



Pemanfaatan Zeolit Alam Teraktivasi untuk Adsorpsi Logam Cr^{3+}

Utilization of Activated Natural Zeolites for Cr^{3+} Adsorption

Lisanti Emelda*, Suhardini Martiana Putri, Simpardin Br. Ginting

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung
Jl Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung

*E-mail: emeldalisanti@yahoo.co.id

Abstrak

Pertukaran ion antara Cr^{3+} dan H^+ menggunakan zeolit sebagai penukar ion adalah salah satu metode untuk memurnikan air dari ion kromium. Zeolit adalah senyawa aluminosilikat tetrahedral dengan struktur ikatan 3-dimesi, memiliki pori bagian dalam, dan luas permukaan yang tinggi, karena itu dapat digunakan sebagai adsorben. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh waktu kontak optimum, suhu, dan konsentrasi kromium terhadap kapasitas penyerapan. Tahap pertama adalah mencampur zeolit yang telah diaktifkan dengan larutan kromium (10 ppm kromium) dalam tangki berpengaduk pada 25°C . Selanjutnya larutan diambil setiap 60 menit hingga konsentrasi residu larutan kromium konstan. Proses adsorpsi dilangsungkan pada suhu berbeda yaitu: 25, 30, 35, 40, 45, dan 50°C . Untuk uji adsorpsi isothermal, pada suhu dengan hasil penyerapan terbaik divariasikan konsentrasi kromiumnya yaitu: 10, 20, 40, 60, dan 100 ppm. Dosis adsorben yang digunakan adalah 3 gram adsorben/200 mL larutan kromium dengan kecepatan pengaduk 240 rpm. Larutan kromium dideteksi dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) atau Spektroskopi Serapan Atom. Waktu kontak optimum diperoleh 3 jam menggunakan zeolit yang diaktifkan dengan asam, diperoleh nilai adsorpsi optimum 99,275%. Model isothermal adsorpsi mengikuti isotherm Freundlich menurut persamaan $Q_e = 0,044463C^{1/2,5125}$, kapasitas penyerapan $K_f = 0,044463$ mmol/gram adsorben, dan intensitas adsorpsi $n = 2,5125$.

Kata Kunci : aktivasi, kromium, limbah cair, penyerapan, zeolit alam

Abstract

Ion exchange process between ion Cr^{3+} and H^+ by using zeolite as its ion exchanger is one of methods to purify water from chromium ion content. Zeolite is aluminosilicate tetrahedral compound that has 3-dimensional framework structures with pore inside and high surface area, therefore it can be used as adsorbent. The objective of this research is to evaluate the effect of optimum contact time temperature and chromium concentration toward adsorption capacity. The first step is mixing activated zeolite and chromium solution (10 ppm) in a stirred tank at 25°C . Then solution was taken for every 60 minutes until concentration of chromium residue solution was constant. For temperature effect test, chromium solution used were 10 ppm with temperature variation of 25, 30, 35, 40, 45, and 50°C . For isothermal adsorption test, the best temperature was used from step before with concentration variation of 10, 20, 40, 60, and 100 ppm. Dosage of adsorbent used is 3 gram adsorbent/200 mL chromium solution with stirring speed 240 rpm. Chromium ion is detected by using AAS (Atomic Absorption Spectroscopy). The results showed that optimum contact time is 3 hours by using acid activated zeolite with optimum adsorption 99.275%. Isotherm model followed Freundlich isotherm with equation $Q_e = 0.044463C^{1/2.5125}$ that adsorption capacity $K_f = 0.044463$ mmol/gram adsorbent and adsorption intensity $n = 2.5125$.

Keywords : activated, adsorption, chromium, liquid waste, natural zeolite

1. Pendahuluan

Salah satu logam berat penyebab polusi dalam perairan adalah logam kromium (Cr). Menurut Kepmenkes Republik Indonesia (2002), nilai ambang ion Cr^{3+} dalam air adalah 0,5 ppm. Kandungan logam berat Cr^{3+} dalam limbah industri yang melebihi

ambang batas harus direduksi sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu cara pengolahan limbah yaitu dengan metode penyerapan ion-ion logam ke dalam adsorben, sehingga kadar logam dapat dikurangi. Jenis-jenis media adsorpsi yang umum digunakan antara lain zeolit, karbon aktif, bentonit, dan serbuk gergaji. Dari empat jenis adsorben tersebut,

