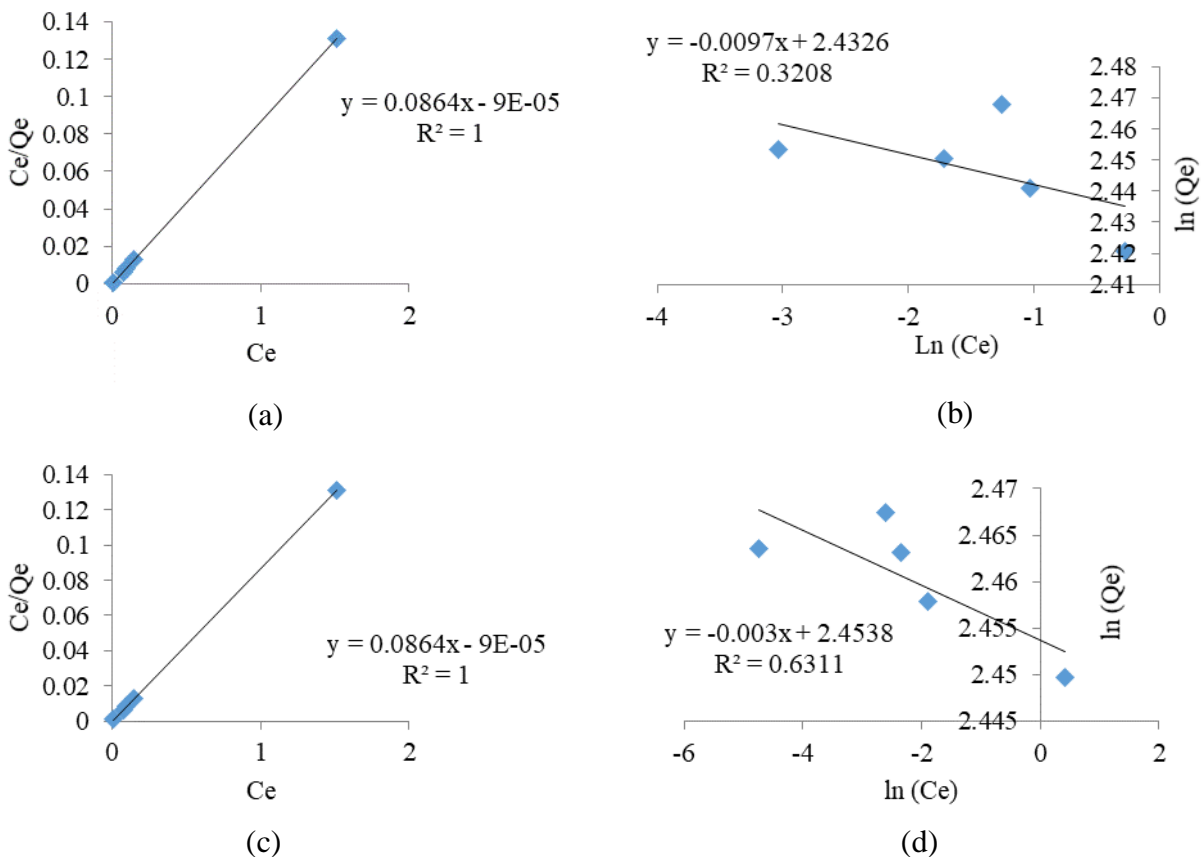


Figure 7. Linear equation models of Langmuir (a,c) and Freundlich (b,d) of adsorption from Jepara and Semarang sediments.

Berdasarkan *Figure 7* bahwa persamaan adsorpsi perairan Jepara dan Semarang lebih cocok digambarkan berdasarkan persamaan *Langmuir*. Penentuan ini didasarkan pada nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang mendekati 1. Model *Langmuir* dibuat berdasarkan asumsi bahwa permukaan adsorben terdistribusi secara homogen, sehingga adsorpsi terjadi pada satu lapisan. *Figure 7* menjelaskan bahwa perairan Jepara menghasilkan persamaan linier  $y = 0,0893x - 0,0006$  dan perairan Semarang  $y = 0,0864x - 9 \cdot 10^{-5}$ . Nilai kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{\text{max}}$ ) dapat dihitung dari nilai  $1/\text{slope}$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi Jepara lebih kecil dibandingkan dengan perairan Semarang dengan nilai berturut-turut adalah  $11,2 \mu\text{mol g}^{-1}$  dan  $11,57 \mu\text{mol g}^{-1}$ . Nilai ini berdampak pada kuatnya sedimen dalam mengadsorpsi ion  $\text{PO}_4^{2-}$  dan menyebabkan konsentrasinya dalam material tersuspensi dan sedimen dasar menjadi tinggi. Yang *et al.* (2019) mendapatkan nilai kapasitas maksimum ion  $\text{PO}_4^{2-}$  pada sedimen yang diperkaya bahan organik mencapai nilai  $611,22 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $\sim 19,72 \mu\text{mol g}^{-1}$ ).

