



THE BIOACCUMULATION OF Cd(II) IONS On *Euchema Cottoni* SEAWEED BIOAKUMULASI ION Cd(II) PADA RUMPUT LAUT *Euchema Cottoni*

Indah Raya^{a,*} & Ramlah^b

^a Chemistry Department, Faculty of Mathematics & Natural Sciences
Hasanuddin University

^b Environmental Office, Bantaeng District, South Sulawesi Province

*Contact : indahraya05@gmail.com

Abstract

Cadmium is an element that can accumulated in seaweed thallus. One of an alternative methode was used to determine the amount of Cd(II) ions were accumulated in *Euchema Cottoni* thallus is adsorption methode, that was conducted with variations of contact time and concentrations. The concentrations of Cd(II) ions in solutions were determined by using Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Isothermal model to evaluated the maximum adsorptions capacity were used Freundlich and Langmuir isotherms. Based on both isothermal models the results showed that adsorption capacity were 33,898 mg/g wet weight by Langmuir and 0,00625 mg/g wet weight by Freunlich isotherms respectively. The adsorptions energy (ΔG) is 9,7482 KJ/mol indicated as physisorptions. While infrared spectrum showed *Euchema cottoni* have -OH, CO₂, -CH₂, -CH₃, and -SO₃⁻ functional groups.

Key words : Cadmium, adsorption, *Euchemna cottoni*, isothermal adsorption

PENDAHULUAN

Pencemaran perairan adalah suatu perubahan fisika, kimia dan biologi yang tidak dikehendaki pada ekosistem perairan yang akan menimbulkan kerugian pada sumber kehidupan, kondisi kehidupan dan proses industri. Pencemaran perairan pesisir didefinisikan sebagai dampak negatif, pengaruh yang membahayakan terhadap kehidupan biota, sumberdaya dan kenyamanan ekosistem perairan serta kesehatan manusia dan nilai guna lainnya dari ekosistem perairan yang disebabkan secara langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah ke dalam perairan yang berasal dari kegiatan manusia (Anonim, 2008). Salah satu pencemaran pada badan air adalah masuknya ion logam berat. Peningkatan kadar logam berat di dalam perairan akan diikuti oleh peningkatan kadar zat tersebut dalam organisme air seperti kerang, rumput laut dan biota laut lainnya. Pemanfaatan organisme ini sebagai bahan makanan akan membahayakan kesehatan manusia (Marganof, 2003).

Logam berat masih termasuk golongan logam dengan kriteria yang sama dengan logam-logam lain, perbedaanya terletak pada berat molekulnya dan pengaruh yang dihasilkan. Bila logam berat ini berikatan

atau masuk ke dalam tubuh organisme hidup, biasanya menimbulkan efek-efek khusus pada makhluk hidup. Dapat dikatakan bahwa semua logam berat menjadi bahan racun yang akan meracuni tubuh makhluk hidup. Sebagai contoh adalah logam air raksa (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan krom (Cr) (Palar,1994).

Kadmium merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Kadmium dalam air berasal dari pembuangan industri dan limbah pertambangan. Logam ini sering digunakan sebagai pigmen pada keramik, dalam penyepuhan listrik, pada pembuatan alloy, dan baterai alkali. Kadmium bersifat toksik bagi makhluk hidup. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, kanker, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjar pencernaan serta mengakibatkan kerapuhan pada tulang (Saeni, 1997).

Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan ion logam-logam berat dari perairan telah banyak dilakukan. Beberapa spesies alga telah ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa). Beberapa

makroalga merupakan indikator yang baik dan efisien untuk mengetahui terjadinya pencemaran logam berat. Organisme ini dapat mengakumulasi pencemar, terdapat dalam jumlah banyak, dan korelasi antara kandungan bahan pencemar dalam air dan dalam tubuh organisme dapat ditunjukkan. Rumput laut menawarkan keuntungan untuk biosorpsi karena memiliki struktur yang makroskopis sehingga dapat digunakan sebagai biosorben (Regine, dkk., 2000).

