

ISOTERM KESETIMBANGAN ADSORPSI TIMBAL PADA ABU SEKAM PADI

Bregas S T Sembodo

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract : *One of methods to overcome lead pollution in water is adsorption process. Rice hull, an abundance agriculture side product in Indonesia, would turn to ash and use as an alternative adsorbent for lead adsorption. The objectives of this research were to explore how much lead could be adsorbed on rice hull ash and to determine a suitable adsorption isotherm model for this process. The batch sorption experiments were carried out in the 1 liters stirred glass vessel containing 5 ppm $Pb(NO_3)_2$ solution. The weights of adsorbent (rice hull ash) introduced into the vessel were 1 g, 5 g, 8 g and 15 g. The temperatures of solution were 35°C, 45°C and 55°C. After reaching equilibrium the solution was analyzed for the remaining Pb^{2+} by AAS. The results showed that the increase in temperature was followed by the increase in amount of Pb^{2+} adsorbed. The maximum sorption was at 55°C where 74.5% of initial Pb^{2+} was adsorbed or it was 0.12412 mg/g adsorbent. It was also found that the Freundlich isotherm model was superior to the others.*

Keywords: *adsorption, lead pollution, rice hull ash, isotherm adsorption model*

PENDAHULUAN

Timbal berpotensi menjadi zat yang sangat beracun dan menyebabkan masalah kesehatan yang serius bagi makhluk hidup, baik yang hidup di darat maupun di air. Timbal digunakan dalam banyak hal, misalnya dalam pertambangan, *electroplating*, *petroleum refining*, serta industri pulp dan kertas (Prasad et al., 2000).

Timbal (Pb) adalah salah satu golongan logam berat yang bersifat racun bagi tubuh manusia. Apabila dalam jumlah tertentu terserap ke dalam sistem tubuh manusia, maka akan dapat mengganggu fungsi kerja darah, sistem syaraf, sistem pencernaan, sistem reproduksi dan ginjal. (Kirk & Othmer, 1994)

Beberapa metode kimia maupun biologis telah dicoba untuk mengambil logam berat yang terdapat di dalam limbah cair, salah satunya adalah dengan adsorpsi. Adsorben yang biasa digunakan dalam proses adsorpsi ini antara lain adalah alumina, karbon aktif, silica gel, dan zeolit. Dewasa ini sedang dikembangkan penelitian mengenai penggunaan adsorben alternatif yang berasal dari alam.

Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah di Indonesia. Selama ini sekam padi biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar atau bahkan hanya dibakar begitu saja. Dengan menjadikannya sebagai adsorben diharapkan dapat memberi nilai tambah pada limbah ini.

Beberapa peneliti (Proctor et al., 1995; Chang, et al., 2001) telah menggunakan abu sekam padi sebagai pemucat minyak goreng dan memberikan hasil yang cukup memuaskan. Hal ini membuka kemungkinan penggunaan abu sekam padi sebagai adsorben untuk keperluan yang lebih luas. Dalam penelitian ini akan dicoba menggunakan abu sekam padi dalam proses adsorpsi timbal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi abu sekam padi terhadap logam berat timbal dan juga untuk mengetahui model isotherm adsorpsi yang sesuai dan dapat mewakili peristiwa adsorpsi timbal pada abu sekam padi.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh bahan adsorben alternatif yang lebih murah dan banyak tersedia, yaitu abu sekam padi, sebagai adsorben dalam

pengolahan air limbah yang mengandung logam berat khususnya timbal. Model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk peristiwa ini dapat dimanfaatkan untuk studi kinetika adsorpsi timbal pada abu sekam padi dan juga perancangan pengolahan air limbah secara adsorpsi menggunakan adsorben abu sekam padi.

