Studi Model Adsorpsi Cr(VI) Menggunakan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Pada Sistem Kolom Dengan Variasi Laju Alir

Reihan Subhan, M. Fahmi Shidiqi, A.S Dwi Saptati N.H.[*)], dan Bambang Ismuyanto

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167, Malang, 6541, Telp: (0341) 587710 ext: 1333, Fax: (0341)574140
[*)] Penulis korespondensi : say2as@ub.ac.id

Abstract

Study of Cr(VI) Adsorption Model Using Activated Carbon From Coconut Shell in Column System With Variation of Flow Rate. *The environment has an important role in actualizing sustainability. However, environmental problems still occur due to the presence of pollutant substances released into the environment by industry or commonly called waste. One of the compounds in liquid waste is Cr(VI). Cr(VI) is a toxic compound because it is a carcinogen and has high solubility and mobility in the environment and is commonly found in the metal cleaning industry, battery manufacture, and leather tanning industry. Removal of Cr(VI) can be carried out using a column system adsorption with coconut shell activated carbon. The purpose of this study was to determine the effect of feed flow rate towards adsorption ability of Cr(VI) removal by activated carbon from coconut shell using a column adsorption system with Thomas, Adam-Bohart, and Yoon-Nelson model approach. The process variables used were variations in flow rates of 10mL/minute, 15mL/minute, 20mL/minute, and 25mL/minute. 10 mL/min feed flow rate has the best capacity, 2704 mg/g based on Thomas and Yoon-Nelson model approach. The mathematical approach of the Thomas and Yoon-Nelson models is a suitable model based on a fairly good linear regression (R^2) value, namely 0,7821, 0,8305, 0,9034, and 0,9319.*

Keywords: *adsorption; column; Cr(VI); mathematical approach*

Abstrak

Lingkungan memiliki peran penting dalam mewujudkan kehidupan berkelanjutan. Namun, permasalahan lingkungan masih terjadi karena adanya zat pencemar yang dilepaskan ke lingkungan oleh industri atau yang umum disebut limbah. Salah satu senyawa dalam limbah cair yaitu Cr(VI). Cr(VI) merupakan senyawa beracun karena bersifat karsinogen dan memiliki daya larut dan mobilitas tinggi pada lingkungan serta umum ditemukan pada industri pembersih logam, pembuatan baterai, dan industri penyamakan kulit. Penyisihan Cr(VI) dapat dilakukan menggunakan adsorpsi sistem kolom dengan karbon aktif tempurung kelapa. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh laju alir umpan terhadap kemampuan adsorpsi Cr(VI) oleh karbon aktif dari tempurung kelapa menggunakan sistem adsorpsi kolom dengan pendekatan model Thomas, Adam-Bohart, dan Yoon-Nelson.. Variabel proses yang digunakan yaitu variasi laju alir 10mL/menit, 15mL/menit, 20mL/menit, dan 25mL/menit. Laju alir 10 mL/menit memiliki nilai kapasitas terbaik yaitu 2704 mg/g berdasarkan pendekatan model Thomas dan Yoon-Nelson. Pendekatan matematis model Thomas dan Yoon-Nelson merupakan model yang sesuai berdasarkan nilai regresi linear (R^2) yang cukup baik, yaitu 0,7821, 0,8305, 0,9034, 0,9319.

Kata kunci: adsorpsi; Cr(VI) ; kolom; pendekatan matematis

Diterima 26 Juli 2022, Disetujui 30 Desember 2022, Diterbitkan online 30 Desember 2022
© 2022 Universitas Brawijaya, e-ISSN: 2548-2181, p-ISSN: 2548-2300

PENDAHULUAN

Lingkungan memiliki peran penting dalam mewujudkan kehidupan berkelanjutan. Namun, permasalahan lingkungan masih terjadi karena adanya zat pencemar yang dilepaskan ke lingkungan oleh industri atau yang umum disebut limbah (Supraptini, 2002). Salah satu senyawa dalam limbah cair yaitu Cr(VI). Cr(VI) merupakan senyawa beracun karena bersifat karsinogen dan memiliki daya larut dan mobilitas tinggi pada lingkungan (Agustina et al., 2018). Cr(VI) umum ditemukan pada industri pembersih logam, pembuatan baterai, dan industri penyamakan kulit (Supraptini, 2002).

