

PENGEMBANGAN BIOSORBEN DARI RUMPUT LAUT *Sargassum sp.* UNTUK REMEDIASI TEMBAGA

Biosorbent Derived from Seaweeds (*Sargassum sp*) for Remediation of Copper

¹⁾ Suriadi, ²⁾ Erin Ryantin Gunawan, ²⁾ Agus Abhi Purwoko*

¹⁾ SMKN 1 Kuripan Lombok Barat NTB

²⁾ Program Studi Magister Pendidikan IPA, Universitas Mataram
agusabhi.purwoko@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pengembangan biosorben rumput laut *Sargassum sp.* dengan perlakuan aktivasi asam sulfat untuk remediasi Cu. Penelitian meliputi aktivasi rumput laut dengan perlakuan konsentrasi asam sulfat dan waktu aktivasi, kurva isotherm serta kapasitas biosorpsi. Pengujian kemampuan biosorben dilakukan terhadap larutan Cu(II) 200 ppm dengan pH 4,5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses aktivasi yang paling optimal adalah dengan menggunakan asam sulfat 0,05 M selama 20 menit, dimana biosorben teraktivasi yang dihasilkan memiliki kapasitas biosorpsi sebesar 61,4733 mg/g.

Kata kunci : biosorben teraktivasi asam, remediasi tembaga .

ABSTRACT

Biosorption of Cu with acid activated biomass of seaweed, Sargassum sp., has been studied in this research. The studies include activation of the seaweed with sulfuric acid in which concentration of sulfuric acid and duration of activation were varied as the treatment of this study. The isotherm curve and biosorption capacity were also investigated. Study of biosorption was done using solution of 200 ppm of Cu(II) and pH 4.5 in batch system. The results show that the optimum activation process is reached with 0.05 M of sulfuric acid after 20 minutes of contact time, in which the acid activated biosorbent capacity is 61,4733 mg/g.

Keywords : acid activated biosorbent, Cu remediation.

PENDAHULUAN

Kegiatan industri banyak menghasilkan berbagai jenis limbah, di antaranya limbah yang mengandung logam berat. Keberadaan logam berat di

lingkungan yang melebihi ambang batas akan merusak lingkungan dan menimbulkan masalah kesehatan bagi makhluk hidup di lingkungan tersebut (Sudiarta, 2009).

Untuk menanggulangi masalah pencemaran logam berat ini maka ada beberapa perlakuan yang dapat diterapkan, salah satunya adalah dengan mengikat logam berat tersebut melalui proses biosorpsi dengan biosorben rumput laut. Untuk memperoleh biosorben dengan kemampuan biosorpsi yang lebih tinggi perlu dilakukan aktivasi dengan menggunakan asam. Aktivasi bertujuan untuk menghasilkan sifat-sifat kimia dan fisika yang lebih baik.

Di Pulau Lombok, sebagaimana menurut Winarno (1996) terdapat cukup banyak jenis rumput laut yang potensial, namun masih banyak yang pemanfaatannya sebatas sebagai sayuran saja. Hasil penelitian Sunarpi *et al* (2006) dalam Maskur (2008) menunjukkan bahwa jumlah spesies rumput laut yang tumbuh di perairan pantai NTB sekitar 69 spesies, terdiri dari 25 spesies alga merah, 24 spesies alga hijau dan 20 spesies alga coklat. Salah satu spesies yang tergolong alga coklat (*Phaeophyceae*) yang cukup potensial namun belum optimal pemanfaatannya adalah yang dikenal sebagai Beboyot (*Sargassum sp.*) Sejauh ini *Sargassum sp.* baru dimanfaatkan secara terbatas sebagai sayuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan rumput laut *sargassum sp.* teraktivasi asam sulfat sebagai biosorben pada remediasi tembaga.

METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput laut *Sargassum sp.* yang diperoleh dari lokasi pantai Teluk Ekas, Desa Pemongkong, Kecamatan Jerowaru, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat pada bulan Mei 2010. Sampel diambil dari habitatnya pada batuan karang di posisi titik surut tertinggi, larutan standar Cu(II) Nitrat 1000 ppm buatan Ajax Chemicals, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_2SO_4 , HCl 0,1 N, asam nitrat pekat, lempeng Cu murni dan akuades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah blender, timbangan analitik, kertas saring, shaker, desikator, ayakan 500 μm dan 250 μm , corong, oven, pipet mikro, pencatat waktu, bola hisap, seperangkat alat gelas, dan seperangkat alat Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) merk SpektrAA Varian 55.

