

Potential Combination of Phytoremediation Plants and Compost in Remediation of Hg in Ex-Gold Mine Soil Contaminated Mercury (Hg)

Amarrusli Ali Amri^{1*}, Taufik Fauzi¹, A. A. Ketut Sudharmawan¹, Mulyati¹, Suwardji¹

¹Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat Indonesia;

Article History

Received : June 12th, 2024

Revised : July 07th, 2024

Accepted : July 28th, 2024

*Corresponding Author:

Amarrusli Ali Amri, Program Studi Magister Pertanian Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Email: rusliali059@gmail.com

Abstract: Heavy metal mercury pollution in the environment can have negative impacts on both surrounding ecosystems and human health. Sources of mercury pollution often come from mining activities, particularly from many unlicensed gold mines (PETI) that use the mercury amalgamation method to extract gold. Due to the persistent, bioaccumulative, and toxic nature of mercury, contamination in the soil has increased. One effort to reduce mercury toxicity is the application of absorption methods using phytoremediation plants and compost as regulating factors. The aim of this study is to review sources of information related to the use of phytoremediation plants and the application of compost as remediators to clean mercury (Hg)-contaminated soil. To reduce levels of heavy metal contamination, plants employ five phytoremediation mechanisms: phytoextraction, phytostabilization, rhizofiltration, phyto degradation, and phyto volatilization. Therefore, selecting hyperaccumulator plants that have the ability to accumulate mercury (Hg) at levels 100 times higher than ordinary plants is crucial for effective remediation. Additionally, the use of compost as a source of organic material can enhance mercury mobility. The addition of organic materials such as compost can increase C organic content, cation exchange capacity (CEC), pH, and Hg-chelate formation, thereby maximizing mercury absorption by plants. This combination has a positive impact on reducing mercury levels in the soil and is environmentally safe.

Keywords: Absorption mechanism, compost, mercury (Hg), phytoremediation, plants.

Pendahuluan

Lahan sub optimal terdegradasi seperti bekas tambang cukup luas tersebar di beberapa provinsi di Indonesia yang mencapai lebih dari 1,3 juta Ha (Romadhan *et al.*, 2022b), Kondisi ini dicirikan dengan keadaan lahan kritis, yang telah mengalami penurunan kualitas tanah secara fisik, kimia dan biologi, akibat aktivitas pengerukan tanah dan penggunaan bahan-bahan berbahaya yang berdampak pada hilangnya lapisan topsoil dan penurunan kualitas kesuburan tanah (Romadhan *et al.*, 2022a). Salah satu contohnya, yaitu lahan bekas tambang emas yang sebagian besar aktivitas penambangan menggunakan merkuri.

Merkuri salah satu polutan logam berat yang sangat beracun tersebar di tanah, air dan atmosfer (WHO, 2017). Sumber dari merkuri dapat dihasilkan dari lokasi aktivitas pembakaran batu bara (Wang *et al.*, 2020) maupun pemurnian emas dan manufaktur logam, hal ini dikarenakan merkuri digunakan sebagai bahan kimia yang berfungsi untuk mengikat butiran-butiran emas agar mudah dalam pemisahan dengan partikel-partikel tanah yang lain, sehingga banyak penambangan emas tanpa izin (PETI) menggunakan metode Amalgamasi merkuri untuk mendapatkan emas dan sisa proses tersebut berupa limbah (berlumpur/ tailing) yang mengandung merkuri (Farisi *et al.*, 2022).

Pencemaran tanah oleh merkuri mengakibatkan menurunnya kesuburan tanah dan bahkan lambat laun menjadi padang pasir, akibat dari lapisan tanah bagian atas (top soil) hilang, sesuai dengan pemaparan (Henrianto *et al.*, 2019) bahwa tanah bekas tambang memiliki ciri bertekstur dominan pasir, kandungan bahan organik sangat rendah, berat volume tinggi sehingga dapat menyebabkan pemadatan tanah, struktur tanah rusak, aerasi dan drainase tanah serta retensi airnya rendah selain itu juga berdampak pada penurunan kualitas tanah secara biologi (aktifitas mikroba tanah menurun) yang berdampak pada penurunan kualitas kesuburan tanah secara umum (Romadhan *et al.*, 2022a). Selain berdampak negatif terhadap lingkungan merkuri juga dapat mempengaruhi kesehatan manusia akibat dari toksitas, mobilitas dan persistensinya yang terakumulasi dalam jangka waktu lama (Tiodar *et al.*, 2021).

