

## PENURUNAN LOGAM BERAT KROMIUM DENGAN ARANG AKTIF BATANG TEMBAKAU PADA LIMBAH CAIR BATIK

Alifia Qotrul Izza<sup>1\*</sup>, Ellyke<sup>2</sup>, Rahayu Sri Pujiati<sup>3</sup>

Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jember<sup>1,2,3</sup>

\*Corresponding Author : alifiaqotrul@gmail.com

### ABSTRAK

Kromium (Cr) merupakan logam berat dengan sifat persisten, bioakumulatif dan toksik (PBT) yang banyak ditemukan dalam limbah cair batik akibat penggunaan bahan kimia. Penelitian ini dilakukan pada limbah cair Industri Batik Tulis X di Kaliwates, Jember dengan kadar Cr mencapai 1,820 mg/L, melebihi baku mutu lingkungan. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi potensi arang aktif dari batang tembakau dalam menurunkan kadar Cr. Metode yang digunakan adalah True Experiment, dimana arang aktif yang dihasilkan melalui karbonisasi dan aktivasi H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> digunakan untuk perlakuan berupa penambahan massa arang aktif pada limbah cair batik. Rata-rata kadar Cr masing-masing pada setiap kelompok perlakuan yaitu X1 sebesar 1,139 mg/L, X2 sebesar 1,082 mg/L dan X3 sebesar 0,278 mg/L. Hasil pengujian menunjukkan penurunan kadar Cr yang signifikan, dengan kelompok perlakuan X3 menurunkan kadar Cr hingga 75,84%. Disarankan kepada pemilik industri batik untuk mengolah limbah, memantau kadar Cr secara berkala, serta melakukan substitusi dengan pewarna ramah lingkungan dan pengelolaan arang aktif bekas.

**Kata kunci** : arang aktif, kromium (Cr), limbah cair batik

### ABSTRACT

*Chromium (Cr) is a heavy metal with persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) properties commonly found in batik wastewater due to the use of chemicals. This study was conducted on the liquid waste of Batik Tulis X Industry in Kaliwates, Jember with Cr levels reaching 1,820 mg/L, exceeding environmental quality standards. The study aimed to evaluate the potential of activated charcoal from tobacco stems in reducing Cr levels. The method used is the True Experiment, where activated charcoal is produced through carbonization and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activation is used for treatment by adding activated charcoal mass to batik wastewater. The average Cr levels in each treatment group were X1 at 1,139 mg/L; X2 at 1,082 mg/L and X3 at 0,278 mg/L. The test results showed a significant decrease in Cr levels, with the X3 treatment group reducing Cr levels by 75.84%. It is recommended for batik industry owners to treat waste, monitor Cr levels regularly, make substitutions with environmentally friendly dyes, and use activated charcoal management.*

**Keywords** : activated carbon, chromium (Cr), batik wastewater

### PENDAHULUAN

Kromium (Cr) adalah salah satu jenis logam berat dengan sifat persisten, bio akumulatif dan toksik atau PBT (*Persistent, Bioaccumulative, and Toxic*) (Suyono & Budiman, 2020). Cr dengan nilai tinggi akan sulit terurai sehingga akan terakumulasi di lingkungan. Terdapat berbagai macam cara Cr masuk ke lingkungan, salah satunya melalui aktivitas manusia yang menghasilkan limbah cair yaitu industri batik. Berdasarkan hasil observasi, limbah cair batik mengandung bahan pencemar karena pemakaian bahan kimia dalam tahapan pewarnaan yaitu mordant, zat pewarna yang mengandung logam berat (Prabowo, 2019). Logam berat yang banyak terkandung dalam limbah cair industri batik ini salah satunya yaitu Cr (Apriyani, 2018; Ardiyanto et al., 2020; Dewi, Lestari, & Nuraini, 2023). Kandungan kromium pada limbah cair diakibatkan karena penggunaan pewarna sintesis berbasis cairan kimia (Firdaus, 2017; Putri et al., 2022). Industri Batik Tulis X berlokasi di Kaliwates, Jember telah memproduksi batik tulis dengan jumlah setidaknya lebih dari 100 buah tiap bulannya dengan jumlah limbah dalam satu

kali produksi batik sebanyak 100 L. Banyaknya jumlah produk batik tulis berpengaruh terhadap limbah cair batik. Semakin banyak batik yang dibuat akan meningkatkan jumlah limbah cair dan logam berat yang dihasilkan. Berdasarkan uji laboratorium yang telah dilakukan pada bulan November 2023, menghasilkan kadar logam berat Cr sebesar 1,820 mg/L dimana nilai tersebut tidak memenuhi syarat baku mutu air limbah sesuai Permen LHK Nomor 16 Tahun 2019 tentang Baku Mutu Air Limbah yaitu sebesar 1,0 mg/L (Kemenlkh, 2019).