Dari berbagai penelitian di ketahui bahwa berbagai spesies alga terutama dari golongan alga hijau (Chlorophyta), alga coklat (Phaeophyta), dan alga merah (Rhodophyta) baik dalam keadaan hidup (sel hidup) maupun dalam bentuk sel mati (biomassa) dapat mengadsorpsi ion ion logam. Gugus fungsi yang terdapat dalam alga mampu melakukan pengikatan dengan ion logam seperti yang telah dibuktikan oleh Davis, dkk.,(2000) menggunakan *Sargassum* dan Figueira dkk.,(2000) yang menggunakan biomassa *Durvillaea*, *Laminaria*, *Ecklonia* sebagai biosorben ion logam berat. Ladeiro, dkk.,(2006) menggunakan makroalga *Cystoseira baccata* sebagai biosorben untuk Cd(II) dengan studi kinetika dan kesetimbangan menunjukkan bahwa *Cystoseira baccata* mampu melakukan pengambilan logam dengan cepat, study kinetika dan kesetimbangan menunjukkan logam yang diserap sekitar 0.9 mmol/g (101 mg/g untuk kadmium(II)).

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian yang dapat memberikan informasi tentang potensi *E.cottonii* sebagai biosorben maupun sebagai bioindikator pencemaran lingkungan perairan, serta tentang bagaimana interaksi logam kadmium pada jenis alga yang lain seperti pada *E. cottonii*, karena jenis alga tersebut banyak tumbuh di perairan sulawesi selatan dan pertumbuhannya cukup cepat, sehingga kemungkinan terserapnya logam berat lebih besar. Dengan demikian rumput laut *E.cottonii* diharapkan dapat dijadikan bioindikator maupun biosorben.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *Eucheuma cottonii*, CdCl₂.2H₂O, KBr, akuades, air laut dan HCl.

Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat gelas yang umum digunakan dalam laboratorium, aerator, baskom, tali, lampu neon, spektrofotometri serapan atom (SSA), FT-IR.

Prosedur kerja

Penentuan Kadar Kadmium Yang Diserap Oleh *E.Cottonii* Berdasarkan Waktu Kontak

Rumput laut *E.cottonii* ditumbuhkan dalam media pertumbuhan yang terkontaminasi Cd(II) 50 ppm selama 45 hari, dan diukur konsentrasi penyerapan Cd(II) selama 9 kali pada interval waktu 5 hari. Setiap hari ke-5 rumput laut tersebut ditimbang beratnya dan air laut yang digunakan menumbuhkan *E. cottonii* dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom.

Penentuan Kadar Kadmium Yang Diserap Oleh *E.cottonii* Berdasarkan Variasi Konsentrasi

Rumput laut *E.cottonii* sebanyak 18 gram dimasukkan ke dalam media pertumbuhan yang telah dipaparkan ion logam Cd(II) 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm dan 40 ppm, dan 50 ppm ditumbuhkan selama 45 hari. Diamati pertumbuhannya dan di ukur konsentarsi yang diserap pada hari ke-45 dengan menggunakan SSA.

Identifikasi gugus fungsional adsorben dengan menggunakan spektroskopi inframerah

Sebanyak ± 1 mg serbuk kering *E.cottonii* dibuat pelet dengan menggunakan KBr, selanjutnya pelet yang diperoleh dianalisis dengan spektroskopi inframerah.

Analisis Data

Penentuan konsentrasi Cd²⁺ yang teradsorpsi Oleh *E.cottonii*

Untuk menentukan kadar Cd(II) diserap oleh *E.cottonii* dapat digunakan persamaan sebagai berikut (Putra, dkk, 2006):

Konsentrasi teradsorpsi = konsentrasi awal – konsentrasi akhir

$$C_{\text{adsorpsi}} = (C_{\text{awal}} - C_{\text{akhir}}) \dots\dots\dots(1)$$

Banyaknya ion-ion logam yang teradsorpsi (mg) per gram adsorben ditentukan menggunakan persamaan:

$$\dots\dots\dots(13) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

Qe = jumlah ion logam yang teradsorpsi (mg/g)

Co = konsentrasi ion logam sebelum adsorpsi

Ce = konsentrasi ion logam setelah adsorpsi

V = volume larutan ion logam (L)

Wa = jumlah adsorben, (g)

Penentuan energi adsorpsi ion kadmium (II) oleh *E.cottonii*

Penentuan energi adsorpsi (ΔG), (ΔH) merupakan parameter yang akurat untuk dijadikan tolak

ukur. Rumus yang digunakan untuk penentuan energi adsorpsi adalah:

$$\Delta G_o = -RT \ln K \dots\dots\dots(3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penentuan kadar kadmium yang iserap oleh *E.cottonii* dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Kadar kadmium yang diserap oleh *E.cottonii* dengan konsentrasi awal 50 ppm.