Permasalahan pencemaran merkuri begitu kompleks, sehingga diperlukan upaya tindakan yang dapat menurunkan kadar Hg pada tanah atau lahan tercemar Hg. Metode absorpsi telah banyak berkembang dengan memanfaatkan bahan pembenah tanah (*soil amendment*) dan mengguakan jenis tanaman tertentu. Menurut (Setyowati, 2018) metode absorpsi memiliki beberapa keuntungan seperti lebih ekonomis, hemat energi dan tidak menimbulkan efek samping pada lingkungan. Absorpsi dilakukan dengan menggunakan tanaman fitoremediasi yang dapat berperan dalam menurunkan kadar cemaran merkuri (Hg) di dalam tanah menggunakan tanaman hiperakumulator yang dapat mengakumulasi cemaran hingga konsentrasi lebih dari 100 x dibandingkan tanaman normal (Hidayati *et al.*, 2013).

Pemanfaatan absorpsi atau penyerapan secara optimal oleh tanaman fitoremediasi menunjukkan adanya hubungan bersinergi dengan keberadaan bahan organik, untuk memindahkan logam merkuri (Hg) dalam tanah, dikarenakan sebagian besar merkuri yang masuk kedalam tanah terikat oleh bahan organik (Xiao *et al.*, 2022). Bahan organik merupakan ciri unsur untuk mengindikasikan kesuburan tanah, yang terdapat di dalam maupun di atas permukaan tanah, yang berasal dari organisme yang pernah hidup atau produk

dari pembusukan (Muna *et al.*, 2020). salah satu contoh bahan organik yaitu kompos yang mana komposisi kompos berasal dari campuran bahan organik yang terurai seperti sisa tanaman/dedaunan atau sampah organik lainnya (Anwar *et al.*, 2019). Kompos yang di benamkan pada tanah tercemar dapat meningkatkan bahan organik tanah yang dapat berperan untuk mengikat merkuri dalam tanah (Xiao *et al.*, 2022).

Walaupun cara remediasi tersebut cukup praktis, penerapannya langsung ke tanah tercemar merkuri, Tetapi minat peneliti untuk mengetahui peran tanaman fitoremediasi dan kompos sebagai remediator dan sekaligus sebagai absorben. Sehingga perlu pemahaman dan pengembangan kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos sebagai remediator tanah tercemar merkuri (Hg). Tujuan dilakukannya penulisan ini yaitu untuk meninjau sumber informasi yang berkaitan dengan pemanfaatan kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos sebagai remediator tanah tercemar merkuri (Hg). Ulasan ini akan membahas tentang Sifat dan stabilitas merkuri dalam tanah, Mekanisme penyerapan merkuri oleh tanaman fitoremediasi, Bahan organik (kompos) meningkatkan penyerapan merkuri dan Potensi kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos dalam menurunkan kadar merkuri (Hg)

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif dengan melakukan studi kepustakaan. Pendekatan penulisan melibatkan pencarian dan pengumpulan literatur sebagai basis data, termasuk artikel ilmiah, laporan, dan hasil penelitian sebelumnya. Sementara itu, untuk mengumpulkan informasi yang mendukung isi penulisan, berbagai sumber informasi digunakan dengan menganalisis dan membedakan substansi dari buku, artikel, situs web, dan data lain yang relevan dengan topik dalam studi literatur ini.

Hasil dan Pembahasan

Sifat dan stabilitas merkuri dalam tanah

Merkuri adalah logam alami yang satu satunya berwujud cair, dengan ciri visual berbentuk cairan, berwarna keperakan dan

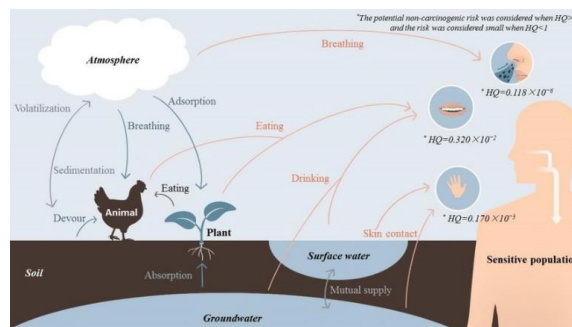
mengkilap (Dewi, 2017), yang mana termasuk dalam polutan logam berat yang sangat beracun tersebar di tanah, air dan atmosfer (WHO, 2017). Pencemaran merkuri semakin meningkat diakibatkan karena eksporasi manusia terhadap lingkungan yang tidak bijaksana, sesuai dalam pemaparan, Wang *et al.*, (2020) sumber merkuri salah satunya di akibatkan karena aktivitas manufaktur logam dan pemurnian emas yang banyak penggunaan merkuri dalam proses Amalgamasi untuk mendapatkan emas. Merkuri yang masuk terserap oleh tanah akan mempengaruhi menurunnya kualitas tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi mobilitas merkuri (Hg) yang dapat membentuk interaksi di dalam tanah, Schuster, (1991) menyebutkan beberapa faktor tersebut meliputi : (1).Terlarut dengan ion bebas, (2).Teradsorpsi secara non spesifik yang terikat oleh gaya elektrostatis, (3). Teradsorpsi secara spesifik karena adanya pengikat kovalensi, (4). Pengendapan sebagai hidroksida dan lain lain, dan (5). Pengkelatan atau terikat oleh unsur unsur zat organik.

