

# Potensi Pemanfaatan Biochar Dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang di Nusa Tenggara Barat Ditinjau Dari Prespektif Epistimologi

\*Fahrudin<sup>1</sup>, Muhammad Sarjan<sup>2</sup>, IGM Kusnarta<sup>3</sup>, Suwardji<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Pascasarjana Universitas Mataram, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Indonesia

<sup>3,4</sup>Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Indonesia

## Article Info

Received: Jun, 2024

Revised: Agust, 2024

Accepted: Des 25, 2024

Published: Jan 30, 2025

**Abstrak:** Epistemologi, yang mempelajari sumber, sifat, dan batasan pengetahuan, memberikan kerangka untuk mengevaluasi pengembangan dan penerapan teknologi biochar dalam remediasi lahan bekas tambang di Nusa Tenggara Barat (NTB). Selain itu merupakan tantangan lingkungan yang signifikan, menghadirkan masalah seperti degradasi tanah dan pencemaran lingkungan. Dalam konteks ini, biochar telah muncul sebagai solusi potensial dalam remediasi lahan yang terdegradasi. Studi ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan biochar dalam remediasi lahan bekas tambang di NTB, dengan fokus pada tinjauan epistemologi. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis literatur dan sintesis konsep epistemologi yang terkait dengan aplikasi biochar dalam konteks remediasi lahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pendekatan epistemologi memainkan peran krusial dalam memahami efektivitas dan efisiensi pemanfaatan biochar dalam konteks remediasi lahan bekas tambang. Implikasi epistemologis dari pemanfaatan biochar juga dibahas dalam kerangka konsep yang mengintegrasikan perspektif ilmiah, sosial, dan budaya. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan biochar dalam remediasi lahan bekas tambang di NTB tidak hanya bergantung pada aspek teknis, tetapi juga memerlukan pemahaman yang mendalam tentang kerangka epistemologis yang mengarah pada pengembangan solusi yang berkelanjutan dan berbasis pengetahuan.

**Kata Kunci:** Epistemology, Adsorpsi, mekanisasi, biochar, dan Merkuri (Hg)

**Abstract:** Epistemology, which studies the sources, nature, and limits of knowledge, provides a framework for evaluating the development and application of biochar technology in the remediation of post-mining lands in West Nusa Tenggara (NTB). This issue represents a significant environmental challenge, presenting problems such as soil degradation and environmental pollution. In this context, biochar has emerged as a potential solution for the remediation of degraded lands. This study aims to explore the potential of biochar utilization in the remediation of post-mining lands in NTB, with a focus on an epistemological review. The research method employed involves literature analysis and the synthesis of epistemological concepts related to the application of biochar in land remediation contexts. The analysis results indicate that an epistemological approach plays a crucial role in understanding the effectiveness and efficiency of biochar utilization in the context of post-mining land remediation. The epistemological implications of biochar utilization are also discussed within a conceptual framework that integrates scientific, social, and cultural perspectives. It can be concluded that the use of biochar in the remediation of post-mining lands in NTB not only depends on technical aspects but also requires a deep understanding of the epistemological framework that guides the development of sustainable and knowledge-based solutions.

**Keywords:** Organomineral Fertilizer, Seed Coating Material, Nitrogen, Corn Growth and Yield.

**Citation:** Fahrudin, Muhammad Sarjan, IGM Kusnarta, Suwardji (2024). Potensi Pemanfaatan Biochar Dalam Remediasi Lahan Bekas Tambang di Nusa Tenggara Barat Ditinjau Dari Prespektif Epistimologi. *Journal of Soil Quality and Management (JSQM)*. 1(1) 1- 8. DOI: <https://doi.org/10.29303/jsqm.v3i1>

\* fahrudin: [fahrudin@unram.ac.id](mailto:fahrudin@unram.ac.id)

Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Mataram, Indonesia

## PENDAHULUAN

Lahan bekas tambang umumnya telah mengalami degradasi baik secara fisik, kimia maupun biologi. Karakteristik kesuburannya berada pada tingkat rendah dengan produktivitas tanah serta tanaman rendah. Menurut (Romadhan et al., 2022) bahwa luasan lahan Indonesia yang termasuk bekas tambang mencapai >1,3 juta Ha dan telah tersebar di beberapa provinsi salah satunya Nusa Tenggara Barat. Lahan bekas tambang emas merupakan salah satu lahan yang telah mengalami penurunan kualitas akibat aktivitas pengerukan tanah dan penggunaan bahan-bahan berbahaya, sehingga terjadi hilangnya lapisan topsoil tanah (Setiawan et al., 2018). Massifnya kegiatan masyarakat dalam mengeksploitasi tanah untuk ditambang, menyebabkan maraknya penambangan emas tanpa izin (PETI) yang mulai bermunculan setiap tahun. Menurut data (DLHK NTB, 2018) bahwa tercatat sebanyak 16.247 unit lokasi kegiatan pengolahan emas yang belum memiliki izin menggunakan merkuri dan tersebar di Kabupaten Lombok Barat, Lombok Tengah, Sumbawa Barat, dan Sumbawa.

Beberapa penelitian telah menemukan dampak negatif dari kegiatan penambangan emas yaitu aktifitas mikroba tanah menurun, kualitas tanah dan tanaman menurun. tanah bekas tambang bertekstur dominan pasir, kandungan bahan organik 0,36% (Sangat rendah), berat volume >1 g/cm<sup>3</sup> (Penyebab pepadatan tanah), struktur tanah rusak, aerasi drainase tanah serta retensi airnya rendah (Afandi, 2014; Henrianto et al., 2019). Salah satu logam berat berbahaya yang terkandung pada limbah tambang emas yaitu Merkuri (Hg). Merkuri salah satu polutan yang tersebar di tanah, air, atmosfer dan biota serta telah terdaftar di Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) dan WHO sebagai bahan berbahaya bagi manusia dan lingkungan karena toksisitasnya (Wang et al., 2012; WHO, 2017).

Merkuri dapat dihasilkan dari berbagai lokasi atau kegiatan seperti pembakaran batu bara, pembakaran limbah, pemurnian emas dan manufaktur logam. Dalam penelitian (Bobby & Desmi, 2002), menyatakan bahwa unsur Hg dapat terakumulasi dalam jangka panjang di dalam tubuh, sehingga menyebabkan cacat bawaan atau kerusakan organ (otak, ginjal dan hati) dan susunan kromosom. Mengacu pada permasalahan tersebut dibutuhkan upaya untuk menurunkan kadar Hg pada tanah tercemar. Metode yang telah banyak berkembang yaitu adsorpsi (Bahan organik). Menurut (Setyowati, 2018) bahwa metode yang banyak digunakan yaitu adsorpsi karena memiliki beberapa keuntungan seperti lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping pada pengaplikasian. Proses pirolisis merupakan konversi biomassa limbah menjadi biochar merupakan metode yang efektif dalam pengolahannya.

Biochar merupakan arang aktif hasil pembakaran tak sempurna yang memiliki peranan dalam mengatasi masalah pencemaran hingga ke tingkat. Salah satu karakteristik biochar dalam mengurangi pencemaran yaitu memiliki luas permukaan dengan daya jerap tinggi untuk mengurangi ketersediaan logam berat di dalam tanah dan proses leaching dari polutan tanah (Fellet et al., 2014). Beberapa sumber melaporkan bahwa limbah biomassa yang digunakan sebagai adsorben logam berat merkuri di dalam tanah yaitu sekam padi. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan dari sekam padi cukup tinggi di alam, tercatat sekitar 30% dari total gabah kering giling dari hasil panen menjadi limbah sekam padi (Wijaya, 2018). Lebih lanjut, Penambahan biochar sekam padi dapat meningkatkan kesuburan tanah baik dalam menggemburkan dan memperbaiki sifat kimia tanah (Agustono et al., 2017).

Dari perspektif epistemologi, pemanfaatan biochar dalam remediasi lahan bekas tambang di NTB merupakan suatu inovasi yang menarik untuk dikaji. Epistemologi, sebagai cabang filsafat yang mempelajari hakikat pengetahuan dan bagaimana pengetahuan tersebut diperoleh serta divalidasi, memberikan kerangka berpikir untuk memahami proses pengembangan dan penerapan teknologi biochar. Dalam konteks ini, kita dapat mengeksplorasi bagaimana pengetahuan tentang biochar dikembangkan melalui penelitian ilmiah, diterapkan dalam praktik remediasi, serta divalidasi melalui hasil-hasil empiris di lapangan.

