

KESETIMBANGAN ADSORPSI LOGAM BERAT (Pb) DENGAN ADSORBEN TANAH DIATOMIT SECARA BATCH

Yustinah¹, Hudzaifah¹, Maya Aprilia¹, Syamsudin AB¹

¹Prodi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta
Email :yustinah@ftumj.ac.id

ABSTRAK. Efek negatif dari pertumbuhan industri adalah limbah industri yang menghasilkan kontaminasi terhadap lingkungan. Salah satu jenis limbah industri adalah logam timbal (Pb) dalam air limbah di atas batas konsentrasi. Tujuan dari penelitian adalah untuk mempelajari mekanisme adsorpsi logam timah dalam sistem batch, dengan tanah diatom sebagai adsorben menggunakan model kesetimbangan isoterm. Dalam percobaan ini tanah diatom dicampur dengan 250 ml larutan timbal. Variabel yang diamati dalam percobaan ini adalah konsentrasi timbal dan massa adsorben. Setelah kesetimbangan tercapai, konsentrasi timbal dianalisis menggunakan AAS (Atomic Absorption Spektrofotometri). Data hasil percobaan menunjukkan, massa adsorben yang lebih besar akan menyerap lebih banyak. Berdasarkan data percobaan dan model matematika, konstanta kesetimbangan dievaluasi menggunakan persamaan least square. Tiga model isoterm adsorpsi yaitu model isoterm Freundlich, model isoterm Langmuir dan model isoterm BET digunakan pada penelitian ini. Model kesetimbangan isoterm Freundlich lebih unggul, dengan nilai konstanta empiris : $q_f = 0,06$ dan $b = 1,95$ pada massa adsorben 3 gr. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi fisik merupakan mekanisme adsorpsi.

Kata kunci: adsorpsi, tanah diatom, logam timah

ABSTRACT. The negative effect of industries growth is waste of industries that generates contamination to environment. One kind of waste of industries is lead metal (Pb) in waste water above the concentration 's limit. The objective of this experiment was to study the mechanism of lead metal adsorption in batch system, with diatomaceous earth as adsorbent using isotherm equilibrium models. In this experiment diatomaceous earth were mixed with 250 ml lead solution. The variable observed in this experiment were lead concentration and mass of adsorbent. After the equilibrium was attained, lead concentration was analyzed using AAS (Atomic Absorption Spektrofotometri). The experiment data showed, the bigger mass of adsorbent will adsorb more. Base on experiment data and the mathematical model, the equilibrium constants were evaluated numerically least square. Three adsorption isotherm models namely Freundlich isotherm model, Langmuir isotherm model and BET isotherm model were fitted to the experimental

data. The Freundlich isotherm equilibrium model was superior, with empirical constant values: $qf = 0.06$ and $b = 1.95$ at 3 gr absorbent masses. The results showed that physic adsorption was mechanism of adsorption.

Keywords: adsorption, diatomaceous earth, lead metal

PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri akan meningkatkan kesejahteraan nasional. Seiring dengan meningkatnya jumlah industri, meningkat pula jumlah limbah yang dihasilkan. Limbah cair dengan kandungan logam berat termasuk sebagai limbah beracun dan berbahaya, oleh karena itu tidak dapat dibuang langsung tanpa pengolahan, agar tidak melampaui baku mutu air. Proses-proses utama yang digunakan dalam pengolahan limbah antara lain pengendapan, adsorpsi pada padatan, pertukaran ion dan pemisahan dengan buih. Proses pertukaran ion dan adsorpsi merupakan proses penjerapan, yang memungkinkan pemindahan satu atau lebih ion dari fase cair ke fase padat.

Penentuan besarnya ion logam yang terjerap (*uptake*) dapat diketahui dari data kesetimbangan. Data ini dapat menunjukkan kemampuan maksimum bahan dalam penjerapan ion logam. Banyak bahan yang digunakan sebagai penjerap ion. Supaya dapat digunakan secara komersial, penjerap harus mempunyai karakter antara lain efisiensi penjerapan yang tinggi, berumur panjang serta mempunyai selektivitas yang tinggi.