Kuatnya interaksi logam berat merkuri dengan komponen tanah, sehingga perubahan wujud merkuri menjadi lambat. Terbatasnya proses metilasi merkuri pada alam maka akan berpengaruh pada pembentukan satu dari sekian banyak elemen sangat berbahaya/toxic (Dewi, 2017), dikarenakan merkuri bersifat persisten, volatilite, beracun dan bioakumulatif (Hamzah & Priyadarshini, 2019) sehingga sangat mudah terakumulasi pada sistem rantai makanan (Dewi, 2017). Sifat dari merkuri inilah yang berpotensi membahayakan ekosistem dan makhluk hidup termasuk manusia. Lubis, (2020) menyatakan bahwa terdapat beberapa kriteria logam berat yang dinyatakan bersifat racun (toksik) yaitu : (1). Memiliki daya toksitas yang tinggi di dalam tanah, (2). Tidak dapat terdegradasi dengan cepat, (3). Dapat bertransformasi valensi dan (4). Adanya bioakumulasi yang merusak secara fisiologi terhadap makhluk hidup.

Sifat ion metil merkuri yang mudah larut sehingga dalam bioakumulasi oleh tanah maupun organisme lainya dapat berlangsung dengan cepat, yang akan berpengaruh pada stabilitas merkuri di dalam tanah tidak akan pernah hilang dari lingkungan, melainkan akan berpindah pindah ke lokasi lainya (NEDES, 2019). Sehingga lingkungan yang terkontaminasi

oleh logam berat merkuri (Hg) akan sangat membahayakan kehidupan manusia karena terdapatnya rantai makanan yang saling mempengaruhi (gambar 1). Gambar 1 dan tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan dengan jelas proses skematik jalur paparan merkuri serta kandungan alamiah dan ambang batas cemaran merkuri pada tanah, tumbuhan, hewan dan manusia.



Gambar. 1. Skematik jalur paparan merkuri (Xiao *et al.*, 2022)

Tabel 1. Kandungan alamiah dan ambang batas merkuri di dalam tanah

Kandungan Merkuri Dalam Tanah	
Alamiah (mg kg ⁻¹)	Ambang batas (µg g ⁻¹ bahan kering)
0,03	0,01-0,3

(Notohadiprawiro, 2006; Darmono, 1995)

Tabel 2. Kandungan ambang batas merkuri pada tumbuhan, hewan dan manusia

Logam Berat Merkuri	
Kandungan ambang batas pada	(µg g ⁻¹ bahan kering)
Tumbuhan	2-5
Hewan	1-10
Manusia	1-30

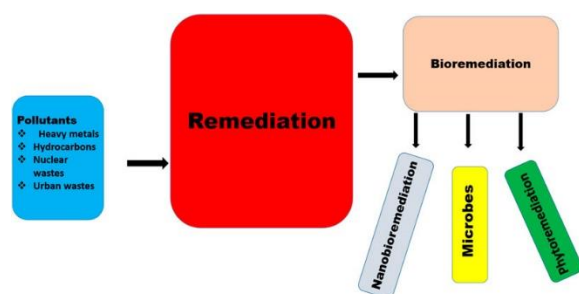
(Notohadiprawiro, 2006)

Cemaran merkuri begitu kompleks dalam rantai makanan sehingga sangat berbahaya bagi manusia dan lingkungan, hal ini yang bisa terlihat pada gambar 1 dan tabel 1 & 2, jika cemaran telah melewati ambang batas normal maka diperlukan tindakan yang tepat untuk mengurangi kadar merkuri di tanah, Menurut (Setyowati, 2018) metode adsorpsi-adsorpsi merupakan alternatif untuk menurunkan kadar merkuri dalam tanah yang memiliki beberapa keuntungan seperti lebih ekonomis, hemat energi dan tidak menimbulkan efek samping pada lingkungan. Adsorpsi dilakukan dengan bahan

pembenah tanah dan Absorpsi dilakukan dengan menggunakan tanaman fitoremediasi.

