

Model adsorpsi pada larutan pewarna sintetik *direct* secara kontinyu: pengaruh konsentrasi zat warna

Lia Cundari^{*1}, Leonardo R. Ginting¹, Teddy Suryadinata¹, Luthfiyah A. Sayyidah¹, Althaf Taufiqurrahman¹, R. Rosalina²

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Inderalaya – Prabumulih KM. 32 Inderalaya, Ogan Ilir (OI), 30662, Indonesia

²Politeknik ATI Padang
Jl. Bungo Pasang Tabing Padang, Sumatra Barat, Indonesia, 25171
Email: liacundari@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Air limbah dari produksi kain Jumputan yang menggunakan pewarna sintetik berbahaya bagi lingkungan. Limbah cair tersebut dapat diolah dengan menggunakan karbon aktif berbahan baku biji pinang hias (*Cyrtostachys lakka*). Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan proses karbonisasi pada suhu 500°C, diaktifkan menggunakan larutan HCl 0,5 M, dan diperkecil ukurannya hingga 60 mesh. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal umpan terhadap waktu jenuh dan persen zat warna terserap, dan untuk menentukan performa kolom adsorpsi yang dioperasikan secara kontinyu berdasarkan analisa kurva *breakthrough* dari model kinetika adsorpsi. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam-Bohart. Penelitian dilakukan pada kolom adsorpsi *fixed-bed* terbuat dari pipa PVC dengan dimensi berupa tinggi 60 cm, diameter 5 cm, tinggi *bed* 15 cm. Limbah cair yang digunakan berupa larutan pewarna sintetik menggunakan pewarna *direct* dengan perbandingan antara pewarna, air, dan asam asetat adalah 16,2 gr: 20 l: 10 ml. Larutan pewarna ini diumpungkan dari bagian atas kolom dengan laju alir 10 ml/menit. Variasi pada penelitian ini adalah konsentrasi awal larutan pewarna yaitu 500, 1000, 1500, dan 2000 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin pekat konsentrasi awal limbah cair maka kolom akan lebih cepat jenuh tetapi zat warna yang berhasil diserap akan semakin banyak. Model kinetika Thomas dan Yoon-Nelson dapat memprediksi kurva *breakthrough* untuk semua variabel konsentrasi pewarna dengan nilai regresi 0,910-0,955 dan nilai error (SS) 0,009-0,297, sedangkan untuk model Adam-Bohart hanya dapat memprediksi kurva *breakthrough* untuk konsentrasi 2000 ppm.

Kata kunci : Kolom Adsorpsi, Konsentrasi Zat Warna, Kurva *Breakthrough*, Model Kinetika, Kontinyu

Abstract

Wastewater from the production of Jumputan fabrics that use synthetic dyes is harmful to the environment. The wastewater can be treated using activated carbon made from ornamental betel nuts (*Cyrtostachys lakka*). The activated carbon carbonized at a temperature of 500°C, activated using HCl solution 0.5 M, and reduced the size until 60 mesh. This study aims to determine the effect of initial dye concentration to the saturation time and percent of dye removal, and also to determine the performance of the adsorption column that is operated continuously based on the breakthrough curve analysis of the adsorption kinetics model. The model used in this study was the Thomas, Yoon-Nelson, and Adam-Bohart. The study was conducted on a fixed-bed adsorption column, PVC pipe-based, with dimensions of 60 cm high, 5 cm in diameter, 15 cm bed depth. The feed was a synthetic dye solution using direct dyes with a ratio between the dye, water, and acetic acid of 16.2 gr: 20 l: 10 ml. This dye solution was fed from the top of the column at a flowrate of 10 ml/min. The variation in this research was the initial concentration of the dye solution that was 500, 1000, 1500, and 2000 ppm. The results showed that the high initial concentration of liquid waste would be the faster of the saturation and high dye removal gained. The Thomas and Yoon-Nelson kinetic model predicted breakthrough curves for all of the dye concentration variables with a high regression value of 0.910-0.955 and an small error value (SS) of 0.009-0.297, whereas for the Adam-Bohart model only predicted breakthrough curves for a concentration of 2000 ppm.

Keywords: Adsorption Column, Initial Concentration, Breakthrough Curve, Kinetic Model, Continue

1. PENDAHULUAN

Pencemaran air adalah perubahan zat atau kandungan di dalam air baik itu air yang ada di sungai, danau, maupun air di lautan luas bahkan saat ini juga sudah terdapat pencemaran pada air tanah. Penyebab dari pencemaran air ini lebih banyak diakibatkan oleh ulah manusia. Adapun contoh limbah industri yaitu limbah kain jumputan. Industri kain jumputan biasanya merupakan industri skala rumah tangga yang tidak memiliki pengolahan limbah. Limbah kain jumputan mengandung zat warna senyawa organik dari jenis *procion*, *erionyl*, *auramin*, maupun *rodhamin*. Senyawa organik zat warna yang dialirkan ke perairan akan mengurangi kadar oksigen terlarut untuk organisme perairan karena oksigen tersebut justru digunakan sebagai pengoksidasi senyawa organik (Yuliasari, dkk., 2011).

