

PROSES BIOSORPSI DAN DESORPSI ION Cr(VI) PADA BIOSORBEN RUMPUT LAUT *Eucheuma spinosum*

N. P. Diantariani, I W. Sudiarta, dan N. K. Elantiani

Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian biosorpsi dan desorpsi kromium (VI) pada biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum*. Penelitian ini meliputi penentuan keasaman biosorben, pH optimum, waktu kontak biosorpsi, isoterm dan kapasitas biosorpsi, serta mekanisme interaksi yang terjadi antara ion logam Cr(VI) dengan biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* melalui desorpsi oleh akuades, HCL 1 M dan Na₂EDTA 0,05 M.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa keasaman total dari biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* adalah $4,1545 \pm 0,3290$ mmol/g, pH optimum biosorpsi adalah pH 5 dan waktu kontaknya 120 menit. Kapasitas biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap ion logam Cr(VI) yaitu 13,4992 mg/g. Jumlah ion logam Cr(VI) yang terdesorpsi paling banyak oleh akuades yaitu sebesar 40,69%, sedangkan yang terdesorpsi oleh HCl 1 M dan Na₂EDTA 0,05 M relatif kecil yaitu masing-masing sebesar 4,84% dan 0,20%. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme yang dominan terjadi antara biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* dengan ion logam Cr(VI) adalah ikatan hidrogen dan ikatan Van der Waals yang relatif lemah.

Kata kunci : Biosorpsi, desorpsi, *Eucheuma spinosum*, kromium

ABSTRACT

Studies on biosorption and desorption of chromium (VI) on seaweed (*Eucheuma spinosum*) biosorben have been carried out. These studies included determination of biosorben acidity, optimum pH, contact time of biosorption, isotherm and biosorption capacity, and mechanisms of interaction between chromium (VI) and seaweed (*Eucheuma spinosum*) biosorben. Mechanisms of interaction were known with desorption chromium (VI) on seaweed biosorben using aquades, 1 M HCl and 0,05 M Na₂EDTA.

The result showed that the total acidity of seaweed biosorben was $4,1545 \pm 0,3290$ mmol/g, the optimum pH was 5, and the contact time was 120 minute. Biosorption capacity of seaweed (*Eucheuma spinosum*) to chromium (VI) was 13,4992 mg/g. The highest desorption of chromium (VI) occurred with the use of aquadest which was 40,69%. Whereas desorption using 1 M HCl and 0,05 M Na₂EDTA were 4,84% and 0,20% respectively. This case indicated that the main interaction mechanism of chromium (VI) on seaweed was hydrogen and Van der Waals bond which was relatively weak.

Keywords : biosorption, desorption, *Eucheuma spinosum*, chromium

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara bahari terbesar di dunia. Karakteristik geografis

Indonesia serta struktur dan tipologi ekosistemnya yang didominasi oleh lautan telah menjadikan Indonesia sebagai pemilik keanekaragaman hayati terbesar di dunia.

Sumber daya kelautan merupakan kekayaan alam yang memiliki peluang besar untuk dimanfaatkan (Suhdi, 2004).

Salah satu sumber daya hayati kelautan yang dimiliki Indonesia adalah rumput laut. Rumput laut dibedakan menjadi yaitu *Rhodophyceae* (rumput laut merah), *Phaeophyceae* (rumput laut coklat), *Chlorophyceae* (rumput laut hijau), dan *Chyanophyceae* (rumput laut hijau-biru) (Munaf, 2000). Pemanfaatan rumput laut pada awalnya hanya sebagai sayuran saja baik itu diolah terlebih dahulu atau dimakan secara langsung. Akan tetapi seiring dengan berjalannya waktu, rumput laut telah dimanfaatkan sebagai pupuk, komponen makanan ternak, dan makanan ikan (Aslan, 1998). Disamping itu, produk ekstraksi rumput laut (seperti agar-agar, alginat, dan karaginan) banyak dimanfaatkan sebagai bahan makanan rumah tangga, bahan tambahan atau bahan baku dalam industri makanan farmasi, kosmetik, tekstil, kertas, cat, dan lain-lain. Pemanfaatan rumput laut masih perlu dikembangkan lagi agar memberikan nilai tambah, baik secara ekonomi maupun lingkungan (Anonim, 2003). Seiring dengan perkembangan teknologi rumput laut telah ditingkatkan pemanfaatannya sehingga memberikan nilai yang lebih tinggi. Salah satu pemanfaatannya adalah sebagai biomassa (biosorben) dalam proses biosorpsi logam berat dalam perairan (Indriani dan Akira, 1998). Biosorpsi merupakan proses penyerapan analit oleh biomassa. Biosorpsi memanfaatkan kemampuan material biologis untuk mengakumulasi logam berat dari larutan secara metabolisme ataupun fisik-kimiawi (Anonim, 2003).

