



Pengaruh Temperatur Aktivasi Karbon Aktif Terhadap Adsorpsi Logam Besi (Fe) pada Limbah Batik Cair Batik Cual

Heni Pornawati^{1,*}, Herman Aldila¹, Widodo Budi Kurniawan¹

¹Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu Balunijuk, Merawang, Bangka, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

*E-mail korespondensi: hheni4061@gmail.com

Info Artikel:

Dikirim:
4 September 2023

Revisi:
7 Juli 2024

Diterima:
1 September 2024

Kata Kunci:

Cual Batik Liquid Waste, Activated Carbon, Adsorption Kinetics, Fe Metal

Abstract

Batik cual waste can be an environmental problem if disposed of directly into the environment because it contains various heavy metals such as iron (Fe). Adsorption using coconut shell activated carbon can be used to overcome these problems. In this study, the activated carbon used was chemically activated using H₃PO₄ and physically activated at 800°C, 850°C and 900°C. Based on the SEM results, the sphericity values of materials activated using temperatures of 800°C, 850°C, and 900°C are 0.47, 0.56 and 0.52, respectively. The pore diameter values of activated carbon activated at 800°C, 850°C and 900°C are 40.11µm, 81.84µm and 55.50µm, respectively. Based on the results of analysis using BET, activated carbon activated at 800°C, 850°C and 900°C has a total pore volume value of 0.182 cc/g, 0.2315 cc/g and 0.1605 cc/g. The results also showed that the application of activated carbon in all three variations was able to significantly reduce the absorbance level of Fe based on analysis using a UV-Vis Spectrophotometer. The increasing contact time of activated carbon, the level of Fe adsorption also increases. Based on the modelling results, the adsorption of liquid batik liquid waste is included in the BMG kinetic model category.

PENDAHULUAN

Batik Cual Bangka Belitung merupakan salah satu komoditas tekstil yang terus berkembang karena motif dan desain yang semakin populer sebagai kain khas Bangka [1]. Peningkatan produksi kain batik cual dapat menimbulkan masalah lingkungan akibat limbah yang dihasilkan. Pewarna remasol adalah bahan kimia yang digunakan untuk pencelupan dan pewarnaan batik yang bersifat karsinogenik dan ditemukan dalam limbah cair batik cual [2]. Limbah cair batik cual mengandung banyak logam berat, termasuk tembaga, mangan, kromium (Cr), timbal (Pb), dan besi (Fe), yang merupakan logam utama yang ditemukan dengan konsentrasi sekitar 2,06 mg/L [3]. Limbah cair yang langsung dibuang ke lingkungan akan merusak perairan di sekitarnya. Logam berat ini berbahaya bagi tubuh manusia jika dikonsumsi secara langsung atau melalui rantai makanan. Masalah kulit, kanker, kerusakan otak, gangguan detak jantung, dan penyakit Alzheimer adalah beberapa contoh risiko terkait [3]. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi air limbah yang terkontaminasi logam berat adalah adsorpsi menggunakan karbon aktif. Karbon aktif sering digunakan sebagai adsorben karena memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar daripada adsorben lainnya [4]. Kelebihan karbon aktif termasuk luas permukaan

yang besar dan mudah diakses, ketersediaan sumber yang banyak dan kemampuan untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan, dan kemudahan akses [5]. Selain itu, karbon aktif adalah material karbon berpori dengan nilai porositas (porosity) dan luas area antara 300-2000 m²/gr [6]. Karbon aktif dibuat dari bahan yang mengandung karbon yang dipanaskan pada suhu tinggi. Berdasarkan SNI 06-3730-1995, volume pori karbon aktif adalah 0,226554 cc/gram.

Kinerja karbon aktif pada proses adsorpsi dapat ditentukan oleh suhu aktivasi. Suhu aktivasi akan mempengaruhi daya serap karbon yang dipengaruhi oleh luas permukaan pori yang dihasilkan [8]. Selain itu, waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator, dan jenis aktivator adalah beberapa faktor lain yang mempengaruhi proses aktivasi, yang pada gilirannya mempengaruhi daya serap karbon aktif [9]. Oleh sebab itu pada penelitian ini suhu aktivasi menjadi variabel yang divariasikan.

Selain itu, efektivitas proses adsorpsi juga dapat ditunjukkan dengan suatu model. Model ini digunakan untuk mengevaluasi karakteristik adsorben yang digunakan dalam rehabilitasi lingkungan [10]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan menggunakan permodelan untuk mempelajari kinetika dekadarsi limbah cair batik cual melalui proses oksidasi maju. Selain itu, pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap morfologi dan ukuran pori karbon juga menjadi parameter yang diamati pada penelitian ini. Pengaruh waktu kontak karbon aktif terhadap penurunan kadar logam berat(Fe) pada limbah cair batik cual juga diamati.

