

Kinerja Biosorben Cangkang Telur sebagai Pengadsorpsi Logam Berat Cr pada Limbah Industri

(Performance of Egg Shell Biosorbent as Cr Heavy Metal Extractor in Industrial Liquid Waste)

Syahril Makosim^{1*}, Mohamad Haifan², Eka Indra Setiawan³

^{1,3} Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

² Program Studi Teknik Mesin Otomotif, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Raya Puspiptek, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Provinsi Banten 15320

Abstrak

Dalam proses pengolahan industri dihasilkan hasil samping berupa limbah cair yang mengandung logam berat, diantaranya Cr (III) yang dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Beberapa karakteristik cangkang telur yang mengandung CaCO₃ dengan konsentrasi tinggi dan memiliki struktur pori-pori alami dapat dimanfaatkan sebagai pengadsorpsi (biosorben) logam berat yang dihasilkan industri pengolahan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum penyerapan (adsorpsi) logam Cr (III) yang dilakukan biosorben cangkang telur. Metode penelitian dilakukan secara eksperimen yang meliputi penyiapan biosorben limbah cangkang telur, penentuan waktu optimum, sebanyak 1,0 g biosorben cangkang telur dimasukkan ke dalam 25 ml larutan limbah logam berat dengan konsentrasi 50 ppm, selanjutnya adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 120 menit. Variasi konsentrasi logam Cr 50,0 ppm; 100,0 ppm; 150,0 ppm; 200,0 ppm; 250,0 ppm; 300,0 ppm; 350,0 ppm; 400,0 ppm; 450,0 ppm; 500,0 ppm; dan 1000 ppm. Setelah itu campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui adsorpsi maksimum. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum adsorpsi logam Cr (III) didapatkan waktu optimum 40 menit dengan kapasitas penyerapan sebesar 1242,46 µg Cr (III)/g biosorben, dan konsentrasi optimum dengan perlakuan waktu dan bobot optimum yaitu pada 200 ppm dengan kapasitas penyerapan sebesar 4984,99 µg Cr (III)/g biosorben. Isoterm adsorpsi menganut tipe isoterm Freundlich atau secara fisika (fisisorpsi), karena linieritas isoterm Freundlich yang didapatkan dari hasil perhitungan yaitu $R^2 = 0.7312$ atau 73,12% lebih tinggi dibandingkan isoterm Langmuir yaitu $R^2 = 0,0335$ atau 3,35%.

Kata Kunci : biosorben cangkang telur, kondisi optimum adsorpsi, logam berat Cr (III)

Abstract

In industrial processing, side products are produced in the form of liquid waste containing heavy metals, including Cr (III) which can have a negative impact on the environment. Some egg shell characteristics containing high concentrations of CaCO₃ and have a natural pore structure can be used as adsorbers (biosorbents) of heavy metals produced by the processing industry. The purpose of this study was to obtain the optimum conditions of absorption (adsorption) of Cr (III) metals carried out by egg shell biosorbents. The research method was carried out experimentally which included the preparation of egg shell waste biosorbents, determining the optimum time, as much as 1.0 gram of eggshell biosorbent was put into 25 ml of heavy metal waste solution with a concentration of 50 ppm, then adsorption was carried out with time variations of 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 120 minutes. Variation of Cr concentration were 50,0 ppm; 100,0 ppm; 150,0 ppm; 200,0 ppm; 250,0 ppm; 300,0 ppm; 350,0 ppm; 400,0 ppm; 450,0 ppm; 500,0 ppm; dan 1000 ppm.

After that the mixture is filtered and the filtrate is read on the Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) to find out the maximum adsorption. The results showed the optimum conditions of adsorption of Cr (III) metals obtained an optimum time of 40 minutes with an absorption capacity of 1242.46 $\mu\text{g Cr (III) / g biosorbent}$, and optimum concentration with optimum treatment time and weight at 200 ppm with an absorption capacity of 4984 , 99 $\mu\text{g Cr (III)/g biosorbent}$. The adsorption isotherm adopts the Freundlich isotherm or physically (physical) type, because the linearity of the Freundlich isotherm obtained from the calculation results is $R^2 = 0.7312$ or 73.12% higher than the Langmuir isotherm which is $R^2 = 0.0335$ or 3.35%.

