

Studi Adsorpsi Furfural Menggunakan Karbon Aktif dari Kulit Durian Termodifikasi

Study of Furfural Adsorption using Modified Activated Carbon from Durian Shell Waste

Amir Husin*, Philip Dohan Rea Sitingjak

Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jalan Almamater, Medans 20155, Indonesia

*Email: amirhusinika@yahoo.com

Abstrak

Furfural adalah senyawa aldehida aromatik klasifikasi bahan berbahaya, dapat merusak lingkungan bahkan berbahaya bagi manusia apabila dikonsumsi. Penghilangan furfural pada air diperlukan untuk mengatasi permasalahan ini. Penghilangan furfural dilakukan dengan adsorpsi menggunakan karbon aktif dari kulit durian. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan waktu kontak dan kinetika reaksi dari adsorpsi furfural menggunakan karbon aktif termodifikasi yang dilakukan dalam 7 tahap: persiapan larutan utama furfural 1000 ppm, larutan kerja furfural, penentuan kurva standar furfural, waktu adsorpsi, massa terbaik, kapasitas adsorpsi karbon aktif, isoterm adsorpsi dan kinetika adsorpsi. Parameter yang diukur adalah waktu kontak, kapasitas, kinetika adsorpsi furfural. Pengujian filtrat dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometri-UV. Hasil yang diperoleh adalah waktu kontak terbaik untuk adsorpsi furfural pada waktu 75 menit, dengan nilai orde reaksi; konstanta reaksi (k); dan regresi linier (R^2) masing-masing sebesar 1,5; $3,966 \times 10^{-5}$ (mg/g)/s; dan 0,9451. Model adsorpsi isoterm adalah model Isoterm Langmuir.

Kata kunci: adsorpsi, furfural, karbon aktif, kulit durian, isoterm

Abstract

Furfural is an aromatic aldehyde, classified as hazardous material that cause environmental impact, especially harmful for humans if consumed. Furfural removal in water is necessary to overcome the negative impact. Furfural removal can be carried out using adsorption of activated carbon from durian shell. This study determines contact time and reaction kinetic using modified activated carbon which carried out in 7 stages: preparation of furfural main solution 1000 ppm, furfural work solution, determining furfural standard curve, adsorption time, best mass and adsorption capacity of activated carbon, isotherm adsorption and kinetics. The parameters measured are contact time, capacity, furfural adsorption kinetics. Filtrate testing is carried out using UV-Spectrophotometry. Results that obtained in this study are best contact time at 75 minutes with reaction order; reaction constant (k); linear regression (R^2) are 1.5; 3.966×10^{-5} (mg/g)/s; 0.9451 respectively. The isotherm adsorption model is Langmuir Isotherm.

Keywords: activated carbon, adsorption, durian shell, furfural, isotherm

Pendahuluan

Furfural merupakan senyawa aldehida aromatik yang diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya. Furfural dapat ditemukan pada badan air yang tercemar oleh karena buangan air limbah dari unit kilang minyak bumi. Hal ini menyebabkan permasalahan lingkungan yang parah dan apabila dikonsumsi secara tidak sengaja oleh manusia dapat merusak paru-paru, hati, ginjal, dan limpa. Selain itu, paparan terhadap manusia dengan kandungan 1,9-14 ppm furfural dapat menyebabkan sakit kepala, kemerahan pada mata dan mata berair [1,2].

Oleh karena itu, diperlukan penghilangan furfural dalam badan air untuk mencegah permasalahan lingkungan. Penelitian adsorpsi dengan karbon aktif telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Peneliti terdahulu menunjukkan bahwa adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dapat menghilangkan senyawa organik yang bersifat racun sehingga meningkatkan mutu air. Hal yang diharapkan dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh dari dosis karbon aktif yang telah dimodifikasi berbahan biomassa berupa kulit durian terhadap adsorbat berupa furfural yang bersifat toksik dan juga untuk menghitung kinetika dan kapasitas

adsorpsi. Atas dasar itulah mengapa penelitian ini penting untuk dilakukan.

