

PENYISIHAN MERKURI DAN BESI DARI AIR SUNGAI MENGGUNAKAN BUBUK CANGKANG TELUR

(Mercury and Iron Removal from River Water Using Eggshell Powder)

Badariah^{1*}, M. Syahran Jailani², dan Sarah Fiebrina Heraningsih³

¹ Prodi Tadris Biologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jalan Jambi – Muara Bulian Km.16 Simpang Sei Duren, Jaluko, Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

² Prodi Pendidikan Agama Islam, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jalan Jambi – Muara Bulian Km.16 Simpang Sei Duren, Jaluko, Muaro Jambi, Jambi, Indonesia

³ Prodi Teknik Kimia, Universitas Jambi, Jalan Jambi-Ma Bulian, KM 15, Mendalo Indah, Jambi, 36361, Indonesia

*Email: badariah@uinjambi.ac.id

Diterima: 30 Mei 2023, Direvisi : 28 September 2023, Disetujui : 4 Oktober 2023

ABSTRACT

Mercury and iron are toxic heavy metals that often enter the waters through anthropogenic activities. The Batanghari River is one of the rivers affected by heavy metals. This study aims to remove mercury and iron from river water by using an adsorbent from egg shells. The treatment used was direct contact through stirring with variations of 45 minutes, 90 minutes, and 135 minutes. The doses of eggshell powder used were 1 grams, 5 grams, 10 grams, and 15 grams. The optimal removal efficiency is 100% for mercury and 89.54% for iron. The best adsorbent dose is 5 grams for mercury and 10 grams for iron and the best stirring speed is 135 minutes on both types of metals. The results of this study found that the removal of mercury and iron using eggshell powder is an easy, cheap, and effective process to implement.

Keywords: *eggshell powder; iron removal; mercury removal; river water treatment*

ABSTRAK

Merkuri dan besi adalah logam berat berbahaya yang seringkali masuk ke perairan melalui kegiatan antropogenik. Sungai Batanghari merupakan salah satu sungai yang terdampak akan logam berat. Penelitian ini bertujuan untuk menyisihkan merkuri dan besi dari air sungai dengan menggunakan adsorben dari cangkang telur. Perlakuan yang digunakan ialah kontak secara langsung melalui pengadukan menggunakan variasi waktu 45 menit, 90 menit dan 135 menit. Jumlah dosis bubuk cangkang telur yang digunakan ialah 1 gram, 5 gram, 10 gram dan 15 gram. Efisiensi penyisihan optimal ialah 100% pada merkuri dan 89,54% pada besi. Dosis adsorben terbaik ialah 5 gram untuk merkuri dan 10 gram untuk besi dan kecepatan pengadukan terbaik ialah 135 menit pada kedua jenis logam. Hasil penelitian ini menemukan

bahwa penyisihan merkuri dan besi menggunakan bubuk cangkang telur ialah proses yang mudah, murah dan efektif untuk dilaksanakan.

Kata kunci: bubuk cangkang telur; pengolahan air sungai; penyisihan besi; penyisihan merkuri

I. PENDAHULUAN

Sungai Batanghari berada di Provinsi Jambi dan Provinsi Sumatera Barat yang merupakan sumber bahan baku utama dalam penyediaan air bersih dari PDAM yang berlokasi di Kota Jambi. Terdapat banyak aktivitas di sepanjang aliran Sungai Batanghari antara lain kegiatan antropogenik berupa aktivitas pertanian, penambangan, pembakaran bahan bakar oleh industri, dan kegiatan pada kompleks Pasar Angso Duo yang juga merupakan Pasar Induk Kota Jambi. Hal –hal tersebut menjadi tolak ukur bahwa kualitas air Sungai Batanghari perlu diperhatikan secara serius supaya tidak terkontaminasi logam berat (Yanova, Siagian, and Gusanti 2020). Aktivitas antropogenik tersebut adalah sumber paling umum di mana polutan seperti logam berat didistribusikan ke lingkungan melalui sistem penyaluran kotoran (*sewage*) dan limbah industri yang terus-menerus (Lakherwal, 2014; Wiriani, Syarifuddin, and Jalius, 2020).

Kehadiran logam berat beracun dan tidak dapat terurai yang ada dalam air limbah merupakan penyebab utama kekhawatiran karena dampak buruknya terhadap kesehatan manusia, fauna, dan flora. Oleh karena itu, pemerintah telah menetapkan nilai ambang batas lingkungan terkait dengan kualitas air limbah, untuk mendorong industri agar memberikan pilihan pengolahan limbah yang memadai sebelum dibuang ke lingkungan (Ronda et

al., 2013). Meskipun aturan telah ditegakkan, akan tetapi status mutu Sungai Batanghari sebagai bahan baku air utama Kota Jambi masih dalam keadaan mengkhawatirkan karena telah teramat sangat tercemar jika ditinjau berdasarkan kandungan logam merkuri dan besi berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 Kelas I (Yanova et al. 2020). Pada tahun 2021, tim peneliti melakukan penelitian mengenai kandungan logam berat di 10 titik pada Sungai Batanghari. Hasil penelitian tersebut menemukan bahwa kandungan merkuri pada salah satu titik sungai batanghari meningkat hingga 214 kali dibandingkan penelitian Yanova pada 2020 dan sumber pencemaran tersebut diprediksi berasal dari kegiatan antropogenik (Badariah *et al.*, 2023). Untuk itu dibutuhkan upaya pengolahan untuk mengatasi permasalahan tercemarnya air Sungai Batanghari.

