

KESETIMBANGAN BIOSORPSI LOGAM BERAT Pb(II) DENGAN BIOMASSA *ASPERGILLUS NIGER*

Listiarini, Maeko Putra, Amun Amri, Ahmad Fadli, Desi Heltina, Chairul.
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293

Abstrak

Penelitian Kesetimbangan Biosorpsi Logam Berat Pb^{2+} dengan Biomassa *Aspergillus Niger* dilakukan untuk mendapatkan karakteristik dan parameter kesetimbangan biosorpsi yang berguna bagi perancangan unit operasinya. Percobaan diawali dengan pembiakan biomassa *Aspergillus Niger* sehingga mencapai jumlah yang cukup untuk percobaan. Sejumlah 1 mg biomassa dikontakkan dengan 25 ml larutan logam Pb^{2+} pada berbagai konsentrasi larutan awal (C_0) di dalam erlenmeyer sampai mencapai waktu kesetimbangan, dan dilakukan pada suhu kamar serta pH 5. Dengan menggunakan AAS sampel dianalisa, kemudian diperoleh sederet pasangan data logam yang tersisa dalam larutan (C_e) dan logam terjerap saat kesetimbangan (q_e), yang kemudian diplot membentuk kurva kesetimbangan (isotherm) adsorpsi (biosorpsi). Percobaan yang sama dilakukan untuk mendapatkan kurva isotherm adsorpsi pada berbagai variasi suhu dan pH yang lain, yaitu suhu 40 °C dan 50 °C serta pH 3 dan pH 8. Dari percobaan diperoleh waktu kesetimbangan sekitar 24 jam, data kesetimbangan (isotherm) menunjukkan bahwa proses biosorpsi berlangsung optimal pada pH 5 dan suhu kamar (27°C) dan adsorpsi yang terjadi merupakan sistem yang kompleks dengan kombinasi dari berbagai mekanisme. Nilai konstanta kesetimbangan Langmuir sebesar $K_L = 0,0295$ l/mg dan nilai panas adsorpsi (ΔH) sebesar $-0,73225$ kcal/mol °K.

Kata kunci: *Aspergillus niger*; Biosorpsi; Kesetimbangan; Pb(II).

1. Pendahuluan

Perkembangan industri selain memberikan kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara, juga membawa resiko yang bersifat langsung ataupun jangka panjang, terutama kerusakan terhadap lingkungan. Untuk itu perlunya upaya pengolahan limbah sehingga memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan oleh peraturan-peraturan yang berlaku.

Sungai Siak merupakan salah satu sungai terbesar di Propinsi Riau yang mempunyai fungsi strategis sebagai sumber air minum, sumber air bagi industri dan jalur transportasi. Banyaknya aktifitas industri dan rumah tangga di sekitar sungai Siak telah mengakibatkan penurunan kualitas fisik dan kimia air sungai tersebut. Salah satu bahan kimia pencemar yang ditemukan cukup tinggi adalah logam berat Pb^{2+} (BAPEDAL Riau, 2000).

Pb^{2+} atau timbal merupakan logam berat yang sangat beracun, yang dapat mempengaruhi dan merusak sistem syaraf dan ginjal. Timbal dapat dideteksi pada seluruh benda mati dan sistem biologis di lingkungan. Sumber utama timbal adalah berasal dari komponen gugus alkyl timbal yang digunakan sebagai bahan tambahan pada bensin. Toleransi konsumsi timbal yang direkomendasikan oleh WHO bagi orang dewasa adalah 50 µg/kg berat badan dan untuk bayi/anak-anak 25 µg/kg berat badan.

Ada beberapa proses yang dapat dilakukan untuk menangani limbah air yang tercemar logam berat diantaranya adalah pengendapan secara kimia, filtrasi membran, adsorpsi dan pertukaran ion. Operasi proses-proses tersebut umumnya memerlukan biaya yang relatif tinggi sehingga perlu dicari metode alternatif lain yang lebih murah (Periasamy, 1994; Bereket, 1997).

Teknologi yang saat ini terus berkembang dalam menangani limbah logam beracun adalah teknologi adsorpsi dengan biomassa seperti ganggang dan mikroba atau disebut teknologi biosorpsi. Mikroorganisme penjerap (biosorben) yang digunakan dalam biosorpsi mudah ditemukan di alam baik dari limbah pertanian maupun langsung dari industri fermentasi.

Penelitian ini bermaksud mempelajari kesetimbangan biosorpsi logam berat Pb^{2+} yang terlarut dalam air dengan biosorben *Aspergillus Niger*. Aspek yang ditinjau adalah optimasi proses terhadap pengaruh pH dan suhu dan model kesetimbangan yang dapat mewakili proses tersebut. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui *initial characteristic* biosorpsi yang diperlukan bagi perancangan proses yang optimal.

Peneliti-peneliti terdahulu telah melaporkan bahwa beberapa logam berat dapat dijerap dengan baik oleh biomassa, mikroorganisme (Tsezos, 1981; Zhou, 1988; Periasamy, 1994; Nur, 2002). Tsezos (1981) melaporkan bahwa biomassa *Aspergillus Niger* terbukti mampu menyerap unsur uranium dan thorium. Mekanisme yang terjadi pada proses biosorpsi tersebut secara umum terjadi akibat terbentuknya ikatan kimia (adsorpsi kimia), pengendapan atau adsorpsi fisis pada dinding sel. Zhou (1988) melaporkan bahwa mikroalga dapat menyerap Cd dan Cu dengan kondisi optimum pada pH 5,7 sampai 6,7. Kapasitas pemungutan dan penjerapan logam dengan biomassa ternyata sangat baik, walaupun pada konsentrasi rendah. Mikroorganisme penjerap (biosorben) yang digunakan dalam biosorpsi mudah ditemukan di alam baik dari limbah pertanian maupun langsung dari industri fermentasi (Periasamy, 1994).