Salah satu logam berat yang merupakan sumber polusi dan perlu dihilangkan dalam perairan adalah logam kromium (Cr). Pemanfaatan logam ini banyak digunakan dalam industri elektroplating, penyamakan kulit, pendingin air, pulp, serta proses pemurnian bijih dan petroleum. Menurut Surat keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, baku mutu limbah yang boleh dialirkan ke air permukaan untuk Cr(VI) sebesar 0,05-1 mg/L dan untuk Cr (total) sebesar 0,1-2 mg/L (Anderson, 1997). Oleh karena itu kandungan

logam berat khususnya Cr dalam limbah industri yang melebihi ambang batas harus diminimalkan sebelum dibuang ke lingkungan

Salah satu metode untuk menurunkan kandungan logam kromium dalam air limbah adalah *treatment* sorpsi. Metode sorpsi yaitu melibatkan interaksi antara analit dengan permukaan zat padat (adsorben). Sorben yang sekarang ini banyak digunakan adalah dari bahan organik. Beberapa contoh biosorben yang dapat digunakan dalam penanganan limbah kromium adalah chitosan (Veera, *et al.*, 2003), serbuk gergaji (Shukla, *et al.*, 2002), mikroalga (Cervantes, *et al.*, 2001), dan rumput laut (Indriani dan Akira, 1998).

Penggunaan rumput laut sebagai biosorben telah dilakukan oleh beberapa peneliti, Suhdi (2004) melakukan penelitian menggunakan rumput laut jenis *sargasum* sebagai biosorben terhadap logam Cr dengan kapasitas adsorpsi 35 mg/g. Indriani dan Akira (1998) menggunakan rumput coklat sebagai biosorben, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi rumput laut coklat terhadap logam berat sangat dipengaruhi oleh pH.

Rumput laut adalah nama umum dalam dunia perdagangan yang digunakan untuk menyebutkan kelompok alga laut yang hidup di dasar laut. Salah satu jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan di Indonesia adalah *Eucheuma spinosum*. Kandungan kimia dari *Eucheuma spinosum* adalah iota karaginan (65%), protein, karbohidrat, lemak, serat kasar, air, dan debu. Iota karaginan merupakan polisakarida tersulfatkan dimana kandungan ester sulfatnya adalah 28-35%. Adanya atom sulfur (S) dan oksigen (O) pada ester sulfat, -OH dan -COOH pada polisakarida, merupakan situs-situs aktif tempat berinteraksinya suatu logam. Rumput laut jenis ini tergolong rumput laut merah yang banyak dibudidayakan di Indonesia khususnya di Bali terutama di pantai Sawangan Nusa Dua dan pantai Nusa Penida Bali. Rumput laut ini diekspor langsung dan digunakan sebagai bahan baku industri makanan, kosmetik, dan obat. Namun demikian, perlu dikembangkan lagi pemanfaatannya sehingga memberikan nilai tambah baik secara ekonomi maupun pemecahan

masalah-masalah lingkungan terutama pencemaran logam berat (Atmaja, 1996).

