

MODEL KINETIKA LANGMUIR UNTUK ADSORPSI TIMBAL PADA ABU SEKAM PADI

Bregas S T Sembodo*

*Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNS

Abstract : *One of the methods to overcome lead pollution in water is an adsorption process. Rice hull would turn to ash and was used as an alternative adsorbent for lead adsorption. The objective of this research was to examine the kinetics of lead adsorption onto rice hull ash. The examined variables were the temperature and the weight of adsorbent. The batch sorption experiments were carried out in the 1 liters stirred glass vessel contained 5 ppm $Pb(NO_3)_2$ solution. The weights of 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. The solution samples were taken every 10 minutes until reaching equilibrium and analyzed for the remaining Pb^{2+} by AAS. The results showed that the increase in temperature reduced the rate of lead adsorption and the increase in weight of adsorbent accelerated the lead adsorption. It was also found that the Langmuir kinetics model adequately describes the variation in the adsorption observed in these experiments.*

Keywords: *lead pollution, rice hull ash, kinetics of adsorption, Langmuir kinetics model*

PENDAHULUAN

Pencemaran air oleh logam berat telah lama menjadi masalah serius yang perlu ditangani. Logam berat pencemar lingkungan terdiri dari beberapa unsur yang dikategorikan atas pencemar prioritas tinggi, sedang dan rendah yang umumnya terlarut dalam air dalam berbagai senyawa. Salah satu logam pencemar prioritas tinggi adalah logam berat timbal (Pb). Logam berat tidak dapat dihancurkan oleh mikroorganisme dan dapat terakumulasi dalam tubuh manusia serta mengakibatkan kerusakan organ-organ tubuh.

Salah satu metode untuk mengatasi pencemaran logam berat timbal dalam air adalah dengan proses adsorpsi.

Karbon aktif dan *zeolite* telah banyak digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi. Sekam padi, produk hasil pertanian yang sangat melimpah di Indonesia, akan dicoba sebagai bahan adsorben alternatif dalam proses adsorpsi timbal dengan mengubahnya terlebih dahulu menjadi abu. Selama ini sekam padi biasanya 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; Lin *et al.*, 2001)

telah mencoba 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 penggunaan abu sekam padi dalam proses adsorpsi logam berat timbal.

Kinetika adsorpsi, hal yang sangat penting dalam proses perancangan, operasi dan kontrol, kurang mendapat perhatian daripada isoterm adsorpsi (Morgan *et al.*, 1985, Proctor & Palaniappan, 1989; Liew *et al.*, 1993). Oleh sebab itu penelitian ini menekankan pada aspek kinetika adsorpsi yang dianalisis dengan pendekatan model matematis yang sesuai dengan mekanisme peristiwa yang terjadi pada proses adsorpsi.

Proses adsorpsi yang diteliti adalah adsorpsi timbal menggunakan abu sekam padi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika adsorpsi timbal dalam pelarut air pada abu sekam padi. Variabel-variabel yang akan dipelajari adalah suhu dan berat adsorben.

Selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk mengembangkan model

yang sesuai dengan mekanisme peristiwa adsorpsi dengan cara mengkorelasikannya dengan data-data percobaan.

Hasil penelitian ini diharapkan mampu menjelaskan mekanisme proses adsorpsi timbal pada abu sekam padi. Berdasarkan model matematis kinetika adsorpsi akan diperoleh parameter-parameter yang dapat dipakai pada perancangan alat adsorpsi skala industri.

Menurut Proctor (1990), abu sekam padi harus diaktifkan dengan larutan asam untuk menghilangkan oksida logam dan pengotor dalam abu sekaligus meningkatkan porositas dan aktivitas adsorpsi.

Chen, *et. al.* (2003) meneliti kinetika adsorpsi β -Carotene dalam minyak kedelai dengan abu sekam padi yang telah diaktifkan. Menurut Chen, *et. al.* (2003) laju adsorpsi berbanding lurus terhadap suhu dan rasio adsorben/larutan serta berbanding terbalik terhadap ukuran partikel adsorben.

