

## **Kinetika Adsorpsi Ion Besi (II) Oleh Biomassa *Chaetoceros* sp.**

### **Adsorption Kinetic of Ferrous (II) Ion by *Chaetoceros* sp. Biomass**

**Paini Sri Widyawati**

*Fakultas Teknologi Pertanian Unika Widya Mandala Surabaya  
Jl. Dinoyo 42-44 Surabaya Telp. (031) 5678478/Ext 224 E-mail: paini@mail.wima.ac.id*

#### **Abstract**

**This research was done to study the adsorption kinetic of ferrous ionic by *Chaetoceros* sp. Many variables influenced the adsorption capacity of absorbent on ferrous ionic including interaction time, ferrous ionic concentration and pH. Two absorbens were used in this study i.e. pure culture and natural spoiled product called *Diatomite/Diatomae earth / Diatomaceous earth / Diatomooze* of *Chaetoceros* sp. biomass. The adsorption capacity by biomass was measured by atomic absorption spectrophotometry method (AAS). The result showed that the adsorption process of two absorbents happened very fast. The time needed to get maximal adsorption were 10 and 15 minutes respectively. Adsorption pattern of two biomass can be interpreted by Langmuir and Freundlich isotherm showing monolayer. The adsorption capacity of *Diatomite* was five times higher than that of the pure culture biomass because it was influenced by surface group charge and wide surface area of porous. Acidity degree (pH) of solution determined surface active group charge and solubility of iron (II). The increased pH value, the biomass adsorption capacity was added because surface active group had negative charge. The adsorption of biomass was maximal around pH 5 while for pH higher than 5, it wasn't significantly increased because the iron (II) formed insoluble hydroxide compound.**

**Key words:** *Chaetoceros* sp. biomass, adsorption, kinetic, ferrous ion

Diterima: 27 Agustus 2005, disetujui: 02 Agustus 2006

## **Pendahuluan**

Pencemaran lingkungan perairan, terutama oleh logam seperti Cd, Pb, Hg, Fe, dan Cu merupakan masalah sangat penting, sebab lingkungan akuatik pendukung utama sistem kehidupan (Ledin *et al.*, 1997; Nugroho dan Sucahyo, 2000). Akibat pencemaran lingkungan terjadi akumulasi logam dalam ekosistem dan rantai makanan sehingga membahayakan kehidupan akuatik dan penurunan kualitas air (Stary *et al.*, 1983; Slaveykova and Wilkinson, 2002; Stirk and Staden, 2002). Teknologi saat ini telah berhasil meremidiasi logam-logam tersebut melalui proses presipitasi, filtrasi, *ion exchange*, elektrolisis, proses membran dan evaporasi. Pada dasarnya proses-proses tersebut relatif

sangat mahal dan dipengaruhi oleh asam dan garam (Aderhold *et al.*, 1996; Hassler *et al.*, 2004). Oleh karena itu diperlukan proses penghilangan logam-logam di perairan yang relatif cepat, murah, dan mudah.

Biosorpsi adalah metode yang efisien dan murah untuk menghilangkan ion logam dari larutan dan dapat digunakan untuk mengontrol pencemaran oleh industri. Biosorpsi biasanya digunakan material yang berasal dari tanaman atau hewan untuk mengabsorpsi ion logam. Keterlibatan proses metabolisme menentukan hasil pemantauan pencemaran lingkungan (Stary *et al.*, 1983). Penggunaan biota merupakan metode alternatif penanganan pencemaran yang murah untuk mengubah dan memperbaiki lingkungan. Secara teknik dan komersial penggunaan biot

dalam menangani masalah lingkungan sangat menarik (Noegrohati dan Narsito, 1990). Proses biosorpsi melibatkan sejumlah mekanisme, seperti: *ion exchange*, kelating, adsorpsi fisika dan penyerapan ion. Proses sorpsi yang terjadi pada makhluk hidup terjadi secara aktif dan pasif, sedangkan pada makhluk hidup yang mati secara pasif (Stirk and Staden, 2002; Cossich *et al.*, 2001).

