

Analisis Efisiensi Penurunan Kadar Logam Berat Pb dan Cu Menggunakan Adsorben Cangkang Kerang Darah

Mutia Chantika Putri, Yayok Suryo Purnomo*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: yayoksp.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 14 Oktober 2024

Disetujui: 21 Oktober 2024

Abstract

Shipyards are often criticised for the liquid waste they produce, which has the potential to contaminate marine waters. This research aims to analyse the effectiveness of chitosan from blood clam shells as an adsorbent to reduce the levels of lead and copper in shipyard liquid waste. The research technique uses a batch system. The materials used include both commercial and non-commercial blood clam shell adsorbents. The non-commercial blood clam waste was collected from a fish auction site in Kalanganyar village, Sidoarjo. The concentrations of lead and copper in the wastewater samples were 2.04 and 1.16 mg/L, respectively. Variations in the adsorption stirring speed (90, 100, 110 and 120 rpm) and the amount of commercial and non-commercial blood clam shell adsorbent added to the wastewater samples (0.5; 1; 1.5; and 2 grams) were tested. Measurements were then performed using atomic absorption spectroscopy (AAS). At final concentrations of 0.150 mg/L and 0.144 mg/L, the research results show that the commercial adsorbent with a mass of 2.0 grams and a stirring speed of 110 rpm was able to absorb Pb and Cu metals at 92.65% and 87.58% respectively, while the non-commercial adsorbent with a mass of 2.0 grams and a stirring speed of 110 rpm was able to absorb Pb and Cu metals at 91.81% and 82.31% respectively.

Keywords: *adsorption, blood clam shell chitosan, Pb, Cu, AAS.*

Abstrak

Galangan kapal sering menghadapi kritik atas limbah cair yang mereka hasilkan, yang berpotensi mencemari perairan laut. Tujuan penelitian ini untuk menganalisis efektivitas kitosan cangkang kerang darah menjadi adsorben untuk menurunkan kadar timbal dan tembaga dari limbah cair galangan kapal. Teknik penelitian ini menggunakan sistem batch. Bahan yang digunakan yakni adsorben cangkang kerang darah komersil dan non-komersil. Limbah cangkang kerang darah non-komersil diperoleh di tempat pelelangan ikan di Desa Kalanganyar, Sidoarjo. Konsentrasi timbal dan tembaga dalam sampel air limbah uji masing-masing yakni 2,04 dan 1,16 mg/L. Variasi kecepatan pengadukan adsorpsi (90, 100, 110, dan 120 rpm) dan jumlah adsorben cangkang kerang darah komersial dan non-komersial yang ditambahkan ke dalam sampel air limbah (0,5; 1; 1,5; dan 2 gram). Kemudian, pengukuran dilakukan dengan spektroskop serapan atom (AAS). Pada konsentrasi akhir masing-masing 0,150 mg/L dan 0,144 mg/L, hasil penelitian terlihat bahwa adsorben komersial dengan massa 2,0 gram dan kecepatan pengadukan 110 rpm mampu menyerap logam Pb dan Cu yakni 92,65% dan 87,58% sedangkan adsorben non-komersial dengan massa 2,0 gram dan kecepatan pengadukan 110 rpm mampu menyerap logam Pb dan Cu yakni 91,81% dan 82,31%.

Kata Kunci: *adsorpsi, kitosan cangkang kerang darah, Pb, Cu, AAS*

1. Pendahuluan

Kontaminasi dan penurunan kualitas air di lautan secara langsung diakibatkan oleh menjamurnya pabrik-pabrik di sepanjang pantai. Pembuatan kapal dan perbaikan kapal adalah salah satu industri galangan kapal di pinggiran pantai yang seringkali melepaskan logam berat ke lingkungan melalui pembuangan limbah. Proses pengecatan kapal, pengelasan, pemotongan rangka, dan transportasi bahan baku semuanya berkontribusi pada industri tersebut. Suatu organisme dapat mengalami kematian di dalam air jika logam berat terakumulasi dalam jangka waktu yang lama atau jika konsentrasi logam ini lebih tinggi di luar batas toleransi organisme. Efek toksik pada kehidupan akuatik disebabkan oleh logam berat yang tadinya diperlukan untuk kegiatan metabolisme ketika berada dalam jumlah yang berlebihan di dalam air. Logam berat tidak hanya menumpuk karena gravitasi, biokonsentrasi dan bioakumulasi oleh biota air, tetapi juga bersifat racun bagi biota laut [1].

