

## THE KINETICS OF CHROMIUM(III) AND SODIUM SIMULTANTS ADSORPTION USING AMBERLITE IR-120 H (TEMPERATURE EFFECT REVIEW)

Iqbal Haitami<sup>1)\*</sup>, Panut Mulyono<sup>2)</sup> dan Muslikhin Hidayat<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Tadris Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Antasari

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

\*E-mail corresponding author: iqbal.haitami@uin-antasari.ac.id

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article history</i> Received: 30-07-2018 Received in revised form: 15-08-2018 Accepted: 01-09-2018 Published: 04-10-2018</p> <hr/> <p><i>Keywords:</i> Chromium(III) Adsorption, kinetics Amberlite IR-120 H Simultaneous</p>	<p><i>Liquid waste which containing Cr(III) and Na simultaneously is often found on output of industry activity, especially tannery industry. Cr(III) which is harmful metal must be able to be removed from this liquid waste. One of the methods which is effective is used to handle the pollution of Cr(III) in liquid waste that is ion exchange using ion-exchange resin. The principle of this method that is exchange of ions which are available on ion-exchange resin with ions on surrounding areas. The presence of Na in solution which is the place of Cr(III) is adsorbed using Amberlite IR-120 H, making this phenomenon as multicomponent adsorption. In this case, the adsorption of Cr(III) and Na by Amberlite IR-120 H occurs simultaneously. This research aims to study the rate of adsorption that occurs simultaneously at various temperatures. In addition, wants to develop a mathematical model to approximate the existing kinetics of simultaneous adsorption. The results showed that the higher the temperature, the greater the rate of simultaneous adsorption of Cr(III) and Na. The same trend was shown by value of constant of kinetics that it increased with increasing temperature. The mathematical model which was arranged based on rate equation of reaction was quite suitable to approached the kinetics of simultaneous adsorption. Based on activation energy for the adsorption of Cr(III) that its value was 56.735 kJ/mol, thus it was said that the rate of process was reaction-rate-limited.</i></p>

### KINETIKA PENJERAPAN SIMULTAN KROMIUM(III) DAN NATRIUM MENGUNAKAN AMBERLITE IR-120 H (TINJAUAN PENGARUH SUHU)

**Abstrak** - Limbah cair yang mengandung Cr(III) dan Na secara bersamaan sering dijumpai pada hasil kegiatan industri, terutama industri penyamakan kulit. Cr(III) yang merupakan logam berbahaya harus dapat dihilangkan dari limbah cair tersebut. Salah satu metode yang efektif digunakan untuk menangani pencemaran Cr(III) dalam limbah cair adalah pertukaran ion menggunakan resin penukar ion. Prinsip metode ini, yaitu menukarkan ion yang tersedia pada resin penukar ion dengan ion-ion yang berada di sekitarnya. Kehadiran Na dalam larutan tempat dijerapnya Cr(III) dengan menggunakan Amberlite IR-120 H, membuat fenomena ini tergolong sebagai penjerapan multikomponen. Dalam hal ini, penjerapan Cr(III) dan Na oleh Amberlite IR-120 H terjadi secara bersama-sama (simultan). Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari laju penjerapan simultan yang terjadi pada berbagai suhu. Di samping itu, ingin dikembangkan model matematis untuk mendekati kinetika penjerapan simultan yang ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, maka akan semakin besar laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na. Kecenderungan yang sama ditunjukkan oleh nilai konstanta kinetika yang semakin besar seiring meningkatnya suhu. Model matematis yang disusun berdasarkan persamaan laju reaksi cukup sesuai untuk mendekati kinetika penjerapan simultan ini. Berdasarkan nilai energi aktivasi sebesar 56,735 kJ/mol untuk penjerapan Cr(III) yang terjadi, maka dapat dikatakan bahwa laju reaksi adalah laju yang mengontrol proses.

**Kata kunci:** Kromium(III), penjerapan, kinetika, Amberlite IR-120 H, simultan

#### PENDAHULUAN

Salah satu limbah yang seringkali menjadi perhatian adalah limbah cair yang mengandung logam berat. Di antara logam berat yang sering dijumpai pada limbah cair hasil kegiatan industri adalah kromium. Kromium adalah satu di antara logam beracun, dimana kromium memiliki dua bentuk oksidasi yang stabil, yaitu kromium(III) atau Cr(III) dan kromium(VI) atau Cr(VI). Kehadiran zat pengoksidasi di dalam tanah dan air dapat mengubah Cr(III) menjadi Cr(VI) yang merupakan unsur berbahaya (Shah dkk., 2012). Bahan-bahan yang mengandung Cr(III) secara luas digunakan pada industri zat warna dan cat, penyamakan kulit, fungisida, serta keramik dan gelas (Mustafa dkk., 2009). Bahan utama yang banyak digunakan untuk menyamak kulit, seperti *basic chromium sulfate* ( $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ) merupakan persenyawaan Cr(III) dengan unsur-unsur lain. *Basic chromium sulfate* mengandung 25% Cr(III) dalam bentuk  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  dan 33–58% senyawa bersifat basa (Lopez-Munoz dkk., 2011).