Mekanisme penyerapan merkuri oleh tanaman fitoremediasi

Aktivitas tambang emas ilegal atau yang dikenal dengan penambangan emas tanpa izin (PETI) menggunakan metode Amalgamasi dalam memperoleh emas, namun sisa proses tersebut menjadi limbah berlumpur/tailing tercemar merkuri (Farisi *et al.*, 2022). Sehingga memberikan dampak pada peningkatan kadar merkuri yang berbahaya bagi lingkungan dan manusia karena telah melebihi batas normal. Sehingga diperlukan tindakan remediasi yang tepat dan ramah lingkungan untuk mengurangi kadar Hg pada tanah tercemar. Bioremediasi seperti Fitoremediasi menggunakan tanaman menjadi alternatif yang mudah dan murah bisa diterapkan.

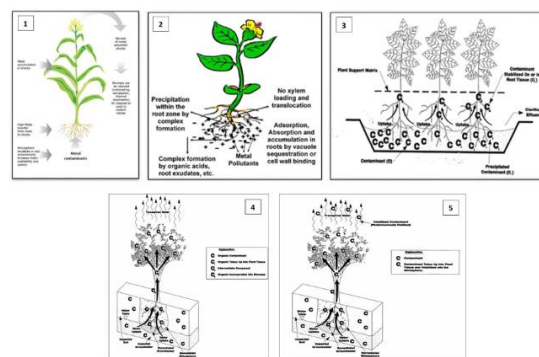


Gambar. 2. Jenis bioremediasi (Ayilara *et al.*, 2023)

Fitoremediasi merupakan proses atau metode remediasi yang memanfaatkan tanaman yang dapat mengabsorpsi logam berat berbahaya di lingkungan, sehingga akan membantu mengurangi, menstabilkan, mendegradasi, mengakumulasi dan mendetoksifikasi pencemaran yang diakibatkan oleh logam berat (Nnaji *et al.*, 2023; Kafle *et al.*, 2022). Mekanisme pengurangan pencemaran logam berat ini memiliki banyak keuntungan seperti mudah diterapkan, murah dan ramah lingkungan (Kafle *et al.*, 2022). Maka pemilihan jenis tanaman hiperakumulator yang tepat, akan sangat membantu untuk remediasilah tercemar Hamzah & Rosyada, (2019).

Tindakan remediasi pada tanah tercemar merkuri menggunakan tanaman fitoremediasi, langkah pertama yang harus dipahami yaitu mekanisme penyerapan yang dilakukan oleh tanaman, agar lebih memaksimalkan penyerapan (absorpsi). Menurut Tsao, (2003) dalam

Tampubolon *et al.*, (2020) mekanisme penyerapan logam berat menggunakan fitoremediasi terbagi menjadi 5 ruang lingkup sesuai dengan jenis tanaman yang digunakan sebagai mediator (Gambar 3), yaitu : 1. Fitoekstraksi (penyerapan yang dilakukan oleh akar akan ditranslokasikan atau diakumulasi ke bagian tumbuhan lainnya seperti akar, batang dan daun) (Nascimento & Xing, 2006) , 2. Fitostabilisasi (memproduksi senyawa kimia tertentu dan mengimobilisasi logam berat di daerah rizosfer) (Padmavathiamma & Li, 2007) , 3. Rizofiltrasi (penyerapan dengan kapabilitas yang diakumulasikan dan diendapkan oleh akar), 4. Fitodegradasi (terjadinya metabolisme di dalam jaringan tumbuhan menggunakan enzim oksigenase dan dehalogenase) dan 5. Fitovolatilisasi (penyerapan yang di teruskan ke daun untuk dipaskan di atmosfer setelah mengalami degradasi). (Ong *et al.*, 2007).



Gambar. 3. Cara kerja fitoremediasi

1. Fitoekstraksi (Nascimento & Xing, 2006), 2. Fitostabilisasi (Padmavathiamma & Li, 2007), 3. Rizofiltrasi 4. Fitodegradasi dan 5. Fitovolatilisasi (Ong *et al.*, 2007)

Bahan organik (kompos) meningkatkan penyerapan merkuri

Keberhasilan meremediasi lahan tercemar (bekas tambang) dapat ditentukan oleh penambahan bahan organik (Putri, 2014). Bahan organik di dalam tanah menjadi salah satu ciri yang dimiliki oleh tanah untuk mengidkasikan tingkat kesuburan tanah, baik yang terdapat di dalam ataupun di permukaan tanah., bahan organik di tanah berasal dari organisme yang pernah hidup (produk dari pembusukan /penguraian) (Muna *et al.*, 2020). Dengan demikian ketersediaan bahan organik di dalam tanah akan bersinergi dengan pemanfaatan metode absorpsi oleh tanaman fitoremediasi

karena dapat membantu mengikat dan mengimobilitas logam merkuri sehingga dapat terserap secara optimal (Xiao *et al.*, 2022), dikarena merkuri secara efektif akan terikat pada zat humat tanah.