Salah satu cara yang umum dilakukan untuk mengolah air limbah adalah dengan metode adsorpsi. Proses suatu bahan diserap ke permukaan lain dikenal sebagai adsorpsi. Dengan menggunakan bahan-bahan yang umumnya tersedia, prosedur pengolahan adsorpsi menjadi lebih sederhana dan hemat biaya. Proses adsorpsi dapat mengurangi konsentrasi logam berat dalam air limbah dengan menggunakan berbagai adsorben yang berbeda, termasuk adsorben alami yang dihasilkan dari bahan seperti cangkang kerang darah. Memanfaatkan cangkang kerang darah sebagai adsorben adalah pilihan yang layak untuk meminimalkan timbulan sampah organik dalam jumlah besar. Jika limbah cangkang kerang darah tidak dikelola, hal itu bisa mengganggu keseimbangan lingkungan [2]. Cangkang kerang darah memiliki kandungan senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) [3]. Pori-pori yang sangat lebar dari komponen CaCO_3 memungkinkannya untuk menyerap elemen lain secara fisik. Komposisi kimiawi CaCO_3 antara lain kitin, kalsium karbonat, kalsium hidroksiapatit, dan kalsium fosfat. Sifat pengkelat, pengemulsi, dan adsorben dari senyawa kimia kitin yang ada dalam cangkang membuatnya sangat berguna [4].

Kitosan memiliki banyak manfaat di berbagai industri, seperti industri farmasi dan bioteknologi. Kitosan berfungsi untuk mengikat ion logam berat yang ada dalam air permukaan dan limbah cair industri. Kitosan adalah polimer positif. Kitosan yang terbentuk ketika kitin mengalami deasetilasi, memiliki rumus molekul $[\beta\text{-}(1\text{-}4)\text{-}2\text{-amin-}2\text{-deoksi-Dglukosa}]_n$ [5]. Adsorpsi kation dari komponen organik (seperti protein dan lipid) dan ion logam berat difasilitasi oleh kemampuan kitosan untuk menahan gugus hidroksil dan amino di sepanjang rantai polimernya. Atom nitrogen dalam gugus amino dan atom oksigen dalam gugus hidroksil membentuk kelat koordinasi ketika kation logam berikatan dengan kitosan [6]. Kitosan dapat mengikat ion Ni^{2+} [7], mengadsorpsi ion Hg^+ [8], mengadsorpsi ion Pb^+ [9], mengadsorpsi ion Cr^{3+} dan Cu^{2+} [5].

Penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa cangkang kerang darah yang mengandung banyak kalsium karbonat, dapat secara efektif menyerap kontaminan di permukaan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis seberapa efektif kitosan dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) digunakan sebagai adsorben untuk mengurangi kadar logam Pb dan Cu dalam air limbah galangan kapal. Penelitian ini membandingkan adsorben cangkang kerang darah komersial dan non-komersial dengan variasi dalam jumlah adsorben dan kecepatan pengadukan.

