

# Pengaruh Penambahan Biochar dari Lignite pada Tanah Bekas Penambangan Batubara terhadap Potensi Immobilisasi Logam Seng (Zn) Menggunakan *Batch Experiment*

Muhammad Haviz<sup>1,\*</sup>, Areva Fatiha Nur<sup>2</sup>, Damris Muhammad<sup>2</sup>, Maria Fransisca Vabylita<sup>1</sup>,  
Lusmeilia Afriani<sup>3</sup>, Ashruri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Muaro Jambi, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

\*E-mail: muhammadhaviz@eng.unila.ac.id

## Abstrak

Logam berat merupakan salah satu pencemar yang dihasilkan dari kegiatan pertambangan yang terdiri atas Zn, Cd, Pb, Cu dan As. Mobilisasi dari logam berat pada lahan tercemar, seperti pada lahan bekas tambang batubara dapat menimbulkan kerusakan pada lingkungan dan kesehatan manusia. Penambahan *biochar* pada tanah merupakan salah satu cara yang digunakan untuk immobilisasi logam berat. *Lignite* merupakan salah satu bahan baku *biochar*. Selama ini, lignite sangat jarang digunakan pada proses pembakaran karena karakteristiknya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sampel tanah dari salah satu lokasi bekas penambangan batubara di Kecamatan Muaro Bulian, Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan dosis *biochar* yang optimal dalam immobilisasi logam berat Zn. Sampel tanah memiliki pH yang cukup rendah, yaitu sekitar 4,9. Inkubasi logam berat Zn dengan menggunakan *biochar* dapat meningkatkan pH tanah hingga 7,2. Inkubasi tanah dengan *biochar* dilakukan dengan menggunakan variasi konsentrasi *biochar* 0, 5, 10 dan 15% selama 0, 2, 4 dan 8 pekan. Immobilisasi paling tinggi terjadi pada konsentrasi *biochar* 5% dan pekan ke-4 dengan kapasitas penyerapan Zn sebesar 0,0043 mg/gr. Immobilisasi logam Zn terjadi karena peran dari pori *biochar* pada proses adsorpsi fisika.

**Kata kunci:** Batubara, *lignite*, *biochar*, immobilisasi

## 1. Pendahuluan

Batubara merupakan salah satu sumber energi primer yang penting dan merupakan komoditas perdagangan di Indonesia karena bernilai ekonomis yang telah mendatangkan hasil cukup besar, baik sebagai pemenuhan kebutuhan dalam negeri maupun sebagai sumber devisa negara (Muis, 2015).

Berdasarkan tingkatan kualitasnya dari yang terendah hingga yang tertinggi, batubara digolongkan menjadi 4 jenis, yaitu lignite, subbituminous, bituminous dan antrasit. Batubara berjenis lignite atau batubara muda

memiliki kualitas paling rendah diantara ketiga jenis lainnya. (Haviz, 2020).

Provinsi Jambi merupakan penghasil batubara yang tersebar di beberapa Kabupaten seperti Kabupaten Muaro Jambi, Batanghari, Bungo, dan Sorolangun. Pertumbuhan pertambangan batubara di Provinsi Jambi semakin meningkat karena banyak lahan tambang yang terus ditemukan

Adanya peningkatan penambangan batubara, selain dapat meningkatkan kesejahteraan manusia juga dapat memberikan efek negatif

kepada lingkungan yaitu menghasilkan limbah, yaitu limbah organik dan anorganik yang akan menjadi masalah serius bila tidak tangani dengan baik. Dalam hal ini, limbah dari kegiatan pertambangan seperti drainase asam tambang, timbunan tailing, tambang batu dan tumpukan limbah merupakan sumber pencemaran lingkungan berupa logam berat. Belum adanya penanganan limbah secara serius menyebabkan banyaknya lahan yang tercemar akibat limbah, khususnya limbah logam berat. Menurut García Sánchez dan Álvarez Ayuso (2008) Logam berat yang terdapat dalam lahan bekas tambang batubara yaitu Zn, Cd, Pb, Cu dan As, dengan kadar masing – masing, yaitu Zn 3366 ppm, Pb 12245 ppm, Cu 444 ppm dan Cd 25 ppm (Ciccu dkk, 2001), sedangkan baku mutu kadar Zn 10–30 ppm, Cd 0,1–7ppm, Pb2–20 dan Cu 2–100 ppm (Pickering, 1980).