Berbagai penelitian telah difokuskan untuk mengidentifikasi kemampuan fitoplankton dalam menurunkan tingkat pencemaran perairan, dengan melibatkan biosorpsi aktif dan pasif (Hamdy, 2000; Nugroho dan Sucahyo, 2000). Penggunaan sel mikroba mati lebih menguntungkan, karena tidak dipengaruhi oleh limbah toksik. Selain itu penggunaan sel mikroba lebih menguntungkan karena tangkapan sel mikroba cepat (antara 0,5 sampai 3 jam), bersifat selektif, faktor biokonsentrasi tinggi (sebesar  $10^4$  sampai  $10^6$ ) hal ini terkait dengan luas permukaan yang lebih besar dari volumenya (Harris and Ramelow, 1990; Cossich *et al.*, 2001; Stirk and Staden, 2002;).

Fitoplankton *Chaetoceros* sp. merupakan ganggang kersik yang tepat digunakan sebagai adsorben karena ukurannya yang sangat kecil dengan luas permukaan besar sehingga dapat menangkap ion-ion logam dalam perairan secara cepat dalam waktu yang singkat dan diperoleh faktor konsentrasi yang tinggi (Noegrohati dan Narsito, 1990).

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kinetika adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. yang diperoleh dari kultur murni terhadap ion logam besi (II) serta membandingkan dengan tanah Diatomae yang diperoleh dari proses pembusukan biomassa *Chaetoceros* sp. secara alami dalam waktu yang lama.

## Metode Penelitian

Biomassa fitoplankton *Chaetoceros* sp yang telah mati secara alami melalui proses sedimentasi diperoleh dari limbah Sangiran, yang untuk selanjutnya disebut tanah Diatomae dan biomassa yang diperoleh dari kultur murni fitoplankton di laboratorium melalui proses

*freeze drying*, bibit fitoplankton *Chaetoceros* sp. diperoleh dari Balai Budidaya Air Payau Jepara.

Bahan kimia yang digunakan meliputi:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , kertas whatmann 42, akuades, kertas pH universal,  $\text{FeCl}_3$ , EDTA,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , dan Vitamin B<sub>12</sub>.

### Penetapan lama adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp.

Biomassa seberat 15 mg ditambahkan dengan 10 ml larutan besi (II) 10 ppm, interaksi antara kedua campuran tersebut dilakukan dengan waktu secara berturutan sebagai berikut: 5, 10, 15, 30 dan 60 menit, selanjutnya campuran disaring dengan *funnel* untuk memperoleh filtrat. Konsentrasi ion besi (II) dalam filtrat yang diperoleh dianalisis dengan metode spektrofotometri serapan atom dengan menggunakan kurva standar, konsentrasi yang terukur sebagai konsentrasi ion besi (II) yang tidak teradsorpsi atau keseimbangan. Selanjutnya dilakukan perbandingan lama adsorpsi ion besi (II) pada biomassa hasil kultur dan tanah *diatomae*.

### Penetapan kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. pada berbagai konsentrasi ion besi (II)

Biomassa seberat 25 mg ditambahkan secara berturutan 10 ml larutan besi (II) dengan konsentrasi secara berturutan sebagai berikut: 1, 3, 5, 10, 15, 30 dan 50 ppm, interaksi antara biomassa dengan larutan besi (II) dilakukan dengan lama interaksi disesuaikan dengan data yang diperoleh pada percobaan penetapan lama adsorpsi ion besi (II) (waktu adsorpsi maksimum). Selanjutnya konsentrasi ion besi (II) dalam filtrat ditentukan sesuai dengan percobaan sebelumnya.

### Penetapan kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. terhadap ion besi (II) pada berbagai variasi pH

Biomassa *Chaetoceros* sp. seberat 25 mg ditambahkan 10 ml larutan ion besi (II) dengan konsentrasi secara berturutan sebagai berikut : 2, 6 dan 10 ppm untuk masing-masing pH yaitu 0,5, 1, 2, 2,5, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5, 7, 10,

selanjutnya dengan cara yang sama seperti percobaan sebelumnya ditentukan konsentrasi ion besi (II) dalam filtrat.

