

**MODEL ADSORPSI LOGAM BERAT Pb, Cu, dan Zn  
SISTEM AIR-SEDIMEN MUARA SUNGAI BANJIR KANAL BARAT  
SEMARANG**

***ADSORPTION MODEL OF HEAVY METALS Pb, Cu, and Zn ON  
WATER-SEDIMENT SYSTEMS IN BANJIR KANAL BARAT ESTUARY  
SEMARANG***

**Lilik Maslukah<sup>1)</sup>, Ervia Yudiati<sup>2)</sup>, dan Sarjito<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Departemen Oseanografi, FPIK, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia  
Email: lilik\_masluka@yahoo.com

<sup>2)</sup>Departemen Ilmu kelautan FPIK, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

<sup>3)</sup>Departemen Budidaya FPIK, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Registrasi: 23 Januari 2017; Diterima setelah perbaikan: 3 Maret 2017;

Disetujui terbit: 14 Juni 2017

**ABSTRAK**

Adsorpsi merupakan proses penting dalam mengontrol transfer logam dari fase terlarut menjadi fase padatan. Logam Pb, Cu dan Zn merupakan logam yang dalam konsentrasi tinggi membahayakan bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi model adsorpsi Pb, Cu dan Zn dalam sistem air laut-sedimen di Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang. Sampel air dan sedimen diambil dari 7 stasiun. Untuk mendapatkan konsentrasi Pb, Cu dan Zn, sampel air diekstraksi menggunakan larutan organik APDC\_MIBK. Sedangkan untuk sampel sedimen melalui tahapan destruksi menggunakan asam chlorida (HCl) dan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) pada suhu 100°C selama 8 jam. Pembacaan nilai absorbansi dilakukan dengan AAS merk Shimidzu tipe 680 AA. Data yang didapat dikalkulasi berdasarkan model adsorpsi yaitu model Partisi, model Freundlich dan model Langmuir. Hasil perhitungan linieritas menunjukkan bahwa transfer ion logam Pb, Cu dan Zn ke dalam sedimen mengikuti model Langmuir dengan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) 0,72 untuk Pb, 0,96 (Cu) dan 0,73 (Zn). Sementara nilai kapasitas adsorpsi maksimum logam Pb (11,01-25,72), logam Cu (22,88-112,79) dan Zn (216,68-25.10<sup>6</sup>). Kapasitas adsorpsi maksimum antara fase terlarut terhadap material partikel jauh lebih besar dibanding antara sistem terlarut terhadap sedimen.

**KATA KUNCI: Adsorpsi, Freundlich, Langmuir, model, partisi.**

**ABSTRACT**

*Adsorption is an important process in controlling the transfer of the metal from the dissolved phase into the solid phase. Pb, Cu and Zn is a metal which in high concentrations harmful to the environment. The aim of this research is to predict the adsorption model of Pb, Cu and Zn in the water-sediment system at the estuary Banjir Kanal Barat, Semarang. Samples were taken from 7 stations. Water samples were extracted using organic solvent APDC\_MIBK and sediment samples through the stages of digestion using HNO<sub>3</sub> and HCl at a temperature of 100°C for 8 hours. Absorbance readings performed by AAS. The data obtained is calculated based on a model of adsorption which the partitions model, the Freundlich model and Langmuir model. Results showed that the metals Pb, Cu and Zn following the model of*

Langmuir with a coefficient of determination ( $R^2$ ) of 0.72 for Pb, 0.96 (Cu), and 0.73 (Zn). While the value of the maximum adsorption capacity of Pb ( 11.01 to 25.72 ), Cu ( 22.88 to 112.79 ) and Zn ( 216.68 to 25,10<sup>6</sup> ).

**KEYWORDS:** Adsorption, Freundlich, Langmuir, model, partition.

## 1. PENDAHULUAN

Sungai Banjir Kanal Barat merupakan sungai yang berpotensi sebagai media pembawa limbah, termasuk limbah logam berat, yang dibuang oleh kegiatan-kegiatan industri antara lain industri tekstil (PT. Daimatex, Sinar Panca Jaya, Panca Tunggal), industri logam dan mesin (PT. Raja Besi), industri kimia (Kimia Farma dan Paphros), dan industri keramik (PT. Queen Keramik dan Alam Daya Sakti) (Bappedal Propinsi Jawa Tengah, 2002). Muara Sungai Banjir Kanal Barat merupakan daerah peralihan antara darat dan laut yang paling besar terkena dampak pencemaran, termasuk logam berat. Logam Pb, Cu dan Zn merupakan logam yang dalam konsentrasi tinggi membahayakan bagi lingkungan.