Artikel ini akan mengkaji informasi yang berkaitan dengan pemanfaatan bahan organik dalam bentuk arang hayati (Biochar) sebagai bahan remediasi dan adsorben merkuri di dalam tanah dalam menekan mobilisasi logam berat. Ulasan ini membahas tentang stabilitas merkuri di dalam tanah, mekanisme ikatan merkuri oleh biochar, sifat dan karakteristik biochar sekam padi, dan kemampuannya dalam menurunkan kadar merkuri (Hg).

## METODOLOGI

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 yang sudah terpublikasi. 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 33 jurnal dan artikel penelitian. Dalam 33 jurnal dan artikel, hanya sekitar 8 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 2022, 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 digunakan pada literature review, yaitu simplified approach, merupakan analisa data dengan cara melakukan kompilasi dari setiap artikel yang didapat dan menyederhanakan setiap hasil penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 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 Biochar	Dosis Biochar	Jenis Limbah	Pengaruh	Referensi
Sekam padi	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
Tongkol jagung	4 t/ha	Tailing tambang batuan	Meningkatkan pH, karbon organik, basa-basa (Ca, Mg, Na) dan KTK tanah.	Sulakhudin <i>et al.</i> , 2017
Batok kelapa	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

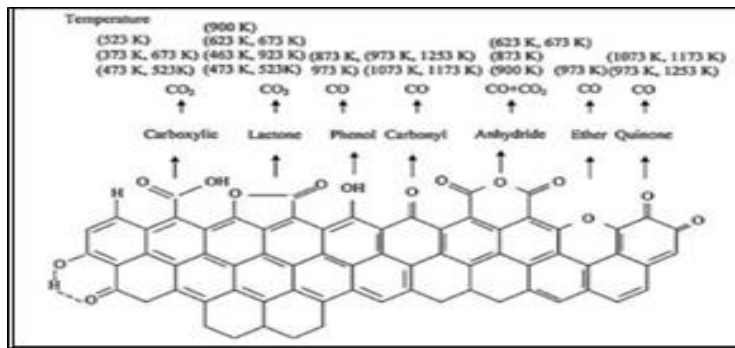
Penjelasan Tabel 1, pengaplikasian biochar cukup efektif dalam membenah sifat kimia tanah bekas tambang, salah satunya dalam meningkatkan pH tanah. Menurut Yuan *et al.* (2011) dan Fidel *et al.* (2017) biochar mengandung zat alkali dan memiliki pH yang tinggi yang dapat digunakan sebagai amelioran alternatif 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.

### Mekanisme ikatan merkuri oleh biochar

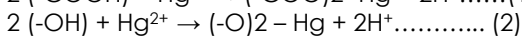
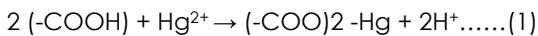
Sifat dari logam berat yaitu sulit terdegradasi di dalam tanah. Logam berat termasuk non biodegradable dan bertahan dalam jangka waktu yang lama pada tanah tercemar, sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama dan mahal dalam penanganannya. Sifatnya yang stabil didalam tanah dapat dikurangi dengan penambahan amelioran tanah. Biochar merupakan salah satu amelioran yang berperan sebagai adsorben untuk dekontaminasi tanah tercemar logam berat. Menurut (Das *et al.*, 2015) bahwa karakteristik hidropobik pada biochar dengan luas permukaan spesifik yang tinggi (800-1200 m<sup>2</sup>) mampu meremediasi logam berat didalam tanah. Dalam proses produksi biochar, upaya menghilangkan gugus karboksilat (C=O) pada proses karbonisasi dilakukan secara maksimal pada kondisi oksigen terbatas atau dikenal sebagai pirolisis. Sejalan dengan (Shafeeyan *et al.*, 2010) suhu pemanasan yang optimal pada proses pembakaran secara pirolisis yaitu 400oC-600oC, sehingga gugus karboksilat (C=O) dapat terdekomposisi secara sempurna. Struktur kimia dari gugus fungsional karbon pada Gambar 1.