Selain itu berdasarkan hasil observasi di lokasi industri, Batik Tulis X belum memiliki IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) ataupun metode lain untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan. Salah satu metode pengolahan limbah cair yaitu dengan menggunakan arang aktif yang bisa didapatkan dari bahan yang banyak mengandung karbon organik (C) kemudian dibakar dan diaktifkan dengan aktivator kimia agar memiliki sifat adsorpsi spesifik (Said, 2017) Kandungan karbon organik (C) banyak ditemukan di dinding sel pada tumbuhan sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku arang aktif (Pamungkas, 2023). Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan tumbuhan sebagai bahan baku arang aktif menyatakan bahwa arang aktif dengan bahan baku tumbuhan mampu menurunkan kadar Cr pada limbah cair batik (A`yunina et al., 2022; Qisti et al., 2021).

Salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bahan baku arang aktif adalah tembakau, khususnya pada batang karena terdapat kandungan selulosa (56,10%), lignin (15,11%), hemiselulosa (22,44%), dan total karbon organik (44,61%) (Liu et al., 2015). Arang aktif batang tembakau juga diketahui memiliki luas permukaan sebesar 238,035 m<sup>2</sup>/g (Purbaningrum et al., 2022). Permukaan pori arang aktif batang tembakau yang luas sesuai untuk diaplikasikan sebagai adsorben (Said, 2017) Selain itu, batang tembakau merupakan bagian dari limbah pertanian yang tidak dimanfaatkan. Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk mengetahui potensi pemanfaatan batang tembakau sebagai bahan baku pembuatan arang aktif untuk media adsorben logam berat Cr.

Efektivitas penambahan konsentrasi arang aktif tempurung kelapa sebagai adsorben pada limbah cair batik sebanyak 35 g/0,5 L, 40 g/0,5 L, dan 45 g/0,5 L mampu menurunkan kadar Cr sebesar 25,45%, 49,93%, dan 73,52% dengan waktu kontak 60 menit, ukuran arang aktif 100 mesh dan kecepatan pengadukan 400 rpm (A`yunina et al., 2022). Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, dilakukan pengembangan dan penyesuaian variasi pada penambahan konsentrasi arang aktif dan penurunan konsentrasi limbah batik menjadi 10 g/100 ml, 11 g/0,5 100 ml, dan 12 g/100 ml dengan waktu kontak 60 menit, ukuran ayakan arang aktif 100 mesh, dan kecepatan pengadukan 400 rpm. Hal tersebut bertujuan untuk meningkatkan pori penyerapan pada arang aktif yang berbanding lurus dengan banyaknya penyerapan Cr pada limbah cair (Prabowo, 2019). H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> atau asam sulfat sebagai aktivator arang batang tembakau mampu menghasilkan arang aktif yang memiliki luas permukaan 238,035 m<sup>2</sup>/g, dimana umumnya luas permukaan yang sesuai untuk arang aktif berkisar 100-2000 m<sup>2</sup>/g (Purbaningrum et al., 2022).

