

PEMANFAATAN BIOMASSA SERBUK GERGAJI SEBAGAI PENYERAP LOGAM TIMBAL

The Utilization of Sawdust Biomass as Adsorbent for Lead Metal

***Dey Intan, Irwan Said, dan Paulus Hengky Abram**

Pendidikan Kimia/FKIP - Universitas Tadulako, Palu - Indonesia 94118

Received 05 September 2016, Revised 06 Oktober 2016, Accepted 07 November 2016

Abstract

Lead (Pb) is one kind of heavy metal that has high level of toxicity. One way to reduce the level of Pb is by adsorption using cellulose and lignin of sawdust. The aim of this study is to determine the optimum pH, the optimum weight and to determine the adsorption capacity of sawdust when it absorbs Pb in solution of Pb(NO₃)₂. The adsorption process is carried out by using the various pH of 3, 4, 5, 6, 7, and 8 with a weight of 100 mg, and then the various weight of 100, 200, 300, 400, and 500 mg with the pH optimum. The analysis of Pb content in the solution was conducted by Spectro-direct. The analysis result shows the determination of pH occurred at pH 7, Pb absorbed is 14.89 mg/g, and the percentage of Pb absorbed was 96.97%. For the determination of 400 mg of the adsorbent weight of Pb absorbed was 3.83 mg/g, the adsorption percentage of Pb was 99.98%, and the optimum adsorption for optimum weight was 0.15 mg Pb/mg sawdust.

Keywords: Lead metal, Adsorption, Sawdust, Biomass

Pendahuluan

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang dapat memberikan efek toksik yang berbahaya bagi kehidupan manusia dan lingkungan sekitarnya. Sumber utama timbal yang masuk ke lingkungan berasal dari limbah industri seperti industri baterai, industri bahan bakar, pengecoran maupun pemurnian dan industri kimia lainnya (Sudarmaji & Corie, 2006). Kadar maksimum timbal pada perairan yang dianjurkan WHO adalah kurang dari 0.01 (Ensafi & Shiraz, 2008). Batas maksimum pencemaran logam timbal pada ikan yaitu 0,3 mg/kg. Air Teluk Palu telah tercemar logam timbal. Pencemaran timbal tertinggi terjadi di lokasi pantai Talise sebesar 0,08 ppm. Hal ini menunjukkan air laut pantai Talise telah mengalami pencemaran oleh logam timbal yang telah melewati batas maksimum yang telah ditetapkan oleh WHO. Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang sangat efisien untuk menurunkan kandungan logam berat. Proses penyerapan ion logam oleh organisme hidup terjadi melalui proses

metabolisme dalam proses penyerapan unsur hara untuk tanaman. Sementara penyerapan ion logam oleh organisme mati dipercaya terjadi melalui proses adsorpsi yang melibatkan gugus fungsi yang berhubungan dengan protein, polisakarida, karboksilat, hidroksil, gugus sulfhidril dan biopolimer lain yang terdapat pada sel atau dinding sel (Puspitasari, 2009).

Telah dikembangkan beberapa jenis adsorben untuk mengadsorpsi logam berat, salah satunya adalah dengan memanfaatkan selulosa dan lignin. Selulosa dan lignin memiliki gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut adalah gugus karboksil dan hidroksil (Herwanto & Santoso, 2006). Gugus-gugus polar ini diduga dapat berinteraksi dengan logam berat. Menurut Misran (2009) selulosa banyak terkandung di dalam kulit cokelat dan kulit kopi sedangkan menurut Yang, dkk. (2005) lignin banyak terkandung di dalam kelapa sawit dan bayam duri. Selain itu, terdapat pada serbuk gergaji.

Limbah penggergajian yang dihasilkan di Indonesia sebanyak 6 juta ton pertahun (Hengky & Dewi, 2009). Limbah tersebut dapat menimbulkan masalah karena pada

*Korespondensi:

Dey Intan
Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan
dan Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako
email: deyintan@yahoo.co.id
© 2016 - Universitas Tadulako

kenyataannya masih ada yang ditumpuk, dibuang ke aliran sungai, sehingga akan terjadi pencemaran air, sehingga perlu dilakukan penanganan maksimal terhadap limbah serbuk gergajian ini agar tidak merusak lingkungan (Purba, 2014).