METODE PENELITIAN

a. Pembuatan dan Aktivasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa

Pembuatan karbon dari tempurung kelapa diawali dengan membersihkan limbah tempurung kelapa dari sisa-sisa serabut kelapa yang menempel. Selanjutnya, tempurung kelapa dijemur di bawah sinar matahari sampai kering dan dibakar sampai menjadi arang. Tahapan berikutnya adalah penggerusan dan pengayakan menggunakan ayakan 100 mesh sampai diperoleh serbuk karbon.

Karbon yang telah diperoleh sebanyak 100 gram selanjutnya diaktivasi secara kimia menggunakan zat aktivator H₃PO₄ dengan konsentrasi 8 % sebanyak 400 ml selama 24 jam. Karbon selanjutnya dicuci menggunakan aquades sampai pH netral dan disaring. Selanjutnya proses pengeringan karbon dilakukan menggunakan oven pada temperatur 110°C selama 1 jam sampai kering. Setelah dilakukan aktivasi kimia, selanjutnya karbon diaktivasi kembali secara fisika dengan cara pemanasan pada suhu 800°C, 850°C dan 900°C dengan keadaan inert menggunakan gas nitrogen (N₂).

b. Karakterisasi Sampel Karbon Aktif

Serbuk karbon aktif yang telah diaktivasi secara kimia dan fisika pada penelitian ini dikarakterisasi menggunakan SEM untuk mengamati morfologi dan keberadaan pori. Hasil pengujian SEM selanjutnya dianalisis menggunakan *Software ImageJ*. Sampel juga dilakukan karakterisasi menggunakan *Brunaur, Emmett and Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan karbon aktif.

c. Pembuatan Kurva Standar

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan membuat larutan standar dengan mencampurkan limbah cair batik cual dan *aquades*. Pencampuran ini dilakukan dengan perbandingan volume batik cual terhadap *aquades* yaitu: 0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, dan 10:0. Setiap perbandingan larutan standar dilakukan pengujian Spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 200 – 800 nm. Data hasil pengujian UV-Vis digunakan untuk mengetahui hubungan antara nilai absorbansi dengan konsentrasi Logam Fe pada larutan. Selain

itu dilakukan pengujian menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) terhadap sampel limbah batik cual yang belum diencerkan. Setelah itu, dilakukan pembuatan kurva standar, lalu diperoleh kurva standar. Konversi persen pengenceran terhadap konsentrasi (ppm) limbah cair batik cual awal (limbah murni) dilakukan menggunakan Persamaan (1).

$$C \%_0 = \frac{C_{\%_1}}{C_{\%_0}} \times C_{ppm0} \quad (1)$$

Keterangan :

$C_{\%_0}$ = 100% (limbah murni)

C_{ppm0} = 0,43ppm (hasil AAS)

d. Adsorpsi Limbah Cair Batik Cual

Mekanisme dekarisasi dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif ke dalam 50 ml limbah cair batik cual. Adapun karbon yang telah diaktivasi digunakan sebanyak 1,75 gram dengan variasi waktu kontak 0, 40, 80, 120, 160. Pemisahan karbon aktif dengan larutan dilakukan menggunakan proses penyaringan menggunakan kertas saring. Efektivitas karbon aktif pada semua variasi waktu kontak diuji menggunakan Spektrofotometri UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 200-800 nm dan AAS.

e. Analisis Kinetika adsorpsi logam Fe

Kinetika dari proses adsorpsi logam Fe oleh karbon aktif terhadap limbah cair batik cual pada penelitian ini akan dilakukan dengan orde pertama, orde kedua dan Behnadjy-Modirshahla-Ghanbery (BMG). Studi kinetika adsorpsi karbon aktif akan dianalisis menggunakan *Software Wolfram Mathematice 11.3*

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakterisasi Karbon Tempurung Kelapa

Gambar 1 (a) menunjukkan penampakan karbon aktif yang telah diaktivasi secara kimia menggunakan aktivator H_3PO_4 dengan konsentrasi 8% dengan perbandingan. Sementara itu, Gambar 1 (b) menunjukkan penampakan karbon aktif yang telah diaktivasi secara kimia menggunakan aktivator H_3PO_4 dan dilanjutkan dengan aktivasi fisika pada suhu 800°C, 850°C dan 900°C dalam kondisi inert (dialiri gas N_2). Penggunaan gas inert bertujuan agar tidak adanya kontak dengan oksigen. Hasil penelitian menunjukkan proses aktivasi secara kimia dan fisika menyebabkan penurunan massa karbon sebanyak 10 gr. Hal ini disebabkan oleh pengurangan densitas karbon aktif.



