



## ISOTERM ADSORPSI KROMIUM(III) OLEH BIOMASSA *Sargassum sp.*

(*Isoterm Adsorption of Chromium(III) by Non-Living Sargassum sp.*)

**Nelly Wahyuni, Imelda H. Silalahi, Nurlina, Yossy**

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Hadari Nawawi, Pontianak-78124, Indonesia  
e-mail: [nurlina@chemistry.untan.ac.id](mailto:nurlina@chemistry.untan.ac.id)

Diterima 27 Maret 2020, Revisi akhir 03 Desember 2020, Ditetujui 04 Desember 2020

**ABSTRAK.** Kromium (Cr) merupakan salah satu jenis logam berat yang memiliki tingkat toksisitas yang sangat tinggi dan dapat menimbulkan bahaya apabila dibuang secara langsung ke perairan. Salah satu teknik untuk mengurangi kadar logam berat dengan proses yang relatif lebih murah, sederhana dan memberikan efektifitas serta efisiensi yang relatif tinggi adalah melalui proses adsorpsi dengan memanfaatkan rumput laut (alga cokelat *Sargassum sp.*) sebagai adsorben. Tujuan penelitian ini adalah untuk menjelaskan model isotherm adsorpsi dan kinetika adsorpsi ion Cr(III) oleh *Sargassum sp.* dengan berbagai variasi perlakuan. Perlakuan adsorpsi yang dilakukan pada penelitian ini antara lain variasi perlakuan terhadap adsorben yang digunakan yaitu *Sargassum sp.* tanpa protonasi, *Sargassum sp.* terprotonasi  $H_2SO_4$  0,1 M dan *Sargassum sp.* terprotonasi  $H_2SO_4$  0,2 M; variasi waktu kontak adsorpsi yaitu 0,5; 1, 3, 6 dan 12 jam, dan variasi konsentrasi awal ion Cr(III) yaitu 50 mg/L, 100mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L dan 700 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti persamaan isotherm Freundlich dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) > 0,9. Kapasitas adsorpsi ion Cr(III) oleh *Sargassum sp.* terprotonasi asam sulfat 0,1 M sebesar  $3,464 \times 10^{-3}$  mol/g. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan kapasitas adsorpsi ion Cr(III) oleh adsorben *Sargassum sp.* tanpa protonasi dan *Sargassum sp.* terprotonasi asam sulfat 0,2 M. Penerapan model kinetika Langmuir-Hinshelwood menghasilkan harga konstanta kinetika adsorpsi Cr(III) dari ketiga jenis adsorben berturut-turut sebesar  $1,1 \times 10^{-3}$  menit<sup>-1</sup>,  $2,0 \times 10^{-4}$  menit<sup>-1</sup> dan  $7,0 \times 10^{-4}$  menit<sup>-1</sup>.

**Kata kunci:** adsorpsi, kinetika, kromium, isotherm, *Sargassum sp.*

**ABSTRACT.** Chromium (Cr) is one of the heavy metals with high toxicities and can be dangerous if it is thrown up directly into waters. One of the techniques to reduce heavy metal content with inexpensive, simple, effective and efficient is through adsorption process utilizing brown seaweed (algae) *Sargassum sp.* as adsorbent. The purpose of this study is to describe the isotherm adsorption and adsorption kinetics model of *Sargassum sp.* to Cr(III) by *Sargassum sp.* with various treatments. Adsorption treatments carried out in this research include treatment variations of the adsorbent *Sargassum sp.* without protonation, *Sargassum sp.* protonated with  $H_2SO_4$  0.1 M and *Sargassum sp.* protonated with  $H_2SO_4$  0.2 M; variations of contact time are 0.5, 1, 3, 6 and 12 hours; and variations of initial concentration of ion Cr(III) 50 mg/L, 100 mg/L, 300 mg/L, and 700 mg/L. The result showed that the adsorption model fitted with the Freundlich isotherm equation with coefficient correlation ( $R^2$ ) > 0.9. The adsorption capacity of protonated *Sargassum sp.* with sulfuric acid 0.1 M was  $3.464 \times 10^{-3}$  mol/g. It is higher than *Sargassum sp.* without protonation and *Sargassum sp.* protonated with sulfuric acid 0.2 M. The application of the Langmuir-Hinshelwood kinetics model yielded the constant of adsorption rate for each adsorbent were  $1.1 \times 10^{-3}$  min<sup>-1</sup>,  $2.0 \times 10^{-4}$  min<sup>-1</sup> and  $7.0 \times 10^{-4}$  min<sup>-1</sup>, respectively.