2. Metode Penelitian

Material

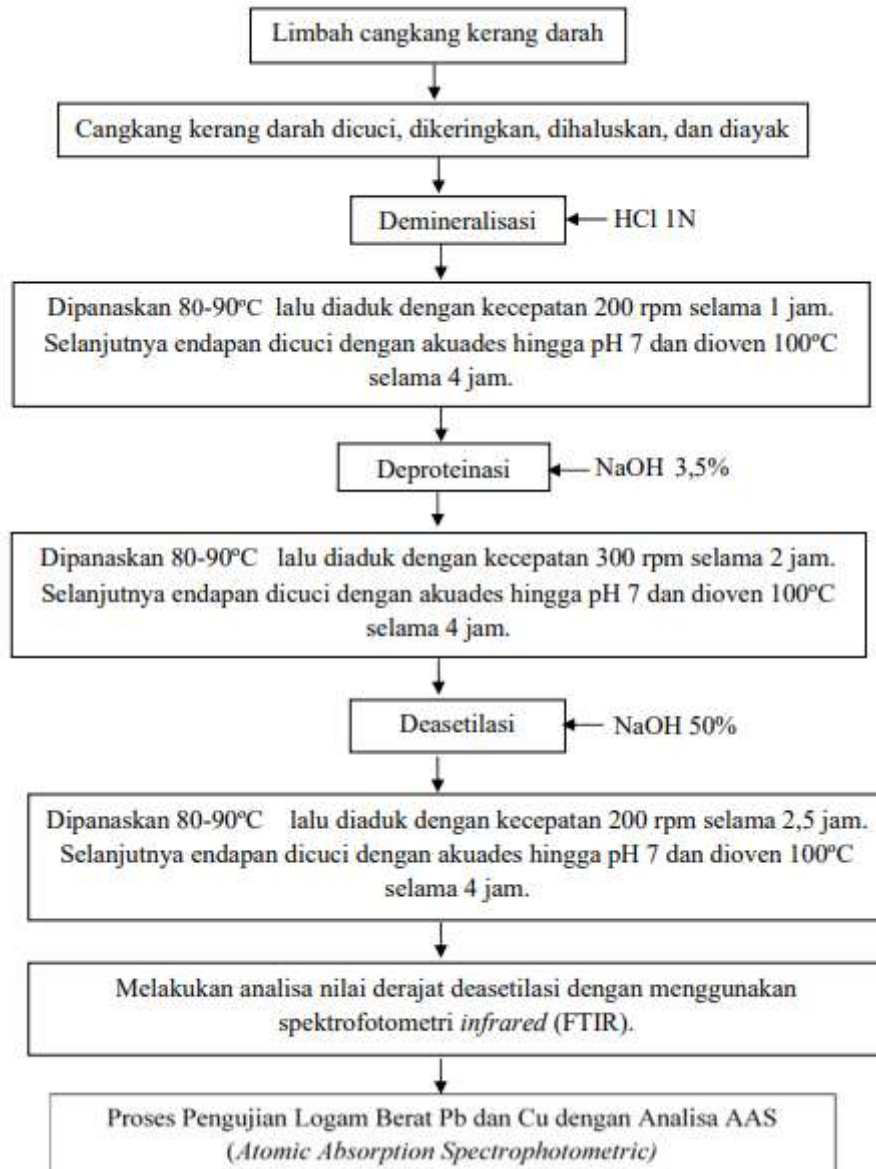
Adsorben cangkang kerang darah (*Anadara granosa*), larutan NaOH 3,5% dan 50%, HCl 1N, dan air suling merupakan komponen yang digunakan dalam penelitian ini. Air limbah galangan kapal memiliki konsentrasi awal Pb sebesar 2,04 mg/L dan Cu sebesar 1,16 mg/L. Gelas kaca, gelas porselen, pipet volume, blender, saringan 80 mesh, *hot plate*, pH meter, neraca analitik, oven, *furnace*, kertas saring Whatman, spektroskopi inframerah transformasi Fourier, dan spektroskopi absorpsi atom merupakan peralatan laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini.