Sementara itu disekitar kita banyak terdapat limbah industri yang dapat digunakan sebagai bahan baku adsorben yang keberadaanya sangat melimpah. Kayu jenis meranti merah (*Shorea parvifolia Dyer*), mengandung selulosa sebanyak 49,6-56,1% dan lignin sebanyak 29,39% (Nursiah dkk., 2012). Adanya gugus-gugus ini sehingga serbuk kayu meranti mempunyai reaktivitas kimia yang tinggi dan menyebabkan sifat polielektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai adsorben terhadap logam berat terhadap air yang tercemar. Penelitian ini dilakukan untuk pengujian terhadap limbah serbuk gergaji kayu meranti sebagai adsorben. Sehingga diharapkan serbuk kayu gergaji meranti tersebut mampu mengadsorpsi logam berat.

Metode

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain: peralatan gelas, shaker, blender, pH meter, oven, ayakan 70 mesh, kertas aluminium foil, botol semprot, dan instrumen Spektro-direct lovibond. Bahan yang digunakan meliputi: serbuk gergaji kayu meranti, padatan timbal nitrat ($Pb(NO_3)_2$) (Merck), buffer asetat, asam nitrat (HNO_3) pekat p.a 65% (Merck), kertas saring Whatman 41, dan aquades (H_2O).

Penyiapan adsorben

Serbuk gergaji kayu meranti dihaluskan dengan menggunakan blender, lalu diayak dengan ukuran 70 mesh. Disimpan didalam wadah kedap udara yang ditutup rapat.

Aktivasi adsorben

Disiapkan larutan HNO_3 dengan variasi konsentrasi 1 M sebanyak 500 mL dalam labu ukur. Larutan tersebut ditambahkan 50 gram serbuk gergaji. Campuran dikocok menggunakan shaker selama 30 menit kemudian disaring. Residu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam, kemudian suhu dinaikkan menjadi 105°C lalu didinginkan. Selanjutnya sampel dicuci dengan aquades hingga netral, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam. Sampel yang dihasilkan disebut sebagai

adsorben teraktivasi asam nitrat 1 M (Iin dkk., 2012).

Pembuatan larutan sampel Pb

Diambil 0,08 gram $Pb(NO_3)_2$ dan dimasukkan kedalam gelas kimia. Kemudian dilarutkan dengan menambahkan aquades sebanyak 5 mL, larutan Pb dimasukkan kedalam labu ukur 500 mL dan ditambahkan aquades sampai tanda batas. Setelah itu larutan Pb diencerkan menjadi 60 ppm.

Penentuan pH optimum

Penentuan pH optimum dilakukan dengan menggunakan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Sebanyak 0,1 gram dengan ukuran partikel 70 mesh dimasukkan ke dalam 6 buah erlenmeyer yang berbeda. Kemudian masing-masing Erlenmeyer tersebut ditambahkan 25 mL larutan Pb 60 ppm dan ditambahkan larutan buffer yang telah dibuat dengan pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 ke dalam labu Erlenmeyer. Labu Erlenmeyer ditutup dengan kertas aluminium foil, diikat dengan karet dan selanjutnya dikocok menggunakan shaker selama 120 menit, kemudian mendiamkannya selama 24 jam, lalu filtrat dan residu dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi larutan diukur dengan menggunakan instrumen Spektro-direct.

Penentuan berat optimum

Penentuan berat optimum dilakukan dengan menggunakan variasi berat 100, 200, 300, 400, dan 500 mg ukuran partikel 70 mesh dimasukkan ke dalam 6 buah erlenmeyer yang berbeda. Kemudian masing-masing Erlenmeyer tersebut ditambahkan 25 mL larutan Pb 60 ppm dan ditambahkan larutan buffer optimum. Labu Erlenmeyer ditutup dengan kertas aluminium foil, diikat dengan karet dan selanjutnya dikocok menggunakan shaker selama 120 menit, kemudian mendiamkannya selama 24 jam, lalu filtrat dan residu dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whatman 41. Konsentrasi larutan diukur dengan menggunakan instrumen Spektro-direct.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi pencemaran lingkungan dengan memanfaatkan serbuk gergaji kayu meranti yang selama ini hanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar tungku dan

pupuk kompos alami. Pemanfaatan serbuk gergaji masih perlu dikembangkan salah satunya sebagai pengadsorpsi logam berat yang ada di lingkungan.

