

Adsorpsi Krom Total Pada Limbah Batik Menggunakan Sampah Plastik Sebagai Karbon Aktif

Fiiryal Regina Hidayah^{1*}, Firra Rosariawari²

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Koresponden email: firra.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 26 Maret 2024

Disetujui: 3 Maret 2024

Abstract

The batik industry is a significant contributor to Indonesia's economy and a crucial aspect of the country's cultural heritage. However, its growth has had adverse effects on the environment, primarily due to the liquid waste it generates. This waste contains harmful heavy metals such as chromium, which can negatively impact both the environment and human health. One proposed solution is to use activated carbon from plastic waste as an adsorbent to remove heavy metals from liquid batik waste. The aim of this study is to assess the chromium-absorbing capacity of activated carbon produced from Polyethylene Terephthalate (PET) plastic waste in relation to liquid batik waste. The results of the study show that activated carbon derived from PET plastic waste meets quality standards and has a high capacity for iodine absorption. The tests revealed that the optimal pH for total chrome adsorption was pH 2, with an absorption efficiency of 71.32%. The analysis of the overall chrome adsorption pattern using the Freundlich and Langmuir adsorption isotherm models revealed that adsorption followed the Freundlich model, with an R² value of 0.9626. These findings suggest that activated carbon made from leftover PET plastic has potential as an adsorbent to reduce heavy metal pollution in liquid batik waste, thereby protecting the environment and improving human health.

Keywords: batik liquid waste, activated carbon, adsorption, chromium, plastic waste

Abstrak

Industri batik telah meningkatkan perekonomian Indonesia dan merupakan bagian penting dari warisan budaya negara. Namun pertumbuhannya juga berdampak buruk terhadap lingkungan, terutama karena limbah cair yang dihasilkannya. Sampah ini mengandung logam berat seperti kromium yang berdampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Salah satu metode yang disarankan adalah dengan memanfaatkan karbon aktif sampah plastik sebagai adsorben untuk menghilangkan logam berat dari limbah batik cair. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kapasitas penyerapan kromium karbon aktif yang berasal dari sampah plastik yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap limbah batik cair. Berdasarkan hasil penelitian, karbon aktif berbahan sisa plastik PET memenuhi baku mutu dan memiliki kapasitas penyerapan yodium yang tinggi. Pengujian menunjukkan bahwa pH 2 merupakan pH optimal untuk adsorpsi krom total, dengan efisiensi penyerapan sebesar 71,32%. Dengan nilai R² sebesar 0,9626, analisis pola adsorpsi krom secara keseluruhan menggunakan model isotherm adsorpsi Freundlich dan Langmuir menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti model Freundlich. Berdasarkan temuan tersebut, karbon aktif yang terbuat dari sisa plastik PET mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai adsorben guna menurunkan kadar pencemaran logam berat pada limbah batik cair, menjaga lingkungan dan meningkatkan kesehatan manusia.

Kata Kunci: limbah cair batik, karbon aktif, adsorpsi, kromium, sampah plastik

1. Pendahuluan

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) telah mengakui batik sebagai bagian penting dari warisan budaya Indonesia, yang mendorong berkembangnya sentra batik di seluruh tanah air. Namun berkembangnya bisnis batik juga menyebabkan meningkatnya limbah cair yang sering dibuang sembarangan sehingga merusak lingkungan dan menurunkan kualitas air [1].

Logam berat dari pewarna sintetis, khususnya kromium, terdapat pada limbah cair batik. Jika kadar kromium melampaui batas kualitas, maka dapat mencemari lingkungan dan menyebabkan penyakit serius pada individu [2].

Logam berat seperti kromium, timbal, seng, tembaga, dan kadmium dapat ditemukan pada limbah batik yang dihasilkan selama proses produksi batik dengan menggunakan pewarna sintetis seperti naphthol,

indanthrene, procion, direct, dan indigosol. Limbah ini menimbulkan risiko bagi kesehatan manusia dan lingkungan [3]. Proses pewarnaan dalam pembuatan batik menggunakan bahan kimia berpotensi mencemari lingkungan dan berdampak negatif bagi kesehatan manusia, seperti risiko terkena kanker kulit. Penggunaan pewarna sintesis dalam batik, meskipun memberikan warna cerah yang tahan lama, memerlukan penggunaan zat pembentuk warna tambahan yang juga berpotensi berbahaya. Standar baku mutu air limbah tekstil yang ditetapkan oleh pemerintah menegaskan pentingnya pengendalian dan pengelolaan limbah industri, termasuk limbah batik, untuk menjaga kualitas lingkungan [4].

Karbon aktif, juga dikenal sebagai arang aktif, adalah bahan yang memiliki kemampuan menyerap zat-zat baik dalam bentuk larutan maupun gas, sering digunakan dalam industri untuk berbagai tujuan seperti penghilang bau, penjernihan warna, dan penghilang zat warna [5][6]. Proses pembuatan karbon aktif melalui karbonisasi dari bahan organik, diikuti dengan aktivasi untuk membuka pori-porinya agar lebih efektif menyerap zat-zat yang diinginkan [7][5].