Nasib (*fate*) logam berat di muara sungai (estuari) dipengaruhi oleh adanya proses adsorpsi (Bilinski *et al.*, 1991). Adsorpsi adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat oleh suatu partikel. Handayani dan Sulistiyono (2009) menjelaskan bahwa proses adsorpsi terjadi apabila ion yang teradsorpsi hanya tertahan atau menempel dipermukaan partikel penyerap saja.

Logam dalam perairan umumnya berada dalam bentuk ion, baik sebagai pasangan ion ataupun dalam bentuk ion tunggal (Palar, 2004). Chester (1980) menjelaskan bahwa proses adsorpsi terjadi pada kolom perairan. Logam berat dalam fase terlarut akan teradsorpsi oleh sedimen tersuspensi, kemudian material tersebut mengalami

penenggelaman ke dalam sedimen dasar.

Fenomena perpindahan ion logam dari badan air ke dalam sedimen yang kaya akan bahan organik biasanya melalui proses adsorpsi isoterm berdasarkan tiga model yaitu partisi, Freundlich atau Langmuir (Schnoor, 1996). Partisi model merupakan konsentrasi relatif dari setiap komponen dalam setiap fasenya dan menjadi parameter yang berguna untuk membandingkan kapasitas penyerapan dari suatu material yang berbeda, untuk jenis ionnya (Luoma and Rainbow, 2008; Seo *et al.*, 2008). Sedangkan model Langmuir dan Freundlich digunakan untuk memperkirakan kapasitas penyerapan dari partikel (Kozar *et al.*, 1998; Holmes *et al.*, 2012). Selanjutnya Ghabbour dan Davies (2011) menjelaskan bahwa persamaan model Langmuir dapat digunakan untuk memprediksi adsorpsi dari bentuk terlarut ke bentuk padatan. Pengetahuan tentang material padatan (sedimen) dan kemampuannya dalam mengadsorpsi merupakan informasi penting terhadap adanya penambahan konsentrasi logam berat, penentuan nasib serta transportnya dalam lingkungan perairan yang terpolusi.

Penelitian logam berat di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang telah banyak dilakukan terutama konsentrasi logam berat terlarut dan logam berat total dalam sedimen (Maslukah, 2007, Budiarti *et al* 2010, dan Wardani *et al*, 2014). Sementara penelitian mengenai model adsorpsi alami diperairan pernah dilakukan oleh

Muzakky (2008) di Sungai Code, Yogyakarta; Budiyanto dan Lestari (2013) di Estuary Berau, Kalimantan Timur dan Purwiyanto (2015) di Muara Sungai Banyuasin. Kondisi lingkungan yang berbeda dapat mempengaruhi model adsorpsi yang terjadi. Berdasarkan latar belakang diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena model adsorpsi ion-ion logam  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  dan  $Zn^{2+}$  dalam sistem air-sedimen di Muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan kualitas perairan.

## 2. BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di 7 stasiun dengan 3 kali ulangan, lokasi penelitian terletak di lokasi sekitar Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang (110 23' 23.5" - 110 23' 56" BT dan 06 56' 30" - 06 58' 7.5" LS). Materi penelitian yang digunakan adalah sampel air laut dan sedimen yang diambil dari Muara Sungai Banjir Kanal Barat, Semarang.

Pengambilan sampel air menggunakan botol Nansen dan untuk sampel sedimen menggunakan *grab sampler*. Di laboratorium, air untuk analisa logam berat kemudian disaring menggunakan kertas saring *Nucleopore*, dengan ukuran pori 0,45  $\mu m$ , yang telah direndam dalam HCl 6N selama seminggu dan dibilas dengan *aquadest*. Setelah disaring air contoh diawetkan dengan menambahkan  $HNO_3$  (pH<2) (Hutagalung *et al.*, 1997). Kertas saring yang telah digunakan dikeringkan dalam oven, kemudian dilakukan analisis logam berat dalam fase partikel (tersuspensi). Pengukuran logam berat menggunakan AAS merk Shimidzu tipe 680 AA.

### Penentuan Konsentrasi Terlarut

Sampel air yang telah di saring diekstraksi dengan pelarut organik (Standart Method, 1992). Pelarut organik yang digunakan adalah APDC dan MIBK. Kemudian diekstrak kembali dari fase organik ke an organik menggunakan air murni, dilanjutkan ekstraksi dengan  $HNO_3$ . Penentuan konsentrasi logam Pb, Cu dan Zn menggunakan AAS merk Shimidzu tipe 680 AA.