Dalam upaya mengatasi pencemaran lingkungan oleh logam berat dapat memanfaatkan *biochar* dari batubara (*lignite*) (Park, 2011).

Menurut Ippolito dkk (2012), logam berat memiliki sifat tidak biodegradable, dan dapat bertahan untuk waktu yang lama pada tanah yang tercemar, untuk menghilangkannya membutuhkan waktu yang relatif lama dan relatif sangat mahal.. Biochar telah teruji memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan penyerapan logam berat oleh tanaman dan dapat meningkatkan kualitasnya dengan memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Penerapan penggunaan biochar berpotensi dapat memberikan solusi baru untuk perbaikan tanah yang tercemar oleh logam berat (Nigussie *et al.*, 2012).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dosis *biochar* dari lignite yang tepat dalam upaya meningkatkan kualitas tanah

bekas penambangan batubara yang terdegradasi logam berat , khususnya ZN.

## 2. Metode penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik, Universitas Jambi pada bulan Mei – Juli 2018. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu *pretreatment biochar* dari batubara muda (*lignite*), *pretreatment* tanah, proses inkubasi dan analisa kuantitatif logam. Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental skala laboratorium.

### *Pretreatment biochar*

*Biochar* pada penelitian ini dibuat dari batubara muda (*lignite*). Proses pembuatan *biochar* terdiri atas pengeringan dan pirolisis bahan baku menggunakan drum pirolisis dengan suhu 400-500 °C selama 4 jam dalam keadaan tertutup. Selanjutnya batubara didinginkan dan dihaluskan kemudian batubara diayak. Tetapi tahapan pembuatan *biochar* tidak dilakukan dalam penelitian ini, dikarenakan sudah dilakukan dalam penelitian sebelumnya.

### Proses penyiapan sampel tanah

Sampel tanah pada penelitian ini menggunakan tanah yang berasal dari lahan bekas tambang batubara yang berada di desa Sugai Buluh Kecamatan Muaro Bulian Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi sampel di ambil menggunakan alat euger dengan kedalaman 0-30 cm. Kemudian tanah dimasukkan ke dalam plastik dan diberi label untuk selanjutnya dibawa ke laboratorium.

Sampel dibersihkan dari pengotor seperti akar, batu, daun, insektisida dll dan kering anginkan di udara ruangan selama 7 hari kemudian diberi label. Tanah yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan plastik. Tanah yang sudah dihaluskan ditimbang sebanyak 10 gram untuk menganalisa logam yang ada dalam tanah.

### Kadar air (AOAC, 1971 dan SNI 1995)

Sebanyak 0.5 gram sampel tanah ditimbang dalam cawan yang telah diketahui beratnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 2 jam. Kemudian didinginkan dan ditimbang hingga diperoleh berat konstan

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat Awal (g)} - \text{Berat Akhir (g)}}{\text{Berat Awal (g)}} \times 100\%$$

### Penentuan kapasitas tanah menahan air

Tanah ditimbang sebanyak 50 gram, kemudian ditambahkan air secara perlahan lahan sampai tanah basah hingga tidak mampu menahan air.

### Pengukuran pH Awal Tanah

Tanah ditimbang sebanyak 5 gram ditambahkan air sebanyak 50 mL (rasio tanah air 1:10) kemudian dilakukan pengadukan menggunakan magnetic *stirrer* selama 30 menit setelah pengadukan pH tanah diukur dengan menggunakan pH meter.