Penyiapan biosorben rumput laut *Sargassum sp.*

Rumput laut *Sargassum sp.* dicuci hingga bersih dan dibilas dengan akuades, kemudian dikeringkan. Setelah itu, rumput laut digerus dan diayak. Ukuran biosorben yang diambil adalah biosorben yang lolos pada ayakan 500 μm dan tertahan pada ayakan 250 μm (250-500 μm). Serbuk rumput laut tersebut dikeringkan dalam oven dengan suhu 70°

C selama 5 jam, kemudian disimpan di dalam desikator.

Aktivasi biosorben rumput laut *Sargassum sp.*

Serbuk rumput laut diaktivasi dengan asam sulfat di dalam gelas beker dengan perbandingan berat biosorben dan volume asam adalah 1 gram : 50 ml, dengan konsentrasi dan waktu aktivasi sesuai perlakuan. Perlakuan konsentrasi terdiri dari 5 variasi yaitu K_1 (konsentrasi asam sulfat 0 M ; control), K_2 (konsentrasi asam sulfat 0,0125 M), dan K_3 (0,025 M), K_4 (0,05 M) , K_5 (0,10 M). Perlakuan waktu aktivasi (T) sebagai variabel kedua, terdiri atas 3 variasi yakni T_1 (lama perendaman/aktivasi 10 menit) , T_2 (20 menit) dan T_3 (30 menit). Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 45 unit percobaan.

Selama perendaman/proses aktivasi campuran diaduk menggunakan shaker. Selanjutnya disaring dengan kertas saring kasar dan dicuci dengan akuades sampai netral, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 70° C, selanjutnya disimpan di dalam desikator.

Pengujian kemampuan biosorben rumput laut *Sargassum sp.* teraktivasi dengan ion Cu (II).

Rumput laut yang telah diaktivasi sesuai perlakuan selanjutnya ditimbang sebanyak 0,5 gram dalam wadah erlenmeyer. Selanjutnya ditambahkan 50 ml larutan ion Cu^{2+} (dalam bentuk $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 200 ppm dengan pH 4,5 (pengaturan pH dengan HCl 0,1 N).

Larutan kemudian diaduk dengan shaker selama 30 menit dan selanjutnya disaring. Filtratnya diambil untuk diukur kandungan ion Cu^{2+} nya dengan AAS. Selanjutnya data yang didapat dilakukan pengujian Analysis of variance (Anova) pada taraf nyata 5 %.

Penentuan isoterm dan kapasitas biosorpsi

Dalam hal ini kurva isotherm sorpsi yang dibuat adalah Model Langmuir. Sebanyak 10 erlenmeyer 100 mL dimasukkan masing-masing 0,5 gram biosorben dari kombinasi perlakuan konsentrasi asam sulfat 0,05 M dengan lama aktivasi 20 menit .Kombinasi perlakuan ini dipilih berdasarkan hasil pengujian sorpsinya. Selanjutnya masing-masing ditambahkan 25,0 mL larutan Cu^{2+} dengan pH 4,5 dengan konsentrasi berturut-turut 100, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1200, 1400 dan 1500 ppm. Serta masing-masing diaduk selama 30 menit. Setelah itu, campuran disaring dan filtratnya diukur dengan AAS.