Metode

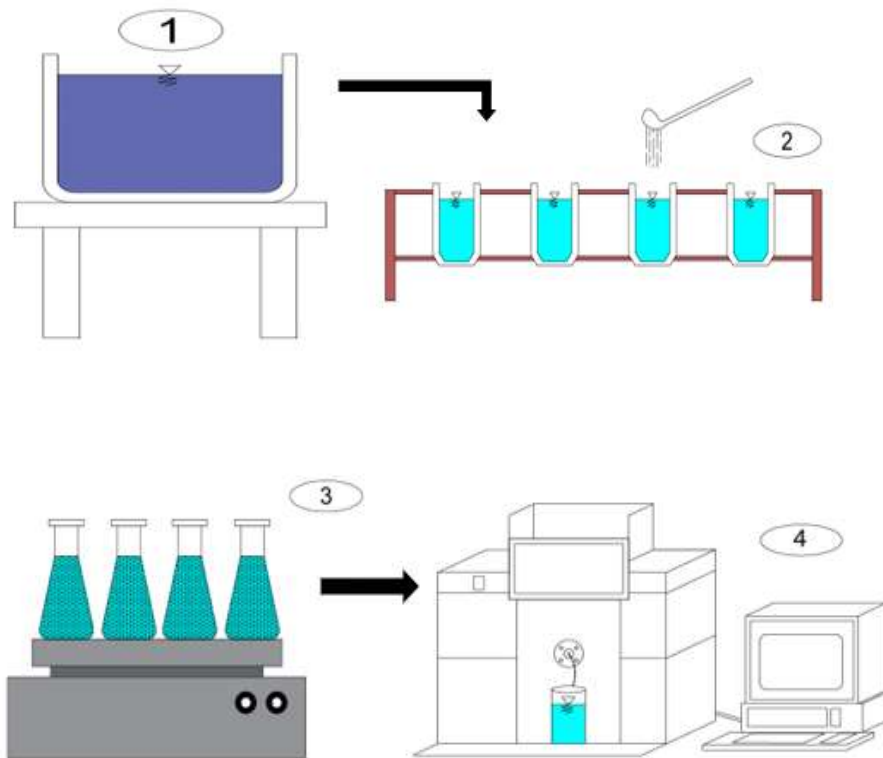
Kerangka kerja penelitian ini memberikan gambaran umum tentang langkah awal yang apat dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian yang tertera pada **Gambar 1**. Tujuan penelitian ini untuk menguji efektivitas adsorben kitosan yang berasal dari kerang darah (*Anadara granosa*) dalam menghilangkan kadar timbal dan tembaga dari air limbah yang dihasilkan oleh galangan kapal. Membersihkan dan mengeringkan cangkang kerang darah di bawah terik matahari merupakan proses pertama dalam membuat adsorben cangkang kerang darah. Cangkang kerang darah selanjutnya ditumbuk dengan palu hingga mencapai ukuran sekitar 1 hingga 2 cm, kemudian dihaluskan dengan blender dan diayak melalui saringan 80 mesh. Setelah cangkang kerang darah digiling menjadi bubuk, proses aktivasi dapat dimulai. Gunakan *furnace* yang diatur dengan suhu 500°C dalam kurun waktu empat jam untuk mengeringkan bubuk cangkang kerang darah. Beralih ke tahap utama produksi kitin, yaitu sebagai berikut: (A) Demineralisasi, dibuat dengan menggunakan larutan HCl 1 N dan bubuk cangkang kerang darah yang telah diaktivasi dengan perbandingan 1:15 (w/v). Kisaran suhu 80 hingga 90°C digunakan untuk mengaduk campuran selama satu jam dengan kecepatan 200 rpm.

Selanjutnya endapan dapat dibilas dengan air suling sehingga pH endapan mencapai 7, lalu endapan dapat dikeringkan dengan oven selama empat jam pada suhu 100°C . (B) Deproteinasi, dibuat dengan melarutkan bubuk cangkang kerang darah dengan 3,5% NaOH pada rasio 1:10. Selanjutnya, dilanjutkan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan kecepatan 300 rpm dengan suhu $80\text{-}90^\circ\text{C}$. Setelah dingin, endapan dibilas dengan air suling hingga pH-nya mencapai 7 lalu mengeringkan endapan menggunakan oven selama 4 jam suhu 100°C sehingga didapatkan hasil kitin. (C) Deasetilasi dibuat dengan

melarutkan kitin yang diperoleh pada proses sebelumnya sehingga menjadi kitosan yakni dengan larutan 50% NaOH pada rasio 1:15. Selanjutnya, dilakukan pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 2,5 jam dengan kecepatan 200 rpm dengan suhu 80-90°C. Setelah dingin, endapan dibilas dengan air suling hingga pH-nya mencapai 7. Selanjutnya endapan dikeringkan ke dalam oven suhu 100°C selama 4 jam. Setelah itu, dapat dilakukan pengukuran tingkat deasetilasi menggunakan spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR). Setelah itu, prosedur untuk menentukan konsentrasi timbal dan tembaga menggunakan spektroskopi serapan atom (AAS).



