

## Efektivitas sampah organik sebagai adsorben logam kromium (Cr) dalam limbah cair industri tekstil: sistematika reviu

### *Effectiveness of organic waste as an adsorbent for chromium metal (Cr) in textile industry wastewater: systematic review*

Diva Bilqiis Rihhadatul 'Aisy<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

#### **Abstrak.**

Pengolahan produk dari berbagai industri tidak luput dari produk samping berupa limbah cair yang dapat mengandung logam berat dan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Logam kromium (Cr) merupakan salah satu logam pencemar dengan sifat sulit terurai, toksik, persisten dan bioakumulatif. Karbon aktif sebagai adsorben yang diperoleh dari sampah organik merupakan salah satu cara untuk mengurangi logam berat yang terkandung dalam limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau karbon aktif pada sampah organik tempurung kelapa, ampas tebu, tongkol jagung, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia dengan efektivitas tertinggi sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam berat dalam air limbah. Metode yang digunakan melalui penelusuran pustaka jurnal dan artikel penelitian pada 21 tahun terakhir dalam bahasa Indonesia maupun bahasa Inggris dengan menggunakan kata kunci karbon aktif, adsorben dan logam berat Cr melalui *Google Scholar* dan *Science Direct*. Diperoleh 160 artikel relevan dengan penelitian ini dan diperoleh 10 artikel untuk membantu dalam tahap pembahasan. Hasil penelitian literatur dengan beberapa artikel menunjukkan bahwa karbon aktif pada limbah organik tempurung kelapa sebagai adsorben mempunyai pengaruh yang besar dan mampu menurunkan konsentrasi logam berat kromium (Cr) dalam 500 ml air limbah tekstil sebesar 73,52%.

Kata kunci: adsorben, logam berat, karbon aktif, kromium (Cr), sampah organik

#### **Abstract.**

*Product processing from industries is not spared from by-products in the form of wastewater that can contain heavy metals and cause environmental pollution. Chromium (Cr) metal as one of the polluting with difficult-to-decompose, toxic, persistent and bioaccumulative. Activated carbon as an adsorbent obtained from organic waste is one way to reduce heavy metals in wastewater. This study aims to reviewing activated carbon in organic waste such as coconut shells, bagasse, corn cobs, rice husks, pecan shells, salak shells, rubber fruit shells, banana peels, durian peels and acacia pods with the highest effectiveness as adsorbents to reduce of Cr in wastewater. The method was used through searching the literature of journals and research articles in the last 21 years in Indonesian and English using the keywords activated carbon, adsorbents and heavy metals Cr through *Google Scholar* and *Science Direct*. 160 articles were obtained relevant to this study and 10 articles were obtained to in the discussion. The results of literature research show that activated carbon in coconut shell organic waste as an adsorbent has a great influence and is able to reduce the concentration of heavy metal chromium (Cr) in 500 ml of textile wastewater by 73.52%.*

*Keywords: adsorbent, heavy metal, activated carbon, chromium (Cr), organic waste*

## **1. PENDAHULUAN**

Pengolahan produk dari berbagai macam industri tidak luput dari hasil samping berupa limbah cair hasil pengolahan yang cenderung mengandung logam berat. Limbah cair industri merupakan suatu bahan yang dihasilkan dari proses atau sisa kegiatan yang berbentuk cair, keberadaannya di lingkungan tidak diinginkan karena

---

\* Korespondensi Penulis  
Email : [divabilqiis@upi.edu](mailto:divabilqiis@upi.edu)

tidak memiliki nilai ekonomi sehingga cenderung untuk dibuang (Asmadi *et al.* 2011; Asmadi dan Suharno 2012).

Logam berat merupakan polutan dalam larutan yang keberadaannya menimbulkan risiko tinggi terhadap lingkungan dan manusia karena beracun dan mudah terakumulasi pada rantai makanan (Li *et al.* 2018). Berat jenis dari logam berat (metalloid) umumnya melebihi  $6 \text{ g/cm}^3$  (Liu *et al.* 2015). Logam berat yang banyak terdapat dalam limbah cair industri antara lain kromium (Cr), arsenik (As), kadmium (Cd), zink (Zn), tembaga (Cu), raksa (Hg), nikel (Ni) dan timbal (Pb). Menurut *Environment Protection Agency* (EPA) di antara logam berat yang terdapat dalam air limbah industri, logam berat dengan tingkat toksisitas tinggi adalah arsenik (As), timbal (Pb), kadmium (Cd), raksa (Hg) dan kromium (Cr) (Sudarmaji *et al.* 2006).

Kromium (Cr) adalah logam berat yang memiliki sifat toksik, sulit terurai, persisten dan bioakumulatif (Widowati *et al.* 2008). Terpapar logam kromium dengan dosis yang tinggi dapat menyebabkan iritasi mata, kulit hidung dan paru-paru serta dapat menimbulkan kanker paru-paru dan alat pencernaan (O'Connell *et al.* 2008). Logam berat kromium (Cr) terutama terdapat pada air limbah industri tekstil. Logam kromium digunakan pada industri tekstil dalam proses pewarnaan dan pencelupan. Logam kromium (Cr) yang terdapat pada zat pewarna tekstil dapat mengikat zat warna, sehingga menghasilkan kain dengan warna yang lebih mencolok. Adanya logam kromium dalam pewarna akan menghasilkan limbah kromium (Cr) dari proses pembilasan kain yang dibuang dan bercampur dengan air limbah (Apriyani 2018).

