

Distribusi dan Adsorpsi Logam Timbal (Pb) di Muara Sungai Banyuasin, Sumatera Selatan

Anna Ida Sunaryo Purwiyanto*

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang - Prabumulih Km. 32 Indralaya, Palembang, Sumatera Selatan 30662 Indonesia
Email : anna_ida_sunaryo@mipa.unsri.ac.id

Abstrak

Muara Sungai Banyuasin merupakan wilayah penting bagi masyarakat Sumatera Selatan. Tingginya aktivitas yang terjadi, mengakibatkan muara ini menjadi rentan pencemaran, terutama logam Pb, baik pada biota maupun perairan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam berat Pb dan memprediksi terjadinya adsorpsi logam Pb pada kolom perairan dan sedimen seluruh sisi dan bagian Muara Sungai Banyuasin menggunakan pendekatan pemodelan. Penelitian ini menggunakan 3 stasiun yang mewakili 3 daerah muara, yaitu bagian luar muara, tengah muara, dan bagian dalam muara, dimana pada tiap stasiun diambil 3 sampel air (permukaan air, kolom air, dan dasar perairan) dan 1 sampel sedimen. Logam Pb pada sampel air dan sedimen dianalisis menggunakan AAS. Data divisualisasikan dalam bentuk peta distribusi persebaran dengan bantuan software ODV, sedangkan adsorpsi logam Pb pada perairan dimodelkan dengan menggunakan model partisi, Freundlich dan Langmuir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam Pb di Muara Sungai Banyuasin merupakan akumulasi dari aktivitas manusia pada hulu sungai dengan konsentrasi yang telah melebihi ambang batas yang ditetapkan Menteri Lingkungan Hidup. Konsentrasi logam Pb lebih tinggi pada bagian sedimen sehingga mengindikasikan bahwa memang terjadi adsorpsi logam Pb oleh sedimen. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses adsorpsi logam Pb tersebut berlangsung sesuai dengan asumsi Langmuir dengan dominasi fisiosorpsi.

Kata kunci: distribusi, logam Pb, adsorpsi, pemodelan, Muara Sungai Banyuasin

Abstract

Distribution and Metal Adsorption of Lead (Pb) in Estuary Banyuasin, South Sumatra

Banyuasin River estuary is an important area for the people of South Sumatra. The high activity that occurs in this estuary resulted susceptible of pollution, especially Pb, both on water and aquatic organism. This research aims to analyze the content of heavy metals Pb and predict the occurrence of adsorption of Pb in the water column and sediments around the sides and the estuary Banyuasin using modeling approaches. This study used three stations representing three regions of the estuary, which was the outer estuary, the middle estuary, and the inside of the estuary, where at each station were taken three samples of water (surface water, water column and bottom waters) and one sediment sample. Pb in water and sediment samples were analyzed using AAS method. The data is visualized in the form of a map of the distribution of the spread used ODV software, while the adsorption of Pb on the waters modeled using partition models, Freundlich models and Langmuir models. The results showed that Pb in the estuary Banyuasin as accumulation of human activities on the river upstream with the concentration has exceeded the threshold set by the Minister of the Environment. Pb concentration was higher in the sediments indicated that indeed happened Pb adsorption by sediment. Modeling results indicated that the adsorption process of Pb was held in accordance with the Langmuir assuming fisiosorption domination.

Keywords: distribution, metal Pb, adsorption, modelling, Estuary Banyuasin

Pendahuluan

Muara Sungai Banyuasin sebagai salah satu rute pelayaran mendapatkan masukkan air dari 2 sungai yang berbeda, yaitu Sungai Lalan dan Sungai

Banyuasin. Muara ini tidak hanya sebagai pusat aktivitas penangkapan ikan di Sumatera Selatan, melainkan juga menjadi daerah pelabuhan penumpang yang menghubungkan Palembang dan Bangka. Hasil penelitian sebelum beroperasinya

pelabuhan menunjukkan bahwa pada wilayah selatan muara memiliki kandungan logam berat Pb yang cukup tinggi. Bahkan akumulasi logam Pb tersebut juga mulai tampak terjadi pada kepiting bakau yang ditangkap di selatan Muara Sungai Banyuasin, meskipun konsentrasinya masih aman untuk konsumsi (Sandro *et al.*, 2013). Logam Pb pada badan air dan sedimen pada sisi muara ini memiliki nilai konsentrasi yang melebihi ambang batas baku mutu yang ditetapkan MenKLH No. 52 Tahun 2004 dengan perbandingan konsentrasi Pb pada sedimen dan kolom air adalah 1:3 (Purwiyanto dan Lestari, 2012). Hal tersebut mengindikasikan tingginya perpindahan logam Pb pada kolom perairan dan sedimen. Mamboya (2007) dan Sanusi (2006) menambahkan bahwa kondisi logam berat yang memiliki berat jenis lebih berat dari berat jenis air menyebabkan logam berat memiliki sifat mudah mengendap. Meski demikian, logam berat tersebut tidak serta merta mengendap begitu saja. Interaksi yang terjadi antara sedimen dan kolom perairan diduga turut berperan dalam pengendapan logam berat sehingga terjadi distribusi vertikal logam berat yang bervariasi.