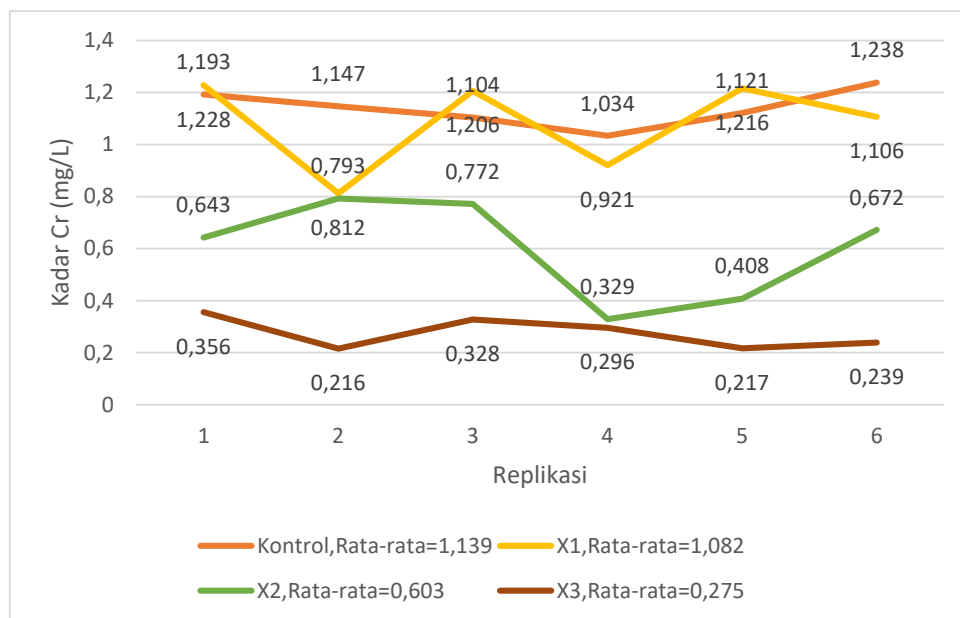
Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan arang aktif batang tembakau sebagai adsorben dalam menurunkan kadar Cr pada limbah cair batik.

## METODE

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah *True Experiment* dengan desain penelitian yaitu *Posttest Only Control Group Design* dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL). Pada penelitian ini terbagi menjadi kelompok kontrol dan kelompok perlakuan penambahan arang aktif yaitu X1 sebesar 10 g, X2 sebesar 11 g dan X3 sebesar 12 g pada setiap sampel limbah cair batik sebanyak 100 ml sebanyak 24 sampel. Setelah dilakukan pengontakkan dan pengujian kadar Cr, hasil uji kadar Cr dianalisis menggunakan uji *One Way Anova* dengan memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas.

## HASIL

Pengujian kadar Cr dengan metode spektrofotometri dapat dilihat pada gambar 1 yang terdiri dari hasil kadar Cr kelompok kontrol dan kelompok perlakuan (X1, X2 dan X3).



Gambar 1. Kadar Cr Kelompok Kontrol dan Kelompok Perlakuan

Gambar 1 menunjukkan hasil uji kadar Cr pada kelompok kontrol yang menunjukkan rata-rata kadar Cr kelompok kontrol yaitu sebesar 1,139 mg/L. Nilai Cr tertinggi pada kelompok kontrol yaitu sebesar 1,238 mg/L dan terendah yaitu sebesar 1,034 mg/L. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kadar Cr pada limbah cair batik berada di atas Baku Mutu Air Limbah Industri yaitu sebesar 0,1 mg/L sesuai dengan Permen LHK Nomor 16 Tahun 2019 (Kemenlhk, 2019). Selanjutnya, rata-rata kadar Cr kelompok X1 yaitu sebesar 1,082 mg/L, dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 1,228 mg/L dan terendah sebesar 0,812 mg/L. Rata-rata kadar Cr kelompok X2 yaitu sebesar 0,603 mg/L, dengan nilai tertinggi sebesar 0,793 mg/L dan nilai terendah sebesar 0,329 mg/L. Terakhir rata-rata kadar Cr kelompok X3 sebesar 0,275 mg/L, dengan nilai tertinggi sebesar 0,356 mg/L dan nilai terendah sebesar 0,216 mg/L.

Tabel 1. Perbedaan Kadar Cr pada Kelompok Kontrol dan Kelompok Perlakuan (X1, X2 dan X3)

No.	Kelompok	Maksimum	Minimum	Mean	Penurunan Kadar Cr (%)
1.	Kontrol	1,238	1,034	1,139	-
2.	X1	1,228	0,812	1,082	5,09
3.	X2	0,793	0,329	0,603	47,09
4.	X3	0,356	0,216	0,275	75,84

Hasil uji kadar Cr yang terdapat pada tabel 1, yang menunjukkan perbedaan rata-rata pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Penurunan tertinggi terjadi pada kelompok kelompok perlakuan X3 yaitu 0,864 mg/L atau sebanyak 75,84% dibandingkan dengan kelompok kontrol. Dilanjutkan dengan penurunan terendah terjadi pada kelompok perlakuan X1 yaitu 0,058 mg/L atau sebanyak 5,09%. Lalu, penurunan terjadi pada kelompok perlakuan X2 yaitu 0,536 mg/L atau sebanyak 47,09 mg/L. Pada setiap kelompok yaitu kelompok kontrol dan kelompok perlakuan menunjukkan adanya perbedaan penyerapan Cr yang diakibatkan dari variasi penambahan arang aktif. Oleh karena itu, dilakukan uji normalitas menggunakan