Ada berbagai metode untuk menghilangkan ion logam berat kromium (Cr) dari limbah industri antara lain pemisahan dengan membran, teknik koagulasi, pertukaran ion dan adsorpsi secara fisik. Di antara semua metode tersebut, adsorpsi adalah metode yang paling umum digunakan karena biaya operasionalnya yang rendah serta prosesnya yang efisien (Wang *et al.* 2019). Pada metode adsorpsi reduksi logam berat, polutan atau metaloid dipindahkan dari larutan ke permukaan luar adsorben, partikel polutan akan teradsorpsi ke dalam pori-pori aktif adsorben. Terdapat beberapa pengaruh pada saat proses adsorpsi logam, seperti konsentrasi logam, ukuran partikel, pH, serta konsentrasi ligan dan ion-ion lain dalam larutan (Ahmad *et al.* 2015).

Salah satu adsorben logam berat dapat berasal dari karbon aktif. Karbon aktif diperoleh dengan memanaskan bahan yang mengandung karbon pada suhu tinggi (Ali

*et al.* 2020). Karbon aktif mempunyai sifat penyerapan yang baik karena luas permukaannya yang besar dengan struktur pori internal (Herlandien 2013). Karbon aktif dapat diperoleh dengan memanfaatkan limbah organik seperti tempurung kelapa (Moelyaningrum dan Ellyke 2022), tongkol jagung (Rokhati *et al.* 2023), ampas tebu (Tasanif *et al.* 2020), sekam padi (Sobhanardakani *et al.* 2013), tempurung kemiri (Nasruddin *et al.* 2017), kulit salak (Utama *et al.* 2016), cangkang buah karet (Zulfadhli 2017), kulit pisang (Shafirinia *et al.* 2016), kulit durian (Herlina *et al.* 2023) dan polong akasia (Dewi *et al.* 2018).

Pada tempurung kelapa (*Cocos nucifera*), diperoleh karbon aktif yang memiliki luas permukaan penyerapan sekitar (500 m<sup>2</sup>/g). Hal ini memungkinkan karbon aktif yang terdapat pada tempurung kelapa dapat mengikat dan mereduksi kandungan logam kromium pada air limbah melalui kombinasi reaksi fisika dan kimia yang kompleks (Lasindrang 2014). Karbon aktif pada tongkol jagung (*Zea mays*) diperoleh dari selulosa. Tongkol jagung diketahui mengandung selulosa 40-44%, hemiselulosa 31-33%, lignin 31-33% serta abu sekitar 3-5%. Kandungan selulosa yang tinggi menjadi salah satu potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben (Widowati *et al.* 2008). Semakin besar luas permukaan penyerapan, semakin besar pula massa tongkol jagung yang ditambahkan (Guiza 2017).

Ampas tebu (*Saccharum officinarum L.*) mengandung selulosa dan juga dapat digunakan sebagai bahan karbon aktif (Asbahani 2013). Ampas tebu terutama mengandung ligno-cellulose. Ampas tebu mengandung sekitar 45% selulosa, sekitar 48 - 52% air atau kelembaban, rata-rata 3,3% gula dan rata-rata 47,7% serat (Santosa *et al.* 2003). Fraksi selulosa ini dapat digunakan sebagai adsorben logam berat dengan kemampuan yang baik dalam mengikat ion logam berat (Kaur *et al.* 2008). Karbon aktif pada sekam padi (*Oriza sativa L.*) diperoleh dari selulosa. Dalam sekam padi terdapat 20% lignin, 25% hemiselulosa, dan 35% selulosa. Selain itu, terdapat 3% protein kasar dan 17% silika. Konsentrasi selulosa yang tinggi pada sekam padi dapat digunakan sebagai salah satu adsorben untuk menghilangkan logam berat (Dadhich *et al.* 2004).

Tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) memiliki struktur pori. Porositas ini memberikan luas permukaan yang besar, yang sangat penting untuk menyerap dan menyaring zat-zat kimia dari lingkungan. Proses aktivasi tempurung kemiri dengan panas tinggi dapat meningkatkan porositasnya, menjadikannya efektif sebagai karbon

aktif untuk adsorpsi berbagai senyawa organik dan kimia (Nasruddin *et al.* 2017). Karbon aktif pada kulit buah salak (*Salacca zalacca*) diperoleh dari selulosa (Utama *et al.* 2016). Kandungan selulosa pada kulit buah salak sebesar 25,8483% (Nugroho 2020). Kulit buah salak dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat karena kandungan selulosanya yang tinggi. Cangkang salak mengandung selulosa dan karena adanya gugus OH pada struktur kimia selulosa, maka dapat berperan sebagai adsorben dan berikatan dengan adsorbat (Shinta dan Indah 2012). Adanya gugus OH pada selulosa menyebabkan adsorben dari kulit buah salak ini mempunyai sifat polar, sehingga dapat mengadsorpsi zat polar seperti logam (Indah dan Joko 2013).

Kulit buah karet (*Hevea brasiliensis*) dapat dijadikan karbon aktif karena mempunyai struktur pori dan luas permukaan yang relatif besar. Pori-pori ini memungkinkan karbon aktif untuk menyerap dan menyaring berbagai zat kimia, gas, dan partikel dari lingkungan sekitarnya. Sifat ini membuat cangkang buah karet efektif dalam berbagai aplikasi, seperti penyaringan air dan udara (Zulfadhli 2017). Karbon aktif dalam kulit pisang (*Musa paradisiaca*) diperoleh dari selulosa dan galakturonat. Selulosa dapat bertindak sebagai pengikat logam berat dan asam galakturonat sebagai zat yang memastikan kulit pisang mengikat ion logam dengan kuat sebagai fungsi dari gula karboksil (Shafirinia *et al.* 2016).