Gambar 1. Kerangka Penelitian



Gambar 2. Proses Pengujian Adsorpsi

Keterangan :

- 1 : Bak pengambilan sampel air
- 2 : Proses pengujian penambahan massa adsorben (0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; dan 2 gram)
- 3 : Proses pengadukan dengan shaker
- 4 : Proses analisis dengan Spektrofotometri serapan atom

Adapun perhitungan kapasitas adsorpsi kitosan [10] :

$$q_e = \frac{(C_o - C_e) V}{m}$$

Keterangan :

- q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)
- C_o = Kadar awal logam (mg/L)
- C_e = Kadar akhir logam (mg/L)
- V = Volume sampel (L)
- m = Massa adsorben (g)

Daya adsorpsi adsorben terhadap logam berat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [10]:

$$\text{Daya Adsorpsi} = \frac{(\text{Kadar awal} - \text{Kadar akhir})}{(\text{Kadar awal})} \times 100\%$$

3. Hasil dan Pembahasan

Penyisihan Logam Berat Pb dan Cu

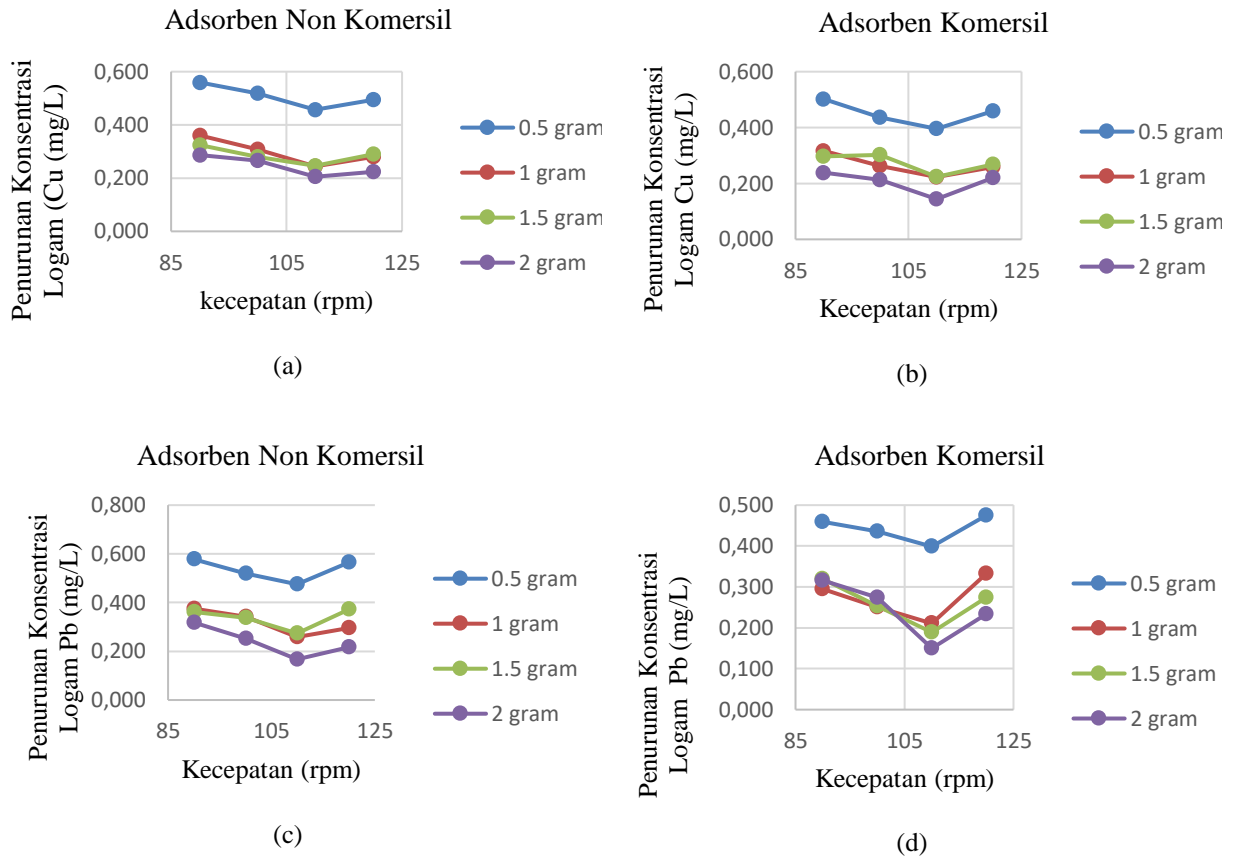
Dalam penelitian ini, konsentrasi adsorben yang digunakan mulai dari 0,5 gram hingga 2 gram. Pada percobaan ini, pengadukan dilakukan dengan menggunakan shaker. Pada percobaan ini, kecepatan pengadukan divariasikan antara 90 hingga 120 rpm. Konsentrasi awal timbal (Pb) dan tembaga (Cu) masing-masing adalah 2,04 dan 1,16 mg/L. Setelah itu, spektroskopi serapan atom (AAS) digunakan untuk mendeteksi adsorpsi logam berat.