### Analisis Data

Data yang diperoleh pada percobaan digunakan untuk menentukan konsentrasi ion besi (II) yang dapat teradsorpsi pada biomassa *Chaetoceros* sp. Konsentrasi ion besi (II) yang teradsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Thakur, 2001):

$$C_t = C_a - C_{tt}$$

Keterangan:

$C_t$  = konsentrasi ion besi (II) teradsorpsi

$C_a$  = konsentrasi ion besi (II) awal

$C_{tt}$  = konsentrasi ion besi (II) tidak teradsorpsi

### Hasil dan Pembahasan

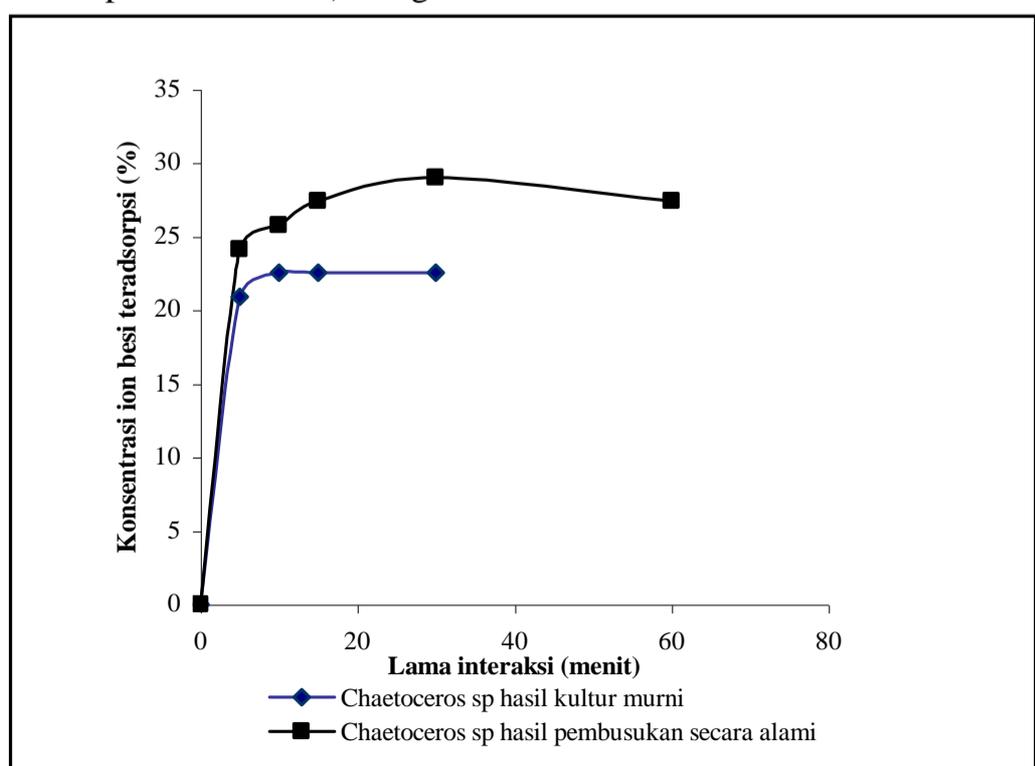
Akumulasi ion logam dalam biomassa biota perairan dapat berlangsung melalui berbagai cara mulai dari pembentukan ikatan lemah seperti fisik sampai pembentukan ikatan yang relatif kuat seperti pembentukan ikatan kompleks. Interaksi antara ion logam dengan bahan organik alamiah atau buatan dapat melalui mekanisme seperti berikut :1). Gugus

karbosiklik dari asam organik membentuk garam, 2). Adanya atom donor elektron seperti O, N, S, P yang dapat membentuk ikatan koordinasi, 3). Adanya gugus donor elektron phi ( $\pi$ ) seperti gugus olefinik, cincin aromatik (Cotton and Wilkinson, 1989).

Proses adsorpsi ion logam pada biomassa dipengaruhi oleh konsentrasi ion logam; waktu interaksi; sifat fisika kimia dari ion logam yang meliputi: kelarutan, ukuran molekul dan muatan; temperatur; salinitas; efek kompetisi dengan senyawa lain, pH maupun kekhasan dan komposisi adsorben yang meliputi: kandungan air, kandungan bahan organik dan pH (Fisher, 1986; Demon *et al* 1989)

### Pengaruh lama adsorpsi terhadap kemampuan adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp.

Berdasarkan Gambar 1 diketahui bahwa waktu adsorpsi maksimum biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni tercapai pada waktu 10 menit sebesar 23% sedangkan hasil pembusukan secara alami tercapai pada waktu 15 menit sebesar 27%. Perbedaan waktu adsorpsi ini disebabkan perbedaan komposisi senyawa dalam biomassa.