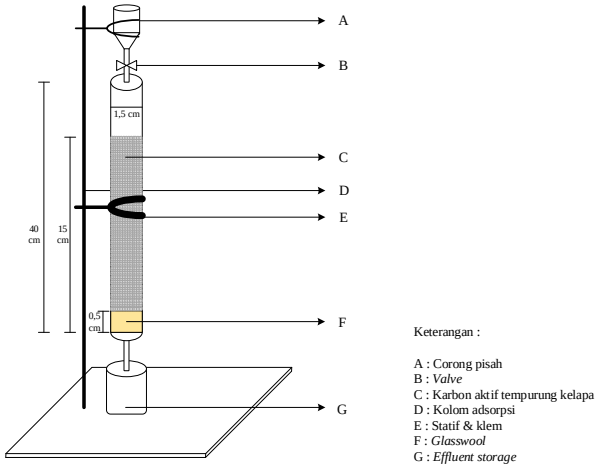
Pemisahan Cr(VI) dapat dilakukan dengan proses kimia yaitu reaksi reduksi-oksidasi (redoks), bioreduksi, pertukaran ion, dan adsorpsi dengan karbon aktif. Diantara proses tersebut, adsorpsi memiliki beberapa kelebihan diantara proses yang lain, yaitu relatif murah, mudah digunakan, efektif, dan tidak berdampak buruk pada lingkungan (Hossain et al., 2012).

Adsorpsi merupakan salah satu teknik pemisahan suatu komponen dalam suatu fluida. Pada proses adsorpsi, adsorben merupakan media penyerap dan adsorbat merupakan komponen yang akan dipisahkan (Syauqiah et al., 2011). Terdapat dua metode pada proses adsorpsi, yaitu metode *batch* dan kontinu. Adsorpsi metode *batch* adalah adsorpsi yang dilakukan dengan cara mencampurkan adsorben dan adsorbat dengan jumlah yang tetap. Sedangkan, adsorpsi metode kontinu atau kolom dilakukan dengan cara mengontakkan adsorbat dan adsorben (Nurfitriyani et al., 2012). Adsorpsi sistem kolom memiliki beberapa keuntungan, yaitu kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan metode *batch* dan berpotensi jika diaplikasikan pada skala besar (Khartikeyan, 2004). Proses adsorpsi yang terjadi dalam sistem kolom umumnya dideskripsikan dengan pendekatan matematis. Terdapat beberapa model pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengevaluasi kinerja adsorpsi kolom dan mengetahui kapasitas adsorpsi yaitu model Thomas, Adam-Bohart, dan Yoon Nelson.

Dalam proses adsorpsi, karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang umum digunakan. Karbon aktif dapat terbuat dari sekam padi, kulit buah, serabut kelapa, tempurung kelapa, dan lain sebagainya. Tempurung kelapa berpotensi untuk dimanfaatkan karena jumlah kelapa yang melimpah, yaitu mencapai 21.565.700 ton (ILO UNDP, 2013). Tempurung kelapa memiliki kandungan selulosa 26,6% dan lignin 29,4% (Suhartana, 2012). Kandungan lignin dan selulosa yang tinggi membuat tempurung kelapa dapat digunakan sebagai media adsorpsi karena akan memberikan struktur berpori (Aisyahlika et al. 2018).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, alat yang digunakan adalah kolom adsorpsi, corong pisah, statif dan klem, ayakan 10 mesh, ayakan 20 mesh, desikator, dan indikator universal, labu ukur 100 mL dan 1000 mL, gelas beaker 500 mL dan 1000 mL, pipet tetes, pipet ukur 10 mL dan 100 mL, furnace, oven, spektrofotometer UV-Vis, botol semprot, kuvet spektrofotometer, neraca analitik, dan labu ukur. Sedangkan bahan yang digunakan adalah aquades, aquademin, karbon aktif tempurung kelapa, kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$), 1,5-difenilkarbazid, *glasswool*, aseton, asam sulfat, dan asam fosfat. Rangkaian alat yang digunakan ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian alat adsorpsi kolom