Salah satu upaya untuk mengatasi limbah kain jumputan adalah dengan menggunakan metode adsorpsi. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan terjadi gaya tarik-menarik antar atom atau molekul yang menutupi permukaan tersebut (Rosydiana, dkk., 2015). Keunggulan dari metode adsorpsi adalah dalam pengolahannya tidak terbentuk lumpur dan relatif murah karena adsorben yang digunakan dapat diregenerasi kembali (Apecsiana, dkk., 2016). Pada proses adsorpsi terdapat istilah adsorbat dan adsorben, dimana adsorbat merupakan substansi yang diserap, sedangkan adsorben merupakan media penyerapnya (Cundari, dkk., 2016).

Pinang hias (*Cyrtostachys lakka*) dapat digunakan sebagai salah satu bahan untuk membuat karbon aktif karena memiliki kandungan karbohidrat 60,86% yang akan menjadi komponen utama pembentukan karbon aktif. Karbon aktif biji pinang hias diperoleh melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi dilakukan dengan temperatur tinggi di dalam *furnace*. Setelah dikarbonisasi, biji pinang hias diaktivasi menggunakan larutan asam. Komposisi terbesar dari karbon aktif biji pinang adalah carbon (C) sebesar 86,27% (Cundari, dkk., 2019).

Beberapa peneliti yang melakukan studi tentang adsorpsi antara lain Mistar, dkk. (2019) yang meneliti tentang adsorpsi merkuri (II) dengan karbon aktif berbahan baku *Bambusa vulgaris* var. *striata* dalam *fixed bed column*. Mekanisme proses adsorpsi melalui *fixed bed column* disesuaikan dengan model Thomas yang menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan tertinggi (q_0) yaitu pada konsentrasi awal merkuri 50 mg/l dan laju alir 20 ml/m dihasilkan sebesar 218,08 mg/g.

Lo, dkk. (2019) meneliti tentang adsorpsi Cu dalam kolom *fixed bed* dengan tiga konsentrasi limbah yang berbeda. Adsorben yang digunakan berupa karbon aktif, dan tiga variasi konsentrasi limbah Cu yaitu 1, 10, dan 100 mg/l,

digunakan sebagai adsorbat. Kecepatan limbah adalah 25 cm/menit. Proses berlangsung pada suhu 25°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kurva *breakthrough* lebih cepat mencapai titik jenuh pada konsentrasi limbah Cu 100 mg/l daripada konsentrasi limbah Cu 1 dan 10 mg/l. Hasil juga menunjukkan bahwa ketiga model tersebut yaitu model Adam-Bohart, model Thomas, dan model Yoon-Nelson cocok untuk deskripsi adsorpsi Cu.

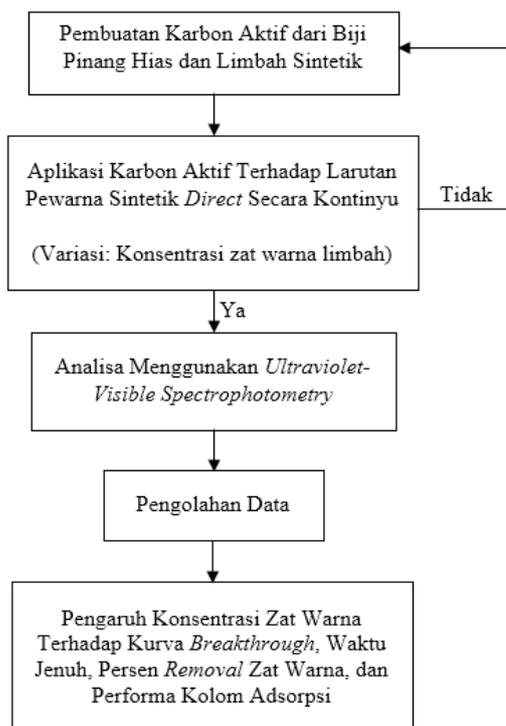
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal umpan berupa larutan pewarna sintetik terhadap waktu jenuh dan persen zat warna terserap, dan untuk menentukan performa kolom adsorpsi yang dioperasikan secara kontinyu berdasarkan analisa kurva *breakthrough* dari model kinetika adsorpsi Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam-Bohart.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah biji pinang, HCl 0,5 M, *aquadest*, pewarna *direct*, dan asam asetat (asam cuka yang dijual dipasaran). Alat yang digunakan adalah *furnace*, *oven* listrik, *grinder*, krus porselen, neraca analitis, mortar, *beaker glass*, gelas ukur, corong, desikator, pH meter, pompa, flowmeter, dan kolom adsorpsi kontinyu (*continuous fix-bed adsorber*).

Biji pinang hias yang telah dipisahkan dari daging dan kulitnya dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 500°C, kemudian diaktifkan dengan menggunakan HCl 0,5 M, dan diperkecil ukurannya hingga 60 mesh (Cundari, dkk., 2018). Larutan pewarna sintesis dibuat dengan teknik yang digunakan oleh pengrajin kain jumputan, menurut (Isiuku dan Jr, 2017), yaitu mencampurkan pewarna, air, dan asam cuka dengan perbandingan 16,2 gr: 20 l: 10 ml.