Terdapat banyak pilihan pengolahan yang dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat diantaranya *chemical precipitation*, pertukaran ion, *reverse osmosis* and ultrafiltrasi, yang semuanya telah ditinjau oleh beberapa peneliti (Luptakova *et al.*, 2012). Meskipun proses pengolahan tersebut dapat digunakan, akan tetapi tidak direkomendasikan untuk diaplikasikan pada limbah dengan konsentrasi polutan yang rendah (Simate and Ndlovu 2015). Hal ini disebabkan, beberapa proses tersebut

kurang efektif, tidak ekonomis atau rumit secara teknis ketika konsentrasi polutan di bawah 100 mg/L. Selain itu, beberapa metode ini memiliki kelemahan yaitu penggunaan reagen dalam jumlah banyak, kebutuhan energi yang tinggi dan juga menghasilkan lumpur sekunder yang beracun (Abdolali *et al.*, 2014).

Saat ini, proses adsorpsi telah banyak diteliti untuk menghilangkan zat berbahaya seperti logam berat dari air limbah. Daya tarik utama proses adsorpsi adalah mudah dalam penggunaan dan memiliki efisiensi penyisihan yang baik (Renu *et al.*, 2017). Secara komersial, adsorben seperti karbon aktif telah dibatasi penggunaannya karena harganya yang mahal (Malkoc, Nuhoglu, and Abali, 2006). Hal ini menyebabkan banyak penelitian untuk menggunakan adsorben dari bahan alam diantaranya menggunakan cangkang telur yang dihasilkan dari limbah bahan makanan (Harripersadth *et al.*, 2020; Oliveira, Benelli, and Amante, 2013) yang selaras sempurna dengan konsep ekonomi sirkular yang bertujuan mengurangi limbah dengan menambah nilai jual dari material tersebut. Industri produksi telur menawarkan perkembangan ekonomi yang pada akhirnya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap meningkatnya jumlah cangkang telur yang dihasilkan yang dianggap sebagai limbah (Oliveira *et al.*, 2013). Sehingga, penggunaan cangkang telur dapat memberikan solusi ganda yaitu mengurangi jumlah limbah yang terakumulasi di alam dan berpotensi untuk

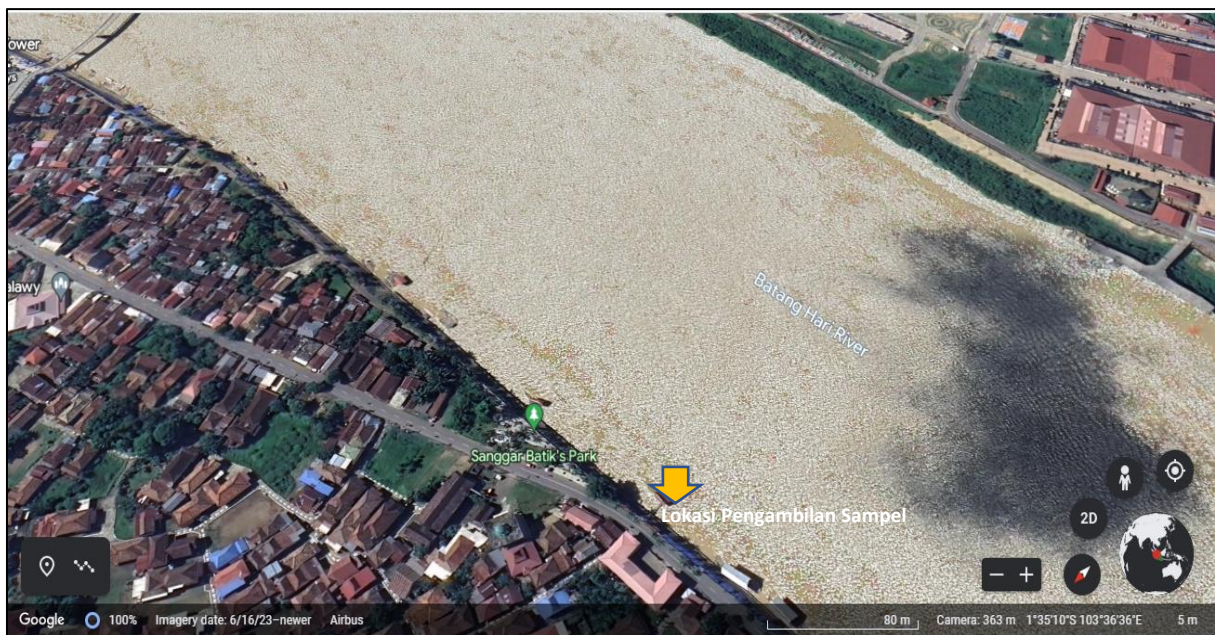
digunakan dalam industri pengolahan air (Harripersadth *et al.*, 2020).

