

PENYISIHAN WARNA PADA LIMBAH CAIR SASIRANGAN DENGAN ADSORPSI ZEOLIT DALAM *FIXED-BED COLUMN*

Andy Mizwar

Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: andy.mizwar@gmail.com

Keywords: zeolit, fixed-bed column, sasirangan, warna

Abstract

A natural zeolite was used to investigate its adsorption capacity for the color from sasirangan textile wastewater in this experiment. This study aims to analyze the performance of zeolite bed height and flow rate arrangements at constant pH and temperature on the effectiveness of color removal in sasirangan wastewater, and to study the adsorption kinetics system that occurs in the process. In this study, color adsorption analyzed with a continuous flow of wastewater (flow rate of 20 ml/min, 40 ml/min, and 80 ml/min) into a 2.5 inch diameter column adsorption by zeolite 10 cm, 30 cm, and 60 cm high. Treated water sampling conducted every 10 minutes until the zeolite saturated. The results showed that the performance of the flow rate setting is inversely proportional to the effectiveness of color removal, and otherwise adsorbent bed height setting is directly proportional to the effectiveness of color removal in sasirangan wastewater. The highest percentage removal amounted to 48,30% at a flow rate of 20 ml/min and 30 cm bed height of zeolite, while the lowest is 7,02% at a flow rate 40 ml / min and 10 cm bed height of zeolite. In this study, Thomas Model was fitted to describe the pattern of color adsorption by zeolite with a maximum adsorption capacity of 18,758 mg/g.

Pendahuluan

Sasirangan adalah kain adat suku Banjar di Kalimantan Selatan yang dibuat dengan teknik tusuk jelujur. Sebagaimana industri tekstil lainnya, pembuatan kain sasirangan melibatkan proses pewarnaan dan pencelupan dengan menggunakan pewarna sintetik seperti naphtol, indigosol, reaktif dan indanthreen yang akan menghasilkan limbah cair berwarna pekat dalam jumlah yang cukup besar (Hardini dkk., 2009). Karena alasan estetika dan toksikologi, warna merupakan hal yang paling tidak diinginkan dari semua kontaminan yang terkandung dalam limbah cair industri tekstil, (O'Neill et al., 1999; Crini, 2006). Bahkan beberapa jenis pewarna diduga bersifat karsinogen dan membahayakan kesehatan manusia (Erdem et al., 2005; Babu et al., 2007; Hameed, 2009).

Berbagai proses pengolahan telah digunakan untuk menghilangkan warna pada limbah cair industri tekstil, seperti; proses koagulasi-flokulasi (Butt et al., 2005; Fang et al., 2010), membran tukar kation (Wu et al., 2008), degradasi elektrokimia (Fan et al., 2008), *advanced oxidative process* (Banerjee et al., 2007; Mahmoud et al., 2007; Fathima et al., 2008), *fenton-biological treatment* (Lodha and Chaudhari, 2007; García-Montaña et al., 2008), dan adsorpsi (Allen et al., 2004; Erdem et al., 2005; Hameed, 2009; Rafatullah et al., 2010). Namun sampai saat ini teknik adsorpsi dengan menggunakan berbagai macam adsorben masih merupakan metode yang paling menguntungkan karena efektifitas dan kapasitas adsorpsinya yang tinggi serta biaya operasionalnya yang rendah (Rafatullah et al., 2010; Syafalni et al., 2012).

Zeolit yang didefinisikan sebagai mineral alumino-silikat terhidrasi logam alkali dan alkali tanah (biasanya Na, K, Ca, dan Mg) dengan struktur fisik berpori mikro, sehingga memiliki kapasitas tukar kation dan porositas yang tinggi (Tsitsishvili, and Andronikashvili, 1992) merupakan salah satu jenis adsorben yang umum digunakan dalam pengolahan limbah cair dan dinilai sangat cocok untuk mengurangi zat organik dan warna (Alvares et al., 2001; Rathi and Puranik, 2002; Faki et al., 2008). Oleh karena itu, berbagai jenis zeolit alami maupun modifikasi telah banyak dikembangkan dan diterapkan sebagai adsorben secara luas (Rathi and Puranik, 2002; Crini, 2006; Faki et al., 2008).