Teori

Penghilangan furfural diklasifikasikan sebagai penghilangan bahan berbahaya dan sangat beracun [3]. Penghilangan furfural dapat dilakukan dengan cara adsorpsi. Adsorpsi merupakan salah satu metode ekonomis dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif diperoleh dari proses pirolisis dan hidrolisis biomassa [4]. Karbon aktif dengan luas permukaan yang besar dan kapasitas adsorpsi yang tinggi, menjadikannya salah satu adsorben yang paling umum digunakan dalam menghilangkan polutan berbahaya dari air limbah dan untuk adsorpsi senyawa organik [2].

Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini bahan utama yang digunakan adalah furfural, aquadest, karbon aktif termodifikasi dengan metode impregnasi yang telah diperoleh dari penelitian sebelumnya [5]. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *erlenmeyer*, kertas saring, corong gelas, pipet volumetrik, dan labu volumetrik. Peralatan yang digunakan untuk analisis antara lain neraca elektrik, spektrofotometer UV 1800 Shimadzu.

Pembuatan Larutan Utama Furfural 1000 ppm: Larutan utama furfural dibuat dengan menghomogenkan 0,861 mL furfural ke dalam labu ukur 1000 mL, dan diencerkan dengan *aquadest* hingga tanda batas.

Pembuatan Larutan Kerja Furfural: Larutan kerja furfural 100, 200, 300, 400, dan 500 ppm dibuat dengan cara mengambil berturut-turut 10, 20, 30, 40, dan 50 mL larutan utama furfural 1000 ppm ke dalam masing-masing labu ukur 100 mL, kemudian diencerkan dengan *aquadest* hingga tanda batas.

Pembuatan Kurva Standar Furfural: Kurva larutan standar diukur menggunakan spektrofotometer UV pada panjang gelombang 276 nm. Data yang didapatkan dari analisis memakai spektrofotometer UV dipakai untuk menghasilkan kurva hubungan antara absorbansi dengan kandungan furfural.

Penentuan Waktu Adsorpsi Furfural: Disiapkan 7 larutan kerja furfural 100 ppm masing-masing sebanyak 10 mL dalam *erlenmeyer*, dan ditambahkan karbon aktif 1 g untuk tiap *erlenmeyer*. Setelah itu, untuk tiap *erlenmeyer* diberlakukan satu variasi waktu. Variasi waktu yang diberlakukan adalah 0; 15; 30; 45; 60; 75; dan 90 menit. Adsorpsi dilakukan pada temperatur ruang. Larutan disaring dengan kertas saring dan filtrat dianalisis memakai spektrofotometer UV. Data absorbansi yang didapatkan digunakan untuk menghasilkan grafik

hubungan antara kapasitas adsorpsi (q_e) dan waktu. Waktu terbaik ditetapkan dari titik grafik yang setasioner.

Penentuan Massa Terbaik dan Kapasitas Adsorpsi (q_e) Karbon Aktif: Disiapkan 10 mL sebanyak 7 larutan kerja furfural dengan kandungan 100 ppm. Lalu larutan dituang ke dalam *erlenmeyer* dan kedalam tiap-tiap *erlenmeyer* ditambahkan ragam massa 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; dan 3,0 g karbon aktif. Adsorpsi dilakukan pada temperatur ruang. Setelah dilakukan adsorpsi, larutan disaring dan filtrat dianalisis memakai spektrofotometer-UV. Data absorbansi yang didapatkan dipakai untuk menghasilkan grafik hubungan antara kapasitas adsorpsi dan massa karbon aktif. Massa terbaik ditetapkan dari titik grafik stasioner.

Penentuan Adsorpsi Isoterm: Disiapkan 10 mL larutan kerja furfural dengan masing-masing kandungan 100, 200, 300, 400, dan 500 ppm pada temperatur ruang. Lalu tiap-tiap larutan dituang ke dalam *erlenmeyer* dan kepada tiap-tiap *erlenmeyer* ditambahkan 1 g karbon aktif. Proses adsorpsi dijalankan pada temperatur ruang dan waktu terbaik. Setelah itu, campuran disaring dan filtrat dianalisis dengan spektrofotometer-UV. Data absorbansi yang didapatkan dipakai untuk menghasilkan kurva hubungan antara kandungan larutan kerja furfural dengan kapasitas adsorpsi. Kemudian ditentukan model isoterm Langmuir atau Freundlich berdasarkan nilai koefisien kolerasi (R^2) tertinggi.

