



Mercury (Hg) Adsorption in Traditional Gold Mining Liquid Waste with Activated Carbon from Coffee Gound

Elida Purba[✉] dan Salsabilla Muharani

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lampung,
Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia
35145 Telp. (0721)701609

Info Artikel

Diterima : 14 Maret 2023

Disetujui : 25 Mei 2023

Dipublikasikan : Mei 2023

Keywords:

Adsorption
Adsorbent Mass
Coffee Gounds
Activated Carbon
Mercury

Abstrak

Logam Hg adalah salah satu jenis logam berat yang banyak dipergunakan secara bebas pada proses amalgamasi di pertambangan emas skala kecil (PESK), salah satunya di Kabupaten Lampung Selatan, Lampung. Pemakaian logam Hg tersebut dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan serta menjadi ancaman serius bagi kesehatan manusia. Tujuan penelitian ini ialah mengurangi kadar logam Hg pada limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan menggunakan proses adsorpsi serta mendapatkan kondisi optimum pada proses adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif ampas kopi dengan memvariasikan waktu kontak adsorpsi dan massa adsorbent. Variasi waktu kontak yang dipergunakan yaitu (30; 60; 90) menit dan variasi massa yaitu (2; 3; 4) g/100 mL dengan kecepatan pengadukan sebesar 90 rpm. Uji gugus fungsi pada adsorben menggunakan analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Agilent Technologies Carry 630, sedangkan kadar logam Hg diukur menggunakan Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS) Agilent 240Z series. Hasil dari penelitian didapatkan, kondisi optimum waktu kontak selama 90 menit dan dosis adsorben sebesar 4 g/100 mL kapasitas adsorpsi karbon aktif ampas kopi terhadap logam Hg (Hg) sebesar 0,0687 Hg/g C menggunakan penurunan kadar logam Hg di limbah sesudah adsorpsi mencapai 99,93%. Studi ini pertanda bahwa karbon aktif dari ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben dengan biaya pengolahan yang rendah guna menurunkan kadar logam Hg pada limbah cair pertambangan emas tradisional.

Abstract

Mercury is a type of heavy metal that is widely used freely in the amalgamation process in small-scale gold mining (ASGM), one of which is in South Lampung Regency, Lampung. The use of mercury metal can cause environmental damage and become a serious threat to human health. The purpose of this study was to reduce mercury levels in waste before being released into the environment using the adsorption process and to obtain optimum conditions for the adsorption process using coffee grounds activated carbon adsorbent by varying the adsorption contact time and the adsorbent mass. The contact time variations used were (30; 60; 90) minutes and the mass variations were (2; 3; 4) g/100 mL with a stirring speed of 90 rpm. Sample analysis was performed using Agilent Technologies Carry 630 FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analysis and Agilent 240Z series Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). the results of the study were obtained, the optimum condition for contact time was 90 minutes and the adsorbent dose was 4 g/100 mL, the adsorption capacity of coffee grounds activated carbon for metal mercury (Hg) was 0, 0687 mbHg/gC using a decrease in levels of metal mercury in waste after adsorption reached 99,93%. This study indicates that activated carbon from coffee grounds can be used as an adsorbent with low processing costs to reduce Hg metal content in traditional gold mining waste water.

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara dengan sumber daya alam yang melimpah. Salah satu sumber daya alam Indonesia yakni emas yang tersebar pada berbagai daerah di Indonesia baik dengan skala besar seperti pada Tambang Freeport (Gasbeg) di Papua ada pula penambangan emas dalam skala kecil (PESK) seperti yang terdapat di Lampung Selatan, Lampung. Penambangan emas skala kecil banyak memakai logam Hg atau air raksa (Hg) pada proses penambangan emas sebagai bahan kimia pembantu pemisahan yang sesuai dengan sifatnya dapat mengikat butiran-butiran emas supaya mudah dalam pemisahan dengan partikel-partikel lainnya, dimana penggunaan logam Hg sendiri tidak diawasi serta dilakukan secara bebas. Logam Hg dipergunakan guna mengekstraksi emas pada pertambangan emas skala kecil di beberapa daerah yang ada di Indonesia, penggunaan logam Hg untuk penambangan emas saat ini sudah menunjukkan pertanda membahayakan dan dapat dikatakan menjadi bencana lingkungan (Mirdat, Patadungan, and Isrun 2013).

Guna mencegah serta menanggulangi sungai yang tercemar dampak dari penggunaan logam Hg perlu dilaksanakan tindakan pengolahan dan pengelolaan. Proses pengelolaan air limbah yang seringkali dilakukan saat ini ialah dengan teknik adsorpsi menggunakan karbon aktif yang merupakan salah satu metode untuk menghilangkan polutan. Teknik adsorpsi ialah suatu proses penyerapan oleh suatu padatan yang disebut adsorben, terhadap zat tertentu yang terjadi di permukaan zat padat. Adanya gaya tarik atom atau suatu molekul di permukaan zat padat tanpa meresap ke dalam adsorben. Suatu proses adsorpsi dapat terjadi sebab adanya suatu gaya tarik atom atau molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Adanya gaya ini membuat padatan cenderung menarik molekul-molekul lain yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik fasa gas atau fasa larutan ke dalam permukaannya (Thomas and Crittenden 1998).

Limbah ampas kopi merupakan salah satu material yang berpotensi digunakan sebagai adsorben untuk proses pengolahan air limbah. Menurut data Badan Pusat Statistik, hampir seluruh provinsi di Indonesia merupakan penghasil kopi dimana Provinsi Lampung merupakan salah satu produsen kopi tertinggi mencapai 110.291 ton. Dalam 1 kg biji kopi yang diproduksi pada industri skala besar akan menghasilkan kopi instan sebesar 400 g dan sisa materialnya merupakan ampas kopi sebesar 600 g (Acevedo *et al.* 2013). Ampas kopi yang dibiarkan terbuang di lingkungan akan menyebabkan kerusakan lingkungan yang serius dikarenakan ampas kopi mengandung material-material organik yang tidak efisien apabila terurai (Corro, Pal, and Cebada 2014).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Caetano *et al.*, didapatkan hasil bahwa di dalam ampas kopi terdapat kandungan berupa nitrogen 1,9-2,3%; karbon 47,8-58,9%; protein 6,7-13,6 g/100g; selulosa 8,6%; abu 0,43-1,6% (Caetano, Silvaa, and Mata 2012). Salah satu pemanfaatan dari limbah ampas kopi ialah mengubah limbah ampas kopi menjadi karbon aktif ampas kopi, yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk menyerap logam Hg yang terdapat pada air limbah dalam penelitian ini.

