



Research Articles

**Perubahan Sifat Kimia Tanah Tercemar Merkuri Dengan
Berbagai Modifikasi Pemberian Biochar Dan Tanaman Akar
Wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.))**

***Changes In The Chemical Properties Of Mercury Contaminated Soil With
Various Modifications Of Administering Biochar And Vintage Root Plants
(*Vetiveria zizanioides* (L.))***

Irma Aprianti¹, Suwardji^{1*}, Sukartono^{1,2}, Mulyati¹, IGM. Kusnarta

¹Progam Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Mataram

²Centre for Sustainable Farms System (CESFARMS) University of Mataram

*corresponding author, email: suwardji@unram.ac.id

Manuscript received: 18-05-2024. Accepted: 25-06-2024

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat kimia tanah tercemar merkuri dengan berbagai modifikasi pemberian biochar dan rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.)). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan remediasi secara eksitu yang dilaksanakan dari bulan Oktober 2023 sampai bulan Januari 2024 di Rumah Kaca. Pengambilan sampel tanah tercemar merkuri dilakukan pada lahan bekas tambang emas tradisional di Dusun Segubuk, Desa Kuang, Kecamatan Taliwang, Kabupaten Sumbawa Barat. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 13 lokasi yang ditentukan secara *purposive sample* dan diambil menggunakan bor tanah. Dilakukan analisis sifat kimia tanah (pH H₂O, C-organik dan KTK) serta analisis konsentrasi total merkuri (Hg) pada tanah sebelum dan sesudah percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.)) berpengaruh nyata terhadap perubahan sifat kimia tanah dan efektif dalam menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah. Aplikasi biochar dapat memperbaiki sifat kimia tanah melalui peningkatan pH, C-organik, dan KTK tanah. Di sisi lain pelepasan ion H⁺ dari gugus fungsional karboksil (COOH) pada biochar mempunyai peluang membentuk kompleks dengan ion logam berat sehingga dapat mengurangi konsentrasinya di dalam tanah.

Kata Kunci : Biochar; Sifat Kimia Tanah; Merkuri; Tanaman Akar Wangi

ABSTRACT

The aims of this research is to determine changes in the chemical properties of mercury-contaminated soil with various modifications in the application of corn cob biochar and vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.)). This research used an experimental method with an ex-situ remediation approach

which was carried out from October 2023 to January 2024 in greenhouse. Sampling of mercury-contaminated soil was carried out on former traditional gold mining land in Segubuk Hamlet, Kuang Village, Taliwang Sub-District, West Sumbawa Regency. Soil sampling was taken from 13 locations determined by purposive sampling and carried out using a soil drill. Soil pH H₂O, C-organic and CEC as well as analysis of the total concentration of mercury (Hg) in the soil were analysed before and after the experiment. The results showed that the application of corn cob biochar alone and corn cob biochar planted with vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) had a significant effect) on changes in soil chemical properties and was effective in reducing the concentration of mercury (Hg) in the soil. Corn cob biochar application can improve soil chemical properties by increasing soil pH, organic C, and soil CEC. On the other hand, the release of H⁺ ions from the carboxyl functional group (-COOH) in corn cob biochar has the opportunity to form complexes with heavy metal ions so that it can reduce their concentration of mercury in the soil.

Key words: Biochar; Soil Chemical Properties; Mercury; Vetiver Grass

PENDAHULUAN

Peningkatan harga emas beberapa tahun terakhir telah mendorong ekspansi aktivitas penambangan emas secara ilegal pada beberapa wilayah di Nusa Tenggara Barat seperti di Kabupaten Sumbawa Barat (Wahyuni, 2021). Data aktivitas tersebut tercatat sebanyak 16.247 unit lokasi kegiatan pengolahan emas secara ilegal menggunakan merkuri (*artisanal and small-scale gold mining*) dan tersebar pada seluruh kecamatan di Sumbawa Barat (DLHK NTB, 2018). Jumlah merkuri (Hg) yang digunakan dalam proses pengolahan emas dapat mencapai angka 6,9 Ton perbulan (Darmayanti, 2021).

Mekuri (Hg) secara umum banyak digunakan dalam pengolahan emas oleh masyarakat. Proses ini menghasilkan limbah sisa pengolahan emas atau sering disebut *tailing* yang langsung dibuang ke badan air, sehingga berpotensi mencemari lingkungan (Alfianda *et al.*, 2019). Mekuri (Hg) terdaftar sebagai 10 logam paling berbahaya oleh Organisasi Kesehatan global (WHO), serta bentuk kimianya seperti methilmekuri (CH₃Hg⁺) dianggap menjadi masalah kesehatan masyarakat (McNutt, 2013). Mekuri (Hg) merupakan logam beracun yang dapat menyebabkan berbagai efek merugikan kesehatan seperti gangguan neurologis, jantung, motorik, reproduksi, genetik, ginjal, kondisi imunologi dan gangguan kesehatan lainnya (Bagia *et al.*, 2022).

Aktivitas penambangan ilegal menggunakan merkuri (Hg) dapat menyebabkan tanah pada lahan bekas tambang mengalami kerusakan secara kimia akibat masuknya bahan pencemar ke dalam tanah (Fauzan, 2022). Menurut Hurum *et al.* (2023), sifat kimia tanah sangat mempengaruhi perilaku merkuri (Hg) di dalam tanah. Secara umum kelarutan logam berat pada tanah meningkat dengan menurunnya pH tanah sebab terjadinya penurunan proses penjerapan logam berat oleh partikel tanah pada pH yang lebih rendah (Salam *et al.*, 1997). Selain itu kadar C-Organik dalam tanah yang cukup akan mengikat ion-ion logam berat yang berlebih jumlahnya menjadi lebih sedikit yang tersedia di dalam larutan tanah (Salawati *et al.*, 2016). Kemudian KTK tanah dapat berperan dalam penyerapan logam berat melalui pertukaran proton/kation yang dapat terionisasi pada koloid tanah dengan spesies logam berat terlarut (Syachroni, 2017).

Dari permasalahan di atas maka dibutuhkan upaya untuk mengurangi ketersediaan merkuri (Hg) di dalam tanah melalui perbaikan sifat-sifat kimia pada tanah. Saat ini metode efektif yang dikembangkan untuk membersihkan lingkungan dari bahan pencemar seperti logam berat secara murah dan ramah lingkungan yaitu fitoremediasi dengan memanfaatkan tanaman tertentu (Hamzah *et al.*, 2012). Salah satu tanaman yang dapat digunakan adalah rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.)). Menurut hasil penelitian Rifaldi *et al.* (2022), menunjukkan bahwa rumput akar wangi mampu mengakumulasi logam merkuri (Hg) dari tanah tercemar limbah *tailing* emas lebih banyak daripada tanaman bunga matahari, yaitu sebesar 0,0099 ppm. Hasil penelitian Alami (2023) juga menunjukkan bahwa pengaruh tunggal pemberian biochar tongkol jagung dan penanaman rumput akar wangi berpengaruh nyata terhadap peningkatan pH H₂O tanah dari agak masam menjadi netral serta dapat menurunkan kandungan logam nikel (Ni) pada tanah. Metode ini memiliki keterbatasan dalam menyerap logam berat yang bergantung pada jumlah koloid dan bahan organik tanah. Oleh karena itu untuk meningkatkan ketersediaan logam berat yang dapat di serap tanaman maka harus dilakukan pemberian bahan pembenah tanah seperti biochar (Hidayat, 2015).