Kulit durian (*Durio zibethinus* L.) dapat dijadikan karbon aktif karena mengandung komponen yang dapat menyerap logam berat seperti bahan selulosa organik dengan gugus hidroksil, gugus amina dan gugus karbonil (Herlina *et al.* 2023). Buah akasia (*Acacia mangium*) dapat digunakan sebagai karbon aktif karena mengandung selulosa dan lignin yang dapat mempengaruhi kinerja karbon aktif yaitu proses adsorpsi (Dewi *et al.* 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan meninjau potensi pada sampah organik tempurung kelapa, ampas tebu, tongkol jagung, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia dengan efektivitas tertinggi sebagai adsorben untuk mengurangi kandungan logam berat Cr dalam air limbah tekstil, sehingga dapat dilakukan proses pengurangan logam berat Cr dengan biaya rendah dan efisien. Selain dapat mengurangi kandungan logam berat pada limbah cair industri tekstil, pemanfaatan karbon aktif pada limbah organik sebagai adsorben juga dapat membantu mengurangi limbah organik, sehingga dapat

terwujud limbah cair industri yang terbebas dari logam berat Cr dan aman bagi lingkungan.

## **2. METODOLOGI**

### **2.1. Lokasi kajian dan waktu penelitian**

Artikel revidu ini ditulis pada bulan Oktober 2023 di Kota Bandung, Jawa Barat dengan menggunakan metode pencarian literatur *Google Scholar* dan *Science Direct*. Penelusuran literatur dilakukan dalam bentuk jurnal dan artikel penelitian dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia dengan menggunakan kata kunci karbon aktif, adsorben dan logam berat kromium (Cr) selama 21 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2002 hingga 2023. Melalui penelusuran literatur, teridentifikasi 160 jurnal dan artikel yang dipilih berdasarkan relevansinya dengan publikasi ini. Terdapat 10 artikel relevan yang mendukung dalam tahap diskusi dan saran.

### **2.2. Prosedur analisis data**

Data yang dianalisis dalam artikel sistematik revidu ini mengenai kapasitas serapan karbon aktif limbah organik pada logam berat Cr dalam limbah cair industri tekstil. Analisis data yang digunakan adalah pendekatan sederhana. Pendekatan sederhana merupakan suatu analisis yang mengumpulkan data yang diperoleh untuk setiap artikel dan menyederhanakan hasil penelitian.

## **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **3.1. Efektivitas tempurung kelapa sebagai adsorben logam Cr**

Karbon aktif pada tempurung kelapa dapat mengikat dan menurunkan cemaran logam kromium dalam limbah cair. Semakin banyak karbon aktif tempurung kelapa yang berikatan dengan air limbah, maka semakin efektif mengikat dan menurunkan kandungan logam Cr (Moelyaningrum dan Ellyke 2022). Perbandingan massa karbon aktif pada penelitian ini dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 35 mg/0,5 L; 40 mg/0,5 L dan 45 mg/0,5 L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 25,45%; 49,93% dan 73,52%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah yaitu pada saat massa karbon aktif tempurung kelapa sebesar 45 mg/0,5 L dengan efektivitas sebesar 73,52% (**Tabel 1**).

Hal ini menunjukkan semakin banyak karbon aktif yang dikontakkan, maka semakin tinggi pula proses adsorpsinya.

**Tabel 1.** Efektivitas karbon aktif pada tempurung kelapa sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tempurung kelapa ( <i>Cocos nucifera</i> )	3,5mg/0,5L	Cr	25,45%	Moelyaningrum dan Ellyke (2022)
	40mg/0,5L		49,93%	
	45mg/0,5L		73,52%	

Kemampuan penyerapan karbon aktif terhadap logam dalam air memiliki peranan yang cukup besar dalam menurunkan dan mengikat logam yang terdapat dalam air. Karbon aktif pada tempurung kelapa (*Cocos nucifera*) mempunyai luas permukaan serapan kurang lebih ( $500\text{m}^2/\text{g}$ ), sehingga memiliki potensi dan daya adsorpsi tinggi terhadap logam-logam dalam air (Lasindrang 2014). Aktivasi karbon aktif tempurung kelapa terjadi baik secara fisik dan kimia. Aktivasi dilakukan dengan merendam tempurung kelapa dengan zat aktif  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  selama 20 sampai dengan 24 jam. Kemudian dipanaskan dalam oven dengan suhu pemanasan  $110^\circ\text{C}$ , pemanasan dilakukan selama 3,5 jam. Hasil proses pemanasan kemudian diayak pada filter dengan ukuran 100 mesh sehingga diperoleh karbon aktif yang dapat mengikat logam Cr lebih optimal (Moelyaningrum dan Ellyke 2022).

### 3.2. Efektivitas tongkol jagung sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif tongkol jagung dilakukan sebagai 4 variasi massa di antaranya: 2g/100mL; 3g/100mL; 4g/100mL dan 5g/100mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 52%, 60%, 72% dan 82,33%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif tongkol jagung terjadi pada massa karbon aktif sebesar 5 g/100 mL dengan efektivitas sebesar 82,33% (**Tabel 2**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka semakin besar pula luas permukaan adsorbennya (Guiza 2017). Peningkatan sisi aktif penyerap pada tongkol jagung meningkatkan laju adsorpsi dan meningkatkan efisiensi penyerapan logam Cr dalam air limbah (Liu *et al.* 2015).