Saat ini penelitian adsorpsi logam berat menggunakan cangkang telur terbatas pada sampel larutan logam sintetik (Ehsanpour, Riahi Samani, and Toghraie, 2023; Harripersadth *et al.*, 2020; Praipipat, Ngamsurach, and Pratumkaew, 2023), air limbah industri (Katha *et al.*, 2021), air limbah tambang (Badariah, Rainiyati, and Heraningsih, 2021) dan limbah pewarna batik (Riduan *et al.*, 2022). Belum banyak penelitian yang menggunakan air sungai sebagai sampel penelitiannya. Sehingga penelitian ini mencoba menemukan formulasi terbaik untuk menyisihkan logam besi dan merkuri dengan jenis sampel yang diolah ialah air sungai. Manfaat dari penelitian ini ialah didapatkan adsorben yang murah karena berasal dari bahan alam untuk mengatasi permasalahan pencemaran besi dan merkuri pada air Sungai. Formulasi ini dapat menjadi rujukan untuk membuat membran yang dapat digunakan untuk mengolah air sungai agar dapat dimanfaatkan oleh masyarakat.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2022 di Laboratorium Teknik Kimia, Universitas Jambi. Titik lokasi sampling ialah 1°35'10"S 103°36'36"E berdasarkan google earth yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar (Figure) 1. Lokasi Pengambilan Sampel (*Sampling Location*)
 Sumber (Source) : Google Earth (*Google Earth*)

Penentuan titik tersebut berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang mengindikasikan titik kontaminasi besi dan merkuri tertinggi dari 10 titik yang dianalisa di penelitian sebelumnya (Badariah *et al.*, 2023). Analisa sampel baik yang telah diolah maupun sampel pembanding dilakukan di Laboratorium Air Jurusan Teknik Lingkungan FT Universitas Andalas Padang.

B. Bahan dan Alat

Bahan penelitian yang digunakan untuk penyisihan logam merkuri dan besi pada air sungai ialah cangkang telur yang dikumpulkan secara langsung dan dibersihkan serta disimpan untuk proses selanjutnya. Sampel yang diberikan perlakuan ialah air Sungai Batanghari. Air Sungai Batanghari diambil pada satu titik lokasi yang pada penelitian sebelumnya merupakan titik dengan konsentrasi logam merkuri dan besi tertinggi (Badariah *et al.*,

2023). Air sungai diambil dan disimpan ke dalam jerigen sebelum proses pengolahan selanjutnya. Sampel diambil dengan metode kombinasi dengan mencampurkan air dari bagian atas, bagian tengah dan bagian bawah sungai. Peralatan yang digunakan adalah oven, ayakan, lumpang dan alu, saringan dan *magnetic stirrer*.

C. Metode Penelitian

Tahapan pertama yang dilakukan ialah preparasi cangkang telur ayam untuk dijadikan bubuk cangkang telur. Cangkang telur ayam dikumpulkan dari limbah restoran lokal di Jambi, Indonesia. Cangkang telur ayam dibersihkan lalu dioven pada suhu 250°C selama 54 jam. Hal ini bertujuan untuk pemisahan cangkang telur dan selaput membran. Hasil pengovenan kemudian digerus hingga berbentuk bubuk dan diayak menggunakan saringan 100 mesh. Bubuk cangkang telur yang telah didapatkan kemudian dicuci

hingga pH normal dan air cucian berwarna bening. Tahapan selanjutnya ialah perlakuan kontak secara langsung. Air Sungai Batanghari dicampurkan dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sesuai variabel yang ditetapkan pada Tabel 1. Penelitian mengikuti prosedur *univariate* yaitu hanya melakukan uji terhadap 1 data dan tidak melakukan perulangan yang diadaptasi dari penelitian Martin *et al.* (2013) dengan melakukan variasi pada dosis adsorben dan waktu pengadukan. Sampel kemudian dидiamkan (*settling*) selama 30 menit lalu dilanjutkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whattman No 42 untuk memisahkan *supernatant* dan adsorbent. *Supernatant* kemudian disimpan pada botol sampel yang bersih dan kemudian dianalisa menggunakan analisa *Inductively Coupled Plasma Mass Spechtrphotometry (ICP-MS)*. Teknik analisisnya dengan cara

pengatomisasian elemen yang akan memancarkan cahaya panjang gelombang tertentu selanjutnya panjang gelombang tersebut dapat diukur untuk mengetahui kadar merkuri (Hg) dan besi (Fe) dalam sampel. Keseluruhan tahapan penelitian diringkaskan pada Gambar 2.