Penelitian dilakukan menggunakan kolom adsorpsi yang dibuat menggunakan pipa PVC dengan ketinggian 60 cm, diameter 5 cm, dan tinggi *bed* 15 cm. *Bed* berisi karbon aktif biji pinang hias. Larutan pewarna (*direct dye*) dengan konsentrasi bervariasi (500, 1000, 1500, dan 2000 ppm) dialirkan secara kontinyu dari bagian atas kolom adsorpsi dengan laju alir 10 ml/menit. Sampel diambil setiap interval 10 menit hingga karbon aktif jenuh, kemudian dianalisis menggunakan spektrofotometri UV-Vis untuk mendapatkan nilai absorbansi. Data hasil eksperimen kemudian diolah untuk menentukan model kinetika berdasarkan model Thomas, model Yoon-Nelson, dan model Adam-Bohart. Prosedur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian

Kurva Breakthrough

Performa kolom bisa dievaluasi melalui bentuk dari kurva *breakthrough* yang didapatkan melalui plot C_t/C_0 dengan t , dimana C_t dan C_0 adalah konsentrasi zat warna pada waktu t dan konsentrasi umpan dalam miligram per liter (ppm). Total berat zat warna yang diserap oleh adsorben di dalam kolom (q_{total}) dapat dihitung menggunakan persamaan (1) (López-Cervantes, dkk., 2017). Dimana Q adalah laju alir volumetrik (ml/min) dan t_{total} adalah waktu total (menit).

$$q_{total} = \frac{Q}{1000} \int_{t=0}^{t_{total}} C_{ad} dt \quad \dots(1)$$

Kapasitas serapan ($q_{e(exp)}$) dapat dihitung dengan persamaan (2), dimana X adalah berat adsorben yang digunakan di dalam kolom (g) (López-Cervantes dkk., 2017). Total adsorbat (W_{total}) yang dialirkan ke kolom dapat dihitung dengan persamaan (3) (López-Cervantes, dkk., 2017). Total penghilangan adsorbat (% *removal*) dapat dihitung dengan persamaan (4) (López-Cervantes, dkk., 2017).

$$q_{e(exp)} = \frac{q_{total}}{X} \quad \dots(2)$$

$$W_{total} = \frac{C_0 Q t_{total}}{1000} \quad \dots(3)$$

$$\% \text{ removal} = \frac{q_{total}}{W_{total}} \times 100 \quad \dots(4)$$

Model Kinetika Adsorpsi

Dalam adsorpsi sistem kontinyu, perhitungan kinetika adsorpsi sering disebut sebagai perhitungan performa kolom adsorpsi. Dalam perhitungan performa kolom, ada beberapa permodelan yang biasa digunakan yaitu Thomas, Yoon-Nelson, dan Adam-Bohart.

Model Thomas sering digunakan untuk menjelaskan tentang *fixed bed column* dan parameter dari sistem kolom. Model ini telah dijelaskan melalui hukum kedua dari kinetika reaksi tanpa *disperse axial*. Model Thomas dapat dilihat pada persamaan (5) (Xu, dkk., 2013).

$$\ln \left[\frac{C_0}{C_t} - 1 \right] = \frac{K_{th} q_0^m}{Q} - K_{th} C_0 t \dots(5)$$

Model Yoon-Nelson merupakan model yang mengasumsikan bahwa tingkat penurunan pada penyerapan untuk setiap molekul adsorbat adalah sebanding dengan probabilitas penyerapan dan *breakthrough* adsorbat pada adsorben. Model Yoon-Nelson dapat dilihat pada persamaan (6) (Mizwar, 2013).

$$\ln \left[\frac{C_t}{C_0 - C_t} \right] = K_{ynt} t - \tau k_{YN} \quad \dots(6)$$

Model Adam-Bohart dipilih berdasarkan penggambaran dari *fixed bed column* untuk bagian inisial dari operasi, model ini menyatakan bahwa reaksi tidak cepat seperti teori reaksi permukaan, seperti disajikan pada persamaan (7) (Xu, dkk., 2013).

$$\ln \left[\frac{C_t}{C_0} \right] = K_{AB} C_0 t - \frac{K_{AB} N_0 Z}{u_0} \quad \dots(7)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

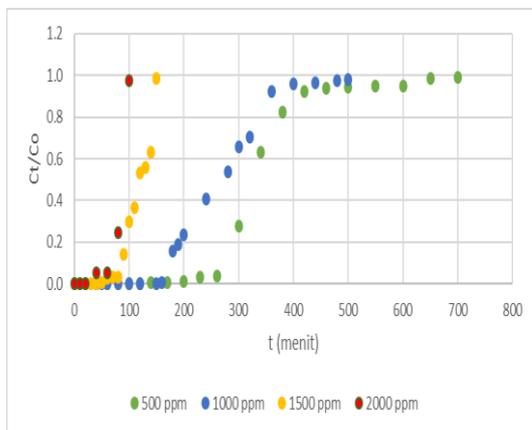
Pengaruh konsentrasi zat warna terhadap kurva breakthrough