### Penentuan Konsentrasi dalam Partikel (Seston)

Contoh partikel (bersama kertas saring) dikeringkan dan ditimbang, selanjutnya dimasukkan dalam "*teflon bomb*" dilanjutkan dengan penambahan aqua regia sebanyak 1 ml dan secara perlahan-lahan ditambah 1 ml HF. Kemudian dilakukan pemanasan lagi pada suhu 90 - 100°C. Setelah dingin, larutan contoh dimasukkan dalam labu ukur polietilen (25 ml) yang telah berisi campuran 5 ml asam borat dan 5 ml air suling bebas ion. Air pembilas digabung dengan larutan contoh. Kemudian di lanjutkan pembacaan konsentrasi dengan AAS merk Shimidzu tipe 680 AA menggunakan nyala udara asetilen (Hutagalung *et al.*, 1997).

### Penentuan dalam Sedimen

Di laboratorium, contoh sedimen dimasukkan dalam beker teflon dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C. Setelah kering dibilas 3 kali dengan air suling bebas ion (DDDWW), kemudian dikeringkan kembali. Sebanyak 5 g contoh sedimen tersebut didestruksi dalam beker Teflon dengan  $HNO_3/HCl$  (1:3) pada suhu 100°C selama 8 jam. Kadar logam berat (Pb, Cu dan Zn) dalam contoh sedimen ditentukan dengan AAS merk Shimidzu tipe 680 AA,

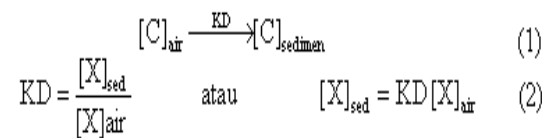
menggunakan nyala campuran udara-asetilen (USEPA, 1996).

### Model Perpindahan Ion Logam

Menurut Schnoor (1996) perpindahan ion logam dari badan air kedalam sedimen dapat melalui fenomena proses adsorpsi isoterm yang berdasarkan tiga model adsorpsi yaitu model Partisi, Freundlich dan Langmuir seperti berikut ini:

### Model Partisi

Model ini berdasarkan reaksi kesetimbangan fase cair-padat seperti pada persamaan 1 dan 2.



Keterangan :

Hubungan antara  $[X]_{sed}$  dan  $[X]_{air}$  akan linier, jika memiliki koefisien determinasi ( $R^2$ ) mendekati 1. Notasi X menggambarkan ion logam,  $[X]_{sed}$  menggambarkan konsentrasi ion logam di dalam sedimen (mg/kg),  $[X]_{air}$  adalah konsentrasi ion logam terlarut di dalam air (mg/l) dan KD merupakan koefisien Partisi antara fasa padat dan cair.

### Model Freundlich

Model ini hasil modifikasi model Koefisien Distribusi (KD), dan hanya berlaku pada permukaan adsorbat yang heterogen dan proses adsorpsi yang terjadi lebih dari satu permukaan, maka notasi  $(1/n)$  berlaku dengan  $n > 1$ .

$$[X]_{sed} = K_f [X]_{air}^{1/n} \quad \text{atau} \quad \log [C]_{sed} = \frac{1}{n} \log [X]_{air} + \log K_f \quad (3)$$

Keterangan :

Hubungan antara  $\log [C]_{sed}$  dan  $\log [X]_{air}$  pada persamaan (3) akan linier, dengan  $1/n$  sebagai slope dan  $\log K_f$  intersep,  $n$  merupakan jumlah permukaan adsorpsi dan  $K_f$  merupakan konstanta Freundlich.

### Model Langmuir

Model ini biasanya terjadi pada adsorpsi kimia, dan proses adsorpsi biasanya hanya terjadi didaerah satu permukaan yang dinyatakan pada persamaan 4,

$$\frac{[C]_{air}}{[C]_{sed}} = \frac{1}{Kl.b} + \frac{[C]_{air}}{b} \quad (4)$$

Keterangan :

Berdasarkan persamaan (4) kurva antara  $\frac{[C]_{air}}{[C]_{sed}}$  dengan  $[C]_{air}$  akan linier.

$1/b$  menyatakan slope dan  $\frac{1}{Kl.b}$  adalah

intersep. Notasi  $b$  merupakan kapasitas adsorpsi dan  $Kl$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dibagi dalam dua sistem :(1) fase terlarut terhadap fase partikulat (material tersuspensi dalam air) dan (2) fase terlarut terhadap sedimen dasar. Hasil model digambarkan dalam bentuk nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Tabel 1 dan Gambar 1-6 memperlihatkan hasil model perpindahan ion Pb, Cu dan Zn dari badan air untuk fase terlarut ke dalam partikel tersuspensi dan sedimen dasar di muara sungai Banjir Kanal Barat, Semarang.

