



## REVIEW : POTENSI PEMANFAATAN BIOCHAR UNTUK MEREMEDIASI LAHAN BEKAS TAMBANG DI INDONESIA

Shinta Elvita Bella<sup>1)</sup>, Moli Monikasari<sup>1)</sup>, Zulkardesi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Andalas  
Korespondensi: [shintaelvita1022@gmail.com](mailto:shintaelvita1022@gmail.com)

Diterima : 21 Oktober 2020  
Disetujui : 25 Juni 2021  
Diterbitkan : 31 Agustus 2021

### ABSTRAK

Aktivitas penambangan di lahan produktif pertanian yang dilakukan masyarakat dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan, diantaranya limbah yang dihasilkan oleh aktivitas penambangan menyebabkan tanah di areal sekitar penambangan mengandung logam berat dan peningkatan degradasi lahan. Untuk itu, perlu dilakukannya upaya remediasi lahan bekas tambang untuk memulihkan kontaminasi logam berat serta memperbaiki sifat tanah bekas tambang agar produktif kembali. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai potensi *biochar* dalam upaya meremediasi lahan bekas tambang. Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode studi pustaka dan metode analisa data yang digunakan pada *literature review* yaitu *simplified approach*. Hasil studi pustaka dari beberapa jurnal dan artikel mengungkapkan bahwa aplikasi *biochar* telah banyak dimanfaatkan dan memberi pengaruh yang nyata dalam menurunkan mobilitas dan ketersediaan logam berat pada tanah dan tanaman dengan berbagai mekanisme. Dan yang tak kalah penting, sebagian besar peneliti saat ini telah menunjukkan bahwa *biochar* merupakan inovasi terbaru dan berkelanjutan yang dapat dimanfaatkan dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah bekas tambang hingga pada akhirnya dapat meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Dapat disimpulkan bahwa temuan peneliti-peneliti tersebut membuktikan bahwa inovasi amelioran *biochar* sangat menjanjikan dan bermanfaat untuk masa depan dalam meremediasi lahan bekas tambang guna mengurangi luas lahan terdegradasi dan mewujudkan keberlanjutan ketahanan pangan di Indonesia.

**Kata Kunci:** *Biochar*, tambang, logam berat, remediasi

### ABSTRACT

*Mining activities on agricultural productive land carried out by the community can have an impact on the environment, including the waste generated by mining activities causing the land in the area around the mining to contain heavy metals and an increase in land degradation. For this reason, it is necessary to undertake remediation of ex-mining areas to restore heavy metal contamination and to improve the properties of ex-mining soils to make them productive again. This paper aims to provide information about the potential of biochar*



*in an effort to remediate ex-mining land. The method used in this paper is the literature study method and the data analysis method used in this review literature is a simplified approach. The results of literature studies from several journals and articles reveal that the application of biochar has been widely used and has had a significant effect in reducing the mobility and availability of heavy metals in soil and plants by various mechanisms. And last but not least, most researchers today have shown that biochar is a renewable and sustainable innovation that can be utilized in improving the physical, chemical and biological properties of ex-mining soils, which in turn can increase plant growth and productivity. It can be concluded that the findings of these researchers prove that the biochar ameliorant innovation is very promising and beneficial for the future in remediating ex-mining land in order to reduce degraded land areas and achieve sustainable food security in Indonesia.*

***Keywords: biochar, mining, heavy metal, remediation***

---

## PENDAHULUAN

Limbah yang dihasilkan oleh aktivitas penambangan mengandung berbagai unsur yang berbahaya bagi kehidupan manusia, salah satu diantaranya adalah logam berat. Kontaminasi logam berat ke lingkungan khususnya pada tanah telah menimbulkan keprihatinan publik dalam beberapa dekade ini. Logam berat yang terdapat pada tanah menimbulkan masalah serius terhadap penurunan kualitas tanah. Selain itu, permasalahan yang dapat ditimbulkan akibat kandungan logam berat pada tanah adalah sifat logam berat yang tidak dapat terurai di tanah sehingga dapat menimbulkan akumulasi logam berat dalam produk pertanian melalui serapan logam berat oleh tanaman hingga ke rantai makanan. Sehingga akan menimbulkan resiko buruk terhadap kesehatan makhluk hidup jika terakumulasi ke dalam tubuh.