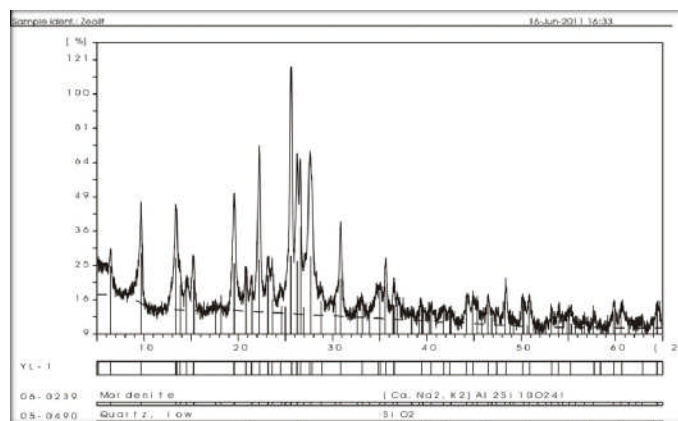
Pada penelitian sebelumnya, penggunaan zeolit dalam sistem *batch* terbukti dapat menyisihkan 32,91% konsentrasi warna pada air limbah sasirangan dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 7,63 mg/g dan pola adsorpsi mengikuti model Isoterm Langmuir (Mizwar, 2012). Namun data yang diperoleh dari sistem *batch* umumnya kurang cocok untuk langsung diterapkan pada desain dan pengoperasian instalasi pengolahan air limbah karena waktu kontak yang diterapkan tidak cukup memadai untuk mencapai kesetimbangan (Faki et al., 2008; Patel and Vashi, 2012). Sebaliknya sistem kolom adsorpsi telah banyak digunakan dalam proses pengolahan limbah cair dalam skala industri, seperti untuk menghilangkan ion dengan *ion-exchange bed* dan senyawa organik beracun dengan *fixed-bed* (Xu et al., 2009; Unuabonah et al., 2010). Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan percobaan adsorpsi warna pada limbah cair sasirangan dengan menggunakan zeolit dalam *fixed-bed column*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dari pengaturan tebal kolom zeolit dan laju aliran limbah cair pada kondisi pH dan suhu konstan terhadap efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan, serta mempelajari kinetika

sistem adsorpsi yang terjadi pada proses tersebut.

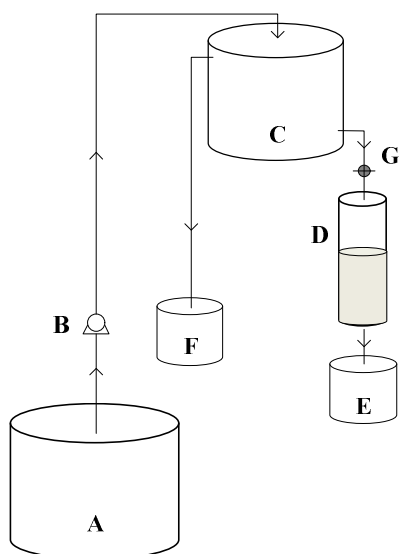
Bahan dan Metode

Sampel limbah cair sasirangan diambil di Kampung Sasirangan, Desa Seberang Masjid, Kecamatan Banjarmasin Tengah, Kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Hasil analisis sampel limbah cair tersebut menunjukkan konsentrasi warna 3200 PtCo/l, TSS 3382 mg/l, BOD5 277 mg/l, COD 536 mg/l, pH 12,38 dan suhu 26,9°C. Sedangkan adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alami jenis mordenit dengan nilai bulk density 0,9442 kg/l dan ukuran partikel 0,84 - 2,38 mm. Berdasarkan hasil uji XRD (*X-ray Diffraction*) diketahui rumus kimia zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah $(\text{CaNa}_2\text{K}_2)\text{Al}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24}$. Gambar 1 menunjukkan hasil uji XRD terhadap sampel zeolit yang digunakan pada penelitian ini.



Gambar 1. Hasil Uji XRD Sampel Zeolit

Pada penelitian ini, adsorpsi warna pada limbah cair sasirangan dianalisis dengan mengalirkan air limbah sasirangan secara kontinu ke dalam kolom adsorpsi yang terbuat dari pipa PVC berdiameter 2,5 inch dan tinggi 20, 40 dan 70 cm. Pengambilan sampel air olahan dilakukan setiap 10 menit sampai dengan zeolit jenuh. Gambar 2 menunjukkan skema alat penelitian.