Penentuan Kinetika Adsorpsi: Kinetika adsorpsi ditentukan dengan Persamaan (1):

$$C_e^{-(n-1)} = (n-1)kt + C_0^{-(n-1)} \quad (1)$$

Dengan C_e ialah kandungan furfural sesudah diadsorpsi (mg/L), k ialah konstanta laju reaksi, t ialah waktu (s), n ialah orde kinetika reaksi dan C_0 ialah kandungan furfural sebelum diadsorpsi (mg/L).

Parameter Adsorpsi

Penentuan Kapasitas Adsorpsi (q_e):

Kapasitas adsorpsi (q_e) adalah banyaknya adsorbat yang teradsorpsi oleh karbon aktif, dapat dihitung dengan memakai Persamaan (2):

$$q_e = \frac{V(C_0 - C_e)}{W} \quad (2)$$

dengan q_e ialah kapasitas adsorpsi (mg/g), V ialah volume larutan (L), C_0 ialah kandungan analit sebelum adsorpsi (mg/L), C_e ialah kandungan analit sesudah adsorpsi (mg/L) dan W ialah massa karbon aktif yang digunakan (g).

Adsorpsi Isoterm: Model isoterm adsorpsi dapat ditentukan dengan menerapkan Persamaan Freundlich dan Langmuir. Persamaan Langmuir ditunjukkan oleh Persamaan (3):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m KL} + \frac{C_e}{q_m} \quad (3)$$

Korelasi C_e/q_e dan C_e menghasilkan hubungan yang linier dimana q_m ialah kapasitas adsorpsi maksimum (L/mg), KL ialah kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg).

Persamaan Freundlich ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$\log q = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad (4)$$

Korelasi antara data $\log C_e$ dan q_e menghasilkan hubungan yang linier. C_e ialah konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L), K_f konstanta Freundlich (mg/g)(L/mg) $^{1/n}$, q_e ialah kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan (mg/g) dan $1/n$ adalah faktor heterogenitas.

Kinetika Adsorpsi: Kinetika adsorpsi ditentukan dengan orde. Lalu dibentuk korelasi C_e dan t untuk tiap-tiap orde yang membentuk persamaan linier. Orde kinetika adsorpsi ditetapkan oleh nilai koefisien korelasi (R^2) yang paling besar.

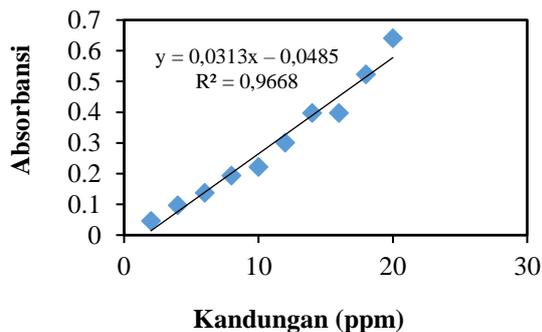
Hasil

1. Kurva Standar Furfural

Pembuatan kurva standar bertujuan untuk menetapkan kandungan furfural yang tertinggal pada larutan kerja furfural setelah adsorpsi oleh permukaan karbon aktif termodifikasi. Persamaan regresi linier kurva standar furfural ditunjukkan pada Persamaan (5):

$$y = 0,0313x - 0,0485 \quad (5)$$

dengan koefisien korelasi (R^2) sebesar 0,9668, y menunjukkan absorbansi dan x menunjukkan kandungan (ppm). Kurva Standar Furfural ditunjukkan pada Gambar 1.