**Keywords:** adsorption, chromium, isotherm, kinetics, *Sargassum sp.*

### 1. PENDAHULUAN

Logam berat tidak hanya bersifat toksik, namun dapat mengalami bioakumulasi, biotransformasi dan biomagnifikasi di alam

sehingga dapat berakibat kepada manusia. Logam berat merupakan salah satu pencemar lingkungan yang dapat bersumber dari aktivitas industri. Salah satu logam berat yang memiliki tingkat toksisitas yang tinggi adalah kromium (Esmaeili *et al.*,

2010). Kromium biasanya digunakan dalam industri seperti pembuatan baja, proses pemurnian bahan kimia, pembuatan katalis, pembuatan zat warna, penyepuhan logam, pencelupan, pewarnaan, penyamakan kulit dan pengawetan kayu (Wu *et al.*, 2008; Apriantiet *al.*, 2018). Kromium dalam bentuk senyawa oksida, hidroksida atau sulfat merupakan senyawa yang berbahaya di permukaan bumi. Hal ini disebabkan oleh sifat senyawa tersebut yang stabil, kuat, larut dalam fase cairan dan dapat berikatan dengan bahan organik tanah atau perairan sehingga sulit terdegradasi (Parket *al.*, 2005).

Upaya pencegahan kontaminasi logam berat kromium yang semakin meningkat di lingkungan dapat ditanggulangi dengan mengurangi kadar kromium di lingkungan. Perkembangan teknologi dalam upaya pencegahan tersebut diarahkan dengan memanfaatkan bahan baku dari alam sehingga dapat terdegradasi kembali di lingkungan. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah dengan adsorpsi menggunakan berbagai adsorben seperti aluminium oksida hidroksida (Bedemo *et al.*, 2016), lignin (Wu *et al.*, 2008), karbon aktif dari cangkang kernel kelapa sawit (Musah, 2011), karbon aktif teraktivasi  $H_2SO_4$  (Hintermeyer & Tavani, 2016), biomassa bakteri (Aravindhan *et al.*, 2011), eceng gondok (Premalatha *et al.*, 2019), pulp tebu (Yang *et al.*, 2013), biochar (Batool *et al.*, 2019) dan limbah jeruk (Marin *et al.*, 2009). Pemanfaatan sistem adsorpsi untuk pengambilan logam-logam berat dari perairan dengan memanfaatkan alga juga telah dilakukan (Arumugam *et al.*, 2018).

Beberapa spesies alga ditemukan mempunyai kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam, baik dalam keadaan hidup maupun dalam bentuk sel mati (biomassa), seperti sargassum dan chlorela. Penggunaan adsorben biomassa tidak hidup untuk menyerap logam berat telah dikembangkan. Biomassa *Sargassum sp.* dilaporkan memiliki kemampuan menyerap logam-logam seperti Cd, Co, Cr(III), Cr(VI), Cu, Fe, Hg, La, Ni, Pb dan Zn (Vicente *et al.*, 2020). Beberapa studi mengindikasikan bahwa adsorben biomassa tak hidup lebih efektif dibandingkan dengan biomassa hidup dalam mengadsorpsi elemen logam.

Kemampuan adsorpsi *Sargassum sp.* dipengaruhi oleh kandungan kimia dinding selnya yaitu polisakarida alginat yang kaya akan kandungan gugus fungsi karboksilat ( $-COOH$ ), amina ( $-NH_2$ ) dan hidroksil ( $-OH$ ) serta *fucoidan* (*sulfated polysaccharides*) yang mengandung

gugus fungsi asam sulfonat ( $R-S(=O)_2-OH$ ) (Hernandez *et al.*, 2020). Polisakarida alginat yang terdiri dari asam ' $\beta$ -D-mannuronic' (M) dan ' $\alpha$ -L-glucuronic' (G) berperan sebagai pengkhelet logam atau penukar ion dalam proses adsorpsi oleh *Sargassum* (Vicente *et al.*, 2020). Keberadaan gugus karboksilat ( $-COOH$ ) dan juga keberadaan gugus hidroksil ( $-OH$ ), memungkinkan *Sargassum sp.* mampu melakukan adsorpsi ion logam berat (Wahyuni & Yossy, 2009). Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Bertagnolliet *al.* (2014) menunjukkan bahwa adanya perubahan serapan gugus fungsi  $-COOH$  yang diduga karena pembentukan ikatan koordinasi antara  $-COOH$  dengan ion logam, serta perubahan serapan pada gugus fungsi C-S-O dan S=O dan amida, yang mengindikasikan bahwa kedua gugus fungsi ini juga terlibat dalam proses adsorpsi ion logam.

