



Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik)

Ulva A'yunina, Anita Dewi Moelyaningrum*, Ellyke

Peminatan Kesehatan Lingkungan, Fakultas Kesehatan Masyarakat, Universitas Jember. Jl. Kalimantan 1 no.93 Jember-Jawa Timur-68121, Indonesia

*Corresponding author: anitadm@unej.ac.id/anitamoeayani@gmail.com

Info Artikel: Diterima 9 Desember 2021 ; Direvisi 29 Januari 2022 ; Disetujui 31 Januari 2022
Tersedia online : 19 Februari 2022 ; Diterbitkan secara teratur : Februari 2022

Cara sitasi (Vancouver): A'yunina U, Moelyaningrum AD, Ellyke E. Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik). Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2022 Feb;21(1):93-98. <https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>.

ABSTRAK

Latar Belakang: Logam berat kromium (Cr) dapat menurunkan kualitas lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia. Sumber Cr sering berasal dari proses pewarnaan industri batik yang keluar melalui lingkungan. Limbah tempurung kelapa dapat dijadikan arang aktif yang berpotensi mengikat cemaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan kromium pada air dengan pemanfaatan limbah arang aktif tempurung kelapa.

Metode: Sampel adalah air yang mengandung Cr dikontakkan dengan arang tempurung kelapa selama 60 menit, dimana terdiri dari kelompok kontrol (K) 0g/0,5L dan kelompok perlakuan 35g/0,5L (P1), 40g/0,5L (P2), dan 45g/0,5L (P3). Metode penelitian menggunakan true experiment dengan desain penelitian post-only control group design dan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan enam kali pengulangan setiap kelompok. Data dianalisa menggunakan SPSS 20 dengan uji homogenitas Saphiro wilk dilanjutkan dengan one-way ANOVA. Kandungan kromium pada air diukur dengan metode Atomic Absorption Spectrophometry (AAS).

Hasil: Rerata kadar kromium pada kelompok kontrol (K) sebesar 0,04117 mg/L; kelompok 0,03069 mg/L (P1); 0,02061 mg/L (P2), dan 0,01090 mg/L (P3). Terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) antara kelompok kontrol (K) dengan kelompok perlakuan.

Simpulan: Arang aktif tempurung kelapa dapat menurunkan kadar kromium pada air. Semakin banyak arang aktif tempurung kelapa yang dikontakkan maka semakin menurun kadar kromium dalam air.

Kata kunci : kromium (Cr); arang aktif tempurung kelapa; dan limbah cair batik

ABSTRACT

Title: *The Utilitation of Coconut Shell Activated Charcoal (*Cocos nucifera*) to Binding the Chromium (Cr) In the Water (Study in Batik Wastewater).*

Background: *Chromium (Cr) can effect the environment and effected on human health. Chromium can emit from batik industries because of colouring proceses. The coconut shell activated charcoal may binding the pollution. This aims of the study is analyze the the coconut shell activated charcoal to binding chromium levels in batik wastewater.*

Method: *Samples consisted of the control group (K) is 0g / 0.5L, the first treatment group (T1) was 35g / 0.5L; 40g / 0.5L (T2), and 45g / 0.5L (T3) which contacted 60 minute. The method in this research is true experiment with post-only control group design and a completely randomized design with six times of repetitions. Data were analyzes with SPPS 20, analysis with saphiro wilk and one-way ANOVA. The Atomic Absorption Spectrophometry (AAS) method using to identified the chromium in the water.*

Result: The average chromium in control group (K) was 0.04117 mg / L, treatment 1 (P1) was 0.03069 mg / L, treatment2 (P2) was 0.02061 mg / L, and treatment3 (P3) was 0.01090 mg / L. There were sig correlation ($p < 0,05$) between control group (K) and treatment groups.

Conclusion: Coconut Shell Activated Charcoal (*Cocos nucifera*) can binding the chromium in the water.

