

PENENTUAN MODEL KINETIKA DINAMIS PADA ADSORPSI LIMBAH CAIR ZAT WARNA *REMAZOL YELLOW FG* ARTIFISIAL MENGGUNAKAN KOMPOSIT KARBON AKTIF-KITOSAN**Galuh Arya Ramdani¹⁾, Zainal Arifin^{2,*}, dan Muhammad Kasim³⁾**^{1), 2)} Program Studi Petro dan Oleo Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia³⁾ Program Studi Keuangan dan Perbankan, Jurusan Akuntansi, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

*) Email : iffien_solo@yahoo.com

(Received : 30-01-2021; Revised: 05-03-2021; Accepted: 13-03-2021)

Abstrak

Limbah tekstil yang mengandung zat warna sintetik seperti Direct Black 38, *Remazol Yellow FG*, dan Reactive Red 2 dalam konsentrasi yang tinggi, berpotensi sebagai sumber pencemar utama yang dapat menurunkan kualitas dan ekosistem perairan karena sifatnya yang sulit terdegradasi. Salah satu upaya untuk menurunkan konsentrasi zat warna tersebut, dapat dilakukan dengan metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben yang dapat mengadsorpsi secara fisika maupun kimia seperti komposit karbon aktif-kitosan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kapasitas adsorpsi komposit karbon aktif-kitosan pada limbah cair zat warna *Remazol Yellow FG* artifisial pada sistem kontinyu kolom tetap. Komposit dibuat dengan menambahkan 1:1 karbon aktif ke dalam larutan kitosan kemudian ditetaskan dalam campuran larutan NaOH 15%-Etanol 96% dengan perbandingan 4:1 sebagai koagulan. Komposit kemudian digunakan untuk mengadsorpsi limbah cair sehingga diketahui kapasitas adsorpsinya. Sampel yang didapat kemudian dianalisa dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 417 nm. Hasil penelitian menunjukkan titik optimum operasi terjadi pada laju alir 8 mL/min. Kapasitas adsorpsi terbaik yaitu pada Model Thomas dan Yoon-Nelson dengan nilai sebesar 1.21781 mg/g.

Kata kunci: adsorpsi, karbon aktif, kitosan, kontinyu, *Remazol Yellow FG***Abstract**

Dye waste that contains synthetic dyes like Direct Black 38, Remazol Yellow FG, and Reactive Red 2 in high concentration, is the main source of water pollution which can decrease the quality and ecosystem of water due to its difficult degradation properties. Physical and chemical adsorption method using adsorbent like activated carbon-chitosan composites can be carried out to decrease the concentration of dye waste. The purpose of this research is to find out the adsorption capacity of activated carbon-chitosan composites on Remazol Yellow FG dye waste using fixed bed column continuous system. The composites were made by adding 1:1 of the activated carbon into chitosan solution and then dropping it into the 15% NaOH-96% Ethanol in 4:1 v/v as the coagulant. Then, composites were used to adsorb the dye waste in order to find out the adsorption capacity. Next, samples were analyzed using UV-Vis Spectrophotometer. The results showed the optimum point was on 8 mL/min flow rate. The best adsorption capacity of 1.21781 mg/g was obtained in Thomas and Yoon-Nelson's Models.

Keywords: adsorption, activated carbon, chitosan, continuous, *Remazol Yellow FG*

PENDAHULUAN

Seiring besarnya kebutuhan pokok manusia akan pakaian, industri tekstil tumbuh dan berkembang di seluruh tempat di dunia tak terkecuali di Kalimantan Timur. Pada Triwulan III tahun 2016, industri tekstil di Kaltim mengalami peningkatan sebesar 6,75% (BPS Kaltim, 2016). Namun selayaknya industri lainnya, industri tekstil pun menghasilkan limbah yang sebagian besar merupakan zat warna dari proses pewarnaannya. Berdasarkan wawancara dengan Hainah dkk. (2017) yang merupakan pengrajin sarung tenun di Samarinda, dari 200 pengrajin sarung tenun dihasilkan 1.200.000 L/tahun limbah cair yang sebagian besar adalah zat warna. Selama ini, limbah tekstil yang mengandung zat warna tersebut terutama zat warna sintetik seperti *Direct Black 38*, *Remazol Yellow FG*, dan *Reactive Red 2* langsung dibuang ke lingkungan atau sebagian kecil hanya diolah sekedarnya saja. Padahal zat warna tersebut merupakan sumber pencemar utama yang dapat menurunkan kualitas dan ekosistem perairan (pH, beracun, dsb) karena sifatnya yang sulit terdegradasi.