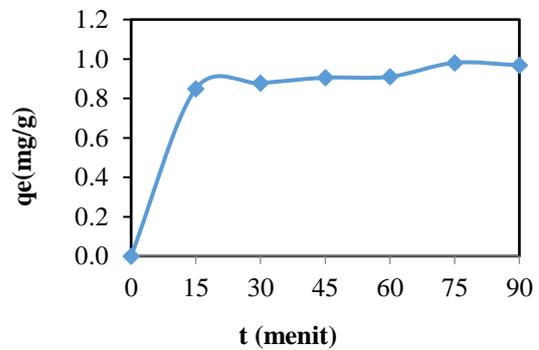


Gambar 1. Kurva Standar Furfural Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

2. Penentuan Nilai Variabel

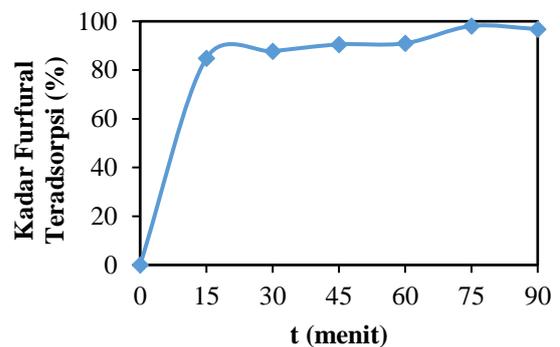
a. Pengaruh Waktu Adsorpsi terhadap Kapasitas Adsorpsi Furfural

Penentuan pengaruh waktu bermaksud untuk mendapatkan waktu terbaik yang diperlukan karbon aktif untuk mengadsorpsi furfural hingga batas maksimal. Grafik hubungan besarnya kapasitas adsorpsi (q_e) dengan waktu oleh karbon aktif termodifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Antara Waktu terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Termodifikasi pada Larutan Furfural 100 ppm

Berdasarkan Gambar 2, adsorpsi karbon aktif semakin tinggi dengan meningkatnya waktu kontak yaitu pada waktu kurang lebih 75 menit pertama. Saat waktu 15 menit pertama, adsorpsi berjalan sangat cepat, namun mengalami perlambatan adsorpsi pada menit ke-30 sampai menit ke-75. Lalu pada menit ke-75 mengalami perlambatan peningkatan kapasitas adsorpsi, ini terjadi karena hampir seluruh analit teradsorpsi pada waktu ke-75 menuju menit ke-90.



Gambar 3. Hubungan Antara Waktu terhadap Kadar Furfural Teradsorpsi dengan Kandungan Larutan Furfural 100 ppm

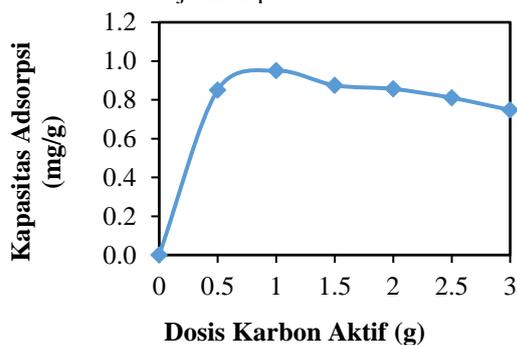
Pada Gambar 3 bisa dilihat persentase furfural teradsorpsi setiap 15 menit. Kadar furfural teradsorpsi terbesar terjadi pada menit ke-75 dengan 98,06% furfural telah teradsorpsi ke dalam karbon aktif.

Menurut Kamel [6], waktu saat fasa kesetimbangan adalah waktu terbaik yang dapat digunakan untuk kapasitas adsorpsi maksimum pada saat adsorpsi, ketika analit teradsorpsi merata ke permukaan karbon aktif yang mengakibatkan

adsorpsinya tetap konsisten karena sisi aktif karbon aktif sudah menyerap analit. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dengan meningkatnya waktu kontak, sisi aktif karbon aktif akan semakin menurun yang menimbulkan penurunan laju adsorpsi yang akhirnya akan mendekati keadaan kesetimbangan. Berdasarkan grafik di atas maka diperoleh waktu terbaik pada 75 menit dimana terjadi keadaan kesetimbangan.

b. Pengaruh Dosis Karbon Aktif terhadap Kapasitas Adsorpsi Furfural

Penentuan pengaruh dosis bertujuan untuk menentukan dosis karbon aktif terbaik yang digunakan untuk mengadsorpsi furfural sampai batas maksimal. Grafik hubungan besarnya kapasitas adsorpsi oleh karbon aktif temodifikasi dengan dosis karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 4.