Performa kolom adsorpsi dapat dilihat dari kurva *breakthrough* yang dihasilkan. Kurva *breakthrough* merupakan hubungan antara konsentrasi zat warna keluar dan konsentrasi zat warna umpan (C_t/C_0) versus waktu (t). Data eksperimental penyerapan zat warna *direct* menggunakan karbon aktif biji pinang hias disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan C_t/C_0 secara perlahan meningkat mendekati 1, untuk $0 < C_t/C_0 < 1$ itu menunjukkan keadaan transfer massa sedang berlangsung dan untuk $C_t/C_0 = 1$ menunjukkan bahwa adsorben sudah mengalami kejenuhan. Kejenuhan paling cepat terjadi pada konsentrasi zat warna 2000 ppm yaitu dengan waktu jenuh 100 menit dan kejenuhan paling lambat terjadi pada konsentrasi 500 ppm dengan

waktu jenuh 700 menit. Hal ini disebabkan karena beban adsorpsi pada adsorben untuk mengadsorpsi zat warna dengan konsentrasi 2000 ppm lebih besar dibandingkan 500 ppm. Konsentrasi zat warna yang tinggi menyebabkan pori-pori adsorben lebih cepat terisi sehingga akan mempercepat terjadinya *breakthrough* (López-Cervantes, dkk., 2017).

Sebagai perbandingan Lanjar, dkk. (2018) telah melakukan penelitian menggunakan karbon aktif berbasis limbah daun nanas untuk adsorpsi zat warna metil violet dengan konsentrasi awal limbah 10-700 mg/l, yang mana metil violet teradsorpsi cenderung mengalami peningkatan sebanding dengan meningkatnya konsentrasi awal limbah, hingga konsentrasi 500 mg/l terjadi kesetimbangan. Pada saat mencapai titik keseimbangan, permukaan adsorben telah penuh tertutupi oleh zat warna yang diserap dan adsorben mengalami titik jenuh sehingga adsorben tidak mampu menyerap zat warna lagi (Lasmana, dkk., 2016).



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi zat warna terhadap kurva *breakthrough*

Pengaruh konsentrasi zat warna terhadap parameter kolom adsorpsi

Parameter kolom adsorpsi merupakan salah satu tinjauan performa kolom adsorpsi. Adapun parameter yang ditinjau yaitu penyerapan zat warna (q_{total}), zat warna yang tertransfer ke kolom (W_{total}), *total removal*, dan kapasitas kolom maksimal (q_{exp}) (Lim dan Aris, 2014). Parameter eksperimental (Tabel 1) menunjukkan kapasitas kolom maksimal merupakan parameter terpenting untuk ditinjau. Hal tersebut dikarenakan kapasitas kolom maksimal menyatakan jumlah massa *solute* yang terikat pada sejumlah massa adsorben.

Hasil secara eksperimental menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada konsentrasi zat warna 1000 ppm sebesar 18,385 mg/g, sedangkan persentase penghilangan zat warna terbesar pada 2000 ppm yaitu 76,668%.

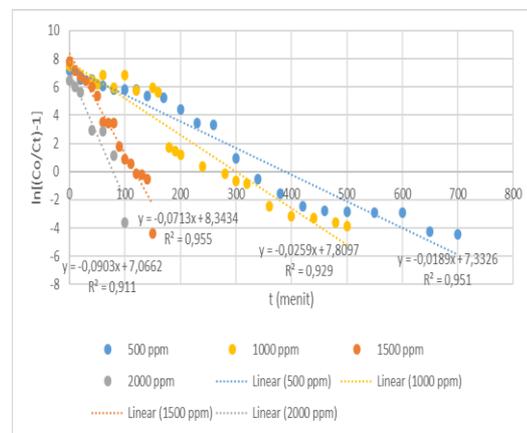
Sebagai perbandingan Irawati, dkk. (2018) telah melakukan penelitian menggunakan karbon aktif berbasis limbah kulit singkong untuk adsorpsi zat warna kristal violet dengan konsentrasi awal limbah sebanyak 100-1000 mg/l, yang mana

kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada konsentrasi 900 mg/l yaitu sebesar 151,01 mg/g, sedangkan persentase penghilangan zat warna terbesar pada 100 mg/l sebesar 96,68%.

Kannan dan Veemraj (2010) dan Kumar, dkk. (2012) menjelaskan bahwa hal ini terjadi karena gugus aktif dan luas permukaan adsorben tidak sebanding dengan jumlah ion kristal violet dalam limbah. Gugus aktif tidak tersedia untuk mengikat ion kristal violet pada konsentrasi limbah yang terlalu besar, sehingga masih banyak sisa ion kristal violet yang tidak terserap yang mengakibatkan penurunan efektivitas adsorpsi zat warna kristal violet oleh adsorben.

Model Kinetika Adsorpsi

Model Thomas



Gambar 3. Model kinetika Thomas untuk adsorpsi limbah sintetik dengan karbon aktif dari biji pinang hias

Gambar 3 menunjukkan model kinetika Thomas sebagai alat bantu untuk mengkaji adsorpsi limbah sintetik pada masing-masing konsentrasi zat warna dengan meninjau nilai koefisien determinasi (R^2) dari garis linear yang dibentuk dari kurva $\ln\left(\frac{C_t}{C_0} - 1\right)$ terhadap waktu.