Tanah diatomit (*diatomaceous earth* atau *kieselguhr*) adalah suatu

sedimen yang terbentuk dari fosil dan banyak mengandung silika. Sampai saat ini pemanfaatan tanah diatomit di Indonesia belum banyak, biasanya digunakan sebagai bahan isolator dan bahan penolong saringan (*filter aid*). Karena tanah diatomit mempunyai porositas besar, sehingga tanah diatomit ini potensial digunakan sebagai penjerap ion logam berat dalam pengolahan limbah.

Sebelum digunakan sebagai adsorben, tanah diatomit dilakukan aktivasi. Proses aktivasi dengan pemanasan suhu 400 °C selama enam jam akan meningkatkan daya jerap adsorben (Yusnimar., dkk, 2012).

Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa pengikatan molekul dalam fluida ke permukaan padatan. Molekul akan terakumulasi pada batas muka padatan-fluida. Berdasarkan kuat interaksinya, adsorpsi dibagi menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.

Jika adsorbat dan permukaan adsorben berikatan hanya dengan gaya *van der Waals*, maka yang terjadi adalah adsorpsi fisika atau *van der Waals*. Molekul yang teradsorpsi terikat secara lemah dipermukaan, sehingga bersifat dapat balik (*reversibel*). Proses adsorpsi ini tidak pada tempat (*site*) yang spesifik dan molekul yang

teradsorpsi menyelubungi seluruh permukaan. Panas adsorpsinya relatif rendah yaitu dibawah 20 kCal/mol (Noll, dkk., 1992).

Adsorpsi kimia atau *chemisorption* terjadi jika molekul yang teradsorpsi bereaksi secara kimia dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini bersifat tidak dapat balik (*irreversibel*) yang disebabkan oleh besarnya potensial interaksi. Karena adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka besarnya panas adsorpsi mempunyai nilai yang hampir sama dengan panas reaksi kimia, yaitu sekitar 20 – 100 kCal/mol. Adsorpsi kimia membutuhkan tempat yang spesifik dan molekul hanya teradsorpsi pada tempat tersebut (Noll, dkk., 1992).

Adsorpsi suatu adsorbat pada keadaan setimbang dan isothermal sering dinyatakan dengan persamaan empiris Freundlich, Langmuir, serta BET (Brauner, Emmet dan Teller) sebagai berikut :

Persamaan Freundlich

Persamaan Freundlich adalah persamaan empiris dengan menggunakan pendekatan penjerapan secara fisis (Bhattacharyaa, dkk., 2006). Proses penjerapan pada adsorben terjadi dengan tingkat energi yang berbeda.

Asumsi yang digunakan :

- Setelah molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan padatan tidak ada asosiasi dan disosiasi
- Hanya terjadi mekanisme adsorpsi secara fisis tidak ada mekanisme *chemisorption*.
- Permukaan padat bersifat heterogen.

Bentuk persamaan Freundlich sebagai berikut :

$$q = q_f C^{1/b} \quad \dots (1)$$

Persamaan Langmuir

Pada persamaan Langmuir menggunakan pendekatan kinetika, yaitu proses keseimbangan terjadi pada saat kecepatan adsorpsi sama dengan desorpsi.

Asumsi yang digunakan :

- Lapisan molekul yang teradsorpsi akan membentuk satu lapisan tunggal (*monolayer*)
- Mekanisme *chemisorption* lebih utama
- Tidak ada interaksi diantara molekul-molekul adsorbat
- Permukaan padatan bersifat homogen dan afinitas setiap lokasi untuk molekul adsorbat sama.
- Adsorbat teradsorpsi pada tempat yang sudah tertentu dan tidak dapat bergerak pada permukaan padatan sehingga bersifat *irreversible*.