Pola isoterm biosorpsi diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara konsentrasi Cu (II) dalam larutan pada keseimbangan terhadap berat Cu(II) yang terserap per gram biosorben . Data pola isoterm biosorpsi diterapkan ke persamaan linear isoterm biosorpsi Langmuir dan dengan memplot C terhadap C/m, maka dapat ditentukan kapasitas biosorpsinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

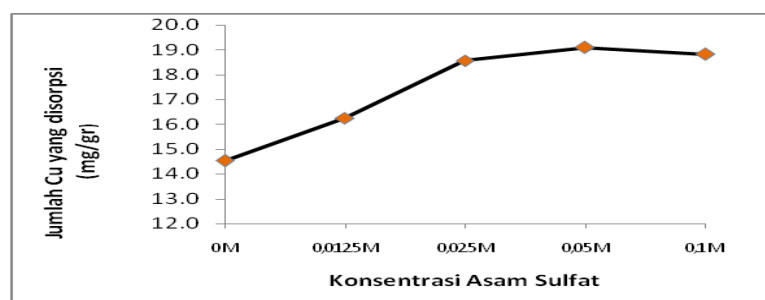
Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Kemampuan Sorpsi Ion Cu(II) Oleh Biosorben

Sebagai salah satu variabel dalam pengembangan biosorben ini, konsentrasi asam sulfat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan sorpsi ion Cu(II). Hal ini ditunjukkan oleh uji anova dimana F hitung sebesar 1818,585 jauh lebih besar dari pada F tabel 5 % yaitu 2,69. Hasil uji lanjut dengan HSD 5 % lebih memperinci perbedaan pengaruh tersebut.

Pada Gambar 1 terlihat jelas bahwa sampai dengan konsentrasi asam sulfat 0,05 M, kemampuan biosorben dalam sorpsi ion Cu(II) semakin meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi asam sulfat yang diberikan. Namun peningkatan konsentrasi asam sulfat dari 0,05 M menjadi 0,1 M tidak lagi meningkatkan kemampuan biosorben tetapi justru menurunkan. Kemampuan tertinggi diperoleh pada variasi konsentrasi asam sulfat K_4 (0,05 M) yaitu rata-rata sebesar 19,0996 mg/g dan terendah pada variasi konsentrasi asam sulfat K_1 (0 M; kontrol) sebesar 14,5314

mg/g. Hal ini disebabkan karena peningkatan konsentrasi asam sulfat yang digunakan untuk aktivasi sampai dengan konsentrasi 0,05 M diduga dapat meningkatkan jumlah sisi aktif dalam biosorben. Bertambahnya jumlah sisi aktif dalam biosorben karena asam khususnya ion H^+ dapat menukar logam pengotor yang terikat pada sisi aktif. Menurut Naja *et al* (2010) rumput laut yang belum mengalami aktivasi mengandung sejumlah ion logam alkali dan alkali tanah yang dibawanya dari air laut seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Lebih lanjut Schiewer dan Volesky (1995) dalam Naja *et al* (2010) melaporkan bahwa ion-ion tersebut dapat terlepas jika rumput laut dicuci dengan larutan asam.

Peningkatan jumlah sisi aktif juga dimungkinkan akibat terbentuknya sisi aktif baru oleh reaksi oksidasi pada polimer senyawa aktif. Sebagaimana diketahui bahwa senyawa aktif dalam rumput laut seperti algin, fukoidan dan laminaran kaya dengan gugus alkohol ($-OH$), yang menurut Murphy (2007) dalam suasana asam dapat teroksidasi membentuk gugus karboksilat.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi asam sulfat terhadap kemampuan sorpsi ion Cu (II) oleh biosorben.

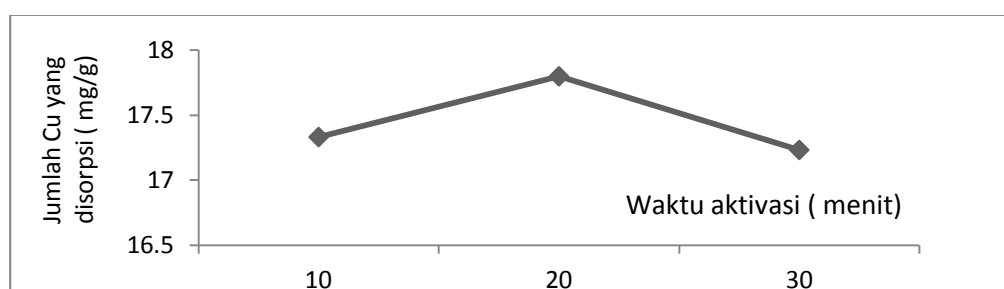
Hasil di atas juga sejalan dengan hasil penelitian Sudiarta (2009) pada rumput laut *Euchema spinosum* dimana pada tahap awal, peningkatan konsentrasi asam sulfat untuk aktivasi dapat meningkatkan jumlah Cr(III) yang tersorpsi. Hal ini juga didukung oleh hasil pengamatannya bahwa perlakuan aktivasi dapat meningkatkan nilai keasaman permukaan biosorben karena adanya peningkatan jumlah ion H^+ yang terikat pada sisi aktif biosorben.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa konsentrasi asam sulfat yang optimal untuk aktivasi adalah 0,05 M atau setara dengan 2,5 mmol asam sulfat tiap gram biosorben. Lebih lanjut peningkatan konsentrasi asam sulfat dari 0,05 M menjadi 0,1 M justru menurunkan kemampuan biosorben. Hal ini disebabkan karena konsentrasi asam sulfat yang digunakan terlalu tinggi diduga dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur biosorben. Hal ini telah dibuktikan oleh Kuyucak and Volesky (1989) melalui pengamatan mikroskopis bahwa penggunaan asam yang berlebih atau pH yang ekstrim dapat merusak struktur biosorben sehingga kemudian