Adsorpsi, proses di mana molekul-molekul cair atau gas menempel pada permukaan padatan, juga dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti luas permukaan adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi adsorbat [8][9]. Isoterm adsorpsi digunakan untuk menganalisis proses adsorpsi dan memberikan informasi tentang kapasitas adsorpsi serta karakteristik permukaan adsorben [10]. Plastik, sebagai senyawa polimer, memiliki berbagai jenis dan sifat yang berbeda, dengan beberapa jenis seperti PET yang dapat didaur ulang dan HDPE yang cocok untuk wadah minuman [11].

Logam berat memiliki dampak yang signifikan ketika terakumulasi dalam tubuh atau lingkungan, dengan beberapa contoh seperti air raksa (Hg), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) yang dapat meracuni tubuh manusia [12]. Sementara logam seperti tembaga (Cu) dan seng (Zn) diperlukan dalam jumlah kecil sebagai mineral esensial, sifat-sifat logam berat seperti ketahanan yang sulit terdegradasi dan kemampuan untuk terakumulasi dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia [13].

Metode analisis seperti Spektrofotometri Serapan Atom dan Scanning Electron Microscope (SEM) dapat digunakan untuk mengukur dan mengidentifikasi kromium serta komposisi unsur dalam material, memberikan informasi penting dalam mengatasi pencemaran kromium yang berasal dari industri-industri tertentu [14][15][16][17]. Selain itu, plastik seperti Polyethylene Terephthalate (PET) dan Polypropylene (PP) juga menjadi perhatian karena penggunaannya yang luas dalam kemasan makanan dan minuman, sehingga perlu perhatian khusus terkait dampak lingkungan dan kesehatan yang mungkin ditimbulkannya [8].

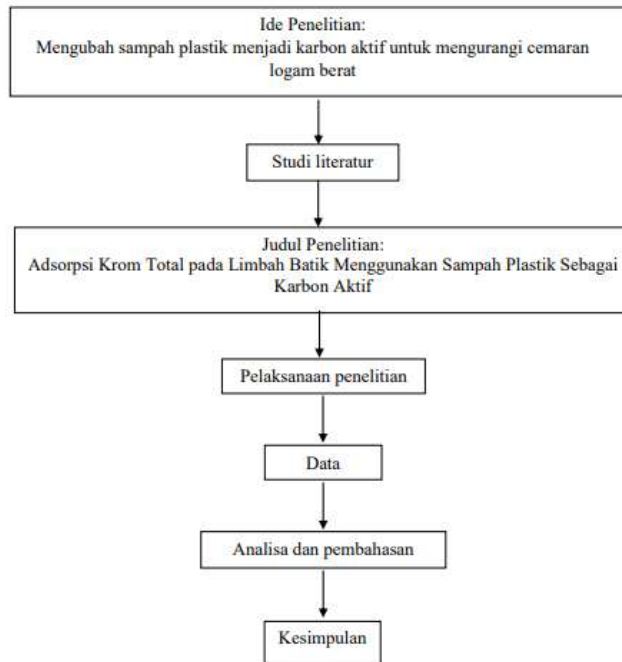
Karbon aktif berbahan dasar sampah plastik diusulkan sebagai solusi permasalahan tersebut sebagai adsorben. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa teknik ini efektif dalam menghilangkan logam berat dari limbah batik cair, selain mengurangi sampah plastik melalui daur ulang [18][19]. Keadaan terbaik untuk menurunkan kadar kromium memerlukan penelitian lebih lanjut karena variabel seperti pH, massa adsorben, dan waktu kontak mempengaruhi proses adsorpsi.

2. Metode Penelitian

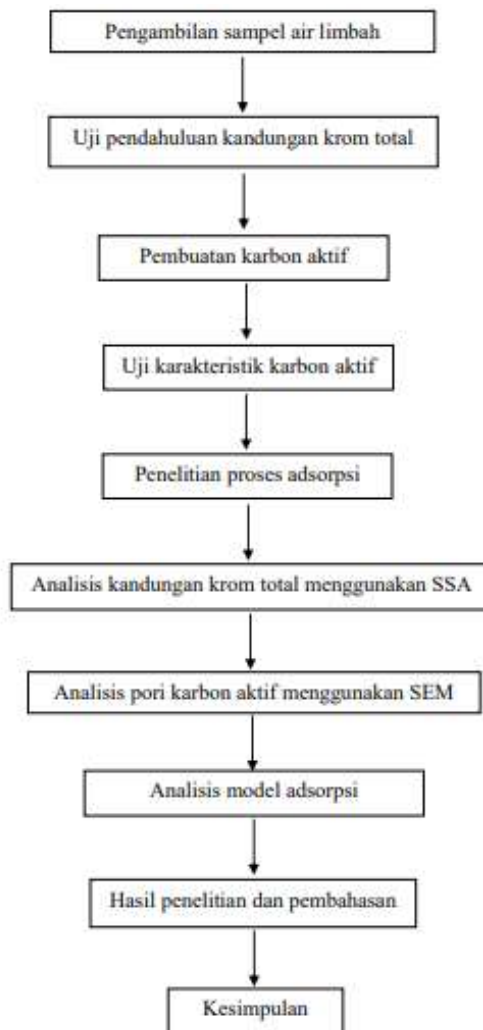
Kerangka penelitian menggambarkan tahapan umum yang dilakukan dalam penelitian, diilustrasikan dalam diagram alir penelitian dalam **Gambar 1**. Bahan dan alat yang digunakan meliputi berbagai jenis sampah plastik, limbah cair industri batik, serta peralatan laboratorium seperti furnace, oven listrik, dan lain-lain. Cara kerja penelitian meliputi beberapa tahap, termasuk uji pendahuluan kandungan krom total, pembuatan karbon aktif dari sampah plastik, uji karakteristik karbon aktif, dan penelitian proses adsorpsi dengan variasi pH dan jenis karbon aktif, dijelaskan dalam diagram alir prosedur cara kerja **Gambar 2**.

