

Review Paper: Use of Vetiver (*Vetiveria zizanoides* L.) and Rice Husk Biochar in Remediation of Mercury (Hg) Polluted Soil

Baiq Siti Rohmaniati^{1*}, Taufik Fauzi², A. A. Ketut Sudharmawan², Suwardji²

¹Pascasarjana Pengelolaan Lahan Kering, Pascasarjana Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;

Article History

Received : September 22th, 2023

Revised : October 18th, 2023

Accepted : October 24th, 2023

*Corresponding Author: **Baiq Siti Rohmaniati**, Program Studi Magister Pengelolaan Lahan Kering, Universitas Mataram, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia;
Email: baiqniya1234@gmail.com

Abstract: Indonesia has abundant natural resources. One of the great natural resources is mineral resources in the form of gold. With this potential, the number of national mining locations continues to increase, both large, medium, small and unlicensed gold mining (PETI) carried out directly by the community, either in groups or individually, which can have a negative impact on the environment. pollution such as land and water. , because the results of gold processing which contain heavy metals (Hg) are immediately thrown away without any further processing. This can harm the surrounding environment and even enter the food chain. Therefore, the purpose of this paper is to study and find out related information regarding the effectiveness of phytoremediation of soil contaminated with heavy metals such as mercury (Hg) using vetiver (*Vetiveria zizanoides* L.) and soil ameliorant materials in the form of rice husks. biochar to reduce the concentration of these heavy metals, as well as the mechanisms involved in phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. The vetiver root plant (*Vetiveria zizanoides* L) is very effective for use in remediating soil contaminated with mercury (Hg) or other heavy metals. The use of biochar can influence the growth and absorption of heavy metals by vetiver (*Vetiveria zizanoides* L). Biochar is also able to improve the physical and chemical properties of soil and stabilize heavy metals in the soil.

Keywords: Mercury (Hg), phytoremediation, rice husk biochar, vetiver (*Vetiveria zizanoides* L.).

Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah dan terbesar di dunia. Salah satu sumber daya alam yang kapasitasnya sangat melimpah adalah bahan galian (tambang), baik tambang logam mulia maupun tambang non logam. Adanya potensi tersebut menyebabkan jumlah lokasi pertambangan emas nasional terus bertambah seperti penambangan emas skala besar, penambangan emas skala sedang, serta penambangan emas skala kecil (PESK) (Gurnita *et al.*, 2017). Kegiatan penambangan emas skala kecil biasanya dilakukan oleh masyarakat secara langsung baik perorangan maupun kelompok tidak memiliki izin (ilegal), karena kegiatan

penambangan tidak sesuai dengan kebijakan yang telah ditentukan oleh pemerintah, dan biasanya kegiatan penambangan tersebut dinamakan kegiatan penambangan emas tanpa izin (PETI).

Kegiatan penambangan emas tradisional di Indonesia dicirikan dengan penggunaan teknik eksplorasi dan eksploitasi yang sederhana dan murah. Teknik yang biasa digunakan adalah amalgamasi. Amalgamasi merupakan metode tradisional yang biasanya paling banyak digunakan oleh penambang emas skala kecil (PESK) di berbagai daerah dengan tujuan untuk mendapatkan emas dengan cara mencampurkan logam berat seperti merkuri (Hg) yang dilakukan di dalam alat yang disebut 'gelondongan' (Siahaan *et al.*, 2014). Limbah dari hasil

pengolahan tersebut yang banyak mengandung merkuri (Hg) kemudian dibuang dan dialirkan secara langsung kedalam sungai, selokan, parit atau dekat dengan tempat pengolahan emas tanpa dilakukan pengolahan lebih lanjut, sehingga dapat mencemari lingkungan dan merusak kesehatan ekosistem lingkungan (Gurnita *et al.*, 2017).

Hasil penelitian Hamzah *et al.*, (2012) menyatakan adanya pencemaran merkuri di dalam tanah dapat menyebabkan rendahnya kesuburan dan kesehatan tanah. Tingginya ketersediaan merkuri pada tanah-tanah pertanian dapat menyebabkan terjadinya toksisitas logam berat terhadap tanaman yang tumbuh di atasnya dan berbahaya bagi kesehatan konsumen apabila mengkonsumsinya. Merkuri dapat masuk kedalam rantai makanan melalui berbagai macam mekanisme (Handayatno *et al.*, 2014). Merkuri yang masuk ke dalam tubuh manusia dapat menyebabkan terjadinya gangguan-gangguan terhadap proses metabolisme dan kinerja dari beberapa enzim, sehingga itulah yang berdampak terhadap kerusakan otak, ginjal dan susunan kromosom manusia (Sonya *et al.*, 2002).

Mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan oleh keberadaan merkuri (Hg) dalam tanah, maka diperlukan suatu metode yang digunakan untuk menurunkan mobilitas merkuri pada tanah. Menurut Setyaningtyas (2005) dalam melakukan upaya tersebut, dapat dilakukan dengan dua metode yang dinilai tidak menghasilkan residu-residu beracun, yaitu metode adsorpsi menggunakan bahan organik dan absorpsi menggunakan tanaman. Bahan organik yang banyak digunakan dan mudah untuk dijumpai dalam mengadsorpsi keberadaan logam berat adalah bahan pembenahan tanah berupa biochar. Biochar adalah produk padat dari pirolisis residu biomassa limbah dari produksi pertanian dan kehutanan (Wang *et al.*, 2010; Liu *et al.*, 2011; Xu *et al.*, 2013). Menurut Lehman (2009) aplikasi biochar ke tanah telah dianggap memiliki potensi besar dalam meningkatkan penyerapan karbon jangka panjang.

Metode kedua yaitu absorpsi dengan memanfaatkan jasa tanaman yang biasa dikenal dengan istilah fitoremediasi. Fitoremediasi merupakan suatu upaya atau kegiatan yang dilakukan dengan tujuan untuk membersihkan

lingkungan hidup yang sudah tercemar oleh bahan-bahan pencemar seperti logam berat dengan memanfaatkan tanaman yang mampu menyerap dan menstabilkan keberadaan bahan pencemar dalam tanah. Menurut EPA (2001) tanaman yang digunakan harus mampu menstabilkan dan mengurangi tingkat toksisitas logam berat. Tanaman yang dapat digunakan adalah tanaman *Vetiveria zizanoides* L. adalah tanaman yang mempunyai kemampuan dalam menyerap logam berat melalui akarnya, kemudian di akumulasikan ke bagian jaringan tubuh yang lain (hiperakumulator) (MacGrath *et al.*, 1993; Komar *et al.*, 1995). Tanaman *vetiver zizanoides* juga memiliki toleransi yang kuat terhadap cekaman lingkungan.

Tujuan dilakukannya penulisan ini untuk mengetahui informasi sebanyak-banyaknya terkait tentang pemanfaatan tanaman akar wangi dan biochar sekam padi dalam meremediasi tanah tercemar merkuri (Hg) dan logam berat lainnya. Dalam tulisan ini membahas tentang bagaimana mekanisme dalam fitoremediasi, pengaruh pemberian biochar terhadap pertumbuhan dan penyerapan merkuri oleh tanaman akar wangi, pengaruh biochar terhadap penurunan konsentrasi merkuri (Hg), dan efektivitas tanaman akar wangi dalam menyerap merkuri (Hg) dan logam berat lainnya.

Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui metode library research (kepustakaan). Strategi ini dilakukan dengan cara mencari berbagai macam literature yang digunakan sebagai sumberdata, baik yang berasal dari buku, laporan, atau hasil penelitian terdahulu. Metode pengumpulan informasi dengan membedakan pembicaraan dan buku, makalah, artikel majalah, web dan data lain berhubungan dengan topik studi literature ini.

Hasil dan Pembahasan

Mekanisme kerja fitoremediasi dalam meremediasi logam berat

Banyak strategi yang dapat diterapkan dalam melakukan kegiatan fitoremediasi terhadap tanah tercemar, diantaranya adalah (i) *fitostabilisasi* yang merupakan strategi remediasi

dengan menggunakan tumbuhan untuk mengurangi atau menurunkan ketersediaan dan kemampuan logam berat untuk dapat diserap oleh tanaman (*bioavailabilitas*), (ii) *fitoetraksi*, remediasi menggunakan tanaman untuk mengekstraksi dan menghilangkan logam berat dari tanah, (iii) *fitovolatilisasi*, remediasi dengan tanaman yang mampu menyerap logam berat dari tanah, kemudian dilepaskan ke atmosfer sebagai senyawa volatil, dan (iv) *fitofiltrasi*, remediasi yang menggunakan tanaman yang dikultur secara hidroponik untuk menyerap atau menyerap ion logam berat dari air tanah dan air limbah (Garam *et al.*, 1995; Erst, 2005; Marques *et al.*, 2009).