zeolit yang paling sering digunakan sebagai media pengolah limbah pabrik. Zeolit merupakan material berpori dan memiliki beberapa kandungan mineral dominan (SiO_4 dan AlO_4). Kapasitas adsorpsinya dapat ditingkatkan dengan aktivasi larutan asam kuat atau basa kuat. Zeolit memiliki bentuk kristal yang sangat teratur dengan rongga yang saling berhubungan ke segala arah yang menyebabkan luas permukaan zeolit sangat besar (Sutarti dan Rachmawati, 1994). Menurut hasil penelitian Ginting (2003) dari proses aktivasi dapat meningkatkan beberapa sifat fisik dan kimia dari zeolit seperti keasaman permukaan dan porositas sehingga lebih efektif sebagai adsorben.

Peningkatan daya guna zeolit sebagai adsorben dapat dilakukan melalui aktivasi secara fisis maupun kimia (Priatna dkk., 1985). Proses aktivasi secara fisis dilakukan dengan pemanasan (kalsinasi) untuk menguapkan air yang terperangkap dalam pori-pori kristal zeolit sehingga jumlah pori dan luas permukaan spesifiknya bertambah. Aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan larutan asam klorida atau asam sulfat yang bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengganggu dan menata kembali letak atom yang dapat dipertukarkan (Suyartono dan Husaini, 1991).

Upaya menyerap polutan logam berat telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Haryati (2010) melakukan pemisahan krom dari limbah industri yakni dengan menggunakan metode biosorpsi menggunakan kulit batang jambu biji (*Psidium guajava*) sebagai adsorben. Kulit batang jambu biji dapat menyerap hingga lebih dari 99% ion logam krom pada pH 2 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,5 mmol/g biosorben dan intensitas adsorpsi 1,2. Diantariani (2010) dari hasil penelitiannya diperoleh kondisi yang terbaik untuk adsorpsi logam krom dengan memakai batu padas teraktivasi basa. Kapasitas tertinggi diperoleh pada batu padas teraktivasi NaOH konsentrasi 4,0 N yaitu 2,0265 mg/g. Wardana (2010) juga telah melakukan penelitian untuk menentukan difusivitas efektif (De) sebagai parameter perancangan pada proses adsorpsi tembaga (Cu) dengan zeolit alam yang teraktivasi. Zeolit yang teraktivasi asam berukuran 40-50 mesh

dengan nilai $De\ 1,29469 \times 10^{-06}\ \text{mm}^2/\text{detik}$ ini mampu menyerap logam Cu sampai 74,8%.

Terdapat tiga pola isoterm adsorpsi, yaitu isoterm adsorpsi Freundlich, Langmuir, dan BET (Brunauer, Emmet dan Teller). Adsorpsi molekul atau ion pada permukaan padatan umumnya terbatas pada lapisan satu molekul (monolayer). Dengan demikian adsorpsi tersebut biasanya mengikuti persamaan adsorpsi Freundlich atau Langmuir. Menurut hasil penelitian Rumiati (2007), adsorpsi kromium oleh abu sekam padi varietas IR 64 mengikuti pola isoterm adsorpsi Langmuir. Menurut Fatria (2006), adsorpsi kromium oleh serbuk gergaji kayu kamper (*Dryobalanops sp*) juga sesuai dengan pola isoterm adsorpsi Langmuir. Menurut Kartohardjono dkk (2008), adsorpsi kromium menggunakan kulit batang jambu biji (*Psidium guajava*) sesuai dengan pola isoterm adsorpsi Freundlich. Menurut Sudiarta dkk. (2010), biosorpsi kromium pada serat sabut kelapa hijau (*Cocos nucifera*) sesuai dengan pola isoterm adsorpsi Langmuir.

Tujuan penelitian ini untuk menentukan waktu kontak optimum dan mengetahui pengaruh variabel temperatur dan variabel konsentrasi. Dosis adsorben yang digunakan adalah 3 gram adsorben/200 ml larutan sampel dengan kecepatan pengadukan 240 rpm. Untuk penentuan waktu kontak optimum, larutan sampel diambil setiap 60 menit kemudian diukur absorbansinya menggunakan AAS.