(a)

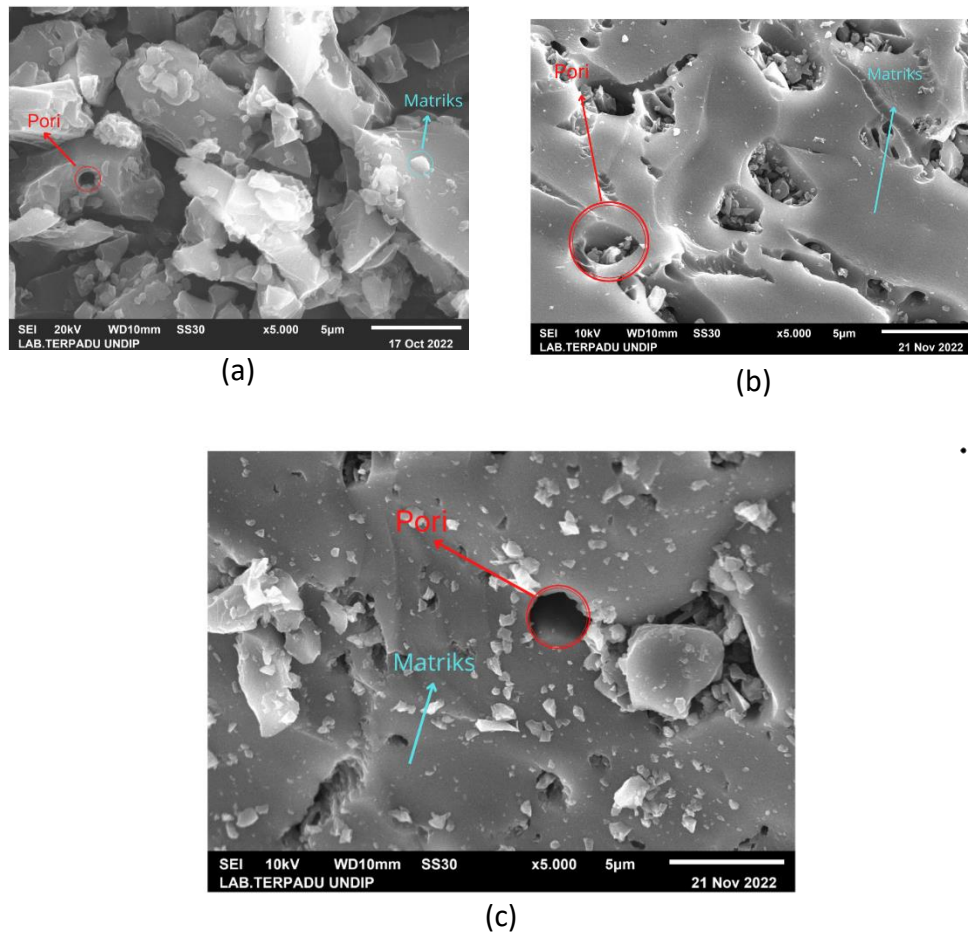


(b)

Gambar 1 (a) karbon setelah aktivasi kimia (b) karbon setelah aktivasi fisika

Gambar 2 menunjukkan morfologi karbon aktif yang diamati menggunakan pengujian SEM pada perbesaran 5.000 kali. Hasil pada Gambar 2 menunjukkan bahwa karbon aktif pada penelitian ini memiliki pori yang tersebar di seluruh permukaannya. Pori ini dihasilkan oleh

proses karbonisasi [11]. Selain itu, proses aktivasi secara kimia dan fisika juga menyebabkan pembentukan pori pada permukaan karbon aktif [6]. Hasil pengujian SEM selanjutnya dianalisis menggunakan *software* ImageJ untuk mengukur nilai *sphericity* dan diameter pori.



Gambar 2 karbon yang diaktivasi pada suhu (a) 800°C (b) 850°C (c) 900°C

Tabel 1 Hasil Scanning Electron Microscop

Parameter	Variasi Suhu Aktivasi		
	800°C	850°C	900°C
Sphericity (σ)	0,47	0,56	0,52
Diameter Pori (d)	40,11 μm	81,84 μm	55,50 μm

Tabel 1 menunjukkan nilai *sphericity* dan diameter pori yang dihasilkan pada penelitian ini. Berdasarkan data hasil analisis estimasi nilai *Sphericity* dan ukuran diameter pori, karbon tempurung kelapa memiliki ukuran pori yang masuk ke dalam katagori makro pori (>50nm). *Sphericity* menunjukkan geometri pori yang dihasilkan. Nilai ini berada pada rentang 0 sampai 1. Nilai *sphericity* sebesar 1 menunjukkan pori yang berbentuk lingkaran sempurna. Hasil data yang diperoleh dari nilai *Sphericity* memiliki rentang nilai antara 0,47 sampai 0,56. Hal ini menunjukkan bahwa geometri pori terdeteksi tidak terbentuk lingkaran yang sempurna.