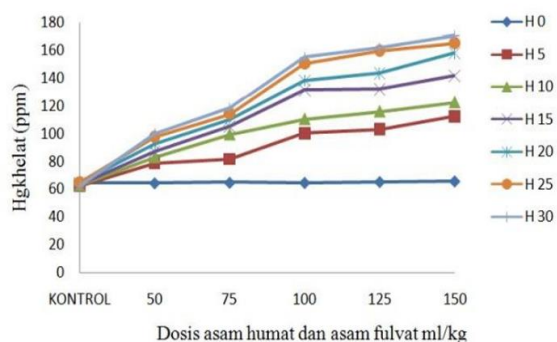
Kompos, yang berasal dari campuran bahan organik yang terurai seperti sisa tanaman, merupakan salah satu contoh sumber bahan organik yang memiliki potensi membantu proses penyerapan merkuri (Anwar *et al.*, 2019).

Kandungan bahan organik pada kompos berperan sebagai pengatur (*regulating factor*) penyediaan unsur hara bagi tanaman, menstabilkan agregat, struktur, sirkulasi udara, infiltrasi, buffering dan pencegahan pencucian hara (*nutrient leaching*) (Putri, 2014). Kompos yang dibenamkan pada tanah tercemar dapat meningkatkan bahan organik tanah sehingga berperan dalam mengikat cemaran merkuri (Xiao *et al.*, 2022).

Tabel 3. Contoh hasil penelitian terkait penurunan kadar merkuri akibat pemberian kompos dan pada tanah tercemar

Sumber bahan	Jenis tanah	Pengaruh	Referensi
Asam humat fulvat ekstrak kompos Thitonia Diversifiola	Tanah entisol tailing tambang emas Poboya	Aplikasi ekstrak asam humat dan asam fulvat kompos <i>Thitonia diversifolia</i> hingga dosis 150ml/kg tanah mampu menaikkan Hg-khelat, pH tanah dan C-Organik pada tanah entisol tercemar merkuri	(Sarifuddin & Patadungan, 2017)

Salah satu contoh hasil penelitian yang dilakukan oleh Sarifuddin & Patadungan, (2017) terlihat bahwa pengaruh kompos yang diaplikasikan memberikan manfaat yang cukup signifikan pada menaikkan pH tanah dan C-organik dan juga dapat mempengaruhi peningkatan Hg-khelat dalam tanah tercemar (gambar 4).



Gambar. 4. Pengaruh Pemberian kompos yang mengandung Asam Humat dan Asam Fulvat *Thitonia* terhadap Perubahan Konsentrasi Hgkhelat. (Sarifuddin & Patadungan, 2017)

Kompos yang mengandung asam humat dan fulvat dapat mengurangi kelarutan Hg karena terbentuknya senyawa organo-metal kompleks (Hg-khelat), sehingga meningkatkan Hg-khelat sampai 2,7 kali lipat

(Sarifuddin & Patadungan, 2017). Potensi kompos dalam meremidiasi tanah tercemar merkuri cukup potensial untuk dikembangkan karena dapat membantu pembentukan senyawa organo-metal (Hg- khelat) sehingga penerapannya akan sejalan atau bersinergi jika dikombinasikan dengan tanaman fitoremediasi yang dapat mengakumulasi logam berat hingga konsentrasinya lebih dari 100 kali lipat dibandingkan dengan tanaman normal (Hidayati *et al.*, 2013).

Potensi kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos dalam menurunkan kadar merkuri (Hg)

Logam berat merkuri yang tidak terkelola secara bijaksana berakibat fatal bagi lingkungan sekitar, menurut WHO, (2017) mengungkapkan bahwa Merkuri merupakan salah satu polutan logam berat yang sangat beracun tersebar di tanah, air dan atmosfer. Maka tindakan yang tepat untuk pengurangan kadar merkuri di lingkungan harus dilakukan. Berkembangnya remediasi tanah tercemar merkuri dengan pemanfaatan metode absorpsi menggunakan tanaman fitoremediasi maka akan sangat relevan jika dikombinasikan dengan pemanfaatan kompos untuk meningkatkan kemampuan tanaman menyerap merkuri di dalam tanah (Setyowati, 2018 dan Xiao *et al.*, 2022).