Proses pembuatan karbon aktif dari sampah plastik melibatkan beberapa langkah, termasuk pencucian, pengeringan, pembakaran, penghalusan, dan aktivasi dengan larutan HCl. Uji karakteristik karbon aktif dilakukan untuk mengetahui sifat-sifatnya. Selanjutnya, penelitian proses adsorpsi dilakukan dengan mempersiapkan limbah cair batik dalam berbagai pH, menambahkan karbon aktif, dan melakukan pengadukan sebelum pengukuran konsentrasi krom total menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) serta analisis SEM.

Jenis plastik dan pH larutan merupakan variabel bebas, sedangkan untuk waktu tinggal, berat adsorben, kecepatan pengadukan, jumlah limbah, dan Kandungan Kromium merupakan variabel terikat dalam penelitian ini, dengan parameter utama adalah krom total. Analisis data meliputi uji karakteristik karbon aktif, pengukuran krom total, uji SEM-EDS, dan analisis model isoterm Langmuir dan Freundlich.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



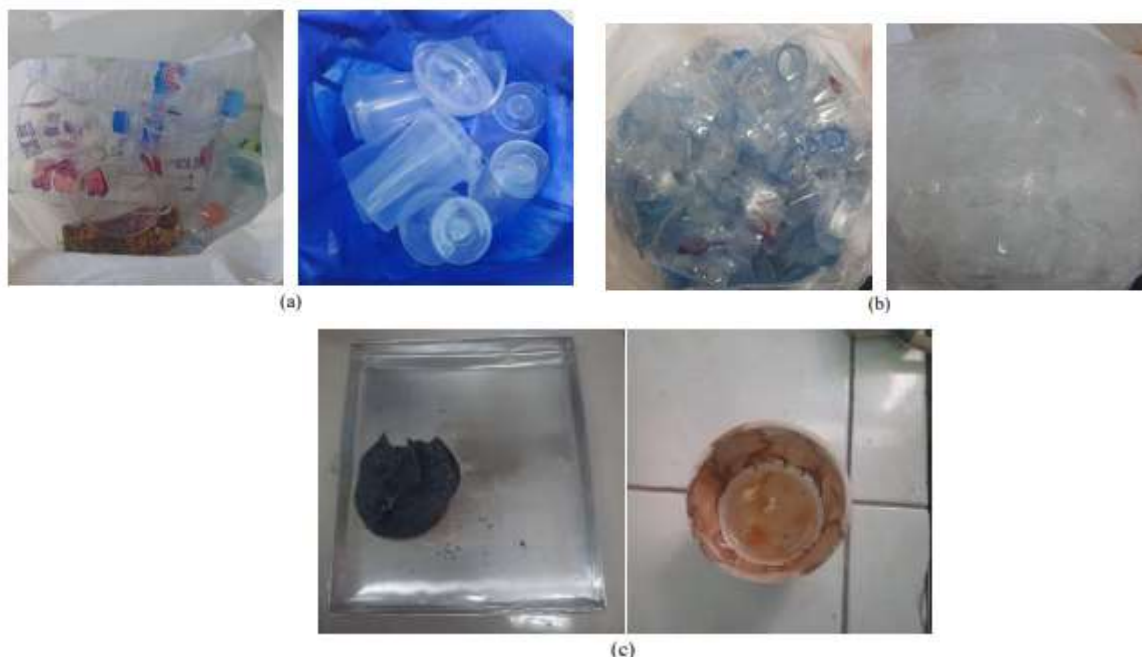
Gambar 2. Diagram Alir Prosedur Cara Kerja

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Karbon Aktif dari Sampah Plastik

3.1.1. Hasil Pembuatan Karbon Aktif dari Sampah Plastik

Pada penelitian ini, limbah plastik PET dan PP diubah menjadi karbon aktif. Sampah plastik PET berupa botol minuman dan galon plastik dipecah dan dikarbonisasi dalam tungku peredam selama dua jam pada suhu 450°C. Dengan menghilangkan unsur non-karbon termasuk oksigen, hidrogen, dan nitrogen, butiran karbon murni dengan kapasitas penyerapan tinggi tercipta selama proses karbonisasi [20]. Namun, sampah plastik jenis PP, seperti gelas minuman plastik, tidak dapat diubah menjadi karbon aktif karena cenderung mencair saat dipanaskan di atas titik lelehnya yang rendah, sekitar 160-170°C. Oleh karena itu, untuk pengujian selanjutnya hanya digunakan karbon aktif dari sampah plastik jenis PET [21][22].