Keyword : Cr (III) heavy metal, eggshell biosorbent, optimum adsorption conditions

*Penulis Korespondensi.

Telp: +62 81318082672

Alamat e-mail: smdamang@gmail.com (Syahril Makosim)

1. Pendahuluan

Sumber pencemaran di perairan berasal dari limbah domestik dan limbah industri tanpa diolah terlebih dahulu atau diolah namun kandungan polutannya masih di atas baku mutu yang ditetapkan oleh Undang-Undang R.I No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

Salah satu sumber pencemaran yang dikhawatirkan dapat mengganggu kesehatan makhluk hidup berupa logam berat. Logam berat merupakan salah satu komponen alami yang tidak dapat didegradasi. Pada konsentrasi rendah, logam berat dapat memasuki tubuh melalui media makanan, minuman, dan udara dengan dampak kurang signifikan. Namun, pada konsentrasi tinggi logam berat berbahaya dan beracun karena bersifat akumulatif [1]. Dampak dari racun logam berat mengakibatkan kerusakan jaringan, khususnya organ detoksifikasi dan ekskresi (hati dan ginjal).

Krom (Cr) di alam berada pada valensi 2 (Cr²⁺), 3 (Cr³⁺) dan valensi 6 (Cr⁶⁺). Cr⁶⁺ lebih toksik dibandingkan dengan Cr³⁺ atau Cr²⁺, karena sifatnya yang berdaya larut dan mobilitas tinggi di lingkungan [2]. Logam Cr masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui makanan dan pada jumlah tertentu dapat menyebabkan racun [3]. Akumulasi Cr dalam jumlah besar dalam tubuh akan mengganggu kesehatan, karena krom mengakibatkan kerusakan pada organ hati dan ginjal [4]. Akumulasi logam berat Kromium (Cr) dapat menyebabkan kerusakan terhadap organ respirasi dan dapat juga menyebabkan timbulnya kanker pada manusia [5].

Selama ini, limbah cangkang telur dianggap sebagai sampah yang belum banyak dimanfaatkan, misalnya sebagai pakan unggas, pupuk organik, dan sebagai bahan baku kerajinan tangan. Potensi limbah cangkang telur di Indonesia cukup besar. Produksi telur ayam ras

petelur dan buras di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 1.644.460 ton per tahunnya [6]. Berat cangkang telur sebesar 10% dari berat telur, sehingga dihasilkan sekitar 164.446 ton cangkang telur per tahunnya. Berdasarkan karakteristik fisik, cangkang telur mengandung sekitar 98 % CaCO₃ (Calcium carbonat) dan memiliki sekitar 10.000-20.000 pori-pori, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap suatu larutan dan dapat dimanfaatkan sebagai adsorben atau biosorben [7]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi optimum penyerapan (adsorpsi) logam Cr (III) yang dilakukan biosorben cangkang telur.

2. Teori Dasar

Logam Berat Cr (Kromium)

Kromium (Cr) dikenal sebagai logam berat yang memiliki karakteristik yaitu : berat atom 51,996 g/mol, berwarna abu-abu, tahan terhadap oksidasi meskipun pada suhu tinggi, mengkilat, keras, memiliki titik cair 1.857 °C dan titik didih 2.672°C, bersifat paramagnetik, membentuk senyawa-senyawa berwarna, memiliki beberapa bilangan oksidasi, yaitu +2, +3, dan +6, dan stabil pada bilangan oksidasi +3. Kromium bisa membentuk berbagai macam ion kompleks yang berfungsi sebagai katalisator [8].