Efisiensi Penyisihan

Efisiensi penyisihan dari masing-masing logam dihitung menggunakan persamaan 1. Efisiensi penyisihan diperlukan untuk menguji kemampuan adsorben dalam efektivitasnya untuk menyisihkan logam berat. (Gusain, Kumar, and Sinha, 2020; Liu *et al.*, 2018)

$$Efisiensi\ Penyisihan = \frac{(c_o - c_e)}{c_o} \times 100 \dots\dots(1)$$

dimana :

C_o (mg/L) = konsentrasi logam awal pada campuran

C_e (mg/L) = konsentrasi logam akhir pada campuran

Tabel (Table) 1. Variabel Penelitian (Research Variable)

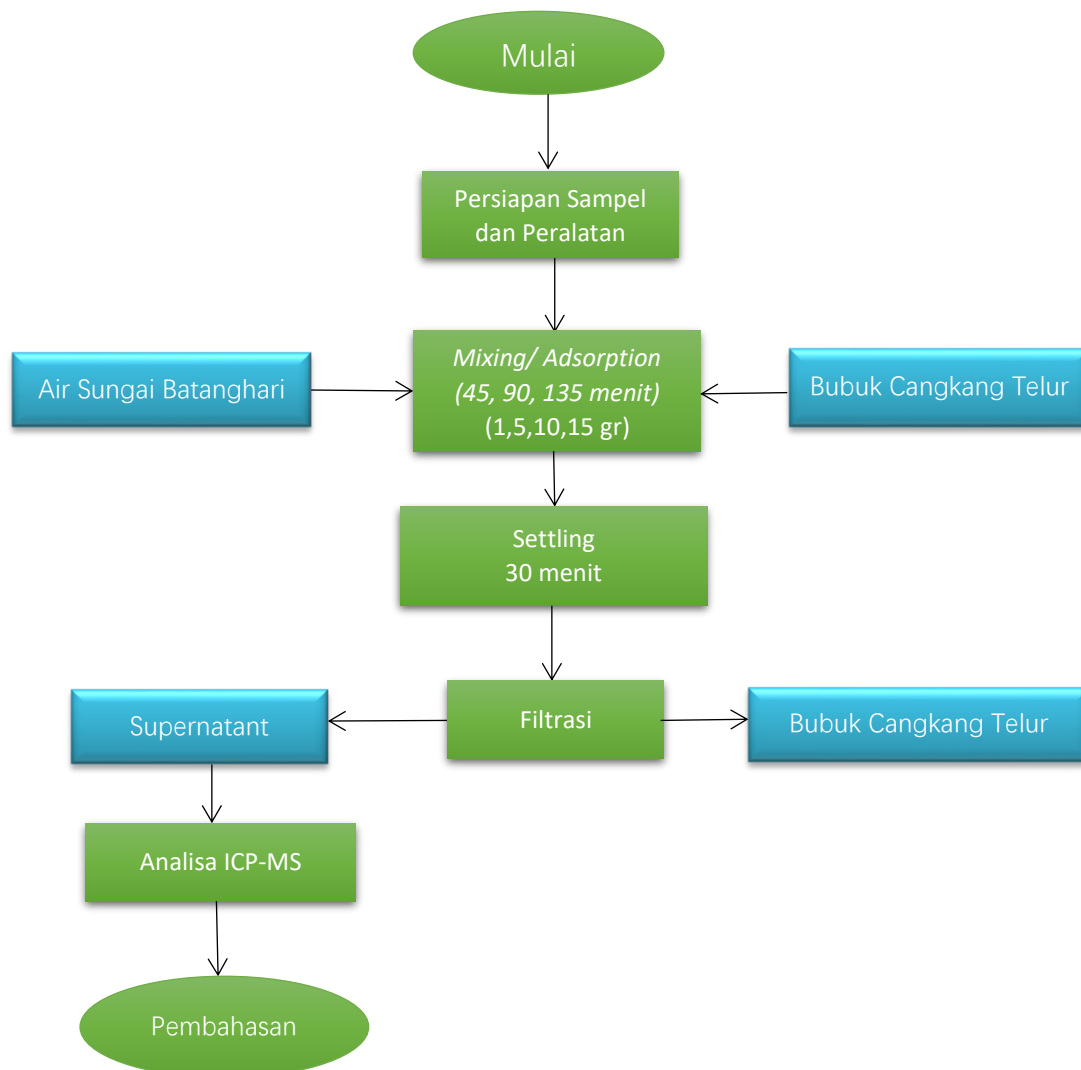
Kode Sampel (Sample Code)	Massa Adsorben (Adsorbent Mass) (Gr)	Volume Sampel (Sample Volume) (mL)	Waktu Pengadukan (Mixing Time) Menit (Min)
A1.1	1	400	45
A1.2	1	400	90
A1.3	1	400	135
A2.1	5	400	45
A2.2	5	400	90
A2.3	5	400	135
A3.1	10	400	45
A3.2	10	400	90
A3.3	10	400	135
A4.1	15	400	45
A4.2	15	400	90
A4.3	15	400	135

Sumber (Source) : Data Penelitian (Research Data)

Keterangan (Remarks):

Aa.b. = a menunjukkan massa adsorben, b menunjukkan waktu pengadukan.