Bentuk persamaan Langmuir adalah (Enny, dan Danarto., 2007):

$$q = \frac{q_{\max} bC}{(1 + bC)} \quad \dots (2)$$

Persamaan BET

Brauner, Emmet, dan Teller pada tahun 1938 mengembangkan persamaan Langmuir untuk pendekatan adsorpsi berlapis-lapis (*multilayer adsorption*). Persamaan mereka disebut persamaan BET (Maria, dkk., 2003). Asumsi dasar yang digunakan adalah tiap-tiap molekul yang terjerap pada lapisan

pertama merupakan tempat untuk terjadinya adsorpsi lapisan kedua dan seterusnya. Bentuk persamaan BET adalah sebagai berikut :

$$q = \frac{q_m b C}{(C - C_s) \left(1 + (b - 1) \frac{C}{C_s} \right)} \quad \dots(3)$$

Kualitas mutu material adsorben dipertimbangkan dari berapa banyak jumlah adsorbat (logam berat) yang dapat terjerap dan yang tersisa dalam larutan. Sehingga biasanya ditentukan logam berat yang terjerap dalam adsorben sebagai jumlah satuan berat adsorbat per satuan berat kering adsorben. Logam berat yang terjerap dihitung berdasarkan neraca massa sistim adsorpsi, yaitu berkurangnya logam berat di dalam larutan akan berpindah ke dalam adsorben, dengan persamaan sebagai berikut (Lenny, 2012):

$$q = \frac{V(C_0 - C)}{m} \quad \dots(4)$$

Tanah Diatomit

Kata diatomit berasal dari bahasa Yunani *diatemen* berarti terbelah dua. Tanah diatomit (*diatomaceous earth* atau *kieselguhr*) merupakan sedimen yang terbentuk dari timbunan fosil atau cangkang diatom, yaitu sejenis tanaman air yang tak berbunga, termasuk plankton atau ganggang yang cangkangnya sebagian besar terdiri dari silika (SiO_2). Sifat-sifat fisik diatomit yaitu memiliki porositas besar (65-85%), berat jenis 2,1 – 2,2 dengan densitas ruah (*bulk density*) rendah 112 – 320 kg/m³, permeabilitas $\pm 0,06 \mu\text{m}^2$, dan konduktivitas panas yang rendah tetapi akan meningkat dengan

bertambahnya jumlah pengotor. Titik lebur diatomit tergantung pada kadar pengotor (inert), biasanya pada $\pm 1430 \text{ }^\circ\text{C}$. Warna diatomit pada dasarnya putih, tetapi dengan adanya pengotor warna diatomit menjadi lebih gelap (Endang, 2000).

Tanah diatom termasuk jenis mineral opal dengan rumus molekul $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Huruf n pada rumus molekul tersebut berarti bahwa tanah diatom memiliki kandungan jumlah air yang tidak

tetap. Selain merupakan material berpori, tanah diatomit juga kaya akan komponen silika yang tersusun atas satuan-satuan tetrahedron. Silika dalam tanah diatom adalah amorf, dimana atom-atom silikon dan oksigen dalam silika tersusun secara tetrahedron mirip dengan silika kristal tetapi jaringan tersebut tidak terulang secara periodik dan simetri seperti halnya dalam kristal (Faisol., dkk., 2015)

Tanah diatomit biasanya digunakan sebagai penolong penyaringan (*filter aid*). Selain itu diatomit digunakan juga sebagai isolator panas atau dingin, dan bahan pencedap suara. Dalam jumlah kecil dapat juga digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) cat, pembuatan kertas, semen dan pengerasan karet. Tujuan pada penelitian ini adalah menggunakan tanah diatomit sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat (Pb) dan mengetahui model adsorbs yang sesuai.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan baku