Tabel 1. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) beberapa model adsorpsi dan jenis logam dari sistem yang berbeda

Bentuk fase dalam sistem	Jenis ion logam	Model (Nilai $R^2$ )		
		Partisi	Freundlich	Langmuir
Fase terlarut-	Pb	0,33	0,35	0,51
Partikulat	Cu	0,00	0,02	0,02
dalam air	Zn	0,19	0,35	0,54
Fase terlarut-	Pb	0,00	0,06	<b>0,72</b>
Sedimen	Cu	0,46	0,53	<b>0,96</b>
dasar	Zn	0,67	0,48	<b>0,73</b>

Berdasarkan dua jenis sistem (fase terlarut-partikulat dalam air, fase terlarut-sedimen dasar) dan tiga model

(Partisi, Freundlich dan Langmuir), ketiga jenis ion logam Pb, Cu dan Zn lebih cocok mengikuti model Langmuir (kecuali ion logam Cu untuk sistem fase terlarut-partikel dalam air yang mempunyai nilai yang sama). Model Langmuir terpilih sebagai model yang lebih mendekati karena nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) paling besar dibandingkan dengan model Partisi dan Freundlich. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) untuk Pb, Cu dan Zn antara fase terlarut dan partikulat dalam air secara berurutan adalah 0,51, 0,02, 0,54 dan fase terlarut terhadap sedimen dasar, secara berurutan nilainya mencapai 0,72, 0,96, dan 0,73. Hubungan linier menggambarkan konsentrasi ion logam dalam fase terlarut dengan sedimen cukup signifikan dan linier (Schnoor, 1996). Muzakky (2008) menjelaskan bahwa model Langmuir menggambarkan proses perpindahan suatu ion logam mengikuti adsorpsi secara kimiasorpsi.

Melalui tiga jenis model ini akan didapatkan nilai koefisien distribusi (Kd) untuk model Partisi, nilai Kf untuk model Freundlich dan Kl untuk model Langmuir. Selain nilai Kf, model Freundlich memberikan penjelasan mengenai proses dan intensitas adsorpsi, sedangkan model Langmuir berkaitan dengan kapasitas adsorpsi. Intensitas adsorpsi dalam model ini digambarkan dalam persamaan  $1/n$  (Voudrias *et al.*, 2002). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai ( $1/n$ ) logam berat Pb (3,5), logam Cu (-1,6) dan logam Zn (5). Mohan and Karthikeyan (1997) menjelaskan bahwa proses adsorpsi berlangsung dengan intensitas normal apabila nilai  $1/n < 1$ . Berdasarkan hasil penelitian, hanya proses adsorpsi logam Cu yang berjalan dengan intensitas normal. Nilai Koefisien distribusi (Kd), koefisien

Freundlich (Kf) dan koefisien Langmuir logam Pb, Cu dan Zn disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Koefisien distribusi (Kd) Pb, Cu dan Zn ( $l\ kg^{-1}$ )

Logam	Nilai Koefisien		
	Kd ( $l\ kg^{-1}$ )	Kf ( $l\ kg^{-1}$ )	Kl ( $l\ kg^{-1}$ )
Pb	5023,6	25,8	0,06
Cu	42391,4	0,72	-0,02
Zn	30765,5	562,3	$2.5 \times 10^{-6}$

Berdasarkan Tabel 2 logam Cu memiliki Kd yang paling besar dibanding logam Pb dan Zn. Nilai Kd yang besar menggambarkan bahwa Cu terikat kuat dengan sedimen. Kuatnya ikatan ion Cu dalam sedimen dalam penelitian ini berkaitan dengan hasil analisis dari model Langmuir pada sistem antara fase partikulat dalam air terhadap sedimen yang menunjukkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang paling besar dibanding logam lainnya, dengan nilai  $R^2$  mencapai 0,81. Hasil penelitian Budiyanto (2013), logam Zn mempunyai nilai koefisien distribusi antara 100-10000 ( $l\ kg^{-1}$ ) dan Feng *et al.* (1999) antara  $10^{3.4} - 10^{6.2}$  ( $l\ kg^{-1}$ ). Sedangkan untuk logam Pb nilai koefisien distribusi antara 0.2 ( $l\ kg^{-1}$ ) (Purwiyanto, 2015). Koefisien distribusi atau model Partisi tidak dapat menunjukkan proses adsorpsi dengan tepat. Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Muzakky (2008), Budiyanto & Lestari (2013) dan Purwiyanto (2015).