### Percobaan Dengan Menggunakan Metode Batch Eksperimen

Inkubasi tanah dengan *biochar* dilakukan selama 8 minggu. Percobaan ini dilakukan didalam botol kaca ukuran 1 liter sebanyak 4 botol. Tanah dari lahan bekas tambang batubara ditimbang sesuai variabel ditambahkan kedalam masing masing botol. Setiap botol ditambahkan *biochar* dengan variasi *biochar* : tanah sebesar 0:100, 5:100 dan 10:100. Setelah itu ditambahkan air sebesar 70% dari kapasitas tanah . Pada setiap sampel dibuat 3 kali pengulangan.

Analisa logam berat dalam tanah diukur dengan mengambil sebanyak 10 gram tanah pada setiap tabung pada minggu ke 0, 2, 4 dan 8. Tanah yang diambil diekstraksi dengan menggunakan asam (HCl) kosentrasi 0,0001 M. Larutan yang didapatkan dari ekstraksi dianalis dengan menggunakan *Atomic Absorbion Spektrophotometri* (AAS).

### Pengukuran pH Akhir Tanah

Tanah yang telah diinkubasi ditimbang sebanyak 5 gram ditambahkan air sebanyak 50 mL kemudian dilakukan pengadukan selama 30 menit setelah pengadukan pH tanah diukur dengan menggunakan pH meter.

### Analisa Logam Menggunakan Atomic Absorbion Spektrophotometri (AAS)

Analisis ini memberikan informasi kualitatif mengenai jumlah konsentrasi logam pada sampel. AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom-atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsurnya, absorbansi Zn dapat terukur maksimal pada panjang gelombang 213,9 nm.

### Analisis data

Analisis dilakukan terhadap data-data yang diperoleh pada masing-masing metode penelitian.

Pengenceran Larutan HCl

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

Keterangan :

$V_1$  = volume larutan sebelum pengenceran

$V_2$  = volume larutan sebelum pengenceran

$M_1$  = konsentrasi larutan sebelum pengenceran

$M_2$  = konsentrasi larutan sebelum pengenceran

### Sorpsi Logam Zn

Analisis data hasil pengujian daya sorpsi *biochar* dilakukan untuk mengetahui konsentrasi Zn yang tersisa dengan menggunakan instrument AAS.

Persen sorpsi dan kapasitas sorpsi. Data setelah pengukuran adsorbansi digunakan untuk menghitung efisiensi adsorpsi dengan rumus :

$$\% \text{ sorpsi} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \text{ (Reynolds, 1982)}$$

Keterangan :

Co = Konsentrasi awal (mg/L)

Ce = Konsentrasi akhir (mg/L)

Selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap kapasitas sorpsi (Qe) logam Zn oleh *biochar* dengan rumus :

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} \times V \quad (\text{Reynolds, 1982})$$

Keterangan :

Co = Konsentrasi awal (mg/L)

Ce = Konsentrasi akhir (mg/L)

m = Massa adsorben (gram)

V = Volume larutan uji (L)

### Imobilisasi Logam

Dilakukan perhitungan immobilisasi logam untuk mengetahui berapa banyak logam yang tertahan.

$$\text{Immobilisasi logam (\%)} = \frac{(\text{kadar Zn awal} - \text{kadar Zn akhir}) \times 100}{\text{kadar Zn awal}}$$

### Matriks Penelitian

Tabel 3 Matriks Penelitian Besar Penurunan Kadar Logam Pb pada Lahan Bekas Penambangan Batubara

Waktu Inkubasi (Minggu)	Variasi <i>Biochar</i> : Tanah (gr)		
	0 : 250	5 : 237,5	37,5 : 212,5
0			
2			
4			
8			

## 4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini diawali dengan *pretreatment* *biochar* dan tanah. *Biochar* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *biochar* dari batubara muda. *Pretreatment biochar* diawali

dengan pengeringan *biochar* dalam oven selama 30 menit dengan suhu 100°C dengan tujuan untuk menghilangkan kandungan air pada *biochar*.

*Pretreatment* tanah diawali dengan pembersihan tanah yang bertujuan untuk menghilangkan pengotor dari tanah seperti daun dan ranting. Tanah yang telah bersih dikeringkan selama 1 minggu dengan tujuan untuk menurunkan kadar air yang terdapat dalam tanah. Tanah yang telah dikeringkan kemudian ditumbuk untuk mengubah ukuran menjadi lebih kecil dan diayak dengan ukuran 10 mesh dengan tujuan untuk penyeragaman ukuran tanah.