Waktu (hari)	q _e total (mg/g)	q _e (mg/g) basah
0	0	0
5	1.173	1.173
10	1.359	0.185
15	1.464	0.106
20	1.580	0.115
25	1.773	0.193
30	2.099	0.327
35	2.379	0.279
40	2.818	0.439
45	3.239	0.421

Gambar 1. Grafik hubungan antara Cd teradsorpsi (mg/g) dengan waktu adsorpsi (hari) oleh rumput laut *E.cottonii*

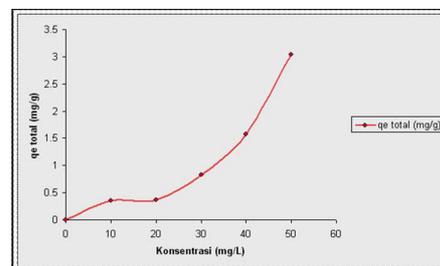
Dari gambar-1 terlihat bahwa ion logam kadmium yang teradsorpsi paling besar pada hari ke-5 sebesar 1.173 mg/g basah, kemudian selanjutnya menurun pada hari ke-10 dan hari ke -15. Hal ini menunjukkan bahwa setelah hari ke-5, *E.cottonii* telah mengalami keracunan, yang ditandai dengan adanya klorosis, dapat dilihat perbedaannya dengan jelas pada thallus rumput laut antara kontrol dan rumput laut yang telah dipaparkan logam kadmium. Klorosis pada thallus mempengaruhi proses fotosintesis yakni dapat menyebabkan thallus menjadi kuning kemudian menjadi tidak berwarna sama sekali. Pada sel hidup dapat terjadi pengambilan secara aktif, mekanisme ini dapat terjadi secara simultan terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan organisme atau akumulasi intraseluler ion logam tersebut. Logam berat dapat juga diendapkan pada proses metabolisme dan ekskresi. Proses ini bergantung pada energi yang dikandung dan sensitifitasnya terhadap parameter-parameter yang berbeda seperti suhu, pH, kekuatan ikatan, cahaya dll. Namun dalam proses ini dihambat oleh suhu yang rendah dan penghambat-penghambat metabolisme sel (Putra dan Putra, 2006).

Penurunan konsentrasi ion logam yang terserap seiring bertambahnya waktu juga terjadi karena

kemampuan tanaman untuk mengakumulasi logam berat bergantung pada kemampuan penyerapan dan pertumbuhan tanaman. Turunnya jumlah ion logam yang terserap setelah hari ke-5, kemungkinan disebabkan oleh ketidakstabilan ikatan antara biosorben rumput laut *E.cottonii* dengan ion logam sehingga sebagian kecil dari partikel ion logam Cd(II) terlepas kembali.

Menurut Zhu dkk, (1999) *E.cottonii* juga mampu menghasilkan molekul kelat yang berfungsi mengikat logam yaitu fitokhelatin-glutation dimana Cd termasuk asam lunak yang akan berikatan dengan gugus R-SH yang terdapat pada fitokelatin *E. cottonii* dan untuk mencegah peracunan logam terhadap sel tumbuhan *E.cottonii* mampu menimbun logam berat dalam organ tertentu seperti pada thallus (Salt dkk., 1995).

Ion logam Cd(II) yang terserap oleh *E.cottonii* masih mengalami peningkatan setelah menurun pada hari ke-20, hal ini dapat disebabkan karena terjadinya proses detoksifikasi melalui sintesis fitokelatin oleh thallus dalam jumlah yang lebih banyak lagi, sehingga *E.cottonii* bisa tetap bertahan hidup dan terus melakukan penyerapan. Namun, seiring dengan bertambahnya waktu kontaminasi maka jumlah logam yang terakumulasi dalam *E.cottonii* juga semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan kemampuan *E.cottonii* untuk melakukan proses detoksifikasi semakin menurun atau tidak mampu lagi akibatnya pada hari ke-45 adsorpsifitas dari *E.cottonii* kembali menurun diiringi tanda-tanda kematian thallus.



Gambar 2. Grafik kadar kadmium total yang terserap oleh rumput laut *E.cottonii* berdasarkan lama waktu kontak dengan konsentrasi awal 50 ppm.