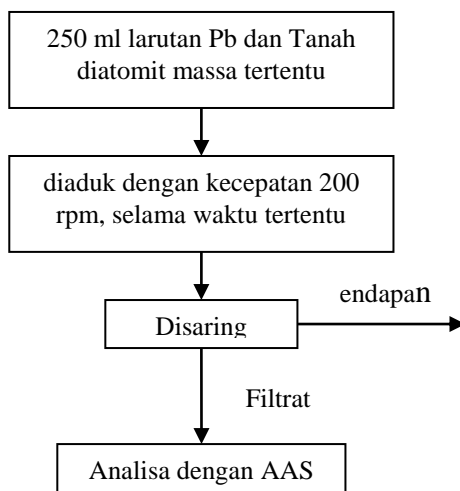
- Tanah diatomit diperoleh dari PT Chelsea Mitra Mandiri di Bandung.
- Larutan $PbNO_3$ diperoleh dari Laboratorium Universitas Muhammadiyah Jakarta, sebagai perumpamaan limbah cair

Alat

Alat untuk percobaan secara batch terdiri atas beaker glass 500 ml yang digunakan sebagai tempat kontak larutan dengan tanah diatomit, yang diaduk menggunakan jar tes.

Jalan percobaan.

Prosedur penelitian, tahap pertama adalah aktivasi Tanah diatomit dengan melakukan pemanasan pada $400\text{ }^{\circ}C$ selama 6 jam. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi terhadap larutan yang mengandung Pb. Proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram tahap adsorpsi

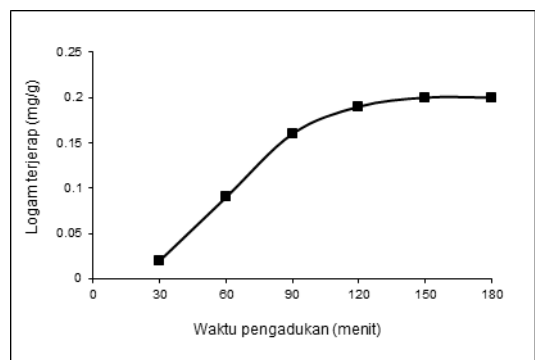
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penentuan Waktu Kesetimbangan.

Tabel 1 menyajikan hasil percobaan pendahuluan, yaitu banyaknya logam Pb (mg/g) yang dapat terjerap oleh tanah diatomit pada berbagai waktu pengadukan / waktu proses adsorpsi (menit). Semakin lama waktu proses adsorpsi, semakin besar logam berat yang terjerap oleh tanah diatomit, dan pada suatu saat akan terjadi kesetimbangan. Setelah terjadi kesetimbangan, penambahan waktu proses adsorpsi tidak akan memperbesar logam berat yang terjerap.

Tabel 1. Besarnya logam terjerap pada berbagai waktu pengadukan [$C_0 = 10\text{ ppm}$, massa = 5 gr]

t (menit)	C (ppm)	q (mg/g)
30	7,6	0,02
60	6,2	0,09
90	4,8	0,16
120	4,2	0,19
150	4,0	0,20
180	3,9	0,20



Gambar 2. Hubungan antara waktu pengadukan dan logam terjerap pada proses adsorpsi logam Pb dengan adsorben tanah diatomit

Dari data Tabel 1 dan Gambar 2. ditetapkan waktu setimbang adsorpsi logam Pb menggunakan tanah diatomit adalah 180 menit. Waktu 180 menit selanjutnya digunakan dalam penelitian adsorpsi logam Pb dengan variabel massa adsorben dan konsentrasi adsorbat.

Pada adsorpsi ion Cu (II) menggunakan menggunakan adsorben Bentonit kesetimbangan tercapai juga pada waktu 180 menit (Yusnimar, dkk, 2012)

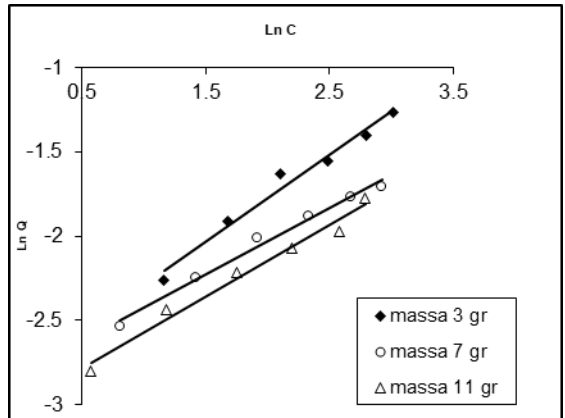
Pengaruh Massa Adsorben

Pengaruh massa adsorben, pada penelitian adsorpsi logam Pb dengan adsorben tanah diatomit dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3, serta Gambar 3, 4, dan 5.