*Ion exchange* atau pertukaran ion merupakan teknik yang lebih cepat, murah, efektif, dan serbaguna. Selain itu, metode ini memungkinkan kromium dapat dengan mudah diregenerasi untuk dimanfaatkan kembali (Mustafa dkk., 2010). Metode ini melibatkan *ion exchanger* (penukar ion) dalam prosesnya, misalnya dengan menggunakan resin penukar ion. Kehadiran logam lain, seperti natrium (Na) di dalam larutan tempat dijerapnya Cr(III), memungkinkan terjadinya kompetisi antara kedua logam tersebut untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H.

Proses yang termasuk penjerapan multikomponen ini merupakan penjerapan simultan Cr(III) dan Na oleh Amberlite IR-120 H. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na menggunakan Amberlite IR-120 H pada berbagai suhu dan mengembangkan model matematis untuk mengestimasi laju penjerapan tersebut.

Amberlite IR-120 H merupakan resin penukar ion yang termasuk dalam kelompok resin penukar kation asam kuat. Resin ini tersusun atas matriks *styrene divinylbenzene* yang mengandung gugus sulfonat dengan ion yang dipertukarkan berupa  $\text{H}^+$ . Resin ini tersedia dalam bentuk butiran-butiran kecil, seperti manik-manik, dimana karakteristik yang dimilikinya, yaitu jenis polimer adalah *gel*, *cross linking* sebesar 8%, kelembaban sebesar 45% massa, ukuran partikel rata-rata adalah 0,62–0,83 mm, kapasitas pertukaran ion untuk berat basah dan kering berturut-turut adalah  $\geq 1,8$  mek/mL dan 4,4 mek/g, serta suhu operasi maksimum adalah 135 °C (Leveneur dkk., 2009; Rohm and Haas Company, 2008).

Salah satu faktor pendorong terjadinya penjerapan adalah penggunaan adsorben yang

sesuai. Resin penukar ion, terutama dari jenis resin penukar kation, cocok untuk diaplikasikan pada penjerapan logam berat, dimana kebanyakan logam berat memiliki kecenderungan sebagai suatu kation. Sejumlah literatur mengenai penghilangan Cr(VI) dari dalam larutan encer seringkali ditemui, tetapi tidak banyak penelitian yang melaporkan tentang penghilangan Cr(III). Disebutkan bahwa adsorben anorganik mempunyai tingkat selektivitas dan kapasitas penjerapan yang relatif lebih rendah, sehingga semakin banyak para peneliti yang memfokuskan perhatian mereka pada penggunaan penukar kation organik untuk menghilangkan kation logam (Shah dkk., 2012).

Sistem multikomponen memungkinkan terjadinya penjerapan simultan lebih dari satu komponen oleh adsorben. Penelitian mengenai penjerapan simultan Cr(VI) dan Cd(II) oleh silika (dilapisi ion Fe) menunjukkan kedua logam tersebut terjerap secara bersamaan. Laju penjerapan Cr(VI) lebih besar dibandingkan laju penjerapan Cd(II) (Li dkk., 2013). Salah satu model kinetika penjerapan multikomponen adalah model kinetika penjerapan simultan Cu(II) dan Pb(II) berdasarkan model reaksi reversibel orde satu terhadap konsentrasi masing-masing logam (Machida dkk., 2005).

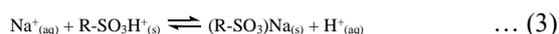
Jumlah komponen terjerap dihitung berdasarkan selisih konsentrasi komponen dalam larutan pada saat mula-mula dengan setelah penjerapan. Untuk  $q_0 = 0$ , hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$q = \frac{(C_0 - C)V}{m} \quad \dots (1)$$

Bentuk Cr(III) sebagai  $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$  menjadi sering muncul untuk larutan yang bersifat asam dengan  $\text{pH} = 2-6$  (Fahim dkk., 2006). Reaksi pertukaran Cr(III) dengan kation yang terdapat pada resin penukar ion ( $\text{H}^+$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut.



Sedangkan, reaksi pertukaran Na dengan kation yang terdapat pada resin penukar ion ( $\text{H}^+$ ) dituliskan sebagai berikut (Singare dkk., 2009).



Analisis *error* dilakukan sebagai cara untuk mengembangkan model matematis. *Error function* yang digunakan untuk mengestimasi konstanta kinetika pada model matematis kinetika penjerapan adalah *sum of squares of errors* (SSE). *Error function* tersebut diberikan oleh persamaan berikut (Foo dan Hameed, 2010).

$$SSE = \sum_{i=1}^N (q_{\text{simulasi},i} - q_{\text{percobaan},i})^2 \quad \dots (4)$$

Selain menggunakan SSE, *error function* yang juga digunakan adalah persentase (%) ralat relatif rata-rata yang dinyatakan sebagai berikut.

$$\% \text{ ralat relatif rata-rata} = \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{|q_{\text{simulasi},i} - q_{\text{percobaan},i}|}{q_{\text{percobaan},i}} \times 100\% \right)}{N} \quad \dots (5)$$