### Karakteristik Tanah

Tanah yang digunakan sebagai sampel pada penelitian ini diperoleh dari tanah bekas penambangan batubara di PT. Bubuhan Mitra Sejahtera yang terletak di Desa Sungai Buluh Kecamatan Muaro Bulian Kabupaten Batanghari Provinsi Jambi. Dari hasil uji, tanah tersebut bersifat asam dengan pH sebesar 4,9. pH tanah memegang peranan yang penting terhadap keberadaan logam berat dalam tanah. Zn merupakan salah satu logam yang menjadi semakin *bioavailable* pada kondisi tanah yang semakin bersifat asam

Uji awal yang dilakukan terhadap sampel tanah adalah dengan menganalisa kandungan logam dengan menggunakan ICP. Dari hasil analisis didapatkan konsentrasi logam Zn dalam sampel tanah sebesar 23,644 ppm. Konsentrasi ini masih berada di bawah ambang batas kandungan Zn pada tanah. Batas kritis unsur logam Zn ( seng) berat dalam tanah sebesar 50 ppm (Alloway,1995).

Tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki karakteristik seperti lempung dengan warna agak kecoklatan sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Proses Pengeringan Sampel Tanah

Tanah yang telah dikeringkan setelah 1 minggu ditumbuk dan diayak dengan ukuran 10mesh. Tanah lempung memiliki densitas berkisar antara 2.58- 2.65 g/cm<sup>3</sup>.

### **Karakteristik Biochar**

*Biochar* yang digunakan berasal dari batu bara muda (*lignite*) yang bersifat basa dengan pH sebesar 7,9. *Lignite* yang merupakan bahan dasar untuk pembuatan *biochar* memiliki kemampuan untuk menstabilkan beberapa logam berat, termasuk Zn (Nikolet, et. al, 2013). Pada penelitian Ahmad (2014), pH *biochar* yang terbuat dari kayu oak didapatkan sebesar 10.7. Nilai pH yang dimiliki oleh *biochar* bergantung kepada material yang digunakan sebagai bahan dasarnya.

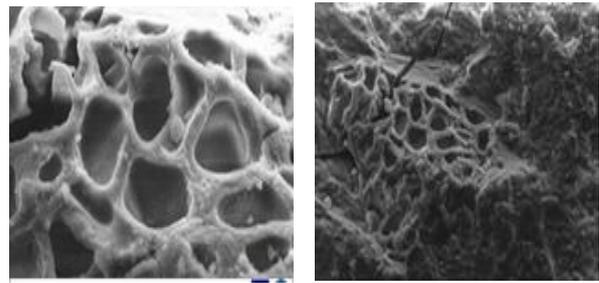
Menurut Lahori (2017), karakteristik dari *biochar* dengan pH yang bersifat basa ini membuat material organik ini mampu menurunkan ketersediaan (*bioavalability*) dari logam berat dalam tanah.



**Gambar 3.** Material Biochar

Dalam menentukan karakteristik permukaan dari *biochar* yang digunakan pada penelitian ini juga dilakukan Karakterisasi dengan menggunakan SEM. Hasil karakterisasi dengan

menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 4.



(a)

(b)

**Gambar 3.** Uji SEM Permukaan Biochar dengan Perbesaran 150x (a) dan 500x (b)

Dari uji karakteristik permukaan *biochar* terlihat adanya pori dalam jumlah yang relatif banyak. Menurut Yang dkk (2016) pori yang terdapat pada *biochar* umumnya berupa mikropori dan mesopori. Tersedianya pori pada *biochar* ini memungkinkan terjadinya sorpsi logam Zn. Menurut Glaser (1968), penyerapan logam yang terjadi pada mikropori dan mesopori *biochar* memainkan peran yang dominan pada proses terjadinya remediasi tanah.