Keywords: chromium (Cr); coconut shell activated charcoal; and batik liquid waste

PENDAHULUAN

Logam berat merupakan logam (metalloid) yang seringkali berkaitan dengan masalah lingkungan.^[1] Limbah cair yang berpotensi menghasilkan logam berat salah satunya adalah industri batik karena penggunaan zat pewarna yang mengandung logam berat Cromium. Jumlah limbah yang dihasilkan tergantung pada skala produksi, pengawasan dalam proses industri, derajat pemanfaatan air, serta derajat pengolahan air limbah. Limbah logam berat termasuk dari bagian dari limbah B3 maka dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan dan gangguan kesehatan masyarakat berupa keracunan.^[2]

Proses kegiatan pada industri batik dapat menghasilkan logam berat kromium yang dapat menurunkan kualitas lingkungan serta dapat berdampak pada kesehatan^[3] Cromium (Cr) merupakan logam berat yang memiliki sifat persisten, bio akumulatif, toksik (*Persistent, Bioaccumulative, and Toxic* /PBT) dengan nilai tinggi serta sulit terurai, dan kemudian diakumulasi dalam tubuh manusia melalui rantai makanan. Bahaya terpaparnya kromium dapat mengakibatkan iritasi pada mata, iritasi pada hidung dan paru-paru, serta iritasi pada kulit. Apabila sering terpapar dan terus-menerus dengan dosis yang tinggi kromium bisa menyebabkan kulit terbakar, kanker pada alat pencernaan, dan kanker pada paru-paru.^[4]

Cromium pada proses pewarnaan batik, akan keluar pada saat pembilasan kain dan bercampur dengan limbah^[5] Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menangani limbah logam berat adalah adsorpsi dengan memanfaatkan adsorben bahan organik. Beberapa bahan yang terbukti dapat dimanfaatkan sebagai media adsorben logam berat, antara lain: kulit cangkang coklat^[6] arang aktif kulit durian^[7] cangkang telur ayam^[8] ampas kopi^[9] arang aktif ampas kopi^[10] cangkang kupang^[11], cangkang telur burung puyuh^[12], arang aktif kulit pisang^[13] dan arang aktif tempurung kelapa^[14].

Pembuatan arang aktif dari limbah tempurung kelapa, memiliki beberapa keuntungan yaitu luas permukaan penyerapan lebih besar (500m²/gr). Dalam kombinasi reaksi fisik dan kimia yang kompleks, arang aktif tempurung kelapa diindikasikan dapat mengikat ion kromium pada permukaannya^[14].

Pertumbuhan industri batik yang pesat, serta masih belum ada penanganan limbah batik skala rumah tangga yang murah dan efektif, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana penurunan kadar kromium pada limbah batik dengan penggunaan arang aktif tempurung kelapa.

MATERI DAN METODE

Jenis penelitian adalah *True Experiment* desain dengan *Posttest Only Control Group Designs* dan rancangan acak lengkap pada (RAL). Pengulangan dilakukan 6 kali pada setiap kelompok, sehingga jumlah sampel 24 sampel.

Sampel terdiri dari 4 kelompok yaitu kelompok kontrol yaitu limbah cair batik tanpa pemberian arang aktif tempurung kelapa (K) 0 g/0,5 liter, kelompok Perlakuan 1 (P₁) 35g/0,5 Liter, (P₂) 40g/0,5 Liter, (P₃) dengan pengontakkan arang aktif tempurung kelapa 45g/0,5 Liter. Limbah batik dikontakkan dengan arang aktif tempurung kelapa selama 60 menit.

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan pembuatan arang aktif untuk kemudian dikontakkan ke air limbah.

Adapun tahapan proses pembuatan arang aktif adalah sebagai berikut: Pembakaran arang tempurung kelapa dengan metode *drum-kiln*, penumbukan menggunakan lumping, pengayakan dengan ukuran 100 mesh, aktivasi dengan larutan Na₂CO₃ 5%, pencucian menggunakan aquades, pemanasan dengan suhu 200⁰C selama 3,5 jam. Arang aktif siap untuk di kontakkan. Setelah arang aktif dikontakkan, dilakukan pengadukan dengan kecepatan 400rpm selama 1 jam, didiamkan selama 60 menit, dan disaring menggunakan kertas saring whatman 40 untuk dilakukan pengukuran kadar chromium pada setiap sampel dengan metode Atomic Absorbtion Spectrophotometer. Pengujian hipotesis menggunakan uji SPSS 20, yaitu uji Saphiro Wilk dilanjutkan dengan *One-Way* Anova menggunakan *Post Hoc Test* ($p < 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Kromium pada kelompok Kontrol (K) Perlakuan 1,2,3 (P1, P2, P3) pada setiap Pengulangan.