**Tabel 2.** Efektivitas karbon aktif pada tongkol jagung sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tongkol jagung ( <i>Zea mays</i> )	2g/100mL	Cr	52%	Rokhati <i>et al.</i> (2023)
	3g/100mL		60%	
	4g/100mL		72%	
	5g/100mL		82,33%	

Tongkol jagung (*Zea mays*) diketahui mengandung selulosa 40-44%, hemiselulosa 31-33%, lignin 31-33% serta abu sekitar 3-5%. Kandungan selulosa yang tinggi menjadi salah satu potensi pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben (Widowati *et al.* 2008). Adsorpsi pada adsorben berbahan dasar selulosa dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti hidrofobisitas, polaritas, gaya van der Waals, interaksi sterik dan ikatan hidrogen (Hokkanen *et al.* 2016). Aktivasi karbon aktif pada tongkol jagung dilakukan secara kimia. Pada proses aktivasi, tongkol jagung yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dipotong seperti dadu dan dikeringkan. Setelah kering, 10 g ditimbang dan direndam dalam larutan NaOH 0,1 N. Larutan NaOH berperan sebagai aktivator sehingga terjadi proses dekomposisi yang meningkatkan kemurnian selulosa dan memungkinkan luas permukaan selulosa meningkatkan kapasitas serapan logamnya. Proses perendaman dilakukan pada suhu 28°C dan 90°C selama 4 jam (Rokhati *et al.* 2023).

### 3.3. Efektivitas ampas tebu sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif dalam publikasi ini dilakukan dengan menggunakan empat variasi perubahan massa: 0,5g; 1g; 1,5g dan 2,5g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut: 1,59mg/g; 0,8mg/g; 0,6mg/g dan 0,4mg/g. Penurunan kandungan logam berat Cr yang signifikan dalam air limbah dengan karbon aktif dari ampas tebu terjadi pada saat massanya sebesar 0,5g dengan efektivitas sebesar 1,59mg/g (**Tabel 3**). Proses adsorpsi logam berat Cr oleh karbon aktif ampas tebu berbeda dengan karbon aktif lainnya. Pengurangan logam berat yang optimal dan signifikan terjadi ketika massa karbon aktif yang bersentuhan rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti proses aktivasi kurang sempurna atau terjadinya penyumbatan pada situs penyerapan.

**Tabel 3.** Efektivitas karbon aktif pada ampas tebu sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Ampas tebu ( <i>Saccharum officinarum</i> )	0,5g	Cr	1,59mg/g	Tasanif <i>et al.</i> (2020)
	1g		0,8mg/g	
	1,5g		0,6mg/g	
	2,5g		0,4mg/g	

Ampas tebu (*Saccharum officinarum* L.) mengandung selulosa yang cukup tinggi dan juga dapat digunakan sebagai bahan karbon aktif (Asbahani 2013). Ampas tebu terutama mengandung ligno-cellulose. Ampas tebu mengandung sekitar 45% selulosa, sekitar 48 - 52% air atau kelembaban, rata-rata 3,3% gula dan rata-rata 47,7% serat (Santosa *et al.* 2003). Selulosa adalah senyawa hidrofilik karena adanya gugus hidroksil pada setiap unit polimer. Selulosa dapat menjadi adsorben logam berat karena permukaannya dapat berinteraksi secara fisika maupun kimia dengan logam berat (Santosa *et al.* 2003). Aktivasi karbon aktif pada ampas tebu terjadi secara kimia dan fisika. Ampas tebu terlebih dahulu direndam dalam larutan HCl 0,1; 0,2 dan 0,3 M selama satu hari. Hal ini dilakukan untuk membuka permukaan pada ampas tebu yang tertutup. Ampas tebu kemudian disaring melalui kertas saring dan dicuci dengan air suling sampai diperoleh pH netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 75°C selama satu hari. Setelah dikeringkan, selanjutnya dilakukan pengayakan pada karbon aktif ampas tebu dengan ukuran 80 mesh (Tasanif *et al.* 2020).

### 3.4. Efektivitas sekam padi sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif sekam padi dilakukan sebagai 5 variasi massa di antaranya: 1g/200mL; 2g/200 mL; 3g/200 mL; 4g/200mL dan 5g/200mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 20%, 43%, 70%, 83% dan 98%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 5 g/200mL dengan efektivitas sebesar 98% (**Tabel 4**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka semakin besar pula luas permukaan dan volume pori adsorben yang tersedia untuk proses adsorpsi logam berat (Ho and McKay 2003; Martin-Dupont *et al.* 2002).

**Tabel 4.** Efektivitas karbon aktif pada sekam padi sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Sekam padi ( <i>Oriza sativa</i> L.)	1g/200mL	Cr	20%	Sobhanardakani <i>et al.</i> (2013)
	2g/200mL		43%	
	3g/200mL		70%	
	4g/200mL		83%	
	5g/200mL		98%	

Kemampuan adsorpsi pada sekam padi (*Oriza sativa* L.) diperoleh dari selulosa. Dalam sekam padi terdapat 20% lignin, 25% hemiselulosa, dan 35% selulosa. Selain itu, terdapat 3% protein kasar dan 17% silika. Tingginya konsentrasi selulosa dalam sekam padi dapat digunakan serta dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menurunkan logam berat (Dadhich *et al.* 2004). Aktivasi karbon aktif pada sekam padi dilakukan secara fisika. Sekam padi dicuci dengan air deionisasi lalu dilakukan proses pengeringan selama satu sampai dua hari pada suhu 60°C dan disimpan pada suhu kamar. Selanjutnya, sekam padi digiling lalu diayak dengan menggunakan saringan 1 mm (Sobhanardakani *et al.* 2013).

### 3.5. Efektivitas cangkang buah karet sebagai adsorben logam Cr

Massa karbon aktif pada cangkang buah karet dilakukan sebanyak 1 variasi massa yaitu 150mg/L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah yaitu 96,67% (**Tabel 5**). Tidak dapat dilakukan perbandingan massa karbon aktif cangkang buah karet yang digunakan, karena dalam referensi, massa karbon aktif tidak dibuat sebagai variabel bebas, melainkan sebagai variabel terikat.