Penelitian mengenai penggunaan rumput laut jenis *Eucheuma spinosum* sebagai biosorben untuk menghilangkan ion logam Cr(VI) belum dilakukan, sementara rumput laut jenis ini banyak dibudidayakan di perairan Indonesia khususnya di Bali. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dipelajari beberapa aspek fundamental yang berkaitan dengan biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap logam Cr(VI) yang meliputi kapasitas adsorpsi, kemampuan desorpsi dan mekanisme interaksinya.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah bahan-bahan kimia yang berkualitas analitik (*analytical grade*), meliputi $K_2Cr_2O_7$, NaOH 1M, HCl 1 M, HNO_3 1%, Na_2EDTA 1 M, H_2SO_4 1 M, difinil karbasida 0,25 M, NH_4OH 1 M, $KMnO_4$ 0,25 M, aseton, NaN_3 0,08 M dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas berbagai alat gelas, blender, timbangan analitik, kertas saring, kapsul pengaduk magnet, desikator, penggerus porselen, ayakan 250-106 μm , oven, pencatat waktu, bola hisap, seperangkat alat spektrofotometer UV-Vis Scomman S1000PC.

Cara Kerja

Penyiapan Biosorben

Rumput Laut *Eucheuma spinosum* yang telah disiapkan dan dibilas dengan akuades, dikeringkan. Setelah kering, rumput laut dipotong-potong, digerus dan diayak. Butiran rumput laut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu $110^{\circ}C$ selama 1 jam dan disimpan dalam desikator.

Penentuan Keasaman Biosorben

Sebanyak 1,0000 gram butiran rumput laut dimasukkan ke Erlenmeyer 25 mL dan

ditambahkan 25,0 mL larutan NaOH 1 M, erlenmeyer ditutup rapat dan diaduk selama 24 jam. Perlakuan yang sama dilakukan terhadap larutan blanko yang hanya mengandung 25,0 mL larutan NaOH 1 M. Setelah 24 jam campuran disaring dan residunya dibilas menggunakan akuades. Filtrat dan bilasan lalu dititrasi dengan larutan HCl 1 M yang telah dibakukan terlebih dahulu.

Penentuan pH Optimum

Ke dalam 5 buah erlenmeyer 25 mL, dimasukkan masing-masing 0,5000 gram sampel butiran rumput laut *Eucheuma spinosum* dan ditambahkan 25,0 mL larutan Cr(VI) 200 ppm dengan pH larutan masing-masing 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 dengan penambahan HCl 1 M. Kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 24 jam. Selanjutnya campuran disaring dan filtratnya dianalisis dengan menggunakan spektrofotometer ultra violet - tampak.

Penentuan Waktu Kontak

Ke dalam 5 buah erlenmeyer 25 mL dimasukkan masing-masing 0,5000 gram sampel butiran rumput laut *Eucheuma spinosum* dan ditambahkan 25,0 mL larutan Cr(VI) 200 ppm dengan pH optimum yang diperoleh. Campuran diaduk selama 3, 6, 12, 24, 36, dan 48 jam. Selanjutnya disaring dan filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer ultra violet – tampak.

Penentuan Isoterm dan Kapasitas Biosorpsi

Ke dalam 5 buah erlenmeyer 25 mL dimasukkan masing-masing 0,5000 gram sampel butiran rumput laut *Eucheuma spinosum* dan ditambahkan 25,0 mL larutan Cr(VI) dengan konsentrasi berturut-turut 100, 200, 300, 500, dan 750 ppm, kemudian diinteraksikan selama waktu kontak dengan pH optimumnya. Setelah itu campuran disaring, dan filtratnya diukur dengan spektrofotometer ultra violet – tampak. Pola isoterm biosorpsi diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi logam Cr(VI) dalam larutan pada keseimbangan terhadap berat Cr(VI) yang terserap per gram sampel. Data pola isoterm biosorpsi diterapkan ke persamaan linear isoterm biosorpsi Langmuir dan dengan memplot C terhadap C/m, sehingga dapat ditentukan kapasitas biosorpsinya.