Penelitian sebelumnya tentang adsorpsi logam Hg pada pengolahan air limbah tambang emas menggunakan karbon aktif dari tandan kelapa sawit telah dilakukan oleh Arya (2018). Dalam proses ini, variasi waktu kontak dan banyaknya adsorben digunakan dalam kolom adsorpsi. Waktu kontak divariasikan antara (30, 60, 90, dan 120) menit dengan variasi massa 1, 2, 3, dan 4 g. Pada penelitian sebelumnya, karakteristik bilangan iod adsorben hanya 222,67 mg/g dimana angka tersebut tidak memenuhi standar karbon aktif pada SNI 06-3730-1995 dengan jumlah penyerapan logam Hg pada karbon mencapai 92% dan kapasitas adsorpsi 0,031 mg Hg/gram C.

Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan karbon aktif yang berasal dari ampas kopi sebagai adsorben logam Hg pada limbah cair. Variabel pada penelitian ini berupa waktu kontak selama (30; 60; 90 menit) dan massa adsorben dengan variasi (2; 3; 4 g/100 mL) untuk mendapatkan kapasitas adsorpsi karbon aktif dari ampas kopi terhadap logam Hg pada limbah cair dengan *system batch*, mendapatkan kondisi optimum pada proses adsorpsi logam Hg di limbah cair pertambangan emas, serta mendapatkan persentase penurunan logam Hg pada limbah cair setelah dilakukan proses adsorpsi. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk mengurangi kadar logam Hg pada limbah sebelum dilepaskan ke lingkungan menggunakan proses adsorpsi.

Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini ialah Ampas kopi tubruk dari industri kopi rumahan Ireng Sari, Bandar Lampung (kadar air 20%). Limbah cair pertambangan emas tradisional yang berasal dari dari pertambangan emas tradisional yang terdapat di kecamatan Katibung, Lampung Selatan (konsentrasi logam Hg 2,747 mg/L). dan bahan pendukung berupa NaOH (*pro analysis*, Merck, 99,9%) 10% m/v, Iodium (*pro analysis*, Merck, 99,8%) 0,1 N, Na₂S₂O₃.5H₂O (Merck, 98%), serta aquades dari Laboratorium Teknologi

Hasil Pertanian, Universitas Lampung. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian berupa; kertas untuk menyaring (Whatman dengan No. 42), mortar laboratorium (Onemed), oven (Mettler UN55), furnace (Naberthem L9/12), Ayakan 100 mesh (Futake), neraca analitik (Fujitsu), Desikator (Duran DN 200), *beaker glass* 300 mL (Iwaki), *erlenmeyer* (Iwaki), *Magnetic stirrer* (Thermo), cawan porselen (Haldenwanger), *stopwatch* (Casio), pH meter (Hanna New HI 98107), *Fourier Transform Infrared* atau biasa disebut FTIR (Agilent Technologies Cary 630), dan *Atomic Absorption* (AAS) Agilent 240Z series.

Prosedur penelitian

Pretreatment Ampas Kopi

sampel ampas kopi dikeringkan pada suhu 110°C selama 30 menit menggunakan oven (Mettler UN55). Sampel kemudian dipanaskan pada suhu 300°C selama 90 menit menggunakan tungku (Naberthem L9/12). Untuk mengurangi kadar air pada ampas kopi (Nurul, 2007).

Pembuatan Larutan Sodium Hidroksida (NaOH)

Larutan sodium hidroksida pada penelitian ini dibuat dengan cara melarutkan 10 gam NaOH ke dalam 100 mL aquadest yang telah disiapkan. larutan ini akan digunakan sebagai aktivator ampas kopi (Nurul, 2007).

Pembuatan Karbon aktif Ampas kopi

Limbah Ampas kopi yang sudah kering selanjutnya akan diaktifkan dengan cara direndam menggunakan NaOH 10% m/v selama 24 jam kemudian dicuci dengan menggunakan aquades. Karbon aktif tersebut selanjutnya dimasukkan kedalam oven (Mettler UN55) pada suhu 105°C dan ditimbang secara berkala sampai tidak ada lagi penurunan bobot yang disebabkan terhadap hilangnya kelembaban, karbon aktif yang sudah jadi disimpan di dalam desikator (Nurul, 2007).

Karakterisasi Karbon aktif Ampas kopi

Dilakukan prosedur analisis karbon aktif yang sesuai dengan Standar Nasional Indonesia 06-3730-1995 yang membahas tentang karbon aktif teknis.

Analisis Kadar air

Dilakukan proses dengan menimbang karbon aktif sebanyak satu gam, kemudian karbon aktif diletakan dalam cawan porselen yang massanya sudah diketahui, lalu karbon aktif dikeringkan di dalam oven dengan suhu 115 °C dalam waktu 3 jam. Kemudian karbon aktif didinginkan dengan ditaruh ke dalam desikator kemudian lakukan penimbangan, lakukan hingga diperoleh massa konstan (SNI 06-370-1995).

Analisis Kadar abu

Timbang karbon aktif sebanyak 2-3 gam, kemudian karbon aktif diletakan kedalam cawan porselen, kemudian karbon aktif di masukan ke dalam oven dengan suhu 105 °C hingga didapatkan massa yang konstan. Masukan arang akti sampel yang berada di dalam cawan ke dalam *furnace* lalu selanjutnyakarbon aktif diabukan pada suhu 800 °C dalam waktu 2 jam. Dinginkan di dalam desikator kemudian timbang, lakukan hingga diperoleh massa konstan (SNI 06-370-1995).