Secara umum, logam berat yang terdapat bebas di dalam tanah dapat diserap oleh tanaman dan akan dapat dengan mudah bergerak dengan adanya aliran air. Immobilisasi logam Zn dalam hal ini akan menghambat logam tersebut untuk dapat diserap oleh tanaman atau mengalir ke tempat lain yang menyebabkan terjadinya dampak buruk.

### **Inkubasi Tanah dengan Biochar**

Pada tahapan ini, sampel tanah diinkubasi dengan material *biochar* dari batubara muda (*lignite*). Pengaruh penambahan *biochar* terhadap logam Zn, sampel tanah diekstraksi pada pH 4 dengan larutan HCl 0.0001 M. Kondisi ini diberikan untuk menyesuaikan dengan keadaan pH yang ada di lapangan. Pada penelitian sebelumnya (Shank *et al*, 2004) *leaching* logam pada sampel tanah dilakukan dengan menyiapkan air hujan sintetis yang

dibuat dengan menambahkan 10 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hingga pH mencapai sekitar 4.

Pada penelitian ini diukur PH tanah sebelum diinkubasi sebesar 4.9 setelah diinkubasi dengan *biochar* pH tanah meningkat sesuai dengan variasi *biochar* yang diberikan. Untuk ph tanah dengan variasi 0%, 5%, 10% dan 15% adalah 6.6, 7.1, 7.0 dan 7.2 dari hasil pengukuran ph menunjukkan dengan penambahan *biochar* pada tanah dapat menstabilkan ph tanah pada lahan bekas penambangan batubara. Menurut Nigussie dkk (2012) *biochar* yang diaplikasikan ke dalam tanah berpotensi meningkatkan sifat kimia tanah seperti peningkatan PH tanah. Dalam penelitian Harris (2011) menyebutkan bahwa pemberian *biochar* ke dalam tanah dalam dengan dosis 5%, 10% dan 15% dapat meningkatkan pH tanah secara signifikan, walaupun kenaikan tidak bersifat linier berdasarkan naiknya level pemberian *biochar* pada tanah.

Tanah yang telah di inkubasi dengan *biochar* di dalam botol inkubasi diambil 10 gram setiap 0, 2, 4 dan 8 minggu untuk diekstraksi tujuan pengambilan sampel setiap variasi waktu tersebut untuk melihat pengaruh *biochar* setiap minggu. Proses inkubasi dapat dilihat pada Gambar 5.

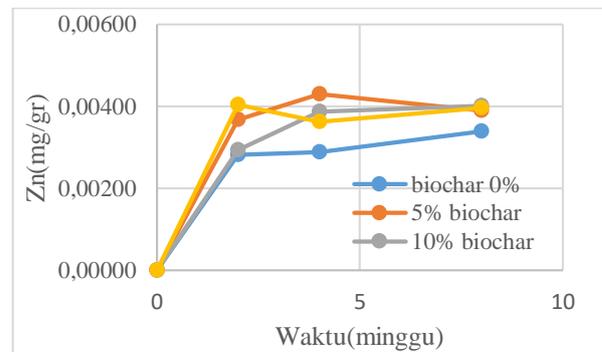


**Gambar 5.** Inkubasi Tanah dengan Biochar  
Inkubasi tanah dengan *biochar* dilakukan untuk mempelajari pengaruh waktu dan

persentase *biochar* terhadap tingkat immobilisasi logam Zn.

### Pengaruh Waktu terhadap Penyerapan Logam oleh *Biochar* pada Tanah

Proses immobilisasi logam pada *biochar* dapat dipengaruhi oleh waktu inkubasi. Gambar 6 menunjukkan penyerapan logam berdasarkan pengaruh waktu. Waktu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0, 2, 4 dan 8 minggu.