Rumusnya adalah :

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

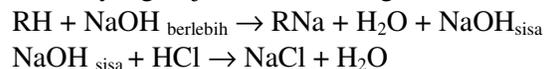
Desorpsi

Sebanyak 2,0000 gram serbuk rumput laut direndam dalam 100 mL larutan Cr(VI) dengan konsentrasi optimum yang didapat, diaduk selama waktu setimbang dan dengan pH optimum. Selanjutnya campuran disaring dan residunya dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan direndam dengan akuades sebanyak 100 mL. Campuran kemudian diaduk selama 30 menit, setelah 30 menit larutan disaring kembali, filtratnya dianalisis dengan spektrofotometer ultra violet - tampak. Residunya direndam kembali dengan HCl 0,1 M sebanyak 100 mL sambil diaduk selama 6 jam. Selanjutnya disaring, filtrat yang didapat dianalisis kembali dengan spektrofotometer ultra violet - tampak. Residunya direndam dengan Na₂EDTA 1 M sebanyak 100 mL sambil diaduk selama 14 jam. Campuran kembali disaring, filtrat yang didapat dianalisis dengan spektrofotometer ultra violet - tampak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keasaman Biosorben.

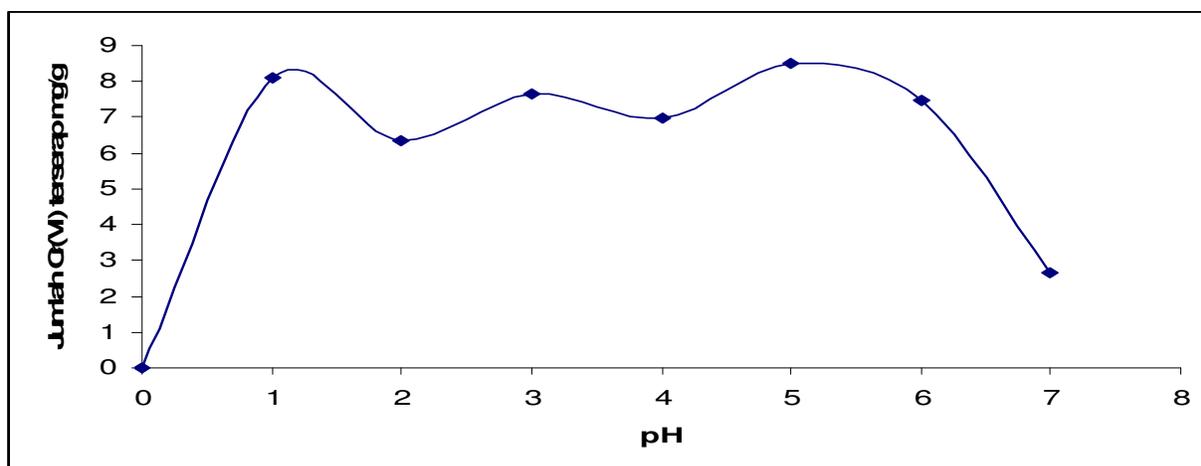
Keasaman biosorben yang diperoleh adalah sebesar $4,1545 \pm 0,3290$ mmol/g. Penentuan keasaman dilakukan dengan metode titrasi asam basa, dimana situs asam biosorben direaksikan dengan basa (NaOH) berlebih. Sisa NaOH yang tidak bereaksi dengan sampel dititrasi dengan HCl 1 M sehingga jumlah zat-zat yang bereaksi, ekuivalen satu sama lainnya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Dimana R adalah makromolekul dan H adalah proton gugus (-COOH) atau gugus (-OH) yang bersifat asam. Situs asam yang ada pada biosorben berasal dari gugus (-COOH) dan atau (-OH) yang terdapat pada iota karaginan dan polisakarida yang terkandung pada rumput laut *Eucheuma spinosum*.

pH Optimum Biosorben

Penentuan pH optimum dilakukan untuk mengetahui pH interaksi dimana biosorben menyerap biosorbat secara maksimum. Hasil penelitian tentang pengaruh pH terhadap jumlah ion logam Cr(VI) yang terserap oleh biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Penyerapan ion logam Cr(VI) oleh biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* pada berbagai pH dengan konsentrasi awal larutan Cr(VI) 200 ppm, dan waktu interaksi 24 jam