Gambar 3. Proses pembuatan karbon aktif dari sampah plastik; (a) Sampel sampah plastik, (b) Proses pemotongan plastic, dan (c) Hasil karbonisasi

3.1.2. Analisis Karakteristik Karbon Aktif dari Sampah Plastik

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sifat-sifat karbon aktif yang berasal dari limbah plastik PET. Tujuan analisis ini adalah untuk mengevaluasi mutu karbon aktif yang dihasilkan dengan menggunakan SNI 06-373-1995 sebagai acuan baku mutu. Pengujian dilakukan oleh Laboratorium Perairan Program Studi Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Jawa Timur, dan dilakukan analisis morfologi tambahan menggunakan SEM-EDS untuk melihat struktur permukaan karbon aktif.

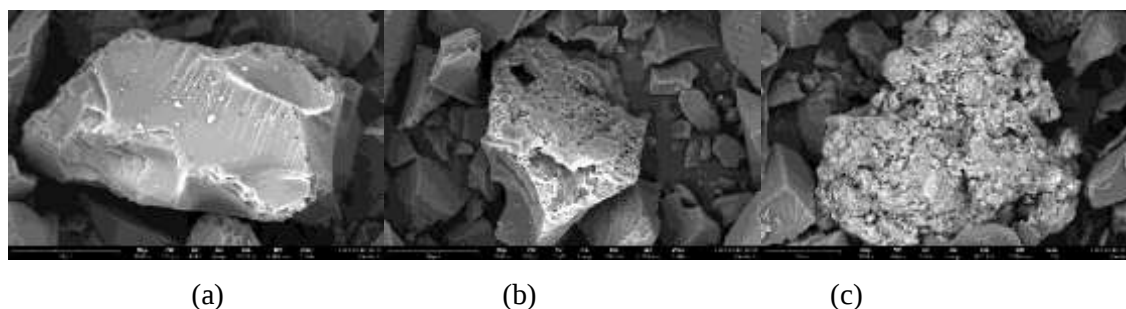
Tabel 1. Hasil Analisa Kualitas Karbon Aktif Sampah Plastik Jenis PET

Uji Kualitas	Persyaratan Kualitas	
	SNI 06-3730-1995 (serbuk)	Karbon Aktif Sampah Plastik Jenis PET
Kadar Air	Maks. 15%	1%
Kadar Abu	Maks. 10%	8%
Kadar Zat Hilang	Maks. 25%	19%
Kadar Karbon Terikat	Min. 65%	72%
Daya Serap Iodine	Min. 750 mg/g	825,045 mg/g

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui seberapa baik karbon aktif menyerap molekul air; nilai 1% berarti karbon tersebut berkualitas baik. Pengujian kadar abu pada karbon aktif menghasilkan kadar abu sebesar 8% yang masih dalam batas yang dapat diterima. Pengujian juga dilakukan terhadap kadar zat hilang, dimana hasilnya sebesar 19% masih memenuhi standar yang ditetapkan. Selanjutnya, pengujian terhadap kadar karbon terikat menunjukkan hasil sebesar 72%, melebihi standar minimal yang diperlukan. Sedangkan daya serap iodin, yang mengindikasikan kemampuan karbon aktif dalam menyerap zat cair, mencapai 825,045 mg/g, melebihi standar minimal. Analisis SEM-EDS menunjukkan perbedaan

morfologi permukaan antara karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi, dengan peningkatan porositas yang mengindikasikan kualitas yang lebih baik.



Gambar 4. Hasil foto SEM Karbon Aktif dari Sampah Plastik jenis PET; (a) sebelum aktivasi dan (b) sesudah aktivasi (c) setelah perlakuan adsorpsi
Sumber: Dokumentasi penelitian, 2024

Gambar 4 menunjukkan perubahan morfologi permukaan karbon aktif dari sampah plastik jenis PET. Pada **Gambar 4** (a), terlihat sedikit pori dan tanpa rongga karena karbon belum teraktivasi. Namun, pada **Gambar 4** (b) setelah aktivasi, terlihat lebih banyak pori dan rongga karena zat pengotor telah larut, memperluas luas permukaan karbon aktif. **Gambar 4** (c) menunjukkan karbon aktif yang telah diaktivasi dan melewati proses adsorpsi, dengan pori-pori terisi oleh molekul adsorbat karena kemampuan adsorpsi yang baik. Ini menunjukkan bahwa karbon aktif memiliki luas permukaan besar dan efektif dalam menyerap molekul-molekul adsorbat

Tabel 2. Hasil Analisis Kandungan Unsur Secara EDS pada Karbon Aktif PET

Unsur	Sampel					
	Belum teraktivasi		Telah teraktivasi		Setelah Adsorpsi	
	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)	Atom (%)	Massa (%)
C	89,32	79,70	82,94	78,90	72,93	67,00
N	4,32	4,50	3,33	3,70	9,98	10,70
O	4,88	5,80	13,73	17,40	16,59	20,30
Zr	1,48	10,00	-	-	-	-
Cr	-	-	-	-	0,50	2,00
Total	100	100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024

Tabel 2 menampilkan persentase kandungan unsur pada karboniaktif dari sampah plastik jenis PET yang telah teraktivasi, dengan kandungan unsur karbon mencapai 78,90% untuk persentase massa. Hal ini menunjukkan bahwa karbon aktif dari sampah plastik jenis PET memiliki kandungan unsur karbon yang tinggi, yang penting untuk kualitas karbon aktif. Terdapat perbedaan kandungan unsur antara karbon yang belum teraktivasi dan yang telah teraktivasi, yang dapat disebabkan oleh proses aktivasi yang memperluas pori karbon aktif.