Menurut Hernandez *et al.* (2020), mekanisme adsorpsi yang dapat terjadi pada *Sargassum sp.* yaitu fisisorpsi, kemisorpsi, mikropresipitasi dan pertukaran ion. Fisisorpsi oleh *Sargassum sp.* dapat terjadi karena interaksi elektrostatik dari gaya Coulomb dan interaksi van der Waals ketika muatan negatif dari permukaan adsorben menyerang kation logam pencemar (Murphy, 2016). Kemisorpsi dapat terjadi karena pembentukan ikatan kovalen dan kompleksasi, yaitu pembentukan khelat antara ion logam dan ligan organik sehingga membentuk struktur cincin. Mekanisme kemisorpsi antara *Sargassum sp.* dan ion logam juga dapat dijelaskan dengan konsep asam basa keras lunak (*hard soft acid base*), dimana gugus fungsi yang mengandung oksigen dan sulfur pada *Sargassum sp.* cenderung bersifat basa keras akan mudah berikatan dan ikatannya cenderung stabil dengan ion logam yang bersifat asam keras, seperti Cr(III) (Oliveira *et al.*, 2011). Mikropresipitasi atau dikenal juga dengan sebutan presipitasi permukaan adalah proses ion logam bereaksi dengan polimer ekstraseluler sehingga menyebabkan terjadinya kristalisasi. Proses pertukaran ion menyebabkan terjadinya pertukaran ion logam secara ekuivalen dengan ion pada adsorben (Hernandez *et al.*, 2020). Mekanisme adsorpsi melalui pori juga memungkinkan terjadi pada *Sargassum sp.* Berdasarkan penelitian Sarvestani *et al.* (2016), *Sargassum sp.* merupakan adsorben mesopori dengan ukuran pori 2-50 nm, yang memungkinkan terjadinya penyerapan adsorbat pada pori.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya tentang potensi alga coklat yang dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat, maka

dilakukan kajian untuk menentukan kapasitas adsorpsi ion Cr(III) oleh alga coklat *Sargassum sp.* yang diaktivasi menggunakan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Selain itu, penelitian ini juga menentukan model kinetika yang paling cocok untuk menjelaskan adsorpsi ion Cr(III) pada *Sargassum sp.*

## 2. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah alga coklat *Sargassum sp.* dari Pulau Lemukutan Kabupaten Bengkayang, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95-97% p.a (Merck), CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O (Merck) dan NaOH (Merck). Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain alat-alat gelas standar, ayakan ukuran 40 dan 80 mesh (Analysensieb Eckhardt 5657 Haan W.Germany), spektrofotometer inframerah (FTIR *spectrophotometer* 8201PC Shimadzu) dan spektrofotometer serapan atom (SSA) (AA240FS Fast Sequential AAS (*serial number* AA 1007 M 005)).

### Preparasi Adsorben

Tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah preparasi adsorben. Preparasi adsorben dari alga coklat *Sargassum sp.* mengikuti metode Wahyuni & Yossy (2009). Biomassa *Sargassum sp.* dicuci dan dibersihkan dengan akuades, kemudian dikeringkan di dalam oven pada suhu 60 °C selama 24 jam. Selisih berat sebelum dan sesudah pemanasan ditentukan. Setelah itu, sampel dihaluskan dengan ayakan berukuran 40-80 mesh sehingga diperoleh keseragaman bentuk dan ukuran. *Sargassum sp.* yang telah dihaluskan selanjutnya disebut dengan adsorben A. Proses transformasi biomassa dalam bentuk H-biomassa dilakukan dengan mencampur adsorben A dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M (adsorben B) dan adsorben A dalam larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M (adsorben C), dengan perbandingan massa adsorben dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> adalah 5g /200 mL. Campuran diaduk menggunakan *shaker* selama 3 jam. Sampel yang telah direaksikan tersebut dicuci dengan akuades sampai pH konstan yaitu 4,2 dan dikeringkan dalam oven dengan temperatur 60 °C selama 24 jam.

### Pembuatan Larutan Cr(III)

Larutan Cr(III) yang dibuat dengan melarutkan sebanyak 5,12 gram padatan CrCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dengan akuades, dan ditetapkan volumenya menggunakan labu ukur sampai tanda batas 1000 mL.