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam perancangan sistem pengolahan limbah logam berat dengan proses biosorpsi diantaranya,

1. kesetimbangan statis dan dinamis proses biosorpsi
2. kinetika/kecepatan biosorpsi
3. proses pemisahan dan pemulihan biomassa jenuh
4. peremajaan biomassa yang telah digunakan
5. pertimbangan ekonomi proses

Percobaan kesetimbangan (statis) biosorpsi berkaitan dengan pemilihan jenis biosorben dalam rangka untuk mengetahui mekanisme, kapasitas, afinitas dan ikatan biosorpsi dan pengaruh lingkungan (tingkat keasaman dan suhu). Percobaan kesetimbangan ini biasanya dilakukan secara *batch*, sedangkan percobaan kesetimbangan dinamis biasanya menggunakan sistem reaktor alir yang didasarkan pada percobaan kesetimbangan statis.

Nur (2002) melaporkan, logam berat Zn dapat diadsorpsi dengan baik oleh *Aspergillus niger* walaupun pada konsentrasi rendah. Penyerapan maksimum adalah sebesar 42,55 mg/g dan pada pH 6. Pada percobaan kesetimbangan biosorpsi Zn oleh biomassa *Aspergillus Niger*, diketahui bahwa ikatan biosorpsi cenderung didominasi oleh ikatan kimia dengan tingkat energi yang homogen, serta dapat membentuk *multilayer biosorption* pada dinding sel *Aspergillus Niger*. Model yang lebih sesuai untuk menggambarkan kesetimbangan biosorpsi tersebut adalah model isoterm BET (Brunauer, Emmett and Teller) dengan ralat sebesar 6,698%.

2. Fundamental

Ada beberapa model kesetimbangan yang dapat digunakan untuk mewakili mekanisme dasar proses biosorpsi, yaitu model Isoterm Freundlich, Isoterm Langmuir dan Isoterm BET.

• Model Isoterm Freundlich

Model Isoterm Freundlich merupakan persamaan empirik yang mengasumsikan bahwa,

- 1). Biosorpsi terjadi secara fisis pada dinding sel tanpa adanya adsorpsi kimia
- 2). Permukaan dinding sel merupakan sistem yang heterogen dengan berbagai kelas situs dan biosorpsi terjadi di setiap tempat pada permukaan tersebut
- 3). Tidak terjadi penggabungan/peruraian ikatan pada molekul adsorbat terhadap permukaan padatan.

Dengan dasar asumsi tersebut, diturunkan isoterm Freundlich

$$q_e = K_f C_e^n \quad (1)$$

dalam bentuk linier dapat ditulis

$$\log q_e = \log K_f + n \log C_e \quad (2)$$

konstanta-konstanta n dan K_f pada persamaan (2) diperoleh dengan regresi linier.

• Model Isoterm Langmuir

Langmuir mengembangkan suatu model kuantitatif untuk menjelaskan fenomena isoterm adsorpsi dengan pendekatan kinetika. Asumsi yang digunakan,

- 1). Adsorpsi kimia merupakan mekanisme yang mendominasi
- 2). Adsorpsi hanya terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (*monolayer*)

- 3). Tidak ada interaksi antar molekul adsorbat terjerap pada permukaan adsorben,
- 4). Semua situs pada permukaan adsorben bersifat homogen.

Dengan asumsi di atas, diperoleh model isoterm adsorpsi langmuir:

$$q_e = q^0 K C_e / (K C_e + 1) \quad (3)$$

atau dalam bentuk linier dapat ditulis

$$C_e / q_e = 1 / (q^0 K) + C_e / q^0 \quad (4)$$

konstanta-konstanta q^0 dan K pada persamaan (4) diperoleh dengan regresi linier .

- **Model Isoterm BET (Brunauer, Emmet dan Teller)**

Model ini menggunakan asumsi bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang datar dan tidak ada batas jumlah lapisan yang dapat diakomodasikan. Asumsi ini berdasarkan pada teori Langmuir bahwa tidak ada interaksi antar molekul adsorbat terjerap pada permukaan adsorben dan semua situs pada permukaan adsorben bersifat homogen dengan tingkat energi yang sama. Perbedaannya adalah pada model BET memungkinkan terjadinya penjerapan secara berlapis (multilayer).

Persamaannya adalah

$$q_e = q^0 d \cdot C_e / [(C_0 - C_e) \{1 + (d-1) C_e / C_0\}] \quad (5)$$

dalam bentuk linier ditulis

$$C_e / [q_e (C_0 - C_e)] = 1 / (q^0 \cdot d) + [(d-1) / (q^0 \cdot d)] \cdot C_e / C_0 \quad (6)$$

Konstanta K dan K_f pada hakekatnya merupakan konstanta kesetimbangan adsorpsi yang merupakan fungsi suhu. Hubungan antara konstanta kesetimbangan (K) dengan suhu dinyatakan dengan persamaan berikut (Do, 1998):

$$K = K_0 \exp [E/RT] \quad (7)$$

Atau $\ln K = E/RT + \ln K_0$ (8)

dengan K_0 = faktor frekuensi natural; E = energi adsorpsi; R = konstanta gas; dan T = suhu proses adsorpsi.