*saphiro-wilk* pada kelompok kontrol ( $p=0,990$ ), kelompok X1 ( $p=0,123$ ), kelompok X2 ( $p=0,280$ ) dan kelompok X3 ( $p=0,304$ ) menunjukkan bahwa setiap kelompok berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji homogenitas dengan  $p=0,056$  ( $>0,05$ ) menunjukkan bahwa populasi memiliki varian yang sama. Setelah dilakukan uji normalitas dan homogenitas, dilakukan uji *One-Way Anova* pada kelompok kontrol dengan kelompok X1 dan X2 dengan hasil  $p=0,000$  ( $\leq 0,05$ ) menunjukkan nilai signifikan. Hasil uji dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Uji Post Hoc Pada Kelompok Kontrol dan Kelompok Perlakuan**

Kelompok Perlakuan	K	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Kontrol (K)	-	-	0,000*	0,000*
Perlakuan 1 (X <sub>1</sub> )	-	-	0,000*	0,000*
Perlakuan 2 (X <sub>2</sub> )	-	-	-	0,003*
Perlakuan 3 (X <sub>3</sub> )	-	-	-	-

## PEMBAHASAN

Keberadaan Cr pada limbah cair batik akibat dari pemakaian pewarna sintesis jenis mordant berbasis Kalium Dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ ) yang mengandung Cr. Penggunaan zat pewarna tersebut pada tahap pewarnaan dan plorodon menghasilkan air dari proses pelorodon- sesuai penelitian oleh Karlina (Karlina et al., 2024)- yang ikut larut sehingga menghasilkan limbah cair yang mengandung Cr. Penelitian oleh Veronika (Veronika et al., 2023) menyatakan bahwa limbah batik mengandung Cr dari penggunaan bahan pewarna dengan kandungan kalium dikromat. Rata-rata kadar Cr pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan (X1, X2 dan X3) masing-masing yaitu sebesar 1,139 mg/L, 1,082 mg/L, 0,603 mg/L, dan 0,275 mg/L. Rata-rata kadar Cr kelompok kontrol sebesar 1,139 mg/L ( $>0,1$  mg/L) melebihi baku mutu lingkungan sesuai dengan Permen LHK Nomor 16 Tahun 2019 (Kemenlkh, 2019). Sesuai dengan penelitian oleh Dewi (Dewi, Lestari, & Siti Nuraini, 2023) menyatakan bahwa Cr terkandung pada limbah cair batik sebesar 1,238 mg/L. Limbah cair dengan Cr dapat berpotensi menyebabkan pencemaran tanpa dilakukannya pengolahan. Sesuai dengan penelitian oleh Sumantri dan Rahmani (Sumantri & Rahmani, 2020) menyatakan bahwa badan air sekitar Sungai Citarum terindikasi tercemar sedang akibat tidak adanya pengolahan air limbah oleh industri di sekitar kawasan tersebut.

Rata-rata kadar Cr pada kelompok perlakuan X2 dan X3 masing-masing yaitu 0,603 mg/L dan 0,275 mg/L ( $>0,1$  mg/L) menunjukkan bahwa kadar Cr mengalami penurunan setelah ditamhakkannya arang aktif pada limbah cair batik pada setiap kelompok. Berdasarkan hasil analisis, semakin banyaknya penambahan massa arang aktif pada setiap kelompok perlakuan menunjukkan semakin banyaknya kadar Cr yang diserap (Zarkasi et al., 2018). Penurunan kadar Cr pada limbah cair batik dikarenakan adanya adsorpsi Cr oleh adsorben yaitu arang aktif. Mekanisme adsorpsi merupakan mekanisme dimana Cr pada limbah cair batik ini akan melekat pada permukaan padatan yaitu arang aktif batang tembakau melalui berbagai interaksi (Saptati & Himma, 2018). Proses adsorpsi diawali dengan terjadinya difusi dimana ion logam Cr pada limbah cair batik akan bergerak mendekat menuju sisi permukaan arang aktif (Gupta et al., 2021). Adsorpsi yaitu arang aktif akan menempel pada setelah ion Cr mencapai permukaan arang aktif (Sahania et al., 2024). Jarak yang dekat antara ion dan permukaan akan menyebabkan tarik menarik yang dinamakan gaya *Van der Waals* (Kannan & Meenakshi, 2001). Kapasitas adsorpsi sendiri dipengaruhi oleh berbagai faktor yaitu massa adsorben, ukuran partikel, kecepatan pengadukan, waktu kontak dan kemampuan arang aktif (Couper et al., 2005).