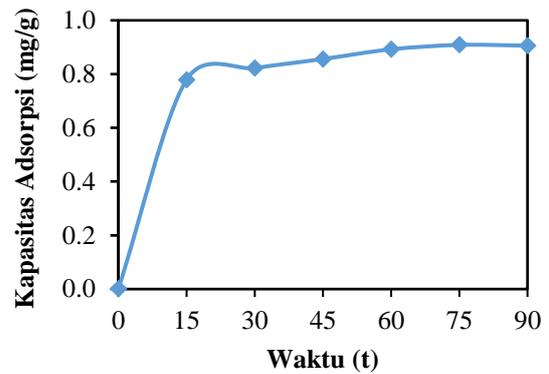
Gambar 4. Hubungan Antara Dosis Karbon Aktif Temodifikasi terhadap Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif pada Larutan Furfural dengan Kandungan 100 ppm dan Waktu Adsorpsi 75 Menit

Berdasarkan Gambar 4 pada rentang dosis karbon aktif 0,5-1,0 g, semakin bertambahnya massa karbon aktif maka semakin meningkat pula kapasitas adsorpsi furfural oleh karbon aktif. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak jumlah adsorben, semakin bertambah pula sisi aktif adsorben. Proses adsorpsi berlangsung pada lapisan permukaan sel adsorben yang bersifat hidrofobik yang berinteraksi dengan molekul adsorbat yang bersifat hidrofobik juga, sehingga interaksi pasif dan relatif cepat [7].

Namun, pada rentang massa karbon aktif 1,5-3,0 g sedikit ada penurunan, hal tersebut karena karbon aktif dalam larutan telah lewat jenuh. Barros et al. [8], juga menyatakan bahwa pada saat peningkatan massa adsorben, maka ada peningkatan kapasitas adsorpsi, yang kemudian akan mengalami penurunan kapasitas adsorpsi.

3. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi dilakukan untuk mengetahui laju penyerapan adsorbat ke dalam permukaan adsorben. Laju adsorpsi furfural pada permukaan karbon aktif diukur sebagai fungsi waktu. Hasil studi kinetika ditunjukkan pada Gambar 5.



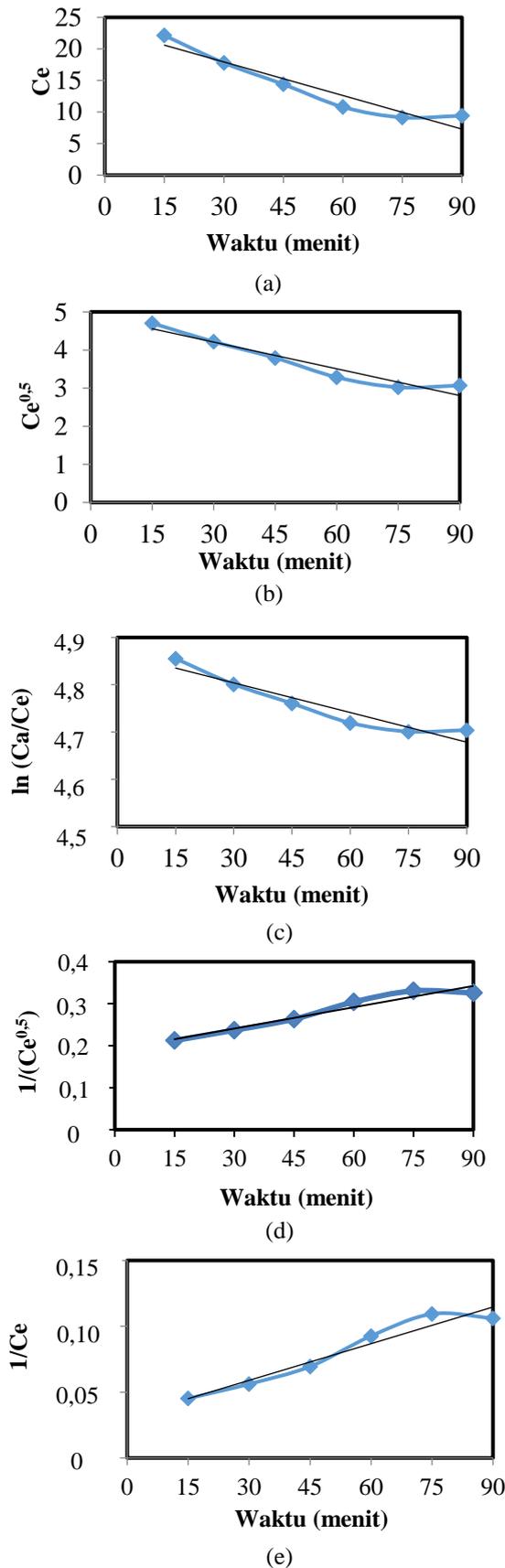
Gambar 5. Hubungan Kapasitas Adsorpsi Furfural terhadap Waktu oleh Karbon Aktif Temodifikasi dalam Larutan Furfural dengan Kandungan 100 ppm