Menurut Sudarmaji (2006), apabila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan akhirnya menuju kepada manusia sehingga menimbulkan berbagai macam penyakit pada manusia khususnya gangguan pada system syaraf. Efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, dan menyebabkan alergi (Suyanto, 2010).

Bentuk kerusakan lahan lainnya yang ditimbulkan akibat kegiatan pertambangan adalah terjadinya penurunan kualitas sifat kimia tanah. Tanah bekas tambang memiliki masalah kimia tanah yang berhubungan dengan rendahnya kemasaman tanah (pH), kandungan bahan organik yang rendah dan kandungan unsur hara yang rendah. Sehingga tanah memiliki tingkat kesuburan yang rendah dan kurang produktif. Untuk itu, perlu



dilakukannya upaya remediasi lahan bekas tambang untuk memulihkan kontaminasi logam berat serta memperbaiki sifat kimia tanah bekas tambang agar produktif kembali.

Berbagai upaya dilakukan untuk memulihkan kontaminasi logam berat dan memperbaiki sifat kimia tanah akibat aktivitas penambangan, diantaranya dengan pemberian bahan amelioran tanah. Berbagai bahan amelioran telah dikembangkan, salah satunya adalah *biochar*. *Biochar* yang sering disebut dengan *Biomassa Charcoal*, merupakan arang hayati dari pembakaran tidak sempurna (Pirolisis) yang dapat dijadikan sebagai amelioran tanah. Manfaat *biochar* sebagai pembenah tanah terletak pada dua sifat utamanya, yaitu mempunyai afinitas yang tinggi terhadap hara dan persisten dalam tanah.

Penerapan *biochar* berpotensi untuk memberi solusi baru dalam memperbaiki tanah yang telah tercemar oleh logam berat. *Biochar* memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan secara nyata penyerapan logam berat oleh tanaman dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Ippolito *et al.*, 2012). *Biochar* digunakan sebagai amandemen untuk menstabilkan logam berat di tanah serta menghambat akumulasi logam berat oleh tanaman (Puga *et al.*, 2015). Oleh karena itu perlu adanya pembahasan lebih luas mengenai kemampuan *biochar* dalam memulihkan kontaminasi logam berat serta memperbaiki sifat tanah bekas tambang. Pemanfaatan *biochar* diharapkan mampu meremediasi lahan bekas tambang dan mengurangi tingkat pencemaran tanah.

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang potensi *biochar* dalam upaya meremediasi lahan bekas tambang di Indonesia. Sehingga lahan menjadi produktif kembali dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat menjadi lahan pertanian. Selain itu, upaya remediasi lahan tambang juga diharapkan dapat berguna untuk mewujudkan keberlanjutan ketahanan pangan mengingat angka pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat disetiap tahunnya. Selain itu, dapat terwujudnya kesediaan pangan yang memiliki mutu yang baik, aman, dan menyehatkan apabila dikonsumsi oleh masyarakat.

## METODE PENULISAN

Metode yang digunakan pada literature review melalui pendekatan sistematis untuk melakukan analisa data secara *simplified approach*, dengan menelusuri hasil penelitian eksperimen dari jurnal dan artikel berbahasa Inggris dan berbahasa Indonesia. Artikel yang digunakan difokuskan pada artikel *original empirical research* atau artikel penelitian yang



berisi hasil dari pengamatan aktual atau eksperimen dimana terdapat abstrak, pendahuluan, metode, hasil, dan diskusi. Strategi pencarian artikel dan jurnal penelitian yaitu dengan menggunakan database antara lain *Science Direct*, *Research Gate*, dan *Springer Link*. Adapun kata kunci dalam menemukan proses pencarian artikel dan jurnal, yaitu *biochar*, *heavy metal*, *application*, *soil*, *amandement*, *reclamation*, *land mining*, *plant growth*, *remediasi*, *lahan bekas tambang*, *logam berat*, *tanah*, dan *tanaman*. Sehingga diperoleh 234 jurnal dan artikel penelitian. Dalam 234 jurnal dan artikel, hanya sekitar 156 jurnal dan artikel yang relevan untuk membantu dalam tahap pembahasan.