Interaksi sedimen dan kolom perairan dapat berasal dari internal logam berat maupun eksternal. Internal logam berat tersebut berupa sistem adsorpsi dan pengikatan logam berat dengan unsur lain dalam air (misalnya adalah padatan tersuspensi). Menurut Handayani dan Sulistiyono (2009) suatu proses dikatakan adsorpsi bila ion yang terserap hanya tertahan atau menempel di permukaan partikel penyerap saja. Faktor eksternal yang terjadi berupa pengadukan/turbulensi yang terjadi di kolom air. Sistem adsorpsi dan pengikatan mengakibatkan logam berinteraksi dengan unsur lain sehingga terbentuk flokulan-flokulan molekul yang semakin berat, sehingga memudahkan logam berat di kolom air untuk mengendap ke sedimen. Sedangkan turbulensi mengakibatkan terjadinya pengadukan sehingga terjadi 2 kemungkinan interaksi logam berat, yaitu (a). Kembalinya logam berat yang telah mengendap di sedimen dalam kolom air, atau (b). Tertariknya logam berat yang berada di kolom air ke dalam sedimen dan terakumulasi. Meski terdapat berbagai kemungkinan di atas, Schnoor (1996) mengemukakan bahwa perjalanan perpindahan ion logam terutama yang utama melalui proses partisi air-sedimen yaitu perpindahan logam dari bentuk terlarut dalam air ke dalam sedimen dengan melalui proses fenomena adsorpsi. Meski perpindahan logam disebabkan faktor padatan tersuspensi ataupun turbulensi perairan, selalu didahului dengan proses adsorpsi. Jadi kemungkinan terdapat hubungan yang erat antara perpindahan logam

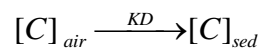
dengan proses adsorpsi. Hal tersebut dapat diketahui salah satu pendekatannya adalah melalui suatu pemodelan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kandungan logam berat Pb dan memprediksi terjadinya adsorpsi logam Pb pada kolom perairan dan sedimen seluruh sisi dan bagian Muara Sungai Banyuasin menggunakan pemodelan.

Materi dan Metode

Penelitian dilakukan pada Juni 2014 dengan pengambilan sampel air dan sedimen dilakukan di perairan Muara Sungai Banyuasin (Gambar 1), yaitu di 3 stasiun yang mewakili 3 daerah muara, yaitu bagian luar muara, tengah muara, dan bagian dalam muara. Masing-masing stasiun dibagi menjadi 3 titik sampling yang mewakili bagian sisi kanan muara, sisi kiri muara, dan bagian tengah muara. Pada tiap stasiun diambil 3 sampel air dan 1 sampel sedimen. Sampel air yang diambil adalah sampel secara vertikal ke bawah, yaitu permukaan air, kolom air, dan dasar perairan.

Analisis logam berat Pb dilakukan terhadap sampel air dan sedimen. Analisis logam berat pada sampel air dilakukan mengikuti prosedur SNI 6989.6-2009, sedangkan analisis logam Pb pada sedimen dilakukan sesuai dengan prosedur APHA (2015).

Data hasil analisis laboratorium digambarkan dalam bentuk peta distribusi persebaran dengan bantuan *software Ocean Data View (ODV) 4*. Adsorpsi logam Pb pada perairan juga dimodelkan dengan menggunakan model partisi, Freundlich dan Langmuir. Muzakky (2008) menjelaskan model partisi diperoleh dengan menurunkan prinsip kesetimbangan fase cair dan fase padat dengan persamaan :



$$KD = \frac{[X]_{sed}}{[X]_{air}} \text{ atau } [X]_{sed} = KD[X]_{air}$$

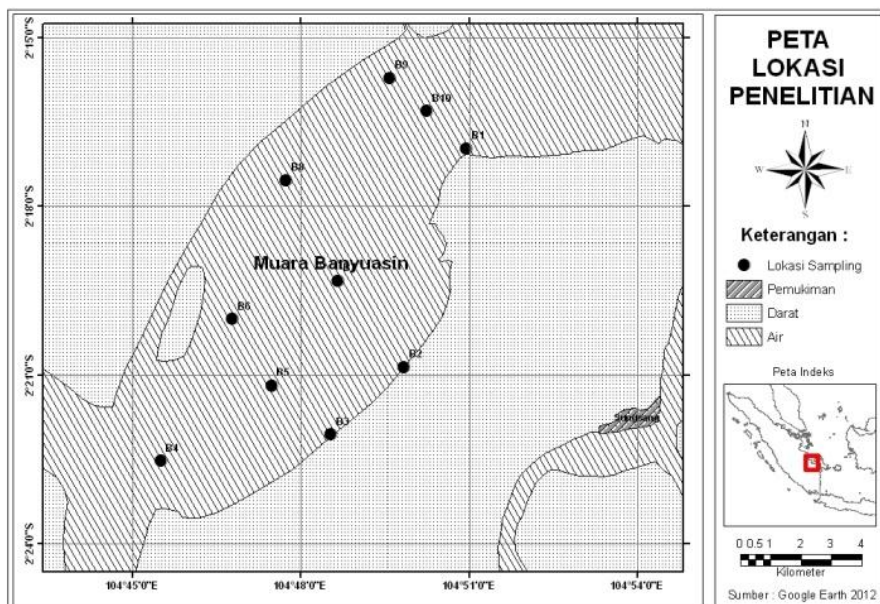
Keterangan :

$[X]_{sed}$: konsentrasi ion logam di sedimen (mg/kg)

$[X]_{air}$: konsentrasi ion logam di air (mg/l)

KD : koefisien partisi antara fasa padat dan cair

Model freundlich merupakan modifikasi model partisi. Model ini memiliki asumsi bahwa proses adsorpsi hanya terjadi pada permukaan heterogen (Tang *et al.*, 2012). Model ini dapat digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

komponen organik dan inorganik pada suatu larutan (Parida et al., 2012). Syarat tersebut mengakibatkan notasi $1/n$ akan berlaku bila $n > 1$. (Muzakky, 2008).