Analisis Daya serap iodine

Keringkan terlebih dahulu karbon aktif yang akan dianalisis dengan memasukan sampel ke dalam oven yang dengan suhu 110°C dalam waktu 1 jam, kemudian dinginkan di dalam desikator. Timbang arang sebanyak 0,5 g lalu masukkan ke dalam tabung erlenmeyer, kemudian tambahkan sebanyak 50 mL larutan iodium 0,1 N. Aduk larutan selama 15 menit dengan kecepatan 90 rpm, kemudian tutup Erlenmeyer dan simpan pada tempat yang gelap selama 30 menit hingga larutan terpisah menjadi dua bagian, yaitu endapan arang dan larutan bening. Larutan kemudian disaring, lalu larutan bening tersebut dipipet sebanyak 10 mL, kemudian masukkan ke dalam labu erlenmeyer yang bersih dan titrasi larutan sampel dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N hingga larutan berwarna kuning muda. Tambahkan sebanyak 1 mL kanji 1% pada filtrat dan titrasi kembali dengan larutan $Na_2S_2O_3$ 0,1 N sampai warna biru yang terdapat pada larutan menghilang dan berubah warna menjadi putih susu. Volume larutan $Na_2S_2O_3$ yang digunakan untuk mentitrasi dicatat dan hitung daya serap karbon aktif terhadap iodin dalam mg/g (SNI 06-370-1995).

Uji gugus fungsi karbon aktif menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR)

Peralatan FTIR yang digunakan adalah Agilent Technologies, Cary 630. Sampel berupa bubuk di press ke dalam plat tipis untuk di analisis. Spektra FTIR direkam dalam rentang 4000-650 cm⁻¹ (Rahmat and Suwarno 2020).

Adsorpsi Logam Hg Pada Limbah

Adsorpsi dilakukan secara batch menggunakan limbah cair dengan kondisi awal pH 6,2 serta konsentrasi logam Hg 2,747 mg/L sebanyak 100 mL dengan variasi massa adsorben (2 ; 3 ; 4) g/100 mL, variasi waktu kontak selama (30 ; 60 ; 90) menit dan diaduk dengan kecepatan 90 rpm (Syauqiah, Amalia, and Kartini 2011). Sampel setelah pengontakan diambil disaring dengan kertas saring untuk memisahkan adsorben dengan limbah cair. Sampel hasil penyaringan selanjutnya dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectrofotometry* (AAS) Agilent 240Z series untuk mengetahui kadar logam Hg (Hg) yang tersisa. Kapasitas adsorpsi dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dan untuk menghitung efisiensi adsorpsi (persentase adsorpsi) logam Hg (Hg) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (2), dengan C₀ merupakan konsentrasi awal logam Hg pada limbah, C_e ialah konsentrasi akhir logam Hg dalam limbah setelah diadsorpsi, m adalah massa adsorben, dan v adalah volume limbah cair (Geankoplis, 1993).

$$q_c = \frac{C_0 - C_e}{m} \cdot v \quad (1)$$

$$\%E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

Menentukan model Isoterm Adsorpsi

Penentuan isoterm adsorpsi bertujuan untuk mempelajari mekanisme penyerapan adsorbat pada adsorben selama berlangsungnya proses adsorpsi. Isoterm adsorpsi diperoleh dengan melakukan percobaan pada konsentrasi logam Hg yang berbeda (0,002-2,747 mg/L), pada volume 100 mL limbah cair yang diaduk dengan kecepatan 90 rpm. Analisis ini dilakukan untuk menghitung isoterm adsorpsi Langmuir dengan menggunakan persamaan (3) dan isoterm adsorpsi Freundlich menggunakan persamaan (4), dimana C_e adalah konsentrasi adsorbat yang ada pada larutan, q_e ialah banyaknya adsorbat yang terserap per satuan massa adsorben (mg/g), q_m adalah jumlah maksimal adsorbat yang terjerap per satuan massa adsorben (mg/g) dan K_L adalah konstanta afinitas Langmuir. Model persamaan langmuir dan freundlinch merupakan model isoterm yang sesuai untuk fase padat-cair pada adsorpsi (Munagapati and Kim 2016)

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e} \quad (3)$$

$$q_e = K \cdot C_e \cdot \frac{1}{n} \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan**Karakteristik Adsorben**

Analisis karakteristik dilakan secara fisik maupun kimia pada adsorben bertujuan untuk mengetahui kelayakan karbon aktif ampas kopi sebagai media penyerap. Didapatkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai karakterisasi karbon aktif didapatkan karakteristik seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Karbon Aktif

Karakteristik	Nilai	SNI 06-3730-1995
Kadar Air	2,99%	Maksimal 15%
Kadar Abu	5,5%	Maksimal 10%
Bilangan Iod	1.008 mg/g	Minimal 750 mg/g

Berdasarkan Tabel 1, kadar air yang terdapat pada arang ampas kopi yang telah diaktivasi didapatkan hasil sebesar 2,99 %, besarnya nilai kadar air dapat diartikan banyaknya air yang masih terjebak di dalam pori karbon aktif. Semakin besar nilai kadar air berarti semakin banyak pori karbon aktif yang ditutupi oleh air, hal ini mengakibatkan proses penyerapan adsorben pada permukaan karbon aktif semakin rendah, dan dapat menurunkan kemampuan adsorpsi karbon aktif (Alnassar 2015).