### Uji Adsorpsi

Adsorben yang telah dipreparasi kemudian digunakan untuk mengadsorpsi ion Cr(III). Sebanyak 0,2 g adsorben hasil preparasi dimasukkan dalam erlenmeyer yang berisi masing-masing 50 mL larutan Cr(III), kemudian diaduk dengan *rotary shaker* kecepatan 180 rpm selama 6 jam dan pH diatur konstan yaitu 4,2. Variasi konsentrasi larutan Cr(III) yang digunakan adalah 50 mg/L, 100mg/L, 300 mg/L, 500 mg/L dan 700 mg/L. Suspensi analit yang telah diinteraksikan dengan adsorben dipisahkan dengan cara disaring. Larutan yang terpisah (supernatan) ditentukan konsentrasi spesi ion Cr (III) menggunakan SSA.

### Penentuan Model Isoterm dan Kinetika Adsorpsi

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan spektrofotometer serapan atom adalah konsentrasi ion Cr(III) yang tidak teradsorpsi atau konsentrasi sisa atau konsentrasi akhir atau konsentrasi pada kesetimbangan ( $C_{eq}$ ). Nilai  $C_{eq}$  digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi ( $q_e$ ) (persamaan (1) (Ouyang *et al.*, 2019), dimana:

$$q_e = \left( \frac{C_0 - C_{eq}}{m} \right) \times V \dots \dots \dots (1)$$

dengan  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi,  $C_0$  adalah konsentrasi adsorbat mula-mula,  $C_{eq}$  adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan,  $m$  adalah massa adsorben dan  $V$  adalah volume larutan yang digunakan pada proses adsorpsi. Data  $q_e$  dan  $C_{eq}$  yang diperoleh kemudian dimasukkan dalam plot grafik sesuai dengan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir (persamaan (2) dan persamaan isoterm Freundlich (persamaan (3)) (Chen, 2015).

$$\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{C_{eq}}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L} \dots \dots \dots (2)$$

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \dots \dots \dots (3)$$

dimana,  $C_{eq}$  adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan, adalah  $q_e$  kapasitas adsorpsi oleh adsorben,  $q_m$  adalah kapasitas adsorpsi maksimum atau kapasitas penutupan monolayer,  $K_L$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi Langmuir,  $K_F$  adalah konstanta kesetimbangan adsorpsi Freundlich. Dengan membuat plot hubungan antara  $\frac{C_{eq}}{q_e}$  versus  $C_{eq}$  untuk persamaan isoterm Langmuir dan plot hubungan antara  $\log q_e$  versus  $\log C_{eq}$  untuk persamaan isoterm Freundlich maka akan

diperoleh dua nilai regresi linear ( $R^2$ ) grafik. Nilai  $R^2$  yang mendekati 1 mengindikasikan bahwa model isotherm tersebut paling cocok menjelaskan adsorpsi yang terjadi. Berdasarkan persamaan garis dari grafik isotherm Langmuir akan diperoleh nilai  $q_m$  dan  $K_L$ -nya dapat digunakan untuk menghitung energi adsorpsi, sedangkan berdasarkan persamaan garis isotherm Freundlich akan diperoleh  $K_F$ . Penentuan konstanta kinetika adsorpsi dari ketiga jenis adsorben dilakukan berdasarkan kinetika Langmuir-Hinshelwood sesuai persamaan 4 (Umaningrum *et al.*, 2010).

$$\frac{\ln \frac{C_0}{C_t}}{C_0 - C_t} + K = \frac{k_1 t}{C_0 - C_t} \dots \dots \dots (4)$$

dengan K sebagai konstanta kesetimbangan adsorpsi,  $C_0$  yaitu konsentrasi awal ion logam,  $C_t$  yaitu konsentrasi ion logam pada saat kesetimbangan atau konsentrasi ion logam yang tersisa setelah adsorpsi selama waktu  $t$ ,  $t$  adalah waktu, dan  $k_1$  adalah konstanta kinetika adsorpsi. Konstanta kinetika adsorpsi dapat ditentukan dari

slope grafik  $\frac{\ln \frac{C_0}{C_t}}{C_0 - C_t}$  versus  $\frac{t}{C_0 - C_t}$ .v vz

