

BIOCHARCOAL DARI KULIT KAKAO (*Theobroma cacao L*) UNTUK MENGADSORPSI ION LOGAM TIMBAL Pb

Biocharcoal of Cocoa (*Theobroma cacao L*) Bark for adsorbing Lead metal ions

* Katherina Podala, Daud Karel Walanda dan Mery Napitupulu

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

Received 15 June 2015, Revised 16 July 2015, Accepted 12 August 2015

Abstract

Cacao is a commodity crop growth in the plantation farmers, particularly in Central Sulawesi. Processed of the cocoa fruits are mainly as the food products. Furthermore, the cocoa bark just become rubbish. This study aims to utilize the waste of cocoa bark to be used as biocharcoal to adsorb lead metal ions. The method used was spectrophotometry, where the lead ions concentration absorbed was measured using a Spectrodirect spectrophotometer. The results showed that at the optimum contact time 90 minutes, the lead ion capacity adsorption was 97% and the lead weight adsorbed was 25.26 mg/g. The optimum weight of 60 mg, where the lead ions capacity adsorption was 96.88% and the lead weight adsorbed was 25.22 mg/g. The optimum adsorption capacity was 40 ppm, where the lead ions adsorption obtained was 99.61% and the lead weight adsorbed was 10.84 mg/g.

Keywords: Biocharcoal, Cocoa bark, Lead, Adsorption, Spectrodirect Spectrophotometer.

Pendahuluan

Tanaman kakao (*Theobroma cacao L.*) merupakan salah satu tanaman unggulan di negara Indonesia. Kakao merupakan salah satu komoditi ekspor yang mempunyai keunggulan komparatif yang merupakan modal utama yang harus ada pada suatu produk untuk memiliki kekuatan kompetitif. Disamping itu biji kakao juga berperan dalam mendorong pengembangan wilayah dan pengembangan agroindustri yang diharapkan mampu berperan sebagai salah satu komoditi yang akan menciptakan peningkatan perekonomian nasional dan daerah (Suryani & Zulfebriansyah, 2007). Pada tahun 2002 areal perkebunan kakao Indonesia tercatat seluas 914.051 ha. Bahkan pada tahun 2008 luas areal perkebunan kakao di Indonesia bertambah mencapai 1.473.259 ha dengan total produksi 792.791 ton (Kurniansyah, dkk., 2012). Terlebih khusus pada provinsi Sulawesi Tengah, data statistik menunjukkan bahwa luas areal perkebunan kakao tahun 2013 telah mencapai 284.125 ha dengan total produksi 195.845.613 kg (BPS, 2013). Provinsi Sulawesi Tengah memiliki beberapa kabupaten dan salah satunya

yaitu kabupaten Poso, yang jumlah produksi buah kakao 32.469.000 kg pertahun (Dinas Perkebunan Daerah Sulawesi Tengah, 2012).

Berdasarkan luas penanaman dan hasil produksi kakao yang sangat melimpah, sangatlah disayangkan bila limbah dari kulit kakao tersebut tidaklah dipergunakan dan dimanfaatkan. Kebanyakan warga masyarakat khususnya para petani lokal hanya membiarkan saja limbah kulit kakao tersebut membusuk dilahan perkebunan bahkan limbah kulit buah kakao dikeringkan dan dijadikan sebagai pengganti kayu bakar. Menurut Ashadi (1998) kulit buah kakao memiliki kandungan kimia yang tersusun dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi, sehingga kulit kakao berpotensi sebagai arang aktif karena mengandung karbon yang cukup banyak.

Hal tersebutlah yang perlu untuk diminimalisir agar pencemaran sampah organik yang dihasilkan khususnya untuk kulit buah kakao tidaklah bertambah dari tahun ke tahun sehingga pada penelitian ini peneliti ingin memanfaatkan limbah organik tersebut. Kulit kakao dapat dijadikan biocharcoal atau arang hayati yang berguna untuk penyubur tanah. Cahyaningtyas & Sumatri (2012) mendefinisikan arang hayati sebagai hasil dari proses pemanasan biomassa menggunakan suhu

*Korespondensi:

Katherina Podala

Program Studi Pendidikan kimia, Fakultas Keguruan dan

Ilmu Pendidikan, Universitas Tadulako

email: Katherinapodala11@gmail.com

© 2015 - Program Studi Pendidikan Kimia Universitas Tadulako

yang tinggi, dalam arti pada keadaan oksigen terbatas atau tanpa oksigen (Tambunan, dkk., 2014). Biocharcoal adalah arang hasil pembakaran tanpa oksigen atau dengan O₂ rendah pada suhu <700°C (Cheng, dkk., 2007). Konsep biocharcoal (arang hayati) ditawarkan sebagai pembenah tanah. Biocharcoal dapat dibuat dari berbagai biomasa, bahkan limbah-limbah pertanian yang memenuhi syarat. Penggunaan pembenah tanah tersebut terbukti meningkatkan kesuburan tanah dan produksi tanaman, namun pembenah tanah dengan bahan alamiah ini terus diberikan setiap kali musim tanam dan hasil tanaman yang tidak stabil. Wilayah tropika seperti Indonesia menyebabkan laju perombakan dan mineralisasi pembenah tanah dari bahan organik semakin tinggi. Akibatnya kebutuhan bahan-bahan pembenah tanah terus meningkat dari waktu ke waktu (Latuponu, dkk., 2011). Pemanfaatan bahan-bahan organik yang dijadikan sebagai bahan penyerap telah banyak dilakukan, bahan-bahan organik tersebut diubah menjadi arang hayati untuk mengadsorpsi logam berat sehingga dapat mengurangi pencemaran yang diakibatkan logam-logam berat tersebut (Kawasaki, dkk., 2006).

Seperti pada penelitian Latuponu, dkk (2011) yang memanfaatkan limbah sagu menjadi biocharcoal terhadap pelindian nitrogen di lahan kering masam. Limbah sagu merupakan bahan organik yang mudah diperoleh untuk digunakan sebagai penyubur tanah. Pemanfaatan limbah sagu dibuat dengan cara alam melalui dekomposisi mikroba tanah sebagai kompos dan cara buatan seperti biocharcoal melalui pembakaran. Tujuan penelitian tersebut adalah untuk mendapatkan kombinasi macam biocharcoal dengan pupuk N dan waktu inkubasi yang paling sesuai untuk meningkatkan daya sangga tanah terhadap pelindian hara N. Darmayanti (2012) melakukan penelitian tentang adsorpsi timbal (Pb) dan zink (Zn) dengan menggunakan arang hayati (biocharcoal) dari kulit pisang kepok berdasarkan variasi pH, dimana pada penelitian tersebut diperoleh bahwa adsorpsi optimum logam timbal (Pb) yaitu pada pH 4 sedangkan untuk logam zink (Zn) pada pH 6. Setahun sebelumnya, Radyawati (2011) juga memanfaatkan limbah dari kulit pisang pada pembuatan biocharcoal untuk menyerap logam timbal (Pb) dan zink (Zn) sehingga kedepannya dapat meminimalisir keberadaan logam-logam

berat dari limbah organik tersebut. Logam berat yang dibuang ke lingkungan cenderung tidak terdegradasi, tersirkulasi dan biasanya terakumulasi melalui rantai makanan yang merupakan ancaman bagi hewan dan manusia (Chen, dkk., 1996). Dampak dari keberadaan logam berat dalam organisme hidup dapat menghambat aktivitas enzim, termasuk sistem antioksidan (Jhon, dkk., 2009). Ion-ion logam berat bersifat toksik meskipun pada konsentrasi yang rendah (dalam ppm) dan umumnya sebagai polutan utama bagi lingkungan (Supriyanto, 2012).

Dengan penjelasan tersebut maka kualitas biocharcoal sangat dipengaruhi oleh bahan baku, dan cara pembakaran (Lehmann & Joseph, 2009). Limbah kulit buah kakao adalah salah satu bahan organik yang dapat dijadikan biocharcoal. Biocharcoal yang berasal dari bahan ini dapat digunakan sebagai adsorben untuk menangani masalah pencemaran air oleh limbah logam berat maupun limbah pencemar lainnya, seperti logam timbal (Pb). Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang memiliki tingkat toksisitas tinggi. Walaupun kandungan timbal di perairan rendah akan tetapi timbal diketahui dapat terakumulasi di dalam tubuh dan tetap tinggal dalam jangka waktu yang lama sehingga bersifat sebagai racun (Herlina & Wulandari, 2012).