Do dan Wang (1998) mengusulkan suatu model untuk kinetika adsorpsi gas pada karbon aktif yang menggabungkan hambatan difusi dalam partikel dengan pertukaran massa pada adsorpsi menurut kinetika Langmuir. Meskipun kinetika Langmuir bukan model yang tepat untuk pertukaran massa terbatas antara dua fase dalam karbon aktif, namun demikian model ini telah terbukti sesuai dan dapat menjelaskan berbagai data percobaan kinetika adsorpsi.

Model kinetika yang lain dikembangkan oleh Rudzinski, *et. al.* (1999) berdasarkan pada teori laju transport antar permukaan secara statistik. Model ini menerapkan pendekatan statistik untuk laju adsorpsi dan menggunakan distribusi energi aktivasi untuk menjelaskan heterogenitas energi pada permukaan adsorben.

Bhatia, *et. al.* (2000) menggunakan model kinetika Langmuir untuk menjelaskan peristiwa adsorpsi iodine pada karbon aktif, dan terbukti cukup memuaskan.

Pada penelitian ini akan dicoba model kinetika Langmuir untuk diterapkan

pada kinetika adsorpsi timbal pada abu sekam padi.

Kinetika adsorpsi Langmuir adalah suatu pendekatan model baik kesetimbangan maupun kinetika adsorpsi. Model ini berdasar pada beberapa asumsi, yaitu :

1. Permukaan adsorben bersifat homogen, sehingga energi adsorpsi konstan pada seluruh bagian.
2. Tiap atom teradsorpsi pada lokasi tertentu di permukaan adsorben.
3. Tiap bagian permukaan hanya dapat menampung satu molekul atau atom.

Laju adsorpsi didefinisikan sebagai $R_a = k_a C_L (C_s - C_a)$

Kecepatan desorpsi didefinisikan sebagai $R_d = k_d C_a$

Laju perubahan konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi adalah

$$\frac{dC_a}{dt} = R_a - R_d \text{ atau}$$

$$\frac{dC_a}{dt} = k_a C_L (C_s - C_a) - k_d C_a \quad (1)$$

Saat mencapai kesetimbangan,

$$\frac{dC_a}{dt} = 0, \text{ sehingga}$$

$$k_d C_{ae} = k_a C_L (C_s - C_{ae}) \text{ atau}$$

$$C_{ae} = \frac{\frac{k_a}{k_d} C_s C_L}{1 + \frac{k_a}{k_d} C_L}$$

Jika konstanta Langmuir : $K = \frac{k_a}{k_d}$,

maka persamaan ini menjadi

$$C_{ae} = \frac{KC_s C_L}{1 + KC_L} \quad (2)$$

Persamaan (2) ini adalah persamaan isoterm kesetimbangan Langmuir.

Persamaan kinetika adsorpsi (1) diubah menjadi

$$\frac{dC_a}{dt} = k_a C_L C_s - k_d C_a (1 + KC_L) \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan kesetimbangan

$$(1 + KC_L) = \frac{KC_s C_L}{C_{ae}}$$

persamaan (3) menjadi

$$\frac{dC_a}{dt} = k_a C_L C_s - \frac{k_d C_a KC_s C_L}{C_{ae}}$$

atau

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{k_a C_L C_s}{C_{ae}} - (C_{ae} - C_a) \quad (4)$$

Dari persamaan kesetimbangan juga $\frac{C_s C_L}{C_{ae}} = \frac{(1 + KC_L)}{K}$, sehingga

persamaan (4) menjadi :

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{k_a (1 + KC_L)(C_{ae} - C_a)}{K}$$