Berdasarkan hasil pengujian kadar Cr, rata-rata kadar Cr cenderung mengalami penurunan dari setiap kelompok seiring dengan ditamhakkannya massa adsorben lebih banyak. Lebih

banyak massa arang aktif yang digunakan dalam penyerapan menyebabkan bertambahnya luas permukaan pori-pori yang dapat digunakan. Hal tersebut menyebabkan lebih banyak Cr dapat diserap. Sesuai dengan penelitian oleh (A`yunina et al., 2022) yaitu tingginya penyerapan Cr dilihat dari besar prosentase penurunan kadar Cr semakin meningkat secara berturut-turut pada setiap perlakuan yaitu 25,45%, 49,93%, dan 73,52%. Ukuran partikel arang aktif yang relatif lebih kecil ( $\leq 100$  mesh) dapat memperluas permukaan pori untuk lebih banyak Cr yang dapat diserap. Sesuai dengan penelitian yang menggunakan ayakan 100 *mesh* oleh A`yunina (A`yunina et al., 2022) untuk mengayak arang aktif dari tempurung kelapa mampu menurunkan kadar Cr hingga 73,52% yaitu sebesar 0,01090 mg/L dari 0,04117 mg/L. Penelitian lain oleh Kosim dkk., (Kosim et al., 2022) mengenai penyerapan logam berat oleh arang aktif menggunakan ayakan dengan ukuran *mesh* 60, 80, dan 100 menyebutkan bahwa ayakan dengan ukuran 100 *mesh* menghasilkan kapasitas adsorpsi terbaik terhadap iodine sebesar 847, 64 mg/gr; menjadi yang lebih tinggi daripada ukuran ayakan yang lain.

Kecepatan pengadukan sebesar 400 rpm bertujuan untuk meratakan campuran larutan dan mencegah terjadinya penggumpalan sehingga memaksimalkan penyerapan. Tujuannya adalah agar setiap sisi permukaan arang aktif dapat menyerap Cr. Sesuai dengan penelitian oleh Rahayu dkk., (Rahayu et al., 2023) mengaduk menggunakan kecepatan 400 rpm mampu memaksimalkan penyerapan krom total dengan mempercepat pengontakan logam berat dari limbah penyamakan sebesar 43,93 %. Pengadukan menggunakan *jar test* selama 60 menit sebagai waktu kontak bertujuan agar arang aktif memiliki kesempatan untuk mengikat Cr pada limbah cair batik sehingga memaksimalkan penyerapan. Sesuai dengan penelitian oleh Faris dan Tita (Faris & Tita, 2024) menyebutkan bahwa penurunan Cr dengan metode adsorpsi dengan waktu kontak paling efisien selama 60 menit mampu menurunkan kadar Cr pada larutan sampai dengan 59,02% dibandingkan dengan waktu kontak selama 30 menit sebesar 32,15%.

Kemampuan arang aktif pada penyerapan logam berat dapat dilihat dari komposisi bahan baku yang dipakai yaitu batang tembakau yang mengandung selulosa sebesar 56,10%, hemiselulosa sebesar 22,44%, lignin sebesar 15,11%, dan total karbon organik sebesar 44,61% (Liu et al., 2015). Komposisi tersebut sesuai untuk batang tembakau dijadikan sebagai bahan baku arang aktif. Didukung penelitian oleh Sivasankari & Ravirdan di yang menyatakan bahwa serat eceng gondok mengandung 29,3% selulosa, 28,35% hemiselulosa, dan 18,36% lignin mampu menyerap sampai dengan 43%. Menurut Zhang pada penelitian menyatakan bahwa selulosa termasuk komposisi kimia mampu menyerap logam berat pada larutan (Zhang et al., 2017).