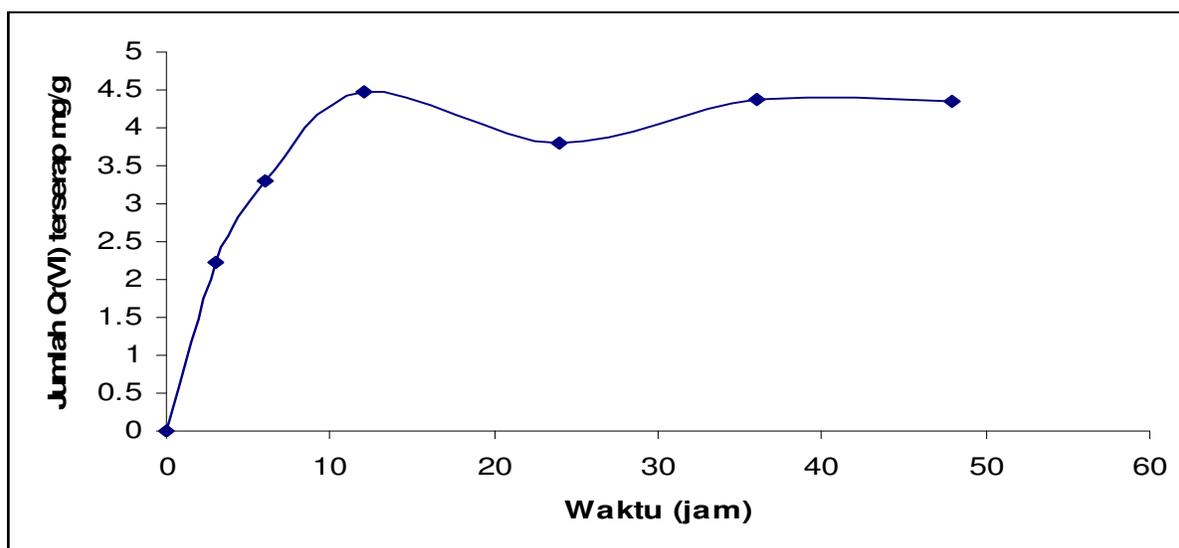
Gambar 1 memperlihatkan pada pH 1 sampai 5 jumlah ion logam Cr(VI) yang terserap tiap gram biosorben cenderung konstan, tetapi

setelah diatas pH 5 ion logam Cr(VI) membentuk endapan Cr(OH)₃, sehingga jumlah Cr(VI) yang terserap pada biosorben berkurang.

Berdasarkan Gambar 1, pH 5 adalah pH optimum biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap ion logam Cr(VI) karena pada pH 5 ini, ion logam Cr(VI) terserap secara maksimum oleh biosorben *Eucheuma spinosum* yaitu sebesar 8,5152 mg/g. Oleh karena itu, pH 5 dijadikan acuan dalam penentuan waktu optimum dan isoterm dan kapasitas adsorpsi selanjutnya.

Penentuan waktu kontak biosorpsi dilakukan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh biosorben dalam menyerap ion logam Cr(VI) secara maksimum sampai tercapai keadaan jenuh. Berdasarkan hasil penelitian, hubungan antara banyaknya ion logam Cr(VI) yang terserap (mg) per gram biosorben terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 2.

Waktu Kontak Biosorben



Gambar 2. Grafik penyerapan Cr(VI) oleh biosorben terhadap waktu dengan konsentrasi awal larutan Cr(VI) 200 ppm, dan pH 5

Gambar 2 menunjukkan bahwa jumlah Cr(VI) yang terserap tidak stabil yaitu naik turun dengan bertambahnya waktu. Pada awal waktu interaksi sampai 12 jam jumlah ion logam Cr(VI) yang terserap terus meningkat dengan bertambahnya waktu interaksi. Akan tetapi setelah dinteraksikan selama 24 jam jumlah Cr(VI) yang terserap turun, dan selanjutnya cenderung stabil (konstan). Turunnya jumlah ion logam Cr(VI) yang terserap setelah pengadukan 24 jam kemungkinan disebabkan oleh ketidakstabilan ikatan antara biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* dengan ion logam Cr(VI) sehingga sebagian kecil dari partikel logam Cr(VI) ada yang terlepas kembali.