Tabel 4. Beberapa hasil penelitian tentang penurunan kadar merkuri akibat pemberian kompos dan tanaman fitoremediasi pada tanah tercemar

No	Sumber bahan	Jenis tanah	Komoditi	Pengaruh	Referensi
1.	Kompos dan pengkkelat Etilen Diamin Tetraacetic Acid (EDTA)	Tanah bekas tambang emas di Sukabumi Bogor	Akar wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> • Kombinasi antara kompos dan EDTA mampu meningkatkan penyerapan merkuri oleh tanaman akar wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i> L.) • EDTA yang ditambahkan dapat meningkatkan 178 % penyerapan merkuri. • Aplikasi kompos mampu untuk meningkatkan konsentrasi diakar sebesar 108% dan di tajuk sebesar 165% serta kapasitas tukar karion (KTK) • Aplikasi kompos dan asam sitrat di tanah berpengaruh terhadap peningkatan akumulasi Hg pada tunas tanaman. 	(Putra & Kusumarini, 2018)
2.	Kompos dan asam sitrat	Tanah kondisi normal yang ditambahkan Hg sebagai pencenar, di Grono, Poland	Alim (<i>Lepidium sativum</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> • Sebab adanya korelasi dengan peningkatan aktivasi aktivitas peroksidase dan perubahan konsentrasi karotenoid total. • Penggunaan gabungan kompos dan asam sitrat berpengaruh pada penurunan kadar kontaminasi tanah oleh Hg sehingga <i>Lepidium sativum</i> L. mampu mentolerir Hg di tanah dan penggunaannya selama fitoekstraksi. 	(Smolinska & Leszczynska, 2017)
3.	kompos komersial dari limbah hijau kota	Tanah lempung berpasir dengan kepadatan 1,20,1 g cm ³ dengan penambahan konsentrasi Hg, di Lodz, Polandia.	Alim (<i>Lepidium sativum</i> L.)	<ul style="list-style-type: none"> • Pengaplikasian kompos dapat membantu meningkatkan akumulasi Hg oleh tanaman <i>Lepidium sativum</i> L. ke seluruh bagian tanaman dan translokasi Hg ke pucuk. • Pengaplikasian kompos ke tanah dapat berperan mengurangi pencucian Hg dalam larutan asam dan netral. 	(Smolinska, 2015)
4.	Kompos	Tanah tercemar merkuri (Hg) / tanah yang dicampur dengan limbah buatan berupa larutan standar Hg ²⁺	Sansevieria trifasciata dan Celosia plumosa	<ul style="list-style-type: none"> • Campuran media dengan komposisi 80% (tanah tercemar merkuri) + 20 (Kompos) memberikan pengaruh pada efisensi penyisihan Hg pada Sansevieria trifasciata 75,63% (58 mg/kg) dan Celosia plumosa 66,81% (79 mg/kg) 	(Ratnawati & Faizah, 2020)

Kombinasi pemanfaatan metode absorpsi yang di dukung dengan ketersediaan bahan organik tanah dalam yang mengimobilisasikan logam berat merkuri, sehingga memberikan dampak positif terhadap kemampuan tanaman

mengikat dan mengakumulasi. Hal tersebut terlihat jelas pada Tabel 4 bahwa perspektif potensi pengembangan pengaplikasian kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos yang menunjukkan adanya interaksi positif

dalam meremidiasi tanah tercemar merkuri. Dengan demikian, penelitian kedepannya harus mempertimbangkan pengembangan modifikasi kombinasi tanaman fitoremediasi dan kompos dalam meremidiasi tanah tercemar merkuri yang mudah diterapkan, murah dan ramah lingkungan.