Biochar adalah bahan kaya karbon yang dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah Chan *et al.* (2007). Biochar dapat berkontribusi terhadap stabilisasi logam berat di dalam tanah (Hidayat *et al.*, 2019). Biochar dapat meningkatkan pH dan KTK tanah serta dapat mengakumulasi karbon tanah dalam jumlah yang cukup besar (Nitsae & Solle, 2023). Selanjutnya hasil penelitian Vuong *et al.* (2023) juga melaporkan bahwa biochar memiliki potensi untuk memperbaiki kontaminan di tanah yang tercemar merkuri (Hg). Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian Fauzan (2022) yang menunjukkan bahwa pengaplikasian biochar mampu memperbaiki sifat kimia tanah bekas tambang emas dan juga mampu mengurangi konsentrasi merkuri (Hg) pada tanah dengan konsentrasi awal yaitu 32,5 ppm menjadi 19,75 ppm.

Berdasarkan uraian di atas, kelebihan dari biochar dan rumput akar wangi cukup berpotensi dalam memperbaiki sifat kimia tanah dan efektif dalam mengurangi konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah. Namun hasil penelitian yang berkaitan dengan berbagai modifikasi pemberian biochar dan rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.)) terhadap perubahan sifat kimia tanah tercemar merkuri (Hg) belum banyak dilakukan oleh peneliti lainnya. Oleh sebab itu, dilakukanlah penelitian ini dengan tujuan mengetahui perubahan sifat kimia pada tanah dan menentukan perlakuan yang memiliki efektivitas penyisihan merkuri (Hg) tertinggi di dalam tanah akibat penambahan biochar.

BAHAN DAN METODE

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen yang dilakukan di rumah kaca dengan pendekatan remediasi secara eksitu yaitu percobaan yang dilakukan di luar lokasi asli pengambilan sampel tanah tercemar.

Waktu dan Tempat Percobaan

Percobaan dilaksanakan sejak bulan Oktober 2023 hingga Januari 2024, di Rumah Kaca Fakultas Pertanian, Universitas Mataram. Analisis sifat kimia tanah dan konsentrasi total

merkuri (Hg) tanah dilakukan di Laboratorium Kimia dan Biologi Tanah Fakultas Pertanian, Universitas Mataram.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah bor tanah, GPS, kantong plastik, karung, kertas label, pisau lapangan, satu set ayakan, sekop, timbangan, *Cold Vapor- Atomic Absorption Spectrophotometry tipe F-732-S* untuk analisis total merkuri (Hg), pH meter, shaker serta alat-alat penunjang lainnya untuk analisis laboratorium. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah tercemar merkuri (Hg), aquades, biochar tongkol jagung, tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides (L.)*) dan bahan-bahan penunjang lainnya

Rancangan Percobaan

Perlakuan yang diuji dalam percobaan ini ditata menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Percobaan terdiri atas 4 perlakuan sebagai berikut: T0 (Tanpa Biochar), T1 (Biochar 20 ton/ha dicampur merata dengan tanah), T2 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm) dan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides L. Nash*)). Masing-masing perlakuan tersebut diulang sebanyak 3 kali sehingga diperoleh 12 unit percobaan.

Pelaksanaan Percobaan

Pengambilan Sampel Tanah

Tanah yang digunakan pada percobaan ini adalah tanah tercemar merkuri (Hg) yang diambil dari lahan bekas tambang emas tradisional di Dusun Segubuk, Desa Kuang, Kecamatan Taliwang, Kabupaten Sumbawa Barat. Posisi geografis pengambilan sampel tanah dilakukan pada 13 lokasi yang ditentukan secara purposive sample dan diambil menggunakan bor tanah yang dilakukan pada 3 kedalaman yaitu L1= 0-10 cm; L2 = 11-25 cm dan L3 = 26-50 cm (Gambar 2.). Kemudian sampel tanah dikompositkan berdasarkan setiap lapisan. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 13 lokasi menggunakan alat bor tanah. Sampel tanah diambil dengan metode *purposive soil sampling* yang diambil di sekitar tempat pengolahan gelondongan emas dan dilakukan pada 3 kedalaman yaitu L1= 0-10 cm; L2 = 11-25 cm dan L3 = 26-50 cm. Kemudian masing-masing dikompositkan berdasarkan setiap lapisan. Tanah yang sudah diambil kemudian dikering anginkan selama 3 hari lalu ditumbuk dan diayak menggunakan ayakan berukuran 2 mm. Tanah yang sudah diayak kemudian ditimbang sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan untuk semua perlakuan pada tabung. Berat tanah yang dibutuhkan pada masing-masing tabung adalah 45.70 kg. Sebagian tanah diayak menggunakan ayakan berukuran 0.5 mm untuk digunakan dalam analisis sifat-sifat kimia tanah (pH, C-organik dan KTK) serta konsentrasi merkuri (Hg) pada tanah awal yang dapat dilihat pada (Tabel 1).



Gambar 2. Peta Lokasi Pengambilan Sampel Tanah

Tabel 1. Hasil analisis sifat-sifat kimia dan konsentrasi merkuri (Hg) dan pada tanah awal

Sifat kimia tanah	Nilai	Kriteria
pH H ₂ O	6.54	Agak masam*
C-organik (%)	0.70	Sangat rendah*
KTK (me/100 g)	7.18	Rendah*
Hg total (ppm)	9.36	Tercemar**

Keterangan: *(Balai Penelitian Tanah Bogor, 2009)

** (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021)

Pada (Tabel 1.) diatas menunjukkan bahwa kondisi tanah awal yang digunakan pada percobaan ini memiliki nilai pH H₂O tanah yang tergolong agak masam yaitu 6.54. Falah & Adinugoho (2011) menyatakan bahwa penurunan pH tanah mengakibatkan meningkatnya kelarutan logam-logam berat di dalam tanah, sehingga pada lahan bekas tambang terjadi akumulasi logam-logam yang cukup tinggi. Selanjutnya nilai C-organik tanah yang tergolong rendah yaitu 0.70%. Kandungan bahan organik yang rendah akan mengakibatkan konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah tinggi, dikarenakan bahan organik mampu mengikat atau menonaktifkan penyebaran merkuri (Hg) dalam tanah (Mirdat *et al.*, 2013). Nilai KTK tanah juga tergolong rendah yaitu 7.18 me/100g. Rendahnya kandungan C-organik dalam tanah berdampak pada penurunan KTK. Sesuai dengan Salawati *et al.* (2016) bahwa kadar C-organik yang tinggi dalam tanah akan diikuti dengan peningkatan nilai KTK, hal ini disebabkan karena tanah yang mengandung C-organik umumnya mengandung koloid organik yang mampu meningkatkan kation-kation basa. Semakin tinggi nilai KTK tanah, semakin besar kemampuannya dalam menjerapion bermuatan positif, dalam hal ini merkuri (Hg) (Khasanah *et al.*, 2021).