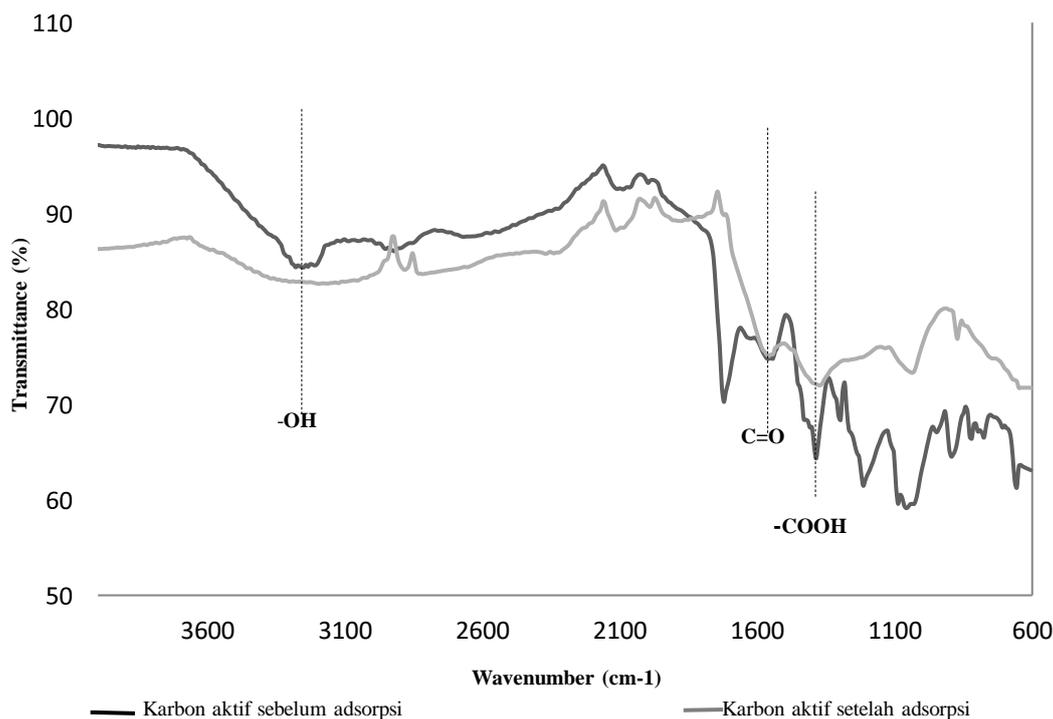
Pada Tabel 1. dapat diketahui bahwa besarnya nilai kadar abu yang dihasilkan pada analisa adalah sebesar 5,5%, kadar abu diartikan dengan banyaknya sisa-sisa senyawa anorganik yang masih terkandung di dalam karbon aktif akibat dari proses pembakaran. Semakin rendah nilai kadar abu menunjukkan bahwa kualitas karbon aktif semakin baik. Kandungan abu yang tinggi mampu menyumbat pori-pori arang sehingga mengakibatkan luas permukaan karbon aktif menjadi berkurang (Alnassar 2015).

Daya serap iodine adalah salah satu parameter pengujian guna mengetahui kemampuan karbon aktif sebagai adsorben dalam menyerap adsorbat. Nilai daya serap iodine pada penelitian ini adalah 1008 mg/g. Menurut Nitsae *et al.*, 2020, bilangan iodine memiliki peran penting terhadap kemampuan penyerapan karbon aktif. Besar nilai serap iodine menunjukkan banyaknya iodine yang mampu terjerap pada permukaan karbon aktif sehingga semakin besar nilai bilangan iodine maka semakin baik karbon aktif dalam menyerap adsorbat dikarenakan kapasitas penyerapan karbon aktif lebih besar.

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa material karbon aktif ampas kopi pada penelitian ini memiliki kualitas yang baik dan telah memenuhi syarat dari karbon aktif teknis berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 06-3730-1995 dimana karbon aktif teknis memiliki kandungan kadar abu maksimum 10 %wt, kadar air maksimum adalah 15 %wt, dan bilangan iodine minimal sebesar 750 mg/g.

Uji gugus fungsi karbon aktif

Pada penelitian ini FT-IR digunakan untuk mengidentifikasi adanya gugus fungsi molekul yang terdapat pada karbon aktif ampas kopi dengan melihat serapan-serapan gelombang karakteristik dari karbon aktif yang dihasilkan hingga dapat diprediksi jenis gugus fungsi yang ada pada karbon aktif. Hasil dari pengujian FTIR dianalisis dengan melihat titik puncak spesifik yang terdapat pada panjang gelombang tertentu. Spectrum FTIR dan gugus fungsi karbon aktif ampas kopi sebelum dan sesudah proses adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR Karbon aktif ampas kopi sebelum dan sesudah adsorpsi.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa terdapat puncak pada gelombang 3295 cm^{-1} (sebelum proses adsorpsi) dan 3198 cm^{-1} (sesudah proses adsorpsi) hal ini menandakan adanya *stretching vibration* gugus hidroksil (O-H). Vibrasi gugus -OH berada pada kisaran gelombang $3100\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ (Song *et al.* 2018). Hasil analisis FTIR pada karbon aktif sebelum dan sesudah adsorpsi menunjukkan adanya pergeseran bilangan puncak ulur. Pada sampel setelah adsorpsi puncak serapan semakin pendek sehingga intensitas serapan gugus fungsi ini menurun, yang dapat mengindikasikan penurunan gugus fungsi -OH pada karbon aktif sesudah adsorpsi. Menurut Zein *et al.*, 2018 bahwa adanya pergeseran angka di puncak gelombang yang tidak signifikan dapat

mengindikasikan telah terjadinya interaksi antara molekul zat yang terserap dengan gugus aktif yang ada pada adsorben.

Bilangan gelombang 1558 cm^{-1} merupakan peregangan getaran pada gugus karbonil C=O (Guo *et al.* 2020). Hasil analisis FTIR pada gugus C=O tidak mengalami pergeseran puncak serapan, sehingga gugus karbonil C=O tidak berkaitan dengan logam Hg selama proses adsorpsi berlangsung (Liu *et al.* 2018). Pada bilangan puncak gelombang 1357 cm^{-1} (sebelum proses adsorpsi) dan 1342 cm^{-1} (sesudah proses adsorpsi) menunjukkan adanya gugus fungsi karboksil (-COOH). Vibrasi gugus -COOH berada pada kisaran bilangan gelombang $1100\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$ (Guo *et al.* 2020). Vibrasi gugus fungsi karboksilat -COOH mengalami penurunan serapan puncak vibrasi setelah proses adsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa gugus fungsi -COOH terlibat dalam adsorpsi ion logam Hg (Song *et al.* 2018).