Kesimpulan

Peranan tanaman fitoremediasi cukup potensial membantu mengurangi kadar merkuri pada tanah tercemar, dikarenakan memiliki kemampuan mengakumulasi kontaminasi logam berat hingga konsentrasi yang jauh lebih tinggi daripada tanaman biasa, yaitu lebih dari 100 kali lipat. dengan beberapa mekanisme Fitoremediasi yang dilakukan oleh tanaman seperti: Fitoekstraksi, Fitostabilisasi, Rizofiltrasi, Fitodegradasi dan Fitovolatilisasi. Namun efektivitas penyerapan logam pencemar oleh tanaman dibantu dengan adanya daya dukung ketersediaan bahan organik di dalam tanah, yang dapat mengikat dan mengimobilitas logam pencemar. Dalam penerapan metode absorpsi menggunakan tanaman fitoremediasi dengan penambahan kompos pada media tanah tercemar merkuri, akan mampu memberikan pengaruh pada daya jerap logam berat di dalam tanah, akibat adanya interaksi antara tanaman dan kompos. Kombinasi tersebut secara signifikan memberikan pengaruh positif seperti: meningkatkan KTK (Kapasitas Tukar Kation), pH tanah, C-organik, mengurangi pencucian Hg dan menurunkan kadar merkuri di dalam tanah.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada Program Studi Magister Lahan Kering Pascasarjana Universitas Mataram, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Referensi

Anwar, M. C., Rudijanto I.W, H., Triyantoro, B., & Wibowo, G. M. (2019). Pembuatan Pupuk Kompos Dengan Komposter Dalam Pemanfaatan Sampah Di Desa Bringin Kecamatan Bringin Kabupaten Semarang. *Link*, 15(1), 46. <https://doi.org/10.31983/link.v15i1.4441>

- Ayilara, M. S., Adeleke, B. S., Adebajo, M. T., Akinola, S. A., Fayose, C. A., Adeyemi, U. T., Gbadegesin, L. A., Omole, R. K., Johnson, R. M., Edhemuino, M., Ogundolie, F. A., & Babalola, O. O. (2023). Remediation by enhanced natural attenuation; an environment-friendly remediation approach. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1182586. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1182586>
- Darmono. (1995). *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press: Jakarta
- Du, X., Zhu, Y.G., Liu, W.J., and Zhao, X.S., 2005. Uptake of mercury (Hg) by seedlings of rice (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture and interactions with arsenate uptake. *J. Environmental and Experimental Botany*, 54: 1–7.
- Dewi, T., et al. (2017). *Petunjuk Teknis “Remediasi Lahan Sawah Dan Hortikultura Dataran Rendah Tercemar Merkuri Dan Arsen Melalui Pemanfaatan Bioremediator”*. Pati : Balai penelitian Lingkungan pertanian. ISBN 978-602-1327-08-1.
- Farisi, M., Putra, A. K., & Novianti, N. (2022). Penggunaan Merkuri pada Tambang Emas Ilegal: Diaturkah Dalam Minamata Convention? *Uti Possidetis: Journal of International Law*, 3(3), 320–344. <https://doi.org/10.22437/up.v3i3.19281>
- Hamzah, A., & Priyadarshini, R. (2019). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat. *UNITRI Press*, 1(0341), 105–112.
- Henrianto, A., Okalia, D., & Mashadi, M. (2019). Uji Beberapa Sifat Fisika Tanah Bekas Tambang Emas Tanpa Izin (PETI) Di Tiga Kecamatan Di Daratan Sepanjang Sungai Kuantan. *Jurnal Agronomi Tanaman Tropika (Juatika)*, 1(1), 19–31. <https://doi.org/10.36378/juatika.v1i1.41>
- Hidayati, N., (2013). Heavy Metal Hyperaccumulator Plant Physiologi. *Jurnal Teknik Lingkungan.*, Vol. 14(2). Hal: 73-82
- Kafle, A., Timilsina, A., Gautam, A., Adhikari, K., Bhattarai, A., and Aryal, N. (2022). Phytoremediation: Mechanisms, plant selection and enhancement by natural and synthetic agents. *Environ. Adv.* 8, 100203. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100203>