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat kecepatan adsorpsi furfural di menit awal sangat cepat lalu semakin menurun kecepatannya saat menuju keadaan setimbang. Ini dikarenakan pada tahap mula-mula, banyak permukaan adsorben yang masih belum menangkap analit, sehingga furfural bisa terserap ke dalam permukaan adsorben dengan cepat. Tapi, dalam keadaan setimbang kemungkinan sisi aktif adsorben telah jenuh yang mengakibatkan adsorpsi berjalan lama [9]. Kapasitas adsorpsi karbon aktif temodifikasi pada kesetimbangan ialah 0,9085 mg/g. Karbon aktif temodifikasi memiliki tingkat efisiensi penyerapan furfural 80-90%.

Orde reaksi dipakai guna menganalisis kinetika adsorpsi. Hasil yang didapatkan ditunjukkan pada Tabel 1. Adsorpsi furfural dengan karbon aktif mengikuti kinetika orde 1,5 sesuai nilai koefisien korelasi (R^2) tertinggi yaitu 0,9451 (Gambar 6d). Kinetika pada adsorpsi tergantung dari luas bidang permukaan karbon aktif. Semakin luas bidang permukaan karbon aktif, laju adsorpsi akan semakin tinggi. Ini bisa ditunjukkan oleh nilai k yang didapat. Nilai k didapat dari slope pada grafik di Gambar 5. Nilai k diperoleh sebesar $3,966 \times 10^{-5}$ (mg/g)/s. Faktor-faktor seperti temperatur, ukuran partikel dan perubahan sifat larutan dapat mempengaruhi kinetika adsorpsi [10].

Tabel 1. Nilai Koefisien Kolerasi (R^2) Untuk Adsorpsi Furfural pada Karbon Aktif

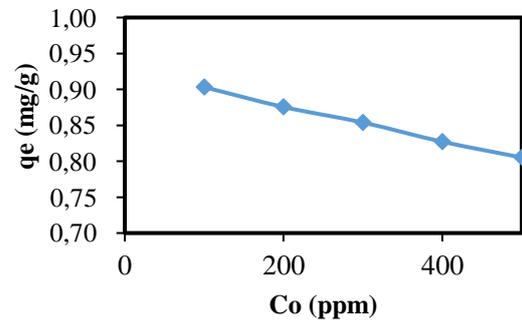
Orde	Persamaan	R^2
0	$C_e = -0,1774 + 23,258$	0,9139
0,5	$C_e^{0,5} = -0,0234 + 4,9094$	0,9301
1	$\ln(C_a/C_e) = -0,0021 + 4,8667$	0,907
1,5	$1/(C_e^{0,5}) = 0,0017 + 0,1902$	0,9451
2	$y = 0,0009.1/C_e + 0,0311$	0,9443



Gambar 6. Kinetika Orde: (a) 1, (b) 0,5, (c) 1, (d) 1,5, dan (e) 2 untuk Adsorpsi Furfural oleh Karbon Aktif Termodifikasi

4. Adsorpsi Isoterm

Adsorpsi isoterm dipakai untuk memaparkan hubungan antar jumlah material teradsorpsi sebagai fungsi konsentrasi pada temperatur konstan. Tipe isoterm juga dapat digunakan untuk memahami mekanisme adsorpsi [11]. Hasil studi adsorpsi isoterm ditunjukkan pada Gambar 7.