Tabel 2. Pengaruh Massa Adsorben

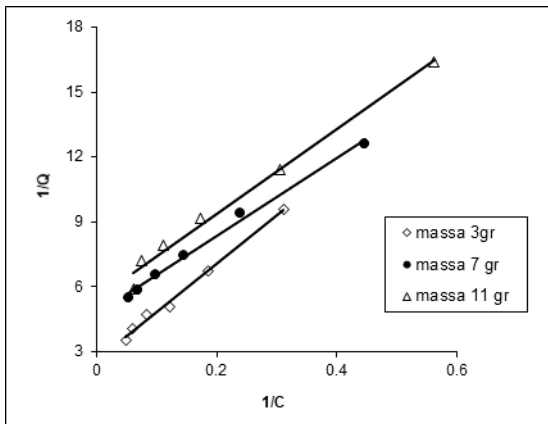
m gr	C dan q pada berbagai konsentrasi awal , mg/L						
	C ₀	4,46	7,13	10,58	14,51	19,24	23,67
3	C	3,21	5,35	8,23	11,98	16,29	20,28
	q	0,104	0,148	0,196	0,211	0,246	0,283
7	C	2,24	4,16	6,82	10,24	14,47	18,59
	q	0,079	0,106	0,134	0,153	0,170	0,181
11	C	1,78	3,27	5,78	8,96	13,14	16,23
	q	0,061	0,088	0,110	0,126	0,139	0,169

Ket :C dalam mg/L, q dalam mg/g

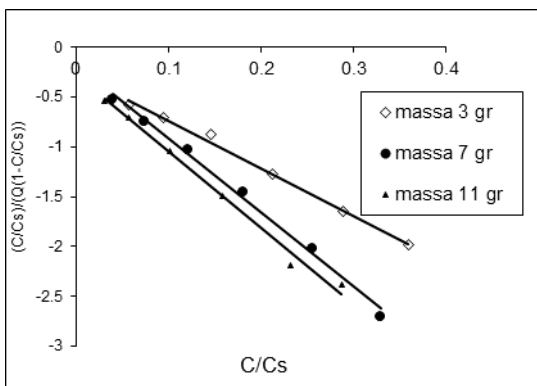


Gambar 3. Hubungan antara ln C dan ln q pada pengaruh massa adsorben menggunakan persamaan Freundlich

Tabel 2. menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah adsorben yang digunakan, maka akan semakin banyak jumlah logam yang terjerap. Hal ini dapat dipahami karena jika semakin banyak adsorben yang digunakan, maka akan semakin besar luas permukaan yang dapat digunakan sebagai *site* (tempat) bagi adsorbat untuk terjerap di dalam adsorben. (Widayatno, dkk, 2017). Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa proses penyerapan logam Pb menggunakan tanah diatomit dipengaruhi oleh massa adsorben.



Gambar 4. Hubungan antara $1/C$ dan $1/q$ pada pengaruh massa adsorben menggunakan persamaan *Langmuir*



Gambar 5. Hubungan antara C/C_s dan $(C/C_s)/(q(1-(C/C_s)))$ pada pengaruh massa adsorben menggunakan persamaan *BET*

Data-data hasil percobaan dievaluasi menggunakan persamaan *Freundlich*, *Langmuir*, dan *BET*, hasilnya disajikan pada Gambar 3, 4, dan 5, serta pada Tabel 3. Dari Tabel 3 terlihat bahwa secara umum persamaan yang paling baik digunakan untuk mewakili data-data percobaan ini adalah persamaan *Freundlich*, yang memberikan persen ralat paling kecil. Berdasarkan

pendekatan itu dapat disimpulkan bahwa penjerapan logam Pb menggunakan tanah diatomit yang paling dominan adalah penjerapan secara fisis (adsorpsi fisika).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Enny, dan Danarto, 2007) proses adsorpsi logam Cr menggunakan adsorben rumput laut, model kesetimbangan yang paling baik adalah Model *Isotherm Freundlich*.