**Gambar 1.** Pengaruh lama adsorpsi terhadap kemampuan adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp.

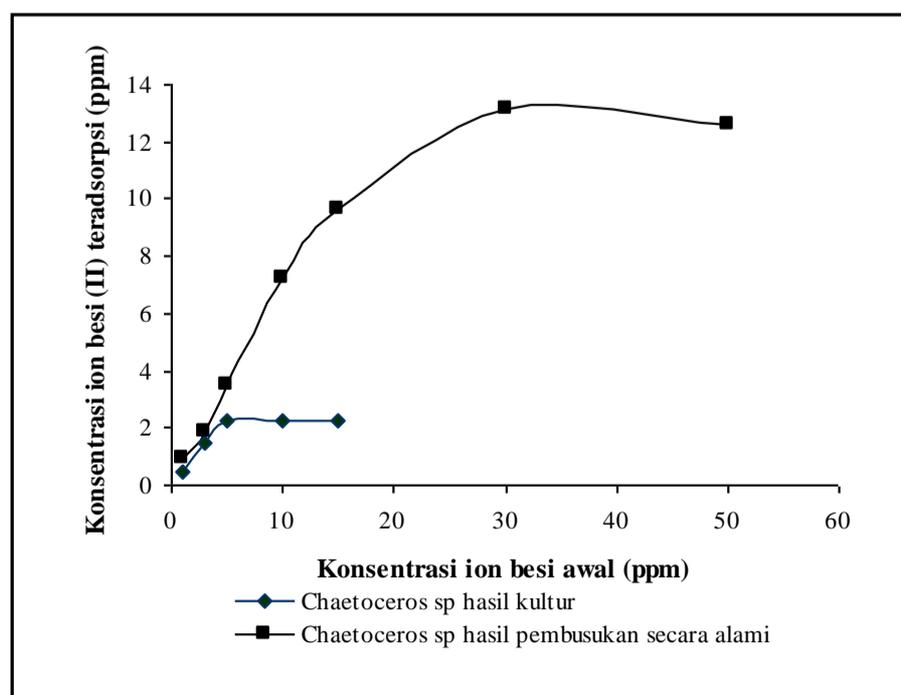
### Kinetika Adsorpsi Ion Besi

Menurut Noegrohati dan Narsito (1990) biomassa hasil kultur murni mengandung protein 35%, karbohidrat 6,8%, lemak 6,9% dan abu 28%, karena *Chaetoceros* sp. termasuk fitoplankton yang dinding selnya tersusun atas zat pektin yang lunak terselubungi zat kersik /silikat ( $\text{SiO}_2$ ) dengan perbandingan C : Si = 2 : 5, maka abu dari biomassa tersebut terutama tersusun atas silikat, sedangkan tanah diatomae hanya tersusun atas *frustule* atau kerangka dinding sel terutama terdiri atas silikat ( $\text{SiO}_2$ ) 86,89%, alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 2,32%, ferri oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) 1,28%, kapur ( $\text{CaO}$ ) 0,43%, kalium oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ) 3,58%, dengan demikian tanah ini bersifat porous dengan luas permukaan sekitar 0,5-1  $\text{m}^2/\text{g}$  (Sahlan, 1978).

Kedua macam biomassa merupakan hasil pembusukan sel makhluk hidup, sehingga proses adsorpsi yang terjadi secara pasif melalui mekanisme pertukaran kation, kelating, penjerapan ion maupun adsorpsi (Haris and Ramelow, 1990). Kemampuan adsorpsi tanah Diatomae lebih besar dari biomassa kultur murni, hal ini disebabkan perbedaan komposisi kedua biomassa. Tanah *diatomae* mempunyai jumlah pori lebih besar sehingga adsorpsi melibatkan mekanisme penjerapan ion logam dalam pori, interaksi gugus aktif pada permukaan adsorben, yaitu gugus siloksan ( $\text{SiO}$ ) yang bersifat polar serta pertukaran

kation dengan melibatkan ion kalsium dan kalium (Stirk and Staden, 2002). Sedangkan kemampuan adsorpsi biomassa kultur murni lebih mengikuti mekanisme kelating dengan melibatkan gugus fungsional senyawa organik seperti: protein, karbohidrat dan lemak sebagai pengompleks, ion *exchange* dan interaksi gugus aktif siloksan. Dengan demikian peran pori dalam biomassa sangat dominan dalam menentukan kapasitas adsorpsi adsorben (Haris and Ramelow, 1990; Stirk and Staden, 2002).