Selain *sphericity*, Tabel 1 juga menunjukkan nilai diameter pori. Karbon yang telah diaktivasi pada suhu 850°C memiliki nilai diameter pori rata-rata terbesar, yaitu 81,84 μm . Diameter pori yang terkecil didapatkan dari temperatur aktivasi 800°C, yaitu sebesar 40,11 μm . Besar kecilnya ukuran pori karbon aktif dipengaruhi oleh kandungan karbon yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya kandungan karbon maka dapat menghasilkan pori yang

semakin banyak. Oleh karena itu, luas permukaan dan ukuran pori sangat penting untuk proses penyerapan karbon [13]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rijali dkk. (2015), luas permukaan pori yang besar dan kemampuan daya serap yang tinggi menjadikan karbon bersifat aktif. Aktivasi merupakan perubahan yang terjadi secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa dan senyawa sisa-sisa pengarang. Hal ini menyebabkan karbon perlu melalui proses aktivasi kimia dan fisika bertujuan untuk membuka pori-pori yang awalnya tertutup oleh senyawa-senyawa pengotor. Proses aktivasi dapat meningkatkan daya serap karbon. Karbon yang telah teraktivasi mampu mengikat senyawa-senyawa keluar melalui mikro pori-pori dari karbon aktif. Pori – pori yang semakin lebar akan mengakibatkan daya serap karbon semakin besar [14]. Temperatur aktivasi mempengaruhi kecepatan aktivasi. Temperatur yang semakin tinggi akan menyebabkan partikel bertumbukan lebih cepat satu sama lain [15]. Selain temperatur, kemampuan adsorpsi karbon aktif juga dipengaruhi oleh luas permukaan karbon. Semakin besar luas permukaan suatu adsorben, maka kapasitas atau daya adsorpsi juga semakin besar [16]. Pengukuran total volume pori pada karbon aktif dilakukan dengan Uji BET (Braunauer, Emmett dan Teller). Nilai total volume pori untuk masing – masing variasi suhu aktivasi ditampilkan pada Tabel 2. Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa sampel yang memiliki total volume pori tertinggi adalah sampel karbon yang diaktivasi pada suhu 850 °C.

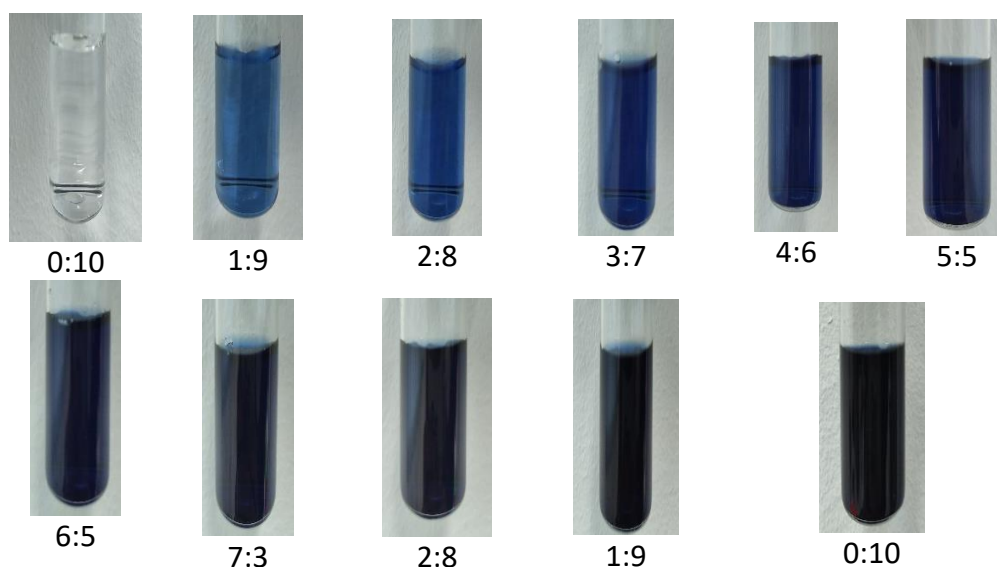
Tabel 2 Hasil pengujian Total Volume Pori

Temperatur Aktivasi	Total Volume Pori (cc/g)
800 °C	0,182
850 °C	0,2315
900 °C	0,1605