Tabel 1. Hasil Persentase Penyisihan Logam Pb dan Cu

Ce (mg/L)	Parameter	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Massa Adsorben (gram)			
			0,5	1,0	1,5	2,0
Adsorben Non Komersil						
Ce	Pb	90 rpm	0,578	0,375	0,363	0,318
%			71,68%	81,61%	82,23%	84,41%
Ce	Cu	90 rpm	0,559	0,360	0,324	0,287
%			51,78%	68,94%	72,05%	75,30%
Ce	Pb	100 rpm	0,518	0,343	0,337	0,252
%			74,59%	83,21%	83,47%	87,67%
Ce	Cu	100 rpm	0,559	0,307	0,281	0,266
%			55,26%	73,51%	75,80%	77,05%
Ce	Pb	110 rpm	0,475	0,259	0,274	0,167
%			76,71%	87,32%	86,59%	91,81%
Ce	Cu	110 rpm	0,559	0,244	0,246	0,205
%			60,60%	78,95%	78,76%	82,31%
Ce	Pb	120 rpm	0,564	0,297	0,372	0,217
%			72,34%	85,46%	81,76%	89,34%
Ce	Cu	120 rpm	0,559	0,280	0,290	0,224
%			57,32%	75,89%	74,98%	80,67%
Adsorben Komersil						
Ce	Pb	90 rpm	0,459	0,295	0,319	0,316
%			77,52%	85,53%	84,34%	84,51%
Ce	Cu	90 rpm	0,502	0,317	0,296	0,239
%			56,71%	72,70%	74,45%	79,42%
Ce	Pb	100 rpm	0,436	0,251	0,254	0,275
%			78,64%	87,71%	87,57%	86,54%
Ce	Cu	100 rpm	0,436	0,263	0,302	0,213
%			62,39%	77,32%	73,95%	81,65%
Ce	Pb	110 rpm	0,399	0,211	0,189	0,150
%			80,46%	89,67%	90,74%	92,65%
Ce	Cu	110 rpm	0,396	0,223	0,224	0,144
%			65,90%	80,77%	80,72%	87,58%
Ce	Pb	120 rpm	0,475	0,332	0,274	0,233
%			76,72%	83,71%	86,56%	88,56%
Ce	Cu	120 rpm	0,459	0,259	0,269	0,220
%			60,39%	77,71%	76,80%	81,01%

Berdasarkan **Tabel 1** tersebut diperoleh dari persentase perhitungan hasil sampel setelah dilakukan proses adsorpsi dibandingkan dengan sebelum dilakukan proses adsorpsi terhadap penurunan logam berat Pb dan Cu yang menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan memiliki pengaruh terhadap proses adsorpsi. Air limbah yang mengandung berbagai bahan kimia dengan berbagai ukuran dapat dipercepat laju adsorpsinya dengan pengadukan, karena tindakan ini menghomogenkan campuran. Grafik **Gambar 3** terlihat bahwa kadar logam Pb dan Cu tidak terserap secara optimal pada kecepatan 90 rpm. Hal ini disebabkan karena proses adsorpsi berjalan lambat pada kecepatan tersebut, sehingga menyebabkan adsorben tidak terdistribusi secara merata di dalam larutan dan menyulitkan adsorben untuk berikatan dengan adsorbat [11]. Kondisi yang paling terbaik adalah variasi kecepatan 110 rpm, massa 2,0 gram yaitu konsentrasi akhir 0,150 mg/L (Pb) dan 0,144 mg/L (Cu), dengan persentase adsorben yang terjerat masing-masing 92,65% dan 87,58%. Namun, ketika kecepatan pengadukan 120 rpm dan massa yang sama, proporsi adsorbat yang terjerat pada logam Pb dan Cu masing-masing menurun menjadi 88,56% dan 81,01%.