Gambar 2 menunjukkan pengaruh berbagai variasi konsentrasi ion besi (II) terhadap kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni dan pembusukan secara alami. Kemampuan adsorpsi maksimum biomassa hasil kultur murni tercapai pada konsentrasi 5 ppm, sedangkan tanah diatomae tercapai pada konsentrasi 30 ppm. Berdasarkan pola kurva adsorpsi pada Gambar 2 terlihat bahwa proses adsorpsi berlangsung dua tahap, yaitu tahap adsorpsi ion besi (II) berlangsung secara cepat dan tahap yang berlangsung secara lambat. Tahap pertama terjadi karena permukaan adsorben belum jenuh akan ion besi (II), sedangkan tahap kedua terjadi karena permukaan adsorben mulai jenuh ion besi (II) hingga mencapai kejenuhan yang ditandai tercapai adsorpsi maksimum.



**Gambar 2.** Kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. terhadap ion besi (II) diberbagai variasi konsentrasi

Pola adsorpsi yang terjadi pada kedua biomassa dapat diketahui melalui isoterm Freundlich dan Langmuir. Menurut Freundlich persamaan adsorpsi dinyatakan sebagai berikut:

$$m = k C^n$$

$$\log m = \log k + n \log C$$

Keterangan:

m: jumlah mg teradsorpsi pergram absorben

C: konsentrasi pada saat keseimbangan / tidak teradsorpsi

k dan n: konstanta. (Bahl, *et al.*, 2005)

Dengan mengukur m sebagai fungsi C dan memplot log m terhadap log C, maka harga n dan k dapat ditentukan dari slope dan intersep. Isoterm ini dapat menentukan orde dan konstanta adsorpsi serta pola adsorpsi yang terjadi (cenderung multilayer). Isoterm Langmuir dinyatakan sebagai berikut :

$$m = \frac{b K C}{1 + K C}$$

$$C / m = 1 / K b + 1 / b C$$

Keterangan:

m:jumlah mg teradsorpsi per gram absorben

C:konsentrasi pada saat keseimbangan/tidak teradsorpsi

K:parameter afinitas adsorpsi yang menyatakan kekuatan ikatan/besarnya energi ikatan antara zat yang diadsorpsi dan absorben

b:parameter kapasitas yang menyatakan kemampuan adsorpsi maksimum absorben (Bahl *et al.*, 2005).

Parameter r pada model isoterm Freundlich dan Langmuir menunjukkan nilai korelasi antara variabel terikat dan bebas ternyata pola isoterm adsorpsi pada biomassa hasil kultur murni cenderung mengikuti isoterm Langmuir, yang berarti pola adsorpsi yang terjadi cenderung monolayer dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 95,05 mg/g dan energi adsorpsi 129,95 Kal/mol. Berdasarkan besarnya energi yang terlibat menunjukkan bahwa interaksi yang terjadi antara absorben dengan ion besi (II) sangat lemah, yaitu sebesar ikatan hidrogen atau gaya van der waals. Oleh karena itu tipe adsorpsi yang terjadi fisisorpsi (Sukarjo, 1997; Bahl *et al.*, 2005).

**Tabel 1.** Data isoterm Freundlich dan Langmuir adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni

C (ppm)	m (mg/g)	C/m	Log C	Log m
0.329	19.988	0.017	-0.483	1.301
1.578	59.960	0.026	0.198	1.778
3.077	89.932	0.034	0.488	1.954
8.073	89.936	0.089	0.907	1.954
13.319	89.936	0.148	1.125	1.954

**Tabel 2.** Parameter isoterm Freundlich dan Langmuir pada biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni

Isoterm Freundlich			Isoterm Langmuir			
r	k	n	r	K	b (mg/g)	E (Kal/mol)
0.919	40.429	0.412	0.997	1.238	95.057	129.95

**Tabel 3.** Data isoterm Freundlich dan Langmuir adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp. hasil pembusukan secara alami

C (ppm)	m (mg/g)	C/m	Log C	Log m
0	38,184	0	-	1,582
0,687	75,016	0,009	-0,163	1,875
1,490	139,320	0,011	0,173	2,144
3,098	289,352	0,011	0,491	2,461
6,045	385,800	0,016	0,781	2,586
17,833	525,116	0,034	1,251	2,720
36,588	503,684	0,073	1,563	2,702

Hal yang sama, ditunjukkan pada hasil pola adsorpsi tanah diatomae juga mengikuti isotherm Langmuir, yang berarti isotherm monolayer dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 550,812 mg/g dan energi adsorpsi -592,14 Kal/mol. Berdasarkan besarnya energi yang terlibat menunjukkan ikatan yang terjadi antara ion besi (II) dengan biomassa termasuk fisisorpsi (Sukarjo,1997).