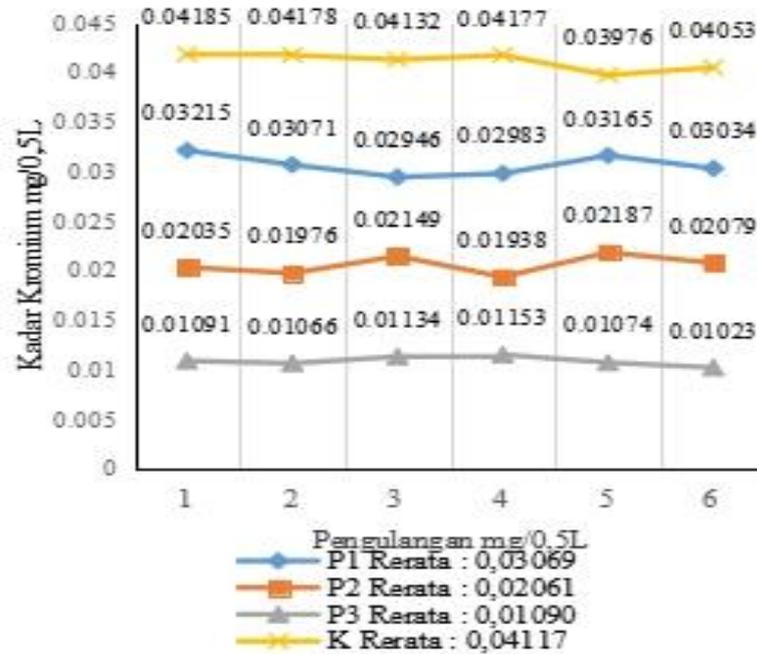
Fluktuasi kandungan Cr pada air selama enam kali pengulangan pada kelompok kontrol adalah 0,04185 mg/ 0,5 liter, 0,04178 mg/ 0,5 liter, 0,04132 mg/ 0,5 liter, 0,04177 mg/ 0,5 liter, 0,03976 mg/ 0,5 liter, 0,04053 mg/ 0,5 liter. Dimana kadar Cr tertinggi ada pada pengulangan ke 1 yaitu sebesar 0,04185mg/ 0,5 liter dan terendah pada pengulangan ke 5 yaitu sebesar 0,03976 mg/ 0,5 liter. Rerata kandungan Cr pada kelompok kontrol memiliki hasil yang paling tinggi sebesar 0,04117 mg/l.

Rerata pada enam kali pengulangan dari empat perlakuan tersebut secara berurutan menunjukkan bahwa kadar tertinggi Cr adalah ada pada kelompok kontrol (0,04117), kelompok P2 (0,02061), kelompok

P1 (0,03069) dan kelompok P3 (0,01090). Data secara lengkap dapat dilihat pada gambar 1.

Penggunaan bahan organik sebagai adsorben dapat dipengaruhi oleh banyak faktor. Karakteristik

bahan dapat organik yang unik dapat memberikan variasi dalam adsorpsi logam pencemar.



Gambar 1. Kadar kromium kelompok kontrol (K) dan kelompok perlakuan (P1, P2 dan P3) pada setiap pengulangan.

Tabel 1. Perbedaan kadar kromium kelompok kontrol (K) dengan kelompok perlakuan (P1,P2,P3).

No	Perlakuan	Mean (mg/0,5L)	Minimum	Maksimum	Penurunan Kadar Kromium(%)
1.	K (Kontrol)	0,04117	0,03976	0,04185	-
2.	P1 (Perlakuan 1)	0,03069	0,02946	0,03215	25,45
3.	P2 (Perlakuan 2)	0,02061	0,01938	0,02187	49,93
4.	P3 (Perlakuan 3)	0,01090	0,01023	0,01153	73,52

Penurunan Kadar Kromium pada Setiap Kelompok.

Dari enam kali pengulangan pada setiap perlakuan baik pada kelompok Kontrol, P1, P2, P3 dianalisa nilai rerata dan nilai maximum minimum dalam setiap pengulangan, untuk kemudian di analisis penurunan kadar kromium pada setiap kelompok. Dari hasil penghitungan penurunan rerata antara kelompok Perlakuan 1 (P1) dibandingkan dengan kelompok kontrol adalah 25,45%, sedangkan penurunan kelompok P2 dan P3 dengan kelompok kontrol yaitu 49.93% dan 73,52%. Dari hasil penghitungan penurunan kadar kromium pada setiap kelompok dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak arang aktif yang dikontakkan pada air maka kadar pencemar kromium pada limbah batik akan semakin menurun. Penurunan kadar kromium sebanding dengan jumlah arang aktif yang ditambahkan pada air. Data secara lengkap dapat dilihat pada tabel 1.