**Tabel 5.** Efektivitas karbon aktif pada cangkang buah karet sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Cangkang buah karet ( <i>Hevea brasiliensis</i> )	150mg/L	Cr	96,67%	Zulfadhli (2017)

Kemampuan adsorpsi pada cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) diperoleh dari luas permukaan serta struktur pori yang cukup besar. Aktivasi karbon aktif pada cangkang buah karet dilakukan secara fisika dan kimia. Cangkang buah karet mula-mula dicuci sampai bersih dan dikeringkan, lalu dikecilkan ukurannya menjadi 100 mesh. Diaktivasi oleh H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dan dikarbonisasi selama 60 menit dengan suhu 500°C, lalu dilakukan pencucian dengan akuades sampai diperoleh pH netral dan dilakukan pengeringan 100°C dengan oven (Zulfadhli 2017).

### 3.6. Efektivitas tempurung kemiri sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif tempurung kemiri dilakukan sebanyak 2 variasi massa di antaranya: 100 mg/L dan 200 g/L dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 2,5mg/g dan 3,6mg/g. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 200g/L dengan efektivitas sebesar 3,6mg/g (**Tabel 6**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, maka luas permukaan maupun volume pori adsorben yang tersedia untuk proses adsorpsi logam berat semakin besar (Martin-Dupont *et al.* 2002).

**Tabel 6.** Efektivitas karbon aktif pada tempurung kemiri sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Tempurung kemiri ( <i>Aleurites moluccana</i> )	100mg/L	Cr	2,5 mg/g	Nasruddin <i>et al.</i> (2017)
	200mg/L		3,6 mg/g	

Kemampuan adsorpsi pada tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*) diperoleh dari struktur pori. Porositas ini memberikan luas permukaan yang besar (Nasruddin *et al.* 2017). Karbon aktif di dalam tempurung kemiri diaktifkan secara fisika dan kimia. Cangkang kemiri yang digunakan dicuci, dijemur dihancurkan menjadi bagian kecil dan dilakukan proses pengeringan di dalam oven. Karbonisasi dalam *furnace* dengan suhu 400°C selama 90 menit menggunakan gas N<sub>2</sub>. Didinginkan arang lalu haluskan sampai menjadi serbuk berukuran ± 120 mesh dengan menggunakan grinder.

Aktivasi kimia dilakukan dengan cara impregnasi arang dengan larutan NaOH 1 M dilanjutkan dengan pengeringan pada suhu 120°C. Arang kemudian dilakukan proses pirolisis kembali dalam *furnace* bersuhu 700°C selama 60 menit, kemudian didinginkan. Karbon aktif kemudian dilakukan pencucian dengan HCl 0,1 M dan sisa asam dihilangkan dengan air suling sampai dengan pH netral. Kemudian, karbon aktif dikeringkan kembali dengan suhu pengeringan sekitar 120°C. Proses aktivasi tempurung kemiri dengan panas tinggi dapat meningkatkan porositasnya, menjadikannya efektif sebagai karbon aktif untuk adsorpsi berbagai senyawa organik dan kimia (Nasruddin *et al.* 2017).

### 3.7. Efektivitas kulit buah salak sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif kulit salak dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 0,3 g/500 mL; 0,6 g/500 mL dan 0,9 g/500 mL dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 34,83%; 55,16%; 69,45%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif sekam padi terjadi pada massa karbon aktif sebesar 0,9 g/500 mL dengan efektivitas sebesar 69,45% (**Tabel 7**). Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa karbon aktif, akan menyebabkan semakin luasnya permukaan pada adsorben (Guiza 2017).

**Tabel 7.** Efektivitas karbon aktif pada kulit buah salak sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit salak ( <i>Salacca zalacca</i> )	0,3g/500mL	Cr	34,83%	Utama <i>et al.</i> (2016)
	0,6g/500mL		55,16%	
	0,9g/500mL		69,45%	

Kandungan selulosa pada kulit buah salak sebesar 25,8483% (Nugroho 2020). Kulit buah salak mempunyai kemampuan sebagai adsorben dan dapat berikatan dengan adsorbat karena pada struktur kimia selulosa memiliki gugus OH (Shinta dan Indah 2012). Aktivasi karbon aktif pada kulit buah salak dilakukan secara fisika dan kimia. Kulit buah salak yang akan digunakan mula-mula dibersihkan dengan air bersih kemudian dilakukan pengeringan di dalam oven. Selanjutnya, dibuat berukuran 100-200 mesh. Kulit salak diaktivasi oleh KOH lalu dikarbonisasi pada suhu 800°C yang kemudian dibilas dengan HCl sampai pH berkisar antara 6-7 lalu dilakukan pengeringan kembali dengan oven (Utama *et al.* 2016).

### 3.8. Efektivitas kulit pisang sebagai adsorben logam Cr

Massa karbon aktif pada kulit pisang dilakukan sebanyak satu variasi massa yaitu 2 g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah yaitu 34,9% (**Tabel 8**). Tidak dapat dilakukan perbandingan massa karbon aktif kulit pisang yang digunakan, karena dalam referensi, massa karbon aktif tidak dibuat sebagai variabel bebas, melainkan sebagai variabel terikat. Namun, pada kesimpulan artikel yang ditulis oleh Shafirinia *et al.* (2016) dikemukakan bahwa semakin besar berat karbon aktif yang ditambahkan, maka akan semakin besar reduksi logam Cr dalam air limbah.