Penyiapan Adsorben

Proses pemanfaatan serbuk gergaji sebagai pengadsorpsi logam timbal yaitu serbuk gergaji dihaluskan menggunakan blender lalu diayak dengan ayakan ukuran 70 mesh hingga diperoleh berat serbuk gergaji 35,5 gram. Serbuk gergaji dihaluskan agar ukuran partikel adsorben memiliki luas permukaan yang besar. Kemudian hasil ayakan tersebut disimpan didalam wadah kedap udara yang ditutup rapat. Sesuai dengan pernyataan Nurhasni dkk., (2012) menyatakan bahwa, semakin besar luas permukaan adsorben semakin besar pula kapasitas suatu adsorben dalam mengadsorpsi suatu adsorben.

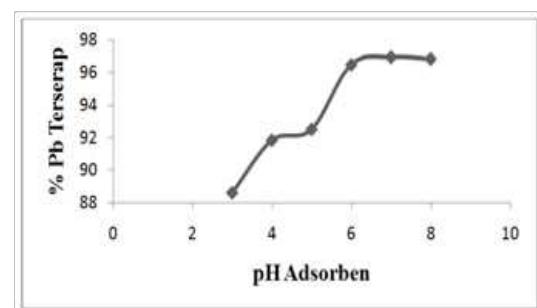
Aktivasi Adsorben

Pengaktifan serbuk gergaji kayu meranti. Adsorben serbuk gergaji diaktivasi dengan menggunakan asam nitrat (HNO_3) 1 M, kemudian dikocok menggunakan sheker selama 30 menit lalu disaring menggunakan kertas saring. Aktivasi ini bertujuan untuk mendekomposisikan garam-garam mineral yang terdapat pada sampel seperti kalsium yang berikatan dengan adsorben. Berkurangnya garam-garam mineral tersebut mengindikasikan terbentuknya gugus fungsi COOH dan $-\text{OH}$ pada adsorben sehingga nantinya akan lebih banyak ion logam Pb yang akan diadsorpsi oleh adsorben melalui pertukaran ion maupun pembentukan kompleks (Iin, dkk., 2012). Selanjutnya adsorben dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 50 °C selama 24 jam. Pemanasan 50 °C dengan lama pemanasan 24 jam bertujuan untuk meningkatkan porositas dinding sel adsorben sehingga luas permukaan adsorpsi semakin besar. Luas permukaan yang besar diharapkan akan mengakibatkan besarnya kapasitas adsorpsi logam timbal (Pb). Setelah itu suhu dinaikkan menjadi 105 °C selama 30 menit, tujuan perlakuan ini untuk menghilangkan kadar air. Kemudian sampel dicuci dengan aquades hingga netral setelah itu sampel tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu 50 °C selama 24 jam guna melakukan proses pengeringan dan penghilangan kadar air yang masih terdapat di dalam serbuk gergaji.

Variasi pH Serbuk Gergaji Terhadap Adsorpsi Logam Timbal

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Keasaman mempengaruhi kemampuan muatan pada situs aktif atau gugus fungsi yang mana ion H^+ akan berkompetisi dengan kation untuk berikatan dengan situs aktif adsorben. Selain itu, pH juga akan mempengaruhi spesies logam yang ada dalam larutan (Lestari dkk., 2003).

Penentuan pH optimum pada adsorpsi ion timbal menggunakan serbuk gergaji dilakukan pada variasi pH 3, 4, 5, 6, 7, dan 8. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pH yang diperlukan untuk adsorpsi logam timbal dengan menggunakan serbuk gergaji. Data kurva pada **Gambar 1** menunjukkan bahwa makin tinggi pH, daya adsorpsi makin besar meskipun peningkatannya tidak signifikan. Adsorpsi pada pH 3 dengan presentase serapan 88,63%, kemudian meningkat pada pH 4 menjadi 91,85%, kemudian meningkat pada pH 5 menjadi 92,51%, kemudian meningkat pada pH 6 menjadi 96,51% dan pada pH 7 teradsorpsi sebesar 96,96%. Peningkatan daya adsorpsi yang terjadi pada pH 3, 4, 5, 6, dan 7 sedangkan pada pH 8 adsorpsinya cenderung menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pada kisaran pH 8 yaitu pH basa, logam timbal akan mulai membentuk endapan sehingga menyebabkan menurunnya adsorpsi logam timbal oleh serbuk gergaji dengan presentase sebesar 96,85%. Dari data tersebut, didapatkan pH yang diperlukan untuk adsorpsi ialah pH 7 yang dapat diaplikasikan di air. Hal ini dimungkinkan gugus fungsi hidroksil (-OH dari CH_2OH), adsorben selulosa dan lignin yang berinteraksi dengan ion logam Pb (II) mencapai kesetimbangan pada pH 7. Berdasarkan data tersebut dapat diilustrasikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Kurva Hubungan antara pH Larutan terhadap % Pb Terserap