- Lubis, S. S. (2020). Bioremediasi Logam Berat Oleh Fungi Laut. *Amina*, 1(2), 91–102. doi: <https://doi.org/10.22373/amina.v1i2.411>
- Masowa, M., Kutu, F., Babalola, O., and Mulidzi, A. (2022). Optimizing application rate of winery solid waste compost for improving the performance of maize (*zea mays* L) grown on luvisol and cambisol. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 20, 815–828. <https://doi.org/10.15666/aeer/2001815828>
- Muna, N., Prasetyo, Y., & Sasmito, B. (2020). Analisis Perbandingan Metode Pca (Principal Component Analysis) Dan Indeks Mineral Lempung Untuk Pemodelan Sebaran Kandungan Bahan Organik Tanah Menggunakan Citra Satelit Landsat Di Kabupaten Kendal. *Jurnal Geodesi Undip*. Vol 9, No 1, ISSN : 2337-845
- Nascimento, C. W. A. D., & Xing, B. (2006). Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. *Scientia Agricola*, 63(3), 299–311. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000300014>
- NEDES. (2019). Mercury: Sources, Transport, Deposition and Impacts.
- Nnaji, N. D., Onyeaka, H., Miri, T., & Ugwa, C. (2023). Bioaccumulation for heavy metal removal: A review. *SN Applied Sciences*, 5(5), 125. <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05351-6>
- Notohadiprawiro, T. 2006. Logam berat dalam Pertanian. UGM Pres : Yogyakarta.
- Ong, S. K., Surampalli, R. Y., Bhandari, A., Champagne, P., Tyagi, R. D., & Lo, I. (Eds.). (2007). Natural Processes and Systems for Hazardous Waste Treatment. American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784409398>
- Padmavathiamma, P. K., & Li, L. Y. (2007). Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air, and Soil Pollution*, 184(1–4), 105–126. <https://doi.org/10.1007/s11270-007-9401-5>
- Putra, M. K., & Kusumarini, N. (2018). Ekstraksi Merkuri Dari Limbah Pengolahan Bijih. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan* Vol 5 No 2 : 847-856
- Putri, K. (2014). Remediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Digitaria Ciliaris* (Retz.) Koeler Dan *Fimbristylis Aphylla* (Lamk) Vahl. Masters Thesis, Universitas Andalas.
- Ratnawati, R., & Faizah, F. (2020). Phytoremediation of Mercury Contaminated Soil with the Addition of Compost. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 52(1), 66–80. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.1.5>
- Romadhan, P., Gusmini, G., & Hermansah, H. (2022a). Korelasi Derajat Kemasaman Tanah Dan Kandungan Merkuri Tanah Bekas Tambang Emas Melalui Aplikasi Bahan Organik. *Agroscience (AGSCI)*, 12(1), 62. <https://doi.org/10.35194/agsci.v12i1.2151>
- Romadhan, P., Gusmini, G., & Hermansah, H. (2022b). Perbaikan Sifat Kimia Lahan Bekas Tambang Emas Melalui Aplikasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk Kandang Ayam. *Agrotrop : Journal on Agriculture Science*, 12(1), 99. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2022.v12.i01.p09>
- Sarifuddinn, E., & Patadungan, Y. S. (2017). Pengaruh Asam Humat Dan Fulvat Ekstrak Kompos *Thitonia Diversifolia* Terhadap Hgkhelat, Ph Dan C-Organik Entisol Tercemar Merkuri. *e-J. Agrotekbis* 5 (3) : 284 – 290.
- Schuster, E. (1991). The behavior of mercury in the soil with special emphasis on complexation and adsorption processes - A review of the literature. *Water, Air, & Soil Pollution*, 56(1), 667–680. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00342308>
- Setyowati, J. (2018). Kinetika Adsorpsi Ion Logam Cu, Cd, dan Mn dalam Air Limbah Menggunakan Adsorben Serbuk Gergaji Kayu Meranti. 1–74
- Smolinska, B. (2015). Green waste compost as an amendment during induced phytoextraction of mercury-contaminated soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3528–3537. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3601-5>
- Smolinska, B., & Leszczynska, J. (2017).

- Photosynthetic pigments and peroxidase activity of *Lepidium sativum* L. during assisted Hg phytoextraction. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(15), 13384–13393. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8951-3>
- Tampubolon, K., Zulkifli, T. B. H., & Alridiwirah, A. (2020). Kajian Gulma *Eleusine indica* Sebagai Fitoremediator Logam Berat. *AGRINULA: Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.36490/agri.v3i1.82>
- Tiodar, E. D., Văcar, C. L., & Podar, D. (2021). Phytoremediation and Microorganisms-Assisted Phytoremediation of Mercury-Contaminated Soils: Challenges and Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2435. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052435>
- Wang, L., Hou, D., Cao, Y., Ok, Y. S., Tack, F. M. G., Rinklebe, J., & O'Connor, D. (2020). Remediation of mercury contaminated soil, water, and air: A review of emerging materials and innovative technologies. *Environment International*, 134, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105281>
- WHO. (2017). Mercury and Health. <https://www.who.int/newsroom/factsheets/detail/mercuryandhealth#:~:text=Expureto mercury20–evensmall,%2Ckidneys%2Cskinandeyes>
- Xiao, Y., Zhang, G., Guo, J., Zhang, Z., Wang, H., Wang, Y., Wang, Z., Yuan, H., & Cui, D. (2022). Pollution Characteristics and Risk Assessments of Mercury in Jiutai, a County Region Thriving on Coal Mining in Northeastern China. *Sustainability*, 14(16), 10366. <https://doi.org/10.3390/su141610366>