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

Keterangan :

- $1/n$: slope
- $\log K_f$: intersep
- n : jumlah permukaan adsorpsi;
- K_f : konstanta Frenlich

Sedangkan model langmuir hanya terjadi di daerah satu permukaan (mono-layer) dengan persamaan :

$$\frac{[C]_{air}}{[C]_{sed}} = \frac{1}{K_L b} + \frac{[C]_{air}}{b}$$

Keterangan :

- $1/b$: slope
- $1/K_L b$: intersep;
- b : kapasitas adsorpsi,
- K_L : konstanta kesetimbangan adsorpsi

Hasil dan Pembahasan

Distribusi logam Pb

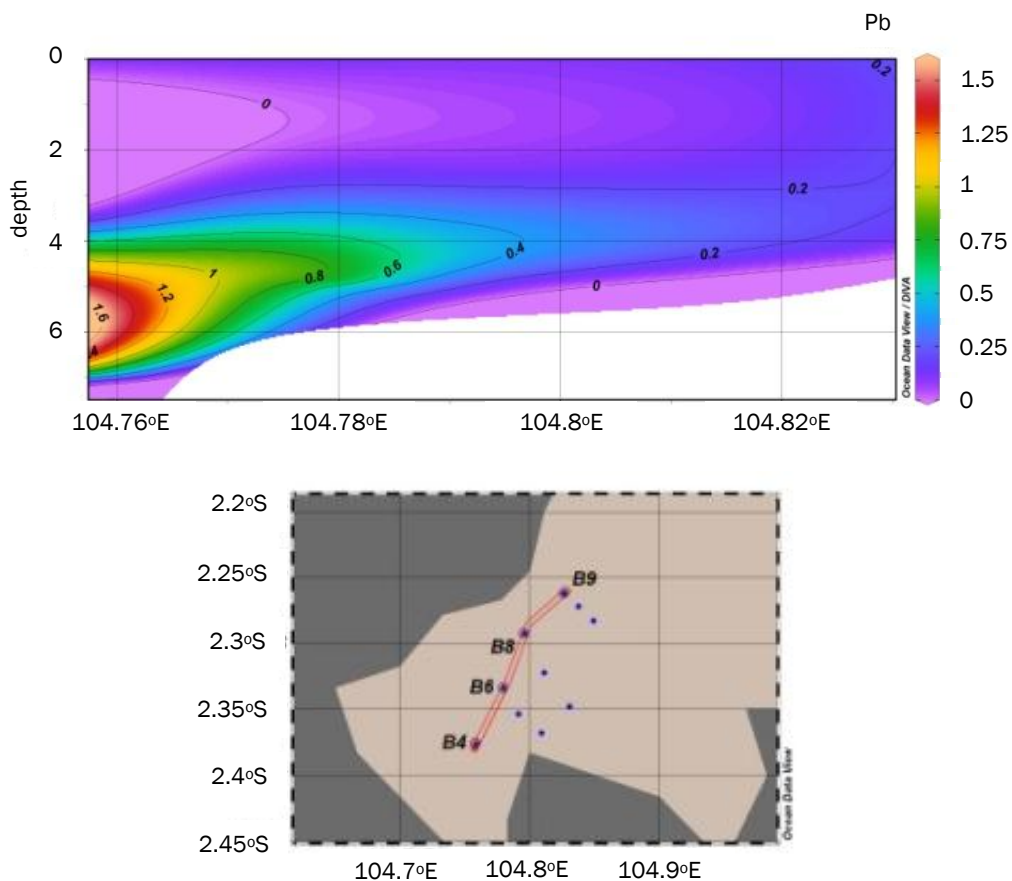
Aktivitas yang dilakukan manusia, baik di hulu sungai maupun di muara, sedikit banyak akan menimbulkan penambahan beban logam berat, terutama Pb. Konsentrasi Pb yang telah melebihi ambang batas pada sisi selatan muara mengindikasikan bahwa perairan Muara Sungai

Banyuasin berada pada status siaga. Hal ini menjadi sangat penting, mengingat muara ini merupakan sentra penangkapan perikanan yang hasil tangkapannya didistribusikan hampir ke seluruh wilayah Sumatera Selatan dan Bangka.

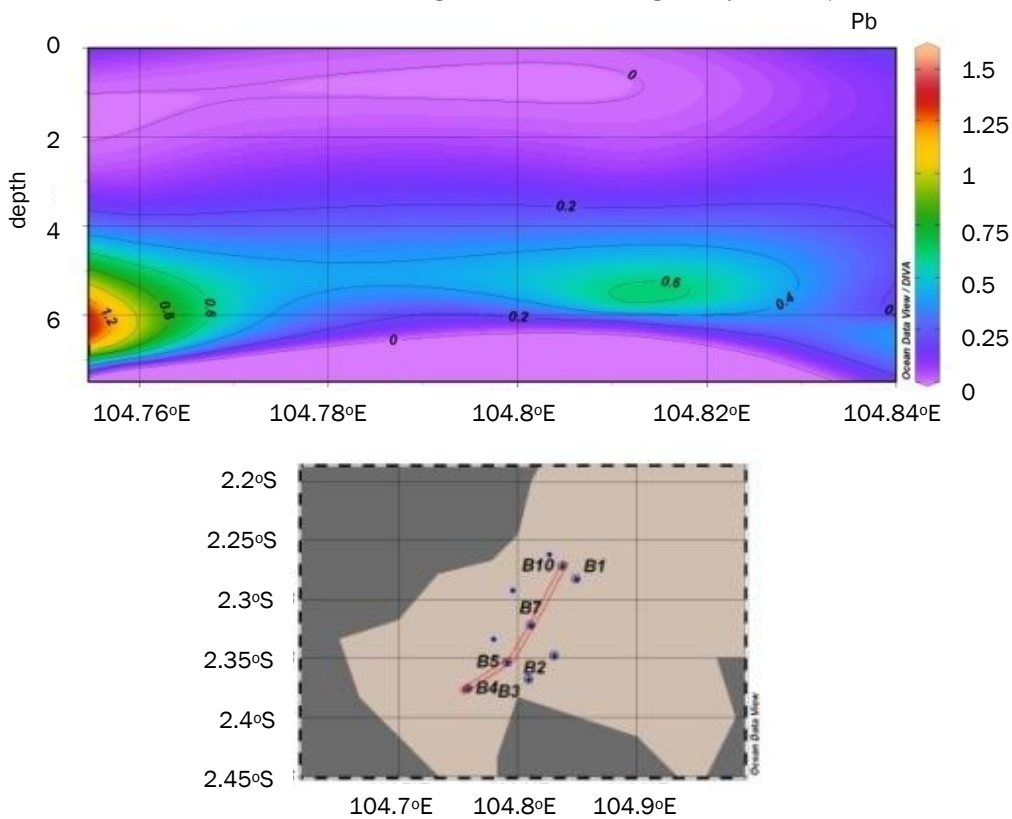
Gambar 2, 3 dan 4 menunjukkan pola sebaran logam Pb secara vertikal. Pada bagian utara dan tengah muara (Gambar 2 dan 3), terlihat akumulasi logam Pb tertinggi pada bagian dasar perairan. Konsentrasi logam Pb pada bagian utara muara berkisar antara 0,103-0,972 ppm, sedangkan pada bagian tengah muara antara 0,019-0,931 ppm.

