



Adsorpsi Logam Krom (Cr) Total Limbah Cair Batik Menggunakan Karbon Aktif Ampas Kopi

Galih Fitriyani¹, Indah Nurhayati^{*2}, Joko Sutrisno³, Sugito⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

ARTICLE INFO

Article history:

Received May, 2024

Revised May, 2024

Accepted Juny, 2024

Available online July, 2024

Kata Kunci:

Adsorpsi, Karbon aktif ampas kopi, Limbah cair batik

Keywords:

Adsorption, Batik liquid waste, Cr, Coffee grounds activated carbon

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2024 by Author. Published by Universitas PGRI ADI BUANA SURABAYA.

ABSTRAK

Salah satu cemaran yang dihasilkan limbah cair batik adalah kromium (Cr) yang bersifat karsinogenik. Kandungan hidrokarbon dan selulosa ampas kopi yang tinggi dapat digunakan sebagai karbon aktif untuk mengadsorpsi Cr limbah cair batik. Penelitian ini bertujuan mengkaji kualitas karbon aktif ampas kopi, mengetahui kapasitas karbon aktif ampas kopi dalam menurunkan kadar Cr limbah batik dengan variasi waktu kontak dan berat adsorben. Variabel penelitian ini adalah berat karbon aktif ampas kopi 0.4, 0.8, dan 1.2 gram dan waktu kontak 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Penelitian ini menggunakan sistem batch dalam skala laboratorium. Penelitian ini memberikan hasil karbon aktif ampas kopi dapat mengadsorpsi Cr limbah sintesis tertinggi 96.70% terjadi pada berat karbon aktif ampas kopi 1.2 g dan waktu kontak 150 menit. Proses adsorpsi logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi memenuhi persamaan Langmuir. Karbon aktif ampas kopi dapat mengadsorpsi Cr limbah batik 98.45%, konsentrasi akhir sudah memenuhi baku mutu.

ABSTRACT

One of the contaminants produced by liquid batik waste is chromium (Cr), which is carcinogenic. The high hydrocarbon and cellulose content in coffee grounds can be used as active carbon to adsorb total Cr in batik liquid waste. This research aims to examine the quality of coffee grounds activated carbon, determine the capacity of coffee grounds activated carbon in reducing Cr levels in batik waste with variations in contact time and adsorbent mass. The variables in this study were the weight of coffee grounds activated carbon of 0.4, 0.8, and 1.2 grams and contact time of 30, 60, 90, 120, and 150 minutes. This research uses a batch system on a laboratory scale. This research shows that coffee grounds activated carbon can adsorb the highest synthetic waste Cr of 96.70%, which occurs at a coffee grounds activated carbon weight of 1.2 g and a contact time of 150 minutes. The Cr metal adsorption process using coffee grounds activated carbon fulfills the Langmuir equation. Coffee grounds activated carbon can adsorb 98.45% Cr from batik waste, the final concentration meets quality standards.

I. PENDAHULUAN

Batik Indonesia menjadi semakin terkenal setelah memperoleh pengakuan dari *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO) pada 2 Oktober 2009 sebagai warisan pusaka dunia (1). Pemerintah juga berusaha untuk meningkatkan kesadaran masyarakat agar melindungi dan mengembangkan batik Indonesia melalui Kepres No. 33 Tahun 2009 sebagai Hari Batik Nasional (1). Batik banyak dipakai oleh masyarakat golongan tua maupun remaja. Para tokoh masyarakat, pejabat, artis dan masyarakat banyak yang menggunakan batik sebagai pakaian resmi maupun santai. Meningkatnya permintaan batik menyebabkan tumbuh dan berkembangnya sentra batik di berbagai daerah. Salah satu sentra batik tulis yang terkenal adalah kampung batik Jetis Sidoarjo Jawa Timur. Kampung batik ini banyak terdapat Usaha Kecil Mikro Menengah (UMKM) batik tulis.

Salah satu proses pembuatan batik adalah pewarnaan. Batik biasanya menggunakan pewarna naphthol, indanthrene, procion, direk dan indigosol. Kemungkinan pewarna batik mengandung logam berat, yaitu

*Corresponding author.