A1.1 = sampel dengan perlakuan massa adsorben 1 gram dan waktu pengadukan 45 menit



Gambar (Figure) 2. Tahapan Ringkas Penelitian (*Simplification of Research Step*)

Sumber (Source) : Data Penelitian (*Research Data*)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa ICP-MS yang telah dilaksanakan menunjukkan hasil berupa data konsentrasi merkuri dan besi dari sampel yang telah dikondisikan sesuai variabel penelitian. Hasil ini kemudian diolah menggunakan Persamaan (1) untuk menghitung efisiensi penyisihan merkuri dan besi. Hasil perhitungan ditabulasikan pada Tabel 2.

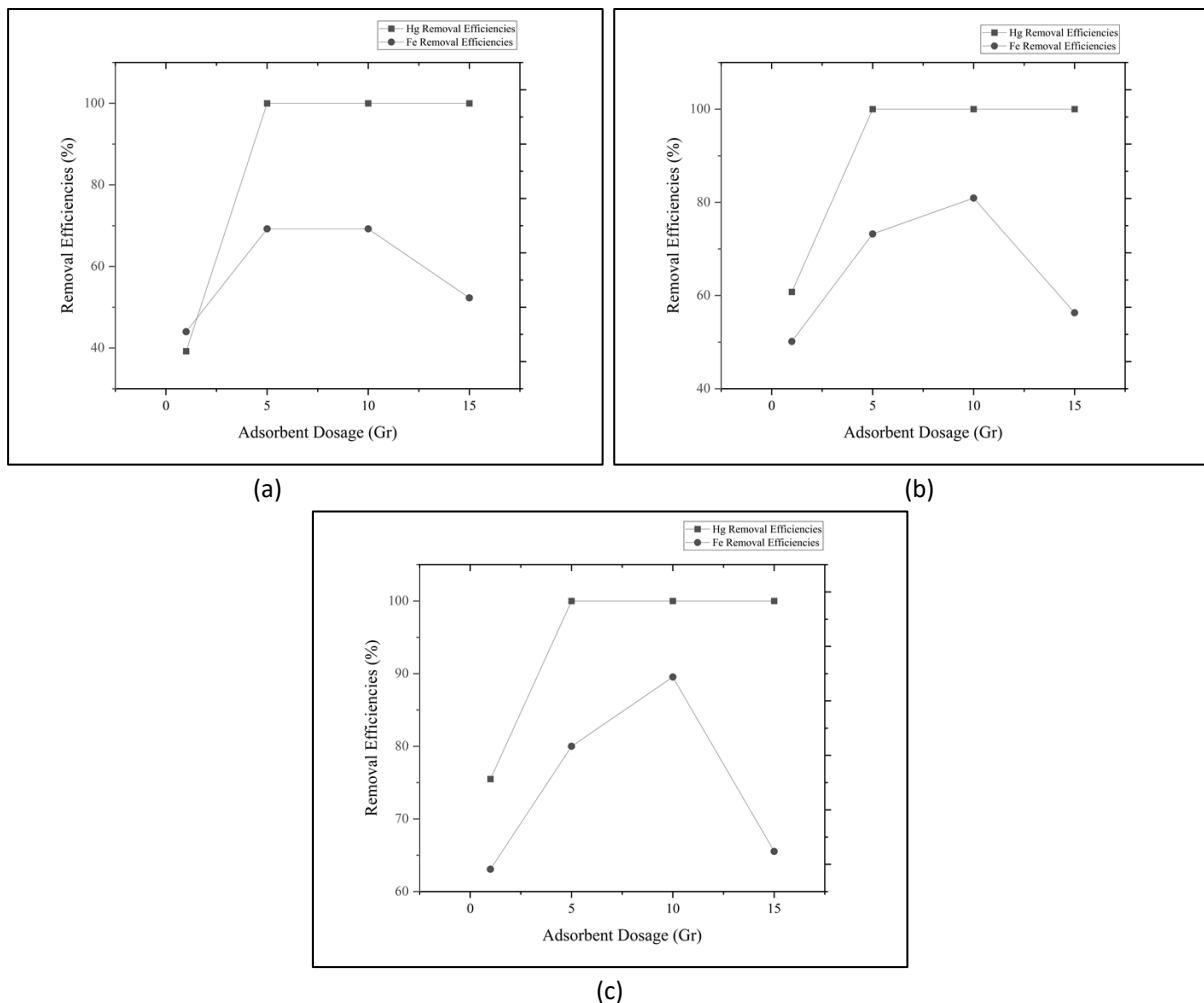
Untuk mengetahui pengaruh efisiensi adsorpsi terhadap dosis adsorben, disusunlah grafik yang ditampilkan pada

Gambar 3 dan untuk mengetahui pengaruh efisiensi adsorpsi terhadap kecepatan pengadukan disusunlah grafik yang ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan hal tersebut, diketahui bahwa pada penyisihan merkuri, jumlah dosis 5 gram adalah jumlah dosis yang cukup untuk menghilangkan merkuri dari air karena penambahan dosis lebih lanjut menunjukkan efisiensi penyisihan yang sama yaitu mencapai 100% dan hal ini konsisten pada jumlah adsorbent 10 dan 15 gram.