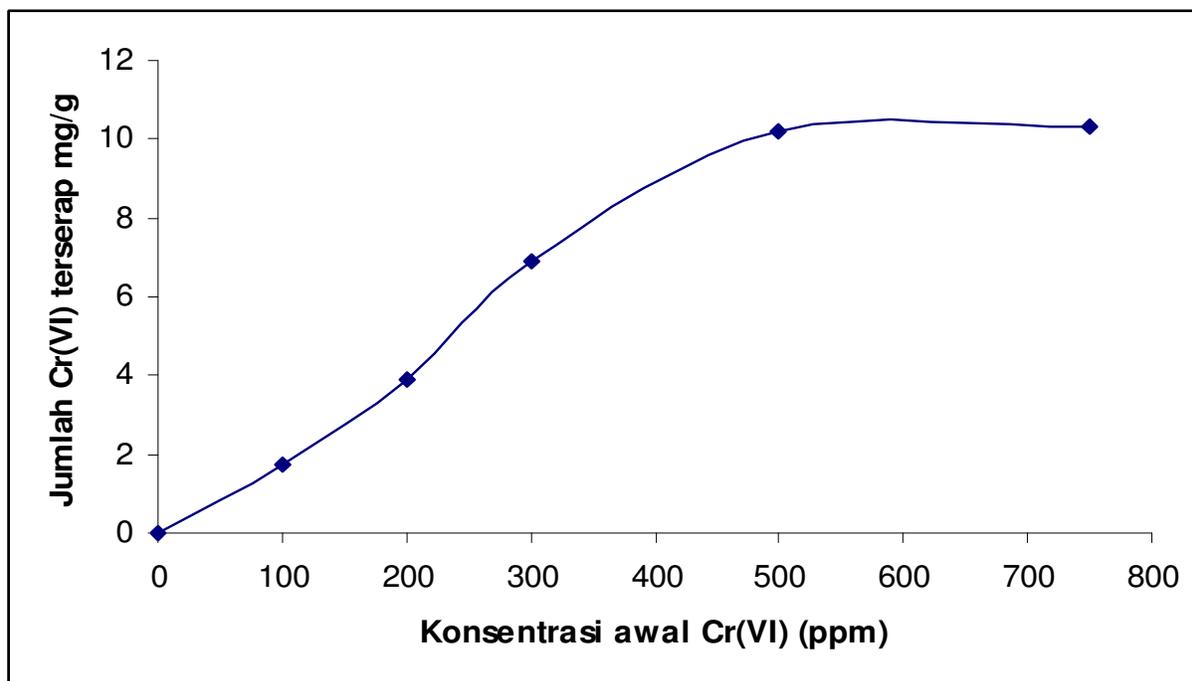
Dari hasil penelitian diperoleh pada waktu kontak 12 jam rumput laut *Eucheuma spinosum* dapat menyerap ion logam Cr(VI) paling besar dibandingkan waktu kontak yang lainnya yaitu sebesar 5,0638 mg/g. Oleh karena itu, waktu kontak selama 12 jam digunakan sebagai acuan dalam penentuan isoterm biosorpsi Cr(VI) selanjutnya.

Isoterm Biopsorpsi Cr(VI)

Penentuan isoterm biosorpsi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi ion logam Cr(VI) yang direaksikan terhadap jumlah ion logam Cr(VI) yang diserap oleh biosorben pada temperatur kamar. Berdasarkan hasil penelitian, hubungan antara

jumlah Cr(VI) terserap (mg/g) terhadap konsentrasi awal Cr(VI) disajikan pada Gambar