3.2. Pengaruh pH Larutan pada Adsorpsi Krom Total

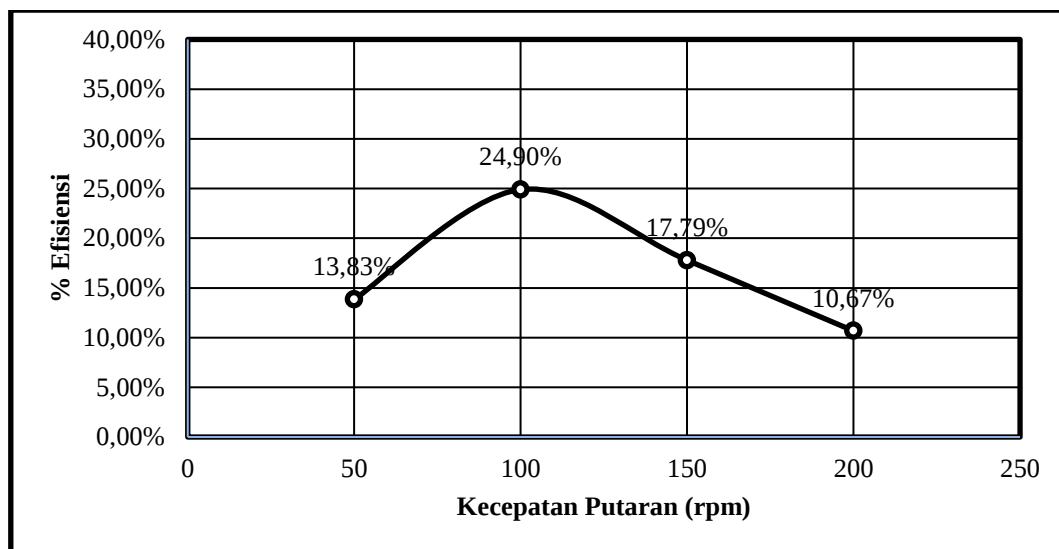
Penelitian ini menetapkan pH optimal untuk adsorpsi logam kromium pada limbah batik menggunakan karbon aktif dari sampah plastik jenis PET. Sebelum menentukan pH optimal, dilakukan uji pendahuluan untuk menemukan kecepatan pengadukan yang tepat. Pengujian ini memperhitungkan kecepatan putaran 50 rpm, 100 rpm, 150 rpm, dan 200 rpm dengan menggunakan 3 gram karbon aktif PET dalam volume air limbah batik sebesar 300 ml selama 60 menit.

Tabel 3. Hasil Uji Kecepatan Pengadukan Terhadap Penyerapan Krom

Kecepatan Putaran (rpm)	Cr Awal (Co) (mg/l)	Cr Akhir (Ce) (mg/l)	Jumlah Cr yang diserap (mg/l)
50	2,53	2,18	0,35
100	2,53	1,90	0,63
150	2,53	2,08	0,45
200	2,53	2,26	0,27

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024

Berdasarkan **Tabel 3**, yang menggambarkan hasil uji kecepatan pengadukan terhadap penyerapan krom, dapat diamati bahwa ketika kecepatan putaran pengadukan meningkat dari 50 rpm hingga 100 rpm, jumlah kromium (Cr) yang diserap juga meningkat, dari 0,35 mg/l menjadi 0,63 mg/l. Namun, saat kecepatan putaran meningkat lebih lanjut menjadi 150 rpm dan 200 rpm, jumlah kromium yang diserap cenderung menurun, menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi dapat mengurangi efisiensi penyerapan krom oleh karbon aktif.



Gambar 5. Hubungan efisiensi penyerapan Cr terhadap kecepatan pengadukan
Sumber: Dokumentasi penelitian, 2024