Karena hal ini berhubungan nilai kapasitas penyerapan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan dan turun setelah sistem mencapai kesetimbangan [12]. Saat mengaduk proses adsorpsi dengan kecepatan tinggi, bahkan adsorbat yang terikat lemah pun dapat dibebaskan dari adsorben dengan bertabrakan dengan molekul adsorbat yang berlebih di dalam larutan, karena energi kinetik molekul adsorbat yang terikat [13]. Hal tersebut, membuat kejenuhan yang cepat dari adsorben menyebabkannya kehilangan sebagian kemampuan menyerapnya [14].



Gambar 3. Hubungan Kecepatan Pengadukan dan Massa Adsorben terhadap (a) Konsentrasi Logam Cu - Adsorben Non Komersil; (b) Konsentrasi Logam Cu - Adsorben Komersil; (c) Konsentrasi Logam Pb - Adsorben Non Komersil; (d) Konsentrasi Logam Pb Adsorben Komersil

Selain kecepatan pengadukan, adsorpsi juga dipengaruhi oleh massa adsorben. Kondisi penyerapan optimum adsorben cangkang kerang darah komersial terdapat pada variasi pengadukan 110 rpm dan massa 2,0 gram adsorben dengan konsentrasi akhir sebesar 0,167 mg/L timbal (Pb) dan 0,150 mg/L ion tembaga (Cu). Pada variasi massa yang sama, konsentrasi akhir untuk cangkang kerang darah non-komersial masing-masing adalah 0,144 mg/L timbal (Pb) dan 0,205 mg/L ion tembaga (Cu). Sedangkan penurunan kadar logam Pb menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 1,5 gram berturut-turut sebesar 0,274 mg/L dan 0,189 mg/L, untuk penurunan kadar logam Cu menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 1,5 gram berturut-turut sebesar 0,246 mg/L dan 0,224 mg/L. Sedangkan penurunan kadar logam Pb menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 1,0 gram berturut-turut sebesar 0,259 mg/L dan 0,211 mg/L, untuk penurunan kadar logam Cu menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 1,0 gram berturut-turut sebesar 0,244 mg/L dan 0,223 mg/L. Sedangkan penurunan kadar logam Pb menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 0,5 gram berturut-turut sebesar 0,475 mg/L dan 0,399 mg/L, untuk penurunan kadar logam Cu menggunakan cangkang kerang darah non-komersial dan komersil 1,5 gram berturut-turut sebesar 0,457 mg/L dan 0,396 mg/L. Pada kecepatan pengadukan 120 rpm, terjadi penurunan kapasitas penyerapan atau proporsi adsorbat yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena peningkatan massa adsorben akan menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsinya, karena luas permukaan aktif adsorben meningkat. Adanya sisi aktif adsorben yang belum seluruhnya terikat dengan adsorbat mengakibatkan kapasitas adsorpsi menjadi menurun [15].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa 2,0 gram adsorben merupakan titik optimum untuk penelitian ini. Temuan dalam penelitian ini konsisten dengan hipotesis yang menyatakan bahwa massa adsorben berkorelasi langsung dengan konsentrasi ion logam yang dapat diserap. Efisiensi penyerapan dan jumlah situs untuk mengikat ion logam meningkat ketika massa dan luas permukaan adsorben cangkang kerang darah bertambah secara proporsional satu sama lain [16].

4. Kesimpulan

Cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) telah terbukti sebagai bahan yang efektif dalam menurunkan kadar logam berat seperti timbal (Pb) dan tembaga (Cu) dalam lingkungan. Penelitian menunjukkan bahwa efisiensi optimal dalam penurunan kadar Pb dan Cu dapat mencapai 92,65% dan 87,58% ketika menggunakan adsorben komersial dengan massa 2 gram dan kecepatan pengadukan 110 rpm. Data ini menunjukkan potensi cangkang kerang darah sebagai alternatif yang ramah lingkungan dalam pengolahan limbah berbahaya. Selain itu, pada penggunaan adsorben non komersial, efisiensi yang dicapai juga cukup signifikan, yakni 91,81% untuk Pb dan 82,31% untuk Cu, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan dengan adsorben komersial.