Kemudian (Tabel 1.) di atas juga menunjukkan total konsentrasi merkuri (Hg) pada tanah awal yaitu 9.36 ppm. Hasil tersebut jauh melebihi nilai ambang batas yang telah

ditetapkan pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 0,3 ppm. Tingginya total konsentrasi merkuri (Hg) pada tanah dapat berkaitan dengan rendahnya beberapa parameter sifat kimia pada tanah tersebut. Sesuai dengan literatur Hurum *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa sifat kimia tanah sangat menentukan pergerakan dan konsentrasi merkuri pada setiap lapisan tanah. Penurunan sifat kimia tanah berpotensi meningkatkan kelarutan merkuri sebagai sumber pencemar ke lingkungan, sehingga dapat masuk ke dalam rantai makanan melalui berbagai mekanisme.

Penyiapan Biochar

Biochar yang digunakan dalam percobaan ini adalah biochar dari tongkol jagung. Pembuatan biochar dilakukan menggunakan metode retort kiln melalui proses pirolisis (pembakaran tidak sempurna) dalam drum pemanasan yang dilakukan pada suhu 300-400 °C (Widiastuti & Lantang, 2017). Bahan baku biochar yang telah mengalami perubahan warna menjadi coklat kehitaman, kemudian dikeluarkan dan disemprotkan menggunakan air memakai handsprayer agar tidak terjadi proses pembakaran lanjutan menjadi abu. Biochar kemudian dikering-anginkan selama beberapa hari, lalu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan berukuran 0.5 mm. Setelah itu biochar ditimbang dan dimasukkan ke dalam tabung percobaan sesuai dengan kebutuhan pada perlakuan T1, T2 dan T3. Karakteristik sifat kimia biochar yang digunakan pada percobaan ini disajikan pada (Tabel 2.).

Tabel 2. Karakteristik Sifat Kimia Biochar Tongkol Jagung

Parameter	Metode	Nilai	Satuan	Harkat
pH	pH meter	7.71	-	Agak alkalis*
C-Organik	Walkey and black	13.45	%	Sangat tinggi*
KTK	Pengekstrak NH ₄ OAct pH=7	53.11	Me/100g	Sangat tinggi*

Keterangan: *(Balai Penelitian Tanah Bogor, 2009)

Berdasarkan (Tabel 2.) di atas, nilai pH H₂O biochar pada penelitian ini tergolong agak alkalis yaitu 7.71. Menurut Inyang *et al.*, (2010), biochar umumnya bersifat alkali dengan pH antara 7.1-10.5. Kemudian kandungan C-organik biochar pada penelitian ini tergolong sangat tinggi yaitu 13.45%. C-organik total yang tersimpan dalam biochar dapat mencapai 50% tergantung pada bahan baku dan proses pembakaran (Sohi *et al.*, 2010). Selanjutnya nilai KTK biochar pada penelitian ini tergolong sangat tinggi yaitu 53.11 me/100g. Mekanisme perubahan nilai KTK pada biochar dipengaruhi oleh sifat dan distribusi kelompok fungsional yang mengandung O pada permukaan biochar (Banik *et al.*, 2018) seperti asam fenolik (O-H) dan karboksil (COOH) (Mitchell *et al.*, 2013).

Aplikasi Biochar

Biochar dicampur merata dalam tanah sesuai takaran perlakuan. Campuran tanah dan biochar kemudian dimasukkan ke dalam tabung percobaan (T1, T2 dan T3). Selanjutnya setiap tabung percobaan ditambahkan air sebanyak 25.40 L untuk mencapai kadar air maksimum tanah. Tanah pada semua perlakuan kemudian diinkubasi selama 3 bulan.

Penanaman dan Pemeliharaan Tanaman (T3)

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) yang diambil secara alami di sekitar bendungan Batujai, Lombok Tengah, NTB. Kriteria pemilihan tanaman yang digunakan yaitu tanaman dengan kondisi daun masih segar, berwarna hijau dan tegak, mempunyai tinggi tanaman 30 cm serta panjang akar 10 cm. Tanaman akar wangi ditanam sebanyak 5 batang pada perlakuan T3. Semua perlakuan disiram setiap 2 hari sekali menggunakan aquades dengan jumlah air yang diberikan pada setiap perlakuan sebanyak 2 L. Penyiraman tersebut dilakukan berdasarkan konversi curah hujan yang ada di lokasi pengambilan sampel tanah. Pemupukan, dilakukan setelah 7 hari tanam menggunakan pupuk urea dengan takaran 15 g/L untuk memenuhi kebutuhan nitrogen pada tanaman.

Pengukuran Variabel pada Tanah

Analisis sifat kimia tanah awal dan tanah akhir dilakukan menggunakan beberapa metode antara lain: Analisis pH-H₂O (Elektroda), C-Organik (*Walkley & Black*), Kapasitas Tukar Kation (KTK) (Pengekstrak NH₄OAc pH=7), dan analisis total merkuri (Hg) menggunakan metode Bejana Uap Dingin dan dibaca dengan alat *F732-S Cold Vapor-Atomic Absorption Spectrophotometry* (Margaretta *et al.*, 2022).

- Analisis kemampuan biochar dalam menyerap merkuri (Hg) di dalam tanah dilakukan melalui perhitungan efektivitas penyisihan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas Penyisihan} = \left(\frac{C_o - C_e}{C_o} \right) \times 100\% \text{ (Subarkhah \& Titah, 2023)}$$

Keterangan:

C_o = Konsentrasi awal Hg (ppm)

C_e = Konsentrasi akhir Hg (ppm)

Analisis Data

Data hasil pengamatan sifat kimia tanah di analisis menggunakan Analisis Keragaman atau Analysis of Variance (ANOVA) pada taraf nyata 5% dengan menggunakan aplikasi Minitab ver.19.1. untuk mengetahui pengaruh atas perlakuan yang telah diberikan. Hasil ANOVA yang berbeda nyata akan dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf yang sama.

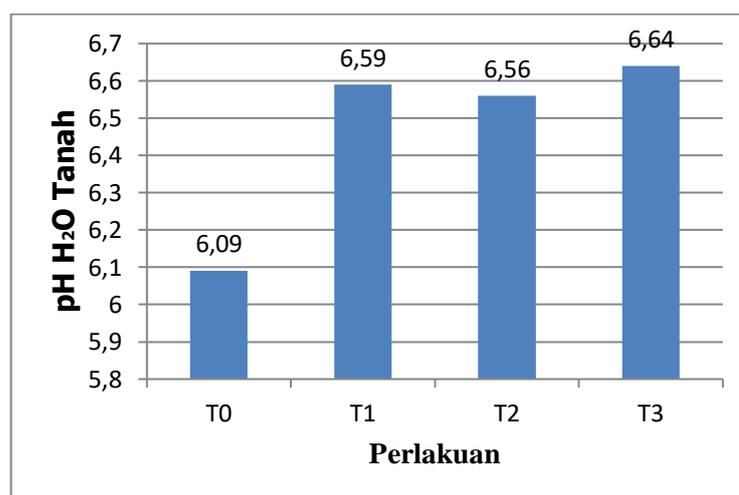
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Penambahan Biochar dan Rumput Akar Wangi Terhadap Perubahan Sifat Kimia Tanah Tercemar Merkuri (Hg)

