



---

## POTENSI LIMBAH BIOMASSA SEBAGAI BIOADSORBEN DALAM MENANGGULANGI PENCEMARAN LOGAM BERAT

Andi Arif Setiawan<sup>1</sup>, Syaiful Eddy<sup>2</sup>, Rangga<sup>3</sup>, Kiki Risky Midia<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup>*Program Studi Sains Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas PGRI Palembang*

\*e-mail: [syaifulleddy@gmail.com](mailto:syaifulleddy@gmail.com)

### ABSTRACT

Biomass is a product produced by plants, composed of hydrocarbon elements (C, H, O, and N) to form cellulose, hemicellulose, and lignin compounds consisting of active groups in the form of hydroxyl (-OH) and carboxylic (-COOH). This group can bind heavy metals. The potential distribution of biomass is found on the islands of Kalimantan, Sumatra, Java, Sulawesi, and Irian Jaya. The impact of the heavy metal Cd is in the form of kidney damage, bronchitis, gastrointestinal gas irregularities, and cancer. Impact of Pb has an impact on liver and kidney disease, gastrointestinal gas damage, and disrupted child growth. Impact of Mn has an impact on inhalation or damage to the respiratory system. Impact of Hg has an impact on respiratory system damage and flows plasma poisoning. Impact of Zn has a corrosive effect on the skin, and damages the respiratory membranes. Impact of Ar causes bronchitis and dermatitis. Factors that affect the adsorption of heavy metals by bioadsorbents, namely: adsorbent, grain size, degree of acidity, contact time, concentration, and porosity.

**Keywords:** biomass, bioadsorbents, active groups, heavy metals, health effects

### ABSTRAK

Biomassa merupakan produk alam yang dihasilkan oleh tumbuhan, tersusun dari unsur hidrokarbon (C, H, O dan N) membentuk senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terdiri dari gugus aktif berupa hidroksi (-OH) dan karboksilat (-COOH). Gugus aktif tersebut mampu mengikat logam berat. Potensi sebaran biomassa terdapat di Pulau Kalimantan, Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Dampak logam berat Cd berupa penyakit kerusakan ginjal, bronchitis, ketidakteraturan gas trointestinal, kanker. Dampak Pb penyakit lever, ginjal, kerusakan gas trointestinal, terganggunya pertumbuhan anak. Dampak Mn penyakit inhalasi atau kerusakan sistem pernapasan. Dampak Hg berdampak penyakit kerusakan sistem pernapasan, keracunan floplasma. Dampak Zn berdampak penyakit korosif pada kulit, kerusakan membran pernapasan. Dampak arsen menimbulkan penyakit bronchitis, dermatitis. Faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat oleh bioadsorben, yaitu: bahan penyerap, ukuran butir, derajat keasaman, waktu kontak, konsentrasi dan porositas.

**Kata Kunci:** biomassa, bioadsorben, gugus aktif, logam berat, dampak kesehatan

## **PENDAHULUAN**

Jumlah penduduk dunia dewasa ini semakin lama semakin meningkat. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat berakibat meningkatnya kebutuhan barang makanan, pakaian, tempat tinggal, energi dan barang hasil proses produksi. Jumlah penduduk yang terus meningkat ini harus diiringi dengan peningkatan produksi barang tersebut. Dampak peningkatan produksi ini tentunya bermasalah pada lingkungan berupa limbah. Limbah yang di buang ke lingkungan ini tentunya berdampak pada makhluk hidup yang pada gilirannya akan berakibat pada kesehatan manusia (Setiawan & Fatimura, 2013), salah satu limbah tersebut berupa logam berat.

Logam berat adalah unsur kimia yang mempunyai masa atom sama dengan atau lebih dari 200. Contohnya merkuri = 200, thalium = 204, timbal = 207, bismut 209. Terpaparnya logam berat tersebut pada manusia berdampak toksit (Baldwin & Marshall, 1999). Logam berat banyak dipakai dalam dunia perindustrian seperti industri kertas, tekstil, pigmen, pengecatan dan industri metalurgi. Logam berat dapat menyebabkan penyakit kanker, gangguan pencernaan, pernapasan. Limbah logam berat di perairan dihasilkan dari kegiatan antropogenik tersebut terbawa oleh aliran air dan tertimbun (terakumulasi) dimakhluk hidup contohnya ikan. Timbunan ini dapat beresiko pada kesehatan manusia melalui mata rantai makanan (Vutukuru, 2005).