Hasil pengujian gugus fungsi menggunakan FTIR yang dilakukan pada karbon aktif sebelum dan sesudah adsorpsi menunjukkan adanya perubahan pada bilangan serapan gelombang. Perubahan nilai puncak serapan gugus fungsi pada karbon aktif setelah adsorpsi menunjukkan bahwa gugus hidroksil dan gugus karboksil merupakan kelompok pada permukaan adsorben yang terlibat dalam adsorpsi ion logam (Song *et al.* 2018).

Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi

Variabel yang dipakai sebagai faktor penentu ialah massa dari adsorben yang digunakan dan waktu kontak pengadukan. Berikut merupakan hasil analisis limbah cair pertambangan emas tradisional sebelum dan setelah dilakukan proses adsorpsi, yang ditunjukkan pada Tabel 2:

Tabel 2. Hasil analisis adsorpsi limbah cair

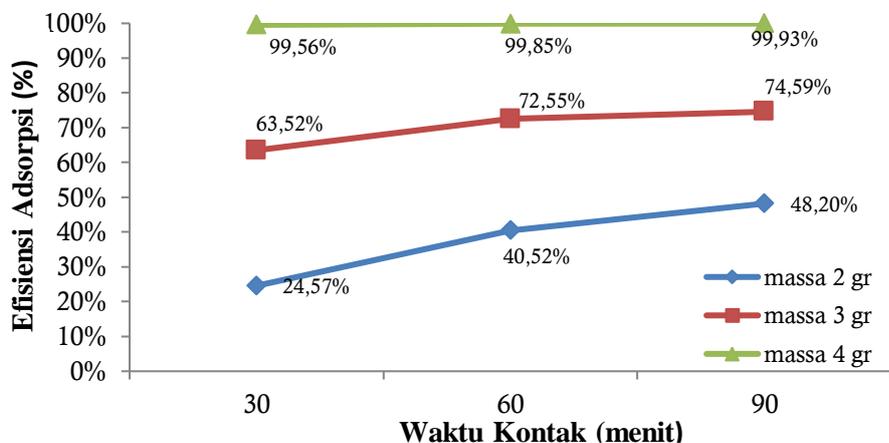
Massa Karbon aktif (g)	Waktu Kontak (menit)	Konsentrasi Logam Hg (mg/L)	
		Sebelum	Sesudah
0	0		2,747
2	30		2,072
	60		1,634
	90		1,423
3	30	2,747	1,002
	60		0,754
	90		0,698
4	30		0,012
	60		0,004
	90		0,002

Pengaruh Massa Karbon Aktif terhadap Adsorpsi Logam Hg

Pada Tabel 2. dapat dilihat kandungan logam (Hg) dalam limbah pengolahan emas tradisional sebelum dan sesudah adsorpsi dengan massa yang berbeda-beda. Pengujian dari variasi massa dilakukan guna mendapatkan massa adsorben yang optimum agar proses adsorpsi dapat dilakukan secara optimum. Variasi massa adsorben karbon aktif ampas kopi yang digunakan adalah 2, 3, dan 4 g/100 mL. Adsorben karbon aktif ampas kopi dicampur ke dalam 100 mL limbah cair pengolahan emas tradisional, kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan sebesar 90 rpm dengan variasi waktu kontak selama 30, 60, dan 90 menit. Pengaruh antara Massa karbon aktif terhadap efisiensi penyisihan (persentase penurunan kadar) logam Hg ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. menunjukkan bahwa semakin banyak massa karbon aktif yang digunakan maka efisiensi penyerapan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya karbon aktif yang digunakan maka luas permukaan karbon aktif akan semakin luas sehingga semakin banyak adsorbat yang dapat terserap. Variasi massa adsorben yang digunakan sangat berpengaruh terhadap luas bidang kontak antara adsorben dengan adsorbat selama proses adsorpsi (Salmariza *et al.* 2016).

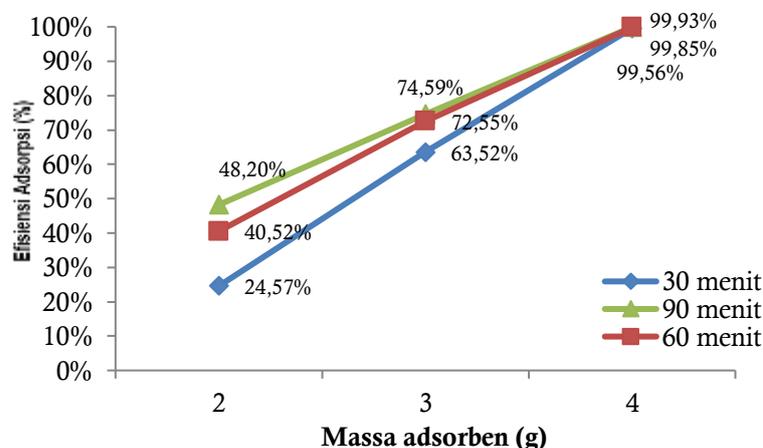
Jutakridsada *et al*, 2016 menyatakan bahwa dengan adanya peningkatan massa karbon aktif maka akan ada peningkatan persentase penyerapan terhadap logam yang diserap. Hal tersebut menunjukkan bahwa massa adsorben sangat berpengaruh terhadap berlangsungnya proses adsorpsi karena semakin bertambahnya massa adsorben, maka banyaknya logam Hg yang terserap juga semakin meningkat.