Menurut Djufri (1973), zat pewarna sintetik (khususnya *Remazol Yellow FG*) merupakan zat warna reaktif yang biasa terkandung dengan konsentrasi tinggi dalam limbah cair tekstil. Limbah yang dihasilkan memiliki konsentrasi warna yang tinggi yaitu 846 Pt.Co atau 53,70 ppm (Nursiam, 2015 dalam Husain, 2017), dimana warna dari limbah tekstil berdasarkan skala Pt.Co berkisar antara 50-2500 Pt.Co (Yulianto, 2015 dalam Husain, 2017). Untuk menurunkan konsentrasi zat warna tersebut, dapat dilakukan dengan metode adsorpsi khususnya adsorpsi secara kontinyu dengan menggunakan adsorben yang mudah didapat (karbon aktif-kitosan) sehingga lebih tepat diaplikasikan pada industri. Penurunan konsentrasi zat warna sintetik tersebut akan sangat menguntungkan bagi industri maupun lingkungan. Penggunaan masif dari zat warna sintetik pada akhirnya tidak akan berpengaruh besar terhadap lingkungan karena adanya metode pengolahan limbah yang dapat menurunkan konsentrasi zat warna sehingga aman jika dibuang ke lingkungan.

Adsorpsi pada limbah tekstil dengan sistem kontinyu kolom tetap telah dilakukan oleh Salman dkk. (2014). Pada penelitian Salman dkk. (2014) digunakan adsorben karbon aktif granular dengan sistem proses dijalankan secara kontinyu untuk menyerap zat warna *Remazol Yellow FG*. Dengan variabel tetap berupa diameter kolom sebesar 1,25 cm serta memvariasikan konsentrasi adsorbat, laju alir masuk dan tinggi bed, hasil terbaik yang didapat adalah pada konsentrasi adsorbat 10 mg/L, laju alir 21,67 mL/menit, dan tinggi bed 10 cm menunjukkan kapasitas adsorpsi tertinggi dengan nilai sebesar 3,772 mg/g dan $R^2 = 0,96$ serta secara matematis kurva *breakthrough* yang terbentuk paling sesuai dengan model adsorpsi dinamis Yoon-Nelson. Penelitian tentang adsorpsi pada limbah tekstil dengan sistem kontinyu kolom tetap juga dilakukan oleh Chafi dkk. (2015) menggunakan adsorben berupa serbuk kulit telur. Dengan variabel tetap berupa diameter kolom sebesar 2 cm dan pH sebesar 7,04 serta memvariasikan konsentrasi adsorbat, laju alir masuk, dan tinggi bed, didapatkan hasil terbaik bahwa adsorben dapat menyerap zat warna *Remazol Yellow FG* sebesar 11,15 mg/g pada konsentrasi adsorbat 80 ppm, laju alir 6 mL/min, tinggi bed 10 cm dengan $R^2 = 0,913$ serta secara matematis kurva *breakthrough* yang terbentuk paling sesuai dengan model adsorpsi dinamis Thomas.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan karbon aktif granular dan serbuk kulit telur hanya memiliki kemampuan adsorpsi secara fisik saja, sehingga masih dapat ditingkatkan dengan cara menggunakan adsorben yang mampu meningkatkan kapasitas adsorpsinya. Peningkatan kapasitas adsorpsi adsorben dapat dilakukan dengan mengadopsi adsorben yang digunakan pada penelitian Fajar (2017) yaitu komposit karbon aktif-kitosan karena adsorben tersebut memiliki kemampuan adsorpsi secara fisik oleh karbon aktif maupun secara kimia oleh kitosan. Dengan penggunaan adsorben yang berbeda, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui model kinetika yang tepat beserta kapasitas adsorpsinya dari adsorben komposit karbon aktif-kitosan. Dengan diketahuinya model kinetika yang tepat, diharapkan dapat digunakan untuk memprediksikan karakteristik dan respon dinamis dari proses yang dapat digunakan untuk menentukan masa penggunaan adsorben. Sementara dengan diketahuinya kapasitas adsorpsi, diharapkan dapat diketahui jumlah limbah yang dapat dialirkan pada adsorben ataupun massa adsorben yang baik digunakan untuk mengadsorpsi limbah zat warna.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kurva *breakthrough* adsorben pada adsorpsi zat warna *Remazol Yellow FG*, mendapatkan model kinetika dinamis pada adsorpsi zat warna *Remazol Yellow FG* dengan menggunakan adsorben komposit karbon aktif-kitosan, serta mengetahui kapasitas adsorpsi zat warna *Remazol Yellow FG* dengan menggunakan adsorben komposit karbon aktif-kitosan.

Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui karakteristik dan respon dinamis dari proses yang dapat digunakan untuk menentukan masa penggunaan adsorben serta jumlah limbah yang dapat dialirkan pada adsorben ataupun massa adsorben yang baik digunakan untuk mengadsorpsi limbah zat warna.

METODOLOGI

Prosedur Pembuatan Komposit Karbon Aktif-Kitosan

Proses pembuatan komposit karbon aktif-kitosan dilakukan dengan membuat gel kitosan, dimana gel kitosan dibuat dengan melarutkan 1:1 gram kitosan serbuk dengan karbon aktif ke dalam 100 mL asam asetat 2% sambil diaduk selama 4 jam. Selanjutnya Larutan kitosan yang terbentuk kemudian ditetesi ke dalam larutan koagulan NaOH 15% - Etanol 96%, pengadukan dilanjutkan selama 7 jam. Komposit yang didapatkan kemudian dicuci hingga netral.

Prosedur Pembuatan Komposit Karbon Aktif-Kitosan Terikat Silang Dengan Formaldehida

Pembuatan ikat silang dengan formaldehida dilakukan dengan merendam biokomposit kedalam formaldehida 0.1 M dengan rasio 1:1 selama 30 menit lalu disaring dan dicuci hingga netral.

Proses Pembuatan Limbah Zat Warna Artifisial

Limbah zat warna buatan dibuat dengan melarutkan 5 gr serbuk Remazol Yellow kedalam panci yang berisi 2 Liter air. Kemudian memasukkan benang sebanyak 1 kincir dan 60 gr garam glauber lalu dipanaskan sampai suhu 60°C-80°C selama 40 menit. Setelah 40 menit benang dicuci sampai bersih dan sisa air pencelupan benang di analisa untuk mengetahui konsentrasinya dengan menggunakan spektrofotometer Uv-Vis. Diperoleh konsentrasi Limbah 1000 ppm. Selanjutnya dibuat dengan konsentrasi 49.5 ppm dengan cara mengencerkan dari larutan 1000 ppm.

Proses Adsorpsi Limbah Zat Warna Artifisial

Membuat rangkaian alat adsorpsi. Kemudian mengisi bak umpan dengan limbah zat warna Remazol Yellow dengan konsentrasi 49,1 ppm dan pH 10. Selanjutnya mengisi reaktor dengan komposit karbon aktif-kitosan setinggi 10 cm dan mengoperasikannya pada variasi laju alir 4, 6, 8, 10 dan 12 mL/min . Mengambil sampel keluaran selama 15 menit. Filtrat yang diperoleh dianalisa menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis .

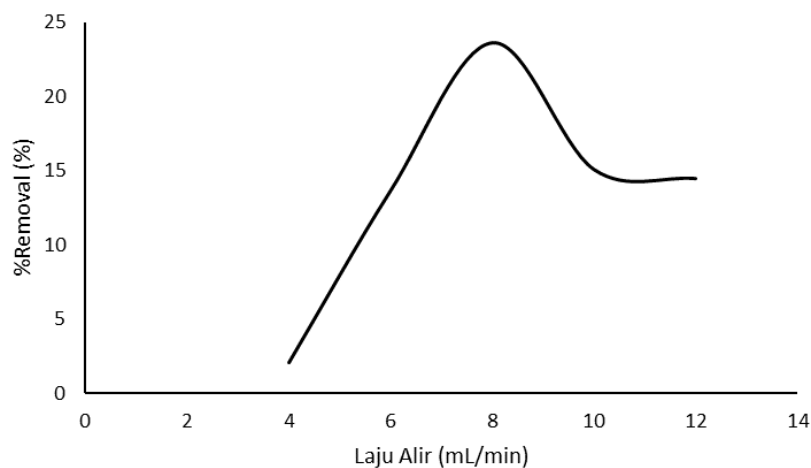
Proses Adsorpsi Untuk Kurva Breakthrough