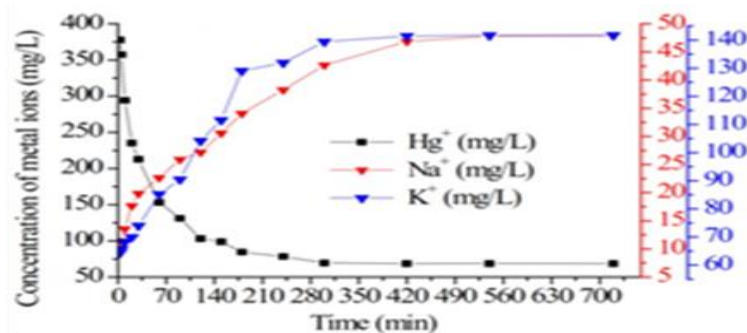
**Gambar 1** Dekomposisi gugus fungsi karbon pada kondisi Inert (Pratama et al., 2018)

Proses karbonisasi menyebabkan adanya perubahan pada ikatan hidrogen dan gugus OH menjadi gugus monomer. Perubahan tersebut terjadi karena proses karbonisasi menghasilkan aromatisasi senyawa selulosa menjadi struktur poliaromatik, yang dampaknya gugus OH akan menempel pada senyawa aromatik. Lebih lanjut, (Pratama et al., 2018) menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pembakaran pada proses pirolisis, maka luas permukaan biochar akan semakin tinggi, sehingga senyawa-senyawa volatile menguap dan membentuk pori-pori pada struktur karbon. Ruang kosong tersebut dimanfaatkan oleh mikroba seperti mikoriza dan bakteri sebagai tempat berlindung serta meningkatkan adsorpsi baik kation maupun anion di dalam tanah. Pendekatan metode adsorpsi merupakan yang paling umum digunakan untuk mengurangi kadar Hg dalam tanah (Abbas et al., 2018). Adsorpsi logam berat pada biochar terjadi melalui beberapa mekanisme (Guo et al., 2020) antara lain:

1. *Ikatan elektrostatik.* Dimana adanya penyerapan H<sup>+</sup> melalui proses protonasi oleh gugus fungsi karboksil dan hidroksil yang terdapat pada biochar, sehingga membentuk OH<sup>2+</sup> dan -COOH<sup>2+</sup> serta bergabung dengan HgCl<sup>-</sup> dan HgClO<sup>-</sup> melalui elektrostatik untuk menghilangkan kadar Hg<sup>2+</sup> dalam keadaan masam (Walcarius & Delacôte, 2005);
2. *Mekanisme pertukaran ion.* Dimana terjadi pertukaran ion dari biochar dengan merkuri yaitu K<sup>+</sup> dan Na<sup>+</sup> dengan ion Hg<sup>2+</sup> dan Hg<sup>+</sup> secara bersamaan. Pada Gambar 3. mengindikasikan bahwa unsur konsentrasi Hg<sup>2+</sup> sangat rentan dipertukarkan oleh unsur K dan Na yang bersumber dari karbon serta berangsur-angsur menurun seiring dengan meningkatnya waktu sampai pada titik keseimbangan adsorpsi. Sejalan dengan penelitian (Kılıç et al., 2008) dan (Carro et al., 2011) yang menyatakan bahwa Unsur K<sup>+</sup> dan Na<sup>+</sup> lebih rentan mengalami pertukaran ion dengan Hg<sup>+</sup>;
3. *Mekanisme Reduksi.* dimana terjadi reduksi dari kovalen merkuri dari Hg<sup>2+</sup> menjadi Hg<sup>+</sup> dan Hg<sup>0</sup> oleh -π eletron, gugus lakton (C=O), gugus fungsi hidrokarbon aromatik (Struktur graphene → C=C) dan gugus fungsi (-COOH) serta hidroksil (-OH) pada biochar, sehingga membentuk Hg-Cπ dan menghilangkan Hg<sup>2+</sup>;
4. *d) Mekanisme Presipitasi.* Pembentukan kompleks mineral (Hg<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub> dalam keadaan basa melalui Presipitasi Hg<sup>2+</sup> menjadi larut dalam air dan mengendap dengan struktur pengikat pada gugus karboksil yaitu lakton (Yardim et al., 2003);
5. *Reaksi kompleksasi,* dimana terdapat gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti gugus -COOH dan -OH bereaksi dengan Hg<sup>2+</sup> membentuk (-COO)<sub>2</sub>Hg dan (-O)<sub>2</sub>Hg Kompleks. Rumus reaksi adalah sebagai berikut (Kong et al., 2011): Berikut reaksi dari kompleksasi:



(Guo et al., 2020)



**Gambar 2.** Perubahan konsentrasi K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> dan Hg<sup>2+</sup> setelah Hg<sup>2+</sup> teradsorpsi oleh karbon (Guot al., 2020)



Gambar 3. Mekanisme biochar dalam menstabilkan logam berat di larutan tanah (Tan et al., 2015)

Mekanisme dalam penurunan kadar merkuri ( $Hg^{2+}$ ) dapat dilakukan dengan beberapa reaksi yaitu adsorpsi elektrostatis, pertukaran ion, reduksi, presipitasi dan kompleksasi. Diantara semua mekanisme adsorpsi tersebut, didapatkan reaksi kompleksasi yang memiliki peran lebih besar dibandingkan mekanisme lainnya. Hal ini dikarenakan pada biochar terdapat gugus  $-COOH$  dan  $-OH$  yang berikatan dengan  $Hg^{2+}$ . Semakin tinggi luas permukaan spesifik biochar, maka semakin tinggi juga tingkat adsorpsinya. Dalam hal ini, gugus fungsi ( $COOH$ ) memiliki tingkat kontribusi lebih besar daripada gugus fungsi  $-OH$ , karena reaksi yang dihasilkan dapat mengikat merkuri hingga ke dasar air (Mengendap). Mekanisme tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

### 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 Biochar	Suhu Pirolisis	Logam Pencemar	Pengaruh	Referensi
Batok kelapa	400 °C	Pb, Hg	Mengurangi konsentrasi Pb hingga 5,8% pada tanah	Ahmad et al., 2013
Seakam padi	600 °C	Cd, Pb dan Zn, Hg	Menurunkan kandungan Cd, Pb, dan Zn pada tanah masing-masing hingga 71, 92, dan 87%.	Houben et al., 2013.
Tongkol jagung	550 °C dan 600 °C	Hg	Mengurangi jumlah Hg total	Wang et al., 2018

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 Wang et al. (2018), pengaplikasian biochar tongkol jagung dan 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 jenis 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.

### **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.

### **Perspektif Epistemologi Dalam Pemanfaatan Biochar**

Epistemologi, yang mempelajari sumber, sifat, dan batasan pengetahuan, memberikan kerangka untuk mengevaluasi pengembangan dan penerapan teknologi biochar dalam remediasi lahan bekas tambang. Beberapa aspek epistemologis yang relevan meliputi:

#### **1. Pengembangan Pengetahuan Tentang Biochar**

Pengetahuan tentang biochar dikembangkan melalui penelitian ilmiah yang melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti kimia tanah, mikrobiologi, dan ekologi. Penelitian ini mencakup studi laboratorium, uji lapangan, serta penerapan praktis di berbagai kondisi lingkungan, termasuk lahan bekas tambang.

#### **2. Penerapan Praktis dan Validasi**

Penerapan biochar dalam remediasi lahan bekas tambang memerlukan uji coba di lapangan untuk menguji efektivitasnya dalam kondisi nyata. Validasi dilakukan melalui pengukuran perubahan kualitas tanah, pertumbuhan vegetasi, serta dampak lingkungan jangka panjang.

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

### Kesimpulan

Pemanfaatan biochar dalam remediasi lahan bekas tambang di NTB memiliki potensi besar dari berbagai aspek fisik, kimia, dan biologis tanah. Dari perspektif epistemologi, pengembangan dan penerapan biochar harus didukung oleh penelitian yang komprehensif dan kolaborasi yang luas. Dengan mengatasi tantangan yang ada, biochar dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk memperbaiki lahan terdegradasi dan mendukung pertanian berkelanjutan di NTB.