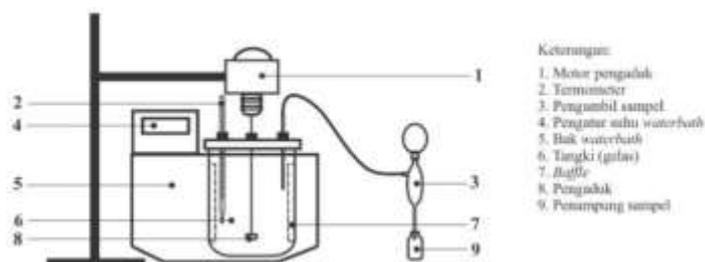
Semakin kecil SSE dan % ralat relatif rata-rata yang diperoleh, maka tebakan konstanta akan

memberikan hasil simulasi yang semakin mendekati data percobaan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *basic chromium sulfate* yang diperoleh dari Toko Sari Yogyakarta, Amberlite IR-120 H yang diperoleh dari LPPT UGM, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 95% dan *aquadest*. Sedangkan, alat-alat yang digunakan, antara lain adalah oven, rangkaian alat untuk percobaan kinetika seperti pada Gambar 1, kertas pH *universal* dan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS).



Gambar 1. Rangkaian alat untuk percobaan kinetika

### Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi beberapa hal, yaitu (i) pembuatan larutan sintesis, (ii) persiapan adsorben, (iii) percobaan kinetika penjerapan. Larutan sintesis berfungsi sebagai air limbah buatan yang mengandung Cr(III) dan Na. Pembuatan larutan sintesis yang mengandung Cr(III) dengan konsentrasi 2.500 ppm dilakukan dengan memasukkan serbuk *basic chromium sulfate* sebanyak 84,32 g ke dalam 6 L *aquadest*.

Langkah-langkah dalam persiapan adsorben adalah pencucian Amberlite IR-120 H dengan *aquadest* dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 6% secukupnya. Setelah dipisahkan dari larutan hasil pencucian, Amberlite IR-120 H dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama ±2,5 jam.

Percobaan kinetika penjerapan dilakukan dengan rangkaian alat yang diberikan oleh Gambar 1. Sebanyak 575 mL larutan dengan konsentrasi Cr(III) sebesar 550 ppm diisikan ke dalam tangki (gelas). Selanjutnya, proses dimulai ketika 2 g Amberlite IR-120 H dimasukkan, dimana suhu larutan dikondisikan sesuai variasi (27, 37, 47, dan 57 °C) dengan kecepatan pengadukan adalah 275 rpm. Proses berlangsung selama 60 menit, dimana tiap beberapa menit dilakukan pengambilan ±1 mL larutan dari dalam tangki. Tingkat pH larutan pada saat awal dan akhir proses diukur menggunakan kertas pH *universal*. Besarnya konsentrasi Cr(III) dan Na dalam larutan diukur menggunakan AAS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Model Kinetika Penjerapan Simultan

Model matematis untuk kinetika penjerapan simultan Cr(III) dan Na menggunakan Amberlite IR-120 H ini didekati dengan persamaan laju reaksi pertukaran ion. Pada penelitian ini, penjerapan berada pada konsentrasi logam yang relatif tinggi (>500 ppm), sehingga difusi eksternal (difusi film) merupakan langkah yang tidak mengontrol atau dapat diabaikan. Di samping itu, jenis polimer resin penukar ion yang digunakan adalah *gel*, dimana untuk jenis ini, pori-pori yang ada memiliki diameter yang terlampaui kecil, sehingga difusi internal (difusi partikel) juga dapat diabaikan (Wheaton dan Lefevre, 2000). Penjerapan dilakukan secara *batch* dengan mengambil asumsi-asumsi, yaitu (i) volume larutan tetap, (ii) proses berjalan pada kondisi isothermal, dan (iii) pengadukan sempurna, sehingga tidak ada gradien konsentrasi dalam larutan.

Kinetika penjerapan simultan didekati dengan Model I dan Model II, dimana Model I merupakan model laju reaksi reversibel orde satu terhadap jumlah ion penukar yang dapat dipertukarkan untuk masing-masing logam terjerap. Secara matematis, Model I dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{dq_A}{dt} = k_A^+ \cdot C_A \cdot q_H - k_A^- \cdot q_A \quad \dots (6.a)$$

dan

$$\frac{dq_B}{dt} = k_B^+ \cdot C_B \cdot q_H - k_B^- \cdot q_B \quad \dots (6.b)$$

Sedangkan, Model II disusun berdasarkan laju reaksi reversibel orde dua terhadap jumlah ion penukar yang dapat dipertukarkan untuk Cr(III) terjerap dan orde satu terhadap jumlah ion penukar yang dapat dipertukarkan untuk Na terjerap. Menurut definisi ini, Model II dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{dq_A}{dt} = k_A^+ \cdot C_A \cdot q_H^2 - k_A^- \cdot q_A \cdot C_H^2 \quad \dots (7.a)$$

dan

$$\frac{dq_B}{dt} = k_B^+ \cdot C_B \cdot q_H - k_B^- \cdot q_B \cdot C_H \quad \dots (7.b)$$