Data inklusi untuk menentukan kriteria bahan literature review, yaitu: 1) penelitian eksperimen, 2) Artikel asli dari sumber utama (*primary source*). 3) Artikel penelitian yang terbit pada tahun 2005 sampai tahun 2019, 4) Topik percobaan dalam artikel dan jurnal adalah pemanfaatan *biochar* dalam memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman. Adapun data eksklusi adalah: 1) Artikel diluar topik pemanfaatan *biochar* dalam memperbaiki sifat tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman, 2) Artikel diterbitkan sebelum tahun 2013, 3) Artikel *literature review*. Analisa data yang gunakan pada *literature review* ini yaitu *simplified approach*. *Simplified approach* merupakan analisa data dengan cara melakukan kompilasi dari setiap artikel yang didapat dan menyederhanakan setiap hasil penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengaruh *Biochar* Terhadap Sifat Tanah Bekas Tambang

Aplikasi *biochar* telah banyak dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas tanah, baik itu sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pengaruh aplikasi *biochar* terhadap tanah bekas tambang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Aplikasi *Biochar* Pada Dosis Yang Berbeda Terhadap Tailing Tambang.

Jenis <i>Biochar</i>	Dosis <i>Biochar</i>	Jenis Limbah	Pengaruh	Referensi
Kayu pinus	0%, 10%, 20%, dan 30%.	Tailing tambang batuan	Meningkatkan pH, Kandungan bahan organik, aktivitas mikroorganisme tanah, Nitrogen (NO <sup>3-</sup> )	Kelly <i>et al.</i> , 2014
Kulit pisang	4 t/ha	Tailing tambang emas	Meningkatkan pH, karbon organik, basa-basa (Ca, Mg, Na) dan KTK tanah.	Sulakhudin <i>et al.</i> , 2017



Kayu jarrah	0 t/ha, 37 t/ha, dan 74 t/ha.	Tanah tambang bijih besi	Meningkatkan pH, karbon total, C/N, dan aktivitas mikroba tanah.	Reverchon <i>et al.</i> , 2014
Residu buah-buahan	1%, 5%, dan 10%.	Tailing tambang	Meningkatkan kemampuan tanah dalam memegang air, meningkatkan kandungan bahan organik, pH, Kapasitas Tukar Kation Tanah.	Fellet <i>et al.</i> , 2011.

Penjelasan dari Tabel 1, bahwa pengaplikasian *biochar* cukup efektif dalam memperbaiki sifat kimia tanah bekas tambang, salah satunya dalam meningkatkan pH tanah. Menurut Yuan *et al.* (2011) dan Fidel *et al.* (2017) *biochar* mengandung zat alkali dan memiliki pH yang tinggi yang dapat digunakan sebagai amelioran alternatif untuk mengurangi tingkat kemasaman tanah. Terdapat empat kategori bagian alkali dari *biochar* yang telah diidentifikasi diantaranya kelompok fungsional organik permukaan, kation dari karbonat, senyawa organik terlarut, dan basa anorganik lainnya (Fidel *et al.*, 2017).

Selain itu, pengaplikasian *biochar* juga mampu meningkatkan kandungan karbon tanah. Peningkatan karbon tanah oleh *biochar* diduga disebabkan karena adanya sumbangan karbon organik dari *biochar* yang diberikan kepada tanah. Sumbangan karbon organik tersebut akan meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, karena karbon organik ini merupakan sumber energi dari mikroorganisme tersebut yang akan melakukan proses dekomposisi. Berhubungan dengan adanya peningkatan karbon tanah yang demikian, akan berpengaruh terhadap peningkatan kandungan hara (N, P, K, Ca, Mg) dan kapasitas tukar kation pada tanah.

