

Penyerapan Logam Kadmium Menggunakan Batubara Lignit yang Diekstraksi dan Tanpa Diekstraksi dengan Pelarut Organik

Metal Cadmium Absorption using Extracted and Unextracted Lignite Coal with Organic Solvents

Destri Yunita^{1*)}

¹Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Pascasarjana Universitas Sriwijaya, 30139 Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

^{*)}Penulis untuk korespondensi: destri82yunita@gmail.com

Sitasi: Yunita D. 2021. Metal cadmium absorption using extracted and unextracted lignite coal with organic solvents. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-9 Tahun 2021, Palembang 20 Oktober 2021. pp. 482-489. Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).*

ABSTRACT

Lignite coal with a large surface area, having carboxylate and phenol functional groups can be used as cadmium metal adsorbent, but the impact of lignite coal extraction on the absorption of cadmium metal content using organic solvents needs to be investigated. This study aimed to find out the adsorption power of cadmium metal ions by lignite coal extracted using the best organic solvents and without extraction at optimum absorption conditions. The extraction method was soxhletation using n-hexane, chloroform, and ethanol as solvents. The measurement of cadmium metal content was determined by the Atomic Absorption Spectrometry (AAS) method, where the optimum conditions for the absorption of cadmium metal ions were determined by varying the stirring time (3, 8, 15, 30, 45, 60 minutes), pH (2, 3, 4, 5, 6, 7), and metal ion concentration of cadmium (1, 3, 5, 7, 9 ppm). The results of the study showed that the adsorption ability of lignite coal extracted with ethanol was higher than the other solvents used. The optimum conditions for absorption by the extracted adsorbent were reached at 60 minutes, pH 7, and a concentration of 9 ppm while the adsorbent without extraction was reached at 60 minutes, pH 5, and a concentration of 9 ppm. The absorption of cadmium metal ions produced by each adsorbent extracted and without extraction was 0.1668 mg/g and 0.1674 mg/g. Thus, the lignite coal without extraction is the most suitable as cadmium metal adsorbent. Further research is needed on the pore size of the extracted lignite coal and the functional groups present in the lignite coal in the adsorption process.

Kata kunci: adsorbent, atomic adsorption spectrophotometry, soxhletation

ABSTRAK

Batubara lignit dengan sifat luas permukaan yang besar, memiliki gugus fungsi karboksilat dan fenol dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam kadmium, namun dampak ekstraksi batubara lignit terhadap besarnya penyerapan kadar logam kadmium menggunakan pelarut organik perlu diteliti. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya daya adsorpsi ion logam kadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi menggunakan pelarut organik terbaik dan tanpa diekstraksi pada kondisi optimum penyerapan. Metode ekstraksi yang digunakan adalah secara sokletasi menggunakan pelarut n-heksan, kloroform, dan etanol. Pengukuran kadar logam kadmium ditentukan dengan metode Spektrometri Serapan Atom (AAS), dimana kondisi optimum penyerapan ion

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISBN: 978-623-399-012-7

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

logam cadmium ditentukan melalui variasi waktu pengadukan (3, 8, 15, 30, 45, 60 menit), pH (2, 3, 4, 5, 6, 7), dan konsentrasi ion logam kadmium (1, 3, 5, 7, 9 ppm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi batubara lignit yang diekstraksi dengan etanol lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut lain yang digunakan. Kondisi optimum penyerapan oleh adsorben yang diekstraksi tercapai pada waktu 60 menit, pH 7, dan konsentrasi 9 ppm sedangkan adsorben tanpa diekstraksi tercapai pada waktu 60 menit, pH 5, dan konsentrasi 9 ppm. Daya serap terhadap ion logam kadmium yang dihasilkan oleh masing-masing adsorben diekstraksi dan tanpa diekstraksi adalah 0,1668 mg/g dan 0,1674 mg/g. Dengan demikian, batubara lignit tanpa ekstraksi adalah yang paling sesuai sebagai adsorben logam kadmium. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai ukuran pori-pori batubara lignit yang diekstraksi dan gugus fungsi yang ada dalam batubara lignit pada proses adsorpsi.