Gambar 2. Skema Alat Penelitian

Keterangan :

A = Tangki sumber limbah cair (100 liter)

B = Pompa air (1,2 liter/menit)

C = Tangki suplai (20 liter)

D = Kolom adsorpsi (20, 40, 70 cm)

E = Tangki penampung (10 liter)

F = Tangki limpasan (10 liter)

G = Katup pengatur laju aliran

→ = Arah aliran air

Detail desain penelitian mengacu pada prosedur penelitian yang dilakukan oleh Faki et al., (2008) dan Patel and Vashi (2012) dengan beberapa penyesuaian, sebagaimana disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Detail Desain Penelitian

No	Pengaruh Sistem	Laju Aliran (ml/menit)	Konsentrasi Awal (PtCo/l)	pH	Tebal Adsorben (cm)
1	Pengaruh laju aliran	20, 40, 80	3200	12,38	30
2	Pengaruh tebal adsorben	40	3200	12,38	10, 30, 60

Kinerja kolom adsorpsi digambarkan dengan kurva *breakthrough*. Waktu *breakthrough* dan bentuk kurva *breakthrough* yang dihasilkan merupakan parameter untuk menentukan pola operasi dan respon dinamis dari kolom adsorpsi. Jumlah total konsentrasi warna yang terserap dalam kolom adsorpsi dan persentase penyisihan ditentukan dengan persamaan berikut (Zhang, et al., 2011) :

$$q_t = \frac{v \cdot C_0}{1000} \int_0^{t_{total}} \left(1 - \frac{C_t}{C_0} \right) dt$$

$$R = \frac{q_t}{\left(\frac{v \cdot C_0}{1000} \right)} \times 100$$

q_t (mg) adalah jumlah total konsentrasi warna yang terserap dalam kolom adsorpsi, R (%) adalah persentase penyisihan, v (ml/menit) adalah laju alir *influent*, C_0 (mg/l) adalah konsentrasi warna awal, C_t (mg/l) adalah konsentrasi warna pada waktu t (menit), dan t_{total} (menit) adalah total waktu operasi kolom adsorpsi yang nilainya setara dengan waktu jenuh.

Kinetika sistem adsorpsi yang terjadi pada *fixed-bed column* dianalisis dengan Model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam and Bohart. Model Thomas merupakan salah satu model teori kinerja kolom yang paling umum digunakan. Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah isoterm Langmuir, tidak ada dispersi aksial, dan adsorpsi kinetik orde dua (Zhang, et al., 2011). Bentuk linier persamaan Model Thomas adalah sebagai berikut:

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{k_{Th} q_{Th} m}{v} - \frac{k_{Th} C_0}{v} V_{eff} \quad (1)$$

k_{Th} (ml/mg/menit) adalah konstanta kinetik Thomas, q_{Th} (mg/g) adalah kapasitas adsorpsi pada model Thomas, m (g) adalah masa adsorben, dan V_{eff} (ml) adalah volume *effluent*. Konstanta kinetik Thomas (k_{Th}) dan kapasitas adsorpsi kolom (q_{Th}) dapat ditentukan dari plot $\ln(C_0/C_t - 1)$ terhadap t pada laju alir tertentu, masing-masing sebagai *slope* dan *intercept* (Sekhula et al., 2012).

Model Yoon-Nelson merupakan model yang relatif sederhana dengan

mengasumsikan bahwa tingkat penurunan pada penyerapan untuk setiap molekul adsorbat adalah sebanding dengan probabilitas penyerapan dan *breakthrough* adsorbat pada adsorben (Zhang, et al., 2011). Bentuk linier persamaan Model Yoon-Nelson adalah sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0 - C_t}\right) = k_{YN} \cdot t - \tau \cdot k_{YN}$$

k_{YN} (ml/menit) adalah konstanta kinetik Yoon-Nelson, τ (menit) adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai 50% *breakthrough* adsorbat, dan t (menit) adalah waktu pengambilan sampel. Plot nilai $\ln(C_t/(C_0 - C_t))$ terhadap t membentuk garis lurus dengan *slope* menunjukkan nilai k_{YN} dan *intercept* menunjukkan nilai $-\tau k_{YN}$. Berdasarkan nilai τ yang dihasilkan, maka kapasitas adsorpsi kolom pada model Yoon-Nelson (q_{YN} , mg/g) dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Patel and Vashi, 2012):