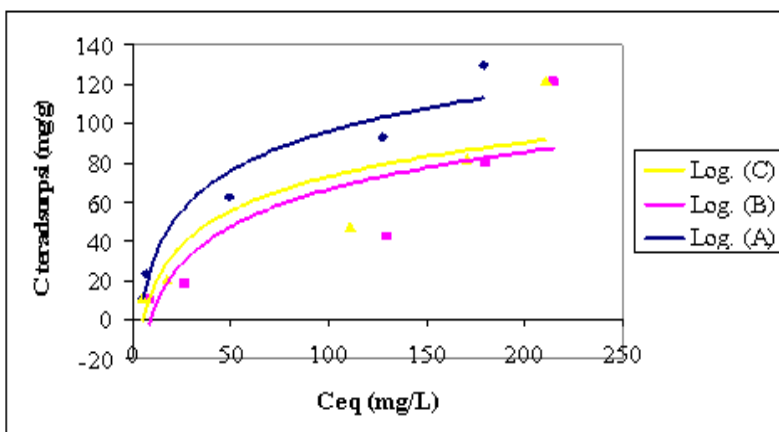
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini yaitu biomassa *Sargassum sp.* yang telah dibersihkan, dikeringkan dan dihaluskan ukurannya pada rentang 40-80 mesh. Biomassa *Sargassum sp.* kemudian direaksikan dengan larutan  $H_2SO_4$  pada konsentrasi 0,1 M dan 0,2 M

larutan  $H_2SO_4$ . Penelitian ini membahas kemampuan adsorpsi ion Cr(III) oleh biomassa *Sargassum sp.* (adsorben A), *Sargassum sp.* yang diaktivasi secara kimia dengan penambahan larutan  $H_2SO_4$  0,1 M (adsorben B) dan *Sargassum sp.* yang diaktivasi secara kimia dengan penambahan larutan  $H_2SO_4$  0,2 M (adsorben C) terhadap ion Cr(III).

Adsorpsi ion Cr(III) oleh *Sargassum sp.* dilakukan pada pH 4,2. Kondisi pH adsorpsi mengacu dari penelitian yang telah dilakukan oleh Manzoor *et al.* (2019) yang menyebutkan bahwa pada kondisi pH sekitar 3-5, ion Cr(III) dalam larutan dapat berupa ion  $Cr(OH)_2^+$ ,  $Cr(OH)^{2+}$ ,  $Cr_2(OH)_2^{4+}$  dan  $Cr_3(OH)_4^{5+}$ . Pada pH asam, gugus fungsi (seperti  $-COOH$  dan  $-OH$ ) yang terkandung pada *Sargassum sp.* mengalami protonasi sehingga permukaan adsorben menjadi kaya akan muatan positif. Kondisi ini memungkinkan terjadinya interaksi ion Cr(III) dengan permukaan adsorben melalui interaksi elektrostatik.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antara konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan dengan konsentrasi teradsorpsi sehingga dapat dilihat bahwa adanya peningkatan jumlah teradsorpsi meskipun relatif kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa keadaan kesetimbangan belum tercapai. Pada keadaan kesetimbangan ini, bagian aktif dari adsorben telah jenuh dengan adanya penyerapan adsorbat sehingga kenaikan konsentrasi relatif tidak akan meningkatkan konsentrasi ion logam Cr(III) yang teradsorpsi.



Gambar 1. Kurva isotherm adsorpsi ion  $Cr^{3+}$  pada ketiga jenis adsorben: (A) *Sargassum sp.* tanpa protonasi, (B) terprotonasi  $H_2SO_4$  0,1 M dan (C) terprotonasi  $H_2SO_4$  0,2 M

Penerapan model isotherm adsorpsi Freundlich dan Langmuir dari ketiga variasi adsorben dapat dilihat dan dibandingkan persamaan garis, nilai b dan K serta nilai  $R^2$  dari persamaan isotherm Langmuir dan Freundlich (Tabel 1). Model

adsorpsi ion Cr(III) pada adsorben A, B dan C lebih mengikuti model isotherm adsorpsi Freundlich. Hal ini dibuktikan dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) yang lebih tinggi bila dibandingkan model Langmuir.

Tabel 1. Perbandingan persamaan garis, nilai b dan K serta koefisien korelasi (R<sup>2</sup>) dari persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich

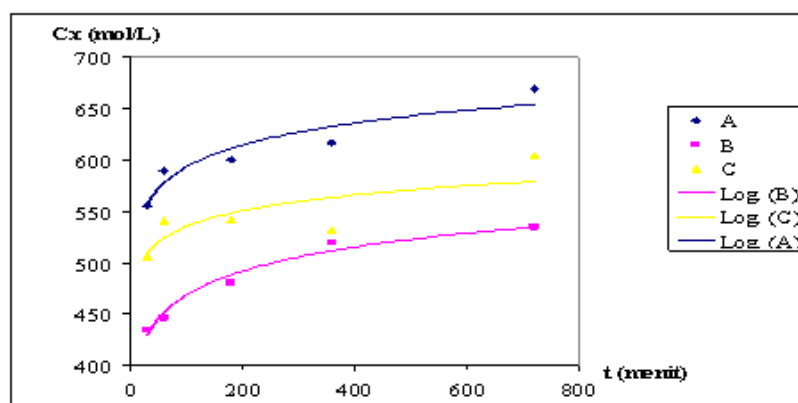
Jenis adsorben	Isoterm Langmuir				Isoterm Freundlich		
	Persamaan garis	$q_m \times 10^{-3}$ (mol/g)	E (kJ/mol)	R <sup>2</sup>	Persamaan garis	$K_F$ (mg/g) (L/mg) <sup>n</sup>	R <sup>2</sup>
A	$y=323,46x+0,404$	3,092	16,684	0,914	$y=0,6067x+0,736$	0,607	0,950
B	$y=288,72x+1,244$	3,464	13,592	0,354	$y=0,6867x+0,338$	0,687	0,931
C	$y=351,9x+0,802$	2,842	15,182	0,596	$y=0,6017x+0,574$	0,602	0,958

Pengaruh protonasi adsorben *Sargassum sp.* terhadap kemampuan adsorpsi biomassa secara kuantitatif dapat dilihat dari kapasitas adsorpsi monolayer ( $q_m$ ) masing-masing adsorben tersebut. Kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan oleh *Sargassum sp.* terprotonasi asam sulfat 0,1 M sebesar  $3,464 \times 10^{-3}$  mol/g lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben tanpa protonasi dan adsorben terprotonasi asam sulfat 0,2 M yaitu berturut-turut sebesar  $3,092 \times 10^{-3}$  mol/g dan  $2,842 \times 10^{-3}$  mol/g. Nilai tersebut menunjukkan bahwa adsorben terprotonasi larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M mempunyai kemampuan yang lebih baik untuk adsorpsi ion logam ion Cr(III) apabila dibandingkan adsorben tanpa protonasi dan adsorben terprotonasi larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M. Aktivasi *Sargassum sp.* dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi yang lebih besar daripada 0,1 M mungkin menyebabkan runtuhnya struktur alga yang mengakibatkan porositas adsorben menjadi berkurang (Wahyuni & Yossy, 2009).

Persamaan isoterm Langmuir juga digunakan untuk mengetahui energi adsorpsi. Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa ternyata proses adsorpsi terjadi secara fisisorpsi dengan harga energi berkisar antara 13,593-16,684 kJ/mol. Menurut Stoklosa *et al.* (2004), batas minimal

energi kemisorpsi atau adsorpsi kimia yang terjadi pada logam 3d adalah 70 kJ/mol. Energi adsorpsi ion Cr(III) oleh *Sargassum sp.* terprotonasi lebih rendah daripada tanpa protonasi. Hal ini diduga karena mekanisme pengikatan ion logam oleh adsorben alga yang bersifat kompleks.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi oleh suatu adsorben adalah waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat, yaitu waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi digunakan untuk penentuan kinetika reaksi (Silalahi *et al.*, 2012). Gambar 3 menunjukkan pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion Cr(III). Adsorpsi ion Cr(III) berlangsung sangat cepat dimenit awal dan terus meningkat dengan bertambahnya waktu kontak (Gambar 3). Setelah proses adsorpsi berlangsung selama 360 menit jumlah ion Cr(III) yang teradsorpsi (Cx) pada ketiga jenis adsorben cenderung konstan. Kesetimbangan adsorpsi ion Cr(III) oleh adsorben tercapai ketika penambahan waktu kontak tidak berpengaruh pada jumlah logam yang teradsorpsi pada adsorben. Kondisi ini menunjukkan telah tercapai kesetimbangan antara ion logam yang teradsorpsi dengan yang terdesorpsi dalam larutan (Silalahi *et al.*, 2012).



Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion Cr(III) pada ketiga jenis adsorben *Sargassum sp.*

Menurut kinetika Langmuir-Hinshelwood, tahap penentu kinetika adsorpsi adalah tahap reaksi pada permukaan adsorben, sehingga kinetika

adsorpsinya sebanding dengan konstanta kinetika pada permukaan adsorben dan situs aktif yang ditempati adsorbat. Sesuai dengan pendekatan

isoterm Langmuir, permukaan adsorben dianggap homogen (keaktifan adsorpsinya dianggap memiliki energi adsorpsi yang seragam) dan tidak ada interaksi antar adsorbat pada permukaan adsorben. Berdasarkan plot persamaan kinetika Langmuir-Hinshelwood diperoleh konstanta kinetika. Konstanta kinetika adsorpsi ion Cr(III) dengan adsorben A adalah  $1,1 \times 10^{-3}$  menit<sup>-1</sup>, relatif lebih rendah nilainya dibandingkan dengan konstanta kinetika adsorpsi ion Cr(III) dengan adsorben B dan C yaitu berturut-turut  $2,0 \times 10^{-4}$

dan  $7,0 \times 10^{-4}$  menit<sup>-1</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa aktivasi *Sargassum sp.* dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat meningkatkan kinetika adsorpsi. Sesuai dengan asumsi kinetika Langmuir-Hinshelwood (Umaningrum *et al.*, 2010), kinetika adsorpsi semakin besar sebanding dengan banyaknya situs aktif pada adsorben akibat proses aktivasi *Sargassum sp.* dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menghasilkan protonasi gugus-gugus fungsi –COOH dan –OH pada permukaan *Sargassum sp.*

Tabel 2 Nilai  $k_1$  dan koefisien korelasi ( $R^2$ ) dari adsorben *Sargassum sp.*

Jenis Adsorben	Persamaan garis	Konstanta kinetika ( $k_1$ ) (menit <sup>-1</sup> )	$R^2$
A	$y = 0,0011x + 0,0037$	$1,1 \times 10^{-3}$	0,9736
B	$y = 0,0002x + 0,0016$	$2,0 \times 10^{-4}$	0,8908
C	$y = 0,0007x + 0,0026$	$7,0 \times 10^{-4}$	0,8645

#### 4. KESIMPULAN

Isoterm adsorpsi Cr(III) dari adsorben alga coklat *Sargassum sp.* tanpa protonasi, adsorben terprotonasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M cenderung mengikuti model adsorpsi Freundlich dengan nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) > 0,9 dan nilai konstanta isotherm adsorpsi berturut-turut 0,607; 0,687 dan 0,602. Protonasi *Sargassum sp.* dengan asam sulfat 0,1 M dapat meningkatkan kapasitas adsorpsinya menjadi  $3,464 \times 10^{-3}$  mol/g dibandingkan dengan *Sargassum sp.* tanpa aktivasi dan *Sargassum sp.* terprotonasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M. Berdasarkan hasil konstanta kinetika sesuai model kinetika Langmuir-Hinshelwood, aktivasi *Sargassum sp.* dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dapat meningkatkan kinetika adsorpsi ion Cr(III).

#### DAFTAR PUSTAKA

Aprianti, T., Aprilyanti, S., Apriani, R., & Sisnayati. (2018). Studies on adsorption capacity of clay-sargassum sp. biosorbent for Cr (VI) removal in wastewater from electroplating industry. *Proceedings of the 3rd International Conference on Construction and Building Engineering (ICONBUILD) 2017, AIP Conference Proceedings*, 1903 (pp. 040016-1–040016-5). Maryland: AIP Publishing.

Aravindhan, R., Fathima, A., Selvamurugan, M., Rao, J.R., & Balachandran, U.N. (2011). Adsorption, desorption, and kinetic study on Cr(III) removal from aqueous solution using *Bacillus subtilis* biomass. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14, 727-735.

Arumugam, N., Chelliapan, S., Kamyab, H., Thirugnana, S., Othman, N & Nasri, N.S. (2018). Treatment of wastewater using seaweed: a review. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 15(12), 2851.

Batool, S., Idrees, M., Al-Wabel, M., Ahmad, M., Hina, K., Ullah, H., Cui, L. & Hussain, Q. (2019). Sorption of Cr(III) from aqueous media via naturally functionalized microporous biochar: Mechanistic study. *Microchemical Journal*. 144, 242-253.

Bedemo, A., Chandravanshi, B. S., & Zewge, F. (2016). Removal of trivalent chromium from aqueous solution using aluminum oxide hydroxide. *SpringerPlus*, 5(1), 1288.

Bertagnolli, C., Silva, M.G. & Guibal, E. (2014). Chromium biosorption using the residue of alginate extraction from *Sargassum filipendula*. *Chemical Engineering Journal*, 237, 362-371.

Chen, X. (2015). Modeling of Experimental Adsorption Isotherm Data. *Information*, 6, 14-22.