E-mail addresses: indahnurhayati@unipasby.ac.id

Cr (2). Proses pencelupan dan pencucian kain batik menghasilkan limbah cair yang mengandung zat warna. Ciri khas limbah batik umumnya mengandung zat warna, Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), lemak, minyak, dan Total Suspended Solid (TSS) (3). Limbah batik juga mengandung logam seperti Cu, Zn, Cr dan Pb (4). Limbah cair industri batik berpotensi menyebabkan pencemaran jika tidak dilakukan pengolahan dengan tepat.

Salah satu cemaran yang terdapat dalam limbah industri batik adalah Cr. Logam Cr bersifat toksik, dan persisten. Di lingkungan Cr sulit terurai dan mengalami bioakumulasi di dalam tubuh organisme melalui rantai makanan (5). Keberadaan Cr dalam tubuh dapat menyebabkan kerusakan liver dan ginjal (6).

Ampas kopi memiliki kandungan karbon antara 47.8 – 58.9%, nitrogen 1.9-2.3%, selulosa 8.6% (7), lignin, alkaloid, tanin polifenol (8). Bentuknya serbuk sehingga ampas kopi mempunyai luas permukaan yang tinggi sehingga dapat digunakan sebagai adsorben. Pembuatan karbon aktif ampas kopi dengan pemanasan 400⁰C dan diaktivasi dengan HCl 1 M menghasilkan karbon aktif yang SNI 06-3730-1995 (7). Karbonasi ampas kopi dengan suhu 500⁰C selama 20 menit, diaktivasi menggunakan HCl 0.5 M selama 48 jam menghasilkan karbon aktif yang sesuai SNI 06-3730-1995 (9). Karbon aktif dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas, logam berat, dan zat warna (10). Karbon aktif ampas kopi dapat menjadi salah satu alternatif sebagai adsorben dalam mengolah limbah batik

Sudah banyak penelitian tentang penggunaan arang aktif ampas kopi sebagai adsorben. Pengolahan air sumur menggunakan arang aktif ampas kopi dengan ketebalan 80 cm dapat menurunkan Fe 87.76% (9). Ampas kopi robusta dengan dosis 8 gr/L selama 2 jam dapat mengadsorpsi timbal 48.58% (11).

Isoterm adsorpsi menggambarkan hubungan antara zat yang diadsorpsi oleh adsorben pada suhu tetap dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan keseimbangan. Model isoterm adsorpsi yang banyak digunakan adalah model Langmuir dan Freundlich. Bentuk persamaan linear isoterm Langmuir adalah sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{W} = \frac{1}{a}C_e + \frac{1}{a \cdot b} \dots \dots \dots (1)$$

W = Efektifitas adsorpsi (mg/g)

b = Konstanta Langmuir (mg/L)

C_e = Konsentrasi Kesetimbangan (konsentrasi sisa)

a = Kapasitas atau daya adsorpsi maksimum (mg/g) (12).

Berdasarkan pada latar belakang diatas maka Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji kualitas karbon aktif ampas kopi, mengetahui kapasitas karbon aktif ampas kopi dalam menurunkan kadar Cr limbah batik dengan variasi waktu kontak dan massa adsorben.

II. METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium dengan 2 kali pengulangan. Penelitian dilakukan dengan sistem batch menggunakan elenmeyer, oven, muffle furnace, shaker, dan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Pada penelitian ini menggunakan limbah buatan (artifisial) larutan Cr(NO₃)₃ dan limbah batik diambil dari salah satu UMKM di sentra batik Kampung Jetis Sidoarjo Jawa Timur. Ampas kopi didapatkan dari PT Santos Jaya Abadi.

Pembuatan Karbon Aktif Ampas Kopi

Mengeringkan ampas kopi menggunakan oven dengan suhu 105⁰C selama 5 jam. Karbonisasi ampas kopi menggunakan suhu 450⁰C selama 45 menit. Menyaring ampas kopi dengan saringan 100 mesh. Mengaktivasi karbon ampas kopi dengan merendam 150 gr ampas kopi dalam 500 ml larutan HCl 0.1 M selama 48 jam. Menyaring dan mencuci karbon ampas kopi menggunakan aquadest sampai netral. Mengeringkan karbon aktif dengan oven suhu 110⁰C selama 3 jam (13). Menganalisis kualitas karbon aktif dengan mengukur rendemen, kadar abu dan daya serap iodin dan membandingkan dengan baku mutu arang aktif yaitu (SNI No. 06-3730-1995)