Pada gambar 6. menunjukkan peningkatan ion logam Cd(II) yang terserap dari hari ke-5 sampai hari ke -45. Jumlah ion logam yang dapat diadsorpsi paling besar pada hari ke-5 1,173 mg/g basah dan total ion logam yang diadsorpsi selama 45 hari adalah sebanyak 3,239 mg/g basah. Bila dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya pada akumulasi logam Pb dalam thallus *E. cottonii*, akumulasi logam kadmium lebih cepat pada hari ke-5 dan cenderung menurun pada hari ke-10 sedangkan akumulasi logam Pb cenderung meningkat dari minggu ke-2 (0.19-0.34 ppm) hingga

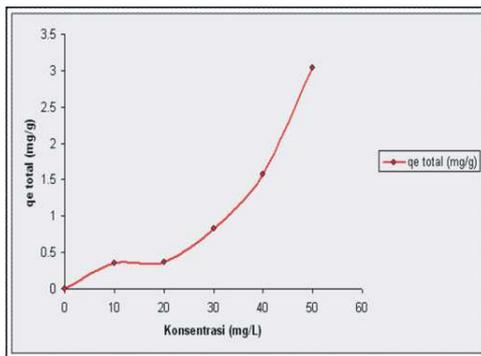
minggu ke-6 pengamatan (0.79-0.94 ppm), jadi akumulasi logam Pb cenderung meningkat sampai minggu ke-6 (Saptarini, 2008).

Mekanisme secara fisika/kimia atau adsorpsi pasif terjadi sangat cepat sedangkan mekanisme secara biologi atau adsorpsi aktif terjadi sangat lambat. Pada proses adsorpsi ion logam Cd(II) ini menggunakan biosorben rumput laut *E.cottonii* yang fungsi biologisnya aktif, jadi proses adsorpsi tidak hanya terjadi pada permukaan sel saja tapi juga pada bagian dalam. Oleh karena itu kesetimbangan adsorpsi terjadi sangat lambat (Suhendrayatna, 2001). Karena dalam hal ini untuk mempertahankan hidupnya ada kesetimbangan antara adsorpsi dan desorpsi

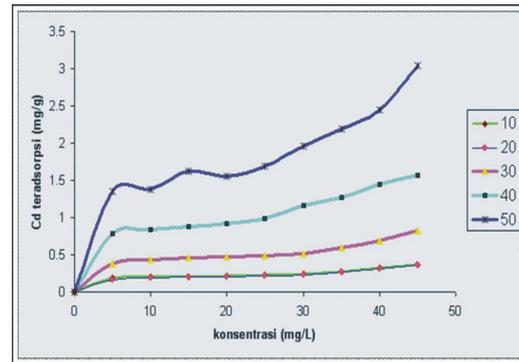
$k_1, k_2 \rightarrow Ec + M$

$EcM \rightleftharpoons$

Tabel.2 Kadar kadmium yang teradsorpsi pada hari ke 45 oleh rumput laut *E.cottonii*



Gambar 3. Grafik pola adsorpsi pada variasi q_e total (mg/g) versus konsentrasi (mg/L)

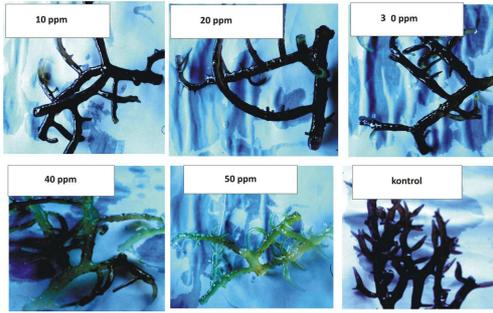


Gambar 4.. Grafik hubungan antara waktu dan konsentrasi pada adsorpsi ion logam Cd(II) oleh *E.cottonii*

Alga mengakumulasi logam berkonsentrasi tinggi tergantung pada konsentrasinya dalam lingkungan eksternal. Faktor konsentrasi untuk logam berat sangat bervariasi pada spesies alga yang berbeda, sementara jumlah logam yang terakumulasi oleh alga berhubungan dengan konsentrasi logam dalam air (Mehta 2007). Gambar 7 dan 8 memperlihatkan jumlah ion logam Cd(II) yang teradsorpsi bertambah seiring dengan meningkatnya konsentrasi Cd(II) yang diinteraksikan. Gejala tersebut menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah, situs-situs aktif pada adsorben akan terisi.