2. Metodologi

2.1. Bahan

Bahan dan peralatan yang diperlukan berupa kromium triklorida heksahidrat ($\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), asam sulfat (H_2SO_4) 0,15 N, natrium hidroksida (NaOH) 0,5 N, zeolit alam, kertas saring, aquades, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), oven, beaker glass, labu ukur, pipet volumetri, gilingan porselin, desikator, waterbath, static mixer, klem, motor pengaduk, pengaduk, timbangan, stopwatch dan ayakan 40 - 50 mesh. Lalu dilakukan pembuatan konsentrasi larutan krom dengan cara melarutkan $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 0,512481 g dengan aquades sebanyak 1000 ml sehingga diperoleh larutan induk dengan konsentrasi 100 ppm. Selanjutnya 100 ml larutan induk diencerkan untuk mendapatkan larutan krom dengan konsentrasi 10, 20, 40, 60, dan 100 ppm.

2.2. Proses Aktivasi Zeolit

Pada tahap aktivasi, zeolit alam digerus dengan menggunakan lumpang porselen lalu diayak untuk mendapatkan ukuran butir partikel 40 - 50 mesh. Aktivasi dilakukan dengan cara mencampur zeolit alam dengan larutan H_2SO_4 0,15 N dan NaOH 0,5 N dengan rasio 1 g zeolit / 10 ml larutan H_2SO_4 dan 1 g zeolit/ 10 ml larutan NaOH selama 3 jam sambil diaduk. Zeolit dipisahkan menggunakan kertas saring dan dicuci dengan aquades. Selanjutnya zeolit dikeringkan di dalam oven pada suhu $105^\circ C$ selama 3 jam. Zeolit yang telah dipanaskan ini kemudian didinginkan di dalam desikator.

Uji pengaruh temperatur, digunakan larutan sampel dengan konsentrasi 10 ppm serta dilakukan variasi temperatur yaitu 25, 30, 35, 40, 45 dan $50^\circ C$. Uji adsorpsi isothermal dilakukan variasi konsentrasi larutan sampel 10, 20, 40, 60 dan 100 ppm dengan temperatur operasi pada hasil terbaik dari uji pengaruh temperatur.

2.3. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Perubahan entalpi dan perubahan entropi berhubungan dengan konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c) dan perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°). Hubungan ini dapat dilihat dari persamaan (Maron dkk., 1974).

$$\ln K_c = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (1)$$

Isoterm adsorpsi merupakan suatu keadaan kesetimbangan yaitu tidak ada lagi perubahan konsentrasi adsorbat baik di fase terserap maupun pada fase gas atau cair.

1. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Langmuir berpendapat bahwa gas diadsorpsi pada permukaan solid dan membentuk tidak lebih dari satu lapis ketebalannya. Persamaan untuk isoterm Langmuir adalah:

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{k \cdot Q_o} \frac{1}{C_{Cre}} + \frac{1}{Q_o} \quad (2)$$

2. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm ini berdasarkan asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan yang

heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penyerapan yang berbeda-beda. Persamaan yang digunakan:

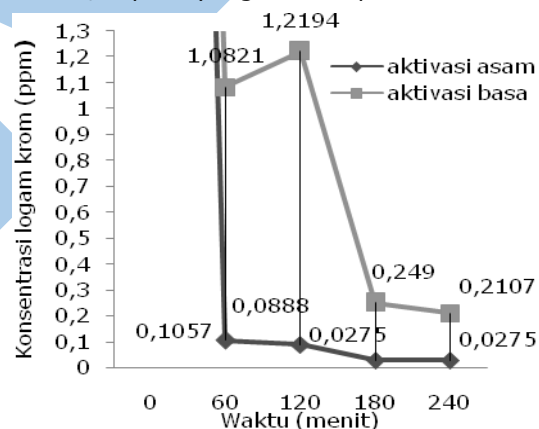
$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Linierisasi dapat dilakukan dengan menggunakan software Microsoft Excel 2007 sehingga diperoleh pula koefisien korelasi (R^2). Nilai R^2 yang mendekati 1 dan kapasitas adsorpsi yang bernilai positif merupakan isoterm yang sesuai dengan adsorpsi logam krom (Cr^{3+}) dengan menggunakan zeolit alam teraktivasi. Nilai intensitas adsorpsi (k atau n) mempunyai kisaran 1 - 10. Apabila nilai intensitas adsorpsi masih dalam rentang antara 1 - 10 maka adsorpsi tersebut layak untuk diaplikasikan (Atkins, 1990).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Waktu Kontak Optimum