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang terlihat pada gambar 3 yaitu 0,9109; 0,9554; 0,9287, dan 0,9511. Dengan meninjau literatur untuk model Thomas layak digunakan dengan hasil regresi $R^2 > 0,9$.

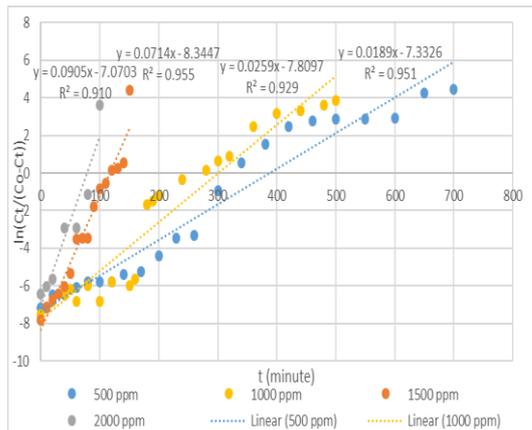
Sebagai perbandingan Cundari, dkk. (2019) telah melakukan penelitian untuk adsorpsi limbah pewarna sintetik menggunakan adsorben berukuran 60 mesh dimana dibuat dari ampas teh dengan nilai hasil regresi $R^2 > 0,9$ adalah 0,892; 0,944; 0,975; 0,974, dan 0,970, sehingga secara keseluruhan $R^2 > 0,9$.

Nikhila, dkk. (2016) telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi pewarna Rhodamin-B menggunakan adsorben yang terbuat dari campuran karbon aktif dan polianilin. Nilai determinasi (R^2) yang didapat pada model Thomas dengan variasi konsentrasi 25, 50, dan 75 mg/l berturut-turut

adalah 0,859; 0,932, dan 0,958, sehingga secara keseluruhan $R^2 > 0,9$.

Konstanta kinetika Thomas (k_{Th}) dan kapasitas adsorpsi kolom Thomas (q_0) model Thomas pada masing-masing laju alir terlihat pada Tabel 2 bahwa nilai k_{Th} meningkat dengan terjadinya peningkatan konsentrasi zat warna. Kapasitas adsorpsi maksimum model Thomas (q_0) sebesar 19,971 (mg/g) pada konsentrasi 1000 ppm.

Model Yoon-Nelson



Gambar 4. Model kinetika Yoon-Nelson untuk adsorpsi limbah sintetis dengan karbon aktif dari biji pinang hias

Gambar 4 menunjukkan model kinetika Yoon-Nelson sebagai alat bantu untuk mengkaji adsorpsi limbah sintetis pada masing-masing konsentrasi zat warna dengan meninjau nilai koefisien determinasi (R^2) dari garis linear yang dibentuk dari kurva $\ln\left(\frac{C_0}{C_0 - C_t}\right)$ terhadap waktu.

Nilai koefisien determinasi (R^2) yang relatif sama dengan nilai koefisien determinasi (R^2) pada model Yoon-Nelson, serta nilai intercept dan slope yang analog. Koefisien determinasi (R^2) yang terlihat pada gambar 4 yaitu 0,910; 0,955; 0,929; dan 0,951 dengan meninjau literatur untuk model Yoon-Nelson layak digunakan dengan regresi $R^2 > 0,9$.

Sebagai perbandingan Nikhila, dkk. (2016) telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi pewarna Rhodamin-B menggunakan adsorben yang terbuat dari campuran karbon aktif dan polianilin juga menghasilkan nilai determinasi (R^2) $> 0,9$.

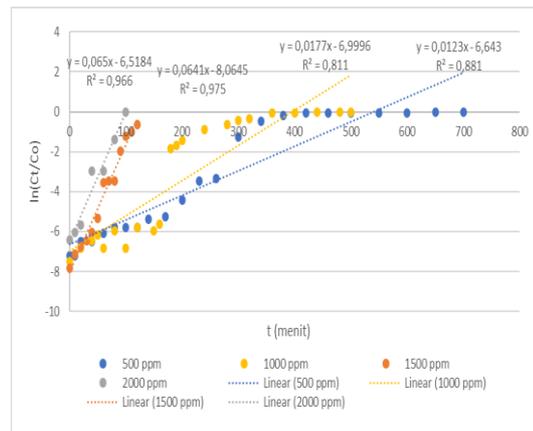
Parameter model Yoon-Nelson pada tabel 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi maka semakin cepat waktu paruh (τ) tercapai, hal ini disebabkan oleh konstanta laju adsorpsi Yoon-Nelson yang semakin tinggi.

Model Adam-Bohart

Model Adam-Bohart mengasumsikan laju adsorpsi sebanding dengan kapasitas sisa padat dan konsentrasi zat teradsorpsi. Permodelan ini dapat

digunakan untuk menghitung nilai kapasitas adsorpsi (N_0) dan konstanta kinetika Adam-Bohart. Model Adam-Bohart dipilih untuk menggambarkan kurva *breakthrough* pada keadaan awal operasi. Pada model Adam-Bohart reaksi tidak dengan segera terjadi seperti teori reaksi permukaan (Lim dan Aris, 2014).