### **Pengaruh pH pada kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. terhadap ion besi (II)**

Tingkat kelarutan ion besi (II) dipengaruhi oleh pH larutan (Stirk and Staden, 2002; Deleebeeck *et al.*, 2005). Menurut Sary *et al.*, (1983), Nugroho dan Sucahyo (2000), dan Slaveykova and Wilkinson (2002), di dalam lingkungan perairan kelarutan logam pada prinsipnya diatur oleh: 1) pH, 2) jenis dan konsentrasi ligan dan zat pengkelat, 3) tingkat oksidasi komponen mineral dan lingkungan redoks sistem perairan tersebut.

Menurut Deleebeeck *et al.*, (2005); Stirk and Staden, (2002), bahwa kemampuan adsorpsi ion besi (II) pada permukaan situs aktif biomassa berkurang disebabkan adanya 1). pengendapan ion logam, 2) proses hidrolisis logam, 3) pengendapan spesies hasil hidrolisis, 4) kompetisi antara ion logam dengan proton pada situs aktif absorben, 5) perubahan muatan gugus aktif permukaan. Gambar 3 menunjukkan kemampuan adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni terhadap ion besi (II) pada berbagai variasi pH dari 0,5 sampai 10. Secara umum dapat dinyatakan bahwa kemampuan adsorpsi biomassa terhadap ion besi (II) meningkat seiring dengan bertambahnya pH larutan. Adsorpsi maksimum terjadi pada pH sekitar 5 sedangkan pH di atas 5 tidak terjadi peningkatan secara signifikan.

*Chaetoceros* sp. merupakan fitoplankton dengan dinding sel tersusun atas senyawa silika, yang memiliki gugus aktif siloksan (SiO) yang bersifat polar, mengandung protein yang bersifat bipolar dan karbohidrat yang mempunyai gugus fungsi polar. Pada pH di atas 5, permukaan *Chaetoceros* sp. praktis

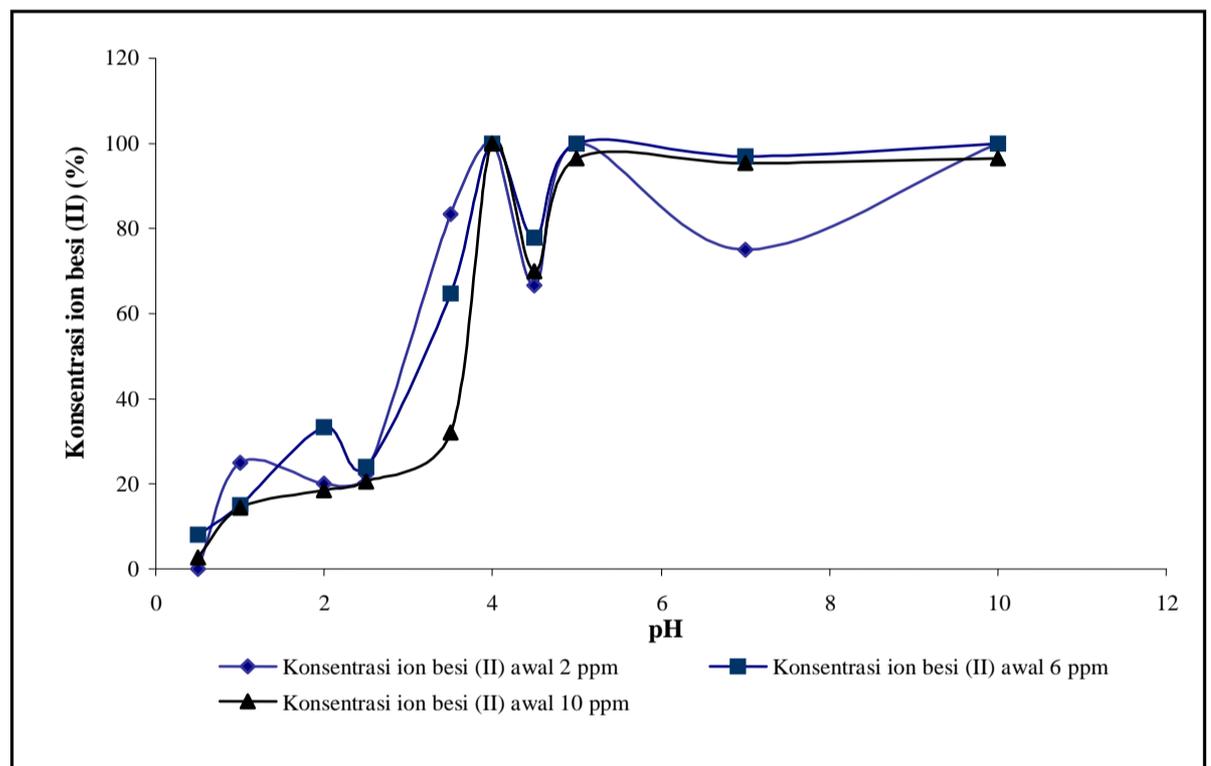
mempunyai muatan negatif sehingga memiliki kemampuan menyerap ion logam lebih besar, sedangkan pada pH di bawah 5 situs aktif pada absorben bermuatan positif sehingga kemampuan mengadsorpsi ion besi semakin berkurang dengan semakin rendahnya pH, selain itu dengan menurunnya pH larutan menyebabkan terjadi persaingan yang cukup ketat antara ion besi (II) dengan ion hidrogen (proton) (Stirk and Staden, 2002; Deleebeeck *et al.*, 2005).