Meningkatnya kandungan Nitrogen pada tanah akibat pengaplikasian *biochar* disebabkan oleh kemampuan *biochar* dalam meretensi N dan mengurangi pencucian N. Pernyataan tersebut didukung oleh pernyataan dari Major *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa pemberian *biochar* mampu meningkatkan retensi N di dalam tanah sehingga mengurangi pencucian N dimaksud. Fellet *et al.* (2011) juga melaporkan bahwa pengaplikasian *biochar* pada tanah tambang mampu meningkatkan kemampuan tanah dalam memegang air. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian Sukartono dan utomo (2012). Menurut Sukartono dan Utomo (2012), adanya peningkatan kapasitas air tersedia sekitar 16% akibat penambahan *biochar* kotoran sapi. Hal tersebut telah menunjukkan adanya pengaruh pemberian *biochar* terhadap sifat fisik tanah..



## B. Pengaruh *Biochar* Pada Tanah Terkontaminasi Logam Berat

Kegiatan penambangan pada umumnya menghasilkan limbah yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dalam bentuk *tailing*. *Tailing* mengandung logam-logam berat yang mengkhawatirkan lingkungan. Akumulasi logam berat pada tanah bekas tambang akan menyebabkan terjadinya pencemaran pada tanah. Akumulasi logam berat dapat menurunkan kualitas tanah dan berdampak buruk bagi tanaman, hewan, manusia, serta ekosistem. Logam berat memiliki sifat tidak *biodegradable*, dan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama pada tanah. Sehingga untuk menghilangkan logam berat tersebut dibutuhkan waktu yang relative lama. Oleh karena itu, langkah tepat yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi mobilitas dan ketersediaan logam berat pada tanah.

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi remediasi tanah yang terkontaminasi logam berat berbasis *biochar* telah berkembang pesat. Sebagian besar peneliti (Meier *et al.*, 2017; Ahmad *et al.*, 2013; Houben *et al.*, 2013; Xing *et al.*, 2019) telah menunjukkan bahwa pengaplikasian *biochar* dapat menurunkan mobilitas dan ketersediaan logam berat pada tanah. Adapun mekanisme *biochar* dalam mengurangi jumlah logam berat pada tanah berkaitan dengan sifat yang dimiliki oleh *biochar* tersebut, diantaranya memiliki jumlah pori yang banyak, pH tinggi, dan gugus permukaan fungsional yang aktif. Mekanisme remediasi logam berat pada tanah oleh *biochar* diantaranya adsorpsi fisik, pertukaran ion, interaksi elektrostatis, kompleksasi, dan presipitasi (Wang *et al.*, 2019).

Tabel 2. Pengaruh Pemberian *Biochar* Terhadap Kadar Logam Berat Pada Tanah.

Jenis <i>Biochar</i>	Suhu Pirolisis	Logam Pencemar	Pengaruh	Referensi
Kotoran ayam	500°C	Cu	Mengurangi konsentrasi Cu dalam tanah dan air pori tanah.	Meier <i>et al.</i> , 2017
Pohon oak	400°C	Pb	Mengurangi konsentrasi Pb hingga 75,8% pada tanah.	Ahmad <i>et al.</i> , 2013
<i>Miscanthus</i>	600°C	Cd, Pb, dan Zn	Menurunkan kandungan Cd, Pb, dan Zn pada tanah masing-masing hingga 71, 92, dan 87%.	Houben <i>et al.</i> , 2013.
Sekam padi	550 °C dan 600 °C	Hg	Mengurangi jumlah Hg total	Xing <i>et al.</i> , 2019.