Langmuir model merupakan model yang paling mewakili untuk logam Pb, Cu dan Zn dalam sistem fase terlarut terhadap sedimen. Sedangkan untuk sistem air-sedimen, model Freundlich dan Langmuir tidak dapat menggambarkan proses adsorpsi, karena nilai  $R^2$  dibawah 0,6. Selanjutnya dengan model Langmuir dapat diprediksi mengenai kapasitas adsorpsi

**Lilik Maslukah *et al.***  
**Model Adsorpsi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn**  
**Sistem Air-Sedimen Muara Sungai Banjir Kanal Barat**  
**Semarang**

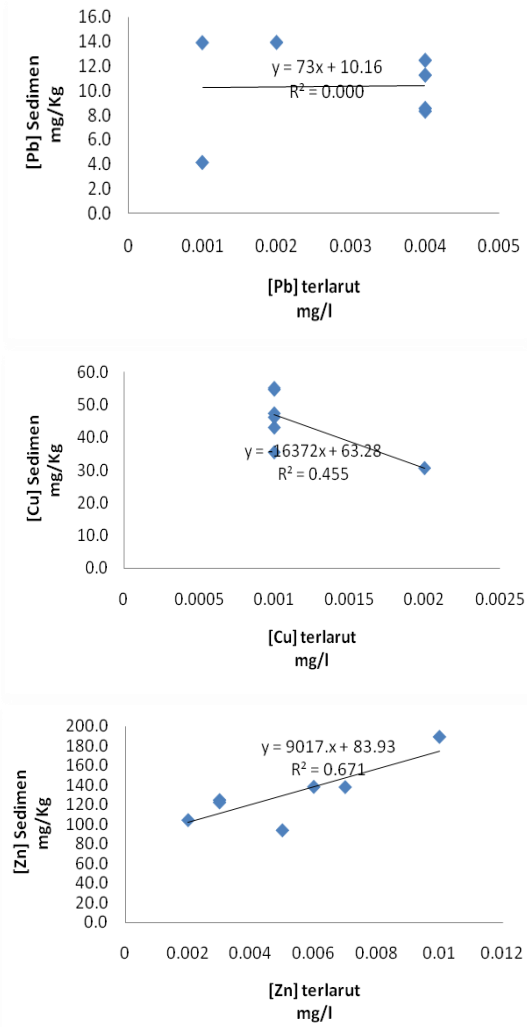
maksimumnya. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai kapasitas Adsorpsi logam Pb, Cu dan Zn (mg/Kg)

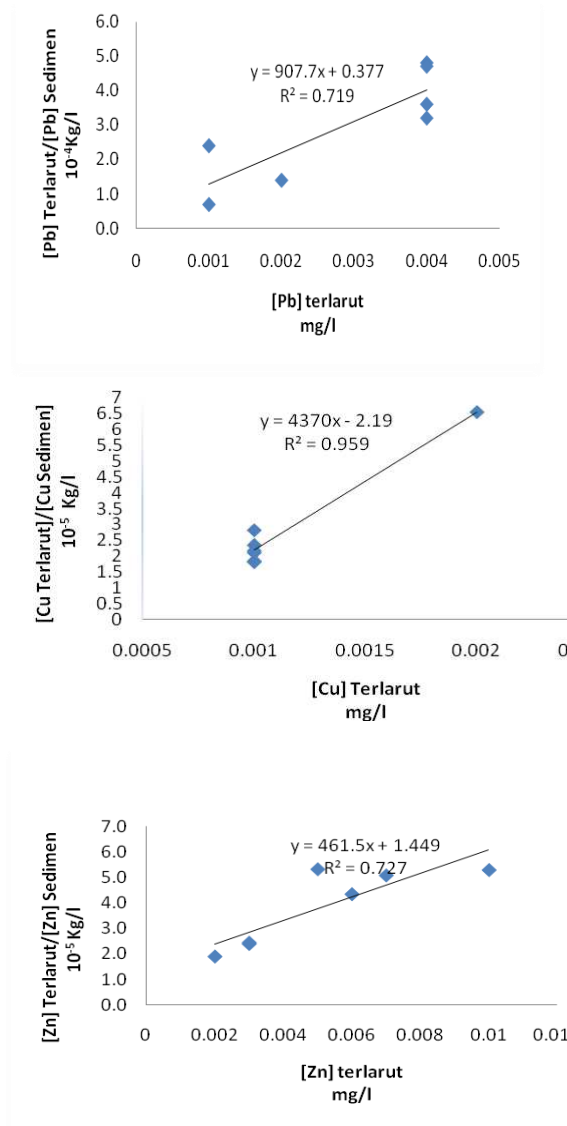
Jenis Logam	Kapasitas adsorpsi maksimum	
	Terlarut-Partikulat dalam air	Terlarut - Sedimen
Pb	25,72	11,01
Cu	112,79	22,88
Zn	25.10 <sup>6</sup>	216,68

Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi maksimum antara fase terlarut terhadap material partikel jauh lebih besar dibanding antara sistem terlarut terhadap sedimen. Kapasitas adsorpsi Zn dalam penelitian ini lebih besar dibanding hasil penelitian Budiyanto dan Lestari (2013) di delta Berau, Kalimantan timur. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum di Delta Berau berkisar antara 12,7 mg/kg sampai 43,5 mg/kg. Namun demikian untuk sistem terlarut terhadap sedimen nilai kapasitas adsorpsinya lebih kecil dibanding hasil penelitian Jain (2009) di Sungai Ganga. Nilai adsorpsi Zn di Sungai Ganga, mencapai 5 mg/gr (5000 mg/Kg). Nilai ini menggambarkan sedimen di perairan Sungai Ganga mengikat logam Zn lebih kuat, dibanding dengan sedimen di Perairan Banjir kanal Barat, Semarang.