Penambahan arang atif tempurung kelapa yang bervariasi dapat mengakibatkan kemampuan penyerapan logam berat kromium yang berbeda-beda pada setiap kelompok perlakuan.

Dilakukan uji normalitas Shapiro-wilk pada setiap kelompok. Dari uji normalitas dilakukan pada kelompok kontrol (p=0,112), kelompok perlakuan1 (p=0,755), kelompok perlakuan 2 (p=0,833) dan kelompok perlakuan 3 (p=0,869). Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa seluruh kelompok berdistribusi normal (p>0,05). Data secara lengkap dapat dilihat pada tabel 2. Selanjutnya, dilakukan uji homogenitas. Dari uji homogenitas, menunjukkan p= 0,276 (>0,05) dimana kelompok memiliki varian yang sama.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas

Kelompok Perlakuan	Signifikansi	Keterangan
Tanpa Perlakuan (K)	0.112	Berdistribusi Normal
Perlakuan 1 (P1)	0.755	Berdistribusi Normal
Perlakuan 2 (P2)	0.833	Berdistribusi Normal
Perlakuan 3 (P3)	0.869	Berdistribusi Normal

Dari uji normalitas dan homogenitas yang memenuhi syarat, maka dilakukan uji *F Post Hoc One Way Anova* untuk melihat perbedaan antar kelompok. Hasil uji *One Way Anova* menunjukkan hasil bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok kontrol dengan kelompok perlakuan (P1), (P2) dan P3 ($0,000 < 0,05$). Data secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji *F Post Hoc One Way Anova*

Perlakuan	K	P1	P2	P3
K	-	0,000*	0,000*	0,000*
P1	-	-	0,000*	0,000*
P2	-	-	-	0,000*
P3	-	-	-	-

Dari hasil analisis, menunjukkan bahwa arang aktif tempurung kelapa dapat mengikat kandungan chromium dalam air limbah. Semakin banyak penambahan arang aktif tempurung kelapa yang dikontakkan maka semakin banyak chromium yang dapat diikat. Arang aktif tempurung kelapa secara sig dapat mengikat cemaran chromium dalam air limbah. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu pada penggunaan arang aktif tempurung kelapa dalam mengikat logam Fe (II), dimana semakin banyak penambahan arang aktif tempurung kelapa yang dikontakkan maka semakin turun logam yang ada di air.^[15] Penurunan nilai yang sangat signifikan terjadi pada kelompok perlakuan ketiga (P3) yaitu sebesar 73,52%. Faktor yang mempengaruhi adsorpsi diantaranya adalah massa adsorben, ukuran arang aktif tempurung kelapa, kecepatan pengadukan, dan waktu pengontakan.

Massa adsorben yang semakin besar dapat menambah luas permukaan penyerapan. Sejalan dengan penelitian sebelumnya yaitu penggunaan bahan organik ampas tebu untuk mengikat kromium pada air, menunjukkan hasil bahwa bahwa semakin banyak ampas tebu yang dikontakkan pada air, maka semakin banyak kromium yang diikat oleh ampas tebu.^[16] Penelitian lain menunjukkan bahwa, bahwa semakin banyak serbuk cangkang kupang yang dikontakkan dengan air, maka kadar kromium dalam air limbah batik menurun.^[11]

Kemampuan penyerapan bahan terhadap logam yang berada di air, juga memiliki peranan besar terkait dengan keberhasilan dalam penurunan logam dalam air. Arang aktif tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang besar dengan luas 500 m²/g, sehingga memiliki potensi daya serap yang tinggi terhadap logam berat yang ada pada air.^[14]

Arang aktif merupakan bahan yang telah mengalami perubahan sifat fisik dan kimia karena dilakukan aktivasi pada arang. Aktivasi secara fisik dan kimia pada arang membuat daya serap dan luas permukaan partikel akan semakin tinggi, sehingga kemampuan untuk menyerap bahan diharapkan semakin tinggi.^[17]