Esmaeili, A., Samira Ghasemi, S., & Rustaiyan, A. (2010). Removal of hexavalent chromium using activated carbon derived from marine algae *Gracilaria* and *Sargassum sp.* *Journal of Marine Science and Technology*, 18 (4), 587-592.

Hintermeyer, B. H. & Tavani, E. L. (2016). Chromium(III) recovery from tanning wastewater by means of adsorption on activated carbon and elution with sulfuric acid. *Environmental Engineering Research*, 1-23.

Manzoor, Q., Sajid, A., Hussain, T., Iqbal, M., Abbas M., & Nisar, J. (2019). Efficiency of immobilized *Zea mays* biomass for the

- adsorption of chromium from simulated media and tannery wastewater. *Journal of Materials Research and Technology*, 1, 75-86.
- Marin, A.B.P., Aguilar, M.I., Meseguer, V.F., Ortuno, J.F., Saez, J., & Llorens, M. (2009). Biosorption of chromium(III) by orange (*Citrus cinensis*) waste: Batch and continuous studies. *Chemical Engineering Journal*, 155, 199-206.
- Musah, M. (2011). Kinetic Study of the Adsorption of  $Pb^{2+}$  and  $Cr^{3+}$  ions on palm kernel shell activated carbon. *Researcher*, 3(10), 1-6.
- Murphy, C. (2016). *An investigation into the bioaccumulation of chromium by macroalgae. Doctoral dissertation*, Waterford Institute of Technology.
- Oliveira, R.C., Jouannin, C., Guibal, E., & Garcia, O. (2011). Samarium(III) and praseodymium(III) biosorption on *Sargassum* sp.: Batch study. *Process Biochemistry*, 46, 736-744.
- Ouyang, D., Zhuo, Y., Hu, L., Zeng, Q., Hu, Y., & He, Z. (2019). Research on the Adsorption Behavior of Heavy Metal Ions by Porous Material Prepared with Silicate Tailings. *Minerals*, 9, 291.
- Park, D., Yun, Y.S., Jo, J.H., & Park, J.M. (2005). Mechanism of hexavalent chromium removal by dead fungal biomass of *Aspergillus niger*. *Water Research*, 39(4):533-40.
- Premalatha, R.P., Parameswari, E., Davamani, V., Malarvizhi, P. & Avudainayagam, S. (2019). Biosorption of Chromium(III) from Aqueous Solution by Water Hyacinth Biomass. *Madras Agricultural Journal*, 106, 12-21.
- Sarvestani, S.F., Esmaili, H., & Ramavandi, B. (2016). Modification of *Sargassum angustifolium* by molybdate during a facile cultivation for high-rate phosphate removal from wastewater: structural characterization and adsorptive behavior. *3 Biotech*, 6, 251.
- Silalahi, I.H., Zahara, T.A., & Tampubolon, H.M. (2012). Kapasitas Adsorpsi Merkuri Menggunakan Adsorben *Sargassum crassifolium* Teraktivasi. *Biopropal*, 3, 28-38.
- Stoklosa, A., Kurek, S.S., & Laskowska, B. (2004). Binding Energy and the Heat of Chemisorption on Metallic Catalysts- A Thermodynamic Aspect. *Adsorption Science and Technology*, 23(2), 161-172.
- Umaningrum, D., Santoso, U.T., Nurmasari, R., & Yunus, R. (2010). Kinetika Adsorpsi  $Pb(II)$ ,  $Cd(II)$  dan  $Cr(III)$  pada adsorben produk pengikatan-silang terproteksi asam humat/kitosan. *Indonesian Journal of Chemistry*, 10(1), 80-87.
- Vicente, M.E.S., Barro, P.R., Herrero, R., Vilarino, T. Lodeiro, P., & Barriada, J.L. (2020). Biosorption of chemical species by *Sargassum* algal biomass: Equilibrium data, part I. *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*, 675-696.
- Wahyuni, N. & Yossy. (2009). Protonasi alga coklat *Sargassum* sp. dari Pulau Lemukutan dengan  $H_2SO_4$  dan aplikasinya sebagai adsorben logam  $Cr^{3+}$ . *Kaunia*, 5(2), 63-70.
- Wu, Y., Zhang, S., Guo, X., & Huang, H. (2008). Adsorption of chromium(III) on lignin. *Bioresource Technology*, 99(16), 7709-7715.
- Yang, Z.H., Xiong, S., Wang, B., Li, Q., & Yang, W. (2013). Cr(III) adsorption by sugarcane pulp residue and biochar. *Journal of Central South University*, 20, 1319-1325.