3



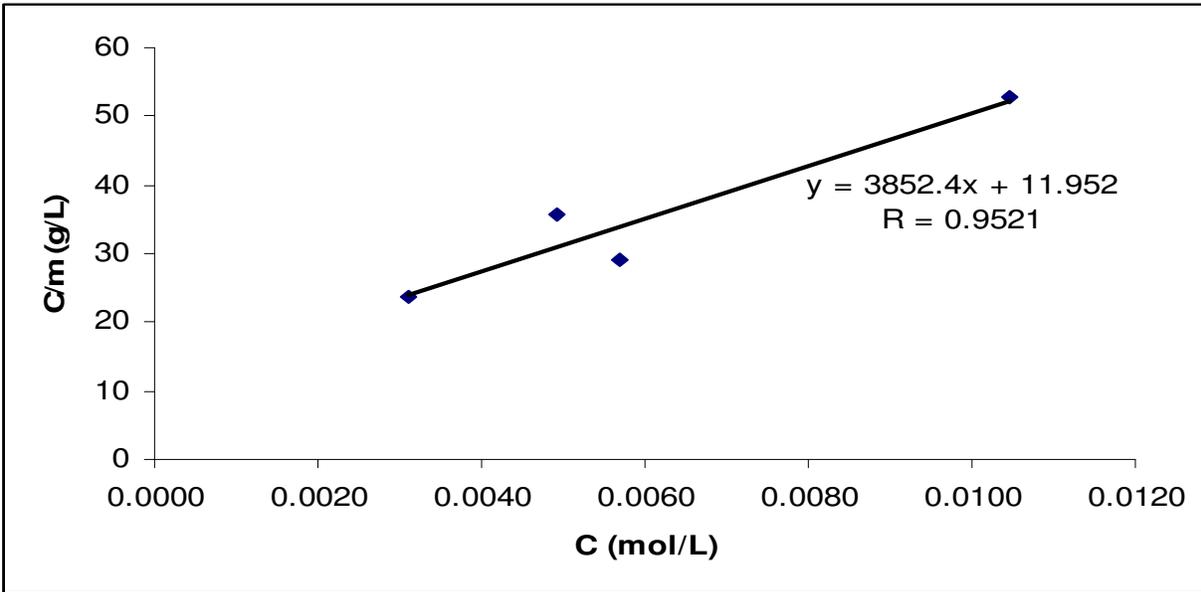
Gambar 3. Grafik jumlah Cr(VI) terserap (mg/g) terhadap konsentrasi Cr(VI) yang diinteraksikan

Pada grafik terlihat bahwa dengan bertambahnya konsentrasi biosorbat yang diinteraksikan, maka jumlah ion logam Cr(VI) yang terserap tiap gram rumput laut *Eucheuma spinosum* semakin bertambah juga. Akan tetapi pada konsentrasi Cr(VI) 500 ppm jumlah biosorbat yang terserap tidak bertambah dengan meningkatnya konsentrasi dan cenderung konstan sampai konsentrasi Cr(VI) mencapai 750 ppm. pola isoterm biosorpsi yang diperoleh sesuai dengan Gilles dan Mac Edwan, diklasifikasikan sebagai isoterm biosorpsi tipe L yang lebih dikenal dengan isoterm Langmuir. Pola isoterm ini memperlihatkan afinitas yang relatif tinggi antara zat terlarut (ion logam

Cr(VI)) dengan biosorben pada tahap awal dan selanjutnya konstan.

Kapasitas Biosorpsi Cr(VI)

Kapasitas biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap ion logam Cr(VI) dihitung dengan menggunakan pendekatan biosorpsi Langmuir. Data biosorpsi yang didapatkan pada penentuan isoterm biosorpsi diterapkan ke persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Berdasarkan hasil penelitian, kurva linier antara C/m dan C yang diperoleh disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik isoterm biosorpsi ion Cr(VI) pada biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum*

Nilai b dan K dapat ditentukan dari grafik di atas masing-masing dicari dari *slope* dan intersep kurva. Dengan mensubstitusi nilai K , besarnya energi biosorpsi yang sebanding dengan perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°_{ads}), dihitung menggunakan persamaan $E = \Delta G^{\circ}_{ads} = -RT \ln K$. Berdasarkan hasil penelitian, didapat nilai $E = -14,4053$ KJ/mol. Nilai (-) menunjukkan bahwa proses biosorpsi berlangsung spontan dan bersifat eksoterm, terjadi pembentukan ikatan baru. Dengan melihat nilai dari ΔG°_{ads} maka dapat dikatakan bahwa jenis biosorpsi yang

terjadi antara ion Cr(VI) dengan rumput laut *Eucheuma spinosum* adalah biosorpsi fisika. Hal ini juga didukung dari nilai kapasitas dari rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap ion logam Cr(VI) yang sangat kecil yaitu sebesar 13,4992 mg/g.