Secara alamiah ion besi yang dapat diadsorpsi oleh biomassa adalah dalam bentuk kation terhidrat, yaitu bentuk molekul dalam kondisi terkomplekskan secara ikatan koordinasi (Muljopawiro, 2000). Kenaikan pH larutan dapat meningkatkan konsentrasi ion hidroksida, sehingga menurunkan konsentrasi ion besi dalam larutan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa meningkatnya pH dapat membuat permukaan situs aktif absorben bermuatan negatif, mengubah bilangan oksidasi ion besi (II) menjadi besi (III) serta dapat mengendapkan ion besi (menurunkan kelarutan).

Cotton dan Wilkinson (1989), Shriver *et al.*, (1990), dan Ledin *et al.*, (1997) menyatakan bahwa ion besi dalam kondisi larutan asam (pH 2-3) terhidrolisis secara sempurna membentuk  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})]^{2+}$ . Kenaikan pH 2-3 terjadi kondensasi ion besi terhidrat membentuk spesies dinuklir, sedangkan pH di atas tersebut menyebabkan terbentuknya hidroksida logam  $[\text{Fe}(\text{OH})_2]$  yang berupa kristal. Oleh karena itu dari data Gambar 3 pH di atas 5 yang diperkirakan sekitar 100% ion logam besi teradsorpsi oleh biomassa adalah tidak tepat, namun secara jelas dapat diungkapkan bahwa meningkatnya pH larutan dapat memperbesar kemampuan adsorpsi ion besi pada biomassa sejauh tidak terjadi penurunan tingkat kelarutan ion tersebut, hal ini dikarenakan semakin tingginya pH larutan menyebabkan situs permukaan absorben bermuatan negatif. Hasil ini mendukung penelitian dari Ledin *et al.*, (1997) tentang efek pH terhadap adsorpsi logam oleh organisme.

**Tabel 4.** Parameter isoterm Freundlich dan Langmuir pada biomassa *Chaetoceros* sp. hasil pembusukan secara alami

Isoterm Freundlich			Isoterm Langmuir			
r	k	N	r	K	b (mg/g)	E (Kal/mol)
0.938	121,941	0.469	0.992	0,378	550,812	-592,14



**Gambar 3.** Pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi ion besi (II) pada biomassa *Chaetoceros* sp. hasil kultur murni diberbagai variasi konsentrasi

## Kesimpulan

Proses adsorpsi oleh biomassa *Chaetoceros* sp. berlangsung sangat cepat, dan lebih cepat dibandingkan waktu adsorpsi maksimum biomassa *Chaetoceros* sp. Namun pola adsorpsi biomassa *Chaetoceros* sp. terhadap ion besi (II) bersifat monolayer dengan mengikuti isoterm Langmuir dan terjadi secara fisik. Kemampuan *Chaetoceros* sp. menyerap ion besi (II) lebih cepat tetapi lebih kecil dibandingkan tanah *diatomae*. Kemampuan menyerap ion besi (II) oleh *Chaetoceros* sp. meningkat dengan peningkatan pH.