Kontaminasi logam berat dapat ditanggulangi dengan cara fisika dan kimia contohnya pendendapan, oksidasi atau reduksi bahan kimia, elektrokimia, evaporasi, filtrasi, penukar ion dan teknologi membrane. Teknologi untuk mengatasi limbah tersebut tidak efisien karena biaya yang mahal, dan khususnya untuk logam berat yang berlarut 1-100 mg/l. Metode alternatif perlu dicari

dengan pertimbangan tidak merusak lingkungan, hasilnya baik dan berbiaya murah (Sangi et al., 2008). Alternatif untuk mengatasi limbah logam berat tersebut yaitu dengan cara menggunakan adsorben atau bahan penyerap yang berasal dari limbah biomassa pertanian (bioadsorben) yang efektif untuk menanggulangi limbah logam berat (Vieira & Volesky, 2000).

Penggunaan biomassa limbah pertanian ini mempunyai keuntungan yaitu biayanya relatif rendah, efektif untuk mengurangi pencemaran logam berat (Qaiser & Ahmad, 2007). Pemanfaatan limbah biomassa, berarti juga ikut serta dalam mengurangi dampak efek rumah kaca yang dalam ini yaitu gas metan. Gas metan dapat dihasilkan dari proses peruraian senyawa organik yang berasal dari biomassa oleh mikro organisme, sehingga menghasilkan gas metan. Abdassah, (2011) menyatakan gas metana mempunyai "daya rusak" 21 kali lebih potent dari gas CO<sub>2</sub> apabila lepas ke atmosfer, dengan demikian memanfaatkan limbah biomassa, berarti turut andil mengurangi "Global Warming".

Limbah yang dihasilkan dari aktivitas dibidang pertanian berupa biomassa cangkang sakti, tempurung kelapa, serbuk gergaji, sekam padi, bongkol jagung dan lain- lain. Limbah biomassa terdiri dari selulosa, hemiselulosa, protein, lemak dan lignin, yang berpotensi sebagai bioadsorben. Bioadsorben tersebut terdiri dari gugus-gugus aktif yaitu gugus senyawa fonelik, hidrosksi, karboksil, amin, posfat sehingga dapat digunakan sebagai adsorben yang mampu mengikat logam berat (Lesmana et al., 2009).

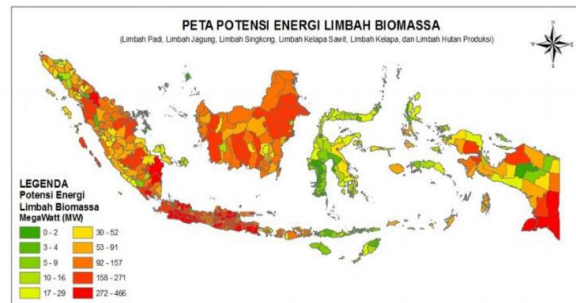
Artikel ini bertujuan memberikan informasi tentang: (1). Pengertian, sebaran biomassa di Indonesia. (2). Dampak dari logam berat bagi manusia

dan (3) Mekanisme penyerapan logam berat dengan biosorben

## B. Pengertian, Potensi dan Sebaran Biomassa di Indonesia

Biomassa merupakan produk berbentuk padatan yang dihasilkan oleh alam (Vassilev et al., 2010) dalam bentuk tumbuh-tumbuhan yang tersusun dari senyawa hidrokarbon (C, H, O dan N). Biomassa tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, selain itu juga dapat dimanfaatkan sebagai bioadsorben.

Pranoto et al., (2013) mengatakan bahwa hasil perhitungan didapat besar potensi energi dari limbah ke enam komoditi tersebut sebesar 35,6 GW dengan kontribusi dari limbah padi sebesar 54,52%, limbah jagung 9,74%, limbah singkong 6,45%, limbah kelapa sawit 2,29%, limbah kelapa dalam 2,3%, dan limbah hutan produksi 24,69%. Potensi dan sebaran limbah biomassa tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Potensi dan Sebaran Biomassa (Pranoto et al., 2013)

Gambar 1 menunjukkan potensi dan sebaran biomassa terletak di pulau Kalimantan, Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya. Potensi biomassa ini tergolong dalam sumberdaya alam dapat diperbaharui, karena sumberdaya alam tersebut masih dapat diperoleh kembali selagi ada usaha melestarikan tumbuhan sebagai sumber biomassa terbesar.