Tabel (Table) 2. Efisiensi Penyisihan Hg dan Fe (Removal Efficiencies of Hg and Fe)

Kode Sampel (Sample Code)	Efisiensi Penyisihan Hg (Removal Efficiencies of Hg) (%)	Efisiensi Penyisihan Fe (Removal Efficiencies of Fe) (%)
A1.1	39.22	44.00
A1.2	60.78	50.15
A1.3	75.49	63.08
A2.1	100.00	69.23
A2.2	100.00	73.23
A2.3	100.00	80.00
A3.1	100.00	69.23
A3.2	100.00	80.92
A3.3	100.00	89.54
A4.1	100.00	52.31
A4.2	100.00	56.31
A4.3	100.00	65.54

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)



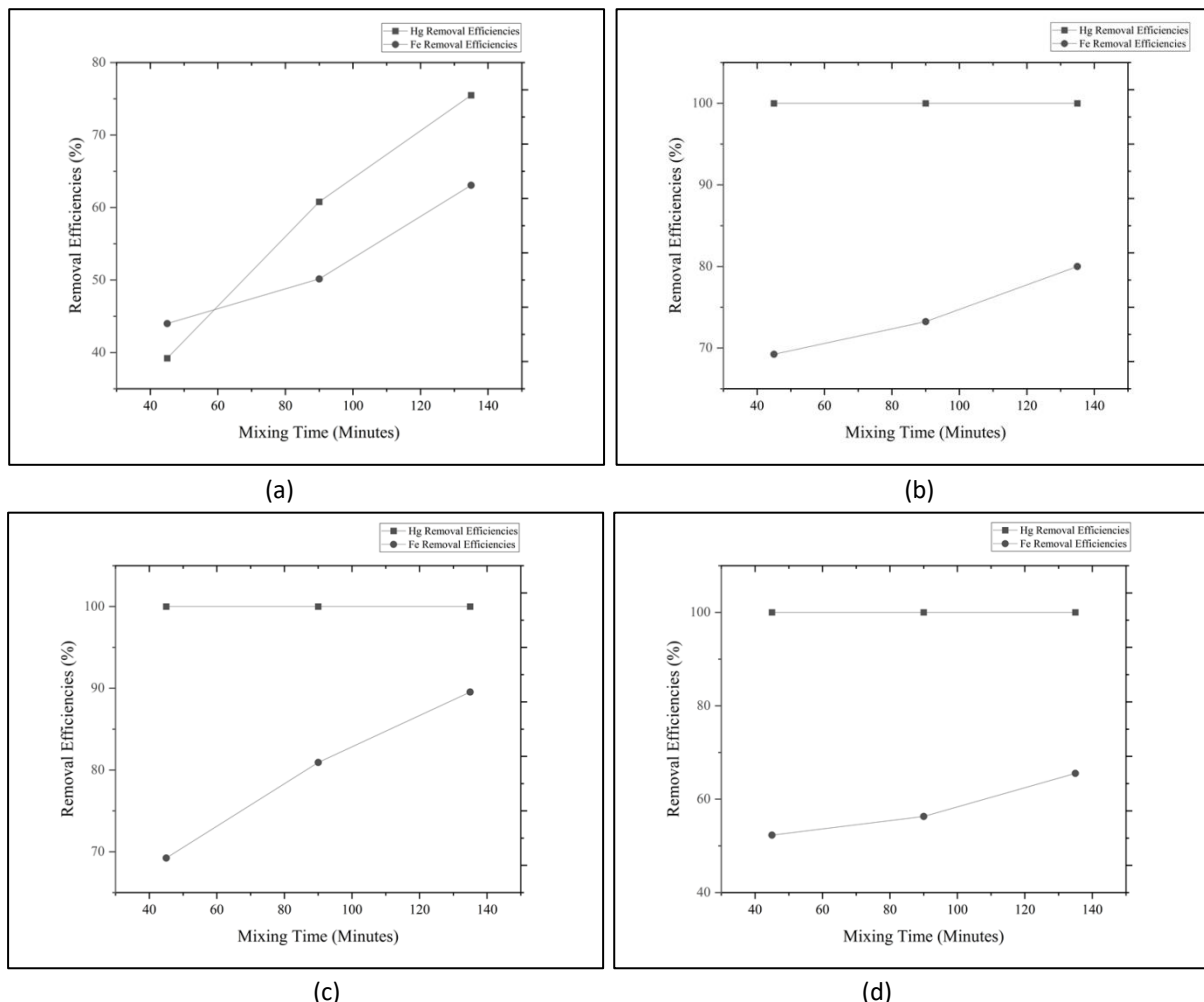
Gambar (Figure) 3. Efisiensi Penyisihan Vs Dosis adsorben : (a) 45 menit; (b) 90 menit; (c) 135 menit (Removal Efficiencies Vs Adsorbent Dosage : (a) 45 Minutes; (b) 90 Minutes ; (c) 135 Minutes)