Arang aktif yang dibuat dari batang tembakau memiliki luas permukaan ideal untuk media penyerapan serta memiliki kemampuan dalam penyerapan yang baik. Sesuai dengan penelitian oleh Purbaningrum dkk., (2022) bahwa arang aktif batang tembakau mampu menyerap iodine sebesar 1230,93 mg/g dan memiliki luas permukaan pori spesifik yaitu 238,035  $\text{m}^2/\text{g}$ . Berdasarkan hasil analisis SEM-DEX, C dan O mendominasi kandungan pada pori karbon aktif secara berturut-turut sebesar 38,07% dan 35,8%. Komponen kimia tersebut berperan penting dalam meningkatkan kemampuan penyerapan (adsorpsi) dari arang aktif. Pengolahan limbah cair batik dengan menggunakan adsorben arang aktif untuk menurunkan kadar Cr dilakukan untuk mencegah bahan pencemar masuk ke badan air. Hal ini karena Cr merupakan logam dengan kandungan toksik dan karsinogenik yang berbahaya bagi manusia (Balali-Mood et al., 2021; Sembel, 2020). Cr yang masuk ke tubuh manusia juga dapat menyebabkan gangguan kesehatan lain seperti alergi atau dermatitis (Witkowska et al., 2021)

## KESIMPULAN

Rata-rata kadar Cr pada kelompok kontrol sebesar 1,1395 mg/L, kelompok X1 sebesar 1,082 mg/L, kelompok X2 sebesar 0,603 mg/L dan kelompok X3 sebesar 0,278 mg/L.



Penurunan rata-rata kadar Cr setelah ditambahkannya massa arang aktif yang variatif pada kelompok perlakuan X1 mampu menurunkan sebesar 5,09%, kelompok X2 sebesar 47,09% dan kelompok X3 sebesar 75.83% dibandingkan dengan rata-rata kadar Cr kelompok kontrol. Penurunan rata-rata kadar Cr pada setiap kelompok tersebut dikarenakan adanya perbedaan kadar Cr yang mampu diserap melalui mekanisme adsorpsi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti mengucapkan terimakasih kepada Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan masukan dan saran selama proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- A`yunina, U., Moelyaningrum, A. D., & Ellyke, E. (2022). Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 93–98. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>
- Apriyani, N. (2018). Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *MITL Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 3(1), 21–29.
- Ardiyanto, N. R. N., Arisky, T. N., & Fadilla, B. M. (2020). Biochar Dari Serbuk Gergaji Kayu Mahoni Termodifikasi Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Untuk Menurunkan Kadar Logam Kromium Dalam Limbah Batik. *Indonesian Journal Of Chemical Research*, 24–31. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol5.iss1.art4>
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). *Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Couper, James. R., Penney, W. R., Fair, Jamer. R., & Walas, S. M. (2005). *Chemical Process Equipment: Selection and Design* (2nd Edition, Vol. 1). Butterworth-Heinemann.
- Dewi, R. S., Lestari, S., & Nuraini, A. S. (2023). Penyerapan Logam Krom Total (Cr) Limbah Cair Batik Menggunakan Limbah Baglog (*Pleurotus ostreatus*) Dengan Waktu Kontak Berbeda. *Arena Tekstil*, 38(1).
- Dewi, R. S., Lestari, S., & Siti Nuraini, A. (2023). Penyerapan Logam Krom Total (Cr) Limbah Cair Batik Menggunakan Limbah Baglog (*Pleurotus ostreatus*) Dengan Waktu Kontak Berbeda. *Arena Tekstil*, 38(1).
- Engkos Kosim, M., Siskayanti, R., Prambudi, D., & Diah Rusanti, W. (2022). *Perbandingan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Karbon Aktif Komersil Terhadap Logam Tembaga Dalam Limbah Cair Electroplating*. 7(1).
- Faris, S., & Tita, H. S. (2024). Remediasi Air Tercemar Logam Berat Kromium Menggunakan Biochar dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik ITS*, 13(1), 2337–3539.
- Firdaus, H. (2017). Penurunan Kadar Kromium Heksavalen (Cr 6+ ) Dalam Limbah Batik Menggunakan Limbah Udang (Kitosan). *Teknik*, 38(2), 99–102. <https://doi.org/10.14710/teknik.v38n2.13403>
- Gupta, A., Sharma, V., Sharma, K., Kumar, V., Choudhary, S., Mankotia, P., Kumar, B., Mishra, H., Moulick, A., Ekielski, A., & Mishra, P. K. (2021). *A review of adsorbents for heavy metal decontamination: Growing approach to wastewater treatment. Materials*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/ma14164702>
- Kannan, N., & Meenakshi, M. (2001). *Kinetics and Mechanism of Removal of Methylene Blue by Adsorption on Various Carbons: A Comparative Study. Dye and Pigments*, 51(1), 25–40.