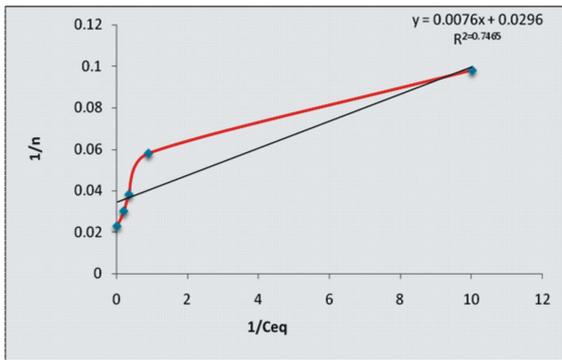
Seiring dengan penambahan konsentrasi Cd(II) dalam larutan diikuti pula dengan penambahan konsentrasi Cd(II) yang teradsorpsi. Proses ini akan berlangsung sampai semua situs-situs aktif pada permukaan terisi penuh. Hal ini dapat menyebabkan klorosis pada rumput laut. Untuk konsentrasi 10 ppm, 20 ppm 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm klorosis terjadi secara bertahap pada thallus, mulai dari ujung thallus hingga terjadi klorosis secara keseluruhan. Gambar 5 di bawah ini menunjukkan perubahan warna thallus *E.cottonii* hari ke-35,

Co	Qe (mg/g) berat basah
10	0.359
20	0.366
30	0.829
40	1.572
50	3.043

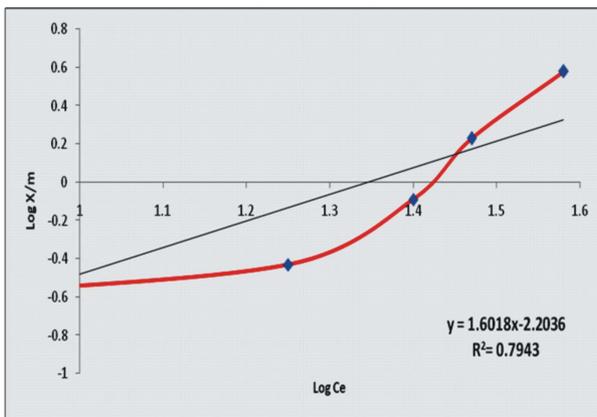


Gambar 5. Perubahan Tallus *E.cottonii* hari ke -35

Untuk penentuan kapasitas adsorpsi ion logam kadmium(II) terhadap rumput laut *E.cottonii* digunakan isothermal adsorpsi langmuir. Berikut adalah gambar pola adsorpsi langmuir adsorpsi ion logam kadmium terhadap rumput laut *E.cottonii*.



Gambar 6. Plot Langmuir terhadap adsorpsi Cd (II) oleh *E.cottonii*



Gambar 7. Plot isothermal Freundlich adsorpsi ion logam Cd (II) oleh *E.cottonii*

Isotermal adsorpsi langmuir dari kurva $1/C_{eq}$ vs $1/n$, diketahui kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 33,9

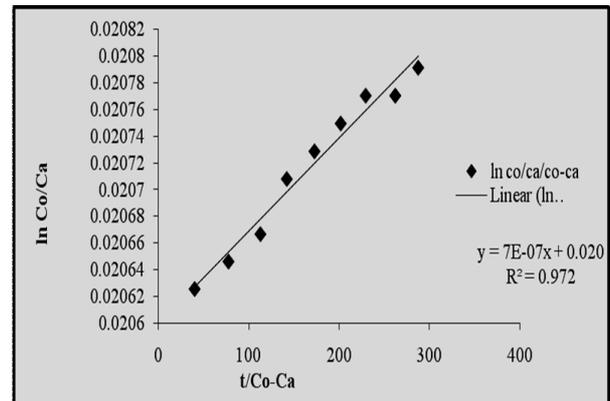
mg/g dan nilai $R^2=0,7455 < 1$. Dari nilai R yang diperoleh dapat diketahui jenis adsorpsi terjadi pada lapisan multilayer (Tondok, 2001). Sedangkan isothermal adsorpsi Freundlich diperoleh kapasitas adsorpsi sebesar $k = 0.00625$ mg/g dan $R^2= 0.7943$.