Fitostabilisasi adalah penggunaan spesies tanaman tertentu yang mampu toleran terhadap keberadaan logam berat dalam tanah dan mampu mengimobilisasinya di bawah permukaan tanah dan menurunkan bioavailabilitasnya, sehingga mencegah masuknya kedalam ekosistem dan mengurangi kemungkinan masuknya logam kedalam rantai makanan (Wong, 2003; Marques *et al.*, 2009). Pemilihan spesies tanaman sangat penting untuk fitostabilisasi. Tanaman yang digunakan harus toleran terhadap kondisi logam berat, karena akar tanaman memainkan peran penting untuk menyerap logam berat, menstabilkan struktur tanah, dan mencegah erosi tanah, tanaman harus memiliki sistem perakaran yang padat.

Fitoekstraksi adalah penggunaan tanaman untuk mengambil kontaminan dari tanah atau air, dan mentranslokasi serta mengakumulasikan kontaminan tersebut ke dalam biomassa di atas permukaan tanah (Garam *et al.*, 1995; Jacob *et al.*, 2018). Pemilihan spesies tanaman yang tepat juga sangat penting untuk fitoetraksi. Spesies tanaman untuk phytoextraction harus memiliki karakteristik sebagai berikut: (i) toleransi tinggi terhadap efek racun logam berat, (ii) kemampuan ekstraksi tinggi dengan akumulasi logam berat tingkat tinggi di bagian atas tanah, (iii) tumbuh cepat dengan biomassa tinggi produksi, (iv) pucuk melimpah dan sistem perakaran luas, (v) adaptasi yang baik terhadap lingkungan yang ada, kemampuan kuat untuk tumbuh di tanah yang buruk, budidaya dan panen mudah (Seth, 2012; Ali *et al.*, 2013).

Fitovolatilisasi adalah bagian dari fitoremediasi dengan menggunakan tanaman untuk mengambil polutan dari tanah, mengubah unsur-unsur beracun ini menjadi bentuk volatil

yang kurang beracun, dan kemudian melepaskannya ke atmosfer melalui proses transpirasi tanaman melalui sistem daun atau dedaunan. Pendekatan ini dapat diterapkan untuk detoksifikasi polutan organik dan beberapa logam berat seperti Se, Hg, dan As (Mahar *et al.*, 2016). Fitofiltrasi adalah penggunaan akar tanaman (*rhizofiltration*), pucuk (*caulofiltration*), atau bibit (*blastofiltration*) untuk menghilangkan polutan dari air permukaan yang terkontaminasi atau air limbah (Mesjasz-Przybyłowicz *et al.*, 2004). Selama rhizofiltrasi, logam berat terserap ke permukaan akar. Untuk remediasi air lahan basah, spesies air seperti eceng gondok, azolla, duckweed, cattail, dan poplar biasanya digunakan karena akumulasi logam berat yang tinggi, toleransi yang tinggi, atau pertumbuhan yang cepat dan produksi biomassa yang tinggi (Hooda, 2007).

Pengaruh pemberian biochar terhadap pertumbuhan dan penyerapan merkuri (Hg) oleh tanaman *Vetiveria zizanioides* L.

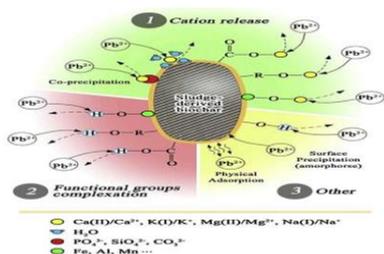
Hasil penelitian Chan *et al.*, (2007) menyatakan penggunaan bahan pembenah tanah berupa biochar sangat berperan sebagai dalam meningkatkan dan memperbaiki sifat fisik tanah, kimia tanah dan biologi tanah yang sudah oleh tercemar logam berat. Nartey and Zhao (2014) juga berpendapat tentang penggunaan biochar mampu menurunkan ketersediaan polutan dalam tanah sehingga serapan oleh tanaman juga berkurang. Namun, pendapat lain juga mengungkapkan bahwa pemanfaatan biochar dapat membantu mempercepat tanaman dalam menyerap polutan berbahaya dalam tanah (Hamzah *et al.*, 2012).

Hasil penelitian Hamzah *et al.*, (2012) yang berjudul “Penggunaan Tanaman *Vetiveria zizanioides* L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Tercemar Limbah Tambang Emas”, menunjukkan biochar yang dikombinasikan dengan pupuk kandang dapat berpengaruh terhadap peningkatan kesuburan tanah sehingga berpengaruh terhadap pertumbuhan dan panjang akar tanaman *Vetiveria zizanioides* L. Hasil penelitiannya juga menunjukkan penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* L. sebagai tanaman remediasi terhadap logam berat Hg dan Pb. Hal ini di dukung oleh karakteristik akarnya yang luas sehingga merkuri yang diserap oleh akarnya

sebesar 88,91 % dan di akumulasikan ke tajuknya sebesar 11,09%.