DASAR TEORI

Adsorpsi merupakan suatu fenomena permukaan dengan terjadinya aku-mulasi suatu spesies pada batas permukaan padatan-fluida. Adsorpsi dapat terjadi karena gaya tarik menarik secara elektrostatis maupun gaya tarik menarik yang diperbesar dengan ikatan koordinasi hidrogen atau ikatan *Van der Waals*. Adsorpsi secara fisika (*physisorption*) terjadi jika adsorbat dan permukaan adsorben berikatan hanya dengan ikatan *Van der Waals*. Molekul adsorbat terikat lemah dan panas adsorpsinya rendah (Treybal, 1981)

Adsorpsi secara kimiawi (*chemisorption*) terjadi jika molekul adsorbat terikat dengan suatu reaksi kimia dengan permukaan adsorben. Karena adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka panas adsorpsinya hampir sama dengan panas reaksi kimia (Treybal, 1981).

Hubungan antara jumlah adsorbat yang terjerap dengan konsentrasi adsorbat dalam larutan pada keadaan kesetimbangan dan suhu tetap dapat dinyatakan dengan isoterm adsorpsi. Model kesetimbangan adsorpsi sistem tunggal yang akan ditinjau adalah :

a. Model Isoterm Freundlich

Model Isoterm Freundlich menggunakan asumsi bahwa adsorpsi terjadi secara fisika (Al-Duri, 1995). Model Isoterm Freundlich merupakan persamaan empirik, yang dinyatakan dengan persamaan :

$$q = k_F C^{1/n} \quad (1)$$

dengan k_F dan n merupakan konstanta Freundlich k_F dan n merupakan fungsi suhu dengan persamaan :

$$k_F = k_{F,\infty} \exp(-k_{F,0} \alpha T) \quad (2)$$

$$n = \frac{1}{k_{F,0} T} \quad (3)$$

dengan α , $k_{F,\infty}$ dan $k_{F,0}$ adalah konstanta. (Do, 1998)

b. Model Isoterm Langmuir

Model Isoterm Langmuir menggunakan pendekatan kinetika, yaitu kesetimbangan terjadi apabila kecepatan adsorpsi sama dengan kecepatan desorpsi. Asumsi yang digunakan pada persamaan Langmuir adalah :

1. Adsorpsi terjadi secara kimia.
2. Adsorben merupakan sistem dengan tingkat energi homogen sehingga afinitas molekul terjerap sama untuk tiap lokasi.
3. Adsorbat yang terjerap membentuk lapisan tunggal (*monolayer*).
4. Tidak ada interaksi antar molekul yang terjerap.
5. Molekul yang terjerap pada permukaan adsorben tidak berpindah-pindah.

Isoterm Langmuir dalam Al-Duri, 1995 dinyatakan dengan persamaan :

$$q = \frac{q_{maks} bC}{(1 + bC)} \quad (4)$$

Parameter q_{maks} menunjukkan kapasitas maksimum *monolayer* adsorben, dan parameter b yang disebut konstanta afinitas menunjukkan kekuatan ikatan molekul adsorbat pada permukaan adsorben.

Parameter b merupakan fungsi suhu dengan persamaan :

$$b = b_{\infty} \exp\left[\frac{b_0}{T}\right] \quad (5)$$

dengan b_{∞} dan b_0 adalah konstanta. (Do, 1998)

c. Model Isoterm Sips

Model Isoterm Sips merupakan persamaan empirik yang disusun berdasarkan asumsi adsorpsi terjadi secara kimiawi dengan tingkat energi yang heterogen (Al-Duri, 1995).

Persamaan model isoterm Sips adalah :

$$q = \frac{q_{maks} k_s C^{1/m}}{(1 + k_s C^{1/m})} \quad (6)$$

q_{maks} , k_s dan m merupakan konstanta Sips.

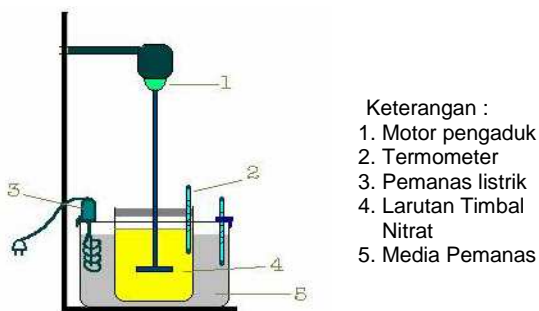
k_s merupakan fungsi suhu dengan persamaan :

$$k_s = k_{s,\infty} \exp\left[\frac{k_{s,0}}{T}\right] \quad (7)$$

dengan $k_{s,0}$ dan $k_{s,\infty}$ adalah konstanta. (Al-Duri, 1995).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Laboratorium Dasar Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, FT-UNS. Bahan yang digunakan adalah Timbal nitrat $\{Pb(NO_3)_2\}$ dan abu sekam padi. Alat-alat dan rangkaian alat percobaan yang dipakai dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat Percobaan