Tulisan ini menyajikan hasil pengujian daya adsorpsi biocharcoal dari kulit buah kakao (*Theobroma cacao* L.) terhadap ion timbal dalam larutan aqua. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan waktu kontak optimum ion timbal dalam larutan terhadap daya adsorpsinya oleh biocharcoal, menentukan berat optimum biocharcoal kulit kakao terhadap daya adsorpsinya serta menentukan konsentrasi optimum ion timbal dalam larutan yang dapat diadsorpsi oleh biocharcoal kulit kakao

Metode

Alat Dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu neraca analitik, gelas ukur 100 mL, corong, Erlenmeyer 100 mL, gelas kimia, blender (Waring commercial), ayakan 200 mesh, pH meter, Spektrofotometer Spektrodirekt (Lovibond), shaker, botol semprot, aluminium foil, labu ukur, pipet ukur 10 mL dan 25 mL, pipet tetes, drum. Sedangkan untuk bahan yang digunakan yaitu biocharcoal kulit kakao, padatan Pb(NO₃)₂ (Riedel), aquades, HNO₃ (Smart lab), NH₄OH (Merck)

dan kertas saring Whatman 41.

Prosedur Kerja

Kulit kakao yang akan dijadikan sebagai sampel dibersihkan dari sisa-sisa kotoran dengan menggunakan air bersih lalu kulit kakao tersebut dikeringkan pada sinar matahari selama \pm 5 hari. Kemudian sampel kulit kakao yang telah kering dimasukkan ke dalam drum (alat pembuatan arang) dan sampel tersebut dibakar dengan kadar oksigen rendah sampai menjadi arang. Setelah menjadi arang, didinginkan lalu biocharcoal dihaluskan dengan blender dan diayak dengan ayakan 200 mesh.

Pengaruh Waktu Kontak Biocharcoal

Biocharcoal dengan berat 60 mg dicampurkan dengan 25 mL larutan timbal 62,55 ppm pada pH 4 ke dalam 5 tabung erlenmeyer 100 mL dan selanjutnya ditambahkan larutan HNO₃ dan NH₄OH (Alfian, 2007). Masing-masing tabung erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil dan dikocok menggunakan shaker dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit dan setelah itu didiamkan selama 24 jam. Filtrat dan residu dipisahkan melalui penyaringan menggunakan kertas saring Whatman 41. Larutan yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan Spektrofotometer Spektrodirect.

Pengaruh Berat Biocharcoal

Biocharcoal dengan berat 20, 40, 60, 80 dan 100 mg masing-masing dicampurkan dengan 25 mL larutan timbal 62,55 ppm pada pH 4 yang telah ditambahkan larutan HNO₃ dan NH₄OH (Alfian, 2007) dalam tabung erlenmeyer 100 mL. Tabung erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil dan dikocok menggunakan shaker dengan waktu optimum biocharcoal yang telah diperoleh dan didiamkannya selama 24 jam. Selanjutnya filtrat dan residu dipisahkan melalui penyaringan menggunakan kertas saring Whatman 41. Larutan yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan Spektrofotometer Spektrodirect.

Pengaruh Konsentrasi Larutan Timbal

25 mL larutan timbal 62,55 ppm diencerkan dalam 5 buah erlenmeyer menjadi konsentrasi berturut-turut 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm pada pH-nya menjadi 4 yang telah ditambahkan larutan HNO₃ dan NH₄OH (Alfian, 2007). Kemudian konsentrasi awal dari larutan ini diukur menggunakan

Spektrofotometer SpectroDirect. Masing-masing larutan timbal dimasukkan dalam tabung erlenmeyer 100 mL dan dicampur biocharcoal dengan berat optimum yang diperoleh pada percobaan sebelumnya. Erlenmeyer ditutup dengan aluminium foil dan selanjutnya dikocok menggunakan shaker dengan waktu optimum biocharcoal yang diperoleh pada percobaan sebelumnya dan setelah itu didiamkan selama 24 jam.

Filtrat dan residu dipisahkan dengan penyaringan menggunakan kertas saring Whatman 41. Larutan yang diperoleh diukur adsorbansinya dengan menggunakan Spektrofotometer Spektrodirect.