$$q_{YN} = \frac{q_{total}}{m} = \frac{C_0 v \tau}{1000m}$$

Model Adam and Bohart mengasumsikan laju adsorpsi sebanding dengan kapasitas sisa padat dan konsentrasi zat teradsorpsi. Model ini cocok untuk menggambarkan bagian awal dari kurva *breakthrough* (Hoces, et al., 2010). Bentuk linier persamaan Model Adam and Bohart adalah sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = k_{AB} N_0 \frac{Z}{F} - k_{AB} C_0 t$$

k_{AB} (ml/mg/menit) adalah konstanta kinetik Adam-Bohart, N_0 (mg/ml) adalah kapasitas adsorpsi maksimum volumetrik, Z (cm) adalah tebal adsorben, dan F (ml/menit) adalah laju alir. Konstanta kinetik (k_{AB}) dan kapasitas adsorpsi kolom (N_0) dapat ditentukan dari plot $\ln C_t/C_0$ terhadap t , masing-masing sebagai *slope* dan *intercept* (Sekhula et al., 2012). Berdasarkan nilai N_0 yang dihasilkan, maka kapasitas adsorpsi kolom pada model Adam and Bohart (q_{AB} , mg/g) dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Trgo et al., 2011):

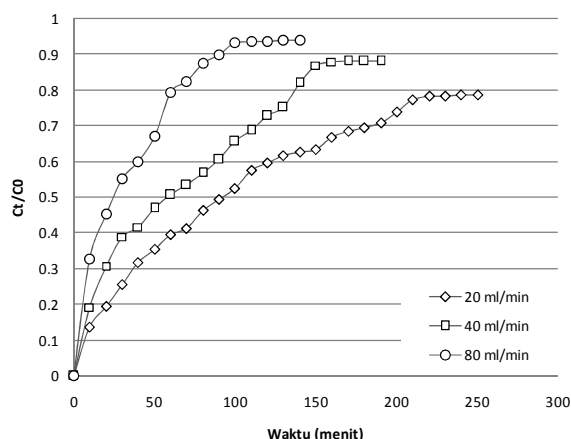
$$q_{AB} = \frac{N_0 V_{bed}}{m} = \frac{N_0}{\rho}$$

V_{bed} (ml) adalah volume adsorben, dan ρ (g/ml) adalah densitas adsorben.

Hasil Dan Pembahasan

Pengaruh Laju Aliran

Untuk mengetahui pengaruh laju aliran terhadap efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan dengan menggunakan zeolit dalam *fixed-bed column*, telah dilakukan percobaan adsorpsi pada tiga laju aliran yang berbeda, yaitu; 20, 40 dan 80 ml/menit pada tebal adsorben 30 cm, dengan konsentrasi awal zat warna pada limbah sasirangan sebesar 3200 PtCo/l, pH 12,38 dan suhu 26,9°C. Kurva *breakthrough* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3. *Breakthrough* paling cepat terjadi pada laju aliran 80 ml/menit dengan waktu *breakthrough* 10 menit dan waktu jenuh 100 menit yang menandakan bahwa proses adsorpsi berlangsung singkat. Sedangkan pada laju aliran 20 ml/menit *breakthrough* cenderung terjadi secara bertahap dengan waktu *breakthrough* 10 menit dan waktu jenuh 210 menit yang menandakan bahwa kolom sulit untuk benar-benar jenuh. Dari Gambar 3 juga dapat diketahui bahwa peningkatan laju aliran mengakibatkan penurunan efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan yang terlihat dari nilai persentase penyisihan (R) yang dihitung dengan persamaan (2), sebesar 48,30% pada laju aliran 20 ml/menit, 19,50% pada laju aliran 40 ml/menit dan 7,12% pada laju aliran 80 ml/menit.



Gambar 3. Kurva *Breakthrough* Pengaruh Laju Aliran Terhadap Efektifitas Penyisihan Warna pada Limbah Cair Sasirangan