3. Bahan dan Metode

Pelaksanaan penelitian ini secara berurut dibagi dalam dua tahapan, yaitu tahap pembiakan biomassa *Aspergillus Niger* dan tahap proses biosorpsi. Pada tahap pembiakan, bibit *Aspergillus Niger* dikembangkan dengan medium YEP (Nur, 2002) berupa adonan kentang dan agar-agar. Medium kemudian ditempatkan dalam tabung kaca berdiameter 1,5 cm sepanjang sekitar 10 cm pada suhu 25°C dan ditutup rapat dengan kapas steril agar tidak terjadi kontaminasi dengan lingkungan. Penyebaran spora bibit diupayakan sedemikian rupa sehingga bibit dapat tumbuh merata.

Pembibitan hingga pemungutan berlangsung sekitar dua minggu. Pemungutan *Aspergillus Niger* dilakukan menggunakan kawat halus dan dilakukan secara hati-hati. Setelah itu segera dilakukan proses biosorpsi. Tahap biosorpsi diawali dengan penentuan waktu kesetimbangan biosorpsi. Hal ini dilakukan dengan mengkontakkan 1 mg *Aspergillus Niger* ke dalam Erlenmeyer yang telah berisi 25 ml larutan logam Pb^{2+} dengan konsentrasi 50 ppm lalu dikocok sesaat dan kemudian dibiarkan. Data konsentrasi saat 1 jam, 5 jam, 24 jam, 48 jam pengkontakkan diperoleh dengan analisa menggunakan AAS sehingga dapat disimpulkan waktu kesetimbangan.

Setelah diketahui waktu kesetimbangan, dengan cara yang sama dilakukan tahap biosorpsi pada berbagai konsentrasi larutan awal (C_0). Sampel larutan diambil sebanyak 1 ml sesaat sebelum pengkontakkan dan setelah tercapai kesetimbangan, kemudian dianalisa kadarnya menggunakan AAS. Besarnya adsorbat yang terserap oleh adsorben (q_e) dihitung menggunakan persamaan neraca massa

$$q_e = (C_0 - C_e) v / m \quad (9)$$

dengan v adalah volume larutan dan m adalah berat biosorben.

Sehingga diperoleh pasangan data konsentrasi kesetimbangan baik yang tersisa di larutan (C_e) maupun yang terserap di biosorben (q_e) pada berbagai variasi konsentrasi larutan awal (C_0) yang membentuk seri data kesetimbangan. Seri data yang dihasilkan kemudian diplot dalam kurva C_e VS q_e yang membentuk kurva isoterm adsorpsi.

Untuk mengetahui pengaruh tingkat keasaman dan suhu maka dilakukan variasi pH larutan dan suhu proses.

Dari kurva isoterm adsorpsi pada berbagai pH dan suhu maka dapat ditentukan kondisi proses yang optimal, sedangkan mekanisme dan parameter proses diperoleh dengan pendekatan model pada kurva.

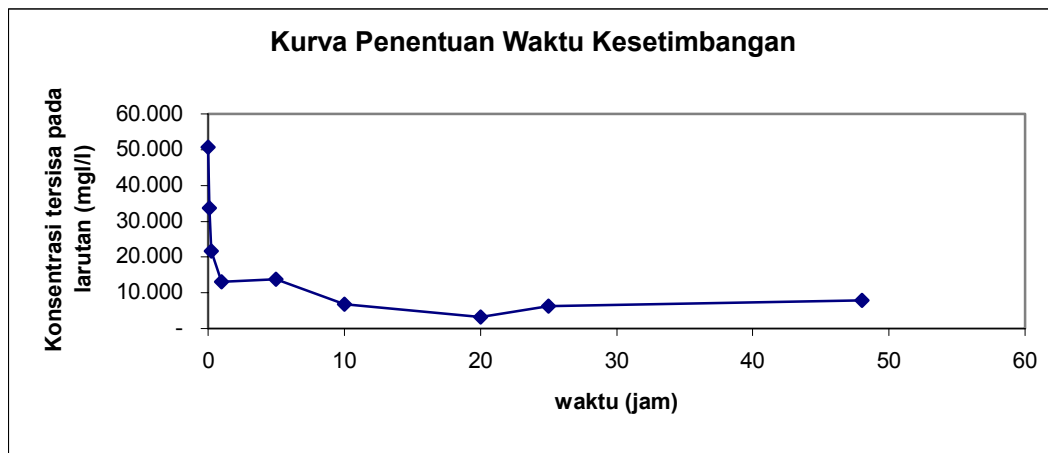
4. Hasil dan Pembahasan

- **Waktu Kesetimbangan Biosorpsi**

Waktu kesetimbangan biosorpsi merupakan waktu yang dibutuhkan agar tercapai keadaan kesetimbangan dimana biosorben telah jenuh dan tidak terjadi lagi sorpsi maupun desorpsi pada permukaan. Hal ini ditunjukkan dari tidak terjadinya lagi perubahan konsentrasi dalam larutan terhadap pertambahan waktu pengkontakkan.

Penentuan waktu kesetimbangan merupakan langkah awal pada percobaan kesetimbangan biosorpsi. Karena semua data kesetimbangan diambil pada waktu tercapainya kesetimbangan.

Gambar 1 menampilkan hasil percobaan waktu kesetimbangan proses adsorpsi Pb^{2+} oleh biosorben *Aspergillus niger* pada pH 5 dan suhu kamar. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa kecepatan biosorpsi logam Pb^{2+} oleh *A. niger* terbagi menjadi dua fase. Fase pertama berlangsung cepat yaitu pada 1 jam pertama. Lebih dari 80% total penjerapan berlangsung pada fase ini. Hasil ini relatif sesuai dengan penelitian sebelumnya, yaitu 71% Cu terjerap oleh *S. Platensis* dalam 18 menit pertamanya (Zhou dkk., 1998), dan 86% dari total Pb yang terjerap mampu diikat oleh *S. Cerevisiae* dalam 10 menit pertama (Nur, 2002).