Menurut sifat-sifat kimianya, logam Cr dalam persenyawaan memiliki bilangan oksidasi +2, +3 dan +6. Sesuai dengan tingkat valensinya, logam atau ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa, memiliki sifat-sifat yang berbeda-beda dengan tingkat ionitasnya. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(II) akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion Cr(III) bersifat amfoter dan senyawa yang terbentuk dari ion Cr(VI) akan bersifat asam [9]. Kemampuan racun yang dimiliki oleh logam Cr ditentukan oleh valensi ion-nya. Sifat racun yang dibawa oleh logam Cr dapat menyebabkan terjadinya keracunan akut dan kronis.

Cangkang Telur

Cangkang telur mengandung unsur CaCO_3 dan protein asam mukopolisakarida yang dapat dikembangkan menjadi biosorben. Fungsi penting asam mukopolisakarida dapat mengikat ion logam berat atau untuk menjerap logam berat yang terkandung dalam limbah [10].

Dari komposisi mineral, cangkang telur tersusun atas CaCO_3 sebesar 98,34%, MgCO_3 sebesar 0,84% dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ sebesar 0,75% [11]. Selain itu, cangkang telur memiliki lebih dari 10.000-20.000 mikropori yang dapat dimanfaatkan sebagai biosorben. Lapisan busa dan mamilari membentuk matrik yang terbentuk dari serat-serat protein yang berikatan dengan kalsit (kalsium karbonat), hal ini mewakili 90% dari material cangkang telur. Kedua lapisan tersebut juga membentuk pori-pori pada cangkang telur [12].

Adsorpsi dan Desorpsi

Salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi zat pencemar yang terdapat dalam limbah adalah adsorpsi atau pemisahan suatu senyawa dari larutannya yang kemudian terdesposisi pada permukaan padatan, pada bidang kontak antara padatan dengan larutan. Sementara itu, desorpsi merupakan kebalikan dari adsorpsi, yaitu pelepasan senyawa dari padatan dimana senyawa terdesposisi atau menempel ke dalam larutannya [13]. Proses adsorpsi dan desorpsi terjadi secara bersamaan, jika laju adsorpsi dan desorpsi sama, kondisi tersebut dikenal sebagai kondisi kesetimbangan (equilibrium).

Teori kesetimbangan cair-cair yang mewakili peristiwa yang terjadi dalam adsorpsi zat cair yaitu persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich. Secara prinsip, persamaan Langmuir dan persamaan Freundlich adalah persamaan yang menghubungkan antara konsentrasi zat yang diserap oleh suatu biosorben dengan konsentrasi zat adsorbat tersebut di fasa cairan di sekelilingnya pada keadaan setimbang [14]. Isoterm Freundlich menganggap bahwa pada semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi di bawah kondisi yang diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi pada saat kesetimbangan tercapai dan hanya ada sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut [15]. Isoterm Langmuir dipelajari untuk menggambarkan pembatasan sisi adsorpsi dengan asumsi bahwa sejumlah tertentu sisi sentuh adsorben ada pada permukaannya dan semua memiliki energi yang sama, serta adsorpsi bersifat balik [16].

3. Metodologi

Preparasi Biosorben Cangkang Telur

Limbah cangkang telur dicuci dengan air mengalir sampai bersih, dan dibilas dengan aquades, kemudian dikeringkan dalam oven suhu 40°C selama 8 jam, dan ditumbuk sampai halus, kemudian disaring dengan saringan 200 mesh, lalu dikeringkan pada suhu 105°C selama 3,5 jam.

Penentuan Kondisi Optimum

a. Penentuan Waktu Kontak Optimum Biosorben Cangkang Telur

Sebanyak 1,00 g biosorben cangkang telur dengan ukuran partikel 200 mesh dimasukkan ke dalam 25 ml larutan limbah logam berat dengan konsentrasi 50 ppm, kemudian larutan dikocok dengan *stirrer*. Adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu adsorpsi 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 120 menit [17]. Setelah itu campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk mengetahui adsorpsi maksimum. Ulangan dilakukan sebanyak 3 kali. Waktu optimum ditentukan dengan menghitung kapasitas adsorpsi maksimum.

b. Penentuan Konsentrasi Logam Berat (sebagai adsorbat)

Tabung erlenmeyer yang berisi bobot 1,000 g biosorben dimasukkan 25 ml larutan limbah logam berat pada konsentrasi 50,0 ppm; 100,0 ppm; 150,0 ppm; 200,0 ppm; 250,0 ppm; 300,0 ppm; 350,0 ppm; 400,0 ppm; 450,0 ppm; 500,0 ppm; dan 1000 ppm, kemudian diaduk dengan *stirrer* pada waktu optimum. Setelah itu, campuran disaring dan filtratnya dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali.