Dari data hasil percobaan diperoleh penurunan konsentrasi kromium terhadap waktu yang akan digunakan untuk menentukan waktu kontak optimum, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penurunan konsentrasi krom dengan konsentrasi awal 10 ppm pada berbagai waktu kontak

Dari Gambar 1 terlihat bahwa adsorpsi logam ion kromium yang terbanyak adalah pada adsorpsi menggunakan adsorben zeolit teraktivasi kimia fisik secara asam, dengan persentase serapan sebesar 99,725% dengan waktu kontak optimum selama 3 jam. Sedangkan pada waktu yang sama untuk zeolit teraktivasi kimia fisik secara basa, memiliki

persentase serapan sebesar 97,51%. Zeolit yang telah diaktivasi secara asam mengalami proses dekationisasi yang menyebabkan luas permukaan zeolit bertambah karena berkurangnya pengotor yang menutupi pori-pori zeolit. Selain itu jika dilihat dari sisi adsorbatnya, ion logam krom memiliki sifat lebih reaktif bila berada dalam larutan yang asam. Adsorpsi ion logam krom pada kondisi asam merupakan akibat dari gaya elektrostatis tarik-menarik yang sangat kuat antara bagian negatif dari permukaan adsorben dengan bagian positif dari kation logam krom.

Pada Gambar 1 juga terlihat bahwa konsentrasi logam kromium menurun secara signifikan pada awal proses adsorpsi, dan laju penurunan konsentrasi berkurang dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan pada awal proses adsorpsi, *driving force*-nya besar, yaitu beda konsentrasi logam kromium di larutan bulk dengan di adsorben sangat besar. Sehingga proses transfer massa dari logam kromium yang ada pada bulk ke adsorben berjalan dengan cepat. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kemampuan adsorben untuk menyerap adsorbat sangat besar. Pada awal adsorpsi berlangsung, sisi aktif adsorben masih banyak sehingga kemungkinan logam kromium terserap sangat besar. Seiring bertambahnya waktu, laju transfer massanya semakin kecil dan akhirnya konstan. Hal ini disebabkan *driving force*-nya kecil, yaitu beda konsentrasi logam kromium di bulk dan di adsorben menjadi kecil sehingga kemampuan adsorpsinya kecil.

Jika dilihat dari sisi adsorben, penurunan laju adsorpsi ini diakibatkan oleh kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat semakin berkurang hingga pada waktu

tertentu adsorben tidak dapat menyerap logam kromium lagi yang ditunjukkan oleh penurunan konsentrasi yang konstan. Hal ini disebabkan oleh sisi aktif dari adsorben sudah terisi oleh logam kromium hingga adsorbennya jenuh sehingga tidak mampu lagi menyerap logam kromium.

3.2. Pengaruh Variasi Suhu Reaksi

Dari penelitian tahap kedua diperoleh data konsentrasi kesetimbangan pada masing-masing temperatur adsorpsi (Tabel 1). Dari data tersebut terlihat bahwa semakin tinggi suhu operasi adsorpsi maka semakin tinggi konsentrasi sisa logam kromium dalam larutan. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu berarti semakin berkurang ion logam kromium yang dapat teradsorp. Data perhitungan nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c) dan perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) pada setiap variasi temperatur diperlihatkan pada Tabel 2.

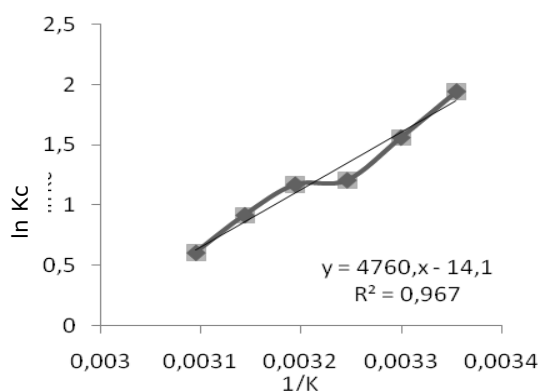
Tabel 1. Adsorpsi logam krom pada beragam temperatur adsorpsi

Temperatur (°C)	Konsentrasi setimbang (ppm)
25	0,0275
30	0,0402
35	0,0571
40	0,0592
45	0,0761
50	0,1036

Dari Tabel 2 tersebut nilai $X = 1/T$ dengan $Y = \ln K_c$ diplotkan sehingga diperoleh Gambar 2. Pengaruh temperatur pada konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c) ion logam kromium oleh zeolit dapat diamati dari kondisi ini.