Penentuan Berat Karbon Aktif dan Waktu Kontak Optimum

Membuat limbah buatan dengan melarutkan Cr(NO₃)₃ ke dalam aquades. Memasukan karbon aktif ampas kopi ke dalam 3 erlenmeyer, dengan berat masing-masing 0.4 g, 0.8 g dan 1.2 g. Memasukan 100

ml larutan krom sintetis ke masing- masing erlenmeyer. Menghomogenkan larutan menggunakan shaker dengan kecepatan 100 rpm selama waktu kontak yang divariasikan yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Menganalisis Cr menggunakan AAS.

Adsorpsi Karbon Aktif Ampas Kopi Pada Limbah Cair Batik

Menganalisis kadar Cr limbah batik sebelum diadsorpsi. Mengatur pH menjadi ± 7 dengan menambahkan HCl jika suasana basa dan NaOH jika suasana asam. Mengadsorpsi Cr limbah batik berdasarkan hasil analisis berat karbon aktif dan waktu kontak optimum dari limbah buatan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kualitas Karbon Aktif Ampas Kopi

Analisis kualitas karbon aktif bertujuan untuk mengetahui kualitas karbon aktif ampas kopi yang dihasilkan dengan harapan karbon aktif dapat digunakan untuk mengadsorpsi krom dalam air limbah.. Kualitas karbon aktif ampas kopi disajikan dalam Tabel 1. Nilai rendemen karbon aktif menunjukkan besarnya karbon aktif yang diperoleh setelah proses karbonisasi dan aktivasi. Rendemen karbon aktif ampas kopi diperoleh sebesar 35.23%. Nilai rendemen cukup tinggi sehingga layak limbah ampas kopi untuk dibuat menjadi karbon aktif.

Daya serap iod menunjukkan kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi adsorbat (10). Dari table 1 menunjukkan daya serap iod karbon ampas kopi sebesar 880.686 mg/g, sesuai SNI SNI No. 06-3730-1995 daya serap iod minimal 750 mg/g. Tingginya daya serap iod menunjukkan bahwa hidrokarbon yang berada di permukaan karbon akan terbuang pada saat diaktivasi, sehingga karbon menjadi aktif untuk mengadsorpsi adsorbat.

Kadar air karbon aktif menunjukkan sifat higroskopis karbon aktif. Kadar air karbon aktif sebesar 11.2%, sudah sesuai SNI karena kurang dari 15%. Semakin rendah kadar air menunjukkan pori-pori karbon aktif yang tertutup sedikit air (7).

Nilai kadar abu menunjukkan jumlah oksida yang terdapat dalam karbon aktif. Kadar abu karbon aktif ampas kopi 0.003%, sudah sesuai SNI karena kurang dari 10%. Kadar abu karbon ampas kopi tergolong rendah, hal ini menunjukkan bahwa pori-pori tidak tersumbat dan luas permukaan karbon aktif tinggi (7).

Berdasarkan parameter kadar air, kadar abu dan daya serap iodium karbon aktif ampas kopi sesuai SNI No. 06-3730-1995, nilai rendemen cukup tinggi sehingga layak digunakan sebagai adsorben ion logam krom dalam limbah batik. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, yaitu karbon aktif ampas kopi dengan karbonasi 400°C dengan aktivasi HCl 0.5 M dan 0.1 M sesuai SNI No. 06-3730-1995 (7).

Tabel 1. Kualitas Karbon Aktif Ampas Kopi

Parameter	Hasil	Baku Mutu*)
Rendemen (%)	35.23	-
Kadar Air (%)	11.2	Max. 15%
Kadar Abu (%)	0.003	Max. 10%
Daya Serap Iodin (mg/g)	880.686	Min. 750

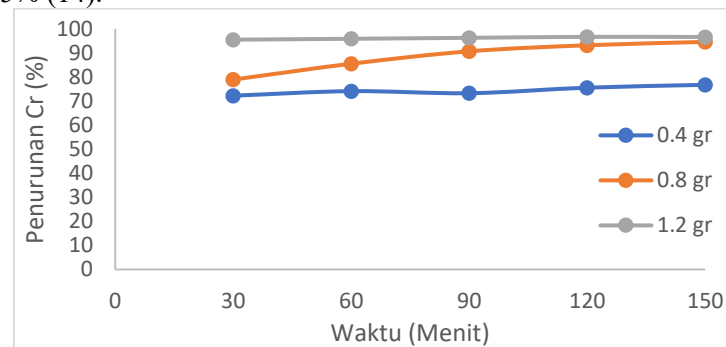
*) SNI No. 06-3730-1995

Penentuan Waktu Kontak Optimum Karbon aktif Ampas Kopi Terhadap penurunan kadar Cr