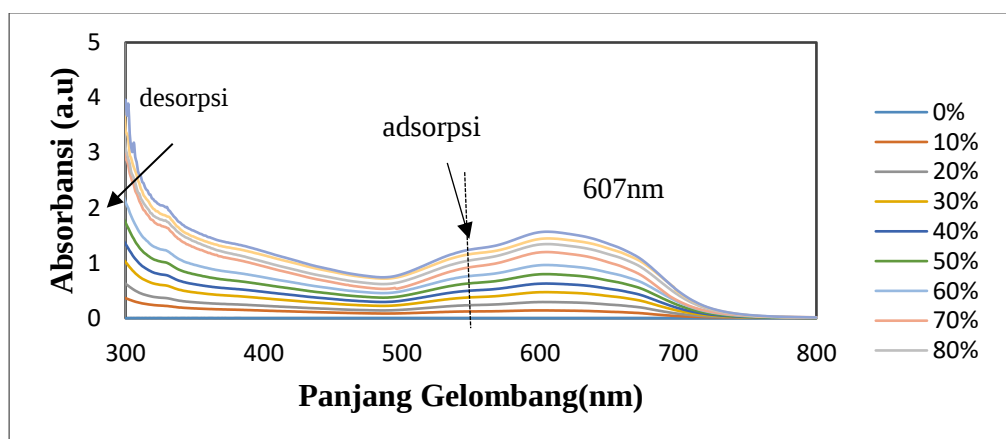
b. Kurva Standar Limbah Cair Batik Cual

Kandungan Fe pada limbah batik cual dianalisis berdasarkan hasil pengujian Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, limbah batik cual yang belum dimurnikan memiliki kandungan Fe sebesar 0,43 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa limbah batik cual memiliki kandungan logam berat, yaitu Fe dalam jumlah yang sangat tinggi. Selanjutnya, untuk menentukan panjang gelombang yang mampu diserap oleh limbah batik cual, dilakukan pembuatan kurva standar menggunakan pengenceran limbah batik cual yang telah diencerkan. Kurva standar digunakan untuk melakukan konversi nilai absorbansi yang dihasilkan dari spektrofotometri UV-Vis pada masing-masing sampel ke dalam nilai konsentrasi dengan asumsi bahwa kandungan logam Fe pada limbah batik cual tersebar secara homogen.

Gambar 3 menunjukkan penampakan limbah batik cual yang telah diencerkan menggunakan akuades dengan perbandingan akuades terhadap limbah batik cual 0:10, 1:9, 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2, 9:1, dan 10:0. Berdasarkan Gambar 3, dapat diamati bahwa penurunan konsentrasi dari limbah cair batik cual menurunkan kepekatan limbah tersebut. Perubahan larutan pada setiap konsentrasi yang dibandingkan antara limbah cair batik cual 100% dengan aquades. Setelah itu dilakukan pengujian spektrofotometri UV-Vis.



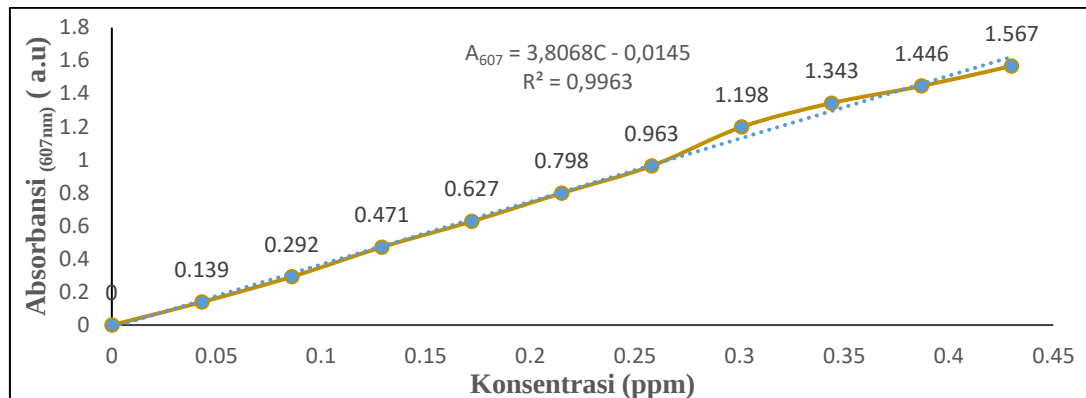
Gambar 3 Pengenceran limbah cair batik cual menggunakan aquades



Gambar 4 Kurva absorbansi UV-Vis larutan standar

Gambar 4 menunjukkan puncak serapan pengujian UV-Vis pada rentang panjang gelombang 300 – 800 nm untuk larutan standar yang konsentrasinya telah divariasikan. Berdasarkan Gambar 4, masing – masing variasi larutan standar memiliki nilai puncak absorbansi atau titik puncak saturasi. Puncak saturasi terjadinya ketika siklus sudah mengalami penurunan (desorpsi) kemudian naik (adsorpsi). Titik puncak saturasi menunjukkan panjang gelombang yang paling dominan yang mampu diserap oleh sampel limbah batik cual. Berdasarkan hasil yang didapatkan, titik puncak saturasi terdapat pada panjang gelombang 607 nm. Berdasarkan hasil pengujian AAS, kandungan paling dominan pada limbah batik cual adalah logam Fe. Oleh sebab itu, panjang gelombang 607 nm merupakan panjang serapan untuk Fe. Data nilai absorbansi maksimum pada Gambar 4 digunakan untuk menentukan konsentrasi Fe pada limbah batik cual dilakukan menggunakan Persamaan 1. Adapun hubungan antara konsentrasi larutan limbah terhadap nilai absorbansi maksimum ditampilkan pada Gambar 5. Hasil pada Gambar 5 menunjukkan bahwa, semakin tinggi konsentrasi limbah batik cual, nilai absorbansi pada panjang gelombang 607 nm juga semakin meningkat. Berdasarkan Hukum Lambert – Beer, kemiringan kurva pada Gambar 5 ini dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi Fe pada suatu larutan. Adapun nilai koefisien determinasi (R^2) yang dimiliki sebesar 0,9963. Nilai koefisien determinasi ini menunjukkan seberapa linier hubungan antara konsentrasi limbah batik cual terhadap nilai absorbansi. Nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi limbah batik cual terhadap konsentrasi bersifat linier. Adapun hubungan antara absorbansi