Sekam padi dibakar hingga menjadi abu, kemudian abu sekam padi diaktifkan dengan H_2SO_4 6 N dengan perbandingan 0,025 gram abu per mL asam. Campuran abu dan asam sulfat dituang dalam gelas beaker 500 mL, kemudian diaduk, setelah 1 jam slurry disaring dan dicuci dengan aquades, sampai air cucian mempunyai pH =1. Kemudian abu tersebut dikeringkan dalam oven bersuhu $100^\circ C$ selama 24 jam.

Abu sekam padi dengan berat 3 gram dimasukkan ke dalam gelas beaker dengan volume 1 liter. Kemudian larutan timbal nitrat dengan konsentrasi 5 ppm ditambahkan ke dalam gelas beaker. Setelah itu, campuran tersebut

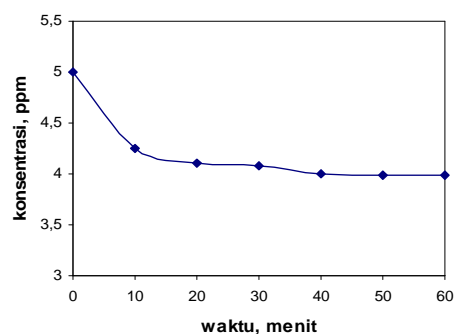
diaduk dan sampel diambil setelah 10 menit, selanjutnya sampel dianalisa dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*). Percobaan tersebut dilakukan lagi dengan waktu pengambilan sampel 20, 30, 40, 50, dan 60 menit

Larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 5 ppm dimasukkan ke dalam gelas beaker 1 liter. Kemudian suhu larutan dinaikkan sampai dengan $35^\circ C$. Setelah suhu yang diinginkan tercapai, 1 gram abu sekam padi yang telah diaktifkan dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diaduk. Sampel diambil setelah waktu kesetimbangan tercapai. Sampel yang diperoleh kemudian disaring dan dianalisa dengan AAS. Percobaan diulangi dengan berat abu 5, 8, dan 15 gram dengan variasi suhu $45^\circ C$ dan $55^\circ C$.

Dari percobaan tersebut akan diperoleh nilai konsentrasi yang berbeda pada suhu dan jumlah adsorben yang berbeda. Kemudian dengan menggunakan persamaan (1) akan diperoleh nilai q yang berbeda-beda pula. Selanjutnya nilai q dan konsentrasi ini digunakan untuk mencari konstanta-konstanta dari isoterm-isoterm yang akan ditinjau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan waktu kesetimbangan



Gambar 2. Grafik hubungan konsentrasi larutan $Pb(NO_3)_2$ dan waktu adsorpsi

Dari gambar 2 dapat diketahui bahwa setelah 40 menit, penjerapan telah mencapai kesetimbangan. Namun demikian dalam percobaan ini diambil

waktu penjerapan selama 50 menit untuk memperkecil kemungkinan kesalahan.

Hasil percobaan adsorpsi

Tabel 1. Konsentrasi larutan Pb²⁺ (C) dan jumlah yang terjerap (q) pada tiap variasi suhu dan berat adsorben

M (g)	Suhu 35 °C		Suhu 45 °C	
	C (mg/l)	q (mg/g)	C (mg/l)	q (mg/g)
1	4,6857	0,15715	4,6474	0,1763
5	3,4873	0,15127	3,5853	0,14147
8	3,1438	0,11601	2,7447	0,14095
15	2,2440	0,09186	2,1087	0,09637

M (gram)	Suhu 55 °C	
	C (mg/l)	q (mg/g)
1	4,5504	0,2248
5	3,1095	0,18905
8	2,5324	0,15422
15	1,2763	0,12412

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah adsorben maka konsentrasi larutan Pb²⁺ akan semakin kecil, hal ini karena besarnya luas permukaan aktif adsorben makin bertambah.