Membuat rangkaian alat adsorpsi. Kemudian mengisi bakumpan dengan limbah zat warna Remazol Yellow dengan konsentrasi 45,4 ppm dan pH 10. Selanjutnya mengisi reaktor dengan komposit karbon aktif-kitosan sampai 10 cm. Lalu menghidupkan pompa dan mengatur laju alir terbaik dari proses sebelumnya. Mengambil sampel yang telah diadsorpsi setiap 2 menit selama 24 menit. Sampel kemudian dianalisa menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis.

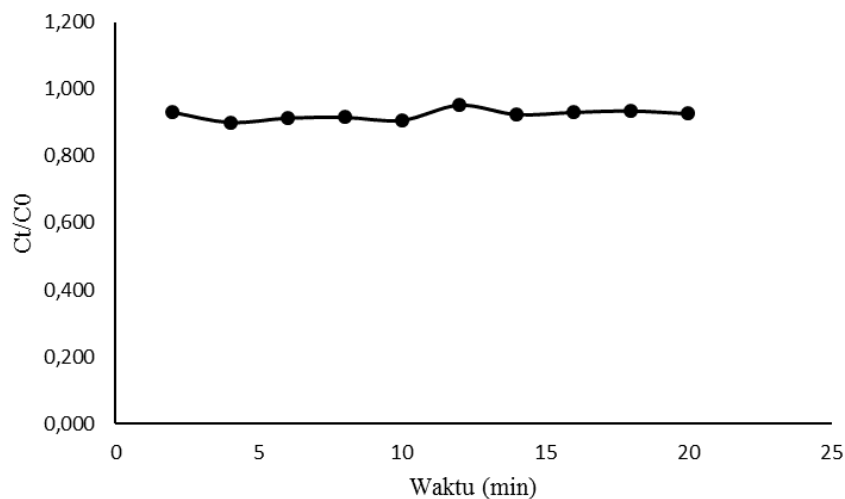
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Laju Alir Optimum

Proses adsorpsi dilakukan terlebih dahulu dengan memvariasikan laju alir guna mendapatkan laju alir terbaik. Laju alir sendiri merupakan salah satu parameter penting proses adsorpsi yang dapat mempengaruhi kinerja penyerapan sistem kontinyu pada kolom tetap pada proses pengolahan limbah secara terus menerus untuk skala laboratorium ataupun industri. Pengaruh laju alir terhadap konsentrasi zat warna dilakukan dengan memvariasikan laju alir operasi kolom adsorpsi pada 4 mL/min, 6 mL/min, 8 mL/min, 10 mL/min, dan 12 mL/min, seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik laju alir vs % removal



Gambar 2. Kurva *breakthrough* adsorben

Seperti yang terlihat pada grafik, dari variasi laju alir yang dilakukan terdapat titik optimum dimana pada laju alir 8 mL/min, limbah zat warna terserap lebih besar diantara variabel laju alir lain. Pada penelitian Salman dkk. (2014) yang menggunakan karbon aktif sebagai adsorben menyatakan bahwa seiring meningkatnya laju alir maka akan menurunkan penyerapan % removal zat warna *Remazol Yellow FG*, seperti yang terjadi pada laju alir yang lebih besar dari 8 mL/min (8 mL/min – 12 mL/min). Hal ini disebabkan karena hubungan antara laju alir dan waktu tinggal zat warna dalam kolom, dimana semakin tinggi laju alir maka waktu tinggal zat warna dalam kolom akan semakin singkat sehingga waktu kontak antara zat warna dan adsorben semakin singkat yang menyebabkan zat warna meninggalkan kolom dalam keadaan yang belum terserap dengan baik. Ketika laju alir semakin rendah, zat warna memiliki waktu kontak yang lebih lama sehingga penyerapan yang terjadi lebih baik (Afroze et al., 2015).