## D. Logam Berat dan Dampak bagi Makhluk Hidup

Logam berat adalah unsur kimia yang mempunyai masa atom sama dengan atau lebih dari 200. Contohnya merkuri = 200, thalium = 204, timbal = 207, bismut 209. Terpaparnya logam berat tersebut pada manusia berdampak toksik (Baldwin & Marshall, 1999). Unsur kimia di muka bumi ini sedikitnya terdapat 80 jenis dari

109 unsur kimia telah teridentifikasi sebagai jenis logam berat.

Sudut pandang toksikologi, logam berat ini dapat dibagi dalam dua jenis. Jenis pertama adalah logam berat esensial, di mana keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah yang berlebihan dapat menimbulkan efek racun. Contoh logam berat ini adalah Zn, Cu, Fe, Co, Mn, sedangkan jenis kedua adalah logam berat tidak esensial atau beracun, di mana keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun, seperti Hg, Cd, Pb, Cr dan lain-lain (Kresnawati & Panji, 2007).

Pencemar logam berat kebanyakan berasal dari limbah industri penambangan, termasuk aktifitas penyimpanan sementara/stockpile batubara (Setiawan et al., 2018) proses pengolahan logam,

industri farmasi, industri finising, produksi bahan bakar dan energi, pupuk, pestisida, fotografi, instalasi tenaga atom, industri bahan kimia organik, karet dan plastik, produk kayu dan lain-lain. Logam berat tersebut di bawa oleh aliran air dan mencemari sumber air bersih. Semua makhluk hidup meliputi mikroorganism, tumbuhan dan hewan bergantung pada air tersebut untuk kehidupan. Logam berat dapat berikatan pada permukaan mikroorganism dan dapat mengalami penentrasi dalam dinding sel, sehingga mencemari lingkungan yang menyebabkan ancaman kesehatan manusia dan ekosistem (Wang et al., 2005).

Potensi terpaparnya logam berat di lingkungan berasal dari kecelakaan kerja, ada spektrum terpapar dengan dosis tingkat rendah bersifat kronis, misalnya anak-anak yang terpapar cat rumah yang berusia tua yang mengandung timbal. Papar zat racun dengan dosis tingkat tinggi bersifat akut, misalnya anak-anak terisap merkuri yang berasal dari baterai atau skala besar berupa kontaminasi suplai air dengan aluminium sulfat (Baldwin & Marshall, 1999).

Beberapa logam berat yang dapat berakibat toksik bagi tubuh manusia dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel .1 Efek Logam Berat terhadap Kesehatan Manusia

<b>Polutan Sumber Utama</b>	<b>Efek Kesehatan Manusia Batas Diizinkan(Ppm)</b>
Arsenik	Bronchitis, dermatitis
Pestisida, fungisida, pengolahan logam pengelasan.	0,02
Kadmium	Kerusakan ginjal, bronchitis, ketidakaturan gas trointestinal, kanker.
Elektroplating, pestisida, pupuk, baterai, inndustri nuklir.	0,06
Timbal	Lever, ginjal, kerusakan gas trointestinal, terganggunya pertumbuhan anak.
Cat, pestisida, rokok, emisi kendaraan bermotor, penambangan, pembakaran batubara.	0,1
Mangan	Inhalasi atau kerusakan sistem pernapasan.
Pengelasan, produksi ferromangan.	0,26
Merkuri	Kerusakan sistem pernapasan, keracunan floplasma.
Pestisida, baterai, industri kertas.	0,01
Seng	Uap seng menyebabkan korosiv pada kulit, kerusakan membram pernapasan
Industri pengolahan logam	

## E. Proses Penyerapan Logam Berat dengan Menggunakan Bioadsorben

Penyerapan (Biosorption) didefinisikan sebagai interaksi fisika kimia antara fasa padat (sorben atau bioadsorben, biasanya material biologis) dan fasa cair (terlarut dalam air) mengandung bahan terlarut (sorbit, sebagai ion logam). Afinitas sorben terhadap bahan sorbat prosesnya terus menerus hingga terjadi kesetimbangan antara padatan sorben dengan larutan sorbat logam berat terserap pada permukaan biomassa, selanjutnya biosorben mengikat sedemikian banyak ion logam (Alluri et al., 2007).