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola perubahan konsentrasi ion  $\text{PO}_4^{2-}$  terhadap waktu berfluktuasi. Hal ini memberikan gambaran adanya proses pelepasan (desorpsi) dan penyerapan (adsorpsi) ion fosfat oleh sedimen. Hasil simulasi kinetika desorpsi oleh sedimen memberikan gambaran bahwa pelepasan ion P oleh sedimen Semarang sebesar tiga kali lebih tinggi dibandingkan dengan perairan Jepara. Sedimen perairan Semarang menunjukkan kontribusi pelepasan fosfat sebesar  $2,52 \mu\text{mol g}^{-1}$  dan Jepara sebesar  $0,75 \mu\text{mol g}^{-1}$ . Proses adsorpsi dan desorpsi terjadi maksimum pada satu jam pertama dan mengikuti persamaan model orde 2 dan isoterm adsorpsinya mengikuti persamaan model *Langmuir*. Model ini menggambarkan bahwa kapasitas adsorpsi sebanding dengan jumlah situs aktif yang

ditempati oleh ion P dan adsorpsi maksimum terjadi pada satu lapisan permukaan sedimen yang terdistribusi secara homogen. Kontribusi ion P yang tinggi oleh sedimen perairan Semarang akan berimplikasi terhadap suburnya wilayah perairan dan kondisi menjadi eutrofik.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari Desertasi Program Doktor pada Program Studi Ilmu Kelautan, FPIK, UNDIP dan dibiayai oleh *Selain APBN DPA SUKPA* dengan Nomor kontrak, 16/UN7.5.10/PP/2019, FPIK, UNDIP, tahun anggaran 2019. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah bersedia memberikan koreksi, kritik, saran dan masukan, sehingga penelitian dan penulisan makalah ini dapat terselesaikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bappedal Propinsi Jawa Tengah. 2002. Laporan program kali bersih tahun 2002. *Laporan Penelitian*. Semarang: Pemerintah Propinsi Jawa Tengah. 13-14 pp.
- Chester, R. 1990. *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman Ltd. 698 p.
- Cui, Y., R. Xiao, Y. Xie, & M. Zhang. 2018. Phosphorus fraction and phosphate sorption-release characteristics of the wetland sediments in the Yellow River Delta. *Physics and Chemistry of the Earth*, 103: 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.06.005>
- Cao, X., X. Liu, J. Zhu, L. Wang, S. Liu, & G. Yang. 2017. Characterization of phosphorus sorption on the sediments of Yangtze River Estuary and its adjacent areas. *Marine Pollution Bulletin*, 114: 277–284. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.026>