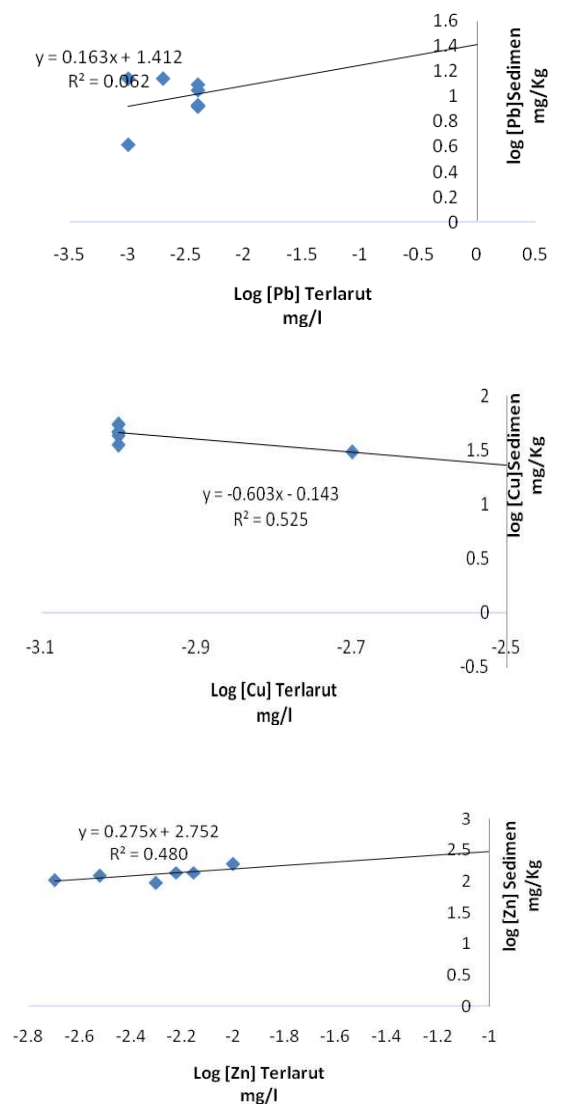
Tabel 3 juga memperlihatkan bahwa Zn mempunyai kapasitas adsorpsi maksimum paling tinggi. Tingginya kapasitas adsorpsi maksimum menggambarkan bahwa Zn sangat kuat berikatan dengan sedimen maupun padatan tersuspensi. Hal ini menyebabkan konsentrasi logam Zn dalam sedimen menjadi sangat tinggi dibanding dengan logam Pb dan Cu.



Gambar 1. Model Partisi Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap sedimen