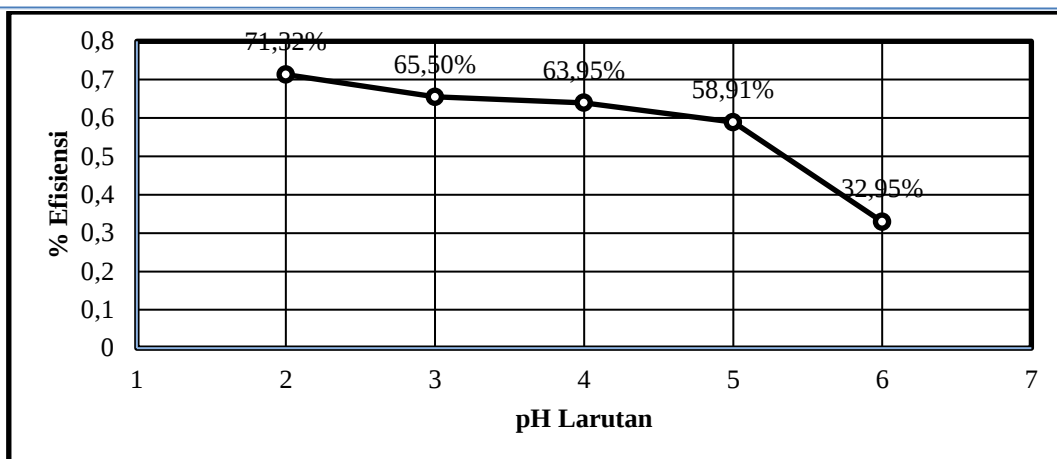
Berdasarkan hasil pengujian pada **Tabel 3** terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan, semakin tinggi pula konsentrasi logam Cr yang tersisa, menandakan bahwa kecepatan pengadukan yang terlalu cepat dapat mengganggu proses adsorpsi. Kecepatan pengadukan yang berlebihan dapat merusak permukaan adsorben akibat panas yang dihasilkan, mengurangi efisiensi penyerapan. Oleh karena itu, kecepatan pengadukan optimal sebesar 100 rpm ditemukan, di mana konsentrasi krom turun menjadi 1,90 mg/l dengan efisiensi sebesar 24,90%. Pengujian selanjutnya dilakukan untuk menentukan pH optimal pada adsorpsi krom total dengan menggunakan kecepatan pengadukan 100 rpm dan variasi pH larutan 2, 3, 4, 5, dan 6 selama 60 menit. Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif sampah plastik PET dengan volume air limbah batik sebanyak 500 ml, kemudian dilakukan analisis di laboratorium Badan Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya menggunakan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

Tabel 4. Hasil Pengujian pH Larutan Terhadap Penyerapan Krom

pH larutan	Cr Awal (Co) (mg/l)	Cr Akhir (Ce) (mg/l)	Jumlah Cr yang diserap (mg/l)
2	2,58	0,74	1,84
3		0,89	1,69
4		0,93	1,65
5		1,06	1,52
6		1,73	0,85

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2023

Berdasarkan **Tabel 4**, terlihat bahwa pada pH larutan 2 terjadi penyerapan logam Cr sebanyak 1,84 mg/l dari konsentrasi awal 2,58 mg/l menjadi 0,74 mg/l. Namun, saat pH dinaikkan ke pH larutan 3 hingga 6, terjadi penurunan penyerapan logam Cr, dengan penyerapan terendah terjadi pada pH larutan 6 sebesar 0,85 mg/l dari konsentrasi awal 2,58 mg/l menjadi 1,73 mg/l. Penyerapan logam krom mencapai puncaknya pada pH larutan 2 dengan konsentrasi akhir krom sebesar 0,96 mg/l, namun kemudian menurun secara bertahap saat pH larutan dinaikkan dengan penyerapan terendah terjadi pada pH 6 dengan konsentrasi akhir krom sebesar 1,79 mg/l. Menurunnya penyerapan karbon aktif terhadap logam krom ketika pH dinaikkan menuju kondisi basa disebabkan adanya peningkatan konsentrasi ion OH⁻ pada pH tinggi.



Gambar 6. Hubungan efisiensi penyerapan Cr variasi terhadap pH larutan

Sumber: Dokumentasi penelitian, 2024

Efisiensi merupakan persentase penghilangan dari proses adsorpsi yang dapat mengurangi konsentrasi logam krom, diukur dalam %. Dari gambar 6, semua perlakuan mampu mengurangi konsentrasi logam krom, dengan nilai efisiensi tertinggi sebesar 71,32% pada pH larutan 2, dan nilai efisiensi terendah sebesar 32,95% terjadi pada pH larutan 6. Variasi pH larutan 3, 4, dan 5 juga mampu mengurangi konsentrasi logam krom dengan efisiensi masing-masing sebesar 65,50%, 63,95%, dan 58,91%. Data tersebut menunjukkan bahwa nilai efisiensi cenderung menurun ketika pH larutan dinaikkan.

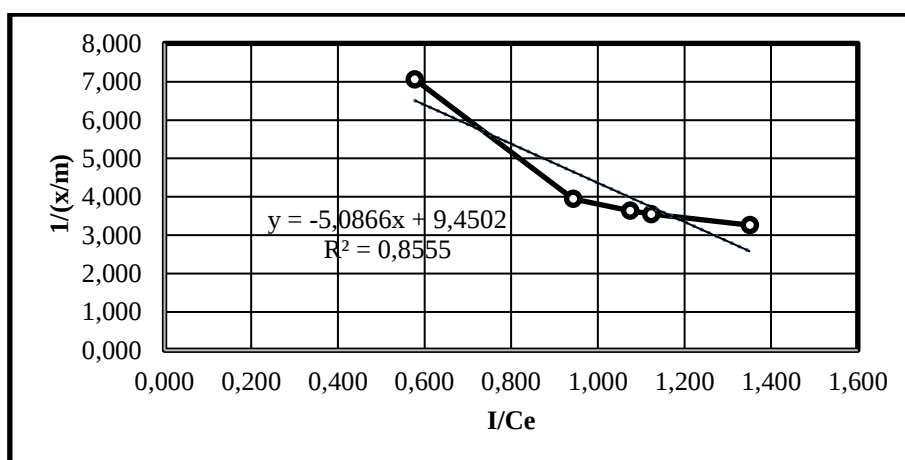
3.3. Penentuan Pola Isoterm Adsorpsi Krom Total