- Karlina, A., Nurrochman, I., Risanto, W., Seliah, & Selasi, D. (2024). Eksplorasi Proses Pembuatan Batik Tulis di Plered: Tehnik, Tradisi dan Inovasi. *Neraca*, 3025–1192(6), 622–626. <http://jurnal.kolibi.org/index.php/neraca>
- Kemenlhk. (2019). *Permen LHK Nomor 16 Tahun 2019*.
- Liu, Y., Dong, J., Liu, G., Yang, H., Liu, W., Wang, L., Kong, C., Zheng, D., Yang, J., Deng, L., & Wang, S. (2015). *Co-digestion of Tobacco Waste With Different Agricultural Biomass Feedstocks and The Inhibition of Tobacco Viruses by Anaerobic Digestion. Bioresoruce Technology*, 189, 210–216.
- Prabowo, B. H. (2019). *Dasar-Dasar Pengolahan Air dan Limbah Cair* (1st ed.). Manggu Makmur Tanjung Lestari.
- Purbaningrum, D. A., Afiuddin, A. E., & Ramadani, T. A. (2022). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Batang Tembakau (*Nicotiana spp L*) Sebagai Adsorben. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 5(1), 6–9.
- Putri, L. R. I. D., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. R. (2022). Kondisi Fisik Air Sungai Dan Kandungan Logam Kromium Pada Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) (Studi Di Sungai Kreongan Sekitar Industri Batik X, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 293–300. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.3.293-300>
- Qisti, A., Utomo, Y., & Rokhim, D. A. (2021). Treatment of Dye Wastewater from Batik Industry by Coconut Shell Activated Carbon Adsorption. *Fullerene Journal of Chemistry*, 6(1), 7. <https://doi.org/10.37033/fjc.v6i1.213>
- Rahayu, N., Wintoko, J., & Hidayat, M. (2023). Optimalisasi Regenerasi Dan Pemakaian Kembali Karbon Aktif Untuk Pemungutan Krom Dari Limbah Penyamakan Kulit. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”*.
- Sahania, R. R., Utubira, Y., & Manuhutu, J. B. (2024). Efisiensi Dan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Dari Kulit Jagung Dalam Menurunkan Kadar Logam Fe. *MJoCE*, 14(1), 60–69.
- Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah* (1st ed.). Penerbit Erlangga.
- Saptati, D., & Himma, N. (2018). *Perlakuan Fisika-Kimia Limbah Cair Industri* (1st ed.). UB Press.
- Sembel, D. T. (2020). *Toksikologi Lingkungan* (1st ed.). Penerbit ANDI.
- Sumantri, A., & Rahmani, R. Z. (2020). Analisis Pencemaran Kromium (VI) berdasarkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Hulu Sungai Citarum di Kecamatan Majalaya Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat 2018. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 19(2), 144–151. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.144-151>
- Suyono, & Budiman. (2020). *Kesehatan Lingkungan Sebagai Lingkup Ilmu Kesehatan Masyarakat* (1st ed.). PT. Refika Aditama.
- Veronika, C., Sulisty, H., & Hidayat, M. (2023). Penurunan Kadar COD Limbah Cair Industri Batik Menggunakan Adsorben Nata De Coco. *Simposium Nasional RAPI*, 12.
- Witkowska, D., Słowik, J., & Chilicka, K. (2021). *Heavy metals and human health: Possible exposure pathways and the competition for protein binding sites. Molecules*, 26(19). <https://doi.org/10.3390/molecules26196060>
- Zarkasi, K., Dewi Moelyaningrum, A., & Trirahayu Ningrum, P. (2018). Penggunaan Arang Aktif Kulit Durian (*Durio zibethinus Murr*) Terhadap Tingkat Adsorpsi Kromium (Cr 6+) Pada Limbah Batik. *EFEKTOR*, 5(2).
- Zhang, C., Su, J., Zhu, H., Xiong, J., Liu, X., Li, D., Chen, Y., & Li, Y. (2017). *The removal of heavy metal ions from aqueous solutions by amine functionalized cellulose pretreated with microwave-H2O2. RSC Advances*, 7(54), 34182–34191. <https://doi.org/10.1039/c7ra03056h>