Modifikasi pemberian biochar dan rumput akar wangi berpengaruh secara signifikan pada seluruh parameter sifat kimia tanah seperti pH H₂O, C-organik dan KTK serta pada konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah (Tabel 3.). Biochar berpotensi sebagai bahan pembenah tanah terdegradasi karena berperan dalam meningkatkan retensi air dan unsur hara melalui perbaikan sifat kimia tanah seperti pH serta KTK tanah (Sukmawati, 2020). Aplikasi biochar juga dilaporkan dapat menurunkan konsentrasi Hg dalam tanah karena memiliki area permukaan yang luas dan kaya muatan negatif (*negative surface area*) sehingga berpotensi dalam mengurangi ketersediaan logam berat di dalam tanah (Ma'shum *et al.*, 2020). Hasil analisis sifat kimia dan konsentrasi merkuri (Hg) pada berbagai perlakuan pemberian biochar dan rumput akar wangi disajikan sebagai berikut:

Kemasaman Tanah

Nilai pH tanah mencerminkan kelarutan ion hidrogen dalam tanah serta menggambarkan tingkat kemasaman tanah. Semakin rendah nilai pH, maka kemasaman tanah semakin tinggi. pH tanah sangat berpengaruh terhadap aktivitas penyebaran logam berat dalam tanah (Mirdat *et al.*, 2013). Menurut Tangio (2013), tanah dengan pH rendah akan menyebabkan kelarutan logam berat di dalam tanah semakin tinggi.



Gambar 3. Rerata pH H₂O tanah setelah percobaan

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ dengan taraf 5%.

Berdasarkan (Gambar 3.) di atas masing-masing perlakuan pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi berpengaruh nyata terhadap pH H₂O tanah dan terjadi trend peningkatan jika dibandingkan dengan perlakuan T0 (Tanpa biochar). Rerata nilai pH H₂O tanah tertinggi didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 6.64 yang berbeda nyata dengan perlakuan T0 (Tanpa biochar) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan T1 dan T2. Rerata nilai pH H₂O terendah didapatkan pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) yaitu 6.09.

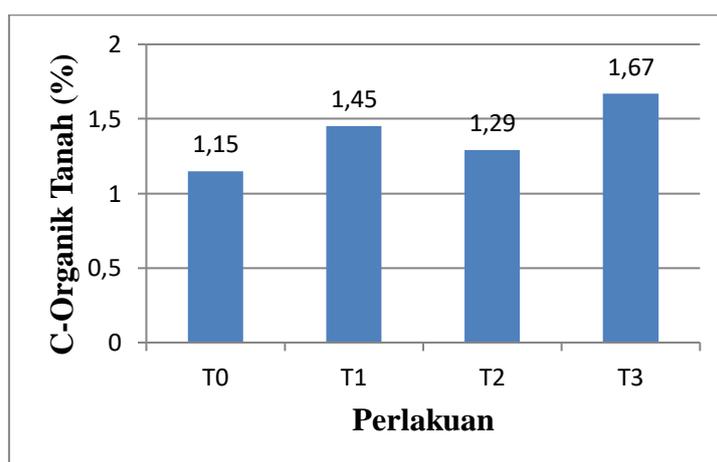
Perlakuan T3 dapat meningkatkan pH tanah lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan biochar dan rumput akar wangi dapat berperan dalam meningkatkan pH tanah. Solaiman & Anawar (2015) menyatakan bahwa tingkat alkalinitas dalam biochar merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap potensinya sebagai kapur. Penambahan biochar juga dapat meningkatkan pH pada tanah karena adanya peningkatan konsentrasi logam alkali oksida seperti Ca²⁺, Mg²⁺ dan K⁺ (Putri *et al.*, 2017). Hal tersebut didukung oleh Cha *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa biochar memiliki gugus fungsional fenolik, karboksil, dan hidroksil yang bereaksi dengan ion H⁺ dalam tanah sehingga mengurangi konsentrasi ion H⁺ dilarutan dan meningkatkan pH tanah.

Tingginya pH tanah pada perlakuan T3 juga dapat dipengaruhi oleh senyawa-senyawa organik yang dihasilkan eksudat akar tanaman rumput akar wangi, dimana senyawa organik tersebut akan mengalami proses dekomposisi yang menghasilkan asam-asam organik dan

kation-kation basa sehingga dapat mengakibatkan penurunan atau peningkatan pH tanah (Lorinangarani *et al.*, 2024). Menurut Palupi (2015), proses dekomposisi tanaman akan menghasilkan bahan organik di dalam tanah, kemudian bahan tersebut akan mengalami humifikasi membentuk humus. Proses selanjutnya yaitu mineralisasi humus dengan menghasilkan kation-kation basa yang akan meningkatkan pH tanah. pH tanah juga merupakan salah satu sifat kimia tanah yang penting dalam proses pertumbuhan tanaman karena mencerminkan ketersediaan unsur hara makro dan mikro di dalam tanah (Allo, 2016). Dengan demikian pH tanah yang tergolong netral yaitu 6,5-7 akan meningkatkan ketersediaan unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh rumput akar wangi untuk tumbuh dan menghasilkan bahan organik yang selanjutnya dapat didekomposisi oleh mikroorganisme tanah (Sari *et al.*, 2014).

C-Organik Tanah

Karbon organik (C-organik) adalah kandungan karbon dalam bahan organik tanah, yang berarti karbon organik menggambarkan keberadaan bahan organik dalam tanah (Nopsagiarti *et al.*, 2020). Kandungan C-organik tanah berperan sebagai penentu kualitas tanah dalam meningkatkan kesuburan tanaman. Semakin tinggi kandungan C-organik maka kualitas tanah semakin baik (Mautuka *et al.*, 2022).



Gambar 4. Rerata C-organik tanah setelah percobaan

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ dengan taraf 5%.

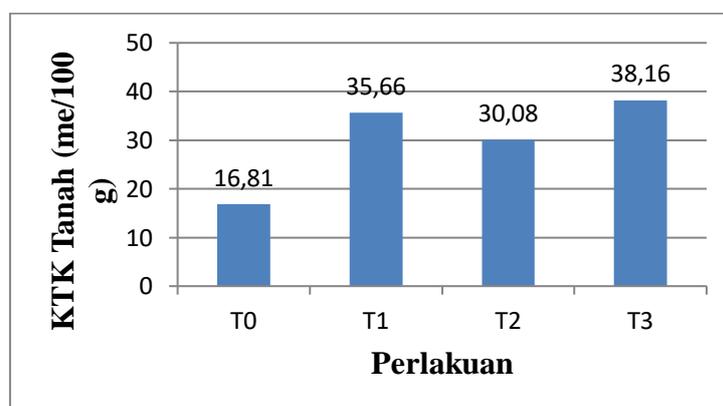
Berdasarkan (Gambar 4.) di atas masing-masing perlakuan pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi berpengaruh nyata terhadap C-organik tanah dan terjadi trend peningkatan jika dibandingkan dengan perlakuan T0 (Tanpa biochar). Rerata nilai C-organik tanah tertinggi didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 1.67% dan berbeda nyata dengan perlakuan T0 dan T2 namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan T1. Rerata nilai C-organik tanah terendah didapatkan pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) yaitu 1.15%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biochar dan rumput akar wangi dapat berkontribusi terhadap peningkatan C-organik di dalam tanah. Menurut (Lehmann *et al.*, 2006) bahwa pengayaan karbon tanah melalui penambahan biochar berpengaruh positif terhadap kandungan C-organik tanah. Karbon pada biochar dapat bertahan lebih lama di dalam

tanah karena sifatnya yang stabil serta dapat bertahan ketika terjadi proses pelapukan (Karbaeka *et al.*, 2022). Hal ini sesuai dengan pendapat Widiastuti & Lantang (2017) yang menyatakan bahwa biochar bersifat stabil pada tanah dengan kandungan karbon (C) yang tinggi lebih dari 50%.