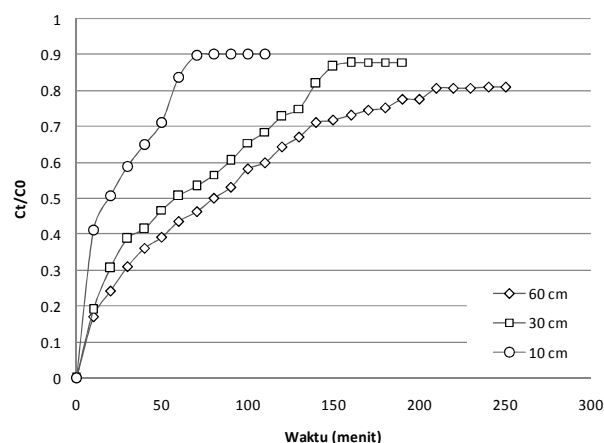
Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Faki et al., (2008), Ozdemir et al., (2009), Zhang et al., (2011) dan Patel and Vashi (2012) yang menunjukkan bahwa waktu kontak yang singkat antara adsorben dan adsorbat akibat peningkatan laju aliran akan mengakibatkan penurunan efektifitas penyisihan warna pada limbah cair. Selain itu, pada laju aliran yang lebih cepat, pergerakan zona adsorpsi disepanjang kolom terjadi lebih cepat dan mengakibatkan penurunan waktu penyerapan zat warna pada limbah cair oleh zeolit (Patel and Vashi, 2012).

Pengaruh Tebal Adsorben

Pengaruh tebal adsorben terhadap efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan dengan menggunakan zeolit dalam *fixed-bed column* dianalisis dengan mengalirkan limbah cair sasirangan sebanyak 40 ml/menit ke dalam kolom adsorpsi setebal 10, 30 dan 60 cm. Konsentrasi awal zat warna pada limbah sasirangan sebesar 3200 PtCo/l dengan pH 12,38 dan suhu 26,9°C. Gambar 4 menunjukkan kurva *breakthrough* pengaruh tebal adsorben yang dihasilkan.

Waktu *breakthrough* dan waktu jenuh masing-masing pada tebal adsorben 10 cm adalah 10 dan 70 menit, pada tebal adsorben 30 cm adalah 10 dan 150 menit,

dan pada tebal 60 cm selama 10 dan 210 menit. Dari Gambar 4 juga dapat diketahui bahwa peningkatan tebal adsorben mengakibatkan peningkatan efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan yang terlihat pada nilai persentase penyisihan (R) sebesar 7,02% pada tebal 10 cm, 19,50% pada tebal 30 cm dan 39,90% pada tebal 60 cm. Hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian Faki et al., (2008), Ozdemir et al., (2009), Zhang et al., (2011) dan Patel and Vashi (2012) yang menunjukkan bahwa waktu kontak antara adsorben dan adsorbat akan meningkat seiring dengan peningkatan tebal adsorben, sehingga meningkatkan efektifitas penyisihan warna pada limbah cair.



Gambar 4. Kurva *Breakthrough* Pengaruh Tebal Adsorben Terhadap Efektifitas Penyisihan Warna pada Limbah Cair Sasirangan

Efektifitas Penyisihan Warna

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektifitas penyisihan warna tertinggi (48,30%) terjadi pada tebal zeolit 30 cm dengan laju aliran 20 ml/menit, sedangkan yang terendah (7,02%) terjadi pada tebal zeolit 10 cm dengan laju aliran 40 ml/menit. Hal ini menandakan bahwa efektifitas penyisihan warna pada limbah cair industri sasirangan dengan adsorpsi zeolit pada penelitian ini masih tergolong rendah. Kondisi ini dimungkinkan karena tingginya kandungan bahan organik (BOD_5 277 mg/l dan COD 536 mg/l) serta

konsentrasi TSS (3382 mg/l) pada sampel limbah cair sasirangan yang menyebabkan terjadinya kompetisi penyerapan zat-zat adsorbat tersebut oleh zeolit, sebagaimana dijelaskan oleh Allen and Koumanova (2005) bahwa kapasitas adsorpsi terhadap zat warna akan berkurang dengan adanya kehadiran adsorbat lain dalam larutan yang diolah.

Kinetika Kolom Adsorpsi

Model Thomas

Konstanta kinetik (k_{Th}) dan kapasitas adsorpsi kolom (q_{Th}) model Thomas pada

berbagai kondisi percobaan adsorpsi warna limbah cair sasirangan dengan zeolit dalam *fixed-bed column* disajikan pada Tabel 2. Seperti terlihat pada Tabel 2, nilai k_{Th} meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran (v) dan penurunan tebal adsorben (h). Hal ini menunjukkan bahwa resistensi transportasi masa menurun karena adanya perbedaan konsentrasi warna pada zeolit dan larutan sebagaimana hasil penelitian Zhang et al., (2011) dan Patel and Vashi (2012). Kapasitas adsorpsi maksimum Model Thomas (q_{Th}) sebesar 18,758 mg/g pada $v = 40$ ml/menit dan $h = 30$ cm.