Kata kunci: adsorben, sokletasi, spektrofotometri adsorpsi atom

PENDAHULUAN

Industri merupakan salah satu kegiatan yang selain berdampak positif bagi perekonomian, juga menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan yaitu adanya limbah cair sebagai hasil sampingan industri. Industri ini menghasilkan limbah bahan berbahaya dan beracun sehingga cenderung mencemari dan merusak lingkungan (Cordova, 2011). Salah satu bahan berbahaya dalam limbah cair adalah logam-logam berat, seperti logam Cd yang dalam konsentrasi tertentu bersifat akumulatif dan menyebabkan penurunan kesehatan (Hananingtyas, 2017; Hidayat & Zainal, 2019). Bila keadaan ini terus berlanjut dan masyarakat tetap mengonsumsi air dan makanan yang tercemar oleh kadmium, maka akan berisiko yang besar untuk terkena penyakit degeneratif seperti gagal ginjal, kelainan tulang, kanker dan bahkan gangguan pada janin (Wahyuni, 2018). Menurut peraturan perundangan yang ada di Indonesia, sesuai baku mutu kadar kadmium yang diizinkan adalah 0,05 mg/l (Istarani & Pandebesie, 2014).

Pencemaran logam cadmium dapat dicegah dengan pengelolaan limbah cair secara baik sebelum dibuang ke badan air (Sutrisno & Kuntiyastuti, 2015). Penurunan kadar logam dalam limbah cair dapat dilakukan dengan proses adsorpsi materi-materi padat (Maslahat *et al.*, 2002; Mustari *et al.*, 2017; Haura *et al.*, 2017). Salah satu material yang sudah lazim digunakan untuk menyerap logam berat adalah material yang berasal dari bahan tambang antara lain fly ash dari pembakaran batubara (Afrianita *et al.*, 2014; Novia *et al.*, 2010). Sedangkan batubara sendiri yang digunakan sebagai adsorben adalah batubara peringkat rendah. Ditinjau dari segi fisik serta susunan kimianya, batubara Indonesia termasuk kedalam jenis bituminus sampai lignit. Hal ini antara lain ditunjukkan oleh tinggi rendahnya nilai kalor, tingginya kandungan air lembab dan kandungan gas terbang, serta rendahnya kandungan belerang serta abu (Ginting, 2010).

Batubara jenis subbituminous sendiri telah dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam Cr, Fe, Cd, Co (Setiabudi *et al.*, 2016). Pada batubara lignit dengan kadar air, abu, dan volatilitas yang tinggi, menyebabkan nilai kalorinya rendah, sehingga kurang dimanfaatkan secara maksimal. Batubara lignit juga diketahui memiliki kandungan oksigen yang tinggi, luas permukaan yang besar, dan pada permukaannya terdapat gugus karboksilat dan fenol. Memiliki karakteristik yang mirip dengan karbon aktif, lignit memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi berbagai kontaminan dari larutan limbah (Yuliani, 2015). Berdasarkan gugus fungsi yang dimiliki batubara lignit, telah dilakukan penelitian menggunakan batubara lignit, dimana lignit asal negara bagian Gombe lebih efisien daripada batubara sub-bituminus dari negara bagian Kogi dalam adsorpsi Cd(II) dan Pb(II) (Ezeokonkwo *et al.*, 2018).