Gambar 1 menunjukkan bahwa karbon aktif ampas kopi berfungsi sebagai adsorben Cr dalam limbah buatan. Waktu kontak berpengaruh terhadap efisiensi penurunan kadar Cr. Semakin lama waktu kontak mulai dari 30 menit sampai 150 menit efisiensi penurunan Cr semakin tinggi. Karbon aktif 0.4, 0.8 dan 1.2 g pada waktu kontak 30 menit dapat menurunkan Cr masing-masing 72.25%, 78.95% dan 95.53%, dan dengan waktu kontak menjadi 150 menit efisiensi meningkat menjadi 76.75%, 94.6% dan 96.65%.

Penurunan ion Cr terjadi karena karbon ampas kopi sudah diaktivasi sehingga permukaan luas dan mampu mengadsorpsi ion logam krom dalam limbah buatan. Peningkatan penurunan Cr terjadi karena semakin lama waktu kontak semakin banyak logam Cr bersinggungan dengan karbon aktif, sehingga semakin banyak logam Cr yang teradsorpsi dalam pori-pori karbon aktif (14).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya bahwa adsorpsi logam Cu menggunakan karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii dengan waktu kontak 10 – 120 menit semakin meningkat dari 33.57% menjadi 54.45% (14).



Gambar 1. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan

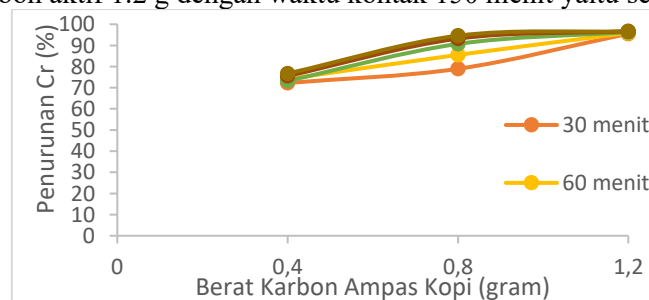
Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Efisiensi Penurunan Cr

Berdasarkan variasi berat karbon aktif ampas kopi, Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin bertambah berat karbon aktif ampas kopi mulai dari 0.4, 0.8 dan 1.2 g, semakin meningkat penurunan Cr. Dalam waktu kontak 150 menit berat karbon 0.4 g dapat menurunkan Cr 76.75%, berat 0.8 g menurunkan Cr 94.6% dan berat 1.2 g dapat menurunkan Cr 96.65%.

Semakin berat karbon aktif ampas kopi semakin tinggi efisiensi penurunan ion Cr karena semakin banyak karbon aktif ampas kopi menyebabkan meningkatnya jumlah luas permukaan adsorben (15). Semakin besar karbon aktif maka semakin banyak gugus aktif yang tersedia sehingga pertukaran H^+ dengan logam Cr total semakin meningkat (16).

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian tentang penggunaan ampas daun teh sebagai adsorben ion Cr limbah artifisial didapatkan hasil bahwa kapasitas adsorpsi terbesar 0.06 mg/g terjadi pada berat adsorben 0.4 g dan terkecil 0.045 mg/g terjadi pada berat 1 g (16)

Berdasarkan pada pengaruh waktu kontak dan massa karbon aktif terlihat bahwa penurunan Cr terendah berada pada berat karbon aktif 0.4 g dengan waktu kontak 30 menit yaitu sebesar 72.25 % dan tertinggi pada massa karbon aktif 1.2 g dengan waktu kontak 150 menit yaitu sebesar 96.70 %.