Kurva di atas menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung dengan cepat pada awal kontak antara permukaan adsorben dengan sejumlah adsorbat. Hal ini dikarenakan ketersediaan permukaan aktif pada permukaan adsorben yang masih banyak. Penyerapan yang cepat biasanya dikarenakan oleh proses difusi yang terjadi antara adsorbat dengan permukaan adsorben (Bhaumik dkk., 2012). Selanjutnya proses adsorpsi berlangsung dengan konstan sampai permukaan adsorben jenuh dan tidak dapat menyerap adsorbat lagi. pH optimum serbuk gergaji terhadap adsorpsi logam timbal yaitu pH 7, berat logam timbal yang terserap yaitu 14,89 mg/g, dan persentase logam timbal yang terserap yaitu 96,97%. Data hasil pengukuran konsentrasi Pb pada variasi pH serbuk gergaji terhadap adsorpsi logam timbal diperlihatkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Konsentrasi Pb yang Terserap pada Variasi pH serbuk gergaji

pH	C _i (mg/l)	C _{eq} (mg/l)	C _b (mg/l)	% Pb terserap
3	61,44	6,98 ± 0,02	54,45 ± 0,56	88,63 ± 0,03
4	61,44	5,00 ± 0,04	56,44 ± 0,04	91,85 ± 0,07
5	61,44	4,50 ± 0,33	56,84 ± 0,33	92,51 ± 0,55
6	61,44	2,13 ± 0,16	59,30 ± 0,16	96,51 ± 0,26

Keterangan : C_b = (C_i - C_{eq})

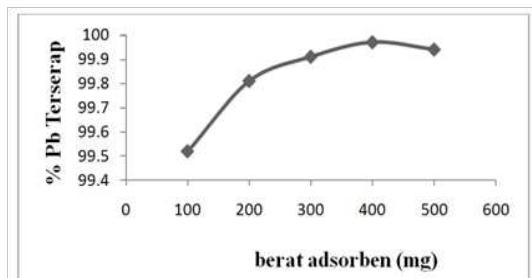
Variasi Berat Serbuk Gergaji Terhadap Adsorpsi Logam Timbal

Variasi berat serbuk gergaji ini digunakan untuk penentuan berat optimum serbuk gergaji sebagai adsorben logam timbal. Penentuan berat optimum pada adsorpsi logam timbal menggunakan serbuk gergaji, dimana serbuk kayu yang dipakai ialah serbuk kayu meranti dan dilakukan pada 5 variasi berat serbuk gergaji yaitu 100, 200, 300, 400, dan 500 mg.

Gambar 2 menunjukkan peningkatan penyerapan logam Pb dari 100 mg sampai 400 mg sehingga menyebabkan naiknya persentase logam timbal yang terserap, namun pada berat sampel 500 mg serapannya relatif menurun. Terjadinya peningkatan adsorpsi logam timbal pada berat biomassa 100 mg sampai 400 mg karena kerapatan sel adsorben dalam larutan sehingga menghasilkan interaksi yang cukup efektif antara pusat aktif dinding sel adsorben dengan ion logam. Semakin banyak zat penyerap maka semakin banyak pusat aktif

adsorben yang bereaksi (Radyawati, 2011). Jadi pada berat 400 mg kapasitas adsorpsi relatif tinggi atau mencapai titik optimum di karenakan ion OH⁻ dalam larutan lebih banyak dan gugus fungsi adsorben bermuatan negatif, sehingga kompetisi ion H⁺ dengan ion logam Pb (II) menjadi berkurang dalam berikan dengan gugus fungsi dari adsorben. Hal ini menyebabkan semakin banyak logam yang dapat diadsorpsi (Fatoni, 2009).