Kemudian disederhanakan menjadi

$$\frac{dC_a}{dt} = k_d (1 + KC_L)(C_{ae} - C_a) \quad (5)$$

Pada persamaan (5) ini parameter k_d dan K tergantung pada suhu dan dinyatakan dengan persamaan Arrhenius (Do, 1998)

$$k_d = k_{d\infty} \exp\left(\frac{-E_d}{RT}\right) \quad (6)$$

$$K = K_{\infty} \exp\left(\frac{Q}{RT}\right) \quad (7)$$

Berdasarkan neraca massa untuk konsentrasi cairan dapat diperoleh :

$$\frac{dC_L}{dt} = \frac{-M_s}{V_L} \times \frac{dC_a}{dt} \quad (8)$$

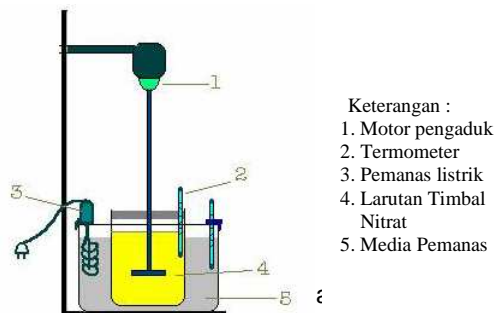
Persamaan (2), (5) dan (8) digunakan sebagai model kinetika proses adsorpsi. Parameter K dan C_s diperoleh

dari model isoterm Langmuir atau persamaan (2) yang dicocokkan dengan data-data kesetimbangan dari percobaan.

Dengan suatu program komputer, k_d (konstanta laju desorpsi) dapat dihitung dari optimasi berdasarkan data percobaan kinetika dan model matematis yang telah disusun (persamaan (2), (5) dan (8)).

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.



- Keterangan :
1. Motor pengaduk
 2. Termometer
 3. Pemanas listrik
 4. Larutan Timbal Nitrat
 5. Media Pemanas

Gambar 1. Rangkaian alat percobaan

Larutan $Pb(NO_3)_2$ dengan konsentrasi 5 ppm dimasukkan ke dalam gelas beaker 1 liter. Kemudian suhu larutan diatur pada suhu tertentu. Setelah suhu yang diinginkan tercapai, abu sekam padi dengan berat tertentu yang telah diaktifkan dengan larutan asam khlorida dimasukkan ke dalam gelas beaker dan diaduk. Setiap selang waktu 10 menit dilakukan pengambilan sampel. Sampel yang telah diperoleh kemudian disaring dan dianalisa dengan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Percobaan dilakukan dengan variasi berat abu 1, 5, 8, dan 15 g dengan variasi suhu $35^{\circ}C$, $45^{\circ}C$ dan $55^{\circ}C$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesetimbangan Adsorpsi Pb pada abu sekam padi didekati dengan model

isoterm Langmuir [persamaan (2)] dan didapat nilai C_s dan K seperti ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter pada model isoterm Langmuir

Suhu	35° C	45° C	55° C
C_s [mg/g adsorben]	0,4412	0,3960	0,3426
K [g adsorben /mg]	0,1246	0,1701	0,3895

(Sembodo, 2005)

Dari tabel 1 terlihat bahwa nilai C_s berkurang dengan kenaikan suhu seperti dinyatakan oleh Do (1998). Nilai K yang bertambah dengan kenaikan suhu berarti proses adsorpsi ini merupakan adsorpsi yang endotermik.

Tabel 2. Data Konstanta desorpsi pada berbagai suhu dan berat adsorben

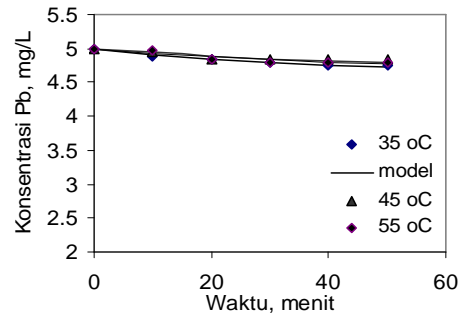
Berat adsorben (gram)	Konstanta desorpsi (k_d), 1/menit		
	35° C	45° C	55° C
1	0,02114	0,00976	0,00516
5	0,009	0,00926	0,002
8	0,0086	0,00622	0,00169
15	0,01185	0,00214	0,000943