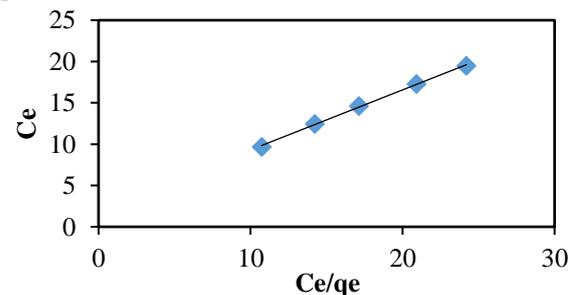


Gambar 7. Hubungan antara Kandungan Awal terhadap Kapasitas Adsorpsi Furfural pada Permukaan Karbon Aktif Termodifikasi

Berdasarkan Gambar 7, nilai kapasitas adsorpsi akan berkurang sejalan dengan peningkatan konsentrasi larutan furfural. Kapasitas adsorpsi yang didapat lewat percobaan ialah sebesar 0,9031 mg/g. Data isoterm yang didapat dianalisis menggunakan model Langmuir dan Freundlich. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 2.

Langmuir mempunyai memiliki koefisien kolerasi yang lebih tinggi sehingga adsorpsi furfural pada permukaan adsorben lebih akurat menggunakan model Langmuir daripada model Freundlich (Gambar 8). Nilai q_m mengacu pada nilai kapasitas adsorpsi maksimum adsorben untuk mengadsorpsi furfural. Karbon aktif termodifikasi memiliki nilai kapasitas adsorpsi maksimum 1,3768 mg/g. Nilai K_L mengacu pada kapasitas adsorpsi Langmuir berdasarkan kalkulasi yakni 0,3553 L/mg.

Apabila pendekatan tipe isoterm yang sesuai ialah Langmuir, dapat diasumsikan permukaan adsorben homogen, adsorpsi terjadi pada *monolayer*, molekul adsorbat tidak berinteraksi dengan yang lain dan semua proses adsorpsi berlangsung dengan mekanisme yang sama [12]. Adsorpsi monolayer berlangsung karena ikatan yang lazimnya spesifik, yang menyebabkan karbon aktif dapat mengikat adsorbat dengan ikatan kimia antara furfural dengan permukaan karbon aktif termodifikasi.



Gambar 8. Langmuir untuk Adsorpsi Furfural oleh Karbon Aktif Termodifikasi

Tabel 2 Konstanta Isoterm untuk Adsorpsi Furfural pada Karbon Aktif Termodifikasi

Model	Persamaan	R ²	qm	K _L	n	K _F
Langmuir	$y = 0,7263x + 2,0439$	0,9988	1,3768	0,3553	-	-
Freundlich	$y = -0,1634x + 0,1193$	0,9853	-	-	-6,1199	1,1267

Bila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, menurut Sahu et al. yang menggunakan Commercial Grade Activated Carbon tanpa modifikasi sebagai adsorben dalam penyerapan furfural menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum (qm) sebesar 0,055 mg/g dengan konstanta kesetimbangan adsorpsi sebesar 22,63 dan nilai koefisien korelasi (R²) sebesar 0,999 serta mengikuti model adsorpsi Langmuir [13]. Hasil dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum oleh karbon aktif termodifikasi dari limbah kulit durian lebih tinggi sebesar 1,3768 mg/g pada dosis karbon aktif 1 g dan waktu kontak selama 75 menit.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Waktu kontak terbaik untuk adsorpsi furfural oleh karbon aktif termodifikasi dari limbah kulit durian adalah pada waktu 75 menit.
2. Kinetika orde reaksi untuk adsorpsi furfural adalah orde 1,5 dengan nilai R² sebesar 0,9451, nilai k sebesar 3,966 x 10⁻⁵ (mg/g)/s.
3. Model adsorpsi isoterm yang sesuai untuk adsorpsi furfural oleh karbon aktif termodifikasi dari limbah kulit durian adalah model Isoterm Langmuir dengan persamaan model yang didapat yaitu $y = 0,7263x + 2,0439$, nilai kapasitas adsorpsi maksimum furfural sebesar 1,3768 mg/g dengan nilai koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9988 dan konstanta adsorpsi Langmuir sebesar 0,3533.
4. Karbon aktif termodifikasi dari limbah kulit durian untuk adsorpsi furfural lebih efektif dibandingkan penggunaan commercial grade activated carbon (ACC).