Prosedur penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu persiapan karbon aktif, karakterisasi karbon aktif (uji gugus fungsi, uji luas permukaan dan diameter pori, uji parameter berdasarkan SNI 06-3730-1995), pembuatan larutan sampel Cr(VI), adsorpsi, dan pengujian kadar Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-Vis (pembuatan larutan baku, pembuatan larutan kerja, penentuan panjang gelombang maksimum, pembuatan kurva kalibrasi, dan pengukuran absorbansi sampel hasil adsorpsi).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Karbon aktif tempurung kelapa dikarakterisasi terlebih dahulu untuk mengidentifikasi sifat yang dapat mempengaruhi performa karbon aktif tersebut. Pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian berdasarkan parameter SNI 06-3730-1995, gugus fungsi, dan luas permukaan.

Hasil percobaan pada tabel 1 menyatakan, dalam karbon aktif tempurung kelapa terkandung kadar air sebesar 3,8%. Adanya air pada karbon aktif disebabkan oleh kemungkinan adanya butir-butir air yang terperangkap karena struktur karbon aktif yang tersusun dari 6 atom C pada setiap sudut heksanol (Sani, 2011). Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C yang menunjukkan kadar volatil pada karbon aktif tempurung kelapa sebesar 47,76%. Tingginya kadar volatil mengindikasikan bahwa zat volatil yang

tinggi seperti oksigen dan hidrogen terkandung dalam karbon aktif (Marsh dan Reinoso, 2006).

Tabel 1. Hasil Pengujian Berdasarkan Parameter SNI 06-3730-1995

Parameter Uji	Hasil Pengujian	Standar Mutu
Kadar air	3,8 %	Maks 4,4 %
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	47,76 %	Maks 15 %
Kadar Abu	50,67 %	Maks 2,5 %
Karbon Aktif Murni	1,57 %	Min 80 %

Zat volatil merupakan zat pengotor yang mengurangi efektifitas karbon aktif dalam adsorpsi karena zat tersebut menutupi pori karbon aktif (Masthura et al. 2018). Selain itu, hasil uji menunjukkan 50,67% kadar abu pada karbon aktif. Tingginya kadar abu disebabkan karena terdapat unsur anorganik dalam karbon aktif tempurung kelapa. Adanya unsur anorganik yang tinggi mengakibatkan berkurangnya luas permukaan dan volume pori dari karbon aktif tempurung kelapa. Hal tersebut menyebabkan kurang maksimalnya kinerja karbon aktif tempurung kelapa (Oglou et al. 2021). Kurang maksimalnya kinerja karbon aktif tempurung kelapa dibuktikan dengan rendahnya kadar karbon aktif murni, yaitu sebesar 1,57%.

Kadar air, kadar volatil, dan kadar abu yang semakin tinggi dapat memperkecil luas permukaan karbon aktif karena pori karbon aktif tertutupi. Berdasarkan hasil uji BET, luas permukaan karbon aktif tempurung kelapa mencapai 310,0581 m^2/gram. Nilai tersebut memenuhi kriteria luas permukaan karbon aktif, yaitu 300 - 2000 m^2/gram (Surest et al. 2018). Selain itu, diameter pori yang dimiliki yaitu 19,3512 nm. Berdasarkan diameter pori, karbon aktif tempurung kelapa termasuk dalam mesopori karena memiliki diameter diantara 2 – 50 nm. Semakin kecilnya diameter pori akan mengakibatkan semakin besarnya luas permukaan karbon aktif. Luas permukaan yang besar akan meningkatkan kecepatan adsorpsi (Takwanto, 2017).