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)

Pada penyisihan besi, proses penyisihan mencapai titik optimum pada jumlah dosis 10 gram dan akan turun pada dosis 15 gram sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa dosis 10 gram adalah dosis yang optimum pada penyisihan besi sehingga ada indikasi bahwa penambahan dosis adsorben akan menimbulkan efek jenuh dan membuat logam berat kembali lepas ke dalam air. Hal ini juga senada dengan penelitian (Katha *et al.*, 2021; Praipipat *et al.*, 2023) yang menunjukkan bahwa penyisihan logam berat akan semakin

besar dengan penambahan massa adsorben dan akan sampai pada titik puncak yang setelahnya diikuti dengan penurunan efisiensi penyisihan dengan penambahan dosis yang lebih banyak.

Hasil yang didapatkan tersebut juga konsisten terhadap setiap waktu pengadukan yang ditampilkan pada Gambar 3 tersebut. Waktu pengadukan sangat berpengaruh pada terhadap penyisihan logam berat karena dengan semakin lama waktu pengadukan akan semakin besar nilai efisiensi penyisihannya (Katha *et al.*, 2021; Rainiyati *et al.*, 2022).



Gambar (Figure) 4. Efisiensi Penyisihan Vs Waktu Pengadukan dari : (a) 1 Gram; (b) 5 Gram ; (c) 10 Gram; (d) 15 Gram. (Removal Efficiencies Vs Mixing Time of : (a) 1 Grams; (b) 5 Grams ; (c) 10 Grams; (d) 15 Grams)

Sumber (Source) : Analisis dari Data Penelitian (Research Analysis Data)

Hal ini dibuktikan pada penelitian ini bahwa kurva penyisihan terhadap waktu memiliki kecenderungan mengalami kenaikan dengan waktu penyisihan terbaik ialah pada waktu 135 menit. Penelitian dengan menggunakan bubuk cangkang telur ini mampu menghilangkan merkuri hingga 100% sehingga sangat efektif untuk digunakan. Terkait aplikasi di lapangan perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk desain peralatan penunjang dalam pemanfaatan bubuk cangkang telur sebagai bahan isian membran atau filter untuk pengolahan air sungai.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, cangkang telur terbukti mampu menyerap logam merkuri dan besi dari air sungai Batanghari. Efisiensi penyisihan tertinggi mencapai hingga 100%, yaitu pada penyisihan logam merkuri. Pada penyisihan logam besi, nilai efisiensi penyisihan tertinggi mencapai 89,74%. Dosis terbaik pada penyisihan merkuri ialah 5 gram dan dosis terbaik pada penyisihan besi ialah 10 gram. Waktu pengadukan terbaik ialah pada waktu 135 menit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas pendanaan penelitian oleh LPPM UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi melalui skema penelitian interdisipliner.

KONTRIBUSI

Penulis pertama, BB, berkontribusi pada desain penelitian dan pengambilan data primer. Penulis MSJ berkontribusi pada pengumpulan literatur untuk menunjang latar belakang pada penulisan manuskrip.

Penulis SFH berkontribusi pada pembahasan dan analisis data hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdolali, A., W. S. Guo, H. H. Ngo, S. S. Chen, N. C. Nguyen, and K. L. Tung. 2014. "Typical Lignocellulosic Wastes and By-Products for Biosorption Process in Water and Wastewater Treatment: A Critical Review." *Bioresource Technology* 160:57–66. doi: 10.1016/j.biortech.2013.12.037.
- Badariah, B., R. Rainiyati, and S. F. Heraningsih. 2021. "The Adsorption of Hg 2+ Ions from the Illegal Gold Mining Wastewater Using Fly Ash from Palm Shells ." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1098(4):042105. doi: 10.1088/1757-899x/1098/4/042105.
- Badariah, Badariah, Nisa Sukmawati, Sarah Fiebrina Heraningsih, Rainiyati Rainiyati, Ahmad Riduan, and Riski Dwimalida Putri. 2023. "Heavy Metal Contamination of Batanghari River, Jambi, Indonesia: Determination Based on Sediment Enrichment Factor Value." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(4):4761. doi: 10.15243/jdmlm.2023.104.4761.
- Ehsanpour, Saied, Majid Riahi Samani, and Davood Toghraie. 2023. "Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Eggshell/ Poly Pyrrole Composite." *Alexandria Engineering Journal* 64:581–89. doi: 10.1016/j.aej.2022.09.018.
- Gusain, Rashi, Neeraj Kumar, and Suprakas Sinha. 2020. "Recent Advances in Carbon Nanomaterial-Based Adsorbents for Water Purification." *Coordination Chemistry Reviews* 405:213111. doi: 10.1016/j.ccr.2019.213111.