Untuk kedua model tersebut,  $q_T$  merupakan kapasitas pertukaran ion yang dimiliki oleh Amberlite IR-120 H (berat kering), yaitu sebesar 4,4 meq/g, dimana:

$$q_H = q_T - (q_A + q_B) \quad \dots (8)$$

$$C_H = C_T - (C_A + C_B) \quad \dots (9)$$

$$C_T = C_{A0} + C_{B0} \quad \dots (10)$$

### Pengaruh Suhu

Data yang diperoleh berdasarkan hasil percobaan untuk setiap suhu menunjukkan bahwa konsentrasi Cr(III) mengalami penurunan seiring berjalannya waktu, dengan kata lain, jumlah Cr(III) yang terjerap pada Amberlite IR-120 H akan semakin bertambah. Sedangkan, jumlah Na yang terjerap pada Amberlite IR-120 H di awal proses juga mengalami peningkatan, tetapi pada selang waktu tertentu, terjadi penurunan jumlah Na yang dapat dijerap oleh Amberlite IR-120 H. Dari sini, dapat dikatakan bahwa Na yang telah terjerap dimungkinkan untuk lepas kembali ke dalam larutan. Besar kemungkinan, penurunan jumlah Na yang terjerap pada selang waktu tertentu tersebut dipicu oleh pertukaran Cr(III) yang masih berada dalam larutan dengan Na yang sudah terjerap pada Amberlite IR-120 H. Pertukaran Cr(III) dengan Na yang menempel pada adsorben sangat dimungkinkan untuk terjadi, mengingat adanya penjerapan Cr(III) menggunakan Amberlite IR-120 Na (Shah dkk., 2012).

Interaksi kompetitif antara Cr(III) dan Na untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H didominasi oleh Cr(III). Jika dilihat dari valensi yang dimiliki masing-masing logam, Cr(III) memiliki valensi yang lebih besar daripada Na, sehingga afinitas Cr(III) pun akan menjadi lebih besar dibandingkan Na. Begitu juga dengan afinitas Na yang lebih besar daripada  $H^+$  (Alchin dan Wansbrough, 2012). Berdasarkan tingkat afinitas masing-masing ion tersebut, Cr(III) akan lebih mampu bertukar dengan ion yang tersedia pada *site*, baik itu dengan  $H^+$  maupun dengan Na yang sebelumnya telah bertukar dengan  $H^+$ .

Hasil percobaan kinetika juga menunjukkan bahwa laju penjerapan Cr(III) menjadi lebih lambat dengan kehadiran Na dalam sistem. Pada penelitian ini, setelah 60 menit berselang, proses penjerapan Cr(III) belum mencapai kesetimbangan. Hal ini berbeda dengan hasil penelitian untuk penjerapan Cr(III) sebagai penjerapan satu komponen, dimana kesetimbangan tercapai setelah 20 menit (Mustafa dkk., 2009). Ini berarti, kehadiran Na tersebut cukup menghambat pergerakan Cr(III) untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H. Na yang ikut terjerap pada Amberlite IR-120 H dengan porsi yang cukup besar di awal-awal proses, menyebabkan jumlah *site* yang harusnya dapat diisi oleh Cr(III) menjadi berkurang. Akan tetapi, seiring dengan berjalannya waktu proses, jumlah Cr(III) semakin meningkat bersamaan dengan jumlah Na yang mulai menurun.

Laju penjerapan Cr(III) semakin besar seiring meningkatnya suhu. Pada suhu 57 °C, laju penjerapan Cr(III) lebih besar dibandingkan dengan laju penjerapan Cr(III) pada suhu-suhu yang berada di bawahnya. Begitu juga dengan laju penjerapan Na di awal-awal proses, laju penjerapan cenderung semakin besar seiring meningkatnya suhu. Suhu yang semakin tinggi akan membuat intensitas gerakan ion logam yang dijerap semakin bertambah, sehingga peluang ion untuk berinteraksi dengan *site* aktif yang terdapat pada Amberlite IR-120 H menjadi semakin besar. Apabila interaksi tersebut terjadi dengan intensitas tinggi, seperti ketika sistem berada pada suhu yang tinggi, maka proses penjerapan menjadi lebih cepat. Hal ini sejalan dengan fenomena suatu reaksi pada umumnya, dimana kenaikan suhu akan meningkatkan laju reaksi.