Analisis Data

Untuk menganalisa kapasitas adsorpsi digunakan persamaan (Natakusuma, 2014): dan % Pb terjerap = $C_b/C_i \times 100\%$; dimana C_b = konsentrasi Pb yang terjerap (mg/L), C_{eq} = konsentrasi Pb saat kesetimbangan (mg/L), C_i = konsentrasi Pb mula-mula (mg/L).

Hasil dan Pembahasan

Proses pembakaran kulit kakao berlangsung selama 30 menit pada kondisi oksigen rendah sampai menjadi arang. Setelah menjadi arang, sampel tersebut dibiarkan dingin dan kemudian sampel kulit kakao tersebut akan dihaluskan dengan cara diblender dan diayak menggunakan ayakan 200 mesh untuk menghasilkan ukuran partikel adsorben yang lebih halus atau yang memiliki luas permukaan yang optimal. Langkah tersebut sesuai dengan Oscik & Cooper (1982) yang menyatakan bahwa efisiensi adsorpsi merupakan fungsi luas permukaan adsorben. Semakin besar luas permukaan adsorben semakin besar pula kapasitas suatu adsorben dalam mengadsorpsi suatu adsorbat. Proses pengayakan ini merupakan tahap kerja terakhir pada proses pembuatan biocharcoal.

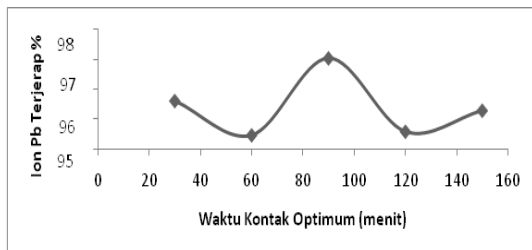
Dalam penelitian ini pH yang digunakan adalah pH 4, karena adsorpsi maksimum logam Pb terjadi pada pH 4. Hal ini terbukti dari penelitian yang sebelumnya yang dilakukan oleh (Darmayanti, 2012) pada variasi pH optimum, dimana penjerapan ion Pb pada sampel kulit pisang yaitu pada pH 4. Dan untuk pH 3 penjerapan timbal sangat kecil, sedangkan pada pH 5 – 7 peningkatan serapan timbal relatif tidak terlalu besar hingga terjadi serapan arang hayati aktif yang konstan atau serapan optimum terjadi pada pH 4.

Untuk jumlah logam timbal terserap (C_b)

oleh arang hayati kulit kakao adalah selisih konsentrasi ion timbal mula-mula (C_i) dengan konsentrasi ion timbal pada saat kesetimbangan (C_{eq}). Untuk memperoleh hasil serapan logam timbal yang maksimum maka diperlukan suatu kondisi optimum, yang sekaligus merupakan variabel penelitian seperti di bawah ini.

Variasi Waktu Kontak Biocharcoal Terhadap Adsorpsi Ion Timbal

Penentuan pada adsorpsi ion timbal pada variasi waktu kontak pada biocharcoal kulit buah kakao menggunakan waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Variasi waktu tersebut bertujuan untuk mengetahui berapa waktu optimum dari larutan timbal terhadap adsorben biocharcoal kulit kakao.



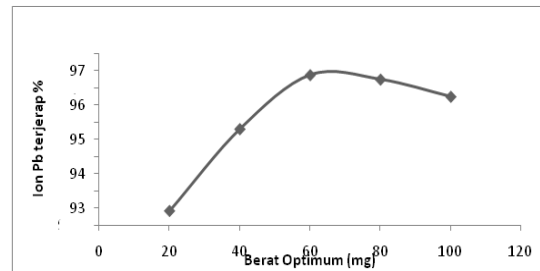
Gambar 1. Kurva Hubungan Antara Waktu Kontak (Menit) Terhadap % Ion Pb Terjerap

Dari data yang diperoleh pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pada waktu 30 menit sampai 60 menit terjadi penurunan penjerapan dari 96,30% menurun menjadi 95,73%. Hal ini dikarenakan ketidak efisiensinya proses penjerapan yang tidak aktif pada biocharcoal kulit kakao dengan larutannya. Faktor utama penyebabnya menurut Lestari (2010) diduga karena mengalami proses desorpsi, dimana ikatan lemah yang terjadi antara adsorben dengan ion logam akan lepas kembali ke dalam larutannya karena semakin lama waktu kontak. Dan pada rentang waktu 40 menit sampai 60 menit terjadi peningkatan yang tinggi pada penjerapan ion timbal dari 95,73% sampai 97,01%. Kemungkinan hal tersebut dikarenakan keaktifan penjerapan pada biocharcoal kulit kakao padalarutannya, dan proses penjerapan ini berlangsung sangat cepat dan efektif. Proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh besar kecilnya ukuran adsorben yang digunakan yang menyebabkan luas permukaan sentuhnya relatif besar sehingga terjadinya interaksi yang sangat efektif antara sisi aktif pada adsorben dengan ion logam (Khopkar, 2003). Dari gambar tersebut terlihat terjadi penurunan kembali pada menit 120, dimana proses penjerapan ion logam timbal sebesar 95,79% dan kembali naik