Selanjutnya serapan logam timbal relatif menurun pada adsorben 500 mg. Hal ini terjadi karena permukaan adsorben sudah dalam keadaan jenuh dengan ion-ion logam timbal, dimana pusat aktif telah jenuh dengan ion logam maka peningkatan adsorben relatif tidak meningkatkan penyerapan ion logam oleh adsorben (Radyawati, 2011). Berdasarkan uraian di atas maka belum didapatkan serapan maksimum untuk adsorpsi logam timbal menggunakan serbuk gergaji. Kurva hubungan antara berat adsorben terhadap % Pb terserap yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Hubungan antara berat adsorben terhadap % Pb Terserap

Berdasarkan kurva diatas maka diketahui berat optimum serbuk gergaji terhadap adsorpsi logam timbal yaitu sebesar 400 mg berat logam timbal yang terserap yaitu 3,83 mg/g, dan persentase logam timbal yang terserap yaitu 99,98%. Data hasil pengukuran konsntrasi Pb pada variasi serbuk gergaji terhadap adsorpsi logam timbal diperlihatkan pada Tabel 2.

Berdasarkan keterangan diatas C_b adalah konsentrasi Pb yang terserap (mg/L), C_i adalah konsentrasi Pb mula mula (mg/L) dan C_{eq} adalah konsentrasi Pb saat kesetimbangan (mg/L).

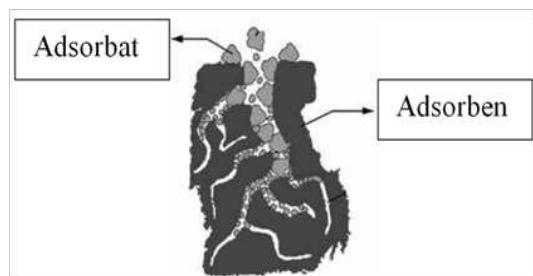
Tabel 2. Hasil Pengukuran Konsentrasi Pb yang Teradsorpsi pada Variasi berat serbuk gergaji

Berat (mg)	C _i (mg/l)	C _{eq} (mg/l)	C _b (mg/l)	% Pb terserap
100	61,44	0,90 ± 0,03	60,53 ± 0,03	99,52 ± 0,05
200	61,44	0,18 ± 0,03	61,26 ± 0,03	99,81 ± 0,05
300	61,44	0,05 ± 0,06	61,39 ± 0,06	99,91 ± 0,09
400	61,44	0,01 ± 0,005	61,42 ± 0,005	99,97 ± 0,01
500	61,44	0,03 ± 0,01	61,41 ± 0,01	99,94 ± 0,02

Kapasitas serapan berat optimum serbuk gergaji dalam menyerap logam sebesar 0,15 mg Pb/mg arang aktif. Hal ini berarti bahwa tiap 1 mg serbuk gergaji mampu mengadsorpsi ion timbal sebesar 0,15 mg Pb/mg serbuk gergaji.

Pada adsorpsi fisik, gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya Van der Walls. Akibat adanya gaya-gaya yang bekerja antara adsorbat dan adsorben menyebabkan proses adsorpsi logam dapat terjadi, dimana proses adsorpsi ini relatif berlangsung sangat cepat dan bersifat reversibel. Adsorbat yang terikat secara lemah pada permukaan adsorben, dapat bergerak dari suatu bagian permukaan kebagian permukaan lain. Adsorpsi fisik terjadi dimana timbal(II) terperangkap kedalam rongga atau pori-pori dari adsorben. Peristiwa adsorpsi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 3**.

Proses adsorpsi logam timbal dari larutan sampel dengan adsorben serbuk gergaji, selain berlangsung secara fisik, proses adsorpsi juga berlangsung secara kimia. Adsorpsi kimia terjadi karena adanya reaksi kimia antara



Gambar 3. Proses adsorpsi Pb(II) ke dalam pori-pori adsorben (Lestari, 2010).

molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben yang berupa pembentukan senyawa kompleks.

Selulosa merupakan senyawa organik yang terdapat pada dinding sel bersama lignin yang berperan dalam mengokohkan struktur tumbuhan. Dilihat dari strukturnya, selulosa dan lignin mempunyai potensi yang cukup besar untuk dijadikan sebagai penyerap karena gugus -OH yang terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Adanya gugus

-OH pada selulosa menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben tersebut, dengan demikian selulosa dan lignin lebih kuat menyerap zat yang bersifat polar dari pada zat yang kurang polar. Mekanisme serapan yang terjadi antara gugus -OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion (Nurhayati & Sutrisno, 2011). Adanya gugus-gugus polar ini diduga dapat berinteraksi dengan logam berat sehingga serbuk gergaji kayu meranti mempunyai reaktifitas kimia yang tinggi dan menyebabkan sifat polielektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai adsorben terhadap logam berat terhadap air yang tercemar.