menurunkan kemampuan sorpsinya. Jadi pada konsentrasi asam sulfat 0,1 M diduga sudah mulai terjadi kerusakan pada struktur biosorben *Sargassum sp.* Hal yang sama diamati oleh Sudiarta (2009) pada rumput laut *Euchema spinosum* yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam sulfat untuk aktivasi di atas titik optimal mengakibatkan penurunan kemampuan biosorben yang dihasilkan.

Pengaruh Waktu Aktivasi (T) Terhadap Kemampuan Sorpsi Ion Cu(II) Oleh Biosorben

Seperti halnya faktor konsentrasi asam sulfat (K), faktor waktu aktivasi (T) juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan biosorben dalam sorpsi ion Cu(II). Nilai F hitung pada anova sebesar 70,2627 jauh lebih besar dari pada F tabel 5 % yaitu sebesar 3,22. Hasil uji lanjut dengan HSD 5 % memberikan perincian yang lebih jelas dimana variasi T_2 (waktu aktivasi 20 menit) memberikan kemampuan yang paling tinggi dan berbeda dengan variasi T_1 dan T_3 , namun antara T_1 dan T_3 tidak berbeda nyata.



Gambar 3. Pengaruh waktu aktivasi terhadap kemampuan sorpsi ion Cu (II) oleh biosorben

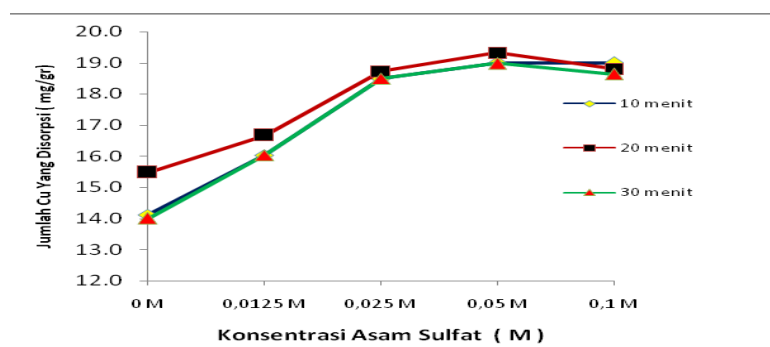
Hubungan antara waktu aktivasi dengan kemampuan biosorben dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa peningkatan waktu aktivasi dari 10 menit menjadi 20 menit, meningkatkan kemampuan biosorben. Namun peningkatan waktu aktivasi menjadi 30 menit tidak lagi meningkatkan kemampuan biosorben dan bahkan ada kecenderungan justru menurunkannya. Variasi T_2 memberikan kemampuan sorpsi yang tertinggi yaitu sebesar 17,7973 mg/g, disusul T_1 sebesar 17,3299 mg/g dan terendah T_3 sebesar 17,2305 mg/g. Perbedaan kemampuan ini diduga disebabkan karena pada awalnya waktu aktivasi 20 menit akan meningkatkan jumlah sisi aktif yang terbentuk dalam biosorben. Hal ini karena semakin lama aktivasi semakin banyak ion H^+ yang terikat pada sisi aktif biosorben. Dengan demikian kemampuan biosorben untuk sorpsi juga semakin meningkat.