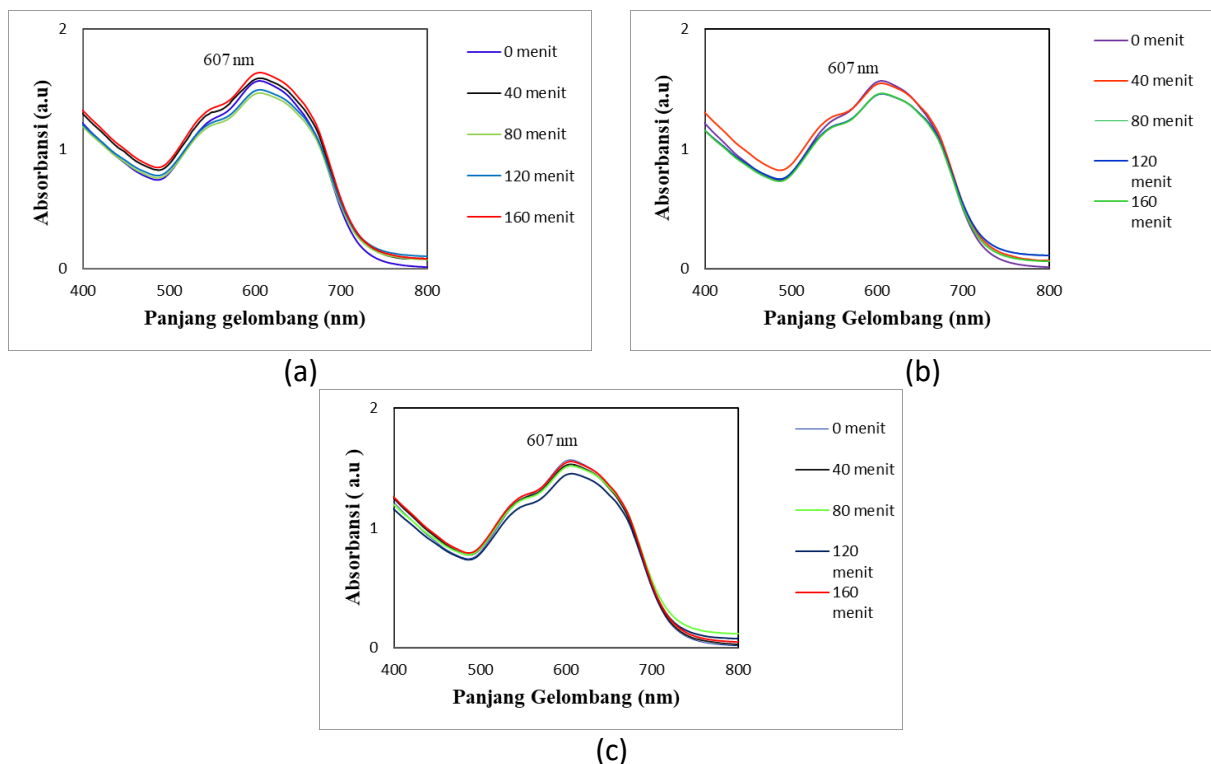
terhadap konsentrasi limbah pada gambar 5 secara matematis dapat dituliskan sebagai $A_{607} = 3,8068C - 0,0145$. A_{607} merupakan nilai absorbansi pada panjang gelombang 607nm, sementara itu, C adalah konsentrasi limbah cair batik cual (ppm).