**Tabel 8.** Efektivitas karbon aktif pada kulit pisang sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit pisang ( <i>Musa paradisiaca</i> )	2g	Cr	34,9%	Shafirinia <i>et al.</i> (2016)

Kemampuan adsorpsi karbon aktif dalam kulit pisang (*Musa paradisiaca*) diperoleh dari selulosa dan galakturonik. Selulosa dapat berperan sebagai pengikat logam berat dan asam. Asam galakturonat sebagai zat yang memastikan kulit pisang mengikat ion logam dengan kuat sebagai fungsi dari gula karboksil. Aktivasi karbon aktif pada kulit pisang dilakukan secara fisika maupun kimia. Mula-mula kulit pisang dicuci dan dikeringkan kemudian dikarbonisasi pada suhu 400°C yang kemudian diayak dengan ukuran yang berbeda-beda dan diaktivasi dengan NaOH selama satu hari, lalu karbon aktif dilakukan pencucian dengan akuades sampai diperoleh pH netral dan dilakukan proses pengeringan pada suhu 105°C (Shafirinia *et al.* 2016).

### 3.9. Efektivitas kulit durian sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif kulit durian dilakukan sebanyak 6 variasi massa di antaranya: 0,2g; 0,3g; 0,4g; 0,5g; 0,6g dan 0,7g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 8,8964mg/g; 5,9856mg/g, 5,1862mg/g; 4,3458mg/g; 4,2502mg/g, dan 3,6118mg/g. Penurunan signifikan logam Cr dalam air limbah dengan karbon aktif kulit durian terjadi pada massa karbon aktif sebesar 0,2g dengan efektivitas sebesar 8,8964mg/g (**Tabel 9**).

Pada dasarnya, berat adsorben akan mempengaruhi peningkatan serapan yang sebanding dengan peningkatan jumlah partikel dan luas permukaan kulit durian (Chairunnisa 2021). Ketika massa adsorben antara 0,2g sampai 0,7g, ion logam Cr (VI) dalam larutan akan diserap seluruhnya oleh gugus aktif, dan konsentrasi gugus aktif dalam sampel menjadi jenuh, sehingga terjadi penurunan penyerapan. Sehingga tidak dapat lagi terserap serta tidak dapat menyerap molekul dari luar. Selain itu, berkurangnya daya serap juga disebabkan oleh adanya penggumpalan pada biosorben kulit durian (*Durio zibethinus* L.) yang mengakibatkan berkurangnya luas permukaan biosorben kulit durian (Adriansyah *et al.* 2018).

**Tabel 9.** Efektivitas karbon aktif pada kulit durian sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Kulit durian ( <i>Durio zibethinus L.</i> )	0,2g	Cr	8,8964 mg/g	Herlina <i>et al.</i> (2023)
	0,3g		5,9856 mg/g	
	0,4g		5,1862 mg/g	
	0,5g		4,3458 mg/g	
	0,6g		4,2502 mg/g	
	0,7g		3,6118 mg/g	

Kemampuan adsorpsi karbon aktif kulit durian (*Durio zibethinus L.*) diperoleh dari komponen yang dapat menyerap logam berat, seperti bahan selulosa organik dengan gugus hidroksil, gugus amina dan gugus karbonil. Aktivasi karbon aktif kulit durian dilakukan secara fisik. Kulit durian dibersihkan terlebih dahulu dengan air lalu dilakukan proses pengeringan di bawah sinar matahari, kemudian dikeringkan dalam oven dan diblender sehingga berbentuk serbuk. Setelah itu, dilakukan proses penyaringan menggunakan saringan dengan ukuran 180  $\mu\text{m}$  (Herlina *et al.* 2023).

### 3.10. Efektivitas polong akasia sebagai adsorben logam Cr

Perbandingan massa karbon aktif polong akasia dilakukan sebanyak 3 variasi massa di antaranya: 6g, 7g dan 8g dengan efektivitas penurunan logam berat Cr dalam air limbah berturut-turut sebagai berikut; 82,15%, 82,65%, dan 82,95%. Penurunan signifikan logam berat Cr dalam air limbah dengan karbon aktif polong akasia terjadi pada massa karbon aktif sebesar 8 g dengan efektivitas sebesar 82,95% (**Tabel 10**). Hal ini dikarenakan semakin tingginya kontak antara adsorben dengan ion Cr (VI). Semakin tinggi luas permukaan yang dimiliki oleh suatu karbon aktif, maka semakin tinggi pula kemampuannya untuk mengadsorpsi adsorbat (Dewi *et al.* 2018).

**Tabel 10.** Efektivitas karbon aktif pada polong akasia sebagai adsorben logam Cr.

Jenis sampah organik	Massa karbon aktif	Jenis logam	Efektivitas	Sumber
Polong akasia ( <i>Acacia mangium</i> )	6g	Cr	82,15%	Dewi <i>et al.</i> (2018)
	7g		82,65%	
	8g		82,95%	

Kemampuan adsorpsi karbon aktif pada polong akasia (*Acacia mangium*) diperoleh dari selulosa dan lignin yang berpengaruh dalam kinerja karbon aktif yaitu adsorpsi (Dewi *et al.* 2018). Aktivasi dapat dilakukan baik secara fisika maupun kimia. Saat proses aktivasi fisika, karbon diaktivasi menggunakan suhu 200°C, 300°C dan 400°C dengan menggunakan *furnace*. Sedangkan untuk aktivasi karbon secara kimia

menggunakan zat  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  sebagai aktivator melalui proses perendaman dalam larutan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  selama satu hari.

Berdasarkan **Tabel 1** hingga **Tabel 10**, pengaplikasian karbon aktif pada berbagai limbah organik cukup efektif dalam mereduksi logam berat kromium (Cr) yang terdapat dalam limbah cair industri tekstil. Karbon aktif merupakan bahan yang sifat fisik dan kimianya telah diubah melalui proses aktivasi. Melalui aktivasi fisika dan kimia, kapasitas adsorpsi dan luas permukaan partikel karbon aktif dapat meningkat, sehingga kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi logam menjadi semakin tinggi (Ramadhani *et al.* 2020).