Gambar 1. Kurva Penentuan Waktu Kesetimbangan

Kecepatan biosorpsi pada fase kedua berlangsung lambat dan mencapai jenuh atau setimbang pada sekitar 24 jam kemudian.

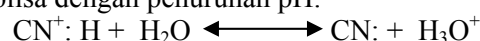
Kecepatan biosorpsi yang tinggi pada fase pertama disebabkan oleh ukuran sel biomassa yang relatif sangat kecil sehingga jumlah total permukaan bidang sentuh cukup luas. Dengan demikian peluang terjadinya interaksi antara ion logam dengan pusat aktif dinding sel masih sangat besar.

Dengan bertambahnya waktu biosorpsi, penambahan logam yang terjerap terlihat semakin mengecil, hal ini disebabkan disamping akibat hampir seluruh pusat dinding sel telah jenuh, juga akibat proses biodegradasi biosorben yang menurunkan kemampuan adsorben dalam mengikat logam. Faktor lain adalah juga disebabkan oleh adanya faktor desorpsi.

Terjadinya fluktuasi konsentrasi logam tersisa untuk waktu biosorpsi setelah satu jam pertama kemungkinan disebabkan oleh adanya desorpsi. Faktor desorpsi terjadi karena sifat biosorben yang kompleks dan lemahnya ikatan yang terjadi sehingga logam yang telah terjerap dapat terlepas kembali. Namun secara umum dapat dikatakan bahwa keadaan telah setimbang setelah waktu 24 jam.

- **Pengaruh pH**

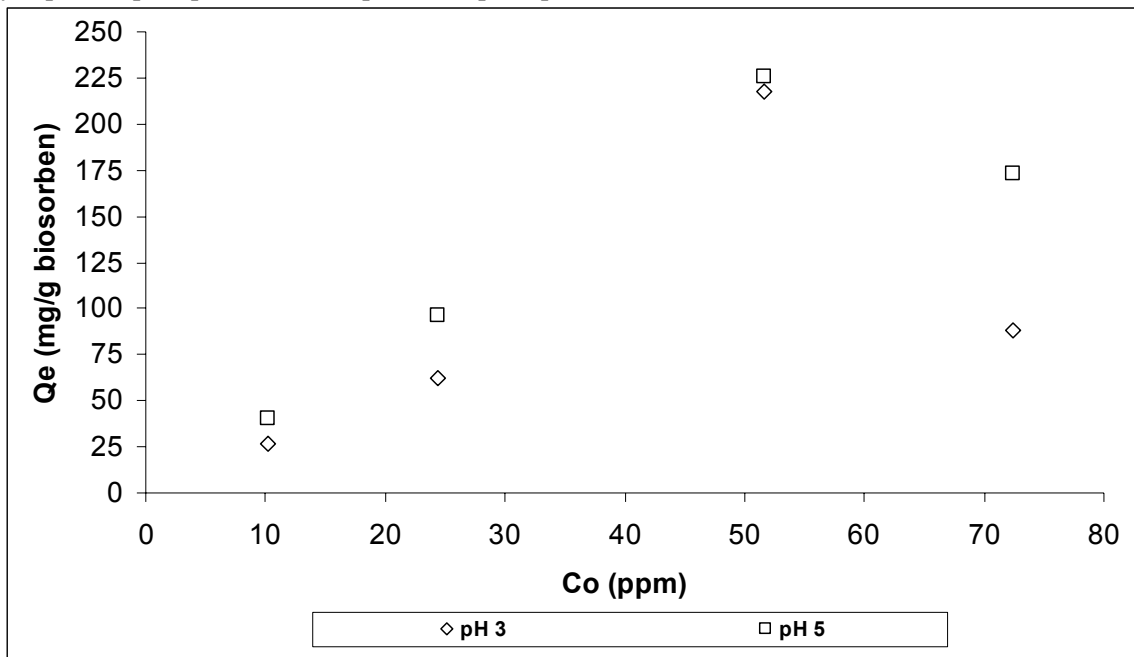
Gambar 2 memperlihatkan hubungan C_0 dengan q_e pada suhu kamar dengan variasi pH. Dari gambar tersebut terlihat bahwa proses adsorpsi pada pH 5 lebih optimal dibandingkan pH 3. Penurunan logam terjerap pada pH 3 disebabkan oleh *chitin* yang merupakan bagian utama dalam pembentukan chitin-logam, terhidrolisa dengan penurunan pH.



pH yang rendah akan menambah konsentrasi H_3O^+ dan meningkatkan kompetisi ion logam berat dengan H_3O^+ untuk membentuk senyawa kompleks dengan chitin. Akibatnya chitin tertutup oleh ion hidronium H_3O^+ , yang membatasi masuknya ion logam. Chitin menjadi lebih bermuatan positif dengan penurunan pH, yang akan menghambat interaksi dengan ion logam yang bermuatan positif, sehingga menurunkan logam yang dapat dijerap.

Data pH 8 tidak ditampilkan karena tidak cukup representatif untuk mewakili proses adsorpsi karena menghasilkan data hasil analisa AAS yang bernilai negatif. Hal ini kemungkinan besar akibat larutan logam mengalami hidrolisa membentuk $Pb(OH)^+$, $Pb(OH)_4^{2-}$, dan mengendap sebagai $Pb(OH)_2$ seiring dengan kenaikan pH, sehingga tidak terdeteksi oleh AAS.