Gambar 5 Hubungan antara konsentrasi terhadap nilai absorbansi pada panjang gelombang 607nm larutan standar.

c. Dekadarisasi Logam Fe pada Karbon Aktif

Dekadarisasi kandungan Fe pada limbah cair batik cual dilakukan menggunakan proses adsorpsi menggunakan karbon tempurung kelapa yang telah diaktivasi dengan variasi suhu 800°C, 850°C dan 900°C. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 0, 40, 80, 120, dan 160. Berdasarkan hasil analisa visual yang dilakukan, variasi suhu aktivasi tidak memberikan perubahan warna yang signifikan pada setiap waktu kontak. Akan tetapi, analisis lebih lanjut dilakukan menggunakan metode pengujian spektrofotometri UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 400 – 800 nm. Hasil pengujian spektrofotometri UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil Pengujian Spektrofotometri UV-Vis Limbah Cair Batik Cual Setelah diadsorpsi oleh karbon yang diaktivasi pada Temperatur 800°C (a), 850°C (b), dan 900°C (c)

Hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa variasi waktu aktivasi karbon tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai absorbansi pada panjang gelombang 607 nm. Akan tetapi hasil pada Gambar 6 menunjukkan bahwa, semakin lama waktu kontak yang diberikan, nilai absorbansi mengalami penurunan yang ditunjukkan oleh kurva yang semakin melandai. Titik puncak absorbansi berbanding lurus terhadap konsentrasi Fe pada limbah batik cual. Hal ini menunjukkan bahwa, waktu kontak yang semakin lama mampu meningkatkan persentase Fe yang diserap oleh karbon aktif sehingga kandungan Fe pada larutan mengalami penurunan.

d. Kinetika Adsorpsi Logam Fe Limbah Batik Cual pada Karbon Aktif

Setelah mendapatkan hasil pengujian secara keseluruhan, model orde pertama, orde kedua, dan BMG digunakan untuk menganalisis kinetika adsorpsi logam besi. Hasil analisis yang dilakukan yaitu memasukkan data konsentrasi akhir dari logam Fe yang teradsorpsi. Logam Fe yang teradsorpsi dipengaruhi oleh konsentrasi akhir logam Fe yang diperoleh dari pengujian Spektrofotometri UV-Vis. Konsentrasi Fe yang teradsorpsi bersama dengan waktu kontak adsorpsi dilakukan analisis pemodelan menggunakan Wolfram Mathematica 11.3 berdasarkan hasil analisis yang dilakukan menggunakan wolfram Mathematica 11.3 diperoleh nilai konstanta laju reaksi pada setiap model kinetika. Nilai konstanta laju yang semakin besar menandakan bahwa proses adsorpsi yang dilakukan semakin cepat dan didapatkan juga nilai koefisien determinasi (R^2) dari tiap model. Hasil analisis pemodelan tersebut pada Tabel 3.

Tabel 4 Hasil koefisiensi determinasi dan konstanta pada limbah batik cual

Model kinetika	Parameter	Variasi temperatur karbon		
		800°C	850°C	900°C
Orde Pertama	R^2	0,9956	0,9911	0,9943
	K	-2,22045x 10-16	-4,44089x10-16	0
Orde Dua	R^2	0,9973	0,9993	0,9986
	K	0,000879	0,002189	0,001438
BMG	R^2	0,9974	0,9998	0,9992
	M	143.565	421.726	138.354
	b	19.4307	6,87566	13.0583

Keterangan :

R^2 = Koefisien determinasi

K= Konstanta laju reaksi

m= Kapasitas oksidasi

b= Kinetika reaksi

Berdasarkan hasil model kinetika yang telah dilakukan, didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih dari 0,9 terdapat pada semua model kinetika, akan tetapi pada model kinetika orde pertama untuk nilai k (konstanta) itu dari ketiga sampel bernilai 0 dan di bawah 0/ negatif hal ini mengidentifikasi pada proses adsorpsi terjadi perlambatan dan tidak mungkin terjadi proses absorpsinya. Untuk model kinetika orde kedua pada ketiga sampel bernilai diatas

0 dan mengalami proses adsorpsi. Untuk model BMG didapatkan dari sampel 800°C nilai konstanta reaksi $b = 19.4307$ dan $m = 143.565$ untuk sampel 850°C bernilai $b = 421.726$ dan $m = 6,87566$ dan untuk sampel 800°C bernilai $b = 138,354$ dan $m = 13.0583$. Besarnya oksidasi maju pada limbah cair batik cual dengan pemodelan BMG ini dilihat dari nilai kedua konstanta tersebut. Maka fisik dari kedua konstanta ini besarnya nilai konstanta m mewakili laju dekarisasi logam Fe pada warna limbah cair batik cual. Konstanta karakterisasi Dalam model BMG, dua konstanta karakterisasi, b dan m , berhubungan dengan kinetika reaksi dan kapasitas oksidasi (Behnajady, et al., 2007). Melalui hasil analisis model kinetika BMG dari ketiga variasi temperatur karbon aktif yang memiliki nilai paling mendekati nilai 1 atau nilai laju absorpsinya lebih baik yaitu pada penggunaan temperatur 850°C dengan nilai (R^2) = 0,999832, nilai konstanta (b) = 6,87566 dan nilai kapasitas oksidasi (m) = 421.726. Dalam hal ini pemodelan yang paling sesuai dalam adsorpsi limbah cair batik cual dengan menggunakan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan temperatur karbon aktif adalah model kinetika BMG