Gambar 5 menunjukkan koefisien regresi (R^2) yang bervariasi. Untuk konsentrasi 1500 dan 2000 ppm memiliki nilai $R^2 > 0,9$, sedangkan pada konsentrasi 500 dan 1000 ppm memiliki nilai $R^2 < 0,9$, hal ini menyatakan bahwa model Adam-Bohart hanya dapat memprediksi kurva di area linear. Nilai prediksi yang didapat dari model Adam-Bohart menunjukkan penurunan nilai konstanta kinetika Adam-Bohart (k_{AB}) paling tinggi pada 1500 ppm yaitu 0,0000427 l/mg min dan kapasitas adsorpsi (N_0) paling tinggi pada 1000 ppm yaitu 8274,504 mg/l. Dengan meninjau literatur untuk model Adam-Bohart layak digunakan dengan hasil regresi $R^2 > 0,9$.

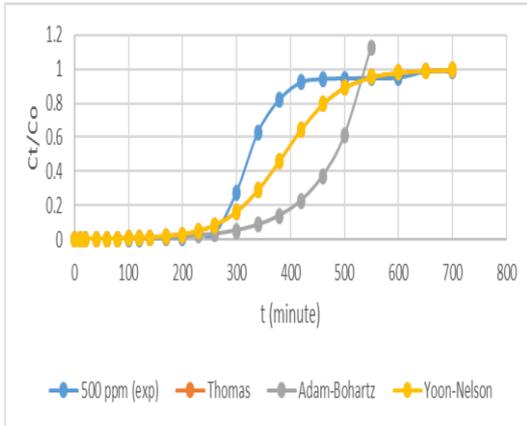


Gambar 5. Model kinetika Adam-Bohart untuk adsorpsi limbah sintetis dengan karbon aktif dari biji pinang hias

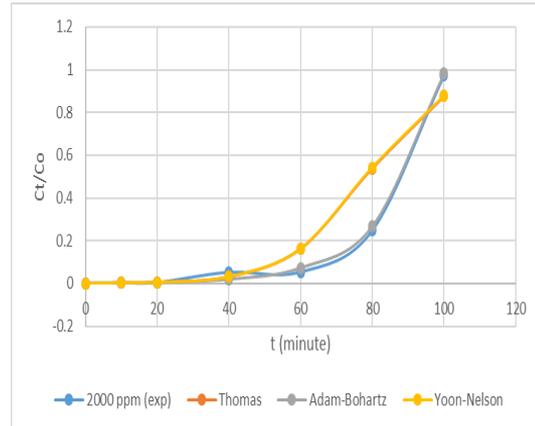
Nilai $R^2 < 0,9$ pada konsentrasi 500 dan 1000 ppm menunjukkan data parameter pada Tabel 4 untuk variabel tersebut tidak layak digunakan sebagai pembanding. Data parameter pada Tabel 4 menunjukkan semakin besar konsentrasi maka semakin besar kapasitas adsorpsi (N_0) dengan nilai laju adsorpsi Adam-Bohart (k_{AB}) semakin kecil.

Prediksi Kurva Breakthrough Menggunakan Model Kinetika Adsorpsi

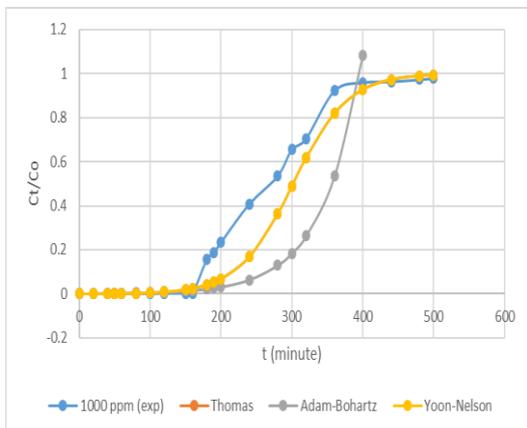
Pada percobaan ini, untuk model kinetika Thomas dan Yoon-Nelson dapat dengan baik memprediksi kurva *breakthrough* untuk seluruh variabel konsentrasi zat warna dengan nilai R^2 yang tinggi yaitu 0,910-0,955 dan nilai SS yang kecil yaitu 0,009-0,297, seperti disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 6-9. Untuk model Adam-Bohart hanya dapat memprediksi kurva *breakthrough* pada konsentrasi 2000 ppm.