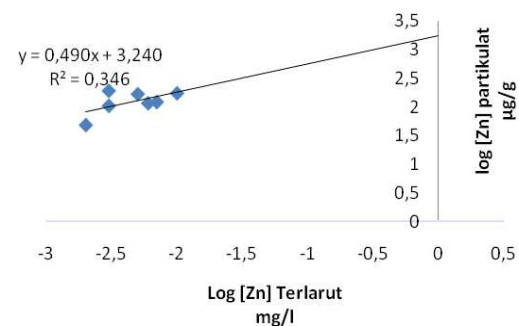
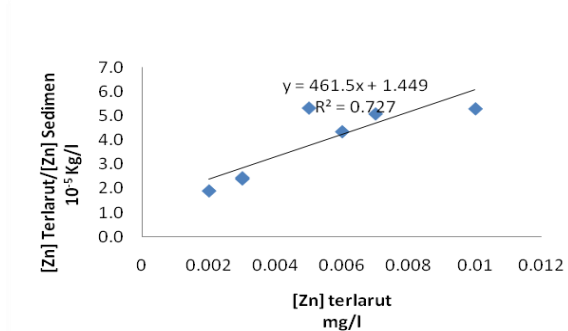
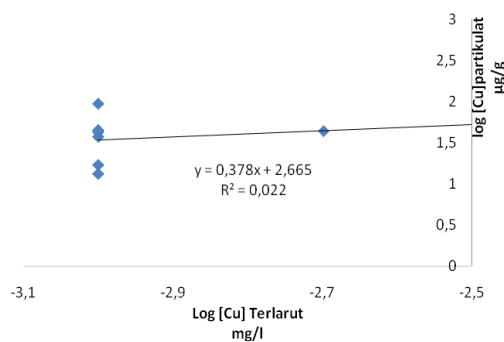
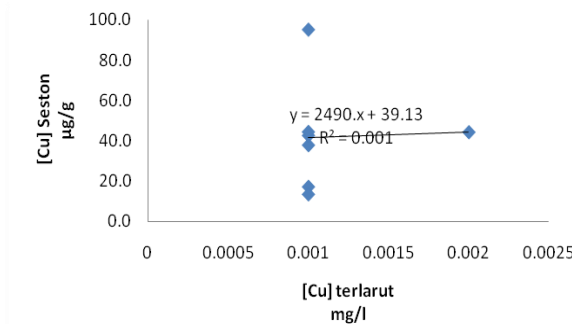
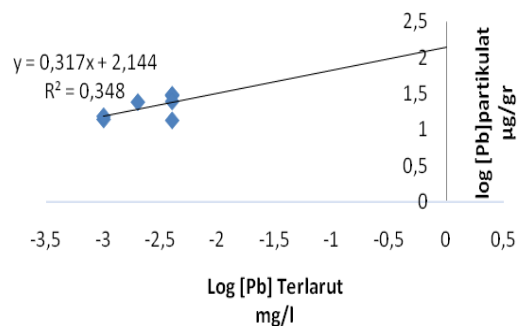
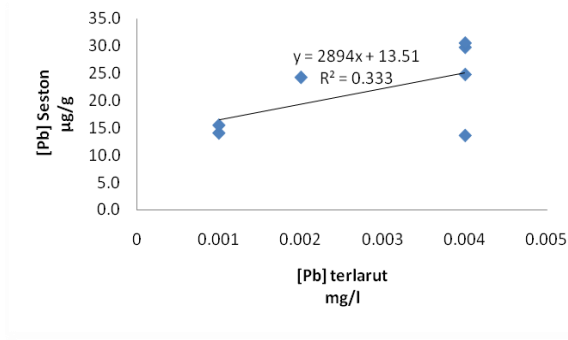


Gambar 2. Model Freundlich Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap sedimen



Gambar 3. Model Langmuir Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap sedimen

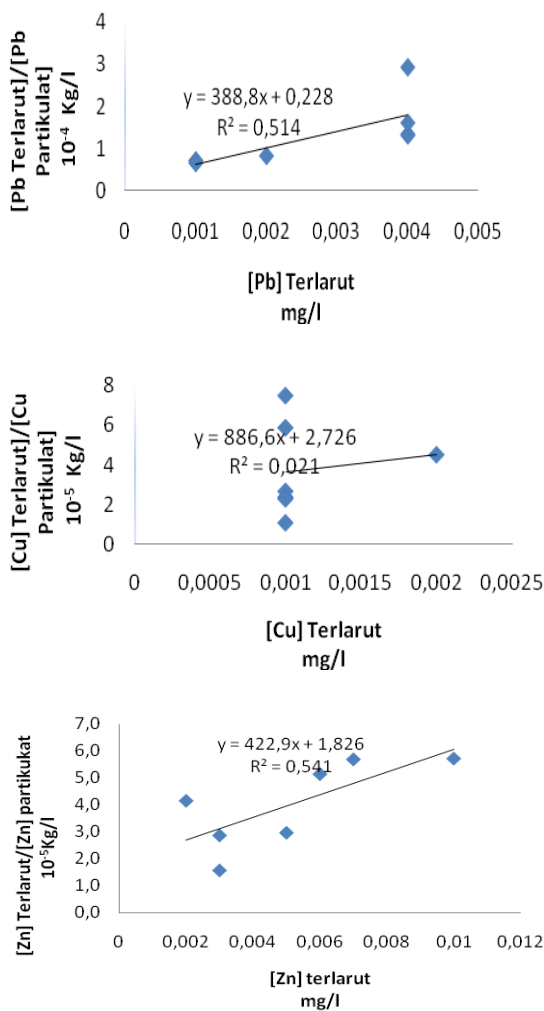
Lilik Maslukah *et al.*  
**Model Adsorpsi Logam Berat Pb, Cu, dan Zn**  
**Sistem Air-Sedimen Muara Sungai Banjir Kanal Barat**  
**Semarang**



Gambar 4. Model Partisi Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap partikel dalam air

Gambar 5. Model Freundlich Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap Partikel dalam air





Gambar 6. Model Langmuir Logam Pb, Cu dan Zn pada sistem fase terlarut terhadap partikel dalam air