Gambar 2. Pengaruh Berat Adsorben Terhadap Penurunan Cr

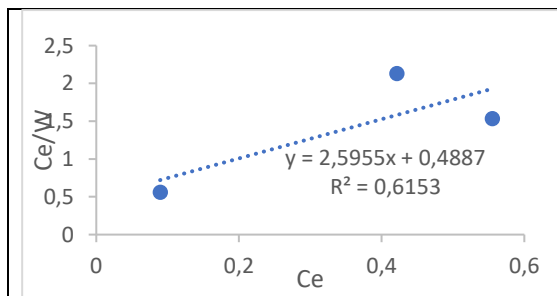
Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi Langmuir karbon aktif ampas kopi dalam mengadsorpsi ion Cr total dapat diketahui dengan membuat grafik hubungan antara C_e dengan C_e/W . Data isoterm Langmuir tersaji dalam Tabel 2. Grafik isoterm Langmuir adsorpsi ion Cr total, dengan waktu kontak 30, 60, 90, 120 dan 150 menit disajikan dalam Gambar 3 s/d Gambar 7.

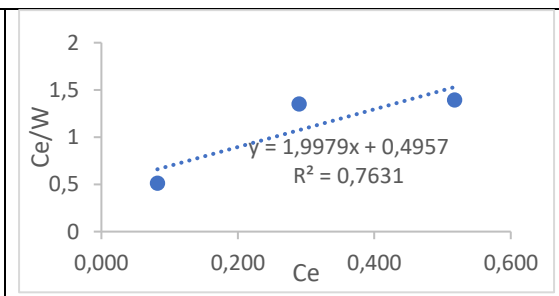
Tabel 2. Data Isoterm Langmuir

Volume (L)	Masa adsorben (g)	Waktu kontak (menit)	Konsentrasi awal (C_0) (mg/L)	Konsentrasi akhir (C_e) (mg/L)	Efektifitas adsorpsi (W) (mg/g)	C_e/W
0.1	0.4	30	2	0.5550	0.3613	1.5363
0.1	0.8	30	2	0.4210	0.1974	2.1330
0.1	1.2	30	2	0.0895	0.1592	0.5622
0.1	0.4	60	2	0.5175	0.3706	1.3963

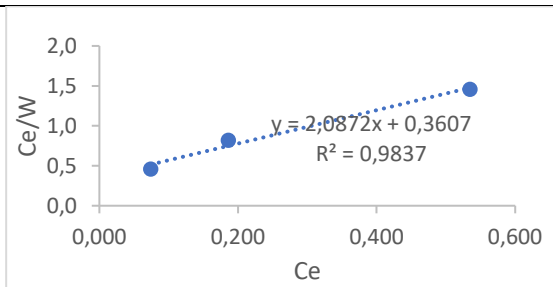
0.1	0.8	60	2	0.2895	0.2138	1.3540
0.1	1.2	60	2	0.0820	0.1598	0.5130
0.1	0.4	90	2	0.5345	0.3664	1.4589
0.1	0.8	90	2	0.1860	0.2268	0.8203
0.1	1.2	90	2	0.0740	0.1605	0.4611
0.1	0.4	120	2	0.4885	0.3779	1.2928
0.1	0.8	120	2	0.1360	0.2330	0.5837
0.1	1.2	120	2	0.0660	0.1612	0.4095
0.1	0.4	120	2	0.4650	0.3838	1.2117
0.1	0.8	120	2	0.1080	0.2365	0.4567
0.1	1.2	120	2	0.0670	0.1611	0.4159



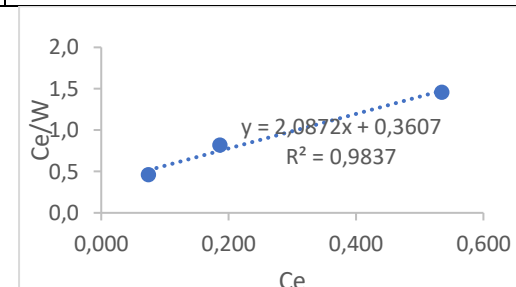
Gambar 3. Kurva Isoterm Langmuir Waktu Kontak 30 Menit



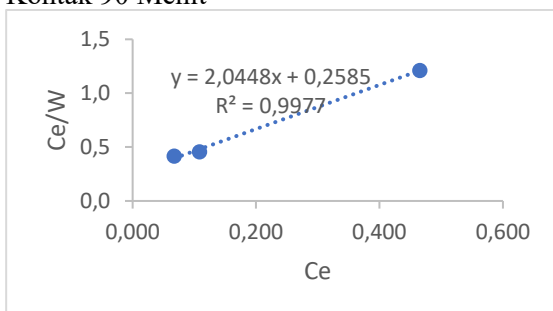
Gambar 4. Kurva Isoterm Langmuir Waktu Kontak 60 Menit