Tabel 2. Parameter Model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam and Bohart

h (cm)	v (ml/mnt)	Thomas			Yoon-Nelson					Adam-Bohart			
		k_{Th} (ml/mg/mnt)	q_{Th} (mg/g)	R^2	k_{YN} (ml/mnt)	$-tk_{YN}$ (ml)	τ (menit)	q_{YN} (mg/g)	R^2	k_{AB} (ml/mg/mnt)	N_0 (mg/ml)	q_{AB} (mg/g)	R^2
30	20	0.004	15.097	0.937	0.013	1.380	106.154	15.097	0.937	0.006	1.499	3.018	0.830
30	40	0.006	18.758	0.967	0.019	1.253	65.947	18.758	0.967	0.008	1.315	2.648	0.880
30	80	0.011	15.799	0.992	0.035	0.972	27.771	15.799	0.992	0.010	1.005	2.023	0.895
10	40	0.013	18.155	0.967	0.040	0.851	21.275	18.155	0.967	0.012	0.950	1.913	0.981
60	40	0.004	12.953	0.953	0.013	1.184	91.077	12.953	0.953	0.006	1.328	2.674	0.843

Dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari hasil percobaan lebih besar dari 0,90 menunjukkan bahwa difusi eksternal dan internal tidak mempengaruhi proses adsorpsi yang terjadi, sehingga Model Thomas cocok digunakan untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi. Dari sudut pandang mekanisme adsorpsi di tingkat molekuler, zat warna yang teradsorpsi ke zeolit melalui interaksi elektrostatis antara gugus karboksil anionik dan kationik molekul zat warna, sesuai dengan proses kimia adsorpsi monolayer (Zhang et al., 2011).

Model Yoon-Nelson

Model Yoon-Nelson secara matematis analog dengan Model Thomas (Zhang et al., 2011). Oleh karena itu, pemodelan data hasil percobaan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 dapat dikatakan cukup sesuai dengan nilai $R^2 > 0,90$. Analisis regresi linier digunakan

pada setiap set data untuk menentukan parameter model Yoon-Nelson, yaitu; k_{YN} (ml/mg/menit) dan τ (menit), yang hasilnya sebagaimana tertera pada Tabel 2. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai k_{YN} meningkat seiring dengan peningkatan laju aliran (v) dan penurunan tebal adsorben (h). Hal sebaliknya terjadi pada nilai τ yang meningkat seiring dengan penurunan laju alir (v) dan peningkatan tebal adsorben (h). Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa laju aliran yang lebih tinggi akan mengakibatkan pengurangan waktu untuk proses adsorpsi dan mempercepat tercapainya kesetimbangan adsorpsi (Zhang et al., 2011).

Model Adam and Bohart

Konstanta kinetik (k_{AB}) dan kapasitas adsorpsi kolom (q_{AB}) model Adam and Bohart pada berbagai kondisi percobaan adsorpsi warna limbah cair sasirangan dengan zeolit dalam *fixed-bed*

column dapat dilihat pada Tabel 2. Dengan nilai $R^2 < 0,90$, menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian model ini dengan data hasil penelitian tergolong rendah, sehingga hasil perhitungan nilai q_{AB} tidak cocok dengan data hasil penelitian dan model Adam and Bohart dianggap tidak tepat untuk menggambarkan kinetika kolom adsorpsi yang terjadi.

Kesimpulan Dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kinerja dari pengaturan laju aliran berbanding terbalik dengan efektifitas penyisihan warna, dan sebaliknya pengaturan tebal adsorben berbanding lurus dengan efektifitas penyisihan warna pada limbah cair sasirangan. Persentase penyisihan maksimum ($\%R_{max}$) yang diperoleh adalah sebesar 48,30% pada laju aliran 20 ml/menit dan tebal zeolit 30 cm. Pola adsorpsi warna oleh zeolit pada penelitian ini mengikuti model Thomas dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 18,758 mg/g.

Untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dan efektifitas penyerapan warna pada limbah cair industri sasirangan dengan zeolit dalam *fixed-bed column* perlu diperhatikan kondisi pH operasi dan konsentrasi zat pencemar lain yang ada dalam limbah cair industri sasirangan.