Dalam penelitian ini, arang aktivasi dilakukan secara fisik maupun kimia supaya daya serap arang tempurung kelapa lebih optimal. Aktivasi fisika merupakan proses aktivasi dengan memutuskan ikatan karbon dari senyawa organik pada suhu yang tinggi dengan bantuan CO₂ dan uap. Gas-gas yang dihasilkan dari aktivasi tersebut memiliki fungsi untuk memeluas struktur pori-pori arang sehingga dapat meningkatkan luas permukaan, menghilangkan substansi yang mudah menguap, serta menghilangkan hidrokarbon pengotor pada arang. Sedangkan aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon pada senyawa-senyawa organik dengan bantuan bahan kimia.^[18] Proses pengaktifan secara kimia dilakukan dengan menambahkan senyawa kimia tertentu pada arang. Senyawa kimia yang dapat digunakan sebagai bahan pengaktif antara lain KCl, NaCl, ZnCl₂, CaCl₂, MgCl₂, H₃PO₄, Na₂CO₃ dan garam mineral lainnya.^[19]

Pada penelitian ini menggunakan bahan kimia Na₂CO₃ dengan perendaman selama 20-24 jam. Kemudian dilanjutkan dengan pengeringan dan pemanasan 110 °C dengan lama pengovenan 3,5 jam. Hal ini merujuk pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan kondisi nilai tertinggi *surface area* jika menggunakan aktivator Na₂CO₃ dengan konsentrasi 5% sebagai aktivator pada arang aktif tempurung kelapa.^[20] Penggunaan Na₂CO₃ sebanyak 5 % pada arang kayu ulin selama 24 jam, dapat menghilangkan senyawa tar dalam proses karbonasi, sehingga dapat membuat struktur karbon mengalami pergeseran selama proses aktivasi dan membentuk pori pori yang lebih banyak.^[21]

Pengeringan yang dilakukan menggunakan oven dengan suhu 110°C dengan lama waktu 3,5 jam dilakukan karena menghasilkan daya serap iodin paling tinggi dibandingkan dengan lama waktu 2 jam pemanasan.^[22]

Ukuran arang juga berperan dalam proses penyerapan logam pencemar di air. Ayakan arang tempurung kelapa yang kecil yaitu 100 mesh, di harapkan mampu memperbesar penyerapan logam di air. Pada ukuran partikel serbuk 100 mesh terdapat ukuran pori mikro yang cukup besar sehingga akan lebih optimal dalam mengikat logam pada air.^[23]

Proses pengadukan pada saat pengontakan arang ke air, dianggap mampu membantu proses penyerapan logam oleh arang aktif tempurung kelapa. Dalam penelitian ini, pengadukan dilakukan dengan kecepatan 400 rpm, dengan waktu kontak 60 menit. Semakin besar kecepatan pengadukan maka akan semakin besar pula area kontak sehingga potensi molekul logam yang terserap semakin besar.^[24] Waktu kontak bahan dengan air limbah, juga berperan dalam kemampuan bahan untuk menyerap logam dalam air. Setiap bahan memiliki waktu optimum dalam menyerap logam. Jika waktu terlalu sedikit maka logam cemar air tidak terikat dengan baik, demikian juga jika waktu kontak terlalu lama, maka permukaan yang kosong akan semakin berkurang sehingga kemampuan adsorben untuk menyerap logam cemar menurun yang mengakibatkan laju pelepasan kembali logam pencemar ke air. Hal ini menandakan bahwa adsorben telah mencapai waktu kontak optimum untuk penyerapan.^[25]

Keberadaan kromium pada lingkungan dapat berdampak pada kesehatan manusia. Chromium dapat masuk ke organisme, melalui rantai makanan. Kromium sendiri merupakan bahan kimia yang bersifat persisten, bioakumulatif, dan toksik (*Persistent, Bioaccumulative and Toxic* (PBT)) yang tinggi serta tidak mampu terurai di dalam lingkungan, sulit diuraikan, dan akhirnya diakumulasi di dalam tubuh manusia. Kromium memiliki sifat karsinogenik paru-paru. Kromium akan mengakibatkan kanker apabila terdapat intake secara aktif, dan terjadi metabolisme yang berkaitan dengan asam nukleat inti sel. Ikatan kromium dapat menimbulkan mutagenesis. Efek toksik ini juga dapat menyerang pada sistem pencernaan, Makanan yang memiliki kandungan Cr (VI) yang tinggi dapat mengakibatkan suatu gangguan pada pencernaan, dapat berupa sakit lambung, luka pada lambung, kerusakan ginjal, muntah dan pendarahan, konvulsi, dan hepar, serta dapat menimbulkan kematian. Efek toksik pada alat pernafasan dengan menghirup udara yang mengandung Cr tinggi dapat menyebabkan iritasi hidung, hidung berlendir, pendarahan hidung, dan timbulnya lubang pada nasal septum. Efek toksik pada kulit dan mata, kromium dapat mengakibatkan iritasi pada mata, luka pada mata, iritasi pada kulit, dan membrane mukosa^[4]