Biosorpsi logam berat dari larutan merupakan teknologi yang relatif baru untuk industri pengolahan limbah air. Bahan adsorben diperoleh oleh limbah peroduk pertanian yang harganya relatif murah dan dapat digunakan secara efektif untuk menanggulangi ion logam berat yang berasal dari aliran limbah. Keuntungan utama dari teknologi bioadsorben adalah efektif dalam menurunkan konsentrasi logam berat ke tingkat yang lebih rendah dan merupakan bioadsorben yang tidak mahal (Qaiser & Ahmad, 2007).

Penggunaan limbah pertanian sebagai bahan adsorben untuk mengatasi limbah logam berat lebih ekonomis, dimana pada proses penyerapan tersebut terlibat proses fisika dan kimia (Mahvi, 2008).

Proses penyerapan dalam adsorpsi dipengaruhi :

1. Bahan penyerap  
Bahan yang digunakan untuk menyerap mempunyai kemampuan berbeda-beda, tergantung dari kepolaran bahan asal dan juga metode aktivasi yang digunakan (Sukarta, 2008).
2. Ukuran butir  
Semakin kecil ukuran butir, maka semakin besar permukaan sehingga dapat menyerap kontaminan makin

banyak (Kannan & Veemaraj, 2009) melaporkan bahwa penyerapan ion Pb (II) meningkat dengan menurunnya ukuran partikel adsorben serbuk bambu.

3. Derajat keasaman (pH larutan)  
Kondisi pH rendah, ion  $H^+$  akan berkompetisi dengan kontaminan yang akan diserap, sehingga efisiensi penyerapan turun. Proses penyerapan akan berjalan baik bila pH larutan tinggi. Derajat keasaman mempengaruhi adsorpsi karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan, pH yang baik berkisar antara 8-9. Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi (Sukarta, 2008).
4. Waktu kontak  
Waktu serap yang lama akan memungkinkan proses difusi dan Penempelan molekul zat terlarut yang terserap berlangsung dengan baik. Madhavakrishnan et al., (2010) melaporkan Ni (II) yang terserap oleh karbon aktif yang berasal dari *Ricinus Communis Pericarp* meningkat dengan meningkatnya waktu kontak pengadukan.
5. Konsentrasi  
Khoramabadi et al., (2008) melaporkan bahwa efek kenaikan konsentrasi Hg (II) dari 1,5 sampai 6,5 mg/l terhadap daya serap Zygneme menunjukkan kenaikan penyerapan, akan tetapi pada konsentrasi di atas 6,5 mg/l menunjukkan kenaikan penyerapan relatif kecil.
6. Porositas  
Porositas dapat ditingkatkan melalui aktivasi secara fisika seperti mengalirkan uap air panas ke dalam pori-pori adsorben, atau mengaktivasi secara kimia, salah satu cara mengaktivasi adsorben secara kimia adalah aktivasi selulosa melalui penggantian gugus aktif -OH pada

selulosa dengan gugus  $\text{HSO}_3$  melalui proses sulfonasi. Selulosa yang teraktivasi dengan cara sulfonasi memberikan daya absorpsi yang meningkat dua kali lipat dibandingkan daya absorpsi selulosa yang tidak diaktivasi (Sukarta, 2008).

Logam berat yang ditimbulkan akibat aktivitas industri, seperti pertambangan, pelapisan logam, industri otomotif di lingkungan bersifat racun. Keadaan ini harus diatasi dengan cara yang ekonomis, diantaranya dengan cara penyerapan (adsorpsi) dengan menggunakan bahan biomassa (bioadsorben) yang berasal dari limbah pertanian diantaranya : ampas tebu, sekam padi, cangkang kelapa sawit, sabuk kelapa dan lain-lain (Khan et al., 2004).