Daftar Pustaka

- Allen, S. J. and B. Koumanova. "Decolourisation of Water/Wastewater Using Adsorption." *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy* 40, no. 3 (2005): 175-192.
- Allen, S. J., Mckay, G., and Porter, J. F. "Adsorption Isotherm Models for Basic Dye Adsorption by Peat in Single and Binary Component Systems." *Journal of Colloid and Interface Science* 280, no. 2 (2004): 322-333.
- Alvares, A.B.C., C. Diaper, and S.A. Parsons. "Partial Oxidation of Hydrolysed and Unhydrolysed Textile Azo Dyes by Ozone and The Effect on Biodegradability." *Process Safety and Environmental Protection* 79, no. 2 (2001): 103-108.
- Babu, B. Ramesh., A.K. Parande, S. Raghu, and T. Prem Kumar. "Cotton Textile Processing: Waste Generation and Effluent Treatment." *Journal of Cotton Science* 11, no. 3 (2007): 141-153.
- Banerjee, P., S. DasGupta, and S. De. "Removal of Dye from Aqueous Solution Using a Combination of Advanced Oxidation Process and Nanofiltration." *Journal of Hazardous Materials* 140, no. 1-2 (2007): 95-103.
- Butt, M. T., Arif, F., Shafique, T., and Imtiaz, N. "Spectrophotometric Estimation of Colour in Textile Dyeing Wastewater." *Journal of the Chemical Society of Pakistan* 27, no. 6 (2005): 627-630.
- Crini, Gre'gorio. "Non-conventional Low-cost Adsorbents for Dye Removal: a Review." *Bioresources Technology* 97, no. 9 (2006): 1061-1085.
- Erdem, Emin., Gülay Çölgeçen, and Ramazan Donat. "The Removal of Textile Dyes by Diatomite Earth." *Journal of Colloid and Interface Science* 282, no. 2 (2005): 314-319.
- Faki, A., Turan, M., Ozdemir, O., and Turan, A. Z., "Analysis of Fixed-Bed Column Adsorption of Reactive Yellow 176 onto Surfactant-Modified Zeolite." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 47, (2008): 6999-7004.
- Fan, Li., Yanwei Zhou, Weishen Yang, Guohua Chen, and Fenglin Yang. "Electrochemical Degradation of Aqueous Solution of Amaranth Azo Dye on ACF Under Potentiostatic

- Model.” *Dyes and Pigments* 76, no. 2 (2008): 440–446.
- Fang, Run., Xiansu Cheng, and Xiaorong Xu. “Synthesis of Lignin-base Cationic Flocculant and Its Application in Removing Anionic Azo-dyes from Simulated Wastewater.” *Bioresource Technology* 101, no. 19 (2010): 7323–7329.
- Fathima, N. Nishtar., Rathinam Aravindhan, Jonnalagadda Raghava Rao, and Balachandran Unni Nair. “Dye House Wastewater Treatment Through Advanced Oxidation Process Using Cu-exchanged Y zeolite: A Heterogeneous Catalytic Approach.” *Chemosphere* 70, no. 6 (2008): 1146–1151.
- García-Montaño, Julia., Leonidas Pérez-Estrada, Isabel Oller, Manuel I. Maldonado, Francesc Torrades, and José Peral. “Pilot Plant Scale Reactive Dyes Degradation by Solar Photo-Fenton and Biological Processes.” *Journal of Photochemistry Photobiology A: Chemistry* 195, no. 2-3 (2008): 205–214.
- Hameed, Bassim H. “Spent tea leaves: A New Non-conventional and Low-cost Adsorbent for Removal of Basic Dye from Aqueous Solutions.” *Journal of Hazardous Materials* 161, no. 2-3 (2009): 753–759.
- Hardini, Rahmi., Ina Risnawati, Awin Fauzi, dan Noer Komari. “Pemanfaatan Rumpun Alang-Alang (*Imperata cylindrica*) sebagai Biosorben Cr (IV) pada Limbah Industri Sasirangan dengan Metode Teh Celup.” *Jurnal Sain dan Terapan Kimia* 3, no. 1 (2009): 57-72.
- Hoces, Mónica C., Gabriel B. García, Alicia R. Gálvez, and María Á. Martín-Lara. “Effect of The Acid Treatment of Olive Stone on The Biosorption of Lead in a Packed-bed Column.” *Industrial and Engineering Chemistry Research* 49, no. 24 (2010): 12587–12595.
- Lodha, Bharat., and Sanjeev Chaudhari. “Optimization of Fenton-biological Treatment Scheme for The Treatment of Aqueous Dye Solutions.” *Journal of Hazardous Materials* 148, no. 1-2 (2007): 459-466.
- Mahmoud, A. S., Brooks, M. S., and Abdel E. Ghaly. “Decolorization of Remazol Brilliant Blue Dye Effluent by Advanced Photo Oxidation Process (H₂O₂/UV system).” *American Journal of Applied Sciences* 4, no. 12 (2007): 1054-1062.
- Mizwar, Andy., “Penyisihan Warna pada Limbah Cair Industri Sasirangan dengan Adsorpsi Zeolit.” *Info Teknik* 15, no. 1 (2012); 11-16.
- O'Neill, Cliona., Freda R Hawkes, Dennis L Hawkes, Nidia D Lourenço, Helena M Pinheiro, and Wouter Delée. “Colour in Textile Effluents – Sources, Measurement, Discharge Consents and Simulation: a Review.” *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 74, no. 11 (1999): 1009–1018.
- Ozdemir, Ozgur., Mustafa Turan, Abdullah Z. Turan, Aysegul Faki, and Amet Baki Engin. “Feasibility Analysis of Colour Removal From Textile Dyeing Wastewater in a Fixed-Bed Column System by Surfactant-Modified Zeolite (SMZ).” *Journal of Hazardous Materials* 166, no. 2 (2009): 647-654.
- Patel, Himanshu., and R. T. Vashi. “Fixed-bed Column Adsorption of Acid Yellow 17 Dye onto Tamarind Seed Powder.” *The Canadian Journal of Chemical Engineering* 90 (2012): 180-185.
- Rafatullah, Mohd., Othman Sulaiman, Rokiah Hashim, and Anees Ahmad. “Adsorption of Methylene Blue on Low-cost Adsorbents: a Review.” *Journal of Hazardous Materials* 177 (2010): 70–80.