5. Referensi

- [1] M. B. Muslim, "Analisis Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Dan Tiram (*Crassostrea Sp*) Di Pantai Mangara Bombang," *Skripsi*, 2018.
- [2] Andika, Restu, and Hendramawat Aski Safarizki. "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara (*Anadara Granosa*) Sebagai Bahan Tambah dan Komplemen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal." *Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)* 1.1 (2019): 1-6.
- [3] Auliah, Intan Noer, Khambali Khambali, and Ernita Sari. "Efektivitas Penurunan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Filtrasi Serbuk Cangkang Kerang Variasi Diameter Serbuk." *Jurnal Penelitian Kesehatan "Suara Forikes"(Journal of Health Research " Forikes Voice")* 10.1 (2019): 25-33.
- [4] Akhmad Anugerah S and Iriany, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Bulu Sebagai Adsorben Untuk Menjerap Logam Kadmium (Ii) Dan Timbal (Ii)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 3, pp. 40–45, 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i3.1480.
- [5] A. T. Apsari and D. Fitriasti, "Studi Kinetika Penjerapan Ion Khromium Dan Ion," pp. 1–65, 2010.
- [6] S.-S. S. Sung-Tao Lee, Fwu-Long Mi, Yu-Ju Shen, "Equilibrium and Kinetic Studies of Copper(II) Ion Uptake by Chitosan Tripolyphosphate Chelating Resin," *Polymer (Guildf.)*, vol. 42 (5), no. 1879–1892, 2001, doi: 10.1016/S0032-3861(00)00402-X.
- [7] Erdawati, *Kapasitas Adsorpsi Kitosan dan Nanomagnetik Kitosan terhadap Ion Ni(II)*. Universitas Negeri Jakarta., 2008.
- [8] L. H. Rahayu and S. Purnavita, "Optimasi Pembuatan Kitosan Dari Kitin Limbah Cangkang Rajungan (*Portunus pelagicus*) Untuk Adsorben Ion Logam Merkuri," *Reaktor*, vol. 11, no. 1, pp. 45–49, 2017, doi: 10.14710/reaktor.11.1.45-49.
- [9] I. Sanjaya, D. Leny, Y. Staf, and P. Jurusan, "Adsorpsi Pb (II) oleh Kitosan Hasil Isolasi Kitin Cangkang Kepiting Bakau (*Scylla sp*) (Adsorption of Pb (II) by Chitosan Resulted from Bakau Crab's Shell (*Scylla sp*) Chitin Isolation)," *J. Ilmu Dasar*, vol. 8, no. 1, pp. 30–36, 2007.
- [10] D. D. Iriana, S. Sedjati, and B. Yulianto, "Kemampuan Adsorpsi Kitosan Dari Cangkang Udang Terhadap Logam Timbal," *J. Mar. Res.*, vol. 7, no. 4, 2018.
- [11] D. Ramadhani, *Pengaruh Berbagai Dosis Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan dan Hasil Serai Wangi (*Cymbopogon nardus L.*)*. Universitas Andalas, 2021.
- [12] S. Charazińska, E. B. Adamiak, and P. Lochyński, "Recent trends in Ni(II) sorption from aqueous solutions using natural materials," *Rev. Environ. Sci. Bio-Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 105–138, 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11157-021-09599-5>.
- [13] V. Evilyani, "Biosorpsi Zat Warna Rhodamin B Oleh Biosorben Biji Lengkeng (*Euphoria longan lour*) dengan Metode Batch.," Universitas Negeri Padang., 2021.
- [14] R. Afrianita and Y. Dewilda, "Potensi Fly Ash Sebagai Adsorben Dalam Meyisihkan Logam Berat Cromium (Cr) Pada Limbah Cair Industri," *J. Dampak*, vol. 11, no. 1, p. 67, 2014, doi: 10.25077/dampak.11.1.67-73.2014.
- [15] A. S. reyra, S. Daud, and S. R. Yenti, "Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas terhadap Efisiensi Penyisihan Fe pada Air Gambut," *J. Online Mhs. Fak. Tek. Univ. Riau*, vol. 4, no. 2, pp. 1–9, 2017.
- [16] Nurhasni., Hendrawati., and N. Saniyyah, "Penyerapan Ion Logam Cd Dan Cr Dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi," *J. Kim. Val.*, vol. 1, no. 6, 2010, doi: <https://doi.org/10.15408/jkv.v1i6.244>.