Tabel 2. Gugus Fungsi pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa

Gugus Fungsi	Ikatan	Bilangan Gelombang (cm^{-1})
Alkena	C – H	979,84
Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	C – O	1051,2 1149,57
Alkuna	C ≡ C	2123,63

Berdasarkan tabel 2, gugus fungsi yang dapat mengikat Cr(VI) saat terjadi adsorpsi adalah alkana, alkuna, alkohol, eter, asam karboksilat, dan ester.

Mekanisme Adsorpsi Cr (VI)

Berdasarkan penelitian oleh Guo dkk. (2020) adsorpsi Cr(VI) dilakukan pada pH 2 dikarenakan kondisi asam sangat cocok untuk terjadi adsorpsi elektrostatik. $K_2Cr_2O_7$ pada air akan terionisasi menjadi K^+ dan $Cr_2O_7^{2-}$ dimana $Cr_2O_7^{2-}$ dengan air akan membentuk kesetimbangan sebagai berikut (Fenti et al. 2020) :

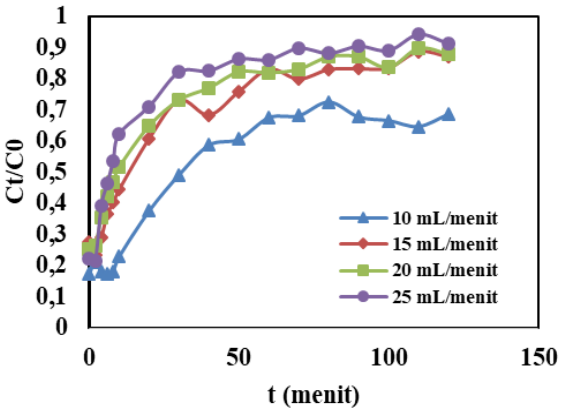
$$Cr_2O_7^{2-} + H_2O \rightleftharpoons 2HCrO^{4-}$$

$HCrO^{4-}$ yang merupakan spesi Cr(VI) paling dominan pada pH 2. Sehingga pada kondisi pH yang rendah ini jumlah ion H^+ sangatlah banyak pada larutan, sehingga protonasi permukaan karbon aktif akan membentuk site yang bermuatan positif. Dengan adanya gaya elektrostatik antara proton dan atom kromium menyebabkan timbulnya interaksi antara keduanya. Sehingga, $HCrO^{4-}$ ter-adsorb dikarenakan adanya gugus fungsi pada karbon aktif (Labied et al. 2018). Berikut mekanisme terjadinya adsorpsi $HCrO^{4-}$

$$CA - OH_2^+ + HCrO_4^- \rightleftharpoons CA - OH_2CrO_4^- + H^+$$
$$CA - COOH_2^+ + HCrO_4^- \rightleftharpoons CA - COOH_2CrO_4^- + H^+$$

Pengaruh Variasi Laju Alir Terhadap Kurva *Breakthrough*

Berdasarkan hasil adsorpsi selama 120 menit, Kurva *breakthrough* pada masing-masing variasi laju alir ditunjukkan oleh gambar 2. Terlihat kurva breakthrough membentuk kurva yang cukup ideal yaitu bentuk huruf S.



Gambar 2. Kurva *breakthrough* berbagai laju alir

Pada laju alir 10 mL/menit memiliki rasio konsentrasi awal paling rendah jika dibandingkan laju alir lainnya. Hal tersebut karena Laju alir yang paling rendah mengakibatkan lama nya waktu kontak Cr(VI) dengan adsorben dibandingkan laju alir lain. Semakin lama waktu kontak yang ada, maka perpindahan massa semakin maksimal. Hal ini menyebabkan semakin lambat untuk adsorben agar menjadi jenuh (Lopez-Cervantes et al. 2018).