Analisis

a. Penentuan Kadar Logam Berat Cr(III) dalam Filtrat

Filtrat hasil dari proses adsorpsi dimasukkan ke dalam tabung kemudian dibaca pada Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Dalam pembacaan pada SSA ini dibuat deret larutan standar Cr(III) dengan konsentrasi 0 ppm; 2 ppm; 4 ppm; 8 ppm; 12 ppm; 16 ppm; dan 20 ppm. Langkah selanjutnya adalah membuat grafik antara konsentrasi (C) dengan absorbansi (A) yang merupakan garis lurus yang melewati titik nol dengan $\text{slope} = \epsilon b$ atau $= a.b$. konsentrasi larutan sampel dapat dicari setelah absorbansi larutan sampel diukur dan diinterpolasi ke dalam kurva kalibrasi atau dimasukkan ke dalam persamaan garis lurus yang diperoleh dengan menggunakan program regresi

linear pada kurva kalibrasi. Kemudian dikalikan dengan faktor pengenceran.

b. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Maksimum

Kapasitas adsorpsi maksimum dari setiap variabel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{V(C_0 - C_a)}{m} \dots(1)$$

Keterangan :

- Q = Kapasitas adsorpsi (µg/gram)
- V = Volume larutan (ml)
- C₀ = Konsentrasi awal (ppm)
- C_a = Konsentrasi akhir (ppm)
- m = Bobot biosoren (gram)

Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Cr (III)

Data hasil perhitungan pengaruh waktu terhadap penyerapan ion logam Cr (III) disajikan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan optimum ion logam Cr (III) diperoleh pada waktu 40 menit dengan kapasitas penyerapan sebesar 1242,46 µg Cr (III)/g biosorben. Data tersebut menunjukkan semakin lama kontak antara biosorben dan ion logam kapasitas penyerapannya semakin besar (Q) kapasitas adsorpsinya dan akan turun kembali setelah terjadi kondisi maksimum penyerapan. Pada waktu 40 menit permukaan biosorben cangkang telur sudah dipenuhi oleh ion logam Cr (III) yang diserapnya, sehingga jika waktu kontak ditambahkan lagi kemampuan penyerapannya akan menurun.

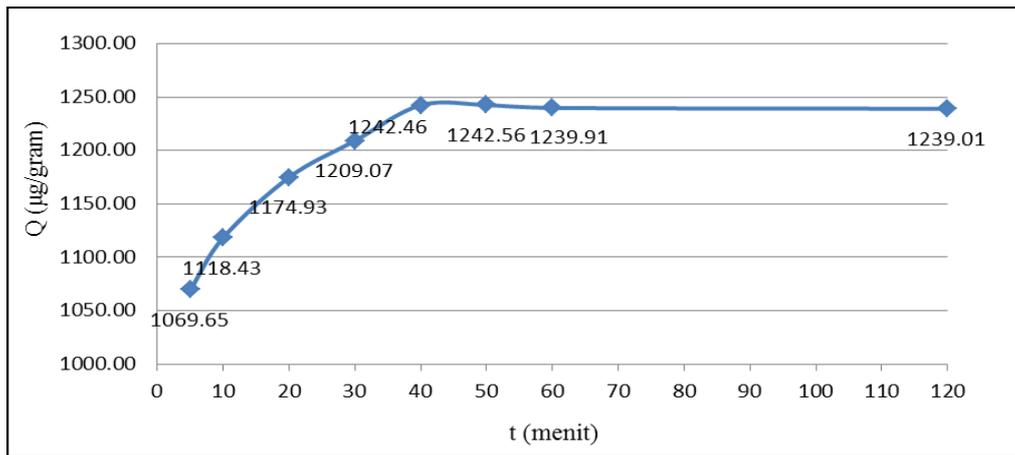
4. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1. Waktu Optimum Adsorpsi Ion Logam Cr (III)