Namun terdapat fenomena ketika laju alir dinaikkan justru penyerapan zat warna semakin baik, seperti yang terlihat pada laju alir yang lebih kecil dari 8 mL/min (4 mL/min – 8 mL/min). Dalam hal ini, bukan waktu kontak yang berpengaruh secara signifikan tetapi perpindahan massa zat warna ke dalam adsorben. Menurut Senja dkk. (2016), pada laju alir yang terlalu kecil, limbah cair zat warna belum mampu menembus dan menyebar secara maksimal ke dalam adsorben. Berdasarkan teori Reynolds, aliran yang memiliki laju alir lebih besar akan lebih bergelombang dan pecah ke seluruh permukaan adsorben pada kolom. Hal tersebut menyebabkan luas permukaan adsorben yang digunakan untuk menyerap zat warna lebih sedikit ketika laju alir lebih kecil sehingga perpindahan massa zat warna dari limbah cair ke adsorben lebih kecil. Oleh sebab itu ketika laju alir ditingkatkan dari 4 mL/min hingga 8 mL/min, penyerapan zat

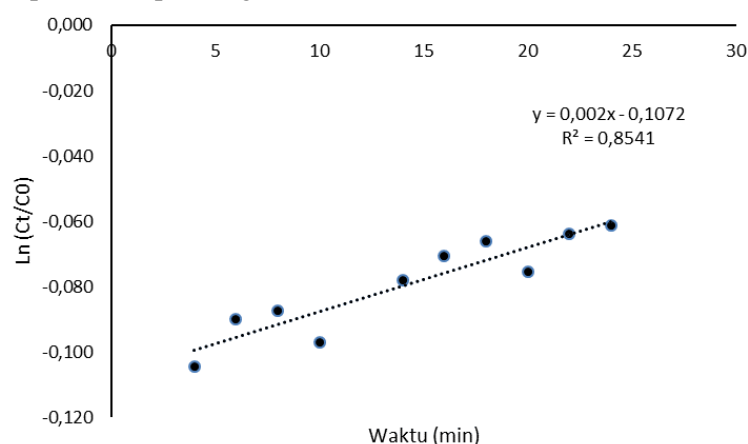
warna semakin tinggi. Ketika laju alir ditingkatkan kembali dari 8 mL/min hingga 12 mL/min, limbah cair zat warna sudah mampu menembus dan menyebar ke seluruh permukaan adsorben dengan baik sehingga yang berpengaruh lebih signifikan adalah waktu kontak antara adsorben dengan zat warna, hal inilah yang menyebabkan pada laju alir 8 mL/min hingga 12 mL/min, penyerapan zat warna semakin rendah. Laju alir dengan proses penyerapan limbah cair zat warna *Remazol Yellow FG* terbesar adalah pada laju alir 8 mL/min. Laju alir ini akan digunakan sebagai kondisi operasi pada penentuan kurva *breakthrough* adsorben.

Kurva *Breakthrough* Adsorben

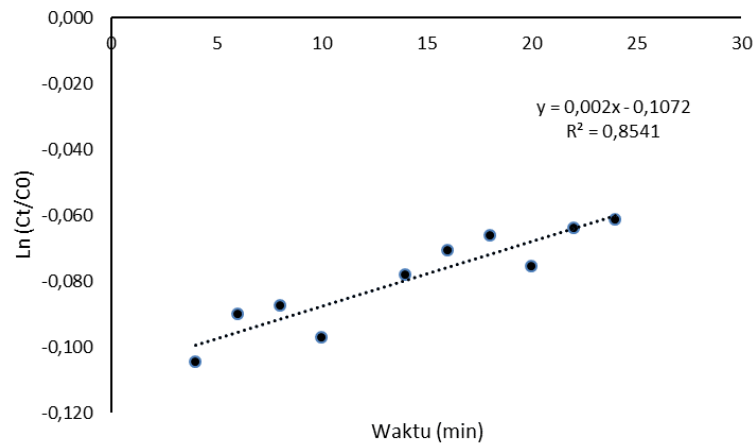
Kurva *breakthrough* didefinisikan sebagai rasio dari konsentrasi efluen adsorbat (C_i) per konsentrasi influen adsorbat (C_0) dengan fungsi waktu penggunaan atau volume efluen untuk volume adsorben tertentu. Waktu ekuivalen dimana kolom adsorpsi berada dalam kapasitas yang dapat digunakan disebut dengan waktu *breakthrough*, sedangkan waktu dimana kolom adsorpsi berada pada kondisi mendekati kejenuhan disebut dengan *exhaustion time*. Adapun kurva *breakthrough* yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 2.