Tingginya konsentrasi logam pada bagian dasar mengindikasikan bahwa terjadi proses pengendapan logam seiring dengan aliran sungai. Seperti halnya dengan logam berat pada umumnya, logam Pb juga memiliki sifat yang mudah terikat dan mengendap di sedimen. Oleh karena itu kadar logam berat dalam sedimen lebih tinggi dibandingkan dalam air (Sumekar et al., 2015). Selain itu, lebih lanjut Sanusi (2006) mengemukakan bahwa padatan tersuspensi pada lingkungan sungai umumnya akan mengadsorpsi logam Pb sebesar 15-83%.

Mengacu pada pernyataan tersebut, diduga selama logam Pb terbawa aliran sungai menuju muara, logam Pb telah mengalami proses flokulasi dan mengendap pada dasar sungai. Tingginya kandungan logam Pb pada sedimen dibandingkan pada air, juga ditemukan di Muara Sungai Membrano, Papua (Tarigan et al., 2003), dan Muara Sungai Way Halim, Lampung (Hidayat, 2011).



Gambar 2. Pola Sebaran Vertikal Logam Pb di Muara Sungai Banyuasain Bagian utara



Gambar 3. Pola Sebaran Vertikal Logam Pb di Muara Sungai Banyuasain Bagian tengah

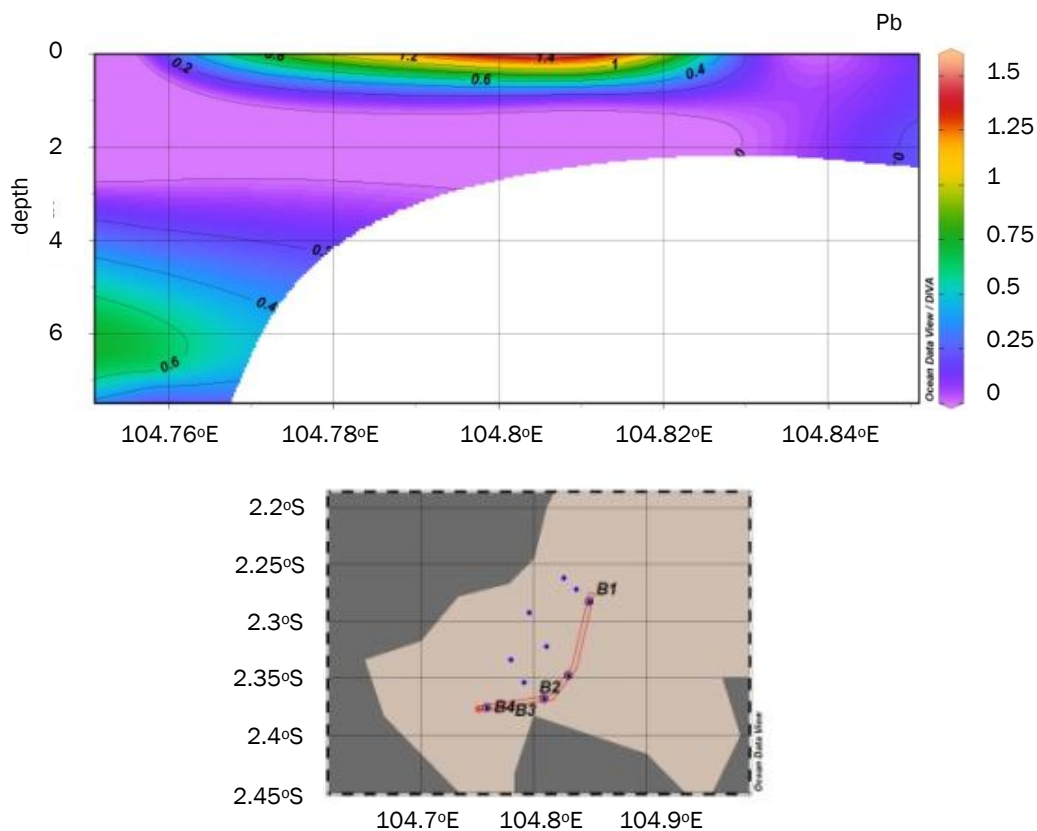
Pada permukaan dan kolom perairan, tampak terjadi perubahan warna yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsentrasi logam Pb pada mulut muara. Hal tersebut diduga berkaitan dengan lokasi mulut muara yang dekat dengan laut sehingga akumulasi logam Pb lebih banyak terjadi akibat adanya masukan pencemar Pb dari laut. Distribusi logam Pb ini berbeda dengan logam Pb pada Muara Sungai Babon dan Seringin, Semarang, dimana logam Pb justru menurun ke arah laut (Wulandari *et al.*, 2008)

Pada bagian selatan muara (Gambar 4), konsentrasi logam Pb pada bagian selatan muara berkisar antara 0,055-1,577 ppm. Akumulasi logam Pb pada bagian selatan muara ini terjadi pada stasiun B2 dan B3. Lokasi stasiun B2 dan B3 tersebut adalah lokasi di sekitar Pelabuhan Tanjung Api-Api. Aktivitas hilir mudik kapal secara langsung maupun tak langsung ikut berkontribusi dalam perubahan konsentrasi logam Pb. Hal ini karena tumpahan dan buangan limbah kapal memiliki logam Pb sebagai kandungan utamanya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sembel (2011) bahwa bahan bakar minyak mengandung tetraethyl yang mengandung Pb. Oleh karena itu, aktivitas kapal