Jika waktu aktivasi kemudian ditingkatkan lagi menjadi 30 menit ternyata justru menurunkan kemampuan biosorben. Hal ini diduga disebabkan

karena dengan waktu aktivasi 30 menit malah justru mulai menimbulkan terjadinya reaksi-reaksi lanjutan pada biosorben yang mengarah pada terjadinya kerusakan pada struktur biosorben. Akibatnya kemampuan biosorben dalam mengikat ion Cu^{2+} juga semakin menurun. Hal tersebut telah diamati oleh Kuyucak and Volesky (1989) bahwa dengan pH atau keasaman yang ekstrim atau berlebih, berdasarkan hasil pengamatan secara mikroskopis terjadi kerusakan sel biosorben, yang diikuti dengan penurunan kapasitas sorpsi.

Pengaruh Interaksi Konsentrasi Asam Sulfat dan Waktu Aktivasi Terhadap Kemampuan Sorpsi Ion $Cu(II)$ oleh Biosorben

Hasil uji statistik menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara konsentrasi asam sulfat dan waktu aktivasi terhadap kemampuan biosorben *Sargassum sp.* dalam mengikat ion Cu^{2+} . Dalam hal ini diperoleh nilai F hitung uji anova sebesar 16,2659 lebih besar dari pada F hitung yaitu 2,27. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh interaksi konsentrasi asam sulfat dan waktu aktivasi terhadap kemampuan sorpsi ion $Cu(II)$ oleh biosorben

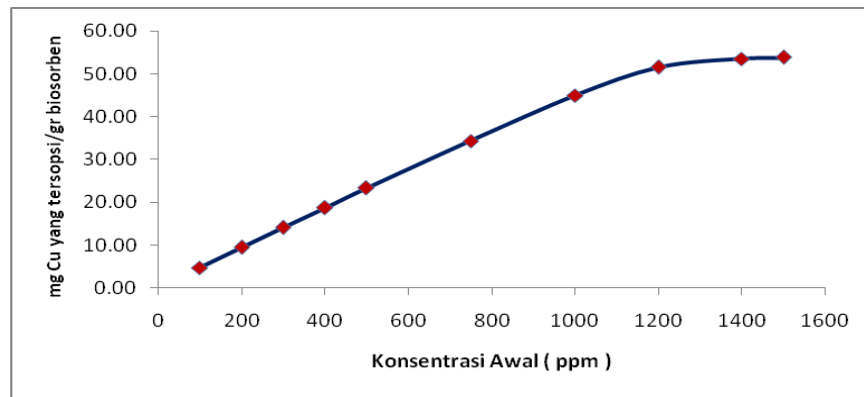
Dari gambar dapat dilihat bahwa pada berbagai waktu aktivasi, peningkatan konsentrasi asam sulfat untuk aktivasi menunjukkan pola yang berbeda. Walaupun secara umum menunjukkan pola yang hampir serupa yaitu terjadi peningkatan kemampuan biosorben dengan peningkatan konsentrasi asam sulfat untuk aktivasi sampai dengan konsentrasi 0,05 M, namun pada konsentrasi diatas 0,05 M pada ketiga waktu aktivasi memperlihatkan pola yang jelas berbeda. Pada waktu aktivasi 10 menit peningkatan konsentrasi asam sulfat dari 0,05 M menjadi 0,1 M masih memperlihatkan pola kenaikan kemampuan biosorben walaupun dengan peningkatan yang relatif kecil, sedangkan pada dua waktu aktivasi lainnya yaitu 20 menit dan 30 menit justru memperlihatkan kecenderungan penurunan yang relatif tajam. Perbedaan respon ini karena pada waktu aktivasi 10 menit, masih belum memperlihatkan terjadinya fenomena kerusakan struktur biosorben yang ditandai dengan penurunan kemampuannya. Namun pada waktu aktivasi yang lebih tinggi peningkatan konsentrasi asam sulfat dari 0,05 M menjadi 0,1 M memperlihatkan gejala mulai terjadinya reaksi lanjutan yang justru merusak struktur biosorben sehingga pada akhirnya menurunkan kemampuannya sebagaimana menurut Kuyucak and Volesky (1989).