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai *Sphericity* tertinggi dimiliki oleh karbon yang diaktivasi pada suhu 850°C dengan nilai sebesar 0,56 dan diameter ukuran sebesar 81,84 μm . Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa variasi suhu aktivasi karbon aktif yang dihasilkan pada penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan adsorpsi karbon aktif tersebut. Akan tetapi, waktu kontak yang semakin lama mampu meningkatkan tingkat dekarisasi logam berat yang terkandung pada limbah cair batik cual. Hasil pemodelan kinetika adsorpsi logam Fe yang terkandung dalam limbah batik cual menunjukkan bahwa model BMG merupakan model kinetika yang paling sesuai dengan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Magdalena and H. Santoso, "Strategi Mengenali Motif Khas Kain Tenun Cual Bangka Dengan AHP," *Informatics Journal*, pp. 96-112, 2016.
- [2] Sandi, D. Nurdandi, F. Afriani and Y. Tiandho, "P. Pengaruh Jarak Antar Plat Dalam Penjernihan limbah Batik Cual Dengan Metode Elektrokoagulasi," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Pada Masyarakat*, no. 978-602-61545-0-7, pp. 12-14, 2019.
- [3] R. Aprilianti, H. Aldila and W. B. Kurniawan, "Kajian variasi massa karbon aktif dan waktu kontak terhadap kinetika adsorpsi ion logam besi (Fe) pada limbah cair batik cual," *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. IV, no. 2, pp. 92-100, 2024.
- [4] M. Jaishankar, T. Tseten, N. Anbalagan, B. B. Mathew, c. author and K. N. Beeregowda, "Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals," *Interdiscip Toxicol*, vol. 7, p. 60-72, 2014.
- [5] S. Huda, R. D. Ratnani and L. Kurniasari, "Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Ori (Bambusa Arundinacea) yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl)," vol. 5, no. 2527-614X, pp. 22-27, 2020.
- [6] D. Marina and W. B. Kurniawan, "Karakteristik Karbon Aktif Limbah Kulit Lada (Piper Nigrum L) sebagai Elektroda Superkapasitor," *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 02, pp. 07-14, 2021.
- [7] Megiyo, A. Noor, N. Farika and H. Aldila, "sintesis karbon berpori limbah tangkai buah lada putih bangka (Muntok white pepper) sebagai elektroda superkapasitor," Pangkalpinang, 2019.

- [8] R. Idrus, B. P. Lapanporo and Y. S. Putra, "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa," *PRISMA FISIKA*, vol. 1, no. 2337-8204, pp. 50-55, 2013.
- [9] S. Jamilatun and M. Setyawan, "Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa dan Aplikasinya untuk Penjernihan Asap Cair," *Spektrum Industri*, vol. 12, no. 1963-6590, pp. 1-12, 2014.
- [10] R. B. Hollea, A. D. Wuntua and M. S. Sangia, "Kinetika Adsorpsi Gas Benzena Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa," *Jurnal Mipa Unsrat Online 2 (2)*, vol. 2, pp. 100-104, 2013.
- [11] S. Wibowo, W. Syafi and G. Pari, "Karakterisasi Permukaan Arang aktif Tempurung Biji Nyamplung," *Makara, Teknologi*, vol. 15, pp. 17-24, 2011.
- [12] L. L. Mendame, P. Silangen and A. Rampengan, "Perbandingan Karakterisasi Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Tempurung Kemiri Menggunakan Scanning Electron Microscopic Dan Fourier Transform Infra Red," *Jurnal FISTA: Fisika Dan Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 105-108, 2021.
- [13] E. Kurnianti, "Pemanfaatan cangkang Kelapa sawit sebagai arang aktif," *jurnal penelitian ilmu teknik*, vol. 8, pp. 96-103, 2008.
- [14] Z. Efendi and Astuti, "Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Morfologi dan Jumlah Pori Karbon Aktif Tempurung Kemiri sebagai Elektroda," *Jurnal Fisika Unand*, 2016.
- [15] R. Kurniawan, M. Lutfi and W. A. N, "Karakterisasi Luas Permukaan Bet (Braunear, Emmelt Dan Teller) Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Asam Fosfat (H_3PO_4)," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 2 No 1, pp. 15-0, 2014.
- [16] Y. Tiandho, W. Sunanda, F. Afriani, A. Indriawati and T. Handayani, "Accurate model for temperature dependence of solar cell performance according to phonon energy," *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 55, no. 5, pp. 15-25, 2018.
- [17] I. Syauqiah, M. Amalia and H. A. Kartini, "Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif," *Info Teknik*, vol. 12, pp. 11-20, 2011.
- [18] Y. Tiandho, "Analisis kuantitatif pori berdasarkan pengolahan citra menggunakan wolfram mathematica," *Kumpulan jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*, 2017.