Penelitian ini memeriksa pola isoterm adsorpsi yang cocok untuk adsorpsi krom total menggunakan karbon aktif dari sampah plastik. Isoterm adsorpsi menggambarkan keseimbangan antara partikel yang diserap dan penyerapannya pada permukaan karbon aktif. Model isoterm Langmuir dan Freundlich dihitung berdasarkan data variasi pH larutan, yang dapat dilihat pada **Tabel 4**. Untuk menghitung persamaan isoterm, nilai x/m , $1/(x/m)$, $1/C_e$, $\ln(x/m)$, dan $\ln C_e$ dievaluasi, seperti dalam **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan harga x/m , $1/(x/m)$, $1/C_e$, $\ln(x/m)$, dan $\ln C_e$

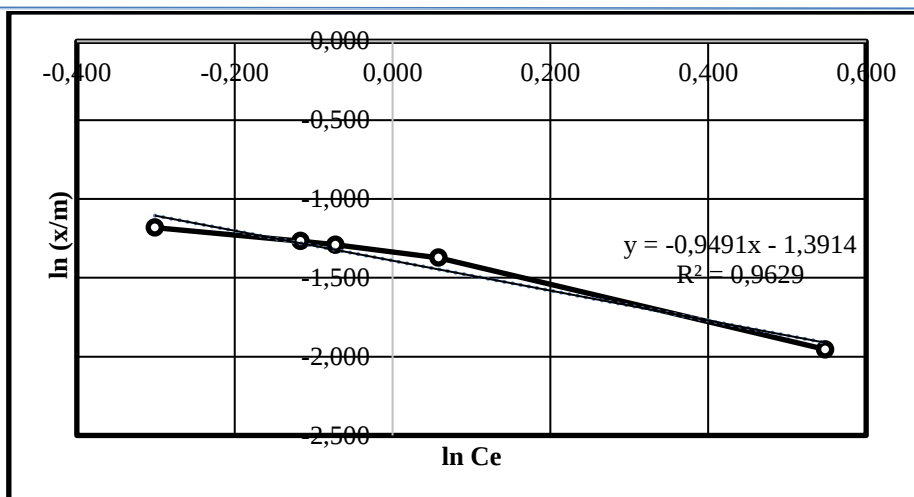
Variasi pH	Co (mg/l)	Ce (mg/l)	x/m (mg/g)	$1/(x/m)$	$1/C_e$	$\ln(x/m)$	$\ln C_e$
2	2,58	0,74	0,307	3,261	1,351	-1,182	-0,301
3	2,58	0,89	0,282	3,550	1,124	-1,267	-0,117
4	2,58	0,93	0,275	3,636	1,075	-1,291	-0,073
5	2,58	1,06	0,253	3,947	0,943	-1,373	0,058
6	2,58	1,73	0,142	7,059	0,578	-1,954	0,548

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024



Gambar 7. Grafik Isoterm Langmuir

Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024



Gambar 8. Grafik Isoterm Freundlich
Sumber: Hasil Analisis Penelitian, 2024

Gambar 7 dan **8** menampilkan hasil persamaan adsorpsi model Langmuir dan Freundlich untuk adsorpsi krom total menggunakan karbon aktif dari sampah plastik PET. Persamaan model Langmuir memiliki nilai R^2 sebesar 0,8555, sedangkan model Freundlich memiliki nilai R^2 sebesar 0,9629. Hasil linierisasi yang baik menunjukkan bahwa persamaan Freundlich lebih cocok untuk menjelaskan proses adsorpsi, dengan nilai R^2 yang mendekati 1. Model isoterma Freundlich menggambarkan penyerapan secara fisiorporpsi multilayer, yang memungkinkan ikatan lemah antara ion logam dalam larutan dan permukaan adsorben. Hal ini mengizinkan proses adsorpsi dalam beberapa lapisan yang terjadi secara efisien [23].

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyoroiti dampak negatif limbah industri batik terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, terutama terkait dengan peningkatan kandungan logam berat, seperti kromium, yang berasal dari pewarna sintetis yang digunakan dalam proses produksi batik. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian mengusulkan penggunaan karbon aktif dari sampah plastik sebagai adsorben, yang telah terbukti efektif dalam menyisahkan logam berat dari limbah cair batik. Karbon aktif dari sampah plastik yang diproduksi pada penelitian ini telah memenuhi kriteria kualitas karbon aktif sesuai SNI, serta memiliki kandungan unsur C, N, dan O. Penelitian juga menunjukkan bahwa pH larutan mempengaruhi proses adsorpsi, dengan pH larutan 2 menunjukkan penyerapan kromium yang paling efisien. Hasil analisis isoterm menunjukkan bahwa model Langmuir dan Freundlich sesuai dengan data adsorpsi, dengan model Langmuir menunjukkan karakteristik adsorpsi pada satu lapisan molekul dan model Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan non-ideal dengan pembentukan multilayer.