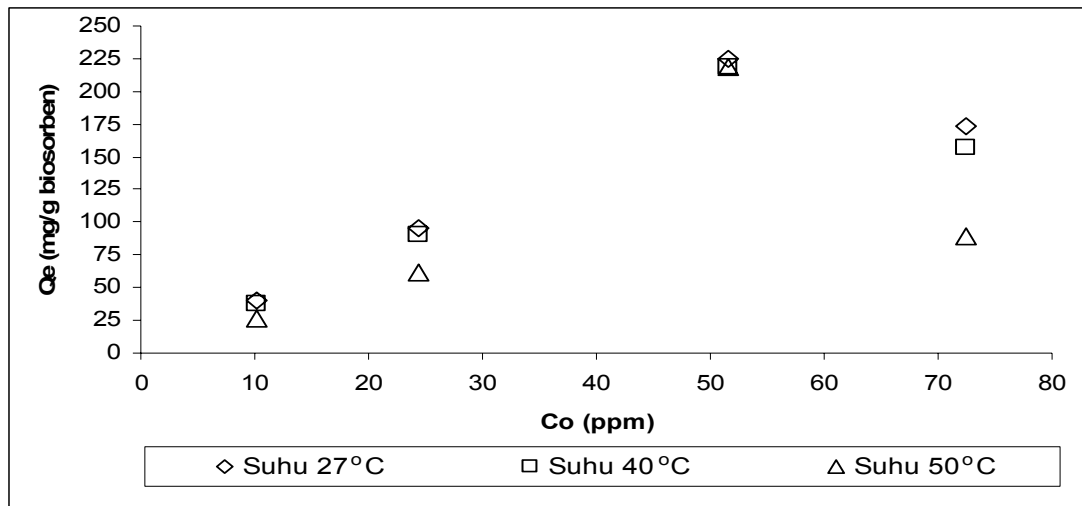
Hasil penelitian ini mendukung penelitian sebelumnya (Ceribasi dkk, 2001) yang meneliti penjerapan Pb dan Ni dengan *Phanerochaete chrysosporium* pada pH 4-6. penelitian tersebut menyimpulkan pH optimum biosorpsi terjadi pada pH 5.



Gambar 2. Biosorpsi Pb^{2+} pada Berbagai pH

- Pengaruh Suhu

Gambar 3 memperlihatkan hubungan C_o dengan q_e pada pH 5 dengan variasi suhu. Dari gambar tersebut terlihat adsorpsi pada suhu kamar relatif lebih optimal daripada suhu yang lebih tinggi. Semakin tinggi suhu maka proses penjerapan yang terjadi semakin lemah. Hal ini terjadi akibat adanya degradasi chitin akibat panas pada permukaan biomassa. Disamping itu kenaikan suhu menyebabkan bertambahnya reaktivitas dan difusifitas ion dalam pori yang akan memperbanyak ion yang dapat terikat pada permukaan, namun di sisi lain bertambahnya reaktivitas menyebabkan ion lebih mudah terlepas kembali dari ikatannya. Kombinasi sorpsi-desorpsi ini menyebabkan penjerapan terlihat semakin menurun dengan kenaikan suhu.



Gambar 3. Biosorpsi Pb^{2+} pada Berbagai Suhu

• **Data Isoterm dan Model Kestimbangan Adsorpsi**

Isoterm adsorpsi merupakan sekumpulan data-data kesetimbangan yang diperoleh dari proses adsorpsi pada suhu tetap. Data tersebut biasanya diplot dalam bentuk kurva dan dapat dianalisis serta didekati dengan menggunakan persamaan/model kesetimbangan adsorpsi. Dalam percobaan ini model yang akan dipakai sebagai penguji adalah Isoterm Langmuir, Isoterm Freundlich dan Isoterm BET. Parameter-parameter yang diperoleh dari model-model tersebut dapat digunakan untuk melihat beberapa karakteristik adsorpsi.

Pengujian model kesetimbangan dilakukan dengan menggunakan regresi linear untuk setiap variasi pH dan suhu biosorpsi, kemudian diperoleh parameter kesetimbangan. Parameter kesetimbangan tersebut dimasukkan kedalam masing-masing persamaan model yang ditinjau, akan diperoleh jumlah Pb^{2+} yang terjerap berdasarkan hasil perhitungan dan kemudian dibandingkan dengan jumlah Pb^{2+} yang terjerap berdasarkan hasil penelitian, sehingga akan diperoleh persentase kesalahan.

Tabel 1 - 4 dan Gambar 4 – 7 menunjukkan data kesetimbangan adsorpsi Pb hasil percobaan dan simulasi model pada berbagai variasi suhu dan pH. Dari tabel dan gambar tersebut terlihat bahwa data kesetimbangan hasil percobaan secara umum relatif mengikuti bentuk kurva kesetimbangan adsorpsi pada umumnya, dimana kurva melengkung pada pasangan data q_e dan C_e yang rendah dan kemudian membentuk kurva ke arah horizontal pada pasangan data q_e dan C_e yang tinggi.

Tabel 1. Data kesetimbangan hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 3 suhu kamar.