Pengaruh biochar terhadap penurunan kadar merkuri (Hg) pada tanah tercemar

Biochar merupakan salah satu bahan organik yang memiliki kemampuan dalam menetralkan logam berat pada tanah-tanah yang sudah tercemar dengan cara memperbaiki kualitas tanah seperti sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, sehingga mampu menurunkan terjadinya penyerapan logam berat oleh tanaman (Ippolito *et al.*, 2012; Komarek *et al.*, 2013). Penggunaan biochar sangat efektif untuk digunakan dalam upaya memperbaiki dan meremediasi tanah yang sudah terkontaminasi oleh logam berat (hidayat, 2015). Gambar 1. Ilustrasi mekanisme penjerapan logam berat oleh biochar (Lu *et al.*, 2012) dalam kasus tanah yang terkontaminasi, tergantung pada jenis biochar dan kation yang dapat ditukar (Na, Mg, K, dan Ca) yang ada di dalamnya dapat memegang kunci untuk pelepasan beberapa kation selama terjadinya proses penyerapan logam berat, dengan demikian proses stabilisasi dapat diperkaya.



Gambar 1. Mekanisme penjerapan logam berat oleh Biochar (Lu *et al.*, 2012)

Banyak penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa dengan sifat aromatik yang tinggi, luas permukaan yang tinggi, volume mikropori, dan keberadaan gugus fungsi polar yang melimpah dalam biochar, bahan tersebut terbukti efektif dalam penyerapan berbagai bahan kimia organik termasuk pestisida, PAH, dan kontaminan yang muncul seperti hormon steroid (Kookana *et al.*, 2011). Meskipun sifat yang sangat berpori dan luas permukaan biochar yang besar penting untuk menghilangkan polutan secara efektif, sifat dan jenis karbon organik dan tingkat aromatik juga memainkan peran penting (Sarmah *et al.*, 2010). Biochar dapat mengurangi

bioavailabilitas polutan organik melalui penyerapan, dan mengurangi risiko polutan memasuki rantai makanan manusia atau pencucian ke air tanah.

Penggunaan biochar sangat berpotensi dalam menghilangkan tingkat toksisitas logam berat yang banyak ditemukan pada limbah-limbah hasil pengolahan tambang, hal tersebut telah banyak dibuktikan oleh para peneliti diantaranya adalah (Tabel 2); Jiang *et al.* (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “Imobilisasi Cu(II), Pb(II) dan Cd(II) dengan penambahan biochar jerami padi ke Ultisol tercemar yang disimulasikan”, menyebutkan bahwa penggunaan biochar yang berasal dari jerami padi pada tanah yang memiliki pH masam mampu menurunkan tingkat mobilitas logam berat Pb dan Cd. Selanjutnya dalam penelitian Maulana *et al.*, (2019) membuktikan bahwa penggunaan biochar yang berasal dari sekam padi dapat mengurangi kadar merkuri (Hg) sebesar 75% (dari 12,82 ppm menjadi 4,20 ppm) pada media tanam yang digunakan. Kemudian, dari hasil penelitian Debela *et al.* (2012) penggunaan biochar yang berasal dari kayu mampu menurunkan mobilitas Zn dan Cd. Dari berbagai hasil penelitian-penelitian di atas, dapat dinyatakan bahwa pemanfaatan biochar pada tanah-tanah tercemar tidak secara umum dapat menunjukkan hasil yang maksimal, karena biochar yang digunakan dan jenis logam berat yang akan di remediasi harus diperhatikan.

Tabel 2. Hasil beberapa penelitian tentang penggunaan biochar pada tanah tercemar logam berat

Sumber Biochar	Jenis Logam	Refrensi
Jerami Padi	Pb	Jiang <i>et al.</i> , (2012)
Sekam Padi	Hg	Maulana <i>et al.</i> , (2019)
Kayu	Cd, Zn	Debela <i>et al.</i> , (2012)
Sekam Padi	Pb dan Cd	Hayas Fika <i>et al.</i> , (201)

Efektifitas tanaman *Vetiveria zizanioides* L. dalam menyerap merkuri (Hg) dan logam berat lainnya pada tanah tercemar