Daftar Pustaka

- [1] M. Cuevas, S. M. Quero, G. Hodaifa, A. J. M. López, and S. Sánchez, "Furfural removal from liquid effluents by adsorption onto commercial activated carbon in a batch heterogeneous reactor," *Ecol. Eng.*, vol. 68, pp. 241–250, 2014.
- [2] I. K. Shakir and R. N. Ghazy, "Adsorptive Removal of Furfural from Wastewater on Prepared Activated Carbon from Sawdust," *J. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 51–63, 2018.
- [3] O. R. Mebrek and Z. Derriche, "Removal of furfural from aqueous solutions by adsorption using organobentonite: Isotherm and kinetic studies," *Adsorpt. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 6, pp. 533–545, Jul. 2010.
- [4] T. R. K. C. Doddapaneni, R. Jain, R. Praveenkumar, J. Rintala, H. Romar, and J. Kontinen, "Adsorption of furfural from torrefaction condensate using torrefied biomass," *Chem. Eng. J.*, vol. 334, pp. 558–568, 2018.
- [5] A. Husin and A. Hasibuan, "Studi pengaruh variasi konsentrasi asam posfat (H₃PO₄) dan waktu perendaman karbon terhadap karakteristik karbon aktif dari kulit durian," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 9, no. 2, pp. 80–86, 2020.
- [6] A. H. Kamel, "Preparation and characterization of innovative selective imprinted polymers for the removal of hazardous mercury compounds from aqueous solution," 2013.
- [7] M. N. Hughes and R. Poole, *Metals and Micro-Organisms*. England: Springer Netherlands, 1984.
- [8] L. M. Barros Júnior, G. R. Macedo, M. M. L. Duarte, E. P. Silva, and A. K. C. L. Lobato, "Biosorption of cadmium using the fungus *Aspergillus niger*," *Brazilian J. Chem. Eng.*, vol. 20, no. 3, pp. 229–239, 2003.
- [9] H. Surikumaran, S. Mohamad, and N. M. Sarih, "Molecular imprinted polymer of methacrylic acid functionalised β -Cyclodextrin for selective removal of 2,4-dichlorophenol," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 15, no. 4, pp. 6111–6136, 2014.
- [10] N. A. Yusof, A. Beyan, J. Haron, and N. A. Ibrahim, "Synthesis and characterization of a molecularly imprinted polymer for Pb²⁺ uptake using 2-vinylpyridine as the complexing monomer," *Sains Malaysiana*, vol. 39, no. 5, pp. 829–835, 2010.
- [11] P. W. Atkins, *Kimia Fisika 2*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1999.
- [12] S. Sulastri, Nuryono, I. Kartini, and E. S. Kunarti, "Kinetika dan keseimbangan adsorpsi ion Kromium (III) Dalam larutan pada senyawa silika dan modifikasi silika hasil sintesis dari abu sekam padi," *J. Penelit. Saintek, Vol. 19, Nomor 2*, vol. 19, no. 2, p. 33, 2014.
- [13] A. K. Sahu, V. C. Srivastava, I. D. Mall, and D. H. Lataye, "Adsorption of furfural from aqueous solution onto activated carbon: Kinetic, equilibrium and thermodynamic study," *Sep. Sci. Technol.*, vol. 43, no. 5, pp. 1239–1259, 2008.