Pada kurva breakthrough, dapat diketahui titik breakthrough dan titik exhaust. Titik breakthrough adalah titik dimulainya mass-transfer zone, dimana pada titik ini adsorbat akan keluar bersama effluent. Titik ini ditandai dengan naiknya rasio konsentrasi effluent dengan umpan secara signfikan. Titik exhaust adalah titik berakhirnya mass-transfer zone, dimana pada titik ini ditandai dengan rasio antara effluent dan umpan hampir sama (Gabelman, 2017).

Tabel 3. *Break point* dan *Exhaust point* pada masing-masing Laju Alir

Laju Alir (mL/ menit)	t_b (menit)	t_e (menit)
10	4	56,5
15	4	51,7
20	2	42,4
25	2	26,7

Berdasarkan tabel 3. Semakin lama interval antara titik break point dan exhaust point, maka semakin lama adsorben akan jenuh. Sehingga, laju alir 10 mL/menit merupakan laju alir dengan adsorpsi yang maksimal.

Pendekatan Model Matematis pada Adsorpsi Kolom

Adanya model matematis pada adsorpsi kolom dapat digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan kemampuan aplikasi kolom adsorpsi pada skala besar. Beberapa poin penting dalam mengoperasikan kolom adsorpsi adalah kapasitas adsorben, waktu regenerasi, dan waktu operasi (Patel, 2019). Model matematis yang digunakan adalah model Thomas, Adam-Bohart, dan Yoon-Nelson. Model matematis memiliki pendekatan yang berbeda untuk kondisi operasi yang berbeda pula. Oleh karena itu, perlu digunakan model matematis yang tepat untuk suatu kondisi operasi.

Model Thomas

Model Thomas digunakan untuk mengetahui konstanta (k_{Th}) dan kapasitas adsorpsi (q_{Th}). Model Thomas yang digunakan dalam bentuk linier seperti pada persamaan 1.

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t}-1\right)=\left(K_{Th}q_{Th}\frac{m}{F}\right)-\left(K_{Th}C_0\right)t \qquad (1)$$

Konstanta dan kapasitas adsorpsi dari model thomas didapatkan dengan membentuk grafik antara ln((C0/Ct)-1) dengan t. Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa laju alir yang semakin rendah, maka semakin tinggi kapasitas adsorpsi. Hal tersebut karena laju alir yang semakin rendah, menyebabkan semakin lama waktu kontak antara Cr(VI) dan adsorben. Sehingga, adsorpsi akan semakin maksimal. Kapasitas dan konstanta model Thomas yang didapatkan dapat digunakan untuk kebutuhan industri seperti desain kolom adsorpsi yang akan datang dengan kondisi operasi yang sama dengan kondisi percobaan ini. Kapasitas adsorpsi yang diberikan oleh model Thomas sesuai dengan teori Thomas, yaitu kapasitas adsorpsi akan menurun dengan tingginya laju alir (Patel, 2019).

Model Yoon-Nelson

Asumsi yang digunakan pada model Yoon-Nelson adalah laju adsorpsi untuk setiap adsorbat sebanding dengan laju penurunan adsorpsi. Model ini memprediksi 50% waktu breakthrough. Model ini juga mampu mengetahui konstanta dan kapasitas adsorpsi. Model Yoon-Nelson yang digunakan dalam bentuk linier terdapat pada persamaan 2.

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0-C_t}\right)=\left(K_{YN}t\right)-\left(K_{YN}\tau\right) \qquad (2)$$

Konstanta model (K_{YN}) didapatkan dengan membentuk grafik antara $\ln(C_t/(C_0-C_t))$ dengan t. Sedangkan kapasitas adsorpsi model ini didapatkan seperti pada persamaan 3.

$$q_{YN}=\frac{\left(C_0Q\tau\right)}{1000m} \qquad (3)$$

Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa nilai konstanta Yoon Nelson (K_{YN}) dan waktu mencapai 50% breakthrough (τ) berbanding terbalik dengan laju alir, dimana semakin besar laju alir maka semakin kecil nilai konstanta. Dapat diketahui, bahwa rendahnya laju alir akan meningkatkan kapasitas adsorpsi (q_{YN}). Dikarenakan semakin rendah laju alir, maka semakin lama pula waktu kontak antara Cr(VI) dan adsorben. Hal ini sesuai dengan teori Yoon-Nelson, yaitu semakin tinggi laju alir maka semakin tinggi kapasitas dan semakin rendah waktu mencapai 50% breakthrough (Saadi, 2013).