Tabel 3. Data parameter energi aktivasi desorpsi (E_d) dan konstanta laju desorpsi pada suhu tak hingga ($k_{d\infty}$)

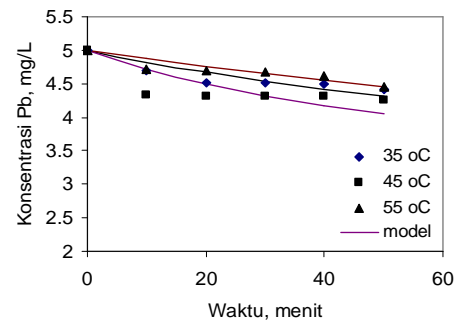
Berat adsorben (gram)	E_d , J/mol	$k_{d\infty}$, 1/menit
1	-59319,669	$1,8325 \times 10^{-12}$
5	-62516,320	$2,9472 \times 10^{-13}$
8	-67939,359	$3,0892 \times 10^{-14}$
15	-106749,871	$8,335 \times 10^{-21}$

Pada tabel 2 terlihat bahwa jika suhu dinaikkan maka konstanta desorpsi (k_d) justru menurun dan pada tabel 3 bisa dilihat bahwa E_d bernilai negatif. Ini berarti desorpsi yang terjadi adalah secara

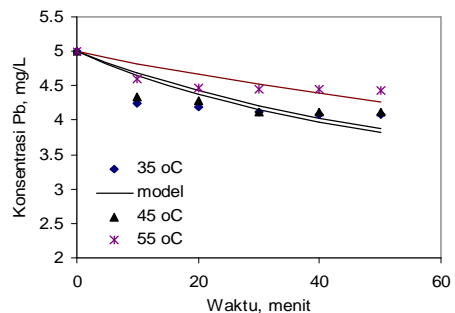
eksotermik, berlawanan dengan adsorpsi yang terjadi yaitu secara endotermik.



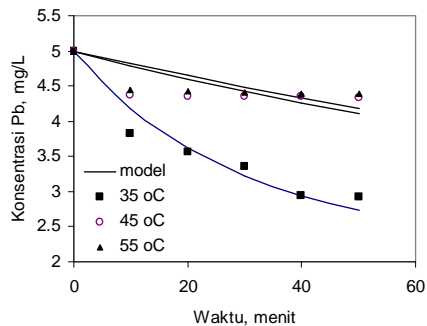
Gambar 2. Grafik hubungan Konsentrasi Pb dalam larutan dengan waktu untuk berat adsorben 1 gram



Gambar 3. Grafik hubungan Konsentrasi Pb dalam larutan dengan waktu untuk berat adsorben 5 gram



Gambar 4. Grafik hubungan Konsentrasi Pb dalam larutan dengan waktu untuk berat adsorben 8 gram



Gambar 5. Grafik hubungan Konsentrasi Pb dalam larutan dengan waktu untuk berat adsorben 15 gram

Terlihat pada gambar 2, 3, 4 dan 5, kenaikan suhu ternyata justru menurunkan laju adsorpsi terutama untuk berat adsorben yang relatif besar. Ini menunjukkan bahwa laju adsorpsi yang terjadi (secara endotermik) lebih kecil dari pada laju desorpsi (secara eksotermik).

Terlihat pula bahwa model kinetika Langmuir cukup baik dalam mendekati data percobaan, sehingga mekanisme yang menganggap adsorpsi ini terjadi secara fisika bisa diterima terutama pada berat adsorben yang kecil, sedangkan untuk berat adsorben yang besar kurang sesuai.