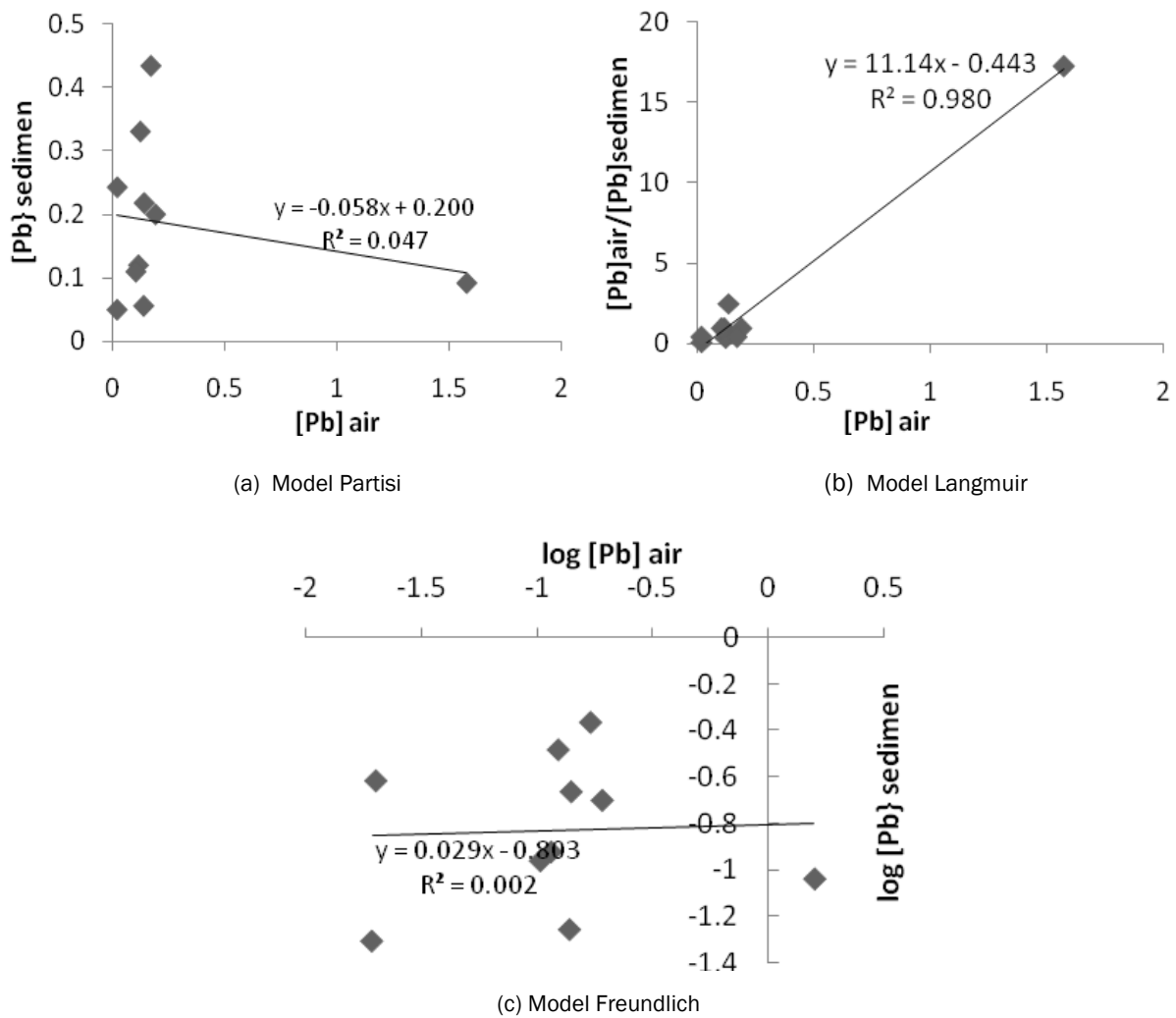
dapat menyebabkan konsentrasi Pb di perairan, terutama pada permukaan menjadi tinggi.

Kisaran konsentrasi logam Pb pada Muara Sungai Banyuasin secara umum telah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004, yaitu maksimal 0,008 ppm. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Purwiyanto dan Lestari (2012) memperoleh kisaran logam Pb pada perairan sebesar 0,119-0,851 ppm. Apabila dilihat dari konsentrasi Pb tertinggi pada bagian selatan muara, maka telah terjadi peningkatan logam Pb.

Hal tersebut mengakibatkan perlunya monitoring berkala terhadap kondisi perairan agar tidak semakin membahayakan kehidupan organisme. Kandungan logam berat yang tersebar di Muara Sungai Banyuasin ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lokasi lain, salah satunya adalah Pb pada Teluk Kendari dan Teluk Lasolo. Ahmad (2013) memperoleh hasil dimana kandungan Pb di kedua teluk tersebut masih sangat rendah, yaitu < 0,001 ppm. Nilai tersebut masih jauh di bawah ambang baku mutu yang dikeluarkan MenKLH tahun 2014.