5. Referensi

- [1] I. S. Rachmi, "Tingkat Pengetahuan, Sikap dan Perilaku Pemilik Industri Batik dalam Mengolah Limbah Produksi Batik di Kampung Batik Jetis Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo (Studi Kasus Di Kampung Batik Jetis Kecamatan Sidoarjo Kabupaten Sidoarjo)," *Swara Bumi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2017.
- [2] B. Widaryanti and E. Laksmidasari, "Penurunan Kadar Kromium (Vi) Pada Limbah Batik Desa Giriloyo Imogiri Menggunakan Serbuk Eceng Gondok," *Artik. Pemakalah Paralel*, no. Vi, pp. 486–487, 2018.
- [3] H. R. Fidiastuti and A. S. Lathifah, "Uji Karakteristik Limbah Cair Industri Batik Tulungagung: Penelitian Pendahuluan," *Semin. Nas. Pendidik. Biol. Dan Saintek Iii*, pp. 296–300, 2018, [Online]. Available: <https://publikasiilmiah.ums.ac.id>.
- [4] KLHK No. P.16, "Permen KLHK," *Peratur. Menteri Lingkung. Hidup Dan Kehutan. Republik Indones. Perubahan Kedua atas Peratur. Menteri Lingkung. Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019, [Online]. Available: <file:///C:/Users/User/Downloads/fvm939e.pdf>.
- [5] M. Lempang, "Pembuatan dan Kegunaan Karbon Aktif," *J. Info Tek. EBONI*, vol. 11, no. 2, pp. 65–80, 2014, [Online]. Available: <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal->

- litbang/index.php/buleboni/article/view/5041/4463arang.
- [6] I. S. J. C. Y. B. Ginting, "Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP (Polypropylene) Sebagai Material pada Tas Laundry," *e-Proceeding Art Des.*, vol. 4, no. 3, pp. 873–887, 2017.
 - [7] K. Ridhuan and J. Suranto, "Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 50–56, 2017, doi: 10.24127/trb.v5i1.119.
 - [8] L. Cundari, P. Yanti, and K. A. Syaputri, "PLASTIK," vol. 22, no. 3, pp. 26–33, 2016.
 - [9] W. Astuti, *Adsorpsi Menggunakan Material Berbasis Lignoselulosa*. 2018.
 - [10] N. S. S. Miri and Narimo, "Review : Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa," *J. Kim. dan Rekayasa*, vol. 2, no. 2, pp. 58–71, 2022, [Online]. Available: <http://kireka.setiabudi.ac.id>.
 - [11] D. Santhi, "Plastik Sebagai Kemasan Makanan Dan Minuman," *Bagian Patol. Klin. PSPD FK UNUD*, no. April, pp. 1–11, 2016.
 - [12] R. Adhani and Husaini, *Logam Berat Sekitar Manusia*, vol. 5, no. 1. 2017.
 - [13] N. L. Angrianto, J. Manusawai, and A. S. Sinery, "Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat," *Cassowary*, vol. 4, no. 2, pp. 221–233, 2021, doi: 10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79.
 - [14] A. Asmadi, E. S, and W. Oktiawan, "Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, NaOH dan NaHCO₃ (Studi Kasus Pt. Trimulyo Kencana Mas Semarang)," *J. Air Indones.*, vol. 5, no. 1, 2018, doi: 10.29122/jai.v5i1.2431.
 - [15] Julinawati, Marlina, Rosnani Nasution, and Sheilatina, "Applying Sem-Edx Techniques To Identify Types of Mineral of Jades (Giok) Takengonying theon, Aceh," *J. Nat.*, vol. 15, no. 2, pp. 45–48, 2015.
 - [16] D. F. Solikha, "Penentuan kadar tembaga (II) pada sampel menggunakan spektroskopi serapan atom (SSA) Perkin Erlmer Analyst 100 metode kurva kalibrasi," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–11, 2019.
 - [17] F. Farikhin, "Analisa Scanning Electron Microscope Komposit Polyester Dengan Filler Karbon Aktif," *Publ. Ilmiah.*, pp. 1–16, 2016.
 - [18] N. Hendrasarie and R. Prihantini, "Pemanfaatan Karbon Aktif Sampah Plastik Untuk Menurunkan Besi Dan Mangan Terlarut Pada Air Sumur," *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 6, no. 2, pp. 136–146, 2020, doi: 10.20527/jukung.v6i2.9256.
 - [19] A. Ruhayyah, "Kemampuan Karbon Aktif dari Sampah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate Teraktivasi HCl dalam Menurunkan Kadar Logam Berat Fe dan COD pada Limbah Lindi TPA gampong Jawa," *Tugas Akhir*, 2022, [Online]. Available: <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/20554/>.
 - [20] S. Mudaim and S. Hidayat, "Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (Aleurites Moluccana) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi," *J. Ilmu dan Inov. Fis.*, vol. 05, no. 02, pp. 157–163, 2021.
 - [21] I. F. K. 2) F. A. S. Dominggus G.H. Adoe1), Wenseslaus Bunganaen1), "Pirolisis Sampah Plastik PP (Polypropylene) menjadi Minyak Pirolisis sebagai Bahan Bakar Primer," *J. Tek. Mesin UNDANA*, vol. 03, no. 01, pp. 17–26, 2019.
 - [22] A. S. Nugroho, R. Rahmad, and S. Suhartoyo, "Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Energy Alternatif," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 55–60, 2018, doi: 10.24176/simet.v9i1.1772.
 - [23] U. M. Anggriani, A. Hasan, and I. Purnamasari, "Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) Dan Timbal (Pb)," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 02, pp. 29–37, 2021.