Potensi pemanfaatan *biochar* dalam meremediasi tanah yang terkontaminasi logam berat pada limbah tambang telah dilakukan oleh banyak peneliti. Dapat dilihat pada Tabel 2, atas dasar penelitian dari Xing *et al.* (2019), pengaplikasian *biochar* sekam padi pada tanah bekas tambang emas di salah satu daerah di China memberi dampak pengurangan jumlah total Hg pada tanah. Penurunan kandungan Hg tersebut menunjukkan bahwa Hg dapat terikat (teradsorpsi) melalui permukaan *biochar* melalui kompleksasi logam Hg oleh gugus fungsional dari *biochar* dan adanya adsorpsi pertukaran ion. Kompleksasi dengan gugus karboksilat dan fenolik adalah mekanisme dominan untuk penyerapan Hg oleh *biochar* (Dong *et al.*, 2013). Kelompok fungsional seperti karboksilat, amino dan hidroksil memainkan peran penting dalam penyerapan logam dimana suhu pirolisis dan bahan baku *biochar* adalah dua faktor utama yang mempengaruhi jumlah gugus fungsional pada permukaan *biochar* (Li *et al.*, 2017). Tidak hanya berdampak terhadap pengurangan jumlah logam Hg, pengaplikasian *biochar* juga berdampak nyata terhadap pengurangan jumlah logam lainnya seperti Cu, Pb, Cd, dan Zn.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai aplikasi *biochar* pada tanah yang terkontaminasi logam berat yang disajikan pada Tabel 2., dapat dikatakan bahwa *biochar* merupakan salah satu bahan adsorben yang cukup efektif untuk dapat dimanfaatkan dalam mengurangi jumlah logam berat yang ada di dalam tanah. Hasil penelitian dari Fellet *et al.* (2011) yang menyatakan bahwa *biochar* yang bersifat lebih tahan terhadap dekomposisi dibandingkan jenis bahan organik lainnya, akan mengurangi tingkat kontaminan dalam jangka waktu yang lebih lama sehingga dapat melindungi tanaman terhadap toksisitas dalam jangka waktu yang lama.

### **C. Pengaruh *Biochar* Terhadap Serapan Logam Berat Dan Pertumbuhan Tanaman**

Dalam banyak penelitian, baik dalam skala pot maupun dalam skala lapangan, *biochar* telah terbukti meningkatkan hasil panen yang lebih baik jika dibandingkan dengan kontrol. Pengaplikasian *biochar* telah memberi pengaruh peningkatan hasil panen pada tanah-tanah yang memiliki kualitas yang rendah. Peningkatan hasil panen tersebut disebabkan oleh adanya peningkatan kualitas tanah oleh *biochar*, seperti peningkatan pH tanah, kandungan nutrisi tanah, daya retensi terhadap unsur hara tanah, serta adanya potensi perbaikan sifat fisik dan biologi tanah.



Hasil penelitian Zhang *et al.* (2010) menunjukkan pengaplikasian *biochar* jerami gandum dengan dosis 10 ton/ha memberikan pengaruh peningkatan hasil panen tanaman padi (*Oryza sativa L.*) 9% dan pada dosis 40 ton/ha memberikan pengaruh peningkatan hasil panen tanpa adanya pemupukan N. Selain itu, Chan *et al.* (2008) juga telah membuktikan bahwa pengaplikasian *biochar* kotoran unggas dengan suhu pirolisis 450°C dan 500°C mampu meningkatkan hasil tanaman lobak (*Raphanus sativus*). Tidak hanya itu, dalam penelitian ini juga mengungkapkan bahwa *biochar* kotoran unggas dengan suhu pirolisis 450°C lebih efektif dalam memberikan peningkatan hasil tanaman dibandingkan *biochar* yang diproduksi dengan suhu 500°C.

Peningkatan hasil panen tanaman akibat pemberian *biochar* disebabkan oleh adanya kemampuan *biochar* dalam meningkatkan serapan hara N, P, dan K tanaman, dimana unsur hara tersebut dibutuhkan oleh tanaman baik itu pada fase vegetatif maupun pada fase generatif. Sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Tidak hanya berpengaruh terhadap serapan hara oleh tanaman, pemberian *biochar* juga berpengaruh terhadap serapan logam berat oleh tanaman. Berdasarkan hasil penelitian Buss *et al.* (2012), pemberian *biochar* residu hutan dengan dosis 2% dan 4% memberi pengaruh terhadap penyerapan logam Cu oleh tanaman Quinoa (*Chenopodium quinoa*). Pengaruh *biochar* dalam mengurangi serapan logam berat oleh tanaman juga dibuktikan dari hasil penelitian Xing *et al.* (2019) tentang akumulasi merkuri pada tanaman padi dengan menggunakan bahan amelioran *biochar* sekam padi. Mekanisme yang terjadi dari pengurangan Hg pada jaringan tanaman akibat pemberian *biochar* sekam padi diasumsikan terkait dengan adanya kompleksasi Hg oleh gugus fungsional dan adanya adsorpsi pertukaran ion dari *biochar* pada tanah.