Gambar 2. Grafik pengaruh massa adsorben terhadap efisiensi penyisihan logam Hg

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Logam Hg

Pada Tabel 2. menunjukan kandungan logam Hg dalam limbah pengolahan emas tradisional sebelum dan sesudah adsorpsi dengan waktu kontak yang berbeda-beda. Pengujian dengan variasi waktu kontak ini dilakukan guna mengetahui adakah pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan menyerap dari adsorben karbon aktif ampas kopi sehingga akan didapatkan waktu kontak terbaik agar proses adsorpsi bisa dilakukan secara optimal. Pengaruh antara Waktu Kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Hg ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan logam Hg

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lamanya waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat maka akan semakin banyak adsorbat yang dapat terjerap. Semakin lama waktu pengadukan, kemampuan karbon aktif juga akan semakin besar untuk mengikat logam berat. Hal ini disebabkan karena adanya waktu kontak yang lama antara adsorben dengan adsorbat sehingga akan semakin banyak terbentuk ikatan antara partikel karbon aktif dengan logam berat dalam sampel (Syauqiah, Amalia, and Kartini 2011). Dapat disimpulkan bahwa waktu kontak dan massa karbon aktif yang optimum pada pengolahan limbah emas tradisional untuk penyerapan logam Hg adalah 90 menit dengan penambahan adsorben sebanyak 4 g/100 mL.

Efisiensi dan Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif

Dalam penelitian ini karbon aktif diaplikasikan untuk penyerapan logam-logam Hg pada limbah cair pertambangan emas tradisional. Setelah melewati proses adsorpsi, didapatkan kondisi optimum dosis adsorben sebanyak 4 g dengan waktu kontak selama 90 menit. Jumlah logam-logam Hg yang tersisa dalam limbah cair adalah 0,002 mg/L dari yang awalnya berjumlah 2,747 mg/L, angka ini sudah sesuai dengan baku mutu yakni maksimal kadar logam Hg pada pertambangan emas sebesar 0,005 mg/L.

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 1 dan 2, maka kapasitas adsorpsi dari karbon aktif ampas kopi yang telah diaktifkan dengan NaOH terhadap logam-logam Hg (Hg) pada limbah cair dengan *system batch* sebesar 0,0687 mg/g dan persentase penurunan kadar logam-logam Hg (Hg) mencapai 99,93%.

Uji Penurunan Logam Logam Hg dan Perubahan pH pada Limbah Penurunan Kadar Logam Logam Hg

Pada penelitian ini dilakukan uji penurunan logam Hg dan perubahan nilai pH limbah pertambangan emas tradisional dengan data yang digunakan merupakan hasil dari pengujian pada waktu kontak dan dosis adsorben karbon aktif ampas kopi optimum. Berikut merupakan hasil analisis kadar logam Hg dan pH limbah cair pertambangan emas tradisional sebelum dan setelah dilakukan proses adsorpsi, yang disajikan pada Tabel 3 :

Tabel 3. Hasil analisis kadar logam Hg dan pH pada limbah

Parameter	Hasil analisis		Baku Mutu	Satuan
	Sebelum Adsorpsi	Sesudah Adsorpsi		
Logam Hg	2,747	0,002	Maks. 0,005	mg/L
pH	6,2	7,5	6-9	

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa terdapat kandungan logam Hg dalam limbah pertambangan emas tradisional. Batas kadar logam Hg dalam limbah telah ditetapkan dalam KepMen LH No. 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Emas yaitu kadar maksimum Hg adalah 0,005 mg/L, sedangkan kandungan logam-logam Hg pada limbah pertambangan emas tradisional ini melebihi batas kandungan yang ditetapkan yaitu sebesar 2,747 mg/L. Setelah proses adsorpsi, kadar logam Hg pada limbah mengalami penurunan menjadi 0,002 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,93%.

Adsorpsi logam Hg terjadi akibat adanya beda konsentrasi antara logam Hg di limbah dengan di adsorben sehingga terjadi proses transfer massa logam Hg yang ada pada limbah ke adsorben. Mekanisme proses adsorpsi ion logam pada limbah cair pertambangan emas tradisional ke dalam adsorben karbon aktif ampas kopi yaitu, ion logam yang terlarut dalam air limbah mengalami ikatan dengan molekul air (H₂O). Ion logam akan dikelilingi oleh molekul air (H₂O) yang disebut dengan tersolvansi. Ion yang terlarut tersebut akan membentuk ikatan ion dwi-kutub dengan molekul air (H₂O) yang mengelilinginya, sehingga keduanya akan menjadi satu kesatuan (Paula, 1990).

Pada saat ion logam yang telah tersolvansi menempel pada karbon aktif, maka akan terjadi ikatan dipol-dipol induksian yang dipengaruhi karena adanya gaya Van der Waals antara karbon aktif dan ion logam tersebut. Ikatan dipol-dipol induksian ialah ikatan yang terjadi antara molekul nonpolar dengan molekul polar. Karbon aktif adalah molekul nonpolar, sedangkan molekul air sendiri (H₂O) merupakan molekul polar. Secara kimia membran karbon aktif dapat mengendapkan kation Hg sehingga dapat terjadi interaksi intermolekular. Interaksi intermolekular terjadi pada proses adsorpsi ini sehingga logam mampu tertahan pada permukaan adsorben. Molekul adsorben secara kimiawi mempunyai sisi aktif atau gugus fungsional OH yang mampu berinteraksi dengan logam (Guo *et al.* 2020). Seperti disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Interaksi gugus OH pada permukaan karbon aktif dengan ion logam yang bermuatan positif (Xiaoli *et al.*, 2020)

Adsorben karbon aktif ampas kopi secara fisika maupun kimia dapat mengadsorpsi logam berat pada limbah cair pertambangan emas tradisional tanpa merubah struktur gugus fungsi yang terdapat pada adsorben karbon aktif ampas kopi tersebut.