Limbah pertanian kebanyakan tersusun dari lignin dan selulosa, mengandung gugus fungsi polar meliputi alkohol, aldehid, keton, karboksilat, penol dan eter. Gugus fungsi ini dapat mengikat logam berat dengan menggantikan ion hidrogen dengan ion logam dalam larutan, atau pemberian sepasang elektron dari gugus fungsi tersebut dengan ion logam untuk membentuk senyawa kompleks (Lesmana et al., 2009). Limbah pertanian tersebut diantaranya sekam padi, serbuk gergaji dan kulit kacang tanah yang mempunyai kemampuan menyerap ion logam (Setiawan et al., 2012)

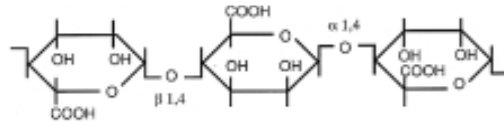
Sekam padi merupakan produk sampingan dalam pengilingan beras, mempunyai sifat jaringan yang keras karena mengandung silika. Kandungan kimia silika pada sekam padi sebesar 20%, sedangkan sisanya sebagian besar terdiri dari bahan organik berupa selulosa, hemiselulosa dan lignin. limbah pertanian. Kandungan bahan organik dan silika yang besar ini mempunyai potensi sebagai bahan penyerap (Setiawan, 2013). Kemampuan sekam padi dalam menyerap

limbah dikarenakan pada sekam padi tersusun oleh 80 % bahan organik (penyusun utama) senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin, dengan gugus aktif berupa hidroksi (OH), karboksi ( $-\text{COOH}$ ), keton ( $\text{R-O-R}$ ) yang akan bereaksi dengan logam berat membentuk kompleks dan anorganik 20% silika pada sekam padi, senyawa-senyawa penyusun tersebut mempunyai kemampuan mengikat kation logam (Kumar & Bandyopadhyay, 2006).

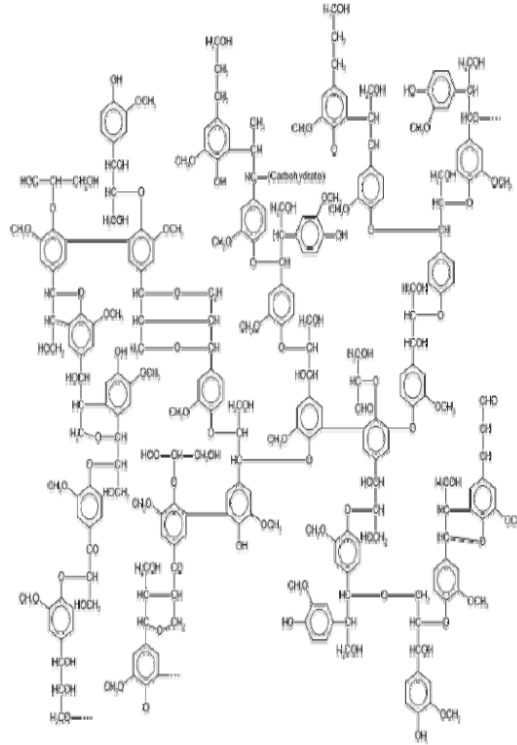
Kulit kacang tanah biasanya dibuang begitu saja, karena dianggap tidak berguna, padahal limbah kulit kacang tanah dapat dimanfaatkan secara optimal untuk dijadikan bahan penyerap. Kulit kacang tanah mempunyai karakteristik fisik dan kimia yang cocok untuk dijadikan adsorben. Penggunaan kulit kacang tanah sebagai adsorben merupakan salah satu alternatif pengelolaan limbah cair karena biayanya relatif murah (Mulyana, et al., 2003), adapun penyusun utama kulit kacang tanah mengandung 34,5% lignin dan 39,42% selulosa (Childs et al.200). Pemanfaatan kulit kacang tanah sebagai bioadsorben untuk menurunkan kadar zat pewarna Remazon Golden Yellow 6, waktu kontak optimum 30 menit mampu menurunkan konsentrasi zat warna 30 ppm dengan berat adsorben 1 gram (Mulyana, et al., 2003).

Tahrir (2006) melaporkan abu sekam padi dapat meningkatkan mutu dan daya tahan minyak kelapa tradisional. Tingkat derajat kejernihan meningkat 93.6%, mengurangi kadar air 0,314% dan bilangan asam tiobarbiturat 5.542%.