Tingginya kandungan C-organik pada perlakuan T3 juga dapat terjadi karena pengaplikasian biochar dapat meningkatkan keragaman kelompok mikroba di sekitar rhizosfer yang berasosiasi dengan akar tanaman (Saleem *et al.*, 2016). Biomassa dari mikroba (*Microbial Biomass Carbon*) dan akar tanaman yang mati atau terputus dapat di dekomposisi oleh fauna dan mikroorganisme tanah sehingga menghasilkan humus dengan kandungan bahan organik yang bersifat stabil (Siringoringo, 2014). Sesuai dengan Hardianto *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa sisa tanaman yang mati masih menyimpan cadangan karbon yang termasuk dalam karbon organik (C-organik) tanah. Dengan demikian penambahan biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi efektif dalam meningkatkan kandungan C-organik di dalam tanah.

Kapasitas tukar kation (KTK) Tanah

Kapasitas tukar kation (KTK) adalah kemampuan tanah untuk menjerap dan menukar atau melepaskan kembali kation-kation yang berada dalam tanah seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ dan NH_4^+ sehingga dapat diserap oleh akar tanaman. KTK berperan sebagai pembentuk dan pemeliharaan kesuburan tanah yang harus didukung dengan faktor lain seperti pH dan kandungan C-organik dalam tanah (Mautuka *et al.*, 2022). KTK tanah yang tinggi akan menyebabkan ketersediaan bahan organik dan unsur hara meningkat sehingga terjadi proses pertukaran kation-kation dalam tanah yang dapat diserap dengan baik oleh akar tanaman (Widyantika *et al.*, 2019).



Gambar 5. Rerata KTK tanah setelah percobaan

Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ dengan taraf 5%.

Berdasarkan (Gambar 5.) di atas masing-masing perlakuan pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi berpengaruh nyata terhadap KTK tanah dan terjadi trend peningkatan jika dibandingkan dengan perlakuan T0 (Tanpa biochar). Rerata nilai KTK tanah tertinggi didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 38,16 me/100g dan berbeda

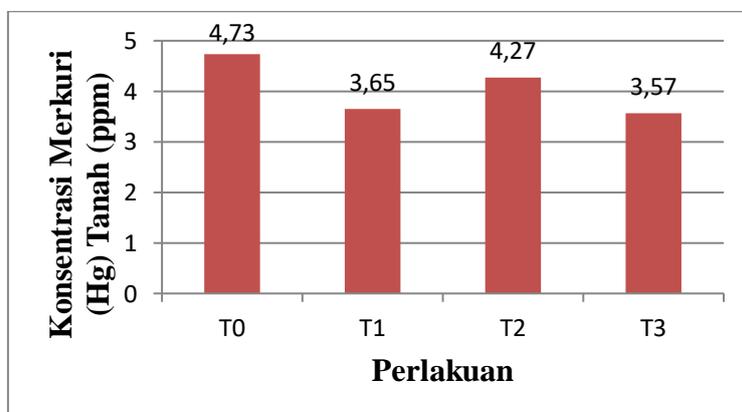
nyata dengan perlakuan T0 dan T2 namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan T1. Perlakuan T1 juga tidak berbeda nyata dengan perlakuan T2. Rerata nilai KTK tanah terendah didapatkan pada perlakuan T1 (Tanpa biochar) yaitu 16.81 me/100g.

Kapasitas tukar kation dapat dipengaruhi oleh pH dan kandungan bahan organik di dalam tanah. Widyantika & Prijono (2019) menjelaskan bahwa pemberian biochar dapat meningkatkan bahan organik tanah dan secara tidak langsung memberikan pengaruh pada peningkatan kapasitas tukar kation tanah. Pemberian biochar dapat meningkatkan KTK tanah karena adanya pembentukan gugus karboksilat hasil oksidasi abiotik yang terjadi pada permukaan luar partikel biochar (Cheng *et al.*, 2006).

Tingginya KTK tanah pada perlakuan T3 juga dapat terjadi karena eksudat akar yang dikeluarkan oleh tanaman rumput akar wangi. (Syahidah & Hermiyanto, 2019), menyatakan bahwa eksudat akar merupakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh akar berupa senyawa-senyawa organik seperti gula, asam amino, lemak, kumarin, flavoid, protein, enzim, alipatik dan aromatic yang dapat dijadikan sebagai sumber makanan bagi mikroba tanah untuk mendekomposisi bahan organik (Estuningsih *et al.*, 2013). Dengan demikian Peningkatan KTK tanah akan memberikan pengaruh positif terhadap kapasitas daya sangga tanah sehingga dapat menahan hara ketika terjadi proses leaching ke bagian bawah tanah maupun kehilangan hara pada permukaan tanah (Maydayana *et al.*, 2023).

Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Tanah Akibat Penambahan Biochar dan Rumput Akar Wangi

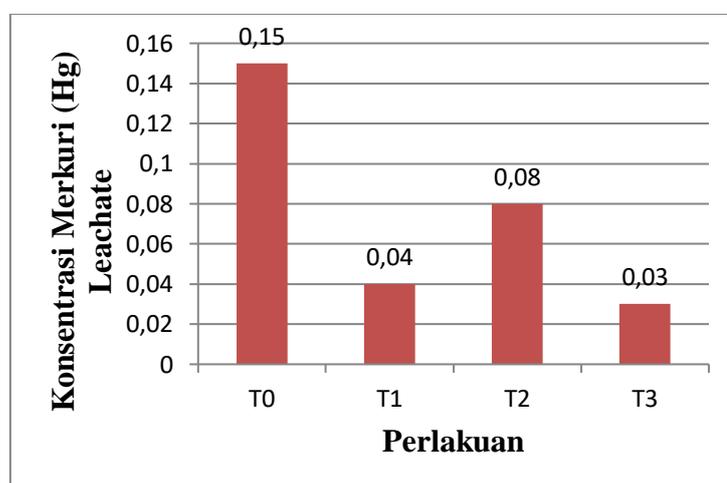
Akumulasi logam berat pada tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba tanah, kesuburan dan kualitas tanah secara keseluruhan, serta masuknya bahan beracun ke dalam rantai makanan (Atafar *et al.*, 2010). Salah satu upaya yang dikembangkan untuk membersihkan daerah tercemar secara murah dan ramah lingkungan adalah metode fitoremediasi. Fitoremediasi adalah penggunaan dari tanaman tertentu untuk menghilangkan logam berat dari tanah yang tercemar (Grispen *et al.*, 2006). Perkembangan terbaru penanganan tanah tercemar logam berat adalah menggunakan bahan pembenah tanah yaitu biochar. Biochar memiliki luas area permukaan besar dan kapasitas yang tinggi dalam menjerap logam berat serta berpotensi digunakan untuk mengurangi bioavailabilitas dan pelindian logam berat dalam tanah melalui adsorpsi dan reaksi fisikokimia lainnya (Park *et al.*, 2011).