pada menit terakhir yaitu 150 sebesar 96,14%. Variasi waktu kontak antara ion logam dengan adsorben yaitu biocharcoal kulit kakao terbukti sangat mempengaruhi daya jerap ion logam timbal. Dimana semakin lama waktu kontak suatu sampel mengakibatkan penjerapan yang terjadi akan meningkat sampai mencapai waktu optimum dan setelah itu akan turun kembali pada waktu yang divariasikan. Maka dalam penelitian ini, waktu kontak optimum diperoleh pada menit ke 90 dimana penjerapan akan logam timbal diperoleh sebesar 97,01%.

Variasi Berat Biocharcoal Terhadap Adsorpsi Ion Timbal

Pemvariasi berat sampel biocharcoal dari kulit kakao diharapkan dapat mengadsorpsi ion logam timbal dan menunjukkan berat optimum. Variasi berat pada penelitian ini adalah 20, 40, 60, 80 dan 100 mg (Gambar 2).



Gambar 2. Kurva Hubungan antara Berat Biocharcoal (mg) terhadap % ion Pb terjerap

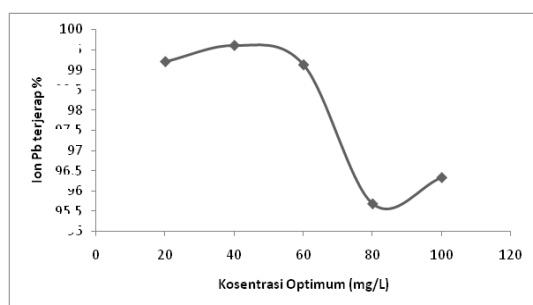
Dari data grafik tersebut menunjukkan peningkatan yang tinggi dari berat awal 20 mg sampai berat 60 mg. Peningkatan penjerapan ion timbal tersebut pada larutan adsorbennya sebesar 92,93% sampai 96,88%. Terjadinya peningkatan jerapan ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah adsorben yang berinteraksi dengan logam timbal. Hal ini juga terjadi karena pengaruh kerapatan sel adsorben dalam larutan sehingga menghasilkan interaksi yang cukup efektif antara pusat aktif dinding sel adsorben dengan ion logam timbal, sehingga semakin banyak zat penjerap maka semakin banyak pusat aktif biocharcoal yang bereaksi. Oleh sebab itu, pada saat jumlah adsorben diperbesar, perbandingan tersebut tidak lagi dipenuhi, sehingga berpengaruh terhadap aktifitas penjerapan ion logam timbal oleh adsorben (Radyawati, 2011).

Sedangkan pada berat setelah 60 mg terjadi penurunan sampai 100 mg. Dimana pada penambahan berat 80 mg daya jerap ion timbal adalah 96,75% dan pada penambahan 100 mg daya jerap ion timbal adalah 96,25%. Ini dikarenakan oleh ion logam timbal dalam

larutan telah teradsorpsi secara maksimal oleh biocharcoal. Permukaan adsorben sudah dalam keadaan jenuh dengan ion-ion logam timbal sehingga peningkatan berat adsorben relatif tidak lagi mempengaruhi peningkatan penyerapan ion logam oleh adsorben (Radyawati, 2011). Bertambahnya berat biocharcoal kulit kakao sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan arang biocharcoal kulit kakao sehingga bertambahnya sisi aktif adsorpsi dan efisiensi penyerapannya pun meningkat sedangkan kapasitas penyerapannya menurun dengan bertambahnya adsorben (Apriliani, 2010). Hal ini diperkuat oleh Baros, dkk (2003) yang menyatakan bahwa pada saat terjadipeningkatan massa adsorben, maka terdapat peningkatan presentase efisiensi penyerapan dan penurunan penyerapan. Oleh karena peningkatan jumlah logam timbal tidak maksimum dengan berat adsorben menyimpulkan bahwa peningkatan berat adsorben relatif tidak mempengaruhi jumlah ion timbal yang terjerap oleh adsorben (Radyawati, 2011).