Telah dilakukan penelitian oleh Jellali *et al.* (2021) bahwa batubara lignit asal wilayah Cap Bon (bagian timur laut Tunisia) sebagai bahan berbiaya rendah mempunyai daya serap yang besar terhadap logam Cd dalam limbah. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka perlu dilakukan pengkajiaan kemungkinan pemanfaatan batubara lignit yang diekstraksi asal Tanjung Enim untuk menyerap logam Cd dengan daya adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan daya adsorpsi logam Cd tanpa ekstraksi. Batubara lignit tersebut diekstraksi menggunakan pelarut organik yang berbeda kepolaran sebagai adsorben. Proses ekstraksi digunakan untuk menarik senyawa organik dan material yang terkandung dalam batubara ke fase pelarut, sehingga pori-pori permukaan batubara lignit lebih terbuka dan kemampuan penyerapan terhadap ion logam Cd diharapkan maksimal. Teknik ekstraksi yang digunakan adalah sokletasi,

Prinsip dari sokletasi yaitu penyaringan yang berulang-ulang sehingga hasil yang didapat sempurna. Penggunaan pelarut yang berbeda dalam ekstraksi ini akan menentukan pelarut mana yang mampu melarutkan dengan sempurna. Keuntungan dari metode ini adalah proses ekstraksi yang kontinyu, sampel terekstraksi oleh pelarut murni hasil kondensasi sehingga tidak membutuhkan banyak pelarut dan tidak memakan banyak waktu (Mukhriani, 2014). Tujuan penelitian untuk menentukan besarnya daya adsorpsi ion logam kadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi menggunakan pelarut organik terbaik dan tanpa diekstraksi pada kondisi optimum penyerapan.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Batubara Lignit

Batubara lignit berasal dari PTBA Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Batubara dalam bentuk bongkahan dipanaskan dalam oven vakum pada temperature 80°C selama 8 jam, kemudian dihaluskan menggunakan ayakan Tyler 100 mesh. Batubara diekstraksi secara sokletasi masing-masing dengan 300 mL pelarut *N-hexane*, *chloroform*, dan *ethanol* selama 48 jam. Batubara hasil ekstraksi masing-masing dipanaskan pada temperatur 60°C sampai didapatkan berat konstan dengan menggunakan neraca analitik Mettler.

Pembuatan Larutan Standar Logam

Larutan stok CdCl₂. 2H₂O 1000 ppm digunakan untuk membuat larutan standar. Larutan standar 100 ppm dibuat dari 10 mL larutan stok CdCl₂. 2H₂O 1000 ppm. Larutan 100 ppm ini kemudian diencerkan secara bertahap menjadi larutan standar 0,1 ppm, 0,2 ppm, 0,4 ppm, 0,7 ppm, 1 ppm.

Penentuan Pelarut Organik Terbaik untuk Ekstraksi

Masing-masing 1 gram lignit berukuran 100 mesh yang telah diekstraksi dengan pelarut *N-hexane*, *chloroform*, dan *ethanol* dimasukkan ke dalam beker gelas 100 mL yang telah berisi 20 mL larutan logam Cd 5 ppm. pH diatur menjadi 4 dengan larutan buffer, kemudian dikocok dengan shaker selama 15 menit pada kecepatan 200 rpm. Kandungan cadmium dalam filtrat diukur dengan spektrofotometer serapan atom Shimadzu 6601 F tahun 1996. Prinsip kerja alat ini adalah penyerapan cahaya oleh atom pada panjang gelombang tertentu (Sumarno & Kusumaningtyas, 2018).

Penentuan Waktu Pengadukan Optimum

Masing-masing 1 gram lignit berukuran 100 mesh yang telah diekstraksi dengan pelarut terbaik dimasukkan ke dalam beker gelas 100 mL yang telah berisi 20 mL larutan standar Cd 5 ppm. pH diatur menjadi 4 dengan larutan buffer, kemudian dikocok dengan shaker selama 3, 8, 15, 30, 45, dan 60 menit pada kecepatan 200 rpm. Kandungan kadmium dalam

filtrat diukur dengan spektrofotometer serapan atom. Dengan cara yang sama dilakukan terhadap batubara tanpa ekstraksi.