Gambar 6. Rerata Konsentrasi Merkuri (Hg) Pada Tanah

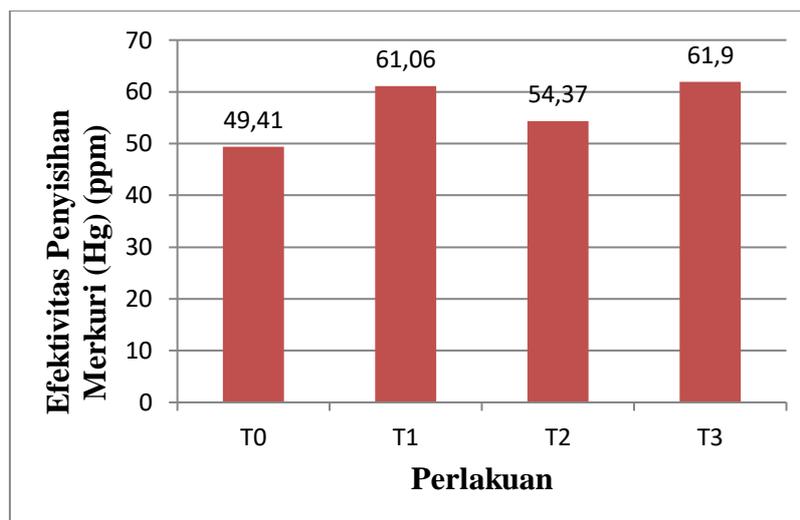
Keterangan: Angka yang diikuti dengan huruf sama tidak berbeda nyata pada uji BNJ dengan taraf 5%.

menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi berpengaruh nyata terhadap konsentrasi total merkuri (Hg) pada tanah yang ditunjukkan dengan lebih rendahnya kandungan merkuri (Hg) di dalam tanah dan pada hasil pencucian (*leachate*) dibandingkan dengan tanah tanpa biochar (T0). Rerata konsentrasi merkuri (Hg) terendah didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah tercemar merkuri pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 3,57 ppm dan berbeda nyata dengan perlakuan T0 dan T2 namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan T1. Rerata konsentrasi merkuri (Hg) tertinggi didapatkan pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) yaitu 4,73 ppm. Selanjutnya konsentrasi merkuri (Hg) pada hasil pencucian (*leachate*) terendah didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah tercemar merkuri pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 0,03 ppm, sedangkan konsentrasi merkuri (Hg) pada hasil pencucian (*leachate*) tertinggi didapatkan pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) yaitu 0,15 ppm (Gambar 7.).



Gambar 7. Rerata Konsentrasi Merkuri pada Hasil Pencucian (*leachate*)

Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah dan hasil pencucian (*leachate*) erat kaitannya dengan potensi biochar yang memiliki afinitas tinggi terhadap logam berat karena ion logam berat dapat dijerap secara fisik oleh permukaan biochar yang kemudian di retensi di dalam pori-porinya (Kumar *et al.*, 2011). Selanjutnya rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides L.*) yang ditanam pada perlakuan T3 juga berperan sebagai tanaman akumulator yang memiliki sifat daya penyerapan atau akumulasi yang tinggi terhadap logam berat di jaringan tanaman (Rifaldi *et al.*, 2022). Pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) merkuri (Hg) lebih banyak tercuci karena tidak ada bahan penjerap atau penahan untuk menonaktifkan merkuri (Hg) di dalam tanah (Prizma *et al.*, 2023). Pada penelitian ini tidak dapat diketahui berapa total merkuri (Hg) yang dapat dijerap oleh biochar karena tidak menggunakan metode pelacak isotop (Bussan *et al.*, 2016), namun kemampuan biochar dalam menjerap merkuri (Hg) dapat ditentukan melalui nilai efektivitas penyisihan yang ditunjukkan pada (Gambar 8.) di bawah ini:



Gambar 8. Efektivitas Penyisihan Hg Oleh Biochar

Berdasarkan (Gambar 8.) di atas menunjukkan bahwa efektivitas penyisihan merkuri (Hg) tertinggi didapatkan pada perlakuan T3 (Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi) yaitu 61.90%, sedangkan efektivitas penyisihan merkuri (Hg) terendah didapatkan pada perlakuan T0 (Tanpa biochar) yaitu 49.41%. Ippolito *et al.* (2012) menyatakan bahwa biochar memiliki kemampuan menstabilkan logam berat pada tanah yang tercemar dengan menurunkan secara nyata ketersediaan logam berat di dalam tanah dan dapat meningkatkan kualitas tanah dengan memperbaiki sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Hasil penelitian oleh Zhao *et al.* (2021) menyatakan bahwa biochar yang dihasilkan dari brangkasan jagung dapat menjerapion merkuri (Hg) karena luas permukaan spesifik dan struktur porinya yang tinggi. Hal tersebut didukung oleh hasil penelitian Prizma *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa biochar tongkol jagung (15 ton/ha) dapat menurunkan mobilitas merkuri (Hg) pada tanah hingga 94% (dari 0.0211 ppm menjadi 0.0012 ppm). Bahan organik yang terkandung dalam biochar dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam berat sehingga kelarutan logam akan menurun di dalam tanah (Gusmini *et al.*, 2023). Gugus fungsi karboksil, hidroksil dan fenolik yang mengandung O dalam biochar secara efektif dapat mengikat kontaminan logam berat pada tanah (Alaboudi *et al.*, 2019).

Beberapa hasil penelitian juga telah membuktikan kemampuan dari rumput akar wangi dalam menyerap kontaminan logam berat pada tanah tercemar. Hasil penelitian Wakano & Samson (2015) menyatakan bahwa rumput akar wangi mampu meremediasi tanah tercemar logam berat berkisar antara 71.08%-73.71%. Didukung oleh hasil penelitian Hamzah *et al.*, (2012) yang menunjukkan bahwa rumput akar wangi yang ditanam pada *tailing* tambang emas yang diberi perlakuan biochar mampu menyerap Hg sebesar 33.2 ppm. Menurut Rifaldi *et al.*, (2022), rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) merupakan tanaman akumulator yang memiliki sifat daya penyerapan atau akumulasi yang tinggi terhadap logam berat di jaringan tanaman.

Nilai ambang batas kandungan merkuri (Hg) dalam tanah menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 yaitu 0,3 ppm. Tanah sebelum dan sesudah remediasi pada penelitian ini memiliki jumlah merkuri (Hg) yang besarnya melebihi baku mutu

tersebut, namun jumlahnya berkurang cukup besar setelah dilakukan percobaan remediasi menggunakan biochar dan rumput akar wangi. Menurut Fellet *et al.* (2011), bahwa penambahan biochar pada tanah tidak mengakibatkan penurunan logam berat secara total, namun dapat menurunkan kadar ketersediaan logam berat dan mobilitasnya. Dengan demikian pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi efektif dalam menurunkan ketersediaan dan mobilitas merkuri (Hg) di dalam tanah sehingga akan mengurangi potensinya sebagai bahan pencemar ke lingkungan.