Dari kedua isothermal tersebut dapat dipahami bahwa hanya mewakili proses fisika ataupun kimia. Sedangkan pada proses bioakumulasi oleh sel hidup di dalamnya juga terlibat proses metabolisme secara biologi yang sangat kompleks dan biasanya berbeda untuk setiap jenis tumbuhan. Proses bioakumulasi yang terjadi dapat saja berlapis-lapis atau tahap demi tahap. Selain itu proses detoksifikasi juga terlibat, diantaranya ekskresi ataupun pengikatan oleh molekul yang mampu untuk disintesis.

Penentuan Energi Adsorpsi

Untuk penentuan energi adsorpsi dalam pembahasan ini digunakan suatu model kinetika Langmuir-Hinshelwood (LH).

Jika $\{\ln (C_o/C_a)/(C_o-C_a)\}$ diplotkan terhadap $t/(C_o-C_a)$ diperoleh garis lurus yang mempunyai lereng sebagai k_1 (konstanta laju reaksi) dan intersep sebagai K (konstanta kesetimbangan).



Gambar 8. Plot Langmuir-Hinshelwood ion logam kadmium(II)

Dari gambar 12, dapat diperoleh nilai konstanta kesetimbangan 0.0206 dan konstanta laju reaksi, k_1 sebesar 7×10^{-7} . dengan mengetahui nilai K, energi adsorpsi dapat dihitung besarnya dengan menggunakan persamaan $\Delta G = -RT \ln K$, dimana diperoleh ΔG sebesar = 9,75 KJ/mol.

Menurut Alberty dan Daniels (1978) adsorpsi fisika dan kimia dapat dibedakan berdasarkan besarnya energi adsorpsi yakni sebesar 5-10 KJ/mol untuk adsorpsi fisika dan 10-100 KJ/mol untuk adsorpsi kimia. Sehingga dapat diketahui bahwa adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisika yang cenderung ke kimia, ini merupakan ciri khas dari penyerapan secara aktif (sel

hidup) dimana penyerapan secara kimia senantiasa diimbangi dengan proses biologi untuk menurunkan tingkat toksisitas. Jadi penyerapannya sebenarnya adalah sangat kompleks.

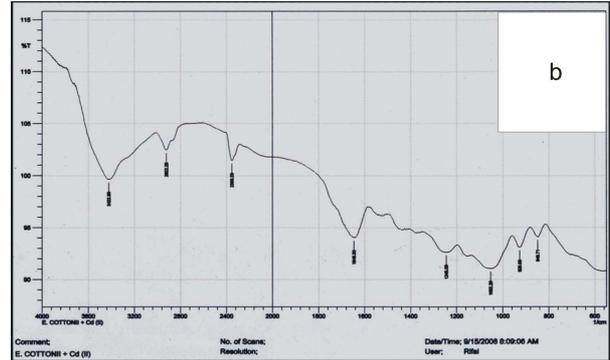
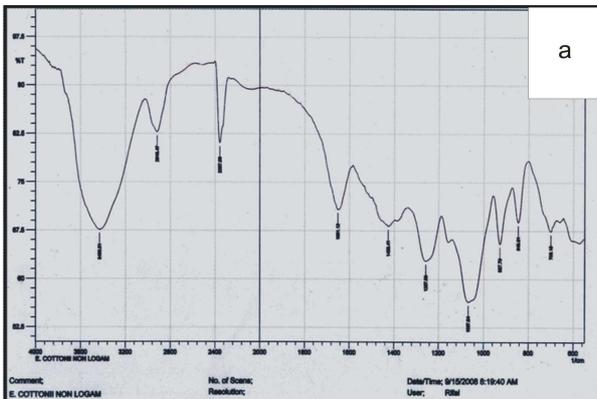
Identifikasi gugus fungsional adsorben dengan menggunakan spektroskopi inframerah

Gugus fungsi merupakan bagian penting untuk diketahui pada proses biosorpsi logam oleh biosorben. Interaksi biosorpsi terjadi melalui pengikatan logam pada permukaan adsorben. Untuk mengetahui adanya proses biosorpsi antara adsorben *E. cottonii* dan ion logam maka digunakan instrumen FT-IR untuk mendeteksi terjadinya proses interaksi logam tersebut dengan membandingkan spektrum *E.cottonii* sebelum dan sesudah kontak dengan ion Cd(II). Gambar 13a memperlihatkan hasil analisis FT-IR adsorben *E.cottonii* sebelum pemaparan logam Cd. Pada gambar 9a terlihat puncak pada panjang gelombang 3430.51 cm⁻¹ (ulur -OH), 2916.47 cm⁻¹ (ulur -CH alifatik), 2357.08 cm⁻¹ (ulur -CO₂), 1426.41 cm⁻¹ (SO₃⁻).