Penentuan pH Optimum Larutan Logam Kadmium

Masing-masing 1 gram lignit berukuran 100 mesh yang telah diekstraksi dengan pelarut terbaik dimasukkan ke dalam beker gelas 100 mL yang telah berisi 20 mL larutan standar Cd 5 ppm. pH diatur menjadi 2, 3, 4, 5, 6, dan 7. pH 2 diatur dengan penambahan larutan HCl. pH 3, 4, 5 diatur dengan menggunakan larutan buffer 5,5. pH 6 dan 7 diatur menggunakan larutan buffer 10. Larutan dikocok dengan shaker selama waktu optimum yang didapatkan sebelumnya pada kecepatan 200 rpm. Kandungan kadmium dalam filtrat diukur dengan spektrofotometer serapan atom. Dengan cara yang sama dilakukan terhadap batubara tanpa ekstraksi.

Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan Logam Kadmium

Masing-masing 1 gram lignit berukuran 100 mesh yang telah diekstraksi dengan pelarut terbaik dimasukkan ke dalam beker gelas 100 mL yang telah berisi 20 mL larutan standar Cd, pH optimum dengan konsentrasi 1, 3, 5, 7, dan 9 ppm. Larutan dikocok dengan shaker selama waktu optimum pada kecepatan 200 rpm. Kandungan kadmium dalam filtrat diukur dengan spektrofotometer serapan atom. Dengan cara yang sama dilakukan terhadap batubara tanpa ekstraksi.

ANALISIS DATA

Daya adsorpsi dihitung dengan persamaan (1), dengan C_0 , konsentrasi ion logam Cd sebelum penyerapan (mg/L), C , konsentrasi ion logam Cd setelah penyerapan (mg/L), V , volume ion logam Cd (L), W , berat lignit (g).

$$\text{Daya Serap} = \frac{(C_0 - C) \times V}{W} \quad (1)$$

HASIL

Penentuan Jenis Pelarut untuk Ekstraksi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya serap paling tinggi oleh batubara lignit yang diekstraksi adalah dengan menggunakan pelarut etanol sebesar 0,09015 mg/g, sedangkan daya serap batubara lignit tanpa diekstraksi sebesar 0,09150 mg/g (Tabel 1).

Tabel 1. Daya serap ion logam Cd oleh batubara lignit tanpa diekstraksi dan yang diekstraksi masing-masing dengan pelarut organik

Pelarut Organik (mL)	Daya Serap Rata-rata (mg/g)
Tanpa Ekstraksi	0,09150
Etanol	0,09015
Kloroform	0,08430
N-Heksana	0,07965

Penentuan Waktu Pengadukan Optimum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pengadukan optimum penyerapan ion logam kadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi tercapai pada waktu 60 menit, dimana besarnya daya serap masing-masing batubara yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi adalah 0,09250 mg/g dan 0,09285 mg/g (Tabel 2).

Tabel 2. Daya serap ion logam Cd oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi dengan variasi waktu pengadukan

Waktu Pengadukan (menit)	Daya Serap Rata-rata	
	Batubara Yang Diekstraksi (mg/g)	Batubara Tanpa Diekstraksi (mg/g)
3	0,08675	0,09000
8	0,08830	0,09075
15	0,09020	0,09150
30	0,09140	0,09220
45	0,09220	0,09270
60	0,09250	0,09285

Penentuan pH Optimum Larutan Logam Kadmium

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH optimum penyerapan ion logam cadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi tercapai pada pH 7 dan pH 5, dimana besarnya daya serap masing-masing batubara yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi adalah 0,09760 mg/g dan 0,09560 mg/g (Tabel 3).

Tabel 3. Daya serap ion logam Cd oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi dengan variasi pH larutan logam kadmium

Keasaman (pH)	Daya Serap Rata-rata	
	Batubara Yang Diekstraksi (mg/g)	Batubara Tanpa Diekstraksi (mg/g)
2	0,01190	0,01625
3	0,09010	0,09020
4	0,09255	0,09280
5	0,09050	0,09560
6	0,09480	0,09515
7	0,09760	0,09460

Penentuan Konsentrasi Optimum Larutan Logam Kadmium

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi optimum penyerapan ion logam cadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi tercapai pada konsentrasi 9 ppm, dimana besarnya daya serap masing-masing batubara yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi adalah 0,16685 mg/g dan 0,16740 mg/g (Tabel 4).