### Konstanta Kinetika pada Berbagai Suhu

Data yang diperoleh dari hasil percobaan kinetika digunakan untuk mengestimasi konstanta kinetika pada Model I dan Model II yang memberikan SSE dan % ralat relatif rata-rata minimum. Hal ini dilakukan dengan bantuan program komputer, yaitu "MATLAB®". Hasil

estimasi konstanta kinetika pada berbagai suhu untuk Model I dan Model II diberikan oleh Tabel 1.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa kecenderungan konstanta kinetika yang semakin besar seiring dengan semakin tingginya suhu proses. Sesuai teori, konstanta kinetika yang merepresentasikan laju penjerapan akan semakin besar dengan semakin besarnya suhu. Akan tetapi, kecenderungan nilai  $k_B^-$  memperlihatkan hal yang sedikit bertolak belakang dengan yang seharusnya. Nilai  $k_B^-$  pada suhu yang paling tinggi dalam penelitian ini (57 °C) menjadi lebih kecil dibandingkan nilai  $k_B^-$  pada suhu-suhu yang berada di bawahnya. Namun, tetap terlihat pada suhu-suhu yang berada di bawah 57 °C, nilai  $k_B^-$  semakin meningkat seiring semakin besarnya suhu proses. Kemungkinan, hal ini disebabkan oleh interaksi kompetitif antara Cr(III) dan Na yang terjadi pada suhu 57 °C, dimana kemampuan Cr(III) untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H mampu mengalahkan Na, sehingga wajar konstanta kinetika

untuk Na menjadi lebih kecil ketika konstanta kinetika untuk Cr(III) sudah semakin besar.

Hasil estimasi pada Model II memberikan nilai  $k_A^+$  relatif lebih besar daripada  $k_A^-$ , sedangkan nilai  $k_B^+$  relatif lebih kecil daripada  $k_B^-$ . Selain itu, nilai  $k_B^+$  lebih besar daripada  $k_A^+$ , sehingga Cr(III) relatif lebih sedikit dibanding Na untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H. Meskipun demikian, perlu diingat bahwa nilai  $k_B^+$  relatif lebih kecil daripada  $k_B^-$ , sehingga kecenderungan Na terlepas dari Amberlite IR-120 H akan sangat mungkin terjadi, seperti mengikuti Persamaan (3). Mengingat Cr(III) memiliki afinitas yang lebih besar daripada Na dan  $H^+$ , maka dapat dikatakan Cr(III) yang akan menggantikan Na untuk terjerap pada Amberlite IR-120 H, di samping Cr(III) juga mengisi *site* Amberlite IR-120 H melalui pertukarannya dengan  $H^+$ .

**Tabel 1.** Hasil estimasi konstanta kinetika pada berbagai suhu berdasarkan SSE dan % ralat relatif rata-rata minimum untuk Model I dan Model II

Model I							
T	$k_A^+$	$k_A^-$	$k_B^+$	$k_B^-$	SSE	% ralat A	% ralat B
°C	L/(mek.menit)	menit <sup>-1</sup>	L/(mek.menit)	menit <sup>-1</sup>		%	%
27	$0,8900 \times 10^{-3}$	$1,1321 \times 10^{-3}$	$3,8911 \times 10^{-3}$	$131,3400 \times 10^{-3}$	$6,2060 \times 10^{-6}$	10,01	9,28
37	$1,1404 \times 10^{-3}$	$1,3516 \times 10^{-3}$	$3,8368 \times 10^{-3}$	$186,0100 \times 10^{-3}$	$1,9916 \times 10^{-6}$	15,00	18,01
47	$1,3159 \times 10^{-3}$	$5,9911 \times 10^{-3}$	$6,7343 \times 10^{-3}$	$296,7900 \times 10^{-3}$	$4,7373 \times 10^{-8}$	14,73	14,06
57	$2,7023 \times 10^{-3}$	$7,4111 \times 10^{-3}$	$7,5776 \times 10^{-3}$	$70,6240 \times 10^{-3}$	$1,8248 \times 10^{-5}$	8,42	8,43
Model II							
T	$k_A^+$	$k_A^-$	$k_B^+$	$k_B^-$	SSE	% ralat A	% ralat B
°C	L.g/(mek <sup>2</sup> .menit)	L <sup>2</sup> /(mek <sup>2</sup> .menit)	L/(mek.menit)	L/(mek.menit)		%	%
27	$0,2858 \times 10^{-3}$	$0,0208 \times 10^{-3}$	$3,8028 \times 10^{-3}$	$23,6810 \times 10^{-3}$	$2,0806 \times 10^{-5}$	19,27	16,15
37	$0,3763 \times 10^{-3}$	$0,0412 \times 10^{-3}$	$3,3976 \times 10^{-3}$	$29,0130 \times 10^{-3}$	$2,7613 \times 10^{-6}$	24,10	14,37
47	$0,4050 \times 10^{-3}$	$0,0202 \times 10^{-3}$	$5,3244 \times 10^{-3}$	$39,7320 \times 10^{-3}$	$3,2598 \times 10^{-6}$	14,93	12,10
57	$1,2338 \times 10^{-3}$	$0,0939 \times 10^{-3}$	$11,9630 \times 10^{-3}$	$16,4040 \times 10^{-3}$	$1,3545 \times 10^{-5}$	11,62	10,85

Hasil estimasi konstanta kinetika yang dilakukan ternyata memberikan SSE yang tergolong sangat kecil untuk setiap model matematis. Akan tetapi, % ralat relatif rata-rata yang diperoleh dari Model I lebih kecil dibandingkan Model II, sehingga Model I dapat dikatakan lebih sesuai untuk mendeskripsikan fenomena yang terjadi. Di samping itu, Model I yang disusun menurut laju reaksi reversibel orde satu, lebih sederhana penyelesaian matematisnya daripada Model II. Hasil simulasi terhadap data percobaan untuk Model I dan Model II diberikan oleh Gambar 2.