Tabel 3. Nilai bilangan gelombang sebelum dan setelah dikontaminasikan dengan ion logam Cd(II)

Sebelum dikontaminasikan ion logam Cd(II)	Setelah dikontaminasikan ion logam Cd(II)
3430,51	3422,80
2916,47	2922,25
2357,09	2353,23
1651,12	1646,30

Perubahan beberapa nilai mengindikasikan terjadinya interaksi



Gambar 9. (a) Spektra infra merah *E.cottonii*
(b) spektra infra merah *E.cottonii* setelah pemaparan logam Cd

Puncak-puncak pada gambar 9a juga terlihat pada gambar 9b, pergeseran bilangan gelombang yang terjadi pada puncak 3430.51 cm⁻¹ (ulur -OH) menjadi 3422.80 cm⁻¹ sangat kecil, sehingga sukar untuk diambil sebagai acuan. Sebenarnya yang paling baik untuk melihat interaksi tersebut adalah dengan FAR-IR. Namun karena keterbatasan alat hal ini sukar untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberty, R.A. dan Silbey, R.J., 1992, *Physical Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc, Canada
- Davis, T. A., Volesky, B. dan Vieira, R. H. S. F., 2000, Sargassum Seaweed As Biosorbent For Heavy Metals, *J Wat. Res.*, 34 (17), 4270 – 4278.
- Figueira, M. M. Volesky, B., Ciminelli, V. S. T. , dan Roddick, F. A., 2000, Biosorption Of Metals In Brown Seaweed Biomass, *J,Wat. Res.* 34 (1) 196 – 204
- Low, K.S., C.K. Lee and S.G. Tan. 1997. Sorption of Trivalent Chromium from Tannery Waste by Moss. *J. Environmental Technology.* 18 : 449 – 454
- Lodeiro, P., Barriada, J.L., Herrero, R., dan Sastre de Vicente, M.E., 2005, The marine macroalga *Cystoseira baccata* as biosorbent for cadmium(II) and lead(II) removal: Kinetic and equilibrium studies, *Environmental Pollution*, 1 (142), 264-273.
- Marganof, 2003, Potensi Limbah Udang Sebagai Penyerap Logam Berat (Timbal, Kadmium, dan Tembaga) di Perairan, Makalah Pribadi Pengantar Ke Falsafah Sains, Program Pasca Sarjana/S3. Institut Pertanian Bogor.
- Palar. H., 1994, *Pencemaran dan Toksikologi logam berat*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Putra, S.E., Buhani, dan Suharso, 2003, *Alga Sebagai Bioindikator*, (Online), <http://www.chem-is-try.org/?sect=fokus&ext=30>, diakses 28 Januari 2008.
- Regine, Vieira, dan Volesky B., 2000, *Biosorption: a solution to pollution?*, Internatl Microbiol, Canada.
- Saeni, M.S., 1997, *Penentuan Tingkat Pencemaran Logam Berat dengan Analisis Rambut*, Orasi Ilmiah, Guru Besar Tetap Ilmu Kimia Lingkungan, Fakultas Matematika dan IPA IPB. Bogor
- Salt, D. E., Prince, R. C., Pichering, I. J., dan Raskin I., 1995, Mechanisms of Cadmium Mobility and Accumulation in Indian Mustard, *Plant Physiol*, 109, 427-433
- Tondok, 2001, *Pemanfaatan Limbah Kulit Kacang (Arachis hypoganea L) sebagai Adsorben Ion Tembaga (II) dalam Air*, skripsi tidak diterbitkan, FMIPA UNHAS, Makassar.
- Zhu, Y. L., Pilon-Smith, E., Jounain, L., Terry, N., 1999, Cadmium Tolerance and Accumulation in Indian Mustard is Enhanced by Overexpressing glutamylcysteine Synthetase, *Plant Physiol*, 121, 1169-1177.