### DAFTAR PUSTAKA

- Asman, Tombe AM, dan Manohara D. 1997. Peluang produk cengkeh sebagai pestisida nabati. Monograf tanaman cengkeh. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Lembaga Sumberdaya Informasi – Institut Pertanian Bogor. IPB Press. Bogor.
- Bonfim, J.A., S.N. Matsumoto, J.M. Lima, F. R. C.F. César, and M.A.F. Santos. 2010. Arbuscular mycorrhizal fungi and physiological aspects of coffee conducted in agroforestral system and at full sun. *Bragantia*, Campinas 69(1) : 201-206.
- Chenu, C; Le Bissonnais, Y dan D.Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and aggregate stability. *Soil Sci. Am. J.* 64:1479-1486.
- Edwards, C.A. (Ed.) (1998). Large-scale effect of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. In: *Earthworm Ecology*. Ste Lucie Press, Columbus, pp. 103–122.
- Evizal, R., Tohari, I.D. Prijambada, dan J. Widada. 2012a. Peranan pohon pelindung dalam menentukan produktivitas kopi. *Jurnal Agrotropika*, 17 (1) : 19-23.
- Fatonah, S. 2014. Potensi Alelopati Ekstrak Daun Pueraria javanica Benth. terhadap Perkecambah dan Pertumbuhan Anakan Gulma *Asystasia gangetica* (L.) T. Anderson. *Jurnal. Universitas Riau*. Pekanbaru. Faqihudin. 2014. Penggunaan Herbisida IPA- Glifosat terhadap pertumbuhan, Hasil dan Residu pada Jagung. *Jurnal Ilmu Pertanian Vol. 17. No. 1*. Bogor. Jawa Barat.
- Helfrich, M., Ludwig, B., Buurman, P. dan H. Flessa. 2006. Effect of land use on the composition of soil organic matter in density and aggregate fractions as revealed by solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy. *Geoderma* 136:331-341.
- Kemper, E. W., and R. C. Rosenau. 1986. Aggregate Stability and Size Distrution. p. 425-461. In A. Klute (Ed.) *Method of Soil Analysis Part 1*. 2nd ed. ASA. Madison. Wisconsin.
- Morgan, R.C.P. 1979. *Soil Erosion*. Longman, London and NewYork.
- Nursa'ban, Muhammad. 2006. Pengendalian Erosi Tanah sebagai Upaya Melestarikan Kemampuan Fungsi Lingkungan. *Geomedia*. Vol 4 (2) : 93-115.
- Priyono et al., (2019). Identifikasi Sifat, Ciri, dan Jenis Tanah Utama di Pulau Lombok. *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan*, 6(6) : 19-24.
- Rini Wudianto. 1989. Mencegah Erosi. Penebar Swadaya. Jakarta
- Russel, E.W. 1971. *Soil Conditions and Plant Growth*. 10th Ed. Longmans, London. p. 479-513.
- Salam, A.K. 2012. *Ilmu Tanah Fundamental*. Global Madani Press, Bandar Lampung. 362 hlm.
- Setiawati, W., Rini M., Neni G. dan Tati R. 2008. *Tumbuhan Bahan Pestisida Nabati*. Bandung : Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Sitanala Arsyad. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Soewardi, Muhommad Arya. 2019. Pengaruh Olah Tanah dan Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang terhadap Distribusi Mikroagregat Pada Pertanaman Jagung (*Zea mays* L.) di Lahan Politeknik Negeri Lampung. Skripsi. Universitas Lampung. 49 hlm.
- Suryana. 2010. *Metode Penelitian*. Universitas Pendidikan Indonesia. Jakarta.
- Talahatu et al. 2015. Pemanfaatan Ekstrak Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum* L.) Sebagai Herbisida Alami Terhadap Pertumbuhan Gulma Rumput Teki (*Cyperus Rotundus* L.). *Biopendix*, 160-170.
- Utami, M.S. 2011. Korelasi Arsitektur Pohon Model Rauh dari Rasamala (*Altingia excelsa* Noronha.) dan Model Arsitektur Roux dari Jenis Kopi (*Coffea arabica* L.) terhadap Konservasi Tanah dan Air di Area PHBM, RPH Gambung, KPH Bandung Selatan. Tesis. Institut Pertanian Bogor. 79 hlm.

- Zhang Jinbo, Song Changchun dan Yang Wenyan. 2006. Land Use Effects on the Distribution of Labile Organic Carbon Fractions through Soil Profiles. SSSAJ. Vol. 70 No. 2, p. 660- 66.
- Zulhaedar, Fitria, dan Nazam, Moh. 2016. Karakteristik Lahan dan Potensi Pengembangan Ubi Kayu di Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, 9 (7) : 508-516