Dari Gambar 3 juga dapat dengan jelas dilihat bahwa konsentrasi asam

sulfat 0,05 M dan waktu aktivasi 20 menit merupakan kombinasi perlakuan yang memberikan kemampuan biosorben yang paling tinggi. Hal ini disebabkan karena dengan konsentrasi asam sulfat 0,05 M serta waktu aktivasi 20 menit memberikan jumlah sisi aktif dalam biosorben yang paling tinggi karena merupakan kombinasi konsentrasi asam sulfat dan waktu aktivasi yang paling optimal untuk aktivasi. Artinya pada kombinasi perlakuan ini dengan pengaruh kombinasi konsentrasi asam sulfat serta waktu aktivasi yang tepat, di satu sisi jumlah sisi aktif yang terbentuk menjadi maksimal dan di sisi lain terjadinya kerusakan struktur biosorben masih minimal. Dengan demikian kombinasi perlakuan inilah yang dipilih sebagai kombinasi perlakuan terbaik dalam pengembangan biosorben ini.

Kurva Isoterm Sorpsi, Kapasitas Biosorpsi dan Model Ikatan

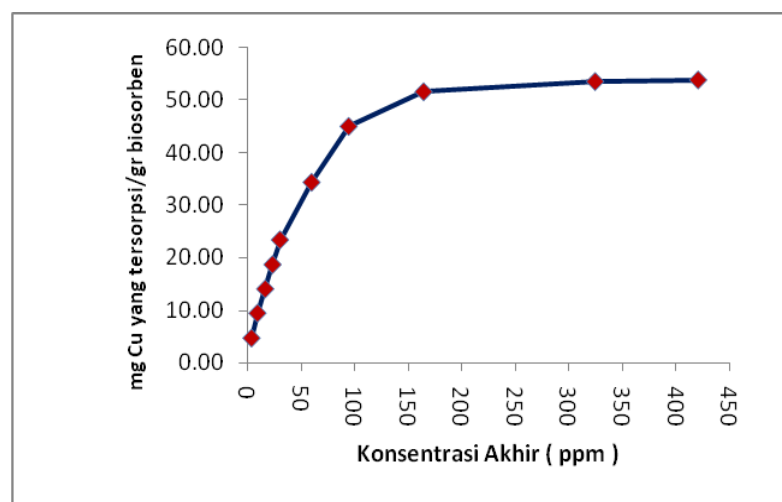
Salah satu karakteristik biosorben yang sangat penting adalah kurva isoterm sorpsi. Kurva ini akan membantu untuk menjelaskan perilaku suatu biosorben dalam interaksinya dengan suatu logam berat. Dalam penelitian ini mula-mula diinteraksikan biosorben yang berhasil dikembangkan dengan berbagai konsentrasi larutan penguji Cu (II) dari konsentrasi rendah sampai tinggi pada pH 4,5 dengan waktu interaksi selama 30 menit.



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi awal larutan Cu(II) dengan mg Cu yang disorpsi tiap gram biosorben.

Pada Gambar 4 yang menunjukkan hubungan antara bobot Cu yang terserap oleh tiap bobot biosorben dengan konsentrasi awal larutan penguji terlihat bahwa sampai dengan konsentrasi awal larutan penguji Cu(II) 1200 ppm terlihat hubungan yang linier, dimana semakin tinggi konsentrasi awal larutan penguji, mg Cu yang disorpsi oleh tiap gram biosorben semakin meningkat pula. Namun mulai dari konsentrasi larutan penguji 1200 ppm ke atas, bobot Cu yang disorpsi tiap gram biosorben sudah relatif

tetap. Ini berarti bahwa pada kondisi ini biosorben dapat dikatakan sudah jenuh mengikat Cu. Dengan kata lain seluruh sisi aktif yang ada dalam senyawa aktifnya sudah berikatan dengan Cu. Jadi pola isotherm sorpsi ini memperlihatkan afinitas yang tinggi antara biosorben dan logam berat pada tahap awal dan selanjutnya mulai berkurang seiring dengan kondisi sisi aktif yang sudah semakin banyak mengikat Cu.