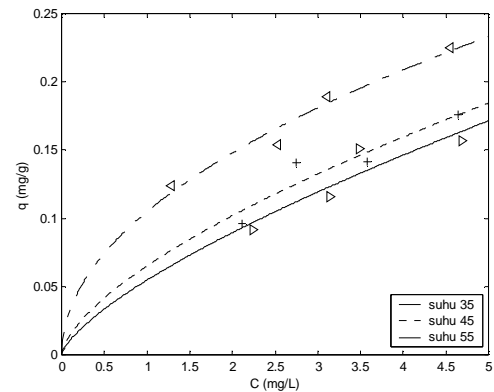
Abu sekam padi sebanyak 15 gram pada suhu 55°C dapat menyerap timbal paling tinggi yaitu 0,12412 mg/g adsorben atau persentase maksimum yang dapat terjerap adalah 74,5 % dari 5 mg/L larutan awal.

Model Isoterm Freundlich

Peristiwa adsorpsi ini bila dinyatakan dengan persamaan Isoterm Freundlich, didapat nilai K_F dan n seperti tertera pada tabel 3 dan digambarkan dalam grafik pada gambar 4.

Tabel 3. Konstanta pada model isoterm Freundlich

Konstant	Suhu		
	35 °C	45 °C	55 °C
K_F	0,0547	0,0651	0,1049
n	1,4088	1,5459	2,0140
Ralat, %	7,0800	5,0185	3,9938



Gambar 4. Grafik hubungan q dan C pada model isoterm Freundlich

Harga n yang diperoleh kurang dari sepuluh, sehingga dapat disimpulkan bahwa adsorpsi ini reversibel (Do, 1998).

Hubungan antara n dan suhu (T) dinyatakan sebagai :

$$n = \frac{1}{0.00190846T} \quad (8)$$

Sedangkan hubungan antara K_F dan suhu (T) dapat dirumuskan sebagai

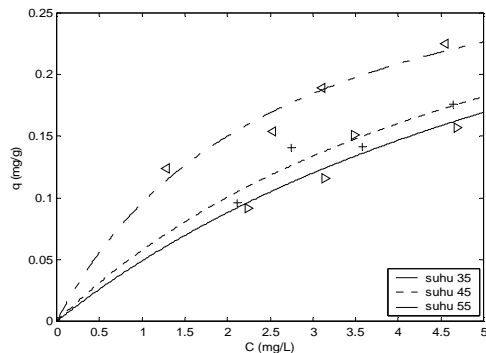
$$k_F = 2.3 \times 10^{-6} \exp(-0.0326T) \quad (9)$$

Model Isoterm Langmuir

Adsorpsi Pb pada abu sekam padi dinyatakan dengan persamaan isoterm Langmuir, sehingga didapat nilai q_{maks} dan b seperti tertera pada tabel 2 dan digambarkan dalam grafik pada gambar 3.

Tabel 2. Konstanta pada model isoterm Langmuir

Konstanta	Suhu		
	35 °C	45 °C	55 °C
q_{maks}	0,4412	0,3960	0,3426
b	0,1246	0,1701	0,3895
Ralat, %	6,7923	6,4766	5,4911



Gambar 3 Grafik hubungan q dan C pada model isotherm Langmuir

Secara teoritis nilai q_{maks} akan berkurang apabila terjadi kenaikan suhu (Do, 1998). Dalam percobaan ini diperoleh nilai q_{maks} juga berkurang seiring kenaikan suhu. Hubungan b dan suhu (T) pada Isotherm Langmuir dapat dinyatakan dengan persamaan :

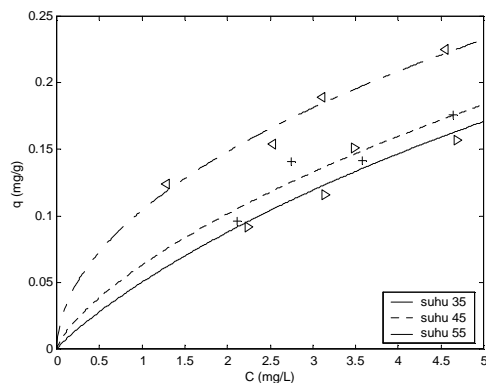
$$b = 13592110 \exp\left[\frac{-5057,9}{T}\right] \quad (10)$$

Model Isotherm Sips

Dengan persamaan Isotherm Sips, didapat konstanta-konstanta seperti tertera pada tabel 4 dan digambarkan dalam grafik pada gambar 5.