Tabel 2. Data perhitungan nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c) dan perubahan energi bebas Gibbs (ΔG) pada setiap variasi temperatur

T (°K)	Ce (ppm)	q (mmol/L)	K_c	$\ln K_c$	ΔG (J/mol)	$X = 1/T$	$Y = \ln K_c$
298,15	0,0275	0,1917936	6,97431	1,94223	-4814,446	0,00335	1,94223
303,15	0,0402	0,1915493	4,76491	1,56128	-3935,029	0,0033	1,56128
308,15	0,0571	0,1912243	3,34894	1,20864	-3096,494	0,00325	1,20864
313,15	0,0592	0,1911839	3,22946	1,17231	-3052,155	0,00319	1,17231
318,15	0,0761	0,1908589	2,508	0,91949	-2432,132	0,00314	0,91949
323,15	0,1036	0,19033	1,83716	0,60822	-1634,092	0,00309	0,60822



Gambar 2. Hubungan antara $1/T$ terhadap $\ln K_c$

Konstanta kesetimbangan untuk ion logam kromium berkurang seiring dengan kenaikan temperatur dan proses adsorpsi juga berkurang seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan oleh sifat adsorpsi eksotermis dari ion logam kromium ke dalam zeolit dan melemahnya dorongan penyerapan antara bagian aktif adsorben dengan ion logam kromium serta antara molekul yang berdekatan dari bagian yang diserap. Karena adsorpsi berlangsung eksotermis, maka jumlah ion logam kromium yang teradsorpsi pada kondisi setimbang pasti berkurang dengan adanya peningkatan temperatur, hal ini disebabkan ΔG° bertambah dengan naiknya temperatur larutan. Hal ini menjelaskan mengapa nilai ΔG° (Tabel 2) menjadi kurang negatif dengan kenaikan temperatur. Nilai ΔH° yang negatif mengindikasikan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis selain itu juga nilai tersebut menunjukkan bahwa proses adsorpsinya berlangsung secara fisika (adsorpsi fisik memiliki nilai ΔH° antara -4 sampai -40 kJ/mol). Sementara nilai ΔS° yang negatif dapat disamakan dengan berkurangnya derajat kebebasan dari spesi yang teradsorpsi.

3.3. Pengaruh Variasi Konsentrasi

Dari penelitian tahap tiga diperoleh data berupa konsentrasi kesetimbangan sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3. Secara umum dapat dipahami bahwa kondisi konsentrasi awal krom berpengaruh terhadap konsentrasi kesetimbangan. Makin tinggi konsentrasi awal, konsentrasi kesetimbangan juga meningkat. Kemudian dilakukan perhitungan jumlah adsorbat (logam krom) yang terserap pada saat kesetimbangan (Q_e) dari masing-masing variasi konsentrasi awal,

hasilnya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Adsorpsi logam krom pada beragam konsentrasi adsorpsi.

Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi setimbang (ppm)
10	0,0275
20	1,0004
40	1,5126
60	2,4312
100	5,5224

Tabel 4. Data perhitungan nilai Q_e pada setiap variasi konsentrasi awal.

Ce (ppm)	Q_e (mmol/g adsorben)
0,0275	664,83
1,0004	1266,64
1,5126	2565,82
2,4312	3837,92
5,5224	6298,50