Tabel 3. Persamaan Isotherm pada pengaruh massa adsorben

Model	M (gr)	Konsatata empiris		Ralat, %
		q_f, q_{max}, q_m	b	
Freundlich	3	0,06057	1,94666	2,416
	7	0,05998	2,54712	1,380
	11	0,05014	2,36239	1,957
Langmuir	3	0,38459	0,11633	2,969
	7	0,21148	0,26157	2,062
	11	0,18371	0,27668	4,077
BET	3	-0,19837	19,83943	3,410
	7	-0,13137	44,64457	4,963
	11	-0,12635	27,85744	2,850

Tanah diatomit merupakan adsorben dengan struktur yang mempunyai banyak pori-pori. Pori-pori ini menyebabkan luas permukaan adsorben menjadi besar. Makin luas permukaan adsorben, maka adsorpsi yang terjadi makin besar karena kemungkinan zat yang menempel pada permukaan adsorben juga bertambah (Widayatno, dkk, 2017).

Adsorpsi logam berat Pb dengan tanah diatomit berlangsung secara fisis/ adsorpsi fisika. Molekul yang teradsorpsi terikat secara lemah dipermukaan, sehingga bersifat dapat terbalikkan (*reversibel*). Proses adsorpsi fisika terjadi tidak pada tempat (*site*) yang spesifik, dan

molekul yang teradsorpsi menyelimuti seluruh permukaan. Panas adsorpsi relatif rendah, hali ini didukung dengan temperatur pada larutan sample selama penyerapan relatif tetap.

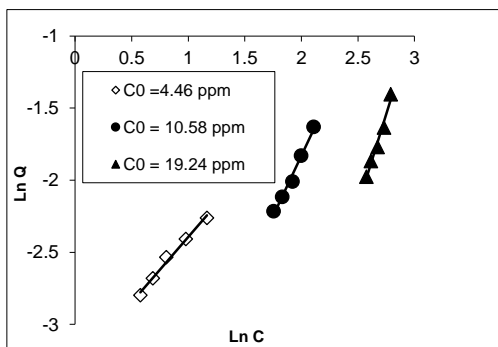
Pengaruh Konsentrasi larutan

Pengaruh konsentrasi larutan sebagai adsorbat dalam proses adsorpsi logam Pb menggunakan tanah diatomit sebagai adsorben dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5, serta Gambar 6, 7, dan 8.

Tabel 4. Pengaruh Konsentrasi Larutan

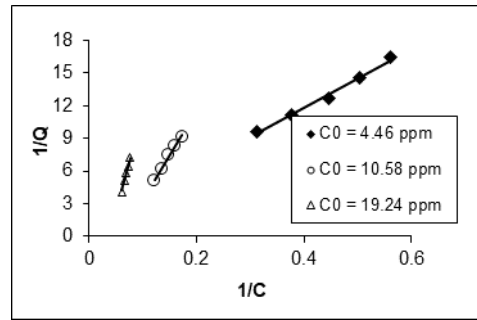
C ₀ mg/L	m	C dan q pada berbagai massa adsorben, gr				
		3 gr	5 gr	7 gr	9 gr	11 gr
4,46	C	3,21	2,66	2,24	1,99	1,78
	q	0,1042	0,090	0,079	0,069	0,061
10,58	C	8,23	7,37	6,82	6,24	5,78
	q	0,1958	0,161	0,134	0,121	0,109
19,24	C	16,29	15,34	14,47	13,67	13,14
	q	0,2458	0,195	0,170	0,155	0,139