Desorpsi

Hasil desorpsi dengan menggunakan akuades, HCl 1 M, dan Na₂EDTA 0,05 M disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil desorpsi skuensial Cr(VI) dengan beberapa eluen

\bar{W}_{ads} (mg/g)	Larutan pendesorpsi	\bar{W}_{des} (mg/g)	Jumlah Cr(VI) terdesorpsi (%)
14,5598	Akuades	5,9243	40.69
	HCl 1 M	0,7045	4.84
	Na ₂ EDTA	0,0286	0.20

Berdasarkan hasil ketiga tahap desorpsi yang dilakukan, didapatkan jumlah ion logam Cr(VI) yang paling banyak terdesorpsi adalah dengan menggunakan akuades yaitu sebesar 40,69 % sedangkan dengan HCl 1 M dan Na₂EDTA sangat sedikit yaitu 4,84 % dan 0,20 %. Hal ini mengindikasikan bahwa interaksi yang mendominasi pada proses biosorpsi ion logam Cr(VI) pada biosorben rumput laut *Eucheuma spinosum* adalah ikatan hidrogen dan ikatan Van der Waals.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kapasitas biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap ion logam Cr(VI) adalah sebesar 13,4992 mg/g dan energi adsorpsinya sebesar - 14,4053 KJ/mol.
2. Jumlah ion logam Cr(VI) yang terdesorpsi oleh akuades adalah 6,8505 mg/g (40,69%), terdesorpsi oleh HCl 1 M adalah 0,7824 mg/g (4,84%), dan terdesorpsi oleh Na₂EDTA adalah sebesar 0,0286 mg/g (0,20%).
3. Mekanisme interaksi yang dominan terjadi pada biosorpsi Cr(VI) oleh rumput laut *Eucheuma spinosum* adalah ikatan hidrogen dan ikatan Van der Waals.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kemampuan biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* teraktivasi asam terhadap ion logam Cr(VI), serta perlu juga dilakukan penelitian untuk mengetahui kapasitas biosorpsi rumput laut *Eucheuma spinosum* terhadap logam-logam berat lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi

Departemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan dana penelitian ini dan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2003, Biosorption, <http://biosorption.mcgill.ca/BT/BTbrief.htm>, 29 Mei 2007
- Anderson, R. A., 1997, Chromium As an Essential Nutrient for Human, *Reg. Toxicol Pharmacol*, 26 : 534-541
- Aslan, L. M., 1998, *Budidaya Rumput Laut*, Kanisius, Yogyakarta
- Atmaja, W. S., Kadi, A., Sulistijo, dan Satari, R., 1996, *Pengenalan Jenis-Jenis Rumput Laut Indonesia*, Puslitbang Oseonologi LIPI, Jakarta
- Cervantes, C., Compos-Garcia, J., Silvia, D., Corona, F. G., Tavera, H. L., Gusman, J., and Sanchez, R. M., 2001, Interaction of Chromium with Microorganisms and Plant, *FEMS Microbiology Reviews*, 25 : 335-347
- Indriani Seki, H. and Akira Suzuki, 1998, Biosorption of Heavy Metal Ions to Brown Algae, *Macrocystis pyrifera*, *Kjellmamiella crassifolia*, and *Undaria pinnatifida*, *Jurnal of Colloid and Interface Science*, 206 : 297-301
- Munaf, D. R., 2000, *Rumput Laut Komoditi Unggulan*, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah, LIPI, Jakarta
- Shukla, A., Zhang, Y. H., Dubey, P., Margravw, J. L., and Shukla, S., 2002, The Role of Sawdust in the removal of unwanted materials from water, *J. of Hazardous Materials*, 95 : 137-157
- Suhdi, 2004, *Budidaya dan Pengolahan Rumput Laut*, Buku 5, Balai Riset dan Standarisasi Industri dan Perdagangan (Baristand Indag), Surabaya
- Veera, M. B., Krishnalah, A., Jonathan, L. T., and Edgar, D. S., 2003, Removal of Hexavalent Chromium from Wastewater Using a New Composite Chitosan Biosorben, *Environ, Sci. Technol.*, 37 : 4449-4456