Aktivasi fisika dilakukan dengan memutus ikatan karbon senyawa organik dengan bantuan gas dan  $\text{CO}_2$  pada suhu tinggi. Proses aktivasi secara fisika akan menghasilkan gas yang dapat memperluas struktur pori-pori, menghilangkan zat-zat yang mudah menguap, meningkatkan luas permukaan karbon, serta menghilangkan pengotor hidrokarbon pada arang. Proses aktivasi kimia karbon aktif terjadi dengan menggunakan senyawa untuk memutus ikatan karbon senyawa organik (Meisrilestari *et al.* 2013). Senyawa kimia yang biasa digunakan sebagai aktivator antara lain  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , dan garam mineral (Pambayun *et al.* 2013).

Meningkatnya kemampuan karbon aktif dalam penyerapan logam Cr ditentukan oleh beberapa faktor, salah satunya massa karbon aktif. Semakin tinggi jumlah karbon aktif, maka proses adsorpsi semakin cepat karena luas permukaan adsorben yang semakin besar (Guiza 2017). Hal ini disebabkan oleh meningkatnya laju adsorpsi akibat bertambahnya sisi aktif pada adsorben (Liu *et al.* 2015).

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Sampah organik dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Berdasarkan literatur dari beberapa penelitian yang telah dijelaskan, karbon aktif pada sampah organik tempurung kelapa, tongkol jagung, ampas tebu, sekam padi, tempurung kemiri, kulit salak, cangkang buah karet, kulit pisang, kulit durian dan polong akasia mempunyai efektivitas yang signifikan dalam menyerap dan mengurangi konsentrasi logam berat Cr dalam air limbah industri tekstil. Karbon aktif pada sampah organik yang memiliki efektivitas tinggi dalam menyerap logam berat Cr adalah karbon aktif yang terdapat dalam tempurung kelapa dengan kemampuan serapan logam Cr sebesar 73,52%, dengan massa karbon aktif sebesar 45 mg dalam 500 mL limbah cair industri.

Efektivitas karbon aktif dalam menurunkan kadar logam berat dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya massa karbon aktif. Semakin besar massa karbon aktif yang bersentuhan, maka semakin tinggi pula efek adsorpsi logam berat Cr. Hal ini disebabkan bertambahnya situs aktif, luas permukaan dan volume pori adsorben.

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji kapasitas adsorpsi maksimum karbon aktif terhadap logam berat, dan kelemahan serta tantangan perlu dipertimbangkan dan penentuan standar karbon aktif sebagai adsorben sebelum diaplikasikan dalam skala besar oleh industri tekstil.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah R, Restiasih EN dan Meileza N. 2018. Biosorpsi ion logam berat Cu (II) dan Cr (VI) menggunakan biosorben kulit kopi terxanthasi. *Alotrop* 2(2):114-121. <https://doi.org/10.33369/atp.v2i2.7478>
- Ahmad M, Ahmed S, Swami BL and Ikram S. 2015. Adsorption of heavy metal ions: role of chitosan and cellulose for water treatment. *International Journal of Pharmacognosy* 2(6):280-289. [http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2\(6\).280-89](http://dx.doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2(6).280-89)
- Ali RM, Hendrawati TY, Ismiyati I dan Fithriyah NH. 2020. Pengaruh jenis adsorben terhadap efektivitas penurunan kadar timbal limbah cair recycle aki bekas. *Jurnal Teknologi* 12(1):87-92. <https://doi.org/10.24853/jurtek.12.1.87-92>
- Apriyani N. 2018. Industri batik: kandungan limbah cair dan metode pengolahannya. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan* 3(1):21-29. <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>
- Asbahani. 2013. Pemanfaatan limbah ampas tebu sebagai karbon aktif untuk menurunkan kadar besi pada air sumur. *Jurnal Teknik Sipil Untan* 13(1):105-114. <https://doi.org/10.26418/jtsft.v13i1.2019>
- Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar-dasar teknologi pengolahan air limbah*. Gosyen Publishing. Yogyakarta.
- Asmadi, Khayan dan Kasjono. 2011. *Teknologi pengolahan air minum*. Gosyen Publishing. Yogyakarta.
- Chairunnisa C. 2021. Adsorpsi ion logam Cr (VI) menggunakan adsorben karbon aktif kulit durian dengan metode batch (Disertasi). Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Padang.

- Dadhich AS, Beebi SK and Kavitha GV. 2004. Adsorption of Ni (II) using agrowaste, rice husk. *Journal of Environmental Science and Engineering* 46(3):179-185.
- Dewi RB, Yusnimar Y dan Irianty RS. 2018. Penentuan daya jerap karbon aktif dari polong akasia terhadap ion Cr (VI). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains* 5:1-6.
- Guiza S. 2017. Biosorption of heavy metal from aqueous solution using cellulosic waste orange peel. *Ecological Engineering* 99(2017):134-140. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.043>
- Herlandien. 2013. Pemanfaatan arang aktif sebagai adsorben logam berat dalam air lindi di TPA Pakusari Jember [Skripsi]. Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Jember.
- Herlina R, Nasra E, Zainul R dan Sari TK. 2023. Pengaruh massa adsorben pada biosorpsi ion logam Cr (VI) menggunakan biosorben selulosa dari kulit durian (*Durio zibethinus* L.). *Periodic* 12(2):87-91.
- Ho YS and McKay G. 2003. Sorption of dyes and copper ions onto adsorbents. *Process Biochemistry* 38:1047-1061. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00239-X](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00239-X)
- Hokkanen S, Bhatnagar A and Sillanpää M. 2016. A review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research* 91:156-173. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.01.008>
- Indah N dan Joko S. 2013. Pengaruh konsentrasi dan waktu aktivasi terhadap karakteristik karbon aktif ampas tebu dan fungsinya sebagai adsorben pada limbah cair laboratorium. *Jurnal Teknik Waktu* 16(1):62-71. <https://doi.org/10.36456/waktu.v16i1.1491>
- Kaur S, Walia TPS and Mahajan RK. 2008. Comparative studies of zinc, cadmium, lead and copper on economically viable adsorbents. *Journal of Environmental Engineering and Science* 7(1):83-90. <https://doi.org/10.1139/S07-031>
- Lasindrang M. 2014. Adsorpsi pencemaran limbah cair industri penyamakan kulit oleh kitosan yang melapisi arang aktif tempurung kelapa. *Jurnal Teknosains* 3(2):81-166. <https://doi.org/10.22146/teknosains.6026>
- Li J, Wang X, Zhao G, Chen C, Chai Z, Alsaedi A, Hayat T and Wang X. 2018. Metal-organic framework-based materials: superior adsorbents for the capture of toxic and