Idealnya kurva *breakthrough* memiliki 3 fase yaitu fase sebelum *breakthrough*, fase setelah *breakthrough* (*usable*), dan fase *exhausted* (jenuh) dengan bentuk grafik dapat menyentuh hingga 0,1 pada C_i/C_0 yang kemudian seiring waktu akan meningkat konsentrasi keluarannya hingga mendekati jenuh bahkan jenuh. Hal ini disebabkan pada awal proses adsorpsi, permukaan adsorben dalam keadaan yang masih kosong sehingga mampu menarik molekul-molekul yang akan diserap (Afroze et al., 2015). Seiring dengan bertambahnya waktu, permukaan adsorben terisi oleh zat warna dan mengurangi luas permukaan adsorben yang kosong pada kolom sehingga menyebabkan peningkatan konsentrasi adsorbat pada keluaran kolom. Namun, pada penelitian ini tidak dapat dihasilkan profil kurva *breakthrough* yang ideal dimana kurva *breakthrough* yang dihasilkan sudah berada dalam fase mendekati jenuh bahkan jenuh. Adsorben tidak dapat mencapai titik *breakthrough* dapat disebabkan oleh kondisi adsorben yang sudah cenderung jenuh. Walaupun telah direndam dalam etanol dan diminimalisir kontakannya dengan udara luar, penggunaan adsorben yang tidak secara langsung segera setelah dibuat ternyata berpengaruh pada penurunan daya adsorpsi sehingga titik *breakthrough* tidak dapat tercapai. Selain itu, faktor kurang meratanya sebaran laju alir menyebabkan luas kontak antara adsorben dengan laju alir semakin kecil sehingga mengurangi daya adsorpsinya sehingga profil kurva *breakthrough* tidak tercapai. Tidak stabilnya laju alir ketika proses berjalan seiring waktu juga berpengaruh terhadap tidak terbentuknya profil kurva *breakthrough* yang ideal, sehingga perlu dilakukan penyesuaian laju alir selama proses. Penyesuaian ini dilakukan untuk mencegah penyimpangan laju alir yang lebih besar selama proses yang menyebabkan jumlah air yang masuk berbeda jauh dari yang seharusnya, oleh karena itu penyimpangan tersebut harus diminimalisir. Namun demikian, kurva *breakthrough* yang dihasilkan, dapat digunakan pada perhitungan model kinetika adsorpsi dinamis dan kapasitas adsorpsi.

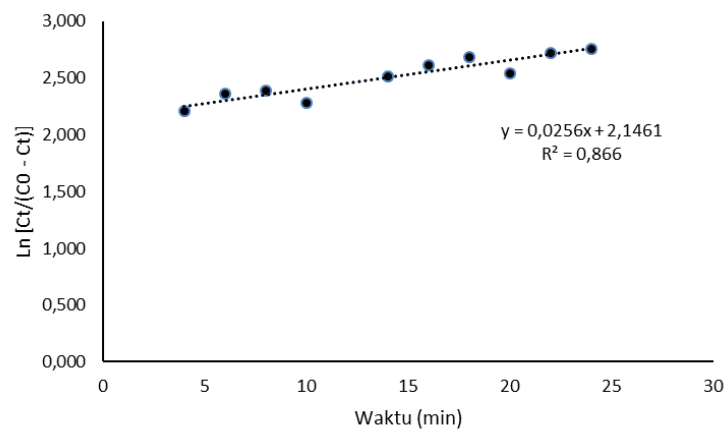
Dari 3 model kinetika dinamis yang diuji kesesuaiannya pada adsorpsi limbah cair zat warna *Remazol Yellow FG* menggunakan komposit karbon aktif-kitosan yaitu model Adam Bohart, model Thomas, dan model Yoon Nelson, dapat dilihat pada 3 grafik berikut ini:



Gambar 3. Kapasitas adsorpsi model Adam-Bohart



Gambar 4. Kapasitas adsorpsi model Thomas



Gambar 5. Kapasitas adsorpsi model Yoon-Nelson

Adapun hasil perhitungan kapasitas adsorpsi dan koefisien determinasi (R^2) berdasarkan 3 model kinetika dinamis pada adsorpsi limbah cair zat warna *Remazol Yellow FG* menggunakan komposit karbon aktif-kitosan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Dengan melihat koefisien determinasi (R^2) dari 3 model kinetika dinamis adsorpsi yang telah diuji kesesuaiannya, model Thomas dan model Yoon-Nelson yang keduanya memiliki nilai R^2 sebesar 0,8660 lebih sesuai untuk memprediksikan karakteristik adsorpsi dinamis pada kolom yang menggunakan komposit karbon aktif-kitosan beserta kapasitas adsorpsinya dibandingkan model Adam Bohart yang memiliki nilai R^2 sebesar 0,8541. Ini berarti berdasarkan model Thomas, proses adsorpsi yang dilakukan berlangsung dengan prinsip tingkat reaksi orde 2 semu yang mengurangi isoterm Langmuir pada saat kesetimbangan. Sementara berdasarkan model Yoon-Nelson menandakan bahwa laju penurunan dalam hal penyerapan oleh molekul adsorbat sebanding halnya dengan penyerapan adsorbat dan *breakthrough* adsorbat pada adsorben. Kedua model yaitu model Thomas dan Yoon-Nelson memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 1,21781 mg/g.

Tabel 3.1 Data Model Kapasitas Adsorpsi

NO	Model	Variabel	Nilai
1	Adam-Bohart	k_{AB} (mL/min.mg)	0,00004
		N_0 (mg/cm)	1,94675
		R^2	0,85410
2	Thomas	k_{TH} (mL/min.mg)	0,00056
		q_0 (mg/g)	1,21781
		R^2	0,86600
3	Yoon-Nelson	k_{YN} (1/min)	0,02560
		τ (min)	83,83203
		q_{0YN} (mg/g)	1,21781
		R^2	0,86600

SIMPULAN

1. Profil kurva *breakthrough* yang dihasilkan tidak ideal dimana kurva *breakthrough* yang dihasilkan sudah berada dalam fase mendekati jenuh bahkan jenuh.
2. Model kinetika dinamis yang paling sesuai adalah model Thomas dan Yoon-Nelson dengan nilai R^2 sebesar 0,8660.
3. Kapasitas adsorpsi terbaik yang dihasilkan sebesar 1,21781 mg/g pada model Thomas dan Yoon-Nelson.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh sivitas akademik Jurusan Teknik Kimia dan manajemen Politeknik Negeri Samarinda serta pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afroze, S., Sen, T. K., Ang, M., & Nishioka, H. (2016). Adsorption of methylene blue dye from aqueous solution by novel biomass *Eucalyptus sheathiana* bark: equilibrium, kinetics, thermodynamics and mechanism. *Desalination and Water Treatment*, 57.
- BPS Kaltim. (2016). Statistik Luas Perkebunan Lahan Karet Provinsi Kalimantan Timur. Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. Samarinda.<http://kaltim.bps.go.id/Publikasi/view/id/134>
- BPS Kaltim. (2016). Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Timur. 1 November 2016. <https://kaltim.bps.go.id/>

- Chafi, M., Akazdam, S., Asrir, C., Sebbahi, L., Gourich, B., Barka, N., & Essahli, M. (2015). Continuous Fixed bed Reactor Application for Decolourization of Textile Effluent by Adsorption on NaOH Treated Eggshell. *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* Vol. 9 No. 10, 1242-1248.
- Djufri, R. (1973). *Teknologi Pengelantangan, pencelupan dan pencapan*. Bandung: Institut Teknologi Tekstil.
- Husain, S. (2017). *Pengaruh Daya Ultrasonik Dan Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Konsentrasi Limbah Zat Warna Reactive Red 141 Menggunakan Kitosan*. Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda.
- Salman, M. S., Abood, W. M., & Ali, D. F. (2014). Batch and Fixed-Bed Modeling of Adsorption Reactive Remazol Yellow Dye. *Journal of Engineering* Vol. 20, 8.
- Yunida, Yandraini, Sukatik, dan Hidayati, Rahmi. (2006). *Pembuatan Destro-Fosfat Dari Pati Sagu Sebagai Ekstender Perekat Kayu*. Padang: Politeknik Negeri Padang