## Daftar Pustaka

Aderhold, D., Williams, C.J. and Edyvean, R.G.J.1996. The Removal of Heavy Metal Ions by Seaweeds and Their Derivatives. *Biores. Technol.* 58 : 1-6.

Bahl, B.S., Bahl, A. and Tuli, G.D. 2005. *Adsorption. In Essential of Physical Chemistry.* S. Chand & Company Ltd. Ram Nagar-New Delhi.

Cotton and Wilkinson. 1989. *Kimia Anorganik Dasar.* U Press. Jakarta.

Cossich, E.S., Tavares, C.R.G. and Ravagnani, T.M.K. 2001. Biosorption of Chromium (III) by *Sargassum* sp Biomass. *Electronic Journal of Biotechnology.* 5(2) : 1-7.

Deleebeek, N.M.E., Scamphelaere, K.A.C. and Janssen C.R. 2005. *The Effect of pH on The Toxicity of Ni to the Green Alga Pseudokirchneriella subcapitata.* Lab. Of Environmental Toxicology and Chemistry. Belgium.

Demon, A., Debruin, M. and Wolterbeek. 1989. The Influence of Pre-Treatment, Temperature and Calcium Ions Trace Element Uptake by a Alga (*Scenedesmus ponnonicus* Sub sp Berlin) and Fungus (*Aureobasidium pullulans*). *Environmental Monitoring and Assessment.* 13 : 21-33.

Fisher, N.S. 1986. Marine Plankton Food Chains. *Ann.Rev.Ecol.Sys.* 19 : 19-38.

### Kinetika Adsorpsi Ion Besi

- Hamdy, A.A. 2000. Biosorption of Heavy Metals by Marine Algae. *Curr.Microbiol.* 41(4) : 232-238.
- Harris, P.O. and Ramelow, G.J. 1990. Binding of Metal Ions by Particulate Biomass Derivated from Particulate Biomass Derivated from *Chlorella vulgaris* and *Scenedismus quadricauda*. *Environ. Sci. Technol.* 24 : 2 .
- Hassler, C.S., Slaveykova, V.I. and Wilkinson, K.J. 2004. Discriminating between Intra- and Extracellular Metals Using Chemical Extractions. *Limnol. Oceanogr. Methods.* 2 : 237-247.
- Ledin, M., Pedersen, K. and Allard, B. 1997. Effects of pH and Ionic Strength on the Adsorption of Cs, Sr, Eu, Zn and Hg by *Pseudomonas putida*. *Water, Air and Soil Pollution.* 93 : 367-381.
- Muljopawiro, S. 1998. Ketersediaan Besi Hayati Dalam Sayuran Diukur Secara in Vitro. *Biota* III (2): 34-43.
- Noegrohati, S. and Narsito. 1990. *Bioindikator Pencemaran Laut*. Laporan Penelitian. UGM. Yogyakarta.
- Nugroho, R.A. dan Sucahyo. 2000. Uji Ekotoksitas Seng (Zn) terhadap Ikan Seribu (*Poecilia reticulata Peters.*) *Biota* V(2) : 81-85.
- Sahlan, M. 1978. *Planktonologi*. Dirjen Perikanan. Jakarta.
- Shriver, D.F., Atkins, P.W. and Langford, C.H. 1990. *Inorganic Chemistry*. Oxford University Press. Oxford.
- Slaveykova, V.I. and Wilkinson, K.J. 2002. Physicochemical Aspects of Lead Bioaccumulation by *Chlorella vulgaris*. *Environ. Sci. Technol.* 36 : 969-975.
- Stary, J., Karatzer, K. and Prasilova, J. 1983. The Cumulation of Alkali Earths and Alkali Metals on Alga. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.* 14 : 161-167.
- Stirk, W.A. and Staden, J.V. 2002. Desorption of Cadmium and the Reuse of Brown Seaweed Derived Products as Biosorbents. *Botanica Marina.* 45 : 9-16.
- Sukarjo. 1997. *Kimia Físika* (eds. 3rd). PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Thakur, D.N. 2001. *Fundamental Concept in Physical Chemistry* (eds. 1st). S.Chand and Company LTD. New Delhi.