Tabel 4. Daya serap ion logam Cd oleh batubara lignit yang diekstraksi dan tanpa diekstraksi dengan variasi konsentrasi larutan logam kadmium

Konsentrasi (ppm)	Daya Serap Rata-rata	
	Batubara Yang Diekstraksi (mg/g)	Batubara Tanpa Diekstraksi (mg/g)
1	0,01670	0,01840
3	0,05620	0,05595
5	0,09750	0,09550
7	0,13060	0,13255
9	0,16685	0,16740

PEMBAHASAN

Dari batubara lignit yang diekstraksi menggunakan masing-masing dengan pelarut yang berbeda menunjukkan besarnya daya serap batubara lignit yang diekstraksi dengan *ethanol* lebih tinggi dibandingkan dengan *N-hexane* dan *chloroform*. *Ethanol* lebih tinggi karena gugus polar -OH dari *Ethanol* bereaksi dengan gugus polar lignit. Berdasarkan hasil penelitian Lidya *et al.* (2014) bahwa pelarut polar lebih banyak mengekstraksi senyawa yang polar. Karena besarnya gugus polar dalam lignit menyebabkan peningkatan daya serap. Hal ini berdasarkan prinsip *like dissolves like*, suatu pelarut akan cenderung melarutkan senyawa yang mempunyai tingkat kepolaran yang sama maka senyawa yang bersifat polar akan

lebih banyak tertarik pada pelarut yang bersifat polar, sehingga pori-pori dari batubara lebih terbuka dan daya adsorpsinya menjadi lebih besar. Pada adsorpsi oleh batubara tanpa diekstraksi menunjukkan daya serap yang lebih tinggi daripada batubara yang diekstraksi, hal ini terjadi karena diameter pori-pori batubara yang terbentuk setelah ekstraksi sangat besar, sehingga untuk mengadsorpsi molekul-molekul kadmium yang ukuran ionnya relatif kecil menjadi kurang efektif.

Daya serap batubara lignit terhadap kadmium terus meningkat dengan penambahan waktu pengadukan mulai dari 3 menit sampai 60 menit. Daya serap meningkat dengan pertambahan waktu karena semakin lama waktu pengadukan, maka kesempatan dalam proses tumbukan antara ion logam Cd dengan molekul lignit semakin besar, sehingga pergantian antara ion H^+ yang berasal dari gugus karboksilat dan fenol pada permukaan lignit dengan ion logam kadmium semakin besar. Berdasarkan penelitian Jellali et al. (2021) semakin lama waktu pengadukan menyebabkan semakin besar penyerapan dan pada waktu tertentu akan terjadi kesetimbangan, sehingga daya adsorpsi akan konstan.

Penyerapan logam kadmium oleh batubara lignit rendah pada pH yang relatif asam (pH 2–4), namun akan terikat optimum pada pH 5 dan pada pH lebih tinggi (pH 6 dan 7) daya serap batubara lignit terhadap ion logam kadmium menurun. Hal tersebut terjadi karena pada pH 2–4 dengan larutan bersifat asam kandungan yang ion H^+ yang melimpah dalam larutan akan bersaing dengan Cd untuk terikat pada situs aktif batubara. Sedangkan pada pH 5 adsorpsi mencapai optimum karena jumlah ion H^+ yang menutupi situs aktif batubara lignit relatif sedikit, yang menyebabkan terjadinya interaksi efektif antara ion logam kadmium yang bermuatan positif dengan situs aktif batubara (pada gugus karboksilat dan fenol) akibat gaya elektrostatik. Pada pH 6 dan 7 terjadi penurunan daya adsorpsi karena karena situs aktif batubara juga akan mengikat ion NH_4^+ yang berasal dari larutan buffer NH_4OH sehingga akan terjadi kompetisi antara logam Cd^{2+} dan NH_4^+ . Berdasarkan penelitian yg telah dilakukan oleh Jellali et al. (2021) bahwa pH mempengaruhi besarnya daya serap.