SIMPULAN

Arang aktif tempurung kelapa dapat mengikat logam pencemar kromium dalam air. Terdapat perbedaan yang signifikan kadar kromium pada air antara kelompok kontrol (K) dengan kelompok perlakuan P1 (35 mg/0,5 liter); P2 (40 mg/0,5 liter); P3 (45 mg/0,5 liter) ($p < 0,05$).

Logam berat, kromium perlu dikendalikan supaya tidak mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan. Untuk itu pemerintah tetap perlu melakukan pemantauan terhadap pengolahan limbah industri pabrik batik. Arang aktif tempurung kelapa

dapat dipergunakan untuk mengikat logam berat kromium pada air, namun demikian perlu penelitian lebih lanjut terkait bagaimana implementasi teknis terkait pemanfaatan limbah arang aktif tempurung kelapa dalam mengikat kromium pada air limbah batik.

Terima Kasih

Terima Kasih kepada industri batik yang berkenan membantu kelancaran penelitian ini, serta Lembaga penelitian dan pengabdian (LP2M) Universitas Jember yang memberikan support dan kesempatan untuk penelitian ini bisa diterbitkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sembel, D. T. *Toksikologi Lingkungan*. Yogyakarta: ANDI, 2015.
- [2] Moelyaningrum, A. D and Pujiati, R. Sri. Cadmium (Cd) and Mercury (Hg) in the Soil, Leachate and Ground Water at the final Waste Disposal Pakusari Jember Distric Area. *Int. J. Sci. Basic Appl. Res. Int. J. Sci. Basic Appl. Res.* 2015;24(2). 101–108.
- [3] Billah, A. R., Moelyaningrum, A. D., and Ningrum, P. T. Phythoremediasi Chromium Total (Cr-T) menggunakan kayu apu (*Pistia stratiotes* L.) pada limbah cair batik. *J. Biol. Udayana*, 2020;24(1), 47-53. <https://doi.org/10.24843/JBIOUNUD.2020.v24.i01.p06>
- [4] Widowati, *Efek Toksik Logam Pencegahan dan Penanggulangan Pencemaran*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.2008.
- [5] Apriyani, N. Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya. *MITL Media Ilm. Tek. Lingkung.* 2018. 3(1),21–29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- [6] Moelyaningrum, A. D. The Potential of Cacao Pod Rind Waste (*Theobroma cacao*) to Adsorb Heavy Metal (Pb and Cd) in Water. Singapore. *Springer Nat.* 2017;18(1). 265–275. <https://www.springerprofessional.de/en/the-potential-of-cacao-pod-rind-waste-theobroma-cacao-to-adsorb-/15172692>. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5433-4_18
- [7] Zarkasi, K., Moelyaningrum, A.D., & Ningrum. Penggunaan Arang Aktif Kulit Durian (*Durio Zibethinus Murr*) Terhadap Tingkat Adsorpsi Kromium (Cr 6+) Pada Limbah Batik. *Jurnal Efektor.* 2018;5(2). 67-73. <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/efektor-e/article/view/12069>
- [8] Ratnasari, N. D., Moelyaningrum, A.D., & Ellyke “Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal,” *Sanitasi Jurnal. Kesehat. Lingkung.* 2017;9(2). 56–62. <http://e-journal.poltekkesjogja.ac.id/index.php/Sanitasi/article/view/751>