No.	Variasi Waktu (menit)	Abs	Volume Larutan (mL)	C Awal (mg/L)	C Akhir (mg/L)	Bobot Biosorben (g)	Kapasitas Adsorpsi (Q) (µg/gram)
1	5	0,1883	25	50	7,2139	1,0000	1069,65
2	10	0,1411	25	50	5,2627	1,0000	1118,43
3	20	0,0864	25	50	3,0027	1,0000	1174,93
4	30	0,0534	25	50	1,6371	1,0000	1209,07
5	40	0,0211	25	50	0,3018	1,0000	1242,46
6	50	0,0210	25	50	0,2976	1,0000	1242,56
7	60	0,0235	25	50	0,4037	1,0000	1239,91
8	120	0,0244	25	50	0,4396	1,0000	1239,01

Hasil waktu optimum ion logam Cr (III) dapat dilihat pada Gambar 1. Variasi waktu diberikan

untuk mendapatkan waktu optimum penyerapan limbah Cr (III) oleh biosorben cangkang telur.



Gambar 1. Grafik Pengaruh Waktu Pada Kapasitas Penyerapan Ion Logam Cr (III)

Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa jumlah adsorpsi dari biosorben pada ion logam Cr (III) secara umum mengalami peningkatan di awal adsorpsi seiring dengan bertambahnya waktu interaksi. Hal tersebut berlangsung dari selang waktu adsorpsi 10-40 menit, tetapi pada

menit 40-60 menit mengalami kondisi stabil dan terjadi kenaikan yang signifikan, dan terjadi penurunan pada menit ke 120. Hal ini disebabkan karena setelah mencapai keadaan setimbang (40 menit), konsentrasi ion logam Cr (III) yang teradsorpsi mengalami kesetimbangan dinamis

dimana ion logam Cr (III) yang teradsorpsi sama dengan konsentrasi yang keluar (desorpsi).

Pola penyerapan ion logam Cr (III) terhadap waktu seperti terlihat pada Gambar 1. Pola serupa dialami oleh penelitian yang dilakukan oleh Maslahat (2015) yang menyebutkan bahwa setelah mencapai waktu adsorpsi maksimum, kapasitas adsorpsi mengalami sedikit menurun [17]. Hal ini disebabkan oleh jumlah biosorben yang berikatan dengan adsorbat sudah dalam keadaan jenuhnya,

sehingga apabila ditambahkan waktu adsorpsi yang berlebih akan menyebabkan terjadinya proses desorpsi atau pelepasan kembali antara biosorben dan adsorbat.

Konsentrasi Optimum Adsorpsi Ion Logam Cr (III)

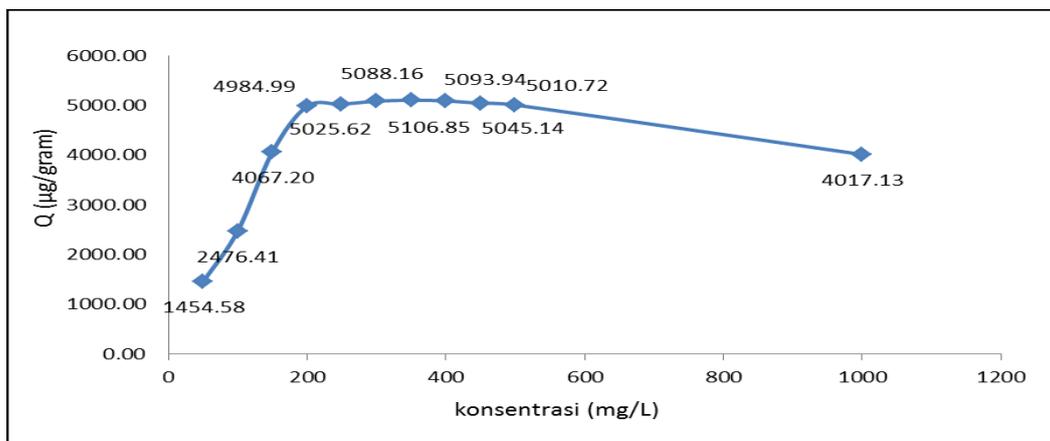
Data hasil perhitungan konsentrasi optimum penyerapan ion logam Cr (III) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kapasitas Penyerapan Ion Logam Cr (III) terhadap Variasi Konsentrasi Limbah Cr (III)