3.4. Perhitungan Isoterm Langmuir

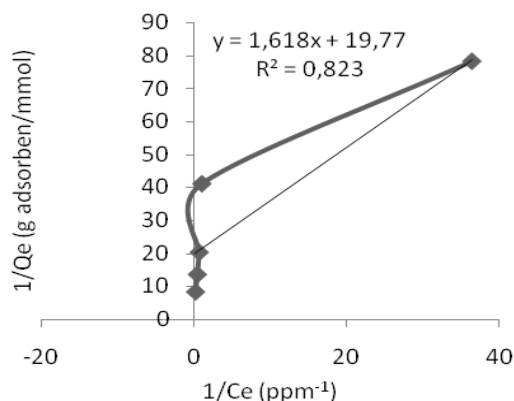
Kondisi isoterm Langmuir dihitung dengan menggunakan data C_e dan Q_e yang telah dihitung sebelumnya seperti ditabulasikan pada Tabel 4. Data-data tersebut diplotkan pada grafik dengan sumbu X = $1/C_e$, dan sumbu Y = $1/Q_e$. Hasilnya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan X dan Y untuk linierisasi Langmuir.

X = $1/C_e$	Y = $1/Q_e$
1,188495365	78,21509150
0,999600160	41,05349586
0,661113315	20,26637289
0,411319513	13,54900571
0,181080690	8,255925214

Dari nilai X dan Y pada Tabel 5, kemudian diplotkan sehingga diperoleh grafik Isoterm Langmuir (Gambar 3). Akhirnya didapatkan persamaan isoterm Langmuir yang sesuai untuk proses adsorpsi ion logam kromium

oleh zeolit alam lampung teraktivasi kimia fisik secara asam seperti pada persamaan (4).



Gambar 3. Linierisasi menggunakan model isotherm Langmuir

$$\theta = 0,00261438 \cdot \frac{12,2188^0 C_{Cre}}{1 + 12,2188^0 C_{Cre}} \quad (4)$$

3.5. Perhitungan Isotherm Freundlich

Kondisi isotherm Freundlich juga dihitung dengan menggunakan data C_e dan Q_e yang terdapat pada Tabel 4. Data-data tersebut diplotkan pada grafik dengan sumbu X = $\log C_e$, dan sumbu Y = $\log Q_e$. Hasilnya sebagaimana ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan X dan Y untuk Linierisasi Freundlich

X = $\log C_e$	Y = $\log Q_e$
-0,074997492	-1,893290558
0,000173683	-1,613350145
0,179724096	-1,306776029
0,385820687	-1,131907426
0,74212786	-0,91676575

Dari nilai X dan Y pada Tabel 6 tersebut, kemudian diplotkan sehingga diperoleh grafik Isotherm Freundlich (Gambar 4). Akhirnya didapatkan persamaan isotherm Freundlich yang sesuai untuk proses adsorpsi ion logam kromium oleh zeolit alam lampung teraktivasi kimia fisik secara asam yaitu:

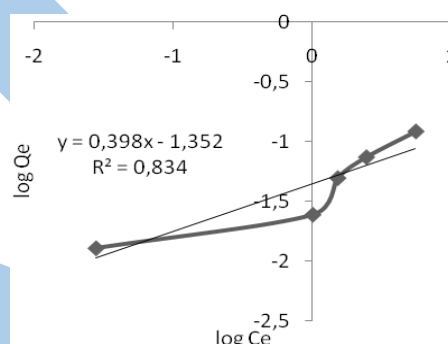
$$Q_e = 0,044463 C^{1/2,5125} \quad (5)$$

Dari kedua model isotherm tersebut, yang paling sesuai untuk adsorpsi logam kromium

menggunakan adsorben zeolit alam teraktivasi kimia fisik secara asam adalah model isotherm Freundlich, hal ini terlihat secara jelas dari nilai R^2 yang lebih mendekati angka 1 yakni sebesar 0,834 dibandingkan model isotherm Langmuir yang hanya sebesar 0,823.

$$Q_e = \frac{C_0 - C_n}{m} \times V \quad (6)$$

Dimana C_0 dan C_n masing-masing adalah konsentrasi awal dan konsentrasi setimbang, serta m dan v adalah massa dan volume adsorben.



Gambar 4. Linierisasi menggunakan model isotherm Freundlich

Nilai intensitas adsorpsi sebesar 2,5125 telah masuk rentangan antara 1-10 sehingga adsorpsi ini layak untuk diaplikasikan dalam proses pengolahan limbah cair.