- Harripersadth, Charlene, Paul Musonge, Yusuf Makarfi Isa, Moisés García Morales, and Ana Sayago. 2020. "The Application of Eggshells and Sugarcane Bagasse as Potential Biomaterials in the Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions." *South African Journal of Chemical Engineering* 34(August):142–50. doi: 10.1016/j.sajce.2020.08.002.
- Katha, Purbita Saha, Zia Ahmed, Rafiul Alam, Badhan Saha, Arup Acharjee, and M. Safiur Rahman. 2021. "Efficiency Analysis of Eggshell and Tea Waste as Low Cost Adsorbents for Cr Removal from Wastewater Sample." *South African Journal of Chemical Engineering* 37(June):186–95. doi: 10.1016/j.sajce.2021.06.001.
- Lakherwal, Dimple. 2014. "Adsorption of Heavy Metals: A Review." *International Journal of Environmental Research and Development* 4(1):41–48. doi: 10.1016/j.matpr.2019.07.462.
- Liu, Ziyang, Wei Yang, Wen Xu, and Yangxian Liu. 2018. "Removal of Elemental Mercury by Bio-Chars Derived from Seaweed Impregnated with Potassium Iodine." *Chemical Engineering Journal*. doi: 10.1016/j.cej.2018.01.148.
- Luptakova, Alena, Stefano Ubaldini, Eva MacIngova, Pietro Fornari, and Veronica Giuliano. 2012. "Application of Physical-Chemical and Biological-Chemical Methods for Heavy Metals Removal from Acid Mine Drainage." *Process Biochemistry* 47(11):1633–39. doi: 10.1016/j.procbio.2012.02.025.
- Malkoc, Emine, Yasar Nuhoglu, and Yüksel Abali. 2006. "Cr(VI) Adsorption by Waste Acorn of *Quercus Ithaburensis* in Fixed Beds: Prediction of Breakthrough Curves." *Chemical Engineering Journal* 119(1):61–68. doi: 10.1016/j.cej.2006.01.019.
- Martins, Amanda & Pereira, Milene & Jorgetto, Alexandre & Martines, Marco & Silva, Rafael & Saeki, Margarida & Castro, Gustavo. 2013. The reactive surface of Castor leaf [*Ricinus communis* L.] powder as a green adsorbent for the removal of heavy metals from natural river water. *Applied Surface Science*. 276. 10.1016/j.apsusc.2013.02.096.
- Oliveira, D. A., P. Benelli, and E. R. Amante. 2013. "A Literature Review on Adding Value to Solid Residues: Egg Shells." *Journal of Cleaner Production* 46:42–47. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.09.045.
- Praipipat, Pornsawai, Pimploy Ngamsurach, and Krissana Pratumkaew. 2023. "The Synthesis, Characterizations, and Lead Adsorption Studies of Chicken Eggshell Powder and Chicken Eggshell Powder-Doped Iron (III) Oxide-Hydroxide." *Arabian Journal of Chemistry* 16(5):104640. doi: 10.1016/j.arabjc.2023.104640.
- Rainiyati, Ahmad Riduan, Sarah Fiebrina Heraningsih, and Bunga Andari Mukhtasida. 2022. "Mercury Removal from Gold Mining Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash (POFA)." *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 9(3):3525–31. doi: 10.15243/jdmlm.2022.093.3525.
- Renu, Madhu Agarwal, Kailash Singh, S. Upadhyaya, and R. K. Dohare. 2017. "Removal of Heavy Metals from Wastewater Using Modified Agricultural Adsorbents." *Materials Today: Proceedings* 4(9):10534–38. doi: 10.1016/j.matpr.2017.06.415.
- Riduan, Ahmad, Rainiyati, Sarah Fiebrina Heraningsih, and Badariah. 2022. "Minimizing River Pollution by Batik Dye Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash (POFA) as an Environmentally Friendly, Low-Cost Adsorbent Alternative." *J. Degrade. Min. Land Manage*

- 10(1):3981–89. doi:
10.15243/jdmlm.2022.101.3981.
- Ronda, A., M. A. Martín-Lara, E. Dionisio, G. Blázquez, and M. Calero. 2013. "Effect of Lead in Biosorption of Copper by Almond Shell." *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 44(3):466–73. doi:
10.1016/j.jtice.2012.12.019.
- Simate, Geoffrey S., and Sehliselo Ndlovu. 2015. "The Removal of Heavy Metals in a Packed Bed Column Using Immobilized Cassava Peel Waste Biomass." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 21:635–43. doi:
- 10.1016/j.jiec.2014.03.031.
- Wiriani, Erna Rahayu Eko, Hutwan Syarifuddin, and Jalius. 2020. "Analisis Kualitas Air Sungai Batanghari - The Analisis of Batanghari River Water Quality Sustainable in Jambi City." *Khazanah Intelektual*. 219–41.
- Yanova, Shally, Kory Asi Mariana Siagian, and Rizki Gusanti. 2020. "Tingkat Cemaran Logam Berat Pada Air Sungai Batanghari Provinsi Jambi Berdasarkan Indeks C/P (Contamination/Pollution)." *Jurnal Daur Lingkungan* 3(2):62. doi:
10.33087/daurling.v3i2.56.

Halaman ini sengaja dikosongkan