Gambar 5. Kurva Isoterm Langmuir Waktu Kontak 90 Menit



Gambar 6. Kurva Isoterm Langmuir Waktu Kontak 120 Menit



Gambar 7. Kurva Isoterm Langmuir Waktu Kontak 150 Menit

Dari gambar 3 sampai 7 kurva Isoterm langmuir menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak semakin lurus garisnya sehingga menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi mengikuti persamaan isoterm langmuir.

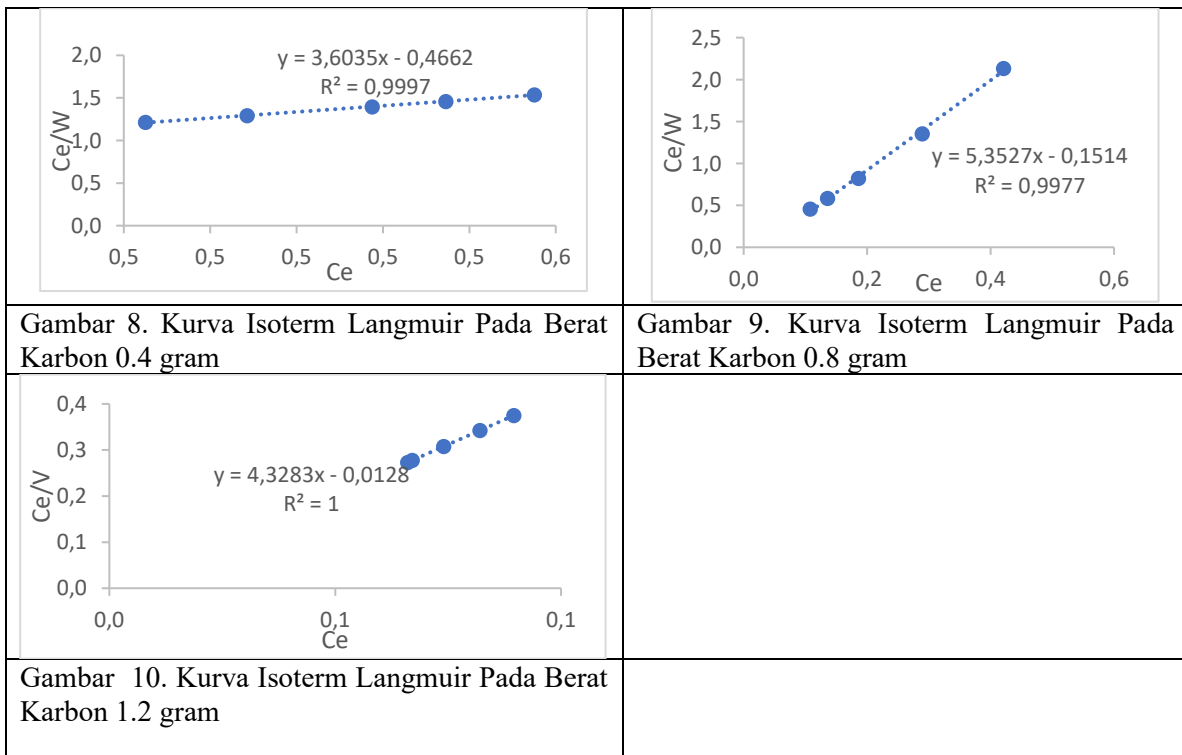
Tabel 3. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Langmuir

Waktu (menit)	Langmuir		R ²
	a	b	
30	0.3853	5.3110	0.6153
60	0.5005	4.0305	0.7631
90	0.4791	5.7865	0.9837
120	0.4843	7.2023	0.9990
150	0.4890	7.9103	0.9977

Berdasarkan pada tabel 3 menunjukkan bahwa nilai R² (koefisien determinasi) antara 0.6153 – 0.9977 dan nilai a (kapasitas adsorpsi maksimum) antara 0.3853 - 0.4890 mg/g. nilai R² semakin lama waktu kontak semakin tinggi (mendekati 1). Hal ini menunjukkan grafik linierisasi semakin baik. Data ini mengindikasikan adsorpsi logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi sesuai dengan isoterm langmuir yang mengindikasikan adsorpsi berlangsung hanya satu lapis (mono layer) situs permukaannya bersifat homogen, masing-masing hanya dapat mengadsorpsi 1 molekul. Semakin lama waktu kontak nilai a (kapasitas adsorpsi maksimum) juga semakin besar hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak kapasitas adsorpsi maksimum semakin besar (17).