Pemanfaatan *biochar* diharapkan mampu meremediasi tanah yang terdegradasi dan tercemar logam berat. Sehingga lahan menjadi produktif kembali dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk membudidayakan tanaman. Dengan kata lain, upaya remediasi tanah yang terdegradasi dan tercemar logam berat diharapkan dapat berguna untuk mewujudkan keberlanjutan ketahanan pangan di Indonesia, mengingat angka pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat disetiap tahunnya. Selain itu, semakin meningkatnya ketersediaan pangan yang memiliki mutu yang baik, aman, dan menyehatkan apabila dikonsumsi oleh masyarakat, maka menjadikan dayajuang yang tinggi dan kualitas berpikir yang cerdas.





## KESIMPULAN

Berdasarkan literatur yang telah dipaparkan, *biochar* telah terbukti berperan dalam memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah serta mengurangi kontaminasi logam berat dengan beberapa mekanisme. Pengaplikasian *biochar* juga mampu meningkatkan produktivitas tanaman sejalan dengan terjadinya pemulihan kualitas lahan. Lebih jauh, hal tersebut dapat mewujudkan keberlanjutan ketahanan pangan di Indonesia dan meningkatnya ketersediaan pangan yang memiliki mutu yang baik, aman, dan menyehatkan apabila dikonsumsi oleh masyarakat. Perlu dilakukan lanjutan dengan menguji kemampuan adsorpsi *biochar* maksimal terhadap logam berat serta perlu adanya peninjauan mengenai kelemahan dan tantangan serta pembentukan standar baku *biochar* sebelum diaplikasikan dalam skala besar mengingat bahwa sifat *biochar* sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor.

## REFERENSI

- Ahmad, M, Soo, L. S., Yang, J.E., Ro, H. M., Han, L.Y., and Ok, Y. S. 2012. Effects of soil dilution and amendments (mussel shell, cow bone, and *biochar*) on Pb availability and phytotoxicity in military shooting range soil. *Ecotoxicol Environ Saf.* 79: 225–231.
- Buss, W., Kammann, C., and Koyro, H-W. 2012. *Biochar* reduces copper toxicity in *Chenopodium quinoa* in sandy soil. *Journal of Environmental Quality.* 41: 1157-1165
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Aust. J. Soil Re.* 46: 437–444.
- Fellet. G., L. Marchiol, G. D. Vedove and A. Pressotti. 2011. Application of *Biochar* on Mine Tailings: Effects and Perspectives for Land Reclamation. *Chemosphere.* 83(2011): 1262-1267.
- Fidel, R. B., Laird, D. A., Thompson, M. L., and Lawrineko, M. 2017. Characterization and Quantification of *Biochar* Alkalinity. *Chemosphere.* 167: 367-373.
- Gregory, S.J., Anderson, C.W.N., Arbostain, M.C., McManus, M.T., 2014. Response of plant and soil microbes to *biochar* amendment of an arsenic-contaminated soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191: 133–141.
- Houben, D., Laurent E., and Philippe S. 2013. Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with *biochar*. *Chemosphere.* 92: 1450–1457.
- Ippolito, J.A., Novak, J.M., Busscher, W.J., Ahmedna, M., Rehrah, D., and Watts, D.W. 2012. Switchgrass *Biochar* Affects Two Aridisols. *J. Environ. Qual.* 41: 123-30.
- Kelly, C. N., Christopher, D. P., Mark, S., David, W. R., and Colleen, E. R. 2014. *Biochar* Application to Hardrock Mine Tailings: Soil Quality, Microbial Activity, and Toxic Element Sorption. *Applied Geochemistry.* 43: 35-48.