Gambar 4. Pola Sebaran Vertikal Logam Pb di Muara Sungai Banyuasin Bagian Selatan



Gambar 5. Pemodelan adsorpsi logam Pb pada air permukaan oleh sedimen

Adsorpsi logam Pb

Distribusi logam Pb pada perairan Muara Sungai Banyuasin tidak lepas dari pengaruh segala proses yang terjadi di perairan, salah satunya adalah adsorpsi logam yang dilakukan oleh sedimen di muara. Proses adsorpsi logam oleh sedimen ditelaah melalui pendekatan pemodelan 1 dimensi, yaitu menggunakan pemodelan Partisi. Masing-masing pemodelan dilakukan pada tiap kedalaman perairan yang berbeda terhadap sedimen, sehingga diperoleh prediksi pengaruh sedimen terhadap perubahan konsentrasi logam Pb pada perairan. Hasil masing-masing pendekatan dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan adsorpsi logam Pb yang terdapat pada air permukaan oleh sedimen muara. Pada model partisi, diperoleh nilai konstanta kesetimbangan (K_d) sebesar 0,200 dengan nilai

koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,047. Pada model freundlich, diperoleh nilai konstanta kesetimbangan (K_f) sebesar 0,112 $L.g^{-1}$ dengan $R^2=0,002$. Intensitas adsorpsi logam air permukaan ($1/n$) sebesar 0,029, sehingga $n= 34,483$. $1/n$ merupakan intensitas adsorpsi dalam suatu proses adsorpsi (Voudrias *et al.*, 2002). Bila $1/n$ berada di bawah 1 menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung dengan intensitas normal (Mohan and Karthikeyan, 1997). Sedangkan pada model langmuir, diperoleh nilai R^2 terbesar yaitu 0,980 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,09 $mg.g^{-1}$ dan konstanta kesetimbangan (K_L) -25,115 $L.mg^{-1}$.

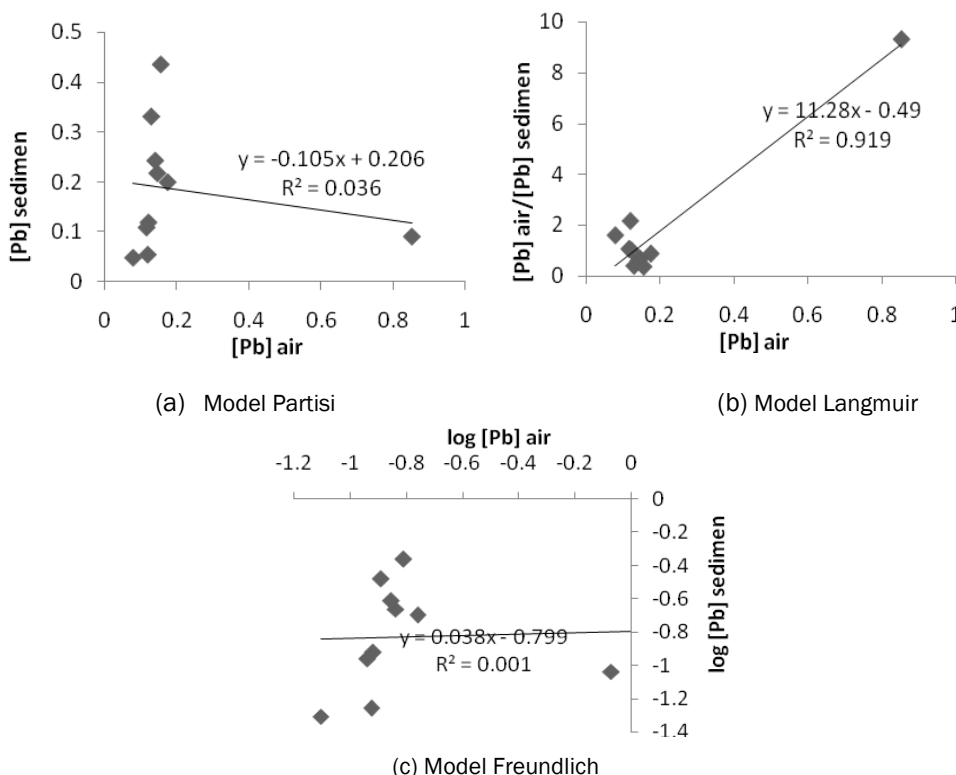
Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2), adsorpsi logam terjadi dengan mengikuti asumsi pendekatan model Langmuir. Hal ini karena pada pendekatan Langmuir diperoleh nilai R^2 yang paling besar. Nilai koefisien determinasi juga menunjukkan bahwa memang terdapat hubungan yang cukup

signifikan dan linier antara logam berat Pb dengan sedimen. Oscik (1982) mengemukakan bahwa hal tersebut juga mengindikasikan bahwa proses perpindahan yang terjadi mengikuti asumsi pada model langmuir. Asumsi tersebut antara lain tiap atom teradsorpsi pada lokasi tertentu di permukaan adsorben (Sembodo, 2006), dimana dalam hal ini adalah Pb yang membentuk satu lapisan pada permukaan sedimen. Partikel terletak pada substrat yang terlokalisasi (pada ketebalan tertentu) dan homogen, setiap site hanya mungkin ditempati oleh 1 partikel adsorbat (monolayer), tidak terjadi antaraksi antara molekul substrat dan partikel adsorbat, atau tidak terjadi pertukaran energi, jika terjadi tumbukan maka tumbukannya elastis sempurna, laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi (Laksono, 2002).