Pengaruh berat Karbon Aktif

Grafik isoterm langmuir adsorpsi ion Cr total, dengan berat adsorben 0.4 g, 0.8 g dan 1.2 g disajikan dalam Gambar 8 s/d Gambar 10. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan perbedaan berat adsorben pada proses adsorpsi logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi mengikuti persamaan isoterm langmuir.



Tabel 5 Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Isoterm Langmuir

Massa karbon (gram)	Langmuir		R ²
	a	b	
0.4	0.2775	-7.7295	0.9977
0.8	0.1868	-35.3547	0.9977
1.2	0.2310	-338.1484	1.0000

Berdasarkan pada tabel 5 menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi (R^2) antara 0.9977 – 1 dan nilai a (kapasitas adsorpsi maksimum) berada pada kisaran 0.1868 - 0.2775 mg/g. Angka ini menunjukkan bahwa grafik linierisasi sangat baik dan mengindikasikan adsorpsi logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi sesuai dengan isoterm langmuir yang mengindikasikan adsorpsi berlangsung hanya satu lapis (monolayer).

Adsorpsi Karbon Aktif Ampas Kopi Pada Limbah Cair Industri Batik

Penelitian pengaruh waktu kontak dan berat karbon aktif ampas kopi terhadap efisiensi penurunan ion Cr pada air limbah sintesis mendapatkan hasil bahwa berat karbon aktif ampas kopi 1.2 gr dengan waktu kontak optimum sebesar 150 menit memberikan hasil penyerapan ion Cr tertinggi. Berdasarkan kondisi optimum waktu kontak dan berat adsorben, maka hasil penelitian ini diaplikasikan untuk mengolah air limbah industri batik. Hasil efisiensi penurunan ion Cr air limbah industri batik disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Efisiensi Adsorpsi logam Cr Total Pada Limbah Cair Batik

Sampel (Duplo)	Konsentrasi Awal (mg/l)	Konsentrasi Akhir (mg/l)	Baku (mg/L)	Mutu Efisiensi Penyisihan (%)
A1	2.7449	0,0408	1	98,51
A2	2.7449	0,0443	1	98,39
Rerata	-	0,0425	1	98,45

Berdasarkan Tabel 6. dapat diketahui bahwa konsentrasi akhir logam Cr total pada limbah cair batik sudah memenuhi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 Tentang Baku Mutu Air Limbah Untuk Industri Tekstil.

IV. KESIMPULAN

Adsorpsi Cr pada limbah cair batik menggunakan karbon aktif ampas kopi disimpulkan bahwa ada karbon aktif ampas kopi yang diaktivasi menggunakan HCl menghasilkan karbon aktif yang sesuai SNI No. 06-3730-1995. Karbon aktif ampas kopi dapat mengadsorpsi Cr limbah sintesis tertinggi 96.70% terjadi pada berat karbon aktif ampas kopi 1,2 g dan waktu kontak 150 menit. Proses adsorpsi logam Cr menggunakan karbon aktif ampas kopi memenuhi persamaan Langmuir. Karbon aktif ampas kopi dapat mengadsorpsi Cr limbah batik 98.45%, konsentrasi akhir Cr sudah memenuhi baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Marganus E. Analisis Keunggulan Komparatif dan Kompetitif Ekspor Batik Indonesia Analysis of the Comparative and Competitive Advantages of Indonesian Batik Exports. Diversity. 2021;1(2):124–5.
- Fidiastuti, H.S., Lathifah AS. Uji Karakteristik Limbah Cair Industri Batik Tulungagung: Penelitian Pendahuluan. In: Seminar Nasional Pendidikan Biologi Dan Saintek Iii [Internet]. 2018. hal. 296–300. Tersedia pada: <https://publikasiilmiah.ums.ac.id>
- Hardyanti IS, Nurani I, Septyaningsih D, Hp H, Apriliani E, Prastyo EA. Pemanfaatan Silika (SiO₂) dan Bentonit sebagai Adsorben Logam Berat Fe pada Limbah Batik. J Sains Terap. 2017;3(2).