- radioactive metal ions. *Chemical Society Reviews* 47(7):2322-2356.  
<https://doi.org/10.1039/C7CS00543A>
- Liu L, Gao ZY, Su XP, Chen X, Jiang L and Yao JM. 2015. Adsorption removal of dyes from single and binary solutions using a cellulose-based bioadsorbent. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 3(3):432-442.  
<https://doi.org/10.1021/sc500848m>
- Martin-Dupont F, Gloaguen V, Granet R, Guilloton M, Morvan H and Krausz P. 2002. Heavy metal adsorption by crude coniferous barks: a modelling study. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 37(6):1063-1073.  
<https://doi.org/10.1081/ESE-120004523>
- Meisrilestari Y, Khomaini R dan Wijayanti H. 2013. Pembuatan arang aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivasi secara fisika, kimia dan fisika-kimia. *Konversi* 2(1):45-50. <http://dx.doi.org/10.20527/k.v2i1.136>
- Moelyaningrum AD dan 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>
- Nasruddin M, Rosnelly CM dan Mulana F. 2017. Adsorpsi ion logam Cr (VI) dengan menggunakan karbon aktif dari tempurung kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Ilmu Kebencanaan: Program Pascasarjana Unsyiah* 4(4):117-125.
- Nugroho SCW. 2020. Kemampuan serbuk kulit salak (*Salacca zalacca*) dalam menurunkan kadar Fe pada inlet limbah cair rumah tangga IPAL Sewon Bantul (Disertasi). Program Studi Biologi, Fakultas Teknobiologi, Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.
- O'Connell DW, Birkinshaw C and O'Dwyer TF. 2008. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: a review. *Bioresource Technology* 99(15):6709-6724. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>
- Pambayun GS, Yulianto RY, Rachimoellah M dan Putri EM. 2013. Pembuatan karbon aktif dari arang tempurung kelapa dengan aktivator ZnCl<sub>2</sub> dan Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebagai adsorben untuk mengurangi kadar fenol dalam air limbah. *Jurnal Teknik ITS* 2(1):116-120. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v2i1.2437>

- Ramadhani LF, Nurjannah IM, Yulistiani R dan Saputro EA. 2020. Teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia* 26(2):42-53. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.135>
- Rokhati N, Prasetyaningrum A, Hamada NA, Utomo ALC, Kurniawan HB, dan Nugroho IH. 2023. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben limbah logam berat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia* 6(2):89-94. <http://dx.doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5508>
- Santosa SJ, Jumina dan Sri S. 2003. Sintesis membran bio urai selulosa asetat dan adsorben super karboksi metil selulosa dari selulosa ampas tebu limbah pabrik gula. Repository UGM. Yogyakarta.
- Shafirinia R, Wardhana IW dan Oktiawan W. 2016. Pengaruh variasi ukuran adsorben dan debit aliran terhadap penurunan khrom (Cr) dan tembaga (Cu) dengan arang aktif dari limbah kulit pisang pada limbah cair industri pelapisan logam (elektroplating) krom. *Jurnal Teknik Lingkungan* 5(1):1-9.
- Shinta D dan Indah N. 2012. Sabut kelapa sebagai penyerap Cr (IV) dalam air limbah. *Jurnal Teknik Waktu* 10(1):23-27.
- Sobhanardakani S, Parvizimosaed H and Olyaie EJES. 2013. Heavy metals removal from wastewaters using organic solid waste – rice husk. *Environmental Science and Pollution Research* 20:5265-5271. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1516-1>
- Sudarmaji, Mukono J dan Prasasti CI. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair* 2(2):129-142.
- Tasanif R, Isa I dan Kunusa WR. 2020. Potensi ampas tebu sebagai adsorben logam berat Cd, Cu dan Cr. *Ambura Journal of Chemistry* 2(1):34-44.
- Utama S, Kristianto H, dan Andreas A. 2016. Adsorpsi ion logam kromium (Cr (VI)) menggunakan karbon aktif dari bahan baku kulit salak. Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”.
- Wang J, Liu M, Duan C, Sun J and Xu Y. 2019. Preparation and characterization of cellulose-based adsorbent and its application in heavy metal ions removal. *Carbohydrate Polymers* (206):837-843. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.059>

- Widowati W, Sastiono A dan Jusuf R. 2008. Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Zulfadhli M. 2017. Pembuatan karbon aktif dari cangkang buah karet (*Hevea brasiliensis*) dengan aktivator  $H_3PO_4$  dan aplikasinya sebagai penjerap Cr (VI). Jurnal Teknik Kimia USU 6(1):23-28. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i1.1561>