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan tiga jenis model yaitu Partisi, Freundlich dan Langmuir, ketiga jenis ion logam Pb, Cu dan Zn lebih cocok mengikuti model Langmuir untuk fase terlarut terhadap sedimen. Nilai Kapasitas adsorpsi maksimum antara fase terlarut terhadap material partikel jauh lebih besar dibanding antara sistem terlarut terhadap sedimen.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Saudara Stefanus Budiono dan Abdul Rozak yang telah membantu dalam

pengambilan sampel dilapangan dan analisa di laboratorium serta kepada pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bappedal Propinsi Jawa Tengah. 2002. Laporan program kali bersih tahun 2002. *Laporan Penelitian*. Semarang: Pemerintah Propinsi Jawa Tengah. Hal 13 – 14.
- Bilinski H, Kozar S, Plavsic M, Kwokal Z, Branica M. 1991. Trace metal adsorption on inorganic solid phases under estuarine conditions. *Marine Chemistry*. 32 (2-4):225-233.
- Budiarti A, Kusreni, Musinah S. 2010. Analisis kandungan logam berat timbal (Pb) dan cadmium (Cd) dalam udang putih (*Litopenaeus vannamei*) yang diperoleh dari muara sungai Banjir Kanal Barat dan Perairan Pantai Kota Semarang. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Fakultas Teknik Universitass Wahid hasyim Semarang.
- Budiyanto F, Lestari. 2013. Comparison of adsorption models for Cd and Zn in the Berau Delta: water-sediment system. *Ilmu Kelautan*. 18(3):127-133.
- Chester R. 1980. *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman.
- Feng H, Cochran JK, Hirschberg DJ. 1999. <sup>234</sup>Th and <sup>7</sup>Be as tracers for transport and dynamics os suspended particle in a partially mixed estuary. *Geochim Cosmochim Acta*. 63:2487-2505.
- Ghabbour EA, Davies G. 2011. Environmental insights from Langmuir adsorption site capacities. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*. 381(1-3):37-40.
- Handayani M, Sulistiyono E. 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.
- Holmes LA, Tumer A, Thompson RC. 2012. Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. *Environ. Poll.* 160 : 42-48.
- Hutagalung HP, Setiapermana D, Riyono SH. 1997. *Metode Analisis Air Laut, Sedimen dan Biota*. Jakarta:P30 LIPI.
- Jain CK. 2009. Adsorption of zink onto bed sediments of the River Ganga: adsorption model and kineticts. *Hydrological sciences Journal.* 46(3):419-434. Doi: 10.1080/02626660109492836.
- Kozar S, Bilinski H, Branica M, Schwuger MJ. 1992. Adsorption of Cd(II) and Pb(II) on bentonite under estuarine and seawater condition. *Sci. Tot. Environt.* 121: 203-216.
- Luoma SN, Rainbow PS. 2008. *Metal Contamination in Aquatic Environments : Science and Lateral Management*. UK: Cambridge University Press.
- Maslukah L. 2007. Konsentrasi logam berat (Pb, Cd, Cu, Zn) terlarut dalam seston dan dalam sedimen di estuari Banjir Kanal Barat, Semarang . *J. Aquatik.* 2(1):1-4.
- Maslukah L. 2008. Konsentrasi Pb, Cu, Zn terlarut di muara sungai Banjir Kanal Barat, Semarang dan pola sebarannya terhadap salinitas dan padatan tersuspensi total. *Ilmu Kelautan.* 13(2): 61-66.
- Mohan SV, Karthikeyan J. 1997. Removal of lignin and tannin colour from aqueous solution by adsorption onto activated charcoal. *Environ. Poll.* 97(1-2):183-7. doi: 10.1016/S0269-7491(97)00025-0.
- Muzakky. 2008. Adsorption model of  $Mn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ , and  $Hg^{2+}$  in the water sediment systems along Code River, Yogyakarta. *Indo. J. Chem.* 8(3):314-319.
- Palar H. 2004. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Purwiyanto AIS. 2015. Distribusi dan adsorpsi logam timbal (Pb) di muara sungai Banyuasin, Sumatera Selatan. *Ilmu Kelautan*, 20(3):153-162.
- Seo DC, Yu K, Delaune RD. 2008. Comparison of monometal and multimetal adsorption in Mississippi River alluvial wetland sediment: batch and column experiments. *J. Chemosphere.* 73(11):1757-1764.
- Schnoor J. 1996, *Environmental Modeling*. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Voudrias E, Fytianos K, Bozani E. 2002. Sorption - desorption isotherms of dyes from aqueous solutions and wastewaters with different sorbent materials. *Global Nest the Int. J.* 4(1):75-83.
- Wardani DAK, Dewi NK, Utami NR. 2014. Akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daging kerang hijau (*Perna viridis*) di muara Sungai Banjir Kanal Barat Semarang. *Unnes J. Life Sci.* 3(1): 1-8.
- Youchef DN, Ouddane B, Derriche Z. 2006. Adsorption of zink on natural sediment of Tafna River (Algeria). *J. Hazard. Mater.* A137:1263-1270.