Ket :C dalam mg/L, q dalam mg/g

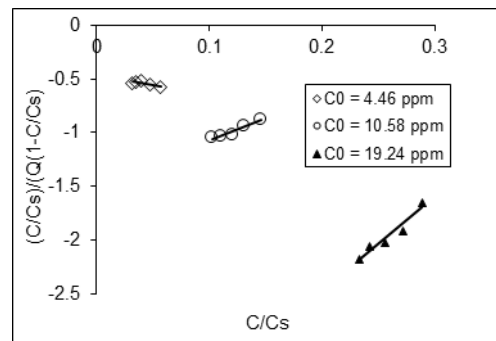


Gambar 6. Hubungan Ln C dan Ln q pada pengaruh konsentrasi adsorbat menggunakan persamaan Freundlich

Tabel 4 menunjukkan pada konsentrasi Pb semakin besar, maka logam Pb yang terjerap semakin banyak. Hal ini disebabkan semakin besarnya factor tumbukan yang terjadi antara ion Pb dan permukaan aktif adsorben, sehingga memungkinkan berlangsungnya proses penyerapan dalam jumlah yang lebih banyak. Berdasarkan data hasil perhitungan tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa proses penyerapan logam Pb menggunakan tanah diatomit dipengaruhi oleh konsentrasi adsorbat.



Gambar 7. Hubungan antara 1/C dan 1/q pada pengaruh konsentrasi adsorbat menggunakan persamaan Langmuir



Gambar 8. Hubungan antara C/Cs dan (C/Cs)/(q(1-C/Cs)) pada pengaruh konsentrasi adsorbat menggunakan persamaan BET

Data-data hasil percobaan dievaluasi berdasarkan persamaan Freundlich, Langmuir, dan BET, kemudian hasilnya disajikan pada Gambar 6, 7, dan 8, serta pada Tabel 4. dan 5.

Tabel 5. Persamaan Isotherm pada pengaruh konsentrasi adsorbat

Model	C ₀ (mg/L)	Konsatata empiris		Ralat, %
		q _f , q _{max} , q _m	b	
Freundlich	4,46	0,03692	1,10558	0,6522
	10,58	0,00565	0,59751	0,9696
	19,24	0,0002	0,39431	1,6835
Langmuir	4,46	1,08284	0,03401	1,4744
	10,58	-0,22245	-0,05643	1,5966
	19,24	-0,12052	-0,04075	2,0398
BET	4,46	-0,42488	5,07999	1,5642
	10,58	0,36535	-1,84304	1,5209
	19,24	0,22008	-1,07411	2,1400

Secara umum model Freundlich, Langmuir, dan BET dapat menggambarkan proses adsorpsi logam Pb dengan tanah diatomit. Namun jika dilihat dari hasil perhitungan persen ralat, terlihat bahwa isotherm *Freundlich* lebih unggul dari pada isotherm *Langmuir* dan isotherm BET, karena isotherm Freundlich mempunyai persen ralat yang paling kecil yaitu sebesar 0,65%. Sedangkan konstanta *Freundlich* sebesar $q_f = 0,03692$ dan $b = 1,10558$. Sehingga dari pendekatan itu dapat disimpulkan bahwa penjerapan logam Pb menggunakan tanah diatomit yang paling dominan adalah penjerapan secara fisis (adsorpsi fisika). Adsorpsi logam berat Cr dengan rumput laut, model yang paling cocok adalah Model Isotherm Freundlich

dengan konstanta $q_f = 0,0230$ dan $b = 1,0143$ (Enny, dan Danarto., 2007). Konsentrasi awal larutan mempengaruhi konstanta persamaan kesetimbangan *Freundlich*, *Langmuir* dan BET. Hal ini disebabkan konsentrasi setimbang adsorbat dalam fase larutan (C) yang diperoleh berbeda-beda tergantung besarnya konsentrasi awal larutan.