No	Variasi Konsentrasi Limbah Cr (III) (ppm)	Abs	fp	Volume Larutan (ml)	C Awal (mg/l)	C Akhir (mg/l)	Bobot Biosorben (g)	Kapasitas Adsorpsi (Q) (µg/gram)
1	50	0,0213	1	25	58,199	0,0162	1,0000	1454,58
2	100	0,0592	1	25	100,564	1,5070	1,0000	2476,41
3	150	0,1091	1	25	166,158	3,4699	1,0000	4067,20
4	200	0,1888	1	25	206,005	6,6049	1,0000	4984,99
5	250	0,1527	10	25	252,858	51,8332	1,0000	5025,62
6	300	0,2821	10	25	306,276	102,7491	1,0000	5088,16
7	350	0,4020	10	25	354,186	149,9123	1,0000	5106,85
8	400	0,2729	20	25	402,018	198,2604	1,0000	5093,94
9	450	0,3434	20	25	455,529	253,7234	1,0000	5045,14
10	500	0,4029	20	25	500,961	300,5326	1,0000	5010,72
11	1000	0,4424	50	25	989,704	829,0190	1,0000	4017,13

Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan optimum ion logam Cr (III) diperoleh pada konsentrasi 200 ppm yaitu sebesar 4984,99 µg Cr (III)/g biosorben, dengan waktu optimum 40 menit. Kapasitas penyerapan seiring dengan semakin meningkatnya konsentrasi larutan dari konsentrasi 50 ppm dengan kapasitas penyerapan 1454,58 µg Cr (III)/g biosorben sampai pada konsentrasi 200 ppm dengan kapasitas penyerapan sebesar 4984,99 µg Cr (III)/g biosorben, 200 – 500 ppm tidak terjadi

peningkatan penyerapan yang signifikan bahkan pada konsentrasi 1000 ppm kapasitas penyerapan menurun. Penurunan efisiensi penyerapan disebabkan oleh konsentrasi yang lebih tinggi, jumlah ion logam Cr (III) dalam larutan tidak sebanding dengan jumlah partikel yang tersedia dalam biosorben, sehingga permukaan biosorben cangkang telur sudah mencapai titik jenuh yang mengakibatkan terjadinya penurunan efisiensi penyerapan terhadap ion logam Cr (III).



Gambar 2. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas penyerapan logam Cr (III).

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi ion logam Cr

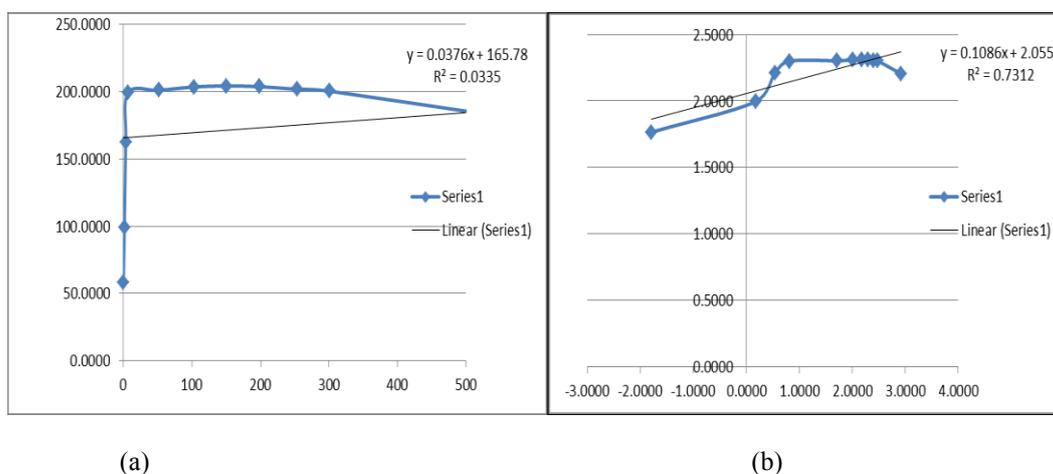
(III) dalam larutan, maka semakin besar pula jumlah ion logam Cr (III) yang diserap oleh