- [9] Moelyaningrum, A. D., Ngibad, K., Lestari, L.P., & *et al.* The Robusta coffee grounds residues to adsorb the heavy metal Lead (Pb) in the water. *Journal. Phys. Conf. Ser.* 2018;1114(1). 1–7. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1114/1/012058/pdf>.<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1114/1/012058>
- [10] Baryatik, P., Moelyaningrum, A. D., & *et al.* Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi sebagai Adsorben Kadmium pada Air Sumur, 2019; 2(1). 011-019. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jmtluntan/article/view/31115>.<https://doi.org/10.26418/jtlb.v7i1.31115>
- [11] Pridyanti, D. D., Moelyaningrum, A. D. & Ningrum, P. T. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kupang (Corbula Faba) Teraktivasi Termal Sebagai Adsorben Logam Kromium (Cr^{6+}) Pada Limbah Cair Batik,” *HIBUALAMO*, 2018;2(2). 78–83. <https://journal.unhena.ac.id/index.php/hibualamo/article/view/92>
- [12] Moelyaningrum AD, Faradila W, Pujiati RS. Pemanfaatan Cangkang Telur Puyuh Sebagai Pengikat Logam Berat Timbal (Pb) dalam Air. *Jurnal Kesehatan*. Vol 13(2), 96-01. 2020. <https://doi.org/10.32763/juke.v13i2.189>
- [13] Patracia, R. S., Moelyaningrum, A. D., & Pujiati, R. S. Arang Aktif Kulit Pisang Kepok Dalam Mengikat Logam Berat Timbal. *J. Berk. Kesehat.* 2019;5(1). 18–22. <https://ppjp.ulm.ac.id/journal/index.php/berkala-kesehatan/article/view/5939>.<https://doi.org/10.20527/jbk.v5i1.5939>
- [14] Lasindrang, M. Adsorpsi Pencemaran Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Oleh Kitosan Yang Melapisi Arang Aktif Tempurung Kelapa. *J. TeknoSains*, 2014;3(2). 81–166. <https://doi.org/10.22146/teknosains.6026>
- [15] Sianipar, L. D., Zaharah, T. A., & Syahbanu, I. Adsorpsi Fe(II) Dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma cacao* L.) Teraktivasi Asam Klorida. *J. Kim. Khatulistiwa*. 2016;5(2). 50–59. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2016.v2.i1.6040>
- [16] Hariyanti, P. & Razif, M. Pemanfaatan Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L) Sebagai Adsorben Untuk Penurunan Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr^{6+}) Pada Limbah Buatan Dengan Menggunakan Metode Batch. *Semin. Teknol. Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur*. 2019;2(1). 420–425.
- [17] Ramadhani, L. F., Nurjannah, I. M., Yulistiani, R., & Saputro, E. A. Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa, *J. Tek. Kim.* 2020;26(2). 42–53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- [18] Meisrilestari, Y., Khomaini, R., & Wijayanti, H. Pembuatan Arang Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivasi Secara Fisika, Kimia Dan Fisika-Kimia. *Konversi*, 2013;2(1), 45–50. <https://doi.org/10.20527/k.v2i1.136>
- [19] Pambayun, G. S., Yulianto, R. Y. E., & Rachimoellah, M. Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator ZnCl_2 Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah. *J. Tek. POMITS*. 2013;2(1). F116–F120.
- [20] Matilda, F., Biyatmoko, D., & Rizali, A. The Improvement of Quality of Tofu Industry Wastewater Effluent on Activated Sludge System with Flow Rate Variation Using Ironwood (*Eusideroxylon zwageri*) Activated Charcoal. *EnviroScienteeae*, 2016;12(3). 207–215. <https://doi.org/10.20527/es.v12i3.2446>
- [21] Pakiding, L. M., Sumarni, N. K., & Musafira. Aktivasi Arang Tempurung Kelapa Dengan ZnCl_2 Dan Aplikasinya Dalam Pengolahan Minyak Jelantah. *Online J. Nat. Sci.* 2014;3(1) 47–54.
- [22] Gova, M. A. & Oktasari, A. Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Logam Berat Merkuri (Hg). *Pros. Semin. Nas. Sains Dan Teknol.* 2019;2(1). 1–14. <https://doi.org/10.47199/jaf.v1i1.23>
- [23] Wahjuni, N. S., Anggara, D., Rinjayanti, D. Perbandingan Tingkat Adsorbansi Chitin Dan Karbon Aktif Dalam Menjerap Logam Chromium. *EKUILIBRIUM*, 2015;4(2) 71–77,
- [24] Aisyahlaka, S. Z., & Firdaus, M. L. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (*Cerbera odollam*) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 Dan Reactive Blue-198,” *ALOTROP, J. Pendidik. dan Ilmu Kim.* 2018; 2(2). 148–155.



©2022. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.