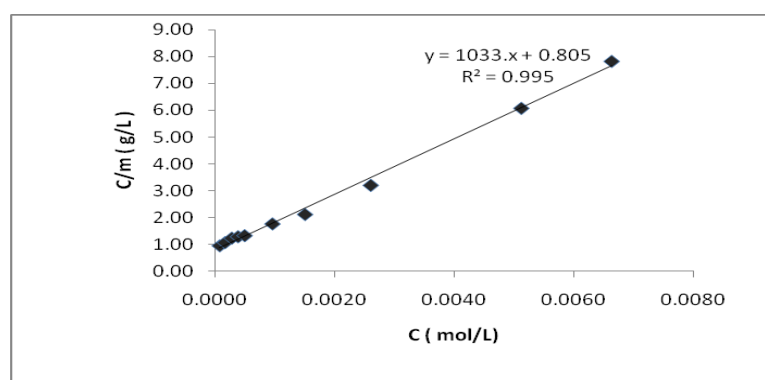
Gambar 5. Hubungan antara konsentrasi akhir larutan Cu (II) dengan mg Cu yang disorpsi tiap gram biosorben.

Hal ini juga didukung oleh grafik pada Gambar 5 yang memperlihatkan hubungan antara bobot Cu yang disorpsi tiap satuan bobot biosorben terhadap konsentrasi larutan Cu(II) akhir. Dari gambar terlihat sangat jelas bahwa mula-mula terjadi peningkatan yang tajam dalam hal bobot Cu yang disorpsi namun pada tahap berikutnya bobot Cu yang disorpsi relatif tetap sampai mencapai konsentrasi kesetimbangan tertentu. Konsentrasi kesetimbangan ini ditunjukkan oleh konsentrasi akhir larutan pengujian. Dengan demikian pada tahap ini dapat dikatakan biosorben sudah mulai jenuh. Model kurva isotherm inilah yang menurut Giles dan Mac Ewan dalam Sudiarta (2009) disebut sebagai model isotherm biosorpsi tipe L atau Langmuir.

Untuk mengetahui kapasitas sorpsi dari biosorben yang berhasil dikembangkan, sesuai dengan pendapat Naja *et al* (2010), maka dibuat plotting antara konsentrasi akhir larutan pengujian dengan rasio antara konsentrasi akhir dengan bobot Cu yang disorpsi tiap

satuan bobot biosorben. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa terdapat hubungan yang linier antara konsentrasi akhir larutan pengujian (mol/L) dengan rasio antara konsentrasi akhir dengan bobot Cu yang disorpsi tiap satuan bobot biosorben (g/L). Dalam hal ini diperoleh nilai r^2 (koefisien determinasi) yang cukup mendekati 1 yaitu sebesar 0,995 yang menunjukkan bahwa model isotherm Langmuir cukup akurat dipakai untuk menjelaskan berbagai fenomena biosorpsi Cu(II) oleh biosorben *Sargassum sp*. Dari Gambar 7 juga dapat dilihat bahwa persamaan regresi grafik adalah $Y = 1033X + 0,805$. Ini berarti slope grafik sebesar 1033. Dengan demikian kapasitas biosorben adalah $1/\text{slope}$ yaitu 0,0009674 mol/g atau 61,4733 mg/g. Nilai yang hampir serupa diperoleh Davis *et al* (2000) dalam Naja *et al* (2010) pada beberapa spesies *Sargassum* yaitu antara 50,83 – 59,1 mg/g.



Gambar 6. Hubungan antara konsentrasi akhir larutan Cu (C) dengan rasio C terhadap m (mg Cu yang disorpsi tiap gram biosorben).

KESIMPULAN

Bertolak dari hasil pengamatan dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa konsentrasi larutan asam sulfat yang paling optimal untuk aktivasi rumput laut *Sargassum sp.* adalah 0,05 M, dengan waktu aktivasi 20 menit, sehingga biosorben yang dihasilkan memiliki kapasitas sorpsi sebesar 61,4733 mg Cu /g biosorben.