Adanya kenaikan konsentrasi larutan logam kadmium juga berpengaruh terhadap daya serap batubara. makin meningkat dengan adanya kenaikan konsentrasi larutan logam kadmium. Hal ini terjadi karena dengan peningkatan konsentrasi reaktan, maka akan meningkatkan kecepatan reaksi. Hal tersebut sesuai dengan teori tumbukan, yaitu bila suatu reaksi terjadi, maka reaktan akan bertumbukan satu sama lain dan situs aktifnya juga mengalami tumbukan, sehingga ion logam Cd yang tertarik pada situs aktif batubara lignit akan semakin banyak. Kapasitas ion logam Cd yang bisa masuk pada permukaan adsorben akan lebih banyak dengan meningkatnya konsentrasi. Penyerapan akan terus berlangsung bila konsentrasi logam masih dapat diterima oleh kapasitas gugus aktif tersebut karena reaksi akan terus kearah pembentukan molekul. Apabila keadaan setimbang telah terlampaui maka adsorben akan jenuh, sehingga penyerapan akan terhenti. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Handayani et al. (2012) adsorpsi logam akan semakin meningkat dengan peningkatan konsentrasi larutan logam.

Dari pembahasan diatas perlu dilakukan karakterisasi adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi menggunakan SEM untuk mengetahui struktur morfologi, FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan SEM-EDS untuk mengetahui komponen kimia yang terkandung dalam adsorben tersebut (Mohammed & Abdullah, 2018).

KESIMPULAN

Pelarut organik terbaik untuk ekstraksi batubara lignit dalam penyerapan ion logam kadmium adalah *ethanol*. Daya serap ion logam kadmium oleh batubara lignit yang diekstraksi dengan kondisi optimum waktu pengadukan 60 menit, pH 7, dan konsentrasi