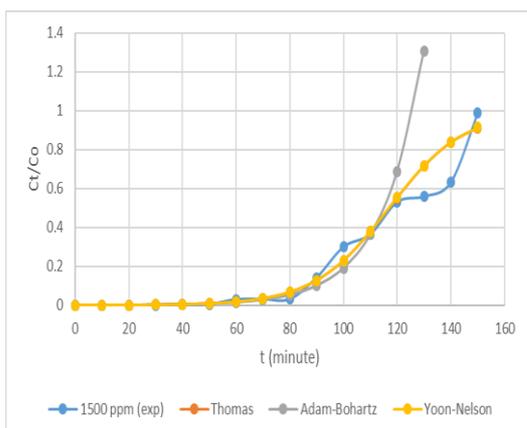
Gambar 6. Prediksi kurva *breakthrough* menggunakan model Thomas, model Yoon-Nelson, dan model Adam-Bohart pada konsentrasi zat warna 500 ppm



Gambar 9. Prediksi kurva *breakthrough* menggunakan model Thomas, model Yoon-Nelson, dan model Adam-Bohart pada konsentrasi zat warna 2000 ppm



Gambar 7. Prediksi kurva *breakthrough* menggunakan model Thomas, model Yoon-Nelson, dan model Adam-Bohart pada konsentrasi zat warna 1000 ppm



Gambar 8. Prediksi kurva *breakthrough* menggunakan model Thomas, model Yoon-Nelson, dan model Adam-Bohart pada konsentrasi zat warna 1500 ppm

Setelah melihat permodelan yang sesuai dengan eksperimen, maka selanjutnya memilih permodelan berdasarkan kebutuhan yang ada. Setiap permodelan memiliki kelebihan masing-masing. Apabila ingin menentukan nilai kapasitas maksimum kolom, maka model Thomas cocok digunakan. Model Yoon-Nelson digunakan apabila ingin mencari waktu untuk 50% *breakthrough* dan model Adam-Bohart bertujuan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi.

4. KESIMPULAN

Peningkatan konsentrasi zat warna akan mempercepat waktu *breakthrough* sehingga tingkat kejenuhan lebih cepat terjadi. Titik jenuh (*saturation point*) paling lama didapat pada konsentrasi 500 ppm dengan waktu jenuh 700 menit. Hasil secara eksperimental menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi terbesar terjadi pada konsentrasi zat warna 1000 ppm sebesar 18,385 mg/g, sedangkan persentase penghilangan zat warna terbesar pada 2000 ppm yaitu 76,668%.

Pada penelitian ini, untuk model kinetika Thomas dan Yoon-Nelson dapat dengan baik memprediksi kurva *breakthrough* untuk seluruh variabel konsentrasi zat warna dengan nilai regresi tinggi sebesar 0,910-0,955 dan nilai error (SS) 0,009-0,297. Untuk model Adam-Bohart hanya dapat memprediksi kurva *breakthrough* pada konsentrasi 2000 ppm.

Tabel 1. Parameter Secara Eksperimental pada Variasi Konstrasi Zat Warna

Konstrasi Zat Warna (ppm)	q _{total} (mg)	W _{total} (mg)	Total Removal (%)	q _{exp} (mg/g)
500	1754,935	3587,011	48,925	11,699
1000	2757,750	4967,323	55,518	18,385
1500	1462,549	2250	65,002	9,750
2000	1697,150	2213,632	76,668	11,314

Tabel 2. Parameter Model Thomas

Konstrasi Zat Warna (ppm)	C ₀ (mg/l)	Q (ml/min)	k _{Th} (ml/min mg)	q ₀ (mg/g)	R ²
500	512,430	10	3,688 x 10 ⁻⁵	13,253	0,951
1000	993,460	10	2,607 x 10 ⁻⁵	19,971	0,929
1500	1500	10	4,753 x 10 ⁻⁵	11,702	0,955
2000	2213,632	10	4,079 x 10 ⁻⁵	11,548	0,911

Tabel 3. Parameter Model Yoon-Nelson

Konstrasi Zat Warna (ppm)	C ₀ (mg/l)	Q (ml/min)	k _{YN} (min ⁻¹)	τ (min)	R ²	q ₀ (mg/g)
500	512,430	10	0,0189	387,968	0,951	13,256
1000	993,460	10	0,0259	301,533	0,926	19,971
1500	1500	10	0,0714	116,873	0,955	11,687
2000	2213,632	10	0,0905	78,125	0,910	11,529

Tabel 4. Parameter Model Adam-Bohart

Konstrasi Zat Warna (ppm)	C ₀ (mg/l)	Q (ml/min)	k _{AB} (l/mg min)	N ₀ (mg/l)	R ²	q ₀ (mg/g)
500	512,430	10	0,0000240	5828,885	0,881	18,450
1000	993,460	10	0,0000178	8274,504	0,811	26,191
1500	1500	10	0,0000427	3974,681	0,975	12,581
2000	2213,632	10	0,0000291	4711,707	0,966	14,914

Tabel 5. Perbandingan Model Thomas, Yoon Nelson, dan Adam Bohart Berdasarkan Regresi Dan Error Analisis

Tinggi Bed (cm)	Laju Alir (ml/menit)	Konstrasi Zat Warna (ppm)	Thomas		Yoon-Nelson		Adam-Bohart	
			R ²	SS	R ²	SS	R ²	SS
15	10	500	0,951	0,016	0,951	0,016	0,881	2,144
		1000	0,929	0,009	0,926	0,009	0,811	1,984
		1500	0,955	0,182	0,955	0,297	0,975	18,136
		2000	0,911	0,015	0,910	0,124	0,966	0,002