KESIMPULAN

Pemberian biochar secara tunggal dan biochar yang ditanami rumput akar wangi (*Vetiveria zizanioides* (L.) berpengaruh nyata terhadap perubahan sifat kimia tanah (pH, C-organik dan KTK tanah) serta efektif dalam mengurangi konsentrasi merkuri (Hg) di dalam tanah.

Penambahan biochar menyebabkan terjadinya peningkatan efektivitas penyisihan merkuri (Hg) tertinggi pada perlakuan pemberian Biochar 20 ton/ha dicampur dengan tanah tercemar merkuri (Hg) pada lapisan 10 cm yang ditanami rumput akar wangi yaitu 61,90% (dari 9,36 ppm menjadi 3,57 ppm).

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada TAUW Foundation yang telah mensupport penelitian ini dalam bentuk pembiayaan yang dikelola oleh Nexus3 Foundation. Selain itu peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Tim inti Mercury Project yaitu Prof. Ir. Suwardji, M.App.Sc., Ph.D. (selaku dosen pembimbing utama), Dr. Ir. IGM. Kusnarta, M, App. Sc., Ph.D, dan Fahrudin, Sp., M.Si. Ucapan terima kasih juga diucapkan kepada Prof. Dr. Ir. Sukartono, M.Ag. selaku dosen pembimbing pendamping dan kepada Prof. Ir. Mulyati, SU., Ph.D. selaku dosen penguji dalam skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfianda, I., Sungkowo, A., & Yogafanny, E. (2019). *Pengolahan Airtanah Tercemar Logam Berat Merkuri (Hg) Akibat Pertambangan Emas Rakyat sebagai Sumber Air Bersih dengan Adsorpsi Karbon Aktif Di Desa Cihonje, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah*. hal.96–104. Prosiding Seminar Nasional “Potensi sumber daya air dan tantangan pengelolaannya dalam mewujudkan ketahanan air secara berkelanjutan” Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta, 4 Oktober 2019.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>.
- Aryanti, E., & Hera, N. (2019). Sifat Kimia Tanah Area Pasca Tambang Emas: (Studi Kasus Pertambangan Emas Tanpa Izin Di Kenegerian Kari Kecamatan Kuantan Tengah, Kabupaten Kuantan Singingi). *Jurnal Agroteknologi*, 9(2), 21. <https://doi.org/10.24014/ja.v9i2.5681>.
- Bagia, M., Setiani, O., & Rahardjo, M. (2022). Dampak Paparan Merkuri Terhadap Gangguan Kesehatan Penambang Emas Skala Kecil : Systematic Review The Impact of Mercury Exposure on The Health Problems of Small-Scale Gold Miners : Systematic Review.

- Jurnal Ilmu Kesehatan*, 16(3), 392–401.
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S., & Laird, D. A. (2018). Impact of Pyrolysis Temperature and Feedstock on Surface Charge and Functional Group Chemistry of Biochars. *Journal of Environmental Quality*, 47(3), 452–461. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.11.0432>.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(8), 629–634. <https://doi.org/10.1071/SR07109>.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., & Engelhard, M. H. (2006). Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1477–1488. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>.
- Darmayanti, B. B. (2021). *Pertambangan Emas Ilegal Di Kecamatan Taliwang Kabupaten Sumbawa Barat Dalam Perspektif Undang Undang Nomor 3 Tahun 2020 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara*. [Tesis]. Direktorat Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Malang.
- Falah, F., & Adinugroho, W. C. (2011). Mitra Hutan Tanaman. In *Pusat Penelitian dan Pengembangan Peningkatan Produktivitas Hutan* (Vol. 6). <http://www.nber.org/papers/w16019>.
- Fauzan, R. (2022). *Perbaikan Sifat Kimia Tanah Dan Reduksi Hg Pada Lahan Bekas Tambang Emas Melalui Aplikasi Biokanat Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Bunga Matahari (Helianthus Annuus L.)*. [Skripsi]. Program Studi Ilmu Tanah Universitas Andalas. 68 hal.
- Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., & Peressotti, A. (2011). Application of biochar on mine tailings: Effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere*, 83(9), 1262–1267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.053>.
- Hammond, D. S., Ter Steege, H., & Van Der Borg, K. (2007). Upland soil charcoal in the wet tropical forests of central Guyana. *Biotropica*, 39(2), 153–160. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00257.x>.
- Hamzah, A., Kusuma, Z., Utomo, W. H., & Guritno, B. (2012). Penggunaan Tanaman *Vetiveria zizanioides* L. dan Biochar Untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Tambang Emas. *Buana Sains*, 12(1), 53–60.
- Hardianto, Karmila, & Yulma. (2015). Produktivitas dan Laju Dekomposisi Serasah Mangrove Di Kawasan Konservasi Mangrove dan Bekantan (KKMB) Kota Tarakan Kalimantan Utara. *Harpodon Borneo Vol.8.*, 8(1), 43–50.
- Haryono, & Soemono, S. (2009). Rehabilitasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Akibat Penambangan Emas dengan Pencucian dan Bahan Organik di Rumah Kaca Rehabilitation of Soils Polluted by Mercury (Hg) Due to Gold Mining using Leaching and Organic Matter in Green House. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 53–64.
- Hidayat, A. P., Darmis, & Prabasari, I. G. (2019). Pengaruh Penambahan Biochar dari Batubara Lignite pada Tanah Bekas Penambangan Batubara Terhadap Konsentrasi Logam Kadmium (Cd) Terlarut Menggunakan Kolom Fixed Bed Sorption. *Jurnal Engineering*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.22437/jurnalengineering.v1i1.6250>.
- Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., & Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 101(22), 8868–8872. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.088>.
- Khasanah, U., Mindari, W., & Suryaminarsih, P. (2021). Kajian Pencemaran Logam Berat Pada Lahan Sawah Di Kawasan Industri Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 73–81.
- Kumar, S., Loganathan, V. A., Gupta, R. B., & Barnett, M. O. (2011). An Assessment of U(VI) removal from groundwater using biochar produced from hydrothermal carbonization. *Journal of Environmental Management*, 92(10), 2504–2512. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.013>.