4. Kesimpulan

Waktu kontak optimum pada adsorpsi logam kromium adalah selama 3 jam dengan menggunakan adsorben zeolit alam lampung teraktivasi kimia fisik secara asam, dengan presentase serapan sebesar 99,725%. Pengaruh temperatur terhadap nilai konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c) adalah semakin tinggi suhu adsorpsi maka nilai K_c akan semakin turun, dan nilai ΔG° akan semakin ke arah nilai positif. Dari perhitungan yang telah dilakukan, adsorpsi logam kromium oleh zeolit alam lampung teraktivasi kimia fisik secara asam mengikuti model isotherm Freundlich dan persamaannya adalah $Q_e = 0,044463 C^{1/2,5125}$ dengan nilai kapasitas adsorpsi $K_f = 0,044463$ mmol/gram adsorben dan intensitas adsorpsi $n = 2,5125$.

Daftar Simbol

K_c	konstanta kesetimbangan $\frac{q}{C}$
q	konsentrasi ion logam krom yang teradsorpsi (jumlah ion Cr awal - jumlah ion Cr akhir) (mmol/L)
C	konsentrasi ion logam krom saat setimbang (mmol/L)
ΔS°	dan ΔH° = perubahan nilai entropi (J/mol $^\circ$ K) dan entalpi (J/mol)
ΔG°	perubahan nilai energi bebas Gibbs ($\Delta G^\circ = -RT \ln K_c$) (J/mol)
R	konstanta gas = 8,314 J/mol.K
Q_e	jumlah adsorbat yang terserap pada saat kesetimbangan (mmol/gr adsorbat)
Q_o	berat maksimum adsorbat terserap/berat adsorben (mmol/gr)
Q_o	(K_f) = kapasitas adsorpsi (mmol/gr adsorben)
k	intensitas adsorpsi
n	intensitas adsorpsi

Daftar Pustaka

- Atkins, P.W. (1990) *Kimia Fisika, Jilid 2*, Edisi ke empat, Erlangga, Jakarta.
- Diantariani, N. P. (2010) *Peningkatan potensi batu padas ladgestone sebagai adsorben ion logam berat Cr^{3+} dalam air melalui aktivasi asam dan basa*. Jurnal Kimia, 4, 91 - 100.
- Fatria, S. (2006) Adsorpsi ion Cr^{3+} oleh serbuk gergaji kayu kamper (*Dryobalanops sp.*). Skripsi (tidak diterbitkan). IKIP Negeri Singaraja.
- Ginting, S. B. (2003) Kemampuan zeolit alam dalam menyerap logam-logam berat (Fe^{++} dan Mn^{++}) dalam air tanah, *Prosiding seminar hari air sedunia IX*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Haryati (2010) *Penentuan kandungan unsur krom dengan metode analisis pengaktifan neutron dan pemanfaatan kulit batang jambu biji (Psidium guajava) untuk adsorpsi krom pada limbah*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.
- Kartohardjono, S., Lukman, M. A., Manik, G.P. (2008) *Pemanfaatan Kulit Batang Jambu Biji (Psidium Guajava) untuk Adsorpsi Cr (VI) dari Larutan*, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/-MENKES/SK/VII/2002. *Persyaratan kualitas air minum*, Jakarta.
- Priatna, K., Suharto, S., Syariffudin, A. (1985) Prospek pemakaian zeolit bayah sebagai penyerap NH_4^{++} dalam air limbah. *Laporan Teknik Pengembangan*. 69. PPTM, Bandung.
- Rumiati (2007) Adsorpsi ion Cr^{3+} oleh abu sekam padi varietas IR 64. *Skripsi*. (Tidak dipublikasikan). Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA Undiksha.
- Sudiarta, W., Yulihastuti, D.A. (2010) Biosorpsi kromium pada serat sabut kelapa hijau (*Cocos nucifera*). *Journal of Chemistry*, 4, 158 - 166.
- Sutarti, M., Rachmawati, M. (1994) *Zeolit: Tinjauan Literatur*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Jakarta.
- Suyartono, Husaini (1991) Tinjauan terhadap kegiatan penelitian karakterisasi dan pemanfaatan zeolit Indonesia yang dilakukan PPTM Bandung Periode 1890-1991. *Buletin PPTM*. Bandung.
- Wardana, W. (2010) Penentuan nilai difusivitas efektif pada proses adsorpsi ion tembaga (Cu^{2+}) menggunakan zeolit alam yang teraktivasi dengan H_2SO_4 . Universitas Lampung, Lampung.