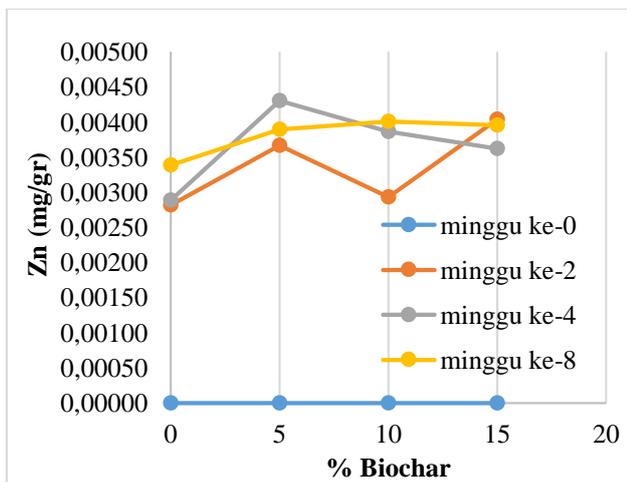
**Gambar 6.** Pengaruh Waktu terhadap Tingkat Immobilisasi Logam oleh Biochar

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada minggu ke-0, belum ada logam Zn yang terimmobilisasi pada *biochar* sehingga tidak terdapat penurunan konsentrasi logam Zn setelah penambahan beberapa konsentrasi *biochar* dibandingkan dengan sampel tanah tanpa penambahan *biochar*. Secara umum, terjadi kenaikan yang signifikan pada Zn terimmobilisasi pada minggu ke-2. Namun dengan semakin bertambahnya waktu inkubasi, tingkat immobilisasi tidak meningkat secara proporsional.

Pada lingkungan, pergerakan logam Zn dalam media tanah diakibatkan oleh adanya air hujan yang turun, sehingga dengan adanya penambahan *biochar* ini Zn yang berada bebas di tanah tidak terimmobilisasi ke dalam tanaman atau aliran air selanjutnya. Oleh karena nya dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh logam berat ini bisa diminimalkan.

### Pengaruh Konsentrasi *Biochar* terhadap Penyerapan Logam

Rasio *biochar* terhadap tanah memegang peranan yang penting untuk upaya mengoptimalkan immobilisasi logam pada *biochar*. Gambar 7 menunjukkan penyerapan logam berdasarkan presentase *biochar*. Konsentrasi *biochar* yang digunakan dalam pengamatan immobilisasi logam Zn oleh *biochar* adalah 0, 5, 10 dan 15 %.



**Gambar 7.** Pengaruh Persentase Biochar terhadap Massa Zn Terimmobilisasi

Dari hasil uji pada tanah dengan rasio *biochar* 0% hingga 15 %, terlihat bahwa semakin besar rasio *biochar* terhadap tanah, peningkatan immobilisasi logam tidak terjadi secara proporsional. Massa logam Zn terimmobilisasi paling besar terjadi pada persentase penambahan 5 % minggu ke -4. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan Jiang et al. (2013), persentase *biochar* efektif didapatkan sekitar minggu ke 3 dan minggu ke-5. Dari Gambar 7 juga dapat diamati bahwa peningkatan persentase *biochar* menjadi 10% mengakibatkan terjadinya penurunan tingkat immobilisasi pada minggu ke-2 dan ke-4, namun ditemukan meningkat pada minggu ke-8 dalam jumlah yang tidak signifikan.

Pada penelitian ini ditemukan bahwa *biochar* dapat berperan efektif pada immobilisasi logam Zn (Yang et al., 2016). Tingkat keefektifannya

dipengaruhi oleh persentase *biochar* yang ditambahkan dan waktu inkubasi. Menurut Bilgic dan Caliskan (2001), mekanisme yang mungkin terjadi selama proses immobilisasi ini dapat berupa pembentukan persenyawaan Zn dengan hidroksida, karbonat ataupun posfat, interaksi elektrostatis dan penyerapan pada permukaan. Adanya mekanisme ini, ditandai dengan terjadinya peningkatan pH pada sampel tanah yang awalnya memiliki nilai pH sebesar 4,0 meningkat menjadi 6,1. Adanya peningkatan pH ini mempengaruhi jumlah Zn bebas pada tanah. Pada pH yang lebih tinggi jumlah Zn bebas akan semakin berkurang, sehingga mengurangi immobilisasi dari logam Zn, Immobilisasi yang rendah dari logam ini akan mengurangi bioavailabilitas logam Zn sehingga menurunkan dampak pencemaran logam terhadap lingkungan.