KESIMPULAN

1. Tanah diatomit dapat digunakan untuk menjerap ion logam Pb dalam larutan. Proses adsorpsi ion logam Pb dengan tanah diatomit mencapai kesetimbangan pada waktu 180 menit. Semakin besar massa tanah diatomit sebagai adsorben, maka ion logam Pb yang terjerap semakin besar. Demikian juga semakin besar konsentrasi ion logam Pb yang terlarut, maka ion logam Pb yang terjerap semakin banyak.
2. Model persamaan kesetimbangan Freundlich paling sesuai untuk memprediksi proses adsorpsi logam Pb dengan adsorben tanah diatomit. Hal ini didukung dengan persen ralat rata-rata yang paling kecil. Konsentrasi awal larutan mempengaruhi konstanta persamaan kesetimbangan. Hasil penelitian ini berlaku pada interval massa adsorben 3 gr sampai dengan 11 gr dan konsentrasi ion logam Pb 4,46 mg/L sampai 23, 67 mg/L.

DAFTAR NOTASI

- C_0 Konsentrasi ion logam berat mula-mula dalam larutan, mg/L
- C Konsentrasi ion logam berat pada kesetimbangan, mg/L
- q Jumlah ion logam berat yang terjerap dalam adsorben, mg/g
- V Volume larutan, L
- m Berat adsorben (tanah diatomit), g
- q_f Konstanta empiris pada persamaan Freundlich
- b Konstanta kesetimbangan yang tergantung pada temperatur
- q_{max} Kapasitas penjerapan maksimum monolayer, mg/g
- q_m Kapasitas adsorpsi lapisan tunggal, mg/g
- C_s Kelarutan timbal nitrat didalam air pada 30 °C , 56,5 mg/L (Green DW dan Perry RH, 2008)
- t Lama pengadukan / lama proses adsorpsi, menit

Adsorpsi Cr dengan Rumput Laut ", Vol. 6 No. 2., Ekulilibrium, hal: 47-52

Faisol A., Noffia C., Septi A., 2015, " *Pengaruh Adsorben Diatomaceous Earth Terhadap Penurunan Kadar Besi dan Ion Sulfat dari Air Asam Tambang* " Vol. 21., No. 4., Jurnal Teknik Kimia

Lenny Marilyn Estiaty., 2012, " *Kesetimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu^{2+} Pada Zeolit-H* ", Vol. 2 No. 2, Riset Geologi dan Pertambangan, hal : 127-141.

Maria S., Albert M., Ragnar Ek, and Gunnar A.N., 2003, " *Fractal Dimension of Cellulose Powder Analyzed by Multilayer BET Adsorption of Water and Nitrogen* ", Vol. 107, No. 51, page 14378-14382, The Journal Physical Chemistry.

Noll, K.E., Gournaris, V., and Hou, W.S., 1992, " *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control* ", Lewish Publisher., Michigan.

Perry R.H dan Green D.W., 2008, " *Perry's Chemical Engineers' Handbook* ", McGraw-Hill, New York

Widayatno, T., Yulawati, T., dan Agung, A. S., 2017, " *Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif* " Vol. 1. No.1. Jurnal Teknologi Bahan Alam.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyaa, A.K., Mandalb, S.N., and Dasa, S.K, 2006, " *Adsorption of Zn (II) from Aqueous Solution by Using Different adsorbents*", Vol. 123, Issues 1-2, page 43-51, Chemical Engineering Journal.
- Endang Padminingsih., 2000, " *Kajian Awal Pendayagunaan Tanah Diatomit* ", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa dan Proses 2000., Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro.
- Enny K., dan Y.C. Danarto., 2007 " *Model Kesetimbangan*

Yusnimar S, Kiki D, dan Yulfiana S,
2012 "*Penentuan Daya Jerap
Bentonit dan Keseimbangan
Adsorpsi Bentonit Terhadap Ion
Cu(II)*" Vol. 5, No.2. Chem
Prog, hal 93-99