- Lorinanggarani, R. H., Arifin, Z., Bustan, Kusnarta, I. G. M., & Suriadi, A. (2024). Serapan P dan Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) Dengan Pemberian Beberapa Alfianda, I., Sungkowo, A., & Yogafanny, E. (2019). *Pengolahan Airtanah Tercemar Logam Berat Merkuri (Hg) Akibat Pertambangan Emas Rakyat sebagai Sumber Air Bersih dengan Adsorpsi Karbon Aktif Di Desa Cihonje, Kecamatan Gumelar, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah.* hal.96–104. Prosiding Seminar Nasional “Potensi sumber daya air dan tantangan pengelolaannya dalam mewujudkan ketahanan air secara berkelanjutan” Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknologi Mineral, UPN Veteran Yogyakarta, 4 Oktober 2019.
- Margaretta, D. R. N. S., Pasaribu, S. P., & Panggabean, A. S. (2022). *Analisis Kadar Merkuri (Hg) Dalam Air Sungai Menggunakan Metode Cold Vapor-Atomic Absorption Spectrophotometry.* hal. 75. Prosiding Seminar Nasional Kimia 2022 Jurusan Kimia FMIPA UNMUL.
- Mautuka, Z. A., Maifa, A., & Karbeka, M. (2022). Pemanfaatan Biochar Tongkol Jagung Guna Perbaikan Sifat Kimia Tanah Lahan Kering. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 7(1), 1–7. <http://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jurnal-penelitian-pgsd/article/view/23921>.
- McNutt, M. (2013). Mercury and health. *Science*, 341(6153), 1430. <https://doi.org/10.1126/science.1245924>.
- Meli, V., Sagiman, S., & Gafur, S. (2018). Identifikasi Sifat Fisika Tanah Ultisols Kecamatan Nanga Tayap Kabupaten Ketapang. *Perkebunan Dan Lahan Tropika*, 8(2), 80–90.
- Mirdat, Y. S., Patadungan, & Isrun. (2013). Status Logam Berat Merkuri (Hg) Dalam Tanah Pada Kawasan Pengelolaan Tambnag Emas Di Kelurahan Poboya, Kota Palu. *E-Journal Agrotekbis*, 1(2), 127–134.
- Mitchell, P. J., Dalley, T. S. L., & Helleur, R. J. (2013). Preliminary laboratory production and characterization of biochars from lignocellulosic municipal waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 99, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.10.025>.
- Nitsae, M., & Solle, H. R. L. (2023). Pelatihan Pembuatan Biochar Dan Aplikasinya Di Desa Oel’ekam Kecamatan Mollo Tengah Kabupaten Timor Tengah Selatan Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 36–41.
- Nursanti, I., Hayata, & Bangun. (2022). Characteristics of Peat with Different Depths in Supporting Growth and Productivity of Oil Palm. *Journal of Tropical Soils*, 28(1), 17. <https://doi.org/10.5400/jts.2023.v28i1.17-22>.
- Prizma, B. E., Sukartono, Suwardji, Kusnarta, I. G. M., & Fahrudin. (2023). Pengaruh Biochar Terhadap Mobilitas Merkuri (Hg) Pada Percobaan Pencucian (Leaching) Tertutup Effect of Biochar on Mercury (Hg) Mobility in a Closed Leaching. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, x(2), 1–13.
- Putri, V. I., Mukhlis, & Hidayat, B. (2017). Pemberian Beberapa Jenis Biochar Untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol Dan Pertumbuhan Tanaman Jagung. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 5(4), 82–95.
- Rifaldi, Isrun, & Khaliq, M. A. (2022). Fitoremediasi Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus annuus L.*) dan Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides (L.)*) dalam mengikat logam berat merkuri (Hg) pada Limbah Tailing Tambang Emas Poboya. *Agrotekbis*, 10(3), 132–139.
- Salam, A. K., Djuniwati, S., Sarno, & Harahap, J. T. (1997). Kapur dan Kompos Daun Singkong Meningkatkan Kelarutan Tembaga dan Seng Asal Limbah Industri di Tanah Andisol dari Gisting Lampung. *J. Tanah*, 4.
- Salawati, Basir, M., Kadekoh, I., & Thaha, A. R. (2016). Potensi Biochar Sekam Padi terhadap Perubahan pH, KTK, C Organik dan P Tersedia pada Tanah Sawah Inceptisol. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 23(2), 101–109. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/AGROLAND/article/view/8795>.

- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105(1), 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9).
- Solaiman, Z. M., & Anawar, H. M. (2015). Application of Biochars for Soil Constraints: Challenges and Solutions. *Pedosphere*, 25(5), 631–638. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)30044-8](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)30044-8).
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., De MacÊdo, J. L. V., Blum, W. E. H., & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil*, 291(1–2), 275–290. <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9193-9>.
- Subarkhah, M. J., & Titah, H. S. (2023). Remediasi Logam Berat Pb dengan Menggunakan Biochar Sekam Padi dan Tongkol Jagung. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i1.112170>.
- Suhadi, Sueb, Murni Sapta Sari, Syamsussabri, M., & Kiswojo. (2024). Penyuluhan Pengolahan Limbah Pertambangan Emas Rakyat di Desa Sampir. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4, 2–5.
- Syachroni, S. H. (2017). Analisis Kandungan Logam Berat Kadmium (cd) pada Tanah Sawah di Kota Palembang. *Jurnal Sylva*, 6(1), 23–29.
- Syachroni, S. H. (2020). Kajian Beberapa Sifat Kimia Tanah Pada Tanah Sawah Di Berbagai Lokasi Di Kota Palembang. *Jurnal Ilmu-Ilmu Kehutanan*, 8(2), 60. <https://doi.org/10.32502/sylva.v8i2.2697>.
- Vuong, T. X., Stephen, J., Nguyen, T. T. T., Cao, V., & Pham, D. T. N. (2023). Soil Incubated with Corn Cob-Derived Biochar and Apatite. *Molecules*, 1–23.
- Wahyuni, I. 2021. *Analisis Risiko Kontaminasi Merkuri Pada Anak Berdasarkan Variasi Sampel Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta*. [Literature Review]. Program Studi Sarjana Terapan Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta.
- Wakano, D., & Samson, E. (2015). Potensi Akar Wangi (*Vetivera zizanioides*) Dalam Merehabilitasi Tanah Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) di Perkebunan Sayur Desa Waiheru Ambon. *Biosel: Biology Science and Education*, 4(2), 25. <https://doi.org/10.33477/bs.v4i2.536>.
- Wawo, H. A. R., Widodo, S., Jafar, N., & Nullah Yusuf, F. (2017). Analisis Pengaruh Penambangan Emas Terhadap Kondisi Tanah Pada Pertambangan Rakyat Poboya Palu, Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Geomine*, 5(3), 116–119. <https://doi.org/10.33536/jg.v5i3.141>.
- Widyantika, S. D., Sugeng Prijono, & Jurusan. (2019). Pengaruh Biochar Sekam Padi Dosis Tinggi Terhadap Sifat Fisik Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Jagung Pada Typic Kanhapludult. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 06(01), 1157–1163. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2019.00>.
- Yosephine, I. O., Sakiah, S., & Siahaan, E. A. L. (2020). Pemberian Beberapa Jenis Biochar Terhadap C-Organik dan N-Total Pada Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit. *Agrosains : Jurnal Penelitian Agronomi*, 22(2), 79. <https://doi.org/10.20961/agsjpa.v22i2.42154>.
- Zhao, W., Cui, Y., Sun, X., Wang, H., & Teng, X. (2021). Corn Stover Biochar Increased Edible Safety of Spinach by Reducing The Migration of Mercury From Soil to Spinach. *Science of the Total Environment*, 758, 143883. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143883>.
- Zulfikah, Basir, M., & Isrun. (2014). Konsentrasi Merkuri (Hg) dalam Tanah dan Jaringan Tanaman Kangkung (*Ipomoea reptans*) yang Diberi Bokashi Kirinyu (*Chromolaena odorata* L.) pada Limbah Tailing Penambangan Emas Poboya Kota Palu. *Agrotekbis*, 2(6), 587–595.