- Rathi, A. K. A., and Puranik, S. A., "Chemical Industry Wastewater Treatment Using Adsorption." *Journal of Scientific & Industrial Research* 61. (2002); 53-60.
- Sekhula, Mahlatse M., Jonathan O. Okonkwo, Caliphs M. Zvinowanda, Nana N. Agyei, and Abdul J. Chaudhary. "Fixed-bed Column Adsorption of Cu (II) onto Maize Tassel-PVA Beads." *Journal of Chemical Engineering Processes Technology* 3, no. 2 (2012): 131-135.
- Syafalni, S., Ismail Abustan, Irvan Dahlan, Chan Kok Wah, and Genius Umar. "Treatment of Dye Wastewater Using Granular Activated Carbon and Zeolite Filter." *Modern Applied Science* 6, no. 2 (2012): 37-51.
- Trgo, Marina., Nediljka Vukojević Medvidović, and Jelena Perić. "Application of Mathematical Empirical Models to Dynamic Removal of Lead on Natural Zeolite Clinoptilolite in a Fixed-bed Column". *Indian Journal of Chemical Technology* 18 (2011): 123-131.
- Tsitsishvili, G.V. , and Andronikashvili, T.G. *Natural Zeolites*, Redwood Press, Oxford (1992)
- Unuabonah, Emmanuel I., Bamidele I. Olu-Owolabi, Esther I. Fasuyi, and Kayode O. Adebawale. "Modeling of Fixed-bed Column Studies for the Adsorption of Cadmium onto Novel Polymer-clay Composite Adsorbent." *Journal of Hazardous Materials* 179, no. 1-3 (2010) 415-423.
- Wu, Jeng-Shiou., Chia-Hung Liu, Khim Hoong Chu, and Shing-Yi Suen. "Removal of Cationic Dye Methyl Violet 2B from Water by Cation Exchange Membranes." *Journal of Membrane Science* 309, no. 1-2 (2008): 239-245.
- Xu, Xing., Baoyu Gao, Wenyi Wang, Qinyan Yue, Yu Wang, and Shouqing Ni. "Adsorption of Phosphate from Aqueous Solutions onto Modified Wheat Residue: Characteristics, Kinetic and Column Studies." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 70, no. 1 (2009): 46-52.
- Zhang, Wenxuan., Lei Dong, Han Yan, Haijiang Li, Ziwen Jiang, Xiaowei Kan, Hu Yang, Aimin Li, and Rongshi Cheng. "Removal of Methylene Blue from Aqueous Solutions by Straw Based Adsorbent in a fixed-bed Column." *Chemical Engineering Journal* 173, no. 2 (2011): 429-436.