Kemampuan sekam padi dalam menyerap limbah dikarenakan pada sekam padi penyusunnya terdiri dari 80 % bahan organik (penyusun utama) senyawa selulosa (Gambar 2) dan lignin (Gambar 3)



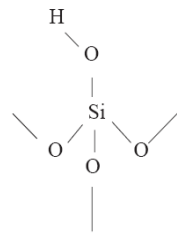
Gambar 2. Gugus aktif Selulosa (Vieira & Volesky, 2000)



Gambar 3 Gugus Aktif pada Lignin  
([http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Lignin\\_structure.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Lignin_structure.svg))

Gugus aktif berupa hidroksi (OH), karboksi (-COOH), lignin dengan gugus aktif hidroksi (OH), karboksi (-COOH), keton (R-O-R) yang akan bereaksi dengan logam berat membentuk kompleks (Dupont, 2004) dan anorganik berupa 20% silika. Senyawa-senyawa ini mempunyai aktifitas mengikat kation logam (Kumar, 2009) berupa senyawa silika, yaitu silanol

(gambar 4). Bayat, 2002 dalam Ngoh (2006) melaporkan permukaan silika mempunyai aktivitas electron yang kuat, sehingga atom oksigen terikat dengan ion silika mempunyai sifat basa yang lemah, yang menyebabkan permukaan silika dapat bereaksi dengan asam lemah, atom oksigen bereaksi dengan air membentuk silanol



Gambar 4. Gugus aktif Senyawa Silika (Silanol) pada sekam padi (Toppallar and Bayrak, 1999).

## KESIMPULAN

1. Biomassa merupakan produk alam yang dihasilkan tumbuh-tumbuhan yang tersusun dari senyawa hidrokarbon (C, H, O dan N). Biomassa ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan penyerap (bioadsorben). Potensi sebaran biomassa terdapat di Pulau Kalimantan, Sumatera, Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya
2. Dampak Arsen menimbulkan penyakit Bronchitis, dermatitis. Cadmium berdampak kerusakan ginjal, bronchitis, ketidakteraturan gas trointestinal, kanker. Timbal berdampak Lever, ginjal, kerusakan gas trointestinal, terganggunya pertumbuhan anak. Mangan berdampak Inhalasi atau kerusakan sistem pernapasan. Merkuri berdampak Kerusakan sistem pernapasan, keracunan floplasma. Seng berdampak menyebabkan korosiv pada kulit, kerusakan membran pernapasan
3. Faktor yang mempengaruhi penyerapan logam berat oleh bioadsorben, yaitu: bahan penyerap, ukuran butir, derajat keasaman, waktu kontak, konsentrasi dan porositas.

## DAFTAR PUSTAKA

Abdassah, D. (2011). *Aspek Teknis Gas Metana Batubara (Coal Bed Methane)*. ITB.

Alluri, H. K., Ronda, S. R., Settalluri, V. S., Jayakumar Singh, B., Suryanarayana, V., & Venkateshwar, P. (2007). Biosorption: An eco-friendly alternative for heavy metal removal. *African Journal of Biotechnology*, 6(25), 2924–2931. <https://doi.org/10.5897/ajb2007.000-2461>

Baldwin, D. R., & Marshall, W. J. (1999). Heavy metal poisoning and its laboratory investigation. *Annals of Clinical Biochemistry*, 36(3), 267–300. <https://doi.org/10.1177/000456329903600301>

Dupont L., Bounda J., Dumonceau J., & Aplincourt M., 2005. Biosorption of Cu(II) and Zn(II) onto a lignocellulosic substrate extracted from wheat bran. *Environ Chem Lett.* 2, 165-168. (www. google. Adsorption of heavy metal. Com, diakses Mei 2008)

Kannan, N., & Veemaraj, T. (2009). Removal of lead(II) ions by adsorption onto bamboo dust and commercial activated carbons - A comparative study. *E-Journal of Chemistry*, 6(1), 247–256. <https://doi.org/10.1155/2009/515178>