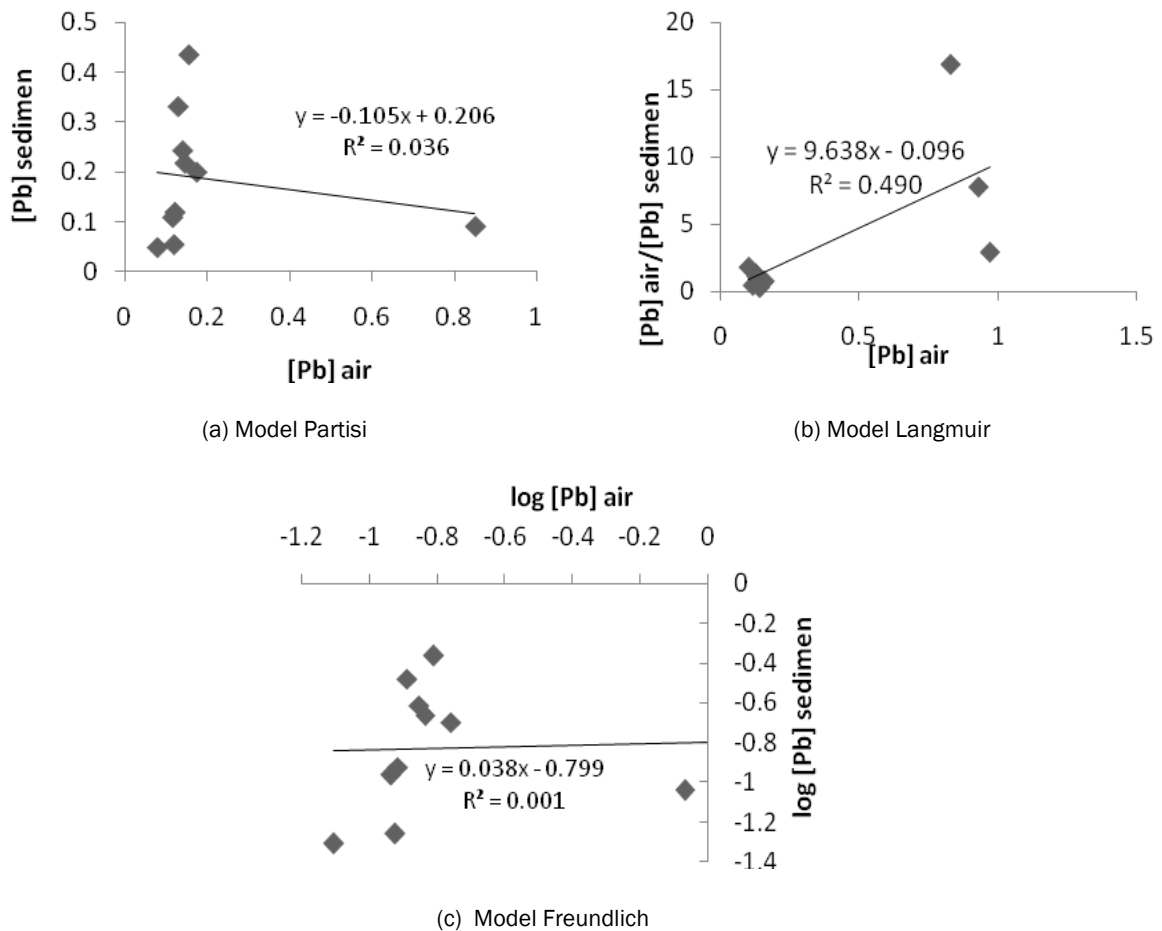
Gambar 6 menunjukkan pendugaan adsorpsi logam Pb yang terdapat pada kolom perairan oleh sedimen muara. Sama halnya dengan logam Pb pada air permukaan, proses adsorpsi yang terjadi juga mengikuti asumsi Langmuir. Hal ini karena nilai R^2 terbesar terdapat pada model langmuir, yaitu sebesar 0,919 dengan kapasitas adsorpsi sebesar $0,09 \text{ mg.g}^{-1}$ dan $K_L -23,032 \text{ L.mg}^{-1}$. Sedangkan model partisi menghasilkan R^2 sebesar 0,036 dengan K_d 0,206. Model Freundlich menghasilkan R^2 terkecil yaitu 0,001 dengan intensitas adsorpsi

0,038 dan K_f 0,106 L.g^{-1} . Hasil pemodelan juga menunjukkan prinsip adsorpsi Langmuir pada logam Pb di air dasar (Gambar 7). Meski nilai R^2 tidak sebesar pada air permukaan dan air kolom, namun model Langmuir masih menghasilkan R^2 terbesar dibanding dua model yang lain, yaitu sebesar 0,490 dengan kapasitas adsorpsi sebesar $0,104 \text{ mg.g}^{-1}$ dan $K_L -00,182 \text{ L.mg}^{-1}$. Model partisi menghasilkan R^2 sebesar 0,001 dengan K_d 0,190. Model Freundlich menghasilkan R^2 0,004 dengan intensitas adsorpsi $-0,085$ dan K_f 0,228 L.g^{-1} .

Hasil pemodelan dengan nilai koefisien determinasi tertinggi pada model langmuir, mengindikasikan bahwa pada perairan Muara Sungai Banyuasin memang terjadi perpindahan logam Pb dari air menuju sedimen ataupun sebaliknya. Hubungan antara konsentrasi logam dalam air dengan konsentrasi di dalam sedimen yang cukup signifikan dan linear (Mendenhall & Sincich, 2003), dapat diperkirakan logam Pb akan berpindah ke sedimen mengikuti pola yang diasumsikan dalam model adsorpsi Langmuir. Hasil pemodelan yang sama juga ditemukan pada logam Pb di dua jenis sedimen yang berbeda hasil percobaan Rosli et al. (2008), logam Mn di Sungai Code, Yogyakarta (Suseno, 2011), dan logam Pb dan Zn di Waduk Riam Kanan, Kalimantan Selatan (Nisa et al., 2013).



Gambar 6. Pemodelan adsorpsi logam Pb pada air kolom oleh sedimen.



Gambar 7. Pemodelan adsorpsi logam Pb pada air dasar oleh sedimen.

Meski telah diketahui proses adsorpsi Pb mengacu pada asumsi Langmuir, proses adsorpsi logam oleh sedimen diduga masih dipengaruhi oleh proses fisika yang berlangsung pada badan muara sungai. Hal ini karena proses adsorpsi pada ketiga lapisan perairan tersebut memiliki nilai energi berkisar pada 7,932 – 11,650 Kj.mol^{-1} . Mendenhall dan Sincich (2003) mengemukakan bahwa suatu proses adsorpsi dapat dikatakan berlangsung secara kimia (kimisorpsi) bila energi adsorpsi lebih besar dari 20,92 Kj.mol^{-1} . Berdasarkan batas minimal energi tersebut, maka diduga meski terjadi adsorpsi logam Pb oleh sedimen masih didominasi oleh fisisorpsi pada badan muara.