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, *biochar* yang terbuat dari batubara muda secara efektif mampu menurunkan konsentrasi Zn dalam tanah. Massa Zn terimmobilisasi secara optimal didapatkan sebesar 0,004 mg tiap 1 gram tanah. Selain itu, waktu inkubasi juga mempengaruhi tingkat immobilisasi logam Zn, namun peningkatan waktu inkubasi hingga 8 minggu tidak menunjukkan kenaikan tingkat immobilisasi secara proporsional. Waktu inkubasi optimal didapatkan pada minggu ke-4. Presentase penambahan *biochar* ditemukan optimal pada nilai sebesar 5% dimana terjadi peningkatan yang signifikan pada *biochar* 5% setiap minggu.

### Daftar Pustaka

- Alloway, B. J. (1995). Soil processes and the behaviour of metals. *Heavy metals in soils*, 13, 3488.
- Bilgic, S., & Caliskan, N. (2001). An investigation of some Schiff bases as corrosion inhibitors for austenitic

- chromium–nickel steel in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. *Journal of applied electrochemistry*, 31(1), 79-83.
- Ciccu, R., Ghiani, M., Peretti, R., Serci, A., & Zucca, A. (2001, May). Heavy metal immobilization using fly ash in soils contaminated by mine activity. In *International Ash Utilization Symposium*, May.
- García Sánchez, A., & Álvarez Ayuso, E. (2008). Soil remediation in mining polluted areas.
- Glaser, B. G., Strauss, A. L., & Strutzel, E. (1968). The discovery of grounded theory; strategies for qualitative research. *Nursing research*, 17(4), 364.
- Haviz, M. (2020). Pengaruh waktu dan ukuran partikel pada pengeringan batubara dengan menggunakan gelombang mikro. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri (JTII)*, 1(2).
- Ippolito, J. A., Laird, D. A., & Busscher, W. J. (2012). Environmental benefits of biochar. *Journal of environmental quality*, 41(4), 967-972.
- Jiang, J., & Xu, R. K. (2013). Application of crop straw derived biochars to Cu (II) contaminated Ultisol: evaluating role of alkali and organic functional groups in Cu (II) immobilization. *Bioresource Technology*, 133, 537-545.
- Lahori, A. H., Zhanyu, G. U. O., Zhang, Z., Ronghua, L. I., Mahar, A., Awasthi, M. K., ... & Jiang, S. (2017). Use of biochar as an amendment for remediation of heavy metal-contaminated soils: prospects and challenges. *Pedosphere*, 27(6), 991-1014.
- Muis, L., Anwar, H., & Haviz, M. (2018). Pengaruh Temperatur pada Proses Pencairan Batubara Antrasit Menggunakan Pelarut Short Residue. *Jurnal Civronlit Unbari*, 3(2), 73-81.
- Nigussie, A., Kissi, E., Misganaw, M., & Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 12(3), 369-376.
- Park, J. H., Choppala, G. K., Bolan, N. S., Chung, J. W., & Chuasavathi, T. (2011). Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. *Plant and soil*, 348(1), 439-451.
- Pickering, W. F. (1980). *Zinc Interaction With Soil and Sediment Components*. John Wiley & Sons, 605 Third Ave., New York, Ny 10016., 71-112.
- Reynolds, S., Oxley, D. P., & Pritchard, R. G. (1982). An adhesive study by electron tunnelling: Ethyl  $\alpha$ -cyanoacrylate adsorbed on an oxidized aluminium surface. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy*, 38(1), 103-111.
- Shank, G. C., Skrabal, S. A., Whitehead, R. F., & Kieber, R. J. (2004). Fluxes of strong Cu-complexing ligands from sediments of an organic-rich estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 60(2), 349-358.
- Yang, Z. H. A. O., Jingchun, W., & Fang, S. (2016). Evaluation of the Effect of Microbial Combination Flooding. *Advances in Petroleum Exploration and Development*, 11(2), 52-56.