Kesimpulan

Adsorpsi logam timbal serbuk gergaji terjadi pada pH Optimum 7, berat optimum 400 mg, dan kapasitas serapan berat optimum sebesar 0,15 mg/Pb mg serbuk gergaji.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada lab. FKIP KIMIA UNTAD dan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

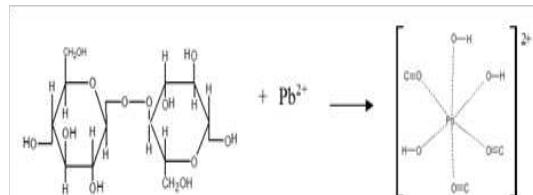
Referensi

Ensafi, A., & Shiraz, A. (2008). On-line separation and preconcentration of lead(II) by solid phase extraction using activated carbon loaded with xylanol orange and its determination by flame atomic absorption spectrophotometry. *Journal Hazard Mater*, 150, 554-559.

Fatoni, A. (2009). Adsorpsi ion logam kadmium oleh adsorben sabut kelapa dan sabut kelapa-2 merkaptobenzotiazol: (pengaruh pH). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 7(2), 19-22.

Hengky, S. I. T., & Dewi, U. R. (2009). Pembuatan asap cair dari limbah serbuk gergajian kayu meranti sebagai penghilang bau lateks. *Jurnal Teknik Kimia*, 1(16), 1-9.

Herwanto, B., & Santoso, E. (2006). *Adsorpsi ion logam Pb(II) pada membran selulosakhitosan terikat silang*. Paper presented at the Makalah pada seminar nasional kimia VIII, Surabaya.



Gambar 4. Struktur selulosa menyerap Pb (Lestari, 2010)

- Iin, S., Nelly, W., & Titin, A. Z. (2012). Adsorpsi timbal(II) oleh selulosa limbah jerami padi teraktivasi asam nitrat: Pengaruh pH dan waktu kontak. *Jurnal Kimia*, 1(1), 1-7.
- Lestari, S. (2010). Pengaruh berat dan waktu kontak untuk adsorpsi timbal(II) oleh adsorben kulit batang jambu biji (*psidium guajava l.*). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 8(1), 6-9.
- Lestari, S., Eko, S., & Mudasir. (2003). Studi kemampuan adsorpsi biomassa sccharomyces cerevisiae yang termobilkan pada silika gel terhadap tembaga(II). *Teknoscains*, 16(3), 357-371.
- Misran, E. (2009). Pemanfaatan kulit cokelat dan kulit kopi sebagai adsorben ion Pb dalam larutan. *Jurnal Sigma*, 12(1), 23-29.
- Nurhasni, Florentinus, F., & Kosim, S. (2012). Penyerapan ion aluminium dan besi dalam larutan sodium silikat menggunakan karbon aktif. *Valensi*, 2(4), 516-525.
- Nurhayati, I., & Sutrisno, J. (2011). *Limbah ampas tebu sebagai penyerap logam berat Pb*. Paper presented at the Makalah pada seminar nasional Pengembangan Teknologi Ramah Lingkungan Menuju Keberlanjutan Lingkungan Hidup, Surabaya: tidak diterbitkan.
- Nursiah, N. L., Zakir, M., & Karoma, J. M. (2012). Pemanfaatan serbuk kayu meranti merah (*shorea parfivolia dyer*) sebagai bioadsorben logam Cd(II). *Jurnal Indonesia Chimica Acta*, 5(2), 1-9.
- Purba, L. (2014). *Pemanfaatan biomassa kulit batang jambu biji (psidium guajava. l) pada adsorpsi logam besi*. Universitas Tadulako, Palu: tidak diterbitkan.
- Puspitasari, D. J. (2009). *Analisis kualitas air di teluk palu*. *Jurnal Kimia Sains*, 1(1), 34-40.
- Radyawati. (2011). *Pembuatan biocharcoal dari kulit pisang kepok untuk penyerapan logam timbal (Pb) dan logam seng (Zn)*. Universitas Tadulako, Palu: tidak diterbitkan
- Sudarmaji, J. M., & Corie, I. P. (2006). Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2(2), 129-142.
- Yang, X., Feng, Y., Zhenli, H., & Stofella, P. J. (2005). Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18(4), 339-353.