Kesimpulan

Logam Pb yang berada di Muara Sungai Banyuasin merupakan akumulasi dari aktivitas manusia pada hulu sungai dengan konsentrasi yang telah melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup. Konsentrasi logam Pb

tersebut lebih tinggi pada bagian sedimen sehingga mengindikasikan bahwa memang terjadi adsorpsi logam Pb oleh sedimen. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa proses adsorpsi logam Pb tersebut berlangsung sesuai dengan asumsi Langmuir dengan dominasi fisisorpsi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian dibiayai oleh Hibah Penelitian Dosen Muda SATEKs Universitas Sriwijaya No. 190/UN9.3.1/LT/2014. Peneliti juga berterimakasih kepada Yulianto Suteja yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian.

Daftar Pustaka

Ahmad, F. 2013. Dampak Aktivitas Perkotaan dan Penambangan Nikel Terhadap Tingkat Kontaminasi Logam Berat dalam Air Laut dan Sedimen. *Ilmu Kelautan*. 18(2):71-78

- 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
- Hidayat, D. 2011. Kajian Sebaran Logam Berat Pb Pada Sedimen Di Muara Sungai Way Kuala Bandar Lampung. *J. Sains MIPA*. 17(3) : 115-119
- Laksono, L. W. 2002. Analisis Daya Adsorpsi Suatu Adsorben. Kegiatan PPM tanggal 26 Oktober 2002. Jurusan Pendidikan Kimia FMIPA Univ. Negeri Yogyakarta
- Mamboya, F. A. 2007. Heavy Metals Contamination and Toxicity: Studies of Mucroalgae From Tanzanian Coast. Stockholm University. Stockholm, Swedia. pp. 1–48
- Mendenhall, W & T. Sincich. 2003. Statistic for Engineering and The Sciences. Prentice-Hall International Inc, New Jersey.
- Muzakky. 2008. Adsorption Model Of Mn²⁺, Cd²⁺ And Hg²⁺ In The Water-Sediment Systems Along Code River, Yogyakarta. *Indo. J. Chem.* 8(3):314-319
- Mohan, S.V. & J. Karthikeyan. 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
- Nisa, C, U Irawati & Sunardi. 2013. Model Adsorpsi Timbal (Pb) Dan Seng (Zn) Dalam Sistem Air Sedimen Di Waduk Riam Kanan Kalimantan Selatan. *Konversi* 2(1):7-13
- Oscik, J. 1982. Adsorption. Ellis Horwood Limited, England.
- Parida, K., K.G. Mishra & S.K. Dash, 2012. Adsorption of toxic metal ion Cr(VI) from aqueous state by TiO₂-MCM-41: Equilibrium and kinetic studies. *J. Hazardous Materials*. 241-242:395-403. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.09.052
- Purwiyanto, A.I.S. & S. Lestari. 2012. Akumulasi Logam Berat (Pb Dan Cu) Pada Daging Kepiting Untuk Keamanan Pangan Di Perairan Muara Sungai Banyuasin. Laporan Penelitian Hibah Kompetitif 2012. Universitas Sriwijaya.
- Rosli, R., A. T. A Karim, A. A. A. Latiff & M. R. Taha. 2008. Adsorption Properties Of As, Pb And Cd In Soft Soil And Meta Sedimentary Residual Soil. *Engineering Postgraduate Conference (EPC)*:1-9
- Sandro, S.R., S. Lestari & A. I. S. Purwiyanto. 2013. Analisa Kandungan Kadar Logam Berat Pada Daging Kepiting (*Scylla serrata*) di Perairan Muara Sungai Banyuasin. *Fishtech*. 2(1):46-52
- Sanusi, H.S. 2006. Kimia Laut, Proses Fisik Kimia dan Interaksinya dalam Lingkungan. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. 188p
- Schnoor, J. L. 1996. Environmental Modeling. John Wiley and Sons, New York. 682 p
- Sembel, L. 2011. Analisis Logam Berat Pb, Cd Dan Cr Berdasarkan Tingkat Salinitas Di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. Prosiding Seminar Nasional : Pengembangan Pulau-Pulau Kecil : 2-7
- Sembodo, B. S. T. 2006. Model Kinetika Langmuir Untuk Adsorpsi Timbal Pada Abu Sekam Padi. *Ekuilibrum*. 5(1):28-33
- Sumekar, H., I. E. Suprihatin & Irdhawati. 2015. Kandungan Logam Pb Dan Hg Dalam Sedimen Di Muara Sungai Mati Kabupaten Badung Bali. *Cakra Kimia*. 3(2):45-49
- Suseno, H. P. 2011. Model Adsorpsi Mn²⁺, Cd²⁺ Dan Hg²⁺ Dalam Sistem Air-Sedimen Di Sepanjang Sungai Code, Yogyakarta. *J. Teknol.* 4(2):174-179
- Tang, H., W. Zhou & L. Zhang, 2012. Adsorption isotherms and kinetics studies of malachite green on chitin hydrogels. *J. Hazardous Materials*. 209-210:218-25. doi: 10.1016/j.jhazmat.2012.01.010
- Tarigan Z., Edward & A. Rozak. 2003. Kandungan Logam Berat Pb, Cd, Cu, Zn Dan Ni Dalam Air Laut Dan Sedimen Di Muara Sungai Membramo, Papua Dalam Kaitannya Dengan Kepentingan Budidaya Perikanan. *Makara Sains*. 7(3):119-127
- Voudrias, E., K. Fytianos & E. Bozani. 2002. Sorption - Desorption Isotherms Of Dyes From Aqueous

Solutions And Wastewaters With Different Sorbent Materials. *Global Nest the Int. J.* 4(1): 75-83

Wulandari, S. Y., B. Yulianto & Sukristiyo. 2008. Pola Sebaran Logam Berat Pb dan Cd di Muara Sungai Babon dan Seringin, Semarang. *Ilmu Kelautan.* 13(4):203-208