4. Wirosoedarmo R, Anugroho F, Mustaqiman AN, Amanah R, Gustinasari K. Phytoremediation of chrome in Batik industry wastewater using *Cyperus haspan*. *Nanotechnol Environ Eng* [Internet]. 2020;5(1). Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s41204-019-0064-4>
5. Tyas NM, Batu DTFL, Affandi R. The lethal toxicity test of Cr⁶⁺ on (*Oreochromis niloticus*). *J Ilmu Pertan Indones*. 2016;21(2):128–32.
6. Natalina N, Firdaus H. Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) Dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udang (Kitosan). *Teknik*. 2018;38(2):99.
7. Oko S, Kurniawan A, Sthefani E, Palulun B, Cipto J, Kampus M, et al. Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Aktivator HCl terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Kopi Metana : Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna. *Metana Media Komun Rekayasa Proses dan Teknol Tepat Guna*. 2021;17(1):15–21.
8. Rengganis A., Yulianto A, Yulianti I. Pengaruh Variasi Konsentrasi Arang Ampas Kopi terhadap Sifat Fisika Tinta Spidol Whiteboard. *J MIPA*. 2017;40(2):92–6.
9. Sarasati Y, Thohari I, Sunarko B. Perbedaan ketebalan filter arang aktif ampas kopi dalam menurunkan kadar besi (Fe) pada air bersih. *J Penelit Kesehat Suara Forikes* [Internet]. 2018;9(4):231–7. Tersedia pada: <http://forikes-ejournal.com/index.php/SF>
10. Nurhayati I, Sutrisno J, Zainudin MS. Pengaruh Konsentrasi Dan Waktu Aktivasi Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Ampas Tebu Dan Fungsinya Sebagai Adsorben Pada Limbah Cair Laboratorium. *WAKTU J Tek UNIPA*. 2018;16(1):62–71.
11. Moelyaningrum AD, Ngibad K, Lestari LP, Sunu P, Sari DA, Permana EP, et al. The Robusta coffee grounds residues to adsorb the heavy metal Lead (Pb) in the water Layout guide for using Microsoft Word. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2018.
12. Meila Anggriani U, Hasan A, Purnamasari I. KINETIKA ADSORPSI KARBON AKTIF DALAM PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM TEMBAGA (Cu) DAN TIMBAL (Pb) KINETIC ADSORPTION OF ACTIVATED CARBON IN DECREASING CONCENTRATIONS OF COPPER (Cu) AND LEAD (Pb) METALS. *J Kinet* [Internet]. 2021;12(02):29–37. Tersedia pada: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
13. Rizki AP, Sanjaya AS. Kinetics Study of Fe Content Decrease In Well Water With Activated Carbon Adsorption Of Coffee Waste. In: *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*. 2015. hal. 1–5.
14. Rizky S, Silalahi R. Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Efisiensi Adsorpsi Ion Logam Cu(II) Pada Karbon Aktif Bunga Pinus Merkusii. *J Inov Ramah Lingkungan*. 2022;3(3):1–4.
15. Rizki A, Syahputra E, Pandia S, Halimatuddahlia. Pengaruh Waktu Kontak dan Massa Adsorben Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) dengan Aktivator H₃PO₄ terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue. *J Tek Kim USU*. 2019;8(2):54–60.
16. Nurafriyanti N, Prihatini NS, Syauqiah I. PENGARUH VARIASI pH DAN BERAT ADSORBEN DALAM PENGURANGAN KONSENTRASI Cr TOTAL PADA LIMBAH ARTIFISIAL MENGGUNAKAN ADSORBEN AMPAS DAUN TEH. *Jukung (Jurnal Tek Lingkungan)*. 2017;3(1):56–65.
17. Firmanto RP, Setyowati RDN, Suprayogi D. Kemampuan Adsorben dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati terhadap Penurunan Kandungan Timbal (Pb) pada Limbah Cair dengan menggunakan Sistem Batch. *J Res Technol*. 2021;Vol. 7 No.(2):195–206.