Model Adam-Bohart

Model Adam-Bohart digunakan untuk menggambarkan hubungan antara waktu dan ketinggian pada kolom adsorpsi. Model ini dapat memprediksi hubungan linier antara tinggi adsorben dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai waktu breakthrough (Mekonnen et al. 2021). Model ini juga dapat menentukan konstanta Adam Bohart dan kapasitas adsorpsi. Konstanta dan kapasitas adsorpsi tersebut dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut dengan kondisi yang sama dengan kondisi pada penelitian ini. Model ini digunakan dalam bentuk linier seperti pada persamaan 4.

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right)=\left(K_{AB}C_0t\right)-\left(K_{AB}N_0\frac{z}{U_0}\right) \qquad (1)$$

Konstanta (K_{AB}) dan kapasitas adsorpsi (N_0) model ini didapatkan dengan membentuk grafik antara ln(Ct/C0) dengan t. Berdasarkan tabel 4, dapat diketahui bahwa nilai kapasitas adsorpsi dari permodelan Adam-Bohart sebanding dengan laju alir. Semakin tinggi laju alir, maka semakin tinggi pula kapasitas adsorpsi.

Perbandingan nilai regeresi linier (R^2) dari ketiga model tersebut dapat dilihat pada tabel 4. Pada tabel tersebut, diketahui model Yoon-Nelson dan Thomas memiliki nilai yang sama sedangkan pada model Adam-Bohart terdapat perbedaan yang cukup signifikan dimana pada seluruh laju alir memiliki nilai regeresi linier kurang dari 0,9. Sebagai contoh, pada laju alir 10 mL/menit, nilai R^2 untuk model Thomas adalah 0,9319, model Adam-Bohart adalah 0,8774, dan model Yoon-Nelson adalah 0,9319. Hal ini dikarenakan pada model Adam-Bohart sesuai digunakan untuk memprediksi kurva breakhrough pada awal terjadinya adsorpsi. Sehingga model yang lebih sesuai dengan kondisi adsorpsi pada penelitian ini adalah model Thomas dan Yoon-Nelson.

Tabel 4. Parameter dan Regresi Linear Masing - masing Model pada Berbagai Laju Alir

Laju Alir (mL/ menit)	Model Thomas			Model Yoon-Nelson			Model Adam-Bohart		
	K_{Th} (mL/min.mg)	q_{Th} (mg/g)	R^2	K_{YN} (min^{-1})	τ (min)	R^2	K_{AB} (L/min.mg)	N_0 (mg/g)	R^2
10	0,00037	2704	0,9319	0,0352	42,2358	0,9319	0,000214	5167,244	0,8774
15	0,00028	2370,26	0,9094	0,025	25,248	0,9034	0,000101	10368,87	0,7727
20	0,00027	1592,18	0,8305	0,0255	13,4549	0,8305	0,000093	12776,05	0,6607
25	0,0003	1026,95	0,7821	0,0286	7,041958	0,7821	0,000093	15141,08	0,5474