cangkang telur. Namun akan konstan setelah tercapai kesetimbangan pada konsentrasi 200 mg/L, dimana ion logam Cr (III) yang terjerap tidak ada perubahan secara signifikan karena permukaan biosorben cangkang telur sudah jenuh sehingga tidak mampu lagi mengadsorpsi ion logam Cr (III).

Pola kapasitas penyerapan ion logam Cr (III) terhadap pengaruh konsentrasi terlihat pada Gambar 2. Pola serupa dialami pada penelitian yang dilakukan oleh Sulistyawati (2008) yang menyebutkan bahwa kapasitas adsorpsi akan mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat [18].

Isoterm Adsorpsi

Model isoterm biosorben cangkang telur pada ion logam Cr (III) dapat diketahui dengan melakukan pengujian persamaan regresi linier isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Langmuir yaitu dengan menghubungkan antara nilai konsentrasi adsorbat pada saat kesetimbangan (c) serta konsentrasi adsorbat saat kesetimbangan per banyaknya zat yang terjerap per satuan biosorben (x/m) dan isoterm adsorpsi Freundlich yaitu dengan menghubungkan antara $\log c$ dan $\log x/m$ sehingga diperoleh nilai regresi linear.



Gambar 3. (a) Isoterm Adsorpsi Langmuir (b) Isoterm Adsorpsi Freundlich

Pada Isoterm adsorpsi ion logam Cr (III) digunakan biosorben pada kondisi optimum. Isoterm Langmuir dan Freundlich di perlihatkan pada Gambar 3. Isoterm adsorpsi ion logam Cr (III) oleh cangkang telur menunjukkan linieritas yang tinggi untuk isoterm Freundlich, yaitu $R^2 = 0,7312$ atau 73,12% dibandingkan isoterm Langmuir, yaitu $R^2 = 0,0335$ atau 3,35%. Berdasarkan hasil linieritas (Gambar 3.b) dapat disimpulkan bahwa tipe isoterm Freundlich pada proses adsorpsi ion logam Cr (III) oleh cangkang telur lebih tepat digunakan untuk mencirikan mekanisme adsorpsi ion logam Cr (III) oleh cangkang telur, karena nilai R^2 pada isoterm Freundlich lebih mendekati 1 jika dibandingkan dengan nilai R^2 pada isoterm Langmuir. Mekanisme adsorpsi ion logam Cr (III) oleh cangkang telur yaitu mekanisme fisisorpsi (adsorpsi fisika), mekanisme fisisorpsi didasarkan oleh gaya Van der Waals, dan dapat terjadi pada permukaan, molekul-molekul yang di adsorpsi secara fisika tidak terikat kuat pada permukaan, dan biasanya terjadi proses balik yang cepat, sehingga ikatan antara adsorbat dengan biosorben bersifat lemah karena mudah digantikan dengan molekul yang lain

5. Kesimpulan

Kondisi optimum adsorpsi logam Cr (III) oleh biosorben cangkang telur didapatkan waktu optimum 40 menit dengan kapasitas penyerapan sebesar 1242,46 $\mu\text{g Cr (III)/g}$ biosorben, dan konsentrasi optimum 200 ppm dengan kapasitas penyerapan sebesar 4984,99 $\mu\text{g Cr (III)/g}$ biosorben. Isoterm adsorpsi menganut tipe isoterm Freundlich atau secara fisika (fisisorpsi), karena linieritas isoterm Freundlich yang didapatkan dari hasil perhitungan yaitu $R^2 = 0.7312$ atau 73,12% lebih tinggi dibandingkan isoterm Langmuir yaitu $R^2 = 0,0335$ atau 3,35%.