Tabel 4. Konstanta pada model isotherm Sips

Konstant	Suhu		
	35 °C	45 °C	55 °C
q_{maks}	0,6722	1,0612	2,5892
k_s	0,0806	0,0631	0,0420
m	1,1163	1,3419	1,8840
Ralat, %	6,6927	6,5022	4,0712



Gambar 5. Grafik hubungan q dan C pada model isotherm Sips

Nilai m yang relatif kecil menunjukkan bahwa peristiwa adsorpsi timbal dengan abu sekam padi dapat dianggap homogen (Do, 1998).

Hubungan antara k_s dengan T yang dinyatakan sebagai

$$k_s = 1,95 \cdot 10^{-6} \exp\left[\frac{3282,8}{T}\right] \quad (11)$$

Berdasarkan persentase rata-rata kesalahan yang paling kecil, model isotherm yang paling sesuai adalah model isotherm Freundlich.

KESIMPULAN

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kenaikan suhu akan meningkatkan jumlah timbal yang terjerap pada abu sekam padi. Pada suhu 55°C timbal yang terjerap adalah paling tinggi, yaitu 0,12412 mg/g adsorben.

Berdasarkan persentase rata-rata kesalahan yang paling kecil, model isotherm kesetimbangan yang sesuai untuk peristiwa adsorpsi ini adalah Isotherm Freundlich, dimana hubungan antara n dan suhu adalah

$$n = \frac{1}{0.00190846T}, \quad \text{sedangkan}$$

hubungan antara k_f dan T dapat dinyatakan dengan persamaan $k_f = 2.3 \cdot 10^{-6} \exp(-0.0326T)$.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Duri, B., 1995, "A Review in Equilibrium in Single and Multicomponent Liquid Adsorption System", *Review in Chemical Engineering*, 11, p.p.101-143
- Arifin, B., 2000, "Kinetika Adsorpsi Larutan Merkuri Menggunakan Partikel Kayu", *Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo*, ITB, Bandung
- Chang, Y.Y., Lin, C.I., and Chen, H.K., 2001, "Effect of Acid Activation on Sesame Oil Bleaching by Rice Hull Ash", *J. Chem. Eng. Japan*, 34, pp. 1-6

- Do, D.D., 1998, "Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics", vol 1, Imperial College Press, London
- Kirk, R.E. & Othmer, D.F., 1994, "Encyclopedia of Chemical Technology", 4th ed., vol 15, a Wiley Interscience Publisher Inc., New York
- Prasad, M., Saxena, S., Amritphale, and Navin, C., 2000, "Kinetics and Isotherm for Aqueous Lead Adsorption by Natural Minerals", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39, p.p. 3034- 3037
- Proctor, A., Clark, P.K., and Parker, C.A., 1995, "Rice Hull Ash Adsorbent Performance under Commercial Soy Oil Bleaching Conditions", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, 72, pp. 459-462
- Treybal, R.E., 1981, "Mass Transfer Operations", International Student Edition, p.p. 565-567, 641,

McGraw-Hill Book Company, Inc.,
Singapura

DAFTAR LAMBANG

- b, b_{∞}, b_0 : parameter pada persamaan isotherm Langmuir
- C : konsentrasi adsorbat dalam larutan pada kesetimbangan, mg/L
- C_0 : konsentrasi adsorbat mula-mula dalam larutan, mg/L
- $k_F, k_{F,\infty}, k_{F,0}$: parameter pada persamaan isotherm Freundlich
- k_s : Konstanta Isotherm Sips
- m : Konstanta Isotherm Sips
- n : Konstanta Isotherm Freundlich
- q : Jumlah adsorbat yang dijerap oleh adsorben, mg/g
- q_{maks} : jumlah maksimum adsorbat yang dapat diambil, mg/g