DAFTAR PUSTAKA

- Apecsiana, Febe, Hans Kristianto, dan Arenst Andreas, 2016. Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"* Yogyakarta: Program Studi Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta, 7.
- Cundari, L, B D Afrah, D I Utami, dan N I Matondang, 2019. Adsorption Model in Removal of Direct Synthetic Dyes in Aqueous Solution onto Tea Waste. *Journal of Physics: Conference Series* 1167(1): 1–8.
- Cundari, L, K F Sari, dan L Anggraini, 2018. Characteristic of Betel Nuts Activated Carbon and Its Application to Jumputan Wastewater Treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Materials Science and Engineering, Pekanbaru-Riau, Indonesia: IOP Publishing, 1-8 012041*.
- Cundari, Lia, M Fersyando Melsi, dan Caesar Fiat, 2016. Pengaruh Waktu Sampling dan Ukuran Partikel Adsorben terhadap Adsorpsi Kontinyu Limbah Kain Jumputan. *Jurnal Teknik Kimia* 22(4): 19–26.
- Irawati, Heni, Nurul Hidayat Aprilita, dan Eko Sugiharto, 2018. Adsorpsi Zat Warna Kristal Violet Menggunakan Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta). *Journal of Mathematics and Natural Sciences* 25(1): 17–31.
- Isiuku, B O, dan M Horsfall Jr., 2017. Packed-Bed Column Adsorption of Metanil Yellow (MY) from Simulated Wastewater Using Granular NaOH-Activated Carbon from Cassava (Manihot Esculenta) Peels. *World News of Natural Sciences* 14: 11–35.
- Kannan, Narayanasami, dan T. Veemaraj, 2010. Batch Adsorption Dynamics and Equilibrium Studies for The Removal of Cd(II) Ions from Aqueous Solution Using Jack Fruit Seed and Commercial Activated Carbons. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 9(2): 327–36.
- Kumar, Ponnusamy Senthil, Subramaniam Ramalingam, Vasanthakumar Sathyaselvabala, Selvaraj Dinesh Kirupha, Arukkani Murugesan, dan Subramanian Sivanesan, 2012. Removal of Cadmium(II) from Aqueous Solution by Agricultural Waste Cashew Nut Shell. *Korean Journal of Chemical Engineering* 29(6): 756–68.
- Lanjar, Lanjar, Fatma Indah Riayanti, dan Widi Astuti, 2018. Keseimbangan Adsorpsi Zat Warna Methyl Violet Oleh Karbon Aktif Berbasis Limbah Daun Nanas (Ananas comosus L). *METANA* 14(2): 31–36.
- Lasmana, Andrik, Akmal Mukhtar, dan Emrizal Mahidin Tamboesai, 2016. Adsorpsi Zat Warna Congo Red menggunakan Zeolit Alam Teraktivasi. *Repository University of Riau*: 1–7.
- Lim, Ai Phing, dan Ahmad Zaharin Aris, 2014. Continuous Fixed-Bed Column Study and Adsorption Modeling: Removal of Cadmium (II) and Lead (II) Ions in Aqueous Solution by Dead Calcareous Skeletons. *Biochemical Engineering Journal* 87: 50–61.
- Lo, Huang-Mu, Kae-Long Lin, Min-Hsin Liu, Hsung-Ying Chiu, Fang-Cheng Lo, K-C Chang, dan J-H Chang, 2019. Cu Adsorption in Fixed Bed Column with Three Different Influent Concentration. *Web of Conferences 120, 03003 (2019)*, eds. K.-C. Chang and J.-H. Chang. E3S Web of Conferences, 1–5.
- López-Cervantes, Jaime, Dalia I Sánchez-Machado, Reyna G Sánchez-Duarte, dan Ma A Correa-Murrieta, 2017. 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* 0(0): 1–18.
- Mistar, Eka Marya, Ida Hasmita, Tata Alfatah, Abrar Muslim, dan Muhammad Dani Supardan, 2019. Adsorption of Mercury(II) Using Activated Produced from Bambusa Vulgaris Var. Striata in a Fixed Bed Column. *Sains Malaysiana* 48(4): 719–25.
- Mizwar, Andy, 2013. Penyisihan Warna pada Limbah Cair Sasirangan dengan Adsorpsi Zeolit dalam Fixed-Bed Column. *Environmental Science* 9: 1–9.
- Nikhila, Gopal, Asaithambi M, Sivakumar P, dan Sivakumar V., 2016. Continuous Fixed Bed Adsorption Studies of Rhodamine-B Dye Using Polymer Bound Adsorbent. *Indian Journal of Chemical Technology* 23: 53–58.
- Rosydiena, Wahyunanto Agung Nugroho, dan Evi Kurniati, 2015. Rancang Bangun Kinerja Alat Adsorpsi Limbah Cair Pewarnaan Industri Batik Tulis Sidoarjo. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem* 3(3): 356–63.
- Xu, Zhe, Jian-guo Cai, dan Bing-cai Pan, 2013. Mathematically Modeling Fixed-Bed Adsorption in Aqueous Systems. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A* 14(3): 155–76.
- Yuliasari, Nova, Miksusanti, dan Setiyowati Endang, 2011. Penurunan Kebutuhan Oksigen Kimiawi Limbah Jumputan Menggunakan Lumut Hati. *Jurnal Penelitian Sains* 14(1c): 14107-29-14107–32.