Daftar Pustaka

- [1] Akoto, O., Bruce, T. N., Darkol, G. Heavy metals pollution profiles in streams serving the Owabi reservoir. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2 (11): 354-359. 2008.
- [2] Rahman, M,U., Gul S., UlHaq, M.Z. Reduction Of Chromium (VI) by Locally

- Isolated *Pseudomonas* sp. *Turkey Journal Biology* .3 (1): 161-166. 2007
- [3] Mulyani, B. Analisis Variasi Biomassa *Saccharomyces cerevisiae* Terhadap Serapan Logam Krom. *Sain*. 2 (4): 1-9. 2004.
- [4] Larashati, S. Reduksi Krom (Cr) Secara In Vitro Oleh Kultur Campuran Bakteri Yang Diisolasi Dari Lindi Tempat Pembuangan Akhir Sampah (TPA). Thesis. Teknik Lingkungan ITB, Bandung. 2004.
- [5] Suprpti, N. H. Kandungan Chromium pada Sedimen dan Kerang Darah (Anadara granosa) di Wilayah Pantai Sekitar Muara Sungai Sayung, Desa Morosari Kabupaten Demak Jawa Tengah. *Bioma J*. 10 (2): 53-56. 2008.
- [6] Badan Pusat Statistik (BPS). Produksi Telur Ayam Petelur menurut Provinsi, 2009-2018. 2019
- [7] Ahmed S., & Ahsan M. Synthesis of Ca - hydroxiapatite Bioceramic from Egg Shell and its Characterization, *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.* 43(4), 501-512. 2008.
- [8] Widowati, W, Astiana Sastiono, Raymond Jusuf R. *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi. 2008
- [9] Palar, H. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: PT Rineka Cipta. 2004.
- [10] Arunlertaree, C., Kaewsomboon, W., Kumsopa, A., Pokethitiyook, P. and Panyawathanakit, P. Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell Songklanakarin *J. Sci. Technol.* 29(3) : 857-868. 2007
- [11] Yuwanta, T. *Telur dan Kualitas Telur*. Yogyakarta: UGM Press. 2010.
- [12] Carvalho, A.F.U., D.F. Farias, C.X. Barroso, C.M.L. Sombra, A.S. Silvino, M.O.T. Menezes, M.O. Soares, D.A.O. Fernandes, dan S.T. Gouveia. Adsorption Process onto an Innovative Eggshell-derived Low-Cost Adsorbent in Stimulated Effluent and Real Industrial Effluents. *Wastes: Solutions, Treatments and Opportunities, 1st International Conference*. 2011.
- [13] Watts, R.J. *Hazardous Wastes: Sources, Pathways, Receptors*. John New York: Willey and Sons. 1998.
- [14] Wahyuni, A.T. Sintesis Biosorben Dari Limbah Kayu Jati dan Aplikasinya Untuk Menjerap Logam Pb dalam Limbah Cair Artifisial [Skripsi]. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. 2014.
- [15] Jason, P.P. Activated Carbon and Some Application For The remediation Of Soil and Groundwater Polution. (http://www.cee.vt.edu/program_areas, diakses 6 Juli 2019).
- [16] Atkins, P.W. Kimia Fisik Jilid 1. Terjemahan dari Physical Chemistry. Jakarta. 1999 (Penerjemah Irma, I. K). Jakarta: Erlangga. 1999
- [17] Maslahat, M, Agus Taufiq, Prima Wahyu Subagja. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Biosorben Untuk adsorpsi Logam Pb dan Cd. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*; 5 (1): 92 – 100. 2015.
- [18] Sulistyawati, S. Modifikasi Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II) [Skripsi]. FMIPA IPB. Bogor. 2008.