Gambar 2, 3, 4 dan 5, serta tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa makin banyak berat adsorben yang ditambahkan akan mempercepat laju adsorpsi sekaligus makin memperbesar jumlah yang terjerap. Jumlah adsorben yang makin banyak akan memberikan luas permukaan yang makin besar bagi adsorbat untuk terdesorpsi. Selain itu makin banyak jumlah adsorben juga akan memberi kesempatan kontak yang makin besar dengan molekul-molekul adsorbat.

KESIMPULAN

Kenaikkan suhu menurunkan laju adsorpsi Pb pada abu sekam padi. Kenaikkan berat adsorben dalam larutan akan mempercepat laju adsorpsi Pb pada abu sekam padi. Model kinetika Langmuir bisa diterapkan pada peristiwa adsorpsi Pb pada abu sekam padi terutama untuk berat adsorben yang kecil.

DAFTAR LAMBANG

- C_a konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben [mg/g adsorben]
 C_{ae} jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada permukaan adsorben yang setimbang dengan konsentrasi cairan C_L [mg/L]
 C_L konsentrasi adsorbat dalam fase cair [mg/L]
 C_s konsentrasi jenuh adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben [mg/g adsorben]
 E_d energi aktivasi desorpsi [J/mol]
 K konstanta Langmuir [g adsorben/mg]
 k_a konstanta laju adsorpsi [g adsorben/menit/mg]
 k_d konstanta laju desorpsi [menit⁻¹]
 $k_{d\infty}$ konstanta laju desorpsi pada suhu tak hingga [menit⁻¹]
 K_{∞} konstanta Langmuir pada suhu tak hingga [menit⁻¹]
 M_s massa adsorben [g]
 Q panas adsorpsi, untuk zat yang teradsorpsi secara fisis nilai ini sama dengan E_d [J/mol]
 R konstanta gas umum [J/mol.K]
 V_L volume larutan [L]

DAFTAR PUSTAKA

- Bathia, S., Liu, F., and Arvind, G., 2000, "Effect of Pore Blockage on Adsorption Isotherm and Dynamics: Anomalous Adsorption of Iodine on Activated Carbon", *Langmuir*, **16**, pp.4001-4008
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
Chen, C.Y., Lin, C.I., and Chen, H.K., 2003, "Kinetics of Adsorption of β -Carotene from Soy Oil with Activated Rice Hull Ash", *J. Chem. Eng. Japan*, **36**, pp. 265-270
Do, D., 1998, "Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics", Imperial College Press, London
Do, D. and Wang, K., 1998, "Dual Diffusion and Finite Mass Exchange Model for Adsorption

- Kinetics in Activated Carbon", *AIChE Journal*, **44**, pp. 68-82
- Liew, K.Y., Yee, A.H., and Nordin, M.R., 1993, "Adsorption of Carotene from Palm Oil by Acid-Treated Rice Hull Ash", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **70**, pp. 539-541
- Lin, S.H., Lin, C.I., and Chen, H.K., 2001, "Sesame Oil Bleaching with Activated Rice Hull Ash", *J. Chem. Eng., Japan*, **34**, pp. 737-742
- Morgan, D.A., Shaw, D.B., Sidebottom, M.J., Soon, T.C., and Taylor, R.S., 1985, "The Function of Bleaching Earths in the Processing of Palm, Palm Kernel and Coconut Oil", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **62**, pp. 292-299
- Proctor, A., 1990, "X-ray Diffraction and Scanning Electron Microscope Studies of Processed Rice Hull Silica", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **67**, pp. 576-584
- Proctor, A. and Palaniappan, S., 1989, "Soy Oil Lutein Adsorption by Rice Hull Ash", *J. Am. Oil. Chem. Soc.*, **66**, pp. 1618-1621
- 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
- Sembodo, B.S.T, 2005, "Isoterm Kesetimbangan Adsorpsi Timbal pada Abu Sekam Padi", *Ekulibrium*, **4**, hal. 100-105