DAFTAR PUSTAKA

- Aslan, L. M., 1998, *Budidaya Rumput Laut*, Kanisius, Yogyakarta
- Bird, T., 1987. *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT Gramedia. Jakarta. 347 h.
- Cotton F.A. dan G. Wilkinson, 2007. *Kimia Anorganik Dasar* (Penterjemah : Sahati Suharto). UI-Press. Jakarta. 665 h.
- Davis, T.A. B. Volesky and A. Mucci., 2003. *A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae*. Water Research 37 : 4311–4330
- Diantariani N.P., I W. Sudiarta, dan N. K. Elantiani, 2008. *Proses Biosorpsi dan desorpsi ion Cr (VI) pada biosorben rumput laut Eucheuma spinosum*. Jurnal Kimia 2(1), : 45-52
- Fessenden R.J. and J.S.Fessenden. *Kimia Organik*. Jilid. 2. Edisi Ketiga. Alih Bahasa : A.H.Pudjaatmaka. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Hanafiah K.A. 2000. *Rancangan Percobaan, Teori dan aplikasi*. Edisi Revisi. PT Raja Grafindo persada. Jakarta. 238 h.
- Igwe J.C. and A.A. Abia., 2007. *Adsorption kinetics and intraparticle diffusivities for bioremediation of Co (II), Fe (II) and Cu (II) ions from waste water using modified and unmodified maize cob*. International Journal of Physical Sciences Vol. 2 (5), pp. 119-127.
- Kriswiyanti E.A. dan Y.C. Danarto, 2007. *Model Kesetimbangan Adsorpsi Cr Dengan Rumput Laut*. Journal Ekuilibrium Vol. 6 No. 2 : 47-52.
- Kumar V.V and P. Kaladharan, 2006. *Biosorption of metals from contaminated water using seaweed*. Current Science, Vol. 90, No. 9, 10, P: 1263 – 1267.
- Kuyucak, N. and Volesky, B. 1989. *Desorption of cobalt-laden algal biosorbent*. Biotechnology and Bioengineering, 33: 815–822.

- Liu Y.G., Zhang H.Z., Zeng G.M., Huang B.R., Li Xi, Xu W.H., 2005. *Characteristics of tailings from metal mines in Hunan Province, China*. Journal Cent. South University Technology. Vol. 12 No. 2. :225-228
- Maskur, 2008. *Karakterisasi dan Pengembangan Marker Molekuler Mikrosatelit Yang Berasosiasi dengan Sifat Bernilai Ekonomis Pada plasma Nutfah Rumput Laut*. Laporan Akhir Program Insentif (Insentif Riset Dasar). Lembaga Penelitian Universitas Mataram. Mataram.
- Momodu M.A and C.A. Anyakora., 2010. *Heavy Metal Contamination of Ground Water: The Surulere Case Study*. Research Journal Environmental and Earth Sciences 2(1): 39-43,.
- Murphy V. 2007. *An Investigation into Mechanism Of Heavy Metal Binding By Selected Seaweed Species*. Thesis. Waterford Institute Of Technology.
- Naja G., V. Murphy and B. Volesky. *Biosorption Metals* . Journal Electronis Wiley Encyclopedia Of Industrial Biotechnology, diakses tanggal 1 Januari 2010.
- Nazir M., 2009. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia. Bogor .544 h.
- Oxtoby D.W., H.P. Gillis dan N.A. Nachtrieb. 2003. *Kimia Modern* (Penterjemah : Suminar Ahmad). Edisi Keempat. Jilid II. Penerbit Erlangga. Jakarta. 335 h.
- Palar Heryando, 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta. 152 h.
- Suarya P. *Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeh Oleh Lempung Teraktivasi Asam* . Jurnal Kimia 2 (1), : 19-24
- Sudiarta, I.W., 2009. *Biosorpsi Ion Cr(III) Pada Rumput Laut Eucheuma Spinosum Teraktivasi Asam Sulfat*. Jurnal Kimia 3 (2), : 93-100.
- Widihati I.A.G., 2008. *Adsorpsi Anion Cr(VI) Oleh Batu Pasir Teraktivasi Asam Dan Tersulut Fe₂O₃*. Jurnal Kimia 2 (1), : 25-30
- Winarno F.G., 1996. *Teknologi Pengolahan Rumput Laut*. Pustaka Sinar Harapan. Jakarta. 112 h.