Perubahan pH Limbah

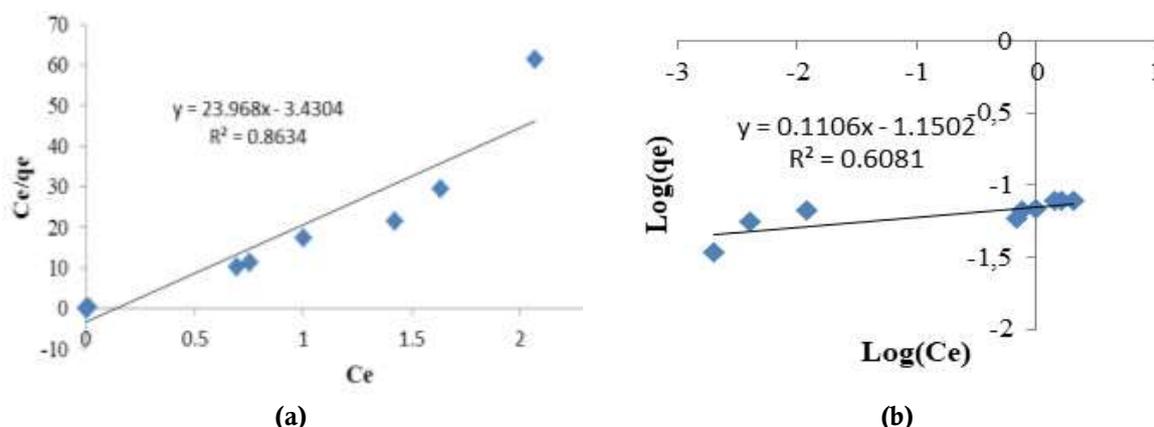
Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa pH pada limbah pertambangan emas tradisional sudah sesuai yang ditetapkan dalam KepMen LH No. 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Emas sebesar 6,2. Menurut Alnassar (2015), faktor yang menyebabkan menurun atau meningkatnya pH yaitu karakter karbon aktif yang amfoterik, artinya karbon aktif dapat bermuatan positif maupun negatif tergantung pada pH larutan yang akan diadsorpsi. Adsorpsi anionik (basa) akan suka pada pH rendah (asam), dan adsorpsi kationik (asam) akan suka pada pH tinggi (basa) dimana hasil akhir larutan yang diuji akan memiliki pH yang netral .

Dalam hal ini, limbah cair pertambangan emas tradisional memiliki pH asam, maka karbon aktif akan bermuatan negatif, sehingga semakin lama waktu kontak adsorpsi maka pH akan semakin mendekati nilai pH netral yang dibuktikan dengan bertambahnya pH limbah cair pengolahan emas tradisional. Setelah dilakukan adsorpsi, pH limbah cair pengolahan emas tradisional menjadi 7,5.

Dari keseluruhan parameter yang diuji pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa adsorben karbon aktif ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair penambangan emas tradisional dikarenakan hasil uji parameter kandungan logam Hg (Hg) dan pH sudah sesuai baku mutu limbah.

Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi ialah idikasi adanya distribusi antara larutan dengan adsorben pada keadaan kesetimbangan adsorpsi. Penentuan jenis model adsorpsi diperlukan guna mengetahui karakteristik dari proses adsorpsi yang terjadi antara larutan dengan permukaan adsorben. Untuk menentukan jenis isoterm adsorpsi pada penelitian ini, digunakan model isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich yang disajikan dalam bentuk grafik linear pada Gambar 5(a) dan 5(b). Pada Gambar 5. Didapatkan parameter dan persamaan dari masing-masing model isoterm adsorpsi yang disajikan pada Tabel 4.



Gambar 5. Grafik linear isoterm adsorpsi (a) Langmuir dan (b) Freundlich

Berdasarkan Gambar 5 dan Tabel 4 dapat disimpulkan pemodelan yang sesuai untuk karbon aktif ampas kopi dalam adsorpsi logam Hg (Hg) adalah isoterm Langmuir. Hal ini ditunjukkan oleh nilai R^2 karbon aktif ampas kopi pada proses adsorpsi pada limbah cair yang mendekati satu yaitu 0,8634, sebab nilai R^2 yang lebih mendekati 1 menunjukkan bahwa model tersebut lebih sesuai untuk data hasil eksperimen (Delaila Tumin *et al.* 2008). Kesesuaian model isoterm Langmuir dengan adsorben karbon aktif ampas kopi mengasumsikan dasar terjadinya adsorpsi dimana adsorbat terjerap pada permukaan luar adsorben selama proses penyerapan berlangsung. Secara teoritis, apabila kejenuhan tercapai maka penyerapan lebih lanjut tidak dapat terjadi lagi (Geankoplis, 1993).

Pada Gambar 5 (a) disajikan kurva dari pola isoterm adsorpsi Langmuir dengan hasil persamaan garis lurus $y = 23,968x - 3,4303$, sehingga didapatkan nilai regresi (R^2) sebesar 0,8634. Seperti pada Tabel 4, konstanta afinitas Langmuir (K_L) sebesar 6.987/mg dan nilai dimensi kuantitas adsorpsi (R_L) adalah sebesar 0,05. Karakteristik penting dari isoterm Langmuir dinyatakan dengan R_L . Nilai R_L mengindikasikan baik

tidaknya isoterm, jika nilai R_L antara 0–1 merupakan ciri adsorpsi baik (*favorable*). Nilai $R_L = 0$ merupakan ciri adsorpsi irreversible, $R_L = 1$ adalah adsorpsi linear dan $R_L > 1$ adalah adsorpsi unfavorable (Munagapati and Kim 2016). Maka dapat disimpulkan bahwa proses adsorpsi ini berlangsung baik (*favorable*).

Tabel 4. Parameter isoterm adsorpsi

Parameter	Nilai
Model Isoterm Langmuir	
Persamaan	$y = 23,968x - 3,4304$
R^2	0,8634
Kostanta Langmuir/ K_L (mg^{-1})	6,987
Dimensi kuantitas (R_L)	0,05
Model Isoterm Freundlich	
Persamaan	$y = 0,0717x - 1,1502$
R^2	0,6081
Intensitas adsorpsi ($1/n$)	9,04
Kostanta Freundlich/ K_f (mg/g)	0,14

Simpulan

Adsorben karbon aktif ampas kopi yang diaktivasi menggunakan NaOH secara fisika maupun kimia mampu mengadsorpsi logam Hg pada limbah cair pertambangan emas tradisional tanpa merubah struktur gugus fungsi yang terdapat pada adsorben karbon aktif ampas kopi tersebut. Kapasitas adsorpsi karbon aktif ampas kopi terhadap logam Hg pada limbah pertambangan emas adalah sebesar 0,0687mg Hg/g C. Dengan kondisi optimum penyerapan logam Hg menggunakan karbon aktif ampas kopi ialah dengan waktu kontak selama 90 menit dan dosis adsorben sebanyak 4 g/100 mL, sehingga Persentase penurunan logam Hg setelah dilakukan proses adsorpsi mencapai 99,93%. Pemodelan isoterm yang cocok adalah model isoterm Langmuir. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi logam Hg (Hg) terjadi dengan adsorbat terjerap pada permukaan luar adsorben selama proses penyerapan berlangsung, sehingga adsorben karbon aktif ampas kopi dapat digunakan sebagai adsorben dalam pengolahan limbah cair pertambangan emas tradisional dikarenakan karbon aktif ampas kopi mampu menurunkan kadar logam Hg pada limbah, sehingga limbah yang dibuang ke lingkungan sudah sesuai dengan kadar yang ditetapkan dalam KepMen LH No. 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Emas.