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISBN: 978-623-399-012-7

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

9 ppm sebesar 0,16685 mg/g. Daya serap ion logam kadmium oleh batubara lignit tanpa diekstraksi dengan kondisi optimum waktu pengadukan 60 menit, pH 5, dan konsentrasi 9 ppm sebesar 0,1674 mg/g.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita R, Dewilda Y, Rahayu M. 2014. Potensi Fly ash sebagai adsorben dalam menyisihkan logam berat cromium (Cr) pada limbah cair industri. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. 11(1): 67–73. DOI: 0.25077/dampak.11.1.67-73.2014
- Cordova RM. 2011. Identifikasi industri berdasarkan limbah perekonomian nelayan namun menurunkan kualitas air dan produksi perikanan. *JPSL*. 1(2): 120–126.
- Ezeokonkwo MA, Ofor OF, Ani JU. 2018. Preparation and evaluation of adsorbents from coal and irvingia gabonensis seed shell for the removal of Cd(II) and Pb(II) Ions from aqueous solutions. *Frontiers in Chemistry*. 5(132): 1–14. DOI: 10.3389/fchem.2017.00132
- Ginting D. 2010. Kebijakan dan prospek pengelolaan batu bara di Indonesia. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 5(1): 43–49. DOI: 10.47599/bsdg.v5i1.255.
- Hananingtyas I. 2017. Studi pencemaran kandungan logam berat timbal (Pb) dan Kadmium (Cd) pada ikan tongkol (*Euthynnus sp.*) di pantai utara Jawa. *Biotropic The Journal of Tropical Biology*. 1(2): 41–50. DOI: 10.29080/biotropic.2017.1.2.41-50.
- Handayani DS, Jumina, Siswanta D, Mustofa. 2012. Adsorpsi Ion Logam Pb (II), Cd(II) dan Cr (III) oleh Poli 5 Allil-Kaliks(4)Arena Tetraester. *Manusia dan Lingkungan*. 19(3): 218–224.
- Haura U, Razi F, Meilina H. 2017. Karakterisasi adsorben dari kulit manggis dan kinerjanya pada adsorpsi logam Pb(II) dan Cr(VI). *Biopropal Industri*. 8(1): 47–54.
- Hidayat A, Zainal AU. 2018. Studi kandungan logam berat timbal (Pb) dan Cadmium (Cd) dalam kerang hijau (*Perna viridis*) di Muara Sungai Tallo Kota Makassar Tahun 2016. *In: Prosiding Kolokium Doktor dan Seminar Hasil Penelitian Hibah*. 1: 13–24. DOI: 10.22236/psd/1113-2458.
- Istarani F, Pandebesie ES. 2014. Studi dampak arsen (As) dan kadmium (Cd) terhadap penurunan kualitas lingkungan. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(1): 53–58.
- Jellali S, Azzaz AA, Jeguirim M, Hamdi H, Mlayah A. 2021. Use of Lignite as a Low-Cost Material for Cadmium and Copper Removal from Aqueous Solutions: Assessment of Adsorption Characteristics and Exploration of Involved Mechanisms. *Water*. 13(2): 1–19. DOI: 10.3390/w13020164.
- Lidya S, Chairina S, Fatimah. 2014. Ekstraksi Pigmen Antosionin dari Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 3(2): 25–29. DOI: 10.32734/jtk.v3i2.1502
- Maslahat M, Taufiq A, Subagja PW. 2015. Pemanfaatan Limbah Cangkang Telur sebagai Biosorben untuk Adsorpsi Logam Pb dan Cd. *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa*. 5(1): 92–100.
- Mohammed A, Abdullah A. 2018. Scanning Electron Microscopy (SEM): a Review. *International Conference on Hydraulics and Pneumatics*. 7: 77–85.
- Mukhriani. 2014. Ekstraksi, pemisahan senyawa, dan identifikasi senyawa aktif. *Jurnal Kesehatan*. 7(2): 361–367. DOI: 10.17969/agripet.v16i2.4142.
- Mustari S, Suryaningsih S, Kartawidjaja M. 2017. Analisa sifat adsorpsi logam berat pada eceng gondok dalam pengelolaan air limbah elektroplating. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*. 07(01): 44–48.
- Novia M, Athiyah U, Susanty E. 2010. Pembuatan Adsorben dari Fly Ash Hasil Pembakaran Batubara untuk Mengadsorpsi Logam Besi (Fe). *Jurnal Teknik Kimia*. 17: Editor: Siti Herlinda et. al. ISBN: 978-623-399-012-7 Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

1–8.

- Setiabudi A, Laksono K, Ramdhani A, Indonesia UP. 2016. *Adsorption of Cr, Fe, Cd, Co Ions Onto Raw and Treated Indonesian Sub-Bituminous Coal*. 11(8): 5217–5220.
- Sumarno D, Kusumaningtyas D. 2018. Penentuan limit deteksi dan limit kuantisasi untuk analisis logam timbal (Pb) dalam air menggunakan alat spektrofotometer serapan atom. *Buletin Teknik Litkayasa*. 16(1): 7–11.
- Sutrisno, Kuntiyastuti H. 2015. Pengelolaan cemaran kadmium pada lahan pertanian di Indonesia. *Buletin Palwija*. 13(1): 83–91. DOI: 10.21082/bulpa.v13n1.2015.p83-91.
- Wahyuni S. 2018. Risiko kesehatan akibat paparan kadmium (Cd) pada Air yang dikonsumsi dan sumber makanan laut di wilayah pesisir timur belawan Sumatera Utara. *Jurnal Public Health*. 5(1): 19–30.
- Yuliani G. 2015. Potential application of lignite as adsorbents in industrial wastewater treatment: a mini review. *Buletin Sumber Daya Geologi*. 10(2): 103–110. DOI: 10.47599/bsdg.v10i2.141