Nilai yang tidak begitu kecil untuk sebuah % ralat relatif rata-rata, terutama pada Model II, dapat terjadi karena data percobaan dari penjerapan multikomponen seringkali memberikan hasil yang tidak begitu baik untuk membentuk suatu kecenderungan (Noroozi dan Sorial, 2013). Oleh sebab itu, % ralat relatif rata-rata yang diperoleh pada penelitian ini masih dapat diterima, dimana

terlihat bahwa kecenderungan hasil simulasi sudah cukup mengikuti kecenderungan data percobaan.

Diketahui bahwa pH mula-mula larutan adalah 4. Sedangkan, pH larutan setelah proses penjerapan selama selang waktu 60 menit adalah 2. Ini menunjukkan bahwa larutan setelah proses penjerapan menjadi semakin asam dibandingkan sebelum proses penjerapan. Kemungkinan yang demikian ini dapat terjadi akibat  $H^+$  dalam larutan yang semakin bertambah setiap waktunya. Penambahan  $H^+$  tidak lain disebabkan oleh reaksi pertukaran ion, baik Cr(III) maupun Na dengan ion yang tersedia pada badan Amberlite IR-120 H.

### Energi Aktivasi dan Faktor Frekuensi Tumbukan Kinetika Penjerapan Cr(III)

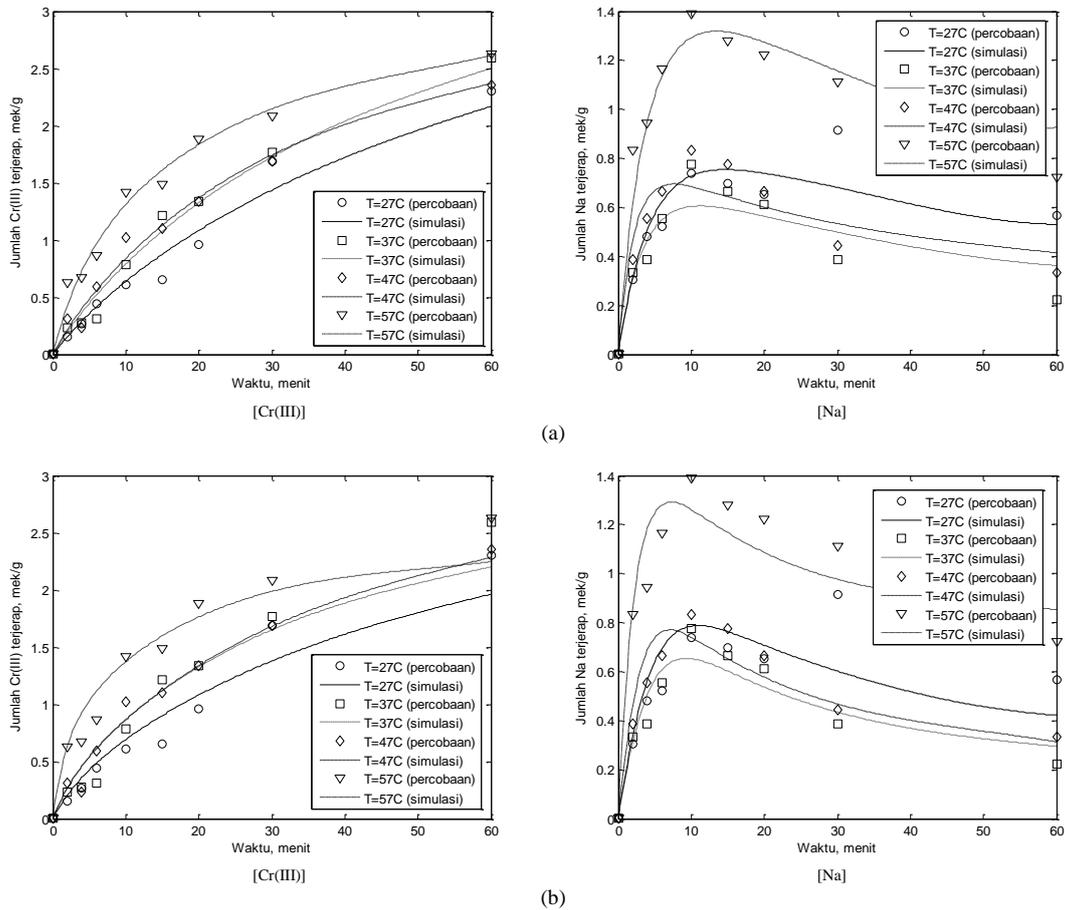
Korelasi antara konstanta kinetika dan suhu menghasilkan parameter pada persamaan Arrhenius, yaitu  $A$  dan  $E_a$ . Estimasi kedua parameter tersebut dilakukan dengan regresi linier menggunakan bantuan “Microsoft Office Excel”.