Ce	Qe	Qe model		
		Langmuir	Freundlich	BET
0,8208	46,994	46,2796	42,7868	-12,4737
18,208	30,942	57,7928	66,7107	51,0194
25,886	128,43	57,9948	70,1602	29,6944
55,596	83,945	58,2528	78,2826	55,3958
Ralat (%)		43,44	44,17	58,59

Tabel 2. Data kesetimbangan hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu kamar

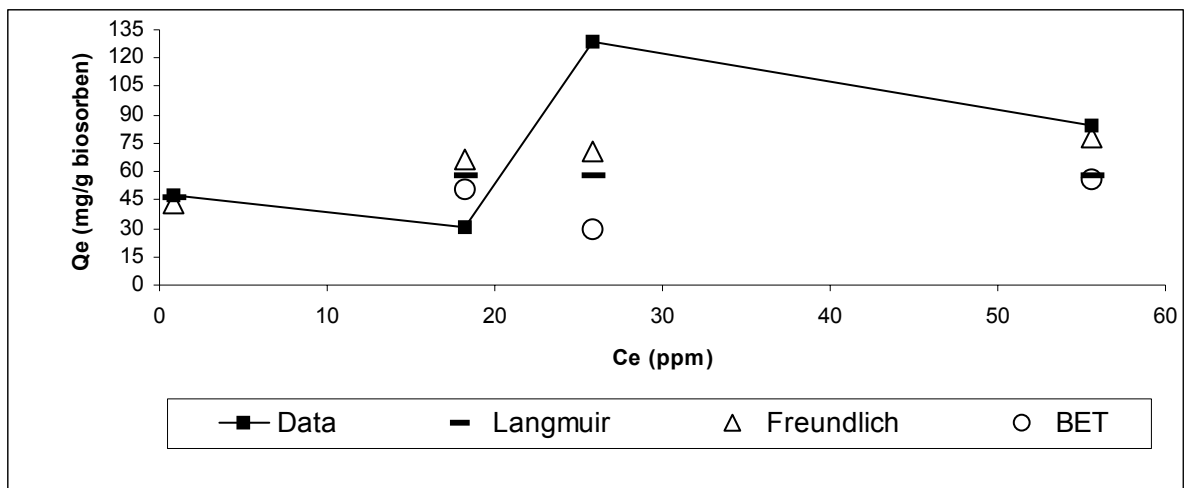
Ce	Qe	Qe model		
		Langmuir	Freundlich	BET
2,1486	40,355	42,6242	64,4675	76,7049
5,2125	95,919	95,2969	95,7453	77,466
6,477	225,48	114,703	105,491	56,1848
37,795	172,95	376,772	232,076	159,767
Ralat (%)		43,31	36,83	33,98

Tabel 3. Data kesetimbangan hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu 40⁰C

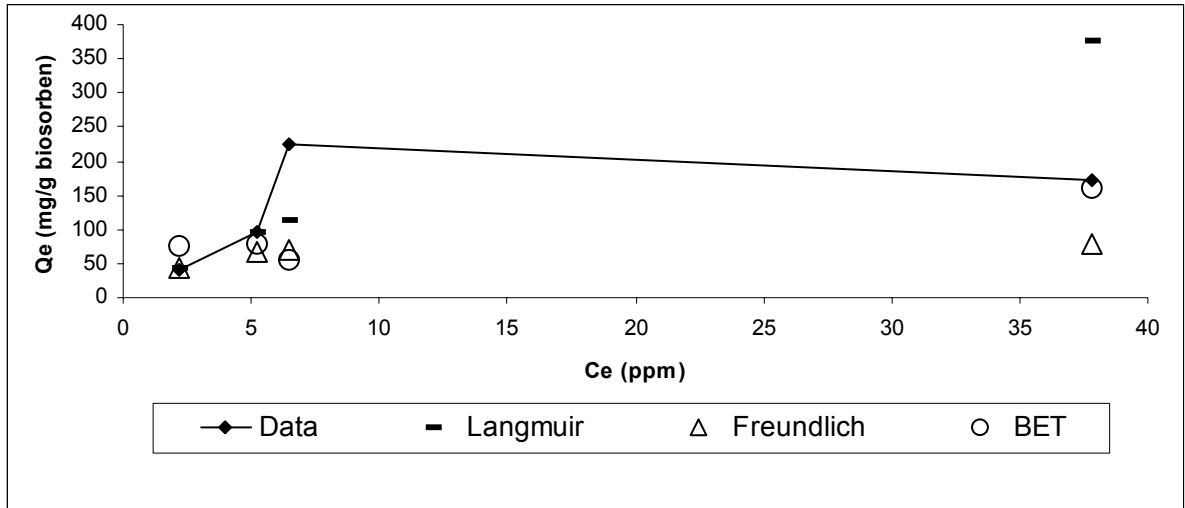
Ce	Qe	Qe model		
		Langmuir	Freundlich	BET
2,7393	37,401	39,7501	60,3189	72,0957
6,3558	90,203	87,1957	89,6338	70,8387
7,9641	218,04	106,671	99,6724	52,5188
40,8576	157,64	368,607	215,162	139,969
Ralat (%)		48,63	38,17	50,34

Tabel 4. Data kesetimbangan hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu 50⁰C