Variasi Konsentrasi Larutan Terhadap Adsorpsi Ion Timbal Oleh Biocharcoal

Pada konsentrasi larutan, variasi yang digunakan adalah 20, 40, 60, 80 dan 100 ppm yang akan nantinya dilakukan pengolahan data untuk memperoleh konsentrasi larutan optimum.



Gambar 3. Kurva Hubungan antara konsentrasi larutan (mg/L) terhadap % ion Pb Terjerap

Pada Gambar 3 hasil data penelitian menunjukkan pengaruh konsentrasi logam timbal terhadap proses adsorpsi dengan memanfaatkan biocharcoal kulit kakao sebagai adsorben. Dari grafik tersebut diketahui peningkatan konsentrasi larutan pada rentang 20 ppm sampai 40 ppm terjadi peningkatan. Dimana daya jerap ion timbal yang diperoleh pada 20 ppm adalah 99,20% dan pada konsentrasi 40 ppm daya jerap ion timbal sebesar 99,60%. Ini dikarenakan bila konsentrasi suatu larutan dinaikkan maka akan menyebabkan

terjadinya peningkatan jumlah ion yang terikat pada adsorben sehingga nilai kapasitas penyerapannya meningkat (Apriliani, 2010). Hal ini pun dapat terjadi bila jumlah partikel adsorben biocharcoal kulit kakao lebih banyak dibandingkan dengan partikel ion logam timbal sehingga proses penyerapan akan bertambah.

Akan tetapi terjadi penurunan drastis pada konsentrasi larutan 60 ppm sampai 80 ppm. Dimana daya jerap ion timbal tersebut menurun mencapai 95,68%. Ini disebabkan meningkatnya konsentrasi ion logam, proses penyerapan yang terjadi pada sampel akan berkurang dan jumlah ion logam dalam larutan tidak akan sebanding dengan jumlah partikel biocharcoal kulit kakao sehingga permukaan biocharcoal kulit kakao akan mencapai titik jenuh dan kemungkinan terjadi proses pelepasan kembali antara adsorben dengan adsorbat. Hal tersebut dapat dilihat dari konsentrasi larutan pada Gambar 3 dan terjadi peningkatan kembali pada konsentrasi larutan 100 ppm dimana daya jerap yang diperoleh sebesar 96,33%.

Jerapan dipengaruhi oleh konsentrasi larutan, karenanya semakin besar konsentrasi larutan maka penyerapan Pb juga akan semakin bertambah sampai batas konsentrasi tertentu. Dalam hal ini adsorben belum jenuh dengan zat terjerap yaitu ion timbal maka dengan memperbesar konsentrasi ion logam timbal jumlah ion logam yang terjerap akan meningkat secara linear. Selanjutnya jika pusat aktif telah jenuh dengan ion logam maka peningkatan konsentrasi ion logam relatif tidak meningkatkan penyerapan ion logam oleh adsorben (Radyawati, 2011).

Kesimpulan

Waktu kontak optimum pada pemvariasi waktu adalah pada waktu 90 menit, dimana daya jerap ion Pb sebesar 97,01% dan berat Pb yang terjerap adalah 25,28 mg/g. Berat optimum pada pemvariasi berat adalah pada berat 60 mg dimana penyerapan ion timbal yang terjerap 96,88% dan berat Pb yang terjerap 25,25 mg/g. Daya adsorpsi optimum pada pemvariasi konsentrasi adalah pada konsentrasi 40 ppm dimana penyerapan ion timbal yang diperoleh sebesar 99,60% dan berat Pb yang terjerap 10,38 mg/g.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala laboran laboratorium Agroteknologi FAPERTA, kepala laboratorium Pendidikan Kimia FKIP dan semua pihak yang telah

membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- Alfian, Z. (2007). Pengaruh pH dan penambahan asam terhadap penentuan kadar unsur kromium dengan menggunakan metode spektrofotometri serapan atom. *Jurnal Sains Kimia*, 11(1), 37-41.
- Apriliani, A. (2010). *Manfaat arang arang dari ampas tebu untuk menyerap ion logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam air limbah*. Skripsi. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Ashadi, R. W. (1998). *Pembuatan gula cair dari pod coklat dengan menggunakan asam sulfat, enzim, serta kombinasi keduanya*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian.
- Baros, L. M., Macedo, G. R., Duarte, M. M., & Lobato. (2003). Biosorption of cadmium using the fungus *aspergillus niger*. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 20(3), 501-523
- BPS. (2013). *Sulawesi Tengah dalam angka*. Palu: Kantor Pusat Statistik Provinsi Sulawesi Tengah.
- Cahyaningtyas, W. P., & Sumantri, I. (2012). Pengaruh penambahan biochar limbah pertanian dan pestisida pada inkubasi tanah inceptisol untuk menekan emisi gas metana sebagai gas rumah kaca. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1(1), 521-527.
- Chen, J. P., Chen, W. R., & Hsu, R. C. (1996). Biosorption of copper from aqueous solution by plant root tissues. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 81(5), 458-463.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., & Engelhard, M. H. (2007). Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Journal Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(2008), 1598-1610.
- Darmayanti. (2012). Adsorpsi timbal dan zink dari larutannya menggunakan arang hayati (biocharcoal) kulit pisang kepok berdasarkan variasi pH. *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4), 159-165.
- Dinas Perkebunan Daerah Sulawesi Tengah. (2012). *Luas areal tanaman menurut keadaan*. Palu: Dinas Perkebunan.
- Herlina, L., & Wulandari, M. (2012). Penentuan timbal (II) dalam sampel air dengan pengembangan metode ekstraksi fasa padat dan prakonsentrasi oleh ion imprinted polymers (IIPs). *Jurnal Teknobiologi*, 3(2), 127-133.
- John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., & Sharma, S. (2009). Heavy metal toxicity: Effect on plant growth, biochemical parameters and metal accumulation by brassica juncea L. *International Journal of Plant Production*, 3(3), 65-76.
- Kawasaki, N., Bun-ei, R., Ogata, F., Nakamura, T., Tanei, S., & Tanada, S. (2006). Water treatment technology using carbonaceous material produced from vegetable biomass. *Journal of Water and Environment Technology*, 4(1), 78-82.
- Khopkar. (2003). *Konsep dasar kimia analitik*. Jakarta: UI-Press.
- Kurniansyah, A., Nugraha, R., & Handoko, W. A. (2011). *Fermentasi limbah kulit buah kakao sebagai sumber protein alternatif dalam pakan ikan*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian.
- Latuponu, H., Shiddieq, D., Syukur, A., & Hanudin. (2011). Pengaruh biochar dari limbah sagu terhadap pelindian nitrogen di lahan kering masam. *Jurnal Agronomika*, 11(2), 144-155.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management. *Jurnal Agronomika*, 11(2), 144-155.
- Lestari, S. (2010). Pengaruh berat dan waktu kontak untuk adsorpsi timbal(II) oleh adsorben dari kulit batang jambu biji (*psidium guajaval*). *Jurnal Kimia Mulawarman*, 8(1), 7-10.
- Natakusuma, G. Y. (2014). *Biocharcoal dari kulit durian (*Durio zibethinus* Murr) untuk mengadsorpsi ion kadmium*. Skripsi. Palu: Universitas Tadulako.

- Oscik, J., & Cooper, L. (1982). *Adsorption*. New York: Ellis Horwood limited John Wiley and Sons.
- Radyawati. (2011). *Pembuatan biocharcoal dari kulit pisang kepok untuk penyerapan logam timbal (pb) dan logam seng (zn)*. Skripsi. Palu: Universitas Tadulako.
- Supriyanto, R. (2012). Studi analisis spesiasi ion logam Cr(III) dan Cr(VI) dengan asam tanat dari ekstrak gambir menggunakan spektrometri UV-Vis. *Jurnal Sains MIPA*, 17(1), 35-42.
- Suryani, D., & Zulfebriansyah. (2007). Komoditas kakao, potret dan peluang pembiayaan. *Jurnal Media Litbang Sulteng*, 2(1), 07-14.
- Tambunan, S., Handayanto, E., & Siswanto, B. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering malang selatan. *Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan*, 1(1), 89-98.