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Albadarin et al. pada tahun 2012 menggunakan model Thomas, *modified dose-response*, dan *bed depth-service time*. Perbedaan yang signifikan dengan penelitian ini adalah model yang digunakan dan adsorben yang digunakan. Hal tersebut karena salah satu model yaitu modified dose-response adalah pengembangan dari model Thomas sehingga dianggap tidak akan memiliki perbedaan hasil signifikan. Selain itu, adsorben yang digunakan dalam penelitian ini dari alam sehingga dapat membantu menyelesaikan masalah lingkungan.Terdapat pula perbedaan antara penelitian yang dilakukan oleh Saadi et al. pada tahun 2013 dengan penelitian ini, yaitu adsorben dan adsorbat yang digunakan. Hal tersebut karena adsorbat yang digunakan dalam penelitian ini dapat membantu menyelesaikan masalah lingkungan dan adsorben yang digunakan merupakan senyawa yang umum dijumpai dalam air kehidupan sekitar. Hal tersebut membuat penelitian ini memiliki urgensi yang cukup tinggi. Perbedaan penelitian ini dengan mistar et al. pada tahun 2017 adalah adsorben dan model matematis yang digunakan. Hal tersebut karena adsorben dalam penelitian ini merupakan senyawa yang umum ditemukan sehingga tingkat urgensi menjadi lebih tinggi. Penelitian mistar et al. tidak dapat mengetahui performa dinamis dari adsorpsi sehingga tidak mampu mengetahui beberapa parameter model matematis seperti kapasitas adsorpsi, konstanta, dan waktu 50% *breakthrough*.

KESIMPULAN

Laju alir 10 mL/menit memiliki nilai kapasitas terbaik yaitu 2704 mg/g berdasarkan pendekatan model Thomas dan Yoon-Nelson. Pendekatan matematis model Thomas dan Yoon-Nelson merupakan model yang sesuai berdasarkan nilai regresi linear (R2) yang cukup baik, yaitu 0,7821, 0,8305, 0,9034, 0,9319.

DAFTAR NOTASI

C_0 : Konsentrasi awal (ppm)
C_t : Konsentrasi akhir (ppm)
V_{eff} : volume effluent (mL)
q_{Th} : Kapasitas model Thomas (mg/g)
k_{Th} : Konstanta kinetik Thomas (L/mg.menit)
T : Waktu (menit)
k_{AB} : konstanta kinetik Adam-Bohart (L/mg.menit)
N_0 : kapasitas adsorpsi pada model Adam-Bohart (mg/L)
z : ketinggian bed (cm)
U_0/Q/F : laju alir (mL/menit)
K_{YN} : konstanta Yoon-Nelson (L/menit)
τ : waktu yang dibutuhkan untuk mencapai 50% breakthrough (menit)
q_{YN} : kapasitas adsorpsi pada model Yoon-: Nelson ($menit^{-1}$)
m : massa adsorben (gr)

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, T. E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., Rif'at, A. M., Putra, I. G., and Fitrializa, U. (2018). Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan, 13(1), 60-69.

Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2018). Kapasitas adsorpsi arang aktif cangkang Bintaro (Cerbera odollam) terhadap zat warna sintetis Reactive RED-120 dan Reactive BLUE-198. Alotrop jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia Alotrop , 2(2), 148-155.

Albadarin, A. B., Mangwandi, C., Ala'a, H., Walker, G. M., Allen, S. J., and Ahmad, M. N. (2012). *Modeling and fixed bed column adsorption of Cr (VI) onto orthophosphoric acid-activated lignin. Chinese Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 469-477.

BSN, 1995. SNI 06-3730-1995 : Arang Aktif Teknis. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional

Fenti, A., Chianese, S., Iovino, P., Musmarra, D. and Salvestrini, S., (2020). Cr (VI) sorption from aqueous solution: a review. Applied Sciences, 10(18), p.6477.

Gabelman, Alan. (2017). *Adsorption Basics* : Part 1. . *Chemical Engineering Progress*, 113(7), 48-53.

Guo, Xiaoli., Liu, Aiju., Niu, Xiaoyin., Jiang, Man., Ma, Yanfei., Liu, Xinpeng., Li, Menghong. (2020). *Adsorption Mechanism of Hexavalent Chromium on Biochar: Kinetic, Thermodynamic, and Characterization Studies. ACS Omega* 20205(42), 27323-27331.

Hossain, et al. (2012*). Removal of Copper from Water by Adsorption onto Banana Peel as Bioadsorbent*. GEOMATE Journal, 2(4), 227-234.

Khartikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N. M. (2004). *Adsorption Dynamics And Equilibrium Studies Of Zn (II) Onto Chitosan*. Indian J Chem. 116 (2): 119-127

Labied, R., Benturki, O., Eddine Hamitouche, A. Y., and Donnot, A. (2018). *Adsorption of hexavalent chromium by activated carbon obtained from a waste lignocellulosin material* (Ziziphus jujube cores): Kinetic, equilibrium, and thermodynamic study.

Adsorption Science & Technology, 36(3-4), 1066-1099.

Lopez-Cervantez, Jaime., Machado-Sanchez, Dalia I., Sanchez-Duarte, Reyna G., Murrietra-Correa, Ma A. (2018). *Study of a fixed-bed column in the adsorption of an azo dye from an aqueous medium using a chitosan– glutaraldehyde biosorbent. Adsorption Science & Technology*, 36(1–2) 215–232.

Marsh, H. and Reinoso, F.R., (2006). Activated carbon. Oxford : Elsevier of United Kingdom. 1st edition, pp.35

Masthura, M. and Putra, Z., (2018). Karakterisasi mikrostruktur karbon aktif tempurung kelapa dan kayu bakau. Elkawnie: Journal of Islamic Science and Technology, 4(1), pp.45-54.

Mekonnen, Derje Tadesse., Alemayehu, Esayas., Lennartz, Bernd. (2021). *Fixed-Bed Column Technique for the Removal of Phosphate from Water Using Leftover Coal*. Materials 2021, 14, 5466

Mistar, E.M., Sara, T. and Alfatah, T., (2017). Pengaruh Laju Alir Terhadap Kinetika Adsorpsi Methylene Blue dengan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Teraktivasi NaOH. Jurnal Serambi Engineering, 1(2).

Nurfitriyani, Ani, et al. 2012. Penentuan Efisiensi Penyisihan Kromium Heksavalen [Cr(VI)] DenganAdsorpsi Menggunakan Tempurung Kelapa Secara Kontinyu, 2012. Bandung : Itenas

Oglou, Ramadhan Chalil., Gokce, Yavus., Yagmur, Emine., Ghobadi, T. Gamze Ulusoy., Aktas, Zeki. (2021). *Highly stable Megalopolis lignite based N and S self-doped hierarchically porous activated carbons for high performance supercapacitors and ash content effects on performance*. *Journal of Energy Storage*, *46*, 103817

Patel, H., (2019). Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review. Applied Water Science, 9(3), pp.1-17.

Saadi, Z., Saadi, R. and Fazaeli, R., (2013). Fixed-bed adsorption dynamics of Pb (II) adsorption from aqueous solution using nanostructured γ-alumina. Journal of Nanostructure in Chemistry, 3(1), pp.1-8.

Sani, S., (2011). Pembuatan karbon aktif dari tanah gambut. Jurnal Teknik Kimia, 5(2), pp.400-406.

Suhartana, S. (2012). Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Arang Aktif dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Air Sumur di Desa Belor Kecamatan Ngaringan Kabupaten Grobogan. BERKALA FISIKA, 9(3), 151-156.

Supraptini, (2002). Pengaruh Limbah Industri Terhadap Lingkungan di Indonesia. Jakarta : Media Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, 12(2), pp. 10-16.

Syauqiah, I., Amalia, M. and Kartini, H.A., 2011. Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. Info-Teknik, 12(1), pp.11-20.

Takwanto, Anang., Mustain, Asalil., Sudarminto, H. P. (2017). Penurunan Kandungan Polutan Liadi Meggunakan Metode Kombinasi Elektrokoagulasi-Adsorpsi Karbon Aktif. Malang : Politeknik Negeri Malang Press. 1st edition, pp.21.

UNDP, I. (2013). Kajian Kelapa dengan Pendekatan Rantai Nilai dan Iklim Usaha di Kabupaten Sarmi. Papua*: ILO PCdP 2 UNDP*