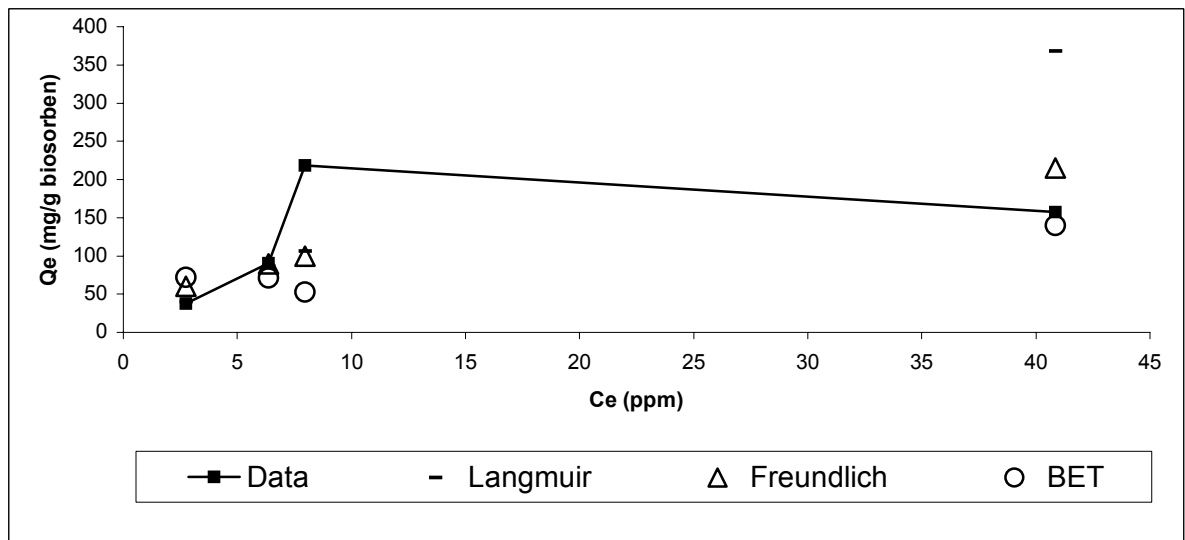
Ce	Qe	Qe model		
		Langmuir	Freundlich	BET
4,953	26,333	33,7104	60,4304	41,8525
11,994	62,012	69,3377	73,9903	42,285
7,9641	218,04	50,3837	67,3706	51,4645
54,669	88,583	165,224	104,705	81,256
Ralat (%)		50,81	59,03	43,8543



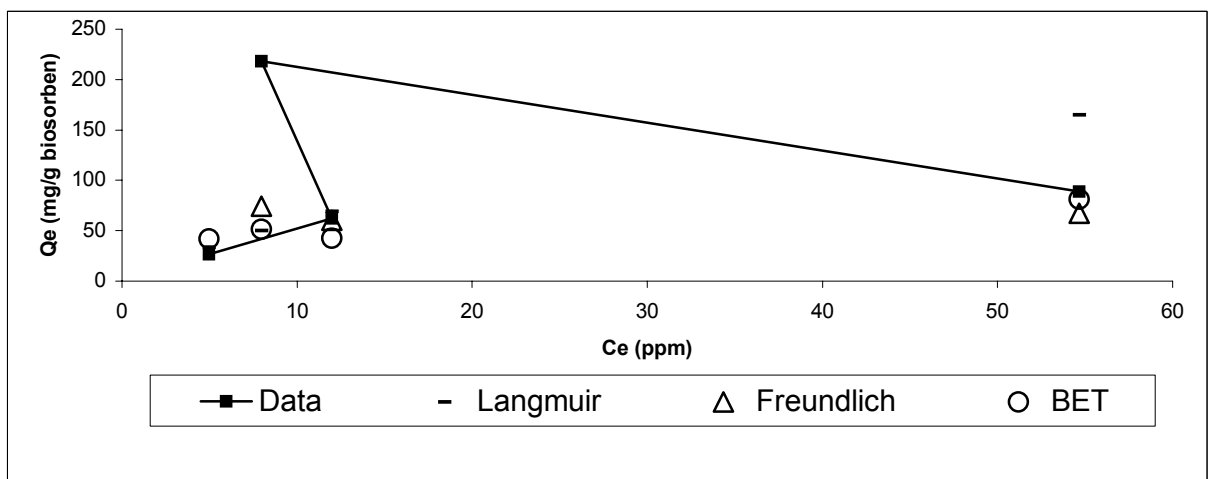
Gambar 4. Kurva kesetimbangan adsorpsi dari data hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 3 suhu kamar



Gambar 5. Kurva kesetimbangan adsorpsi dari data hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu kamar



Gambar 6. Kurva kesetimbangan adsorpsi dari data hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu 40°C



Gambar 7. Kurva kesetimbangan adsorpsi dari data hasil percobaan dan perhitungan model pada pH 5 suhu 50°C

Tabel 5. Tabulasi ralat pada berbagai model

Parameter		% kesalahan		
		Langmuir	Freundlich	BET
Pada pH 3 suhu kamar		43,44	44,17	58,59
Pada pH 5	suhu kamar	43,31	36,83	33,98
	suhu 40 °C	48,63	38,17	50,34
	suhu 50 °C	50,81	59,03	43,85
Rata-rata ralat		46,55	44,55	46,69

Dari data kesetimbangan hasil perhitungan simulasi model, terlihat memberikan rata-rata ralat yang relatif hampir sama besar baik model Langmuir, Freundlich maupun BET (Tabel 5). hal ini mengindikasikan bahwa penyerapan yang terjadi merupakan sistem yang cukup kompleks dengan kombinasi dari berbagai mekanisme.

Besarnya ralat pada ketiga model disebabkan oleh asumsi-asumsi yang dipakai dalam penyusunan model. Isoterm Langmuir dan BET mengasumsikan adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi kimia, sedangkan isoterm Freundlich mengasumsikan adsorpsi yang terjadi adalah secara fisis. Ketiga model ini tidak mempertimbangkan adanya adsorpsi secara kimia fisis secara bersamaan. Besarnya ralat pada ketiga model disebabkan juga oleh adanya ion yang terjebak pada pori adsorben yang tidak dapat didekati dengan mekanisme interaksi seperti yang diasumsikan baik pada model Freundlich, Langmuir maupun BET.