- Ghabbour, E.A. & G. Davies. 2011. Environmental insights from Langmuir adsorption site capacities. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, 381(1-3): 37-40. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.03.014>
- Handayani M. & E. Sulistiyono. 2009. Uji persamaan Langmuir dan Freundlich pada penyerapan limbah Chrom (Vi) oleh Zeolit. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 3 Juni 2009. 130-136 pp.
- Haryanti, M. 2010. Karakteristik sorpsi dan desorpsi fosfat pada oxisol dengan pendekatan kinetik. *J. Solum*, VII(2): 97-109. <https://doi.org/10.25077/js.7.2.97-109.2010>
- Holmes, L.A., A. Tumer, & R.C. Thompson. 2012. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ. Poll.*, 160: 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.052>
- Huang, W.Y., D. Li, Z. Liu, Q. Tao, Y. Zhu, J. Yang, & Y.M. Zang. 2014. Kinetics, Isotherm, Thermodynamic, and Adsorption Mechanism of La(OH)<sub>3</sub>-modified Exfoliated Vermiculites as Highly Efficient Phosphate Adsorbents. *Chemical Engineering J.*, 236: 191-201. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.077>
- Larasati, A & S. Notoatmodjo. 2014. Equilibrium and kinetics of orthophosphate removal from aqueous phase with adsorption-desorption methods. *J. Teknik Lingkungan*, 20(1): 38-47. <http://doi.org/10.5614/jtl.2014.20.1.5>
- Mangwandi, C., A.B. Albadarin, Y. Glocheux, & G.M. Walker. 2014. Removal of ortho-phosphate from aqueous solution by adsorption onto dolomite. *J. of Environmental Chemical Engineering*, 2(2): 1123-1130. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.04.010>
- Maslukah, L., E. Yudiati, & Sarjito. 2017. Adsorption model of heavy metals Pb, Cu, and Zn on water-sediment systems in Banjir Kanal Barat estuary Semarang. *Maspari J.*, 9(2): 149-158.
- Maslukah, L., M. Zainuri, A. Wirasatriya, & U. Salma. 2019. Spatial distribution of chlorophyll-a and its relationship with dissolved inorganic phosphate influenced by rivers in the North Coast of Java. *J. of Ecological Engineering*, 20(7): 18–25. <https://doi.org/10.12911/22998993/108700>
- Meng, J., P. Yao, Z. Yu, T.S. Bianchi, B. Zhao, H. Pan, & D. Li. 2014a. Speciation, bioavailability and preservation of phosphorus in surface sediments of the Changjiang estuary and adjacent East China Sea inner shelf. *Estuarine, Coastal and Shelf Scienc.*, 144: 27–38. <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.04.015>
- Meng, J., Q.Z. Yao, & Z.G. Yu. 2014b. Particulate phosphorus speciation and phosphate adsorption characteristics associated with sediment grain size. *Ecol. Eng.*, 70: 140-145. <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.007>
- Omari, H., A. Dehbi, A. Lammini, & A. Abdallaoui. 2019. Study of the phosphorus adsorption on the sediments. *J. of Chemistry*, 2019: 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/2760204>
- Pohan, M.S.A., Sutarno, & Suyanta. 2016. Studi adsorpsi-desorpsi anion fosfat

- pada zeolit termodifikasi CTAB. *J. Penelitian Sains*, 18(3): 123-135.  
<https://doi.org/10.26554/jps.v18i3.20>
- Prartono, T. & T. Hasena. 2009. Kinetic study of phosphor and nitrogen compound from sedimentary re-suspension, *J. Ilmu dan Teknologi Laut Tropis*, 1(1): 1-8.  
<https://doi.org/10.29244/jitkt.v1i1.7933>
- Praveena, S.M, S.S. Siraj. A.Z. Aris, N.M. Al-Bakri, A.K. Suleiman, & A.A. Zainal. 2013. Assessment of tidal and anthropogenic impacts on coastal waters by exploratory data analysis: an example from Port Dickson, Strait of Malacca, Malaysia. *Environmental Forensics*, 14(2): 146-154.  
<https://doi.org/10.1080/15275922.2013.781081>
- Rout, P.R., P. Bhunia, & R.R. Dash. 2014. Modeling isotherms, kinetics, and understanding the mechanism of phosphate adsorption onto a solid waste: ground burn patties. *J. of Environmental Chemical Engineering*, 2(3): 1331-1342.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2014.04.017>
- Schnoor, J. 1996. Environmental Modeling. New York: John Wiley and Son, Inc. 704 p.
- Seo, D.C., K. Yu, & R.D. Delaune. 2008. Comparison of monometal and multimetal adsorption in Mississippi River alluvial wetland sediment: batch and column experiments. *J. Chemospher*, 73(11): 1757-1764.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.09.003>
- Wang, P., B. Hu, C. Wang, & Y. Lei. 2015. Phosphorus adsorption and sedimentation by suspended sediments from zhushan bay, Taihu lake. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22: 6559-6569.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4114-6>
- Yu, J., F. Qu, H. Wu, L. Meng, S. Du, & B. Xie. 2014. Soil phosphorus forms and profile distributions in the tidal river network region in the Yellow River Delta Estuary, *Sci. World J.*, 2014: 1-14.  
<https://doi.org/10.1155/2014/912083>
- Yang, X., X. Chenb, & X. Yanga. 2019. Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil dan Tillage Research*, 187: 85–91.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.016>
- Zhang, B., F. Fang, J.S. Guo, Y.P. Chen, Z. Li, & S.S. Guo. 2012. Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics relevant to the soil composition of water-level-fluctuating zone of three gorges reservoir. *Ecol. Eng.*, 40: 153-159.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.024>
- Zhang, Y., C. Wang, F. He, B. Liu, D. Xu, S. Xia, Q. Zhou, & Z. Wu. 2016. In-situ adsorption-biological combined technology treating sediment phosphorus in all fractions. *Sci. Rep.*, 6(29725): 1-11.  
<https://doi.org/10.1038/srep29725>

Received : 11 March 2020

Reviewed : 7 April 2020

Accepted : 24 July 2020