Bentuk linier dari persamaan Arrhenius dituliskan sebagai berikut.

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \cdot \frac{1}{T} \quad \dots (11)$$

Pada penelitian ini, digunakan konstanta kinetika Model I dalam menentukan parameter

persamaan Arrhenius, karena konstanta kinetika Model I memiliki tingkat *error* yang lebih kecil daripada Model II. Parameter persamaan Arrhenius untuk konstanta kinetika pada Model I yang diperoleh dengan regresi linier diberikan oleh Tabel 2.



**Gambar 2.** Hasil simulasi laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na menggunakan Amberlite IR-120 H pada berbagai suhu untuk (a) Model I dan (b) Model II

**Tabel 2.** Parameter persamaan Arrhenius untuk konstanta kinetika pada Model I

$k^+_A$ , L/(mek.menit)	$A = 70,386 \text{ L}/(\text{mek.menit})$	$R^2 = 0,868$
	$E_a = 28,367 \text{ kJ/ek} = 56,735 \text{ kJ/mol}$	
$k^-_A$ , menit <sup>-1</sup>	$A = 1,540 \times 10^7 \text{ menit}^{-1}$	$R^2 = 0,881$
	$E_a = 58,639 \text{ kJ/ek} = 117,277 \text{ kJ/mol}$	

Berdasarkan hasil estimasi, energi aktivasi untuk penjerapan Cr(III) sebesar 56,735 kJ/mol (*forward*) dan 117,277 kJ/mol (*backward*). Energi aktivasi yang ditunjukkan untuk proses penjerapan ini relatif tidak terlalu besar. Nilai energi aktivasi yang berkisar antara 8 dan 24 kJ/mol menunjukkan bahwa laju difusi adalah yang mengontrol laju proses (Fogler, 2006). Selain itu, energi aktivasi yang besarnya kurang dari 21 kJ/mol menegaskan

bahwa laju difusi film adalah laju yang mengontrol laju proses (Mustafa dkk., 2009).

Dalam kasus ini, laju proses penjerapan, terutama Cr(III), dikontrol oleh laju reaksi, karena nilai energi aktivasi yang didapatkan berada di atas kisaran untuk proses dengan laju difusi yang mengontrol. Hal ini menegaskan bahwa model matematis yang diajukan dengan pendekatan laju reaksi sudah cukup sesuai. Meskipun demikian,

energi aktivasi yang ditunjukkan memang masih tidak terlalu besar untuk ukuran proses dengan laju reaksi yang mengontrol, dimana energi aktivasi untuk suatu proses dengan laju reaksi yang mengontrol berada pada nilai 200 kJ/mol (Fogler, 2006). Energi aktivasi kinetika penjerapan Cr(III) yang relatif tidak terlalu besar ini kemungkinan dipengaruhi oleh keberadaan unsur lain yang juga berada dalam sistem. Unsur yang dimaksud tersebut seperti Na, yang dalam sistem juga ikut terjerap oleh Amberlite IR-120 H, sehingga menyebabkan laju penjerapan Cr(III) oleh Amberlite IR-120 H menjadi lebih lambat jika dibandingkan dengan penjerapan Cr(III) yang dianggap sebagai komponen tunggal yang terjerap.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na menggunakan Amberlite IR-120 H dipengaruhi oleh suhu, dimana semakin tinggi suhu, maka akan semakin besar laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na. Jumlah Cr(III) yang terjerap pada Amberlite IR-120 H akan semakin bertambah seiring berjalannya waktu, begitu juga dengan jumlah Na yang terjerap di awal proses, tetapi pada selang waktu tertentu, terjadi penurunan jumlah Na yang terjerap. Laju penjerapan Cr(III) relatif lebih lambat dengan kehadiran Na, dimana belum tercapai kesetimbangan pada selang waktu 60 menit. Laju penjerapan simultan Cr(III) dan Na menggunakan Amberlite IR-120 H dapat didekati dengan cukup baik oleh Model I dan Model II. Estimasi konstanta kinetika kedua model tersebut memberikan SSE yang tergolong kecil. Akan tetapi, % ralat relatif rata-rata pada Model I terlihat lebih kecil daripada Model II, sehingga Model I dianggap lebih mendekati fenomena yang terjadi. Konstanta kinetika pada Model I maupun Model II, memiliki kecenderungan semakin besar seiring dengan semakin tingginya suhu. Energi aktivasi untuk kinetika penjerapan Cr(III) berdasarkan konstanta kinetika pada Model I sebesar 56,735 kJ/mol (*forward*) dan 117,277 kJ/mol (*backward*) menunjukkan bahwa laju proses dikontrol oleh laju reaksi.