Daftar Pustaka

- Acevedo, F., Rubilar, M., Scheuermann, E., Cancino, B., Uquiche, E., Garces, M., Inostroza, K., & Shene, C. 2013. "Bioactive Compounds of Spent Coffee Grounds, A Coffee Industrial Residue." In Proceedings of the III Symposium on 212 A.E. ATABANI *ET AL*. Sao Pedro, Brazil, 12-14 Maret 2013.
- Alnassar, Faisal Ali. 2015. "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Coffee Wastes." (December): 5–7.
- Arya, Yudhistira. 2018. "Studi Adsorpsi Logam Hg Pada Limbah Pengolahan Emas Menggunakan Karbon Aktif Berbahan Baku Janjang Buah Pohon Aren (*Arenga Pinnata*) (Studi Kasus Pertambangan Emas Rakyat Di Kec. Penyabungan Kab. Mandailing Natal)." : 1–38, Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Caetano, Nidia S., Vânia F.M. Silvaa, and Teresa M. Mata. 2012. "Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production." *Chemical Engineering Transactions* 26: 267–72.
- Corro, Gisel, Umapada Pal, and Surinam Cebada. 2014. "Enhanced Biogas Production from Coffee Pulp through Deligninocellulosic Photocatalytic Pretreatment." *Energy Science and Engineering* 2 (4): 177–87.
- Delaila Tumin, Najua, A Luqman Chuah, Z Zawani, and Suraya Abdul Rashid. 2008. "Adsorption of Copper from Aqueous Solution by Elais Guineensis Kernel Activated Carbon." *Journal of Engineering Science and Technology* 3 (2): 180–89.
- Geankoplis Christie J. 1993. *Transport Processes and Unit Operation* (3rd ed). New Delhi.

- Guo, Xiaoli *et al.* 2020. "Adsorption Mechanisms and Characteristics of Hg²⁺ Removal by Different Fractions of Biochar." *Water (Switzerland)* 12 (8).
- Paula, Introduction, An, Organic Compounds, and Physical Properties. 1990. "To the Study of Organic Chemistry." *Kinh* 44: 122.
- Jutakradsada, Pasakorn *et al.* 2016. "Adsorption Characteristics of Activated Carbon Prepared from Spent Gound Coffee." *Clean Technologies and Environmental Policy* 18 (3): 639–45.
- KepMen Lingkungan Hidup No. 202 tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Kegiatan Penambangan Emas..
- Liu, Chao *et al.* 2018. "Mercury Adsorption from Aqueous Solution by Regenerated Activated Carbon Produced from Depleted Mercury-Containing Catalyst by Microwave-Assisted Decontamination." *Journal of Cleaner Production* 196: 109–21. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.027>.
- Mirdat, Y. S., Patadungan, and Isrun. 2013. "Status Logam Berat Logam Hg (Hg) Dalam Tanah Pada Kawasan Pengelolaan Tambnag Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu." *E-journal Agotekbis* 1 (2): 127–34.
- Munagapati, Venkata Subbaiah, and Dong Su Kim. 2016. "Adsorption of Anionic Azo Dye Congo Red from Aqueous Solution by Cationic Modified Orange Peel Powder." *Journal of Molecular Liquids* 220: 540–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.molliq.2016.04.119>.
- Nurul, Zahara. 2007. *Pembuatan Karbon aktif dari Limbah Padat Biji Kopi Instan Menggunakan Aktivator NaOH*. (Skripsi). Bandar Lampung: Universitas Lampung, Indonesia.
- Nitsae, Merpiseldin, Lans Asideo Lano, and Mellissa E. Ledo. 2020. "Pembuatan Karbon aktif Dari Tempurung Siwalan (Borassus Flabellifer L.) Yang Diaktivasi Dengan Kalium Hidroksida (KOH)." *Biota : Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati* 5 (1): 8–15.
- Rahmat, Saepul, and Suwarno Suwarno. 2020. "Analisa Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier Dan Gas Terlarut Terhadap Perubahan Gugus Fungsi Komposisi Minyak Ester." *Infotekmesin* 11 (1): 14–23.
- Salmariza, Salmariza *et al.* 2016. "Adsorpsi Ion Cr (VI) Menggunakan Adsorben Dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber." *Jurnal Litbang Industri* 6 (2): 135.
- SNI 06-370-1995 tentang Karbon aktif Teknis (Standar kadar dan pengujian kadar).
- Song, Min *et al.* 2018. "Study on Adsorption Properties and Mechanism of Pb²⁺ with Different Carbon Based Adsorbents." *Science of the Total Environment* 618: 1416–22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.268>.
- Syauqiah, Isna, Mayang Amalia, and Hetty A Kartini. 2011. "Analisis Variasi Waktu Dan Kecepatan Pengaduk Pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat Dengan Karbon Aktif Isna Syauqiah¹), Mayang Amalia, Hetty A. Kartini Abstrak- Dalam Limbah Cuci Foto." *Info Teknik* 12 (1): 11–20.
- Thomas, W J, and Barry Crittenden. 1998. *Adsorption Technology & Design*, Oxford: Butterworth Heinemann.
- Zein, R. *et al.* 2018. "The Ability of Pensi (Corbicula Moltkiana) Shell to Adsorb Cd(II) and Cr(VI) Ions." *AIP Conference Proceedings* 2023 (Ii).