- Khan, N. A., Ibrahim, S., & Subramaniam, P. (2004). Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Wastes as Adsorbents. *Malaysian Journal of Sciences*, 23(1), 2004.
- Khoramabadi, G. S., Jafari, A., & Jamshidi, J. H. (2008). Khoramabadi, jafari.pdf. *Journal of Applied Sciences*, 8(11), 2168–2172.
- Kresnawati, I., & Panji, T. (2007). Biosorpsi logam Zn oleh biomassa *Saccharomyces cerevisiae*. *Menara Menara Perkebunan*, 75(2), 363.
- Kumar, U., & Bandyopadhyay, M. (2006). Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk. *Bioresource Technology*, 97(1), 104–109.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.027>
- Lesmana, S. O., Febriana, N., Soetaredjo, F. E., Sunarso, J., & Ismadji, S. (2009). Studies on potential applications of biomass for the separation of heavy metals from water and wastewater. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 19–41.  
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.12.009>
- Madhavakrishnan, S., Sathishkumar, M., Binuprtya, A. R., Choi, J. G., Jayabalan, R., Manickavasagam, K., & Pattabi, S. (2010). *Ricinus communis* pericarp activated carbon as an adsorbent for the removal of Pb(II) from aqueous solution and industrial wastewater. *Environment Protection Engineering*, 36(1), 83–94.
- Mahvi, A. H. (2008). Application of agricultural fibers in pollution removal from aqueous solution. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5(2), 275–285.  
<https://doi.org/10.1007/BF03326022>
- Mulyatna L., Pradiko H., dan U. K. Nasution. 2003. Pemilihan Persamaan Adsorpsi Isoterm pada Penentuan Kapasitas Adsorpsi Kulit Kacang Tanah Terhadap Zat Warna Remazol Golden Yellow 6. *Infomatek* Vol.5 No.3
- Pranoto, B., Pandin, M., Rahma Fithri, S., & Nasution, S. (2013). Biomass Potential Map As a Database of National Scale Biomass Energy Development. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(2), 123–130.
- Qaiser, S., & Ahmad, M. M. (2007). *Heavy metal uptake by agro based waste materials*.10(3).  
<https://doi.org/10.2225/vol10-issue3-fulltext-12>
- Sangi, M. R., Shahmoradi, A., Zolgharnein, J., Azimi, G. H., & Ghorbandoost, M. (2008). Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using *Ulmus carpinifolia* and *Fraxinus excelsior* tree leaves. *Journal of Hazardous Materials*, 155(3), 513–522.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.11.110>
- Setiawan, A.A. (2013). Pengaruh Konsentrasi Ion Pb<sup>2+</sup> Terhadap Daya Serap Kulit Kacang Tanah, Sekam Padi dan Serbuk Gergaji. *Saimatika*, 10(1), 51–58.  
<https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>

- Setiawan, A. A., Budianta, D., Suheryanto, & Priadi, D. P. (2018). Contents of Heavy Metal in Soil and Water at Stockpile Coal (Case Study Kertapati Palembang City Indonesian). *Pollution Research*, 37(2), 301–306.
- Setiawan, A. A. & Fatimura, M. (2013). Studi Pemanfaatan Limbah Biomassa Pertanian Sebagai Bioadsorben untuk Menyerap Ion Cr. *Jurnal Sainmatika*, 10(2), 42–49.
- Setiawan, Arinafril, A., & Hanafiah, K. A. (2012). Efektifitas Kulit Kacang Tanah, Sekam Padi dan Serbuk Gergaji Sebagai Bioadsorben dalam Menyerap Ion Pb<sup>2+</sup>. *Sainmatika*, 9(1), 1–7.
- Sukarta, I. N. (2008). *Adsorpsi Ion Cr<sup>3+</sup> Oleh Serbuk Gergaji Kayu Albizia (Albizzia falcata): Studi Pengembangan Bahan Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat*. Institut Pertanian Bogor.
- Vassilev, S. V, Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913–933. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022>
- Vieira, R. H. S. F., & Volesky, B. (2000). Biosorption: a solution to pollution? *International Microbiology*, 3(1), 17–24.
- Vutukuru, S. S. (2005). Acute effects of hexavalent chromium on survival, oxygen consumption, hematological parameters and some biochemical profiles of the Indian major carp, *Labeo rohita*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2(3), 456–462. <https://doi.org/10.3390/ijerph2005030010>
- Wang, X., Sato, T., Xing, B., & Tao, S. (2005). Health risks of heavy metals to the general public in Tianjin, China via consumption of vegetables and fish. *Science of the Total Environment* 350, 350, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.09.044>