• **Parameter Kesetimbangan Adsorpsi**

Tabel 6 menunjukkan rekapitulasi parameter dari model-model yang dipakai. Salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai dasar bagi perancangan sistem biosorpsi adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi langmuir (K_L). Dengan nilai K_L pada kondisi optimum (suhu kamar dan pH 5) sebesar 0,0295 l/mg

Tabel 6. Parameter model kesetimbangan adsorpsi pada berbagai variasi pH dan suhu

Suhu		Konstanta Langmuir		Konstanta Freundlich		Konstanta BET	
		Q^0	K_L	K_F	n	K_{BET}	Q^0
27°C	pH 3	58,48	4,62	44,015	6,978	-5,061	12,15
	pH 5	714,28	0,0295	45,82	2,241	10	83,33
40°C		909,091	0,0167	37,54	2,125	11,846	64,93
50°C		270,27	0,0287	41,899	4,368	-9,811	19,23

Secara teoritis, nilai konstanta kesetimbangan merupakan fungsi suhu yang dinyatakan dengan persamaan (Do, 1998),

$$K = K_0 \exp\left(-\frac{\Delta H}{RT}\right)$$

atau dalam bentuk linier

$$\ln K = \ln K_0 - \frac{\Delta H}{RT}$$

Dengan memasukkan harga K_L pada Tabel 6 untuk setiap variasi suhu ke persamaan di atas maka diperoleh hubungan antara konstanta kesetimbangan dengan suhu :

$$K = 0,00742205 \exp\left(-\frac{368,52}{T}\right)$$

sehingga diperoleh nilai panas adsorpsi (ΔH) sebesar $-0,73225$ kcal/mol $^{\circ}K$.

5. Kesimpulan

1. Waktu kesetimbangan biosorpsi Pb^{2+} dengan *Aspergillus niger* tercapai pada saat pengontakan larutan logam dengan biosorben sekitar 24 jam, dimana penyerapan maksimum terjadi pada 1 jam pertama, yaitu sekitar 80% logam Pb^{2+} terjerap oleh biomassa *Aspergillus niger*.
2. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh suhu dan pH. Adsorpsi optimum terjadi pada pH 5 dan suhu $27^{\circ}C$.
3. Adsorpsi Pb oleh biomassa *Aspergillus Niger* merupakan sistem yang cukup kompleks dengan kombinasi berbagai mekanisme. Hal ini terlihat dari ralat rata-rata berbagai model yang diajukan.
4. Nilai konstanta kesetimbangan Langmuir sebesar $K_L = 0,0295$ l/mg dan nilai panas adsorpsi (ΔH) sebesar $-0,73225$ kcal/mol $^{\circ}K$.

Daftar notasi

q_e	Jumlah adsorbat terjerap per berat adsorben pada kesetimbangan (mg/g sorben)
q°	Kapasitas jerap maksimum adsorben (mg/g sorben)
C_e	Konsentrasi logam pada larutan saat kesetimbangan (mg/l)
C_0	Konsentrasi awal larutan atau kelarutan maksimum adsorbat di larutan (mg/l)
K	Konstanta kesetimbangan adsorpsi pada isoterm Langmuir (l/mg)
K_f	Konstanta pada isoterm adsorpsi Freundlich, (l/mg) ⁿ
n	Konstanta heterogenitas pada isoterm Freundlich
d	Konstanta isoterm BET.

Daftar Pustaka

- [1] BAPEDAL Riau. (2000). *Studi Eksploratif Daerah Aliran Sungai (DAS) Siak di Provinsi Riau*. Pekanbaru: Pemerintah Daerah Provinsi Riau
- [2] Bereket, G., Aroguz, A.Z. & Azel, M.Z. (1997). Removal of Pb(II), Cd(II) and Zn(II) from Aqueous Solution by Adsorption in Bentonite. *J. Colloid and Interface Sci*, 187, 338-343.
- [3] Do, D.D. (1998). Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics. Vol 1, 213 – 216, Imperial College Press, London.
- [4] Nur, A., Supranto & Rochmadi. (2002). *Model Kesetimbangan Biosorpsi Zn dengan Biomassa Mati Aspergillus Niger*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses tahun 2002, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [5] Periasamy, K. & Namavikayam, C. (1994). Process Development for Removal and Recovery of Compadium from Waste Water by A Low Cost Adsorbent: Adsorption rates and Equilibrium Studies. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 33: 317-320.
- [6] Sunarno, Mujiah, U., Bendiyasa, I.M. (2003). *Kinetika Pertukaran Kation pada Penyerapan Cr^{3+} dengan Bentonit Teraktivasi*. Prosiding Seminar Nasional Kejuangan Teknik Kimia UPN Veteran Yogyakarta Tahun 2003, UPN Veteran Yogyakarta, Yogyakarta.
- [7] Tsezos, M and Volesky, B. (1981). Biosorption of Uranium and Thorium. *Biotechnol. Bioeng*, 23, 583 – 604.
- [8] Zhou, J.L., Huang, P.L. and Liu, R.G. (1998). Sorption and desorption of Cu and Cd by macroalgae and microalgae. *Environmental Pollution*, 101, 67 – 75.

Filename: makalah eko, pak amun
Directory: C:\Documents and Settings\bundo\My Documents\My Documents
Template: C:\Documents and Settings\bundo\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title: Perbandingan Model Kesetimbangan Adsorpsi
Subject:
Author: User
Keywords:
Comments:
Creation Date: 23/11/2006 10:53:00
Change Number: 11
Last Saved On: 02/12/2006 13:55:00
Last Saved By: bundo
Total Editing Time: 25 Minutes
Last Printed On: 02/12/2006 13:55:00
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 10
Number of Words: 3.641 (approx.)
Number of Characters: 20.755 (approx.)