- Leermakers, M., Baeyens, W., Quevauviller, P., and Horvat, M. 2005. Mercury In Environmental Samples: Speciation, Artifacts and Validation. *TrAC Trend Anal Chem.* 24: 383-393.
- Li, H., Dong, X., da Silva, E. B., de Oliveira, L. M., Chen, Y., and Ma, L. Q. 2017. Mechanism of Metal Sorption by *Biochars*: *Biochar* Characteristics and Modifications. *Chemosphere.* 178: 466-478.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S.J., and Lehmann, J. 2012. Nutrient Leaching in a Colombian Savanna Oxisol Amended with *Biochar*. *Environ. Qual.* 41: 1076-1086.
- Man, Y., Yin, R., Cai, K., Qin, C., Wang, J., Yan, H., and aLi, M., 2019. Primary Amino Acids Affect the Distribution of Methylmercury Rather Than Inorganic Mercury Among Tissues of Two Farmed-Raised Fish Species. *Chemosphere.* 225: 320-328.
- Meier, S., Curaquoeo, G., Khan, N., Bolan, N., Rilling, J., and Vidal, C. 2017. Effects of *Biochar* on Copper Immobilization and Soil Microbial Communicaties in a Metal Contaminated Soil. *J. Soil Sediments.* 17: 1237-1250.
- Puga, A.P., Abreu, C.A., Melo, L.C.A., and Beesley, L., 2015. *Biochar* application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. *J. Environ. Manag.* 159: 86–93.
- Reverchon, F., Yang, H., Ho, T. Y., Yan, G., Wang, J., Xu, Z., Chen, C., and Zhang, D. 2015. A preliminary assessment of the potential of using an acacia-*biochar* system for spent mine site rehabilitation. *Environ Sci Pollut R.* 22: 2138–2144.
- Sudarmaji, J. Mukono, Corie, 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan.* Vol. 2: 129 -142.
- Sukartono dan W. H. Utomo. 2012. Penerapan *Biochar* Sebagai Pembenh Tanah pada Pertanian Jagung di Tanah Lempung Berpasir (Sandy Loam) Semiarid Tropis Lombok Utara. *Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Kelaman: Buana Sains.* Tribhuana Press. Vol. 12: No. 1. Hal: 91-98.
- Sulakhudin, Denah, S., and Muhammad, H. 2017. The Effect of Ameliorants on Improvent of Soil Fertility in Post Gold Mining Land at West Kalimantan. *Journal of Degradation and Mining Lands Management.* 4: 873-880.
- Suyanto, A., Sri, K., dan Ch, Retnaningsih. 2010. Residu Logam Berat Ikan Dari Perairan Tercemar di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Pangan dan Gizi.* Vol. 1: 2.
- Wang, Y., Ma, X., Zhan, Wang, J., Cheng, S., Ren, Q., Zhan, W., and Wang, Y., 2019. Effects of mercapto-functionalized nanosilica on Cd stabilization and uptake by wheat seedling (*Triticum aestivum L.*) in an agricultural soil. *B. Environ. Contam. Tox.* 103: 860–864.
- Xing, Y., Jianxu, W., Sabry, M. S., Xinbin, F., Zhuo, C., and Hua, Z. 2019. Mitigation of Mercury Accumulation in Rice Using Rice Hull-Derived *Biochar* as Soil Amandement: a Field Investigation. *Journal of Hazardous Materials.*
- Yuan, J.H., Xu, R. K., and Zhang, H. 2011. Comparison of The Ameliorating Effects on an Acidic Ultisol Between Four Crop Straws and Their *Biochar*. *Journal of soil and sediment.* 102: 3488-3497.
- Zhang, A., Liqiang C., Gengxing P., Lianqing L., Qaiser H., Jinwei Z., David C., and Xuhui Z. 2010. Effect of *biochar* amendment on yield and methane and nitrous oxide



emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China Agriculture. *J. Ecosystems and Environment*. 139: 469–47.

Zheng, R.L., Chen, Z., Cai, C., Wang, X., Huang, Y., Xiao, B., and Sun, G., 2013. Effect of *biochars* from rice husk, bran, and straw on heavy metal uptake by pot-grown wheat seedling in a historically contaminated soil. *Bioresources*. 8: 5965–5982.