## DAFTAR SIMBOL

$A$	= faktor frekuensi tumbukan
$C$	= konsentrasi, mg/L atau mmol/L atau meq/L
$E_a$	= energi aktivasi, kJ/mol
$k$	= konstanta kinetika
$m$	= massa, g
$R$	= konstanta gas ideal = 8,314 J/(mol.K)
$R^2$	= <i>coefficient of determination</i>
SSE	= <i>sum of squares of errors</i>
$t$	= waktu, menit

$T$	= suhu, K
$V$	= volume, L

### Subscript:

0	= keadaan mula-mula
$A$	= Cr(III)
$B$	= Na
$e$	= kondisi setimbang
$H$	= H <sup>+</sup>
$i$	= 1, 2, 3, ..., $N$
$T$	= total

### Superscript:

+	= <i>forward</i> , untuk konstanta kinetika
-	= <i>backward</i> , untuk konstanta kinetika

## DAFTAR PUSTAKA

- ALCHIN, D., & H. WANSBROUGH. 2012. Ion Exchange Resins, XIII-Water-D-Ion Exchange Resins, Drew New Zealand. [online] tersedia di: <<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/water/13D.pdf>> [diakses tanggal 20 Oktober 2012]
- FAHIM, N. F., B. N. BARSOUM, A. E. EID, & M. S. KHALIL. 2006. Removal of Chromium(III) from Tannery Wastewater Using Activated Carbon from Sugar Industrial Waste. *J. Hazard. Mat.*, 136(2), 303–309.
- FOGLER, H. S. 2006. Elements of Chemical Reaction Engineering. Edisi ke-4. Pearson Education, Inc., United States of America.
- FOO, K. Y., & B. H. HAMEED. 2010. Insights into the Modeling of Adsorption Isotherm Systems. *Chem. Eng. J.*, 156, 2–10.
- LEVENEUR, S., J. WARNA, T. SALMI, D. YU. MURZIN, & L. ESTEL. 2009. Interaction of Intrinsic Kinetics and Internal Mass Transfer in Porous Ion-Exchange Catalysts: Green Synthesis of Peroxycarboxylic Acids. *Chem. Eng. Sci.*, 64, 4101–4114.
- LI, Y., H. MA, B. REN, & T. LI. 2013. Simultaneous Adsorption and Degradation of Cr(VI) and Cd(II) Ions from Aqueous Solution by Silica-Coated Fe<sup>0</sup> Nanoparticles. *J. Analyt. Met. Chem.*, 2013, 1–8.
- LOPEZ-MUNOZ, B. E., R. RIVERA-ROBLES, J. L. ITURBE-GARCIA, & M. T. OLGUIN-GUTIERREZ. 2011. Adsorption of Basic Chromium Sulfate Used in the Tannery Industries by Calcined Hydrotalcite. *J. Mex. Chem. Soc.*, 55 (3), 137–141.
- MACHIDA, M., M. AIKAWA, & H. TATSUMOTO. 2005. Prediction of Simultaneous Adsorption of Cu(II) and Pb(II) onto Activated Carbon by Conventional Langmuir Type Equations. *J. Hazard. Mater.*, B120, 271–275.
- MUSTAFA, S., T. AHMAD, A. NAEEM, K. H. SHAH, & M. WASEEM. 2010. Kinetics of

- Chromium Ion Removal from Tannery Wastes Using Amberlite IRA-400 Cl<sup>-</sup> and its Hybrids. *Water Air Soil Pollut.*, 210, 43–50.
- MUSTAFA, S., K. H. SHAH, A. NAEEM, M. WASEEM, T. AHMAD, & S. SARFRAZ. 2009. Kinetic Investigation of Chromium(III) Removal by Strong Acid Exchanger Amberlite IR-120 (H<sup>+</sup>). *J. Pak. Mater. Soc.*, 3 (1), 3–6.
- NOROOZI, B., & G. A. SORIAL. 2013. Applicable Models for Multi-Component Adsorption of Dyes: A Review. *J. Environ. Sci.*, 25 (3), 419–429.
- ROHM & HAAS COMPANY. 2008. Product Data Sheet Amberlite IR 120 H Industrial Grade Strong Acid Cation Exchanger, Ion Exchange Resins, Philadelphia, U.S.A. [online] tersedia di: < [http://www.dow.com/assets/attachments/business/ier/ier\\_for\\_industrial\\_water\\_treatment/amberlite\\_ir120\\_h/t ds/amberlite\\_ir120\\_h.pdf](http://www.dow.com/assets/attachments/business/ier/ier_for_industrial_water_treatment/amberlite_ir120_h/t ds/amberlite_ir120_h.pdf) > [diakses tanggal 15 Agustus 2012]
- SHAH, K. H., S. MUSTAFA, M. WASEEM, & A. NAEEM. 2012. Chromium(III) Removal by Microporous Ion Exchanger Amberlite.120 (Na<sup>+</sup>): Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies. *J. Iran. Chem. Soc.*, 9, 895–900.
- SINGARE, P., R. LOKHANDE, & N. SAMANT. 2009. Studies of Uni-Univalent Ion Exchange Reactions Using Strongly Acidic Cation Exchange Resin Amberlite IR-120. *Nat. Sci.*, 1 (2), 124–128.
- WHEATON, R. M., & L. J. LEFEVRE. 2000. Fundamentals of Ion Exchange. Dowex Ion Exchange Resins, Dow Liquid Separations, United States of America.