Berbagai hasil penelitian yang telah memanfaatkan tanaman *Vetiveria zizanioides* L. sebagai agen fitoremediasi tanah tercemar telah

banyak membuktikan bahwa tanaman tersebut mampu menyerap merkuri (Hg), bahkan jenis logam berat lainnya. Hal tersebut dibuktikan dari hasil penelitian Hamzah *et al.*, (2012) menunjukkan tanaman *Vetiveria zizanioides* sangat efektif dalam meremediasi tanah tercemar Pb dan Hg. Selanjutnya, penelitian Yuli (2010) menunjukkan bahwa tanaman *Vetiveria*

zizanioides mampu menyerap merkuri (Hg) pada lahan Eks-TPA yang menggunakan media tanam yang berasal dari 90% tanah tercemar dan dikombinasikan dengan 10% kompos, hasilnya membuktikan bahwa media tanam tersebut sangat efektif dan efisien dalam membantu tanaman akar wangi meremediasi tanah tercemar Hg sebesar 65,252%.

Tabel 3. Hasil beberapa penelitian tentang penggunaan tanaman *Vetiveria zizanioides* L. pada tanah tercemar logam berat

Jenis logam berat	Total serapan	Judul Penelitian	Referensi
Merkuri (Hg)	Akar = 88,91 % Daun = 23,54 %	Penggunaan Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i> L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Tercemar Limbah Tambang Emas	Hamzah <i>et al.</i> , 2012
Merkuri (Hg)	65,252%	Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg ²⁺) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i> L.) Pada Lahan Eks-TPA Keputih, Surabaya.	Yuli, 2010
Merkuri (Hg)	1,55 µg/g dan 1,32 µg/g	Penyisihan Merkuri (Hg) Dari Tanah Tercemar Limbah Tailing Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i> L.)	Hartila Bayani, 2022
Zn dan Cu	69,8 % dan 82,4 %	Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Zn dan Cu Dengan Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria Zizanioides</i>)	Samang <i>et al.</i> , 2014
Kadmium (Cd)	0,298 mg/Kg.	Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i>) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar	Patundungan, 2014

Hasil penelitian lainnya juga menunjukkan hal yang sama, Hartila bayani (2022) membuktikan bahwa tanaman *Vetiveria zizanioides* mampu menyerap merkuri (Hg) sebesar 1,55 µg/g dan 1,32 µg/g pada tanah yang sudah tercemar dengan konsentrasi merkuri sebesar 1,8816 ppm dan 1,9113 ppm, sehingga dapat dinyatakan tanaman tersebut sangat berpotensi dalam menurunkan konsentrasi zat pencemar yang terdapat pada limbah tailing, seperti merkuri (Hg). Tanaman *Vetiveria zizanioides* L juga memiliki potensi menyerap logam berat lainnya seperti Zn, Cu dan Cd. Samang *et al.* (2014) dalam penelitiannya menunjukkan tanaman akar wangi mampu meremediasi tanah yang sudah oleh Zn dan Cu yaitu sebesar 69,68% dan 82,4% yang ditanam selama 21 hari.

Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Patundungan (2014) juga telah membuktikan tanaman akar wangi berpotensi dalam

mengurangi adanya pencemaran kadmium (Cd²⁺) yang telah mencemari lahan TPA yang ada di kawasan Tamangapa Makassar sebesar 0,298 mg/Kg. Beberapa hasil penelitian-penelitian pada Tabel 3. yang telah dilakukan membuktikan bahwa tanaman akar wangi salah satu tanaman hiperakumulator dalam menyerap logam berat. Hal ini didukung MacGrath *et al.*, (1993) dan Komar *et al.*, (1995) bahwa tanaman *Vetiver zizanioides* memiliki sifat dan daya serap yang tinggi terhadap logam berat serta mampu mengakumulasi ke bagian tubuh yang lain (*hiperakumulator*).

Kesimpulan

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L) merupakan tanaman hiperakumulator yang sangat efektif untuk digunakan dalam meremediasi tanah tercemar merkuri (Hg) ataupun jenis logam berat lainnya. Hal ini juga

didukung oleh penggunaan biochar yang mampu mempengaruhi pertumbuhan serta membantu tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanoides* L) dalam menyerap merkuri (Hg).

Referensi

- Afandi Y. (2014). *Uji Serapan Merkuri (Hg) oleh Tanaman Jagung (Zea mays L.) pada Tanah Tercemar Tailing Gelondongan dan Tong*. [Skripsi S1, unpublished]. Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Mataram. Mataram, Indonesia.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, MA (2013). Fitoremediasi berat logam-konsep dan aplikasi. *Kemosfer*, 91: 869–881. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2013.01.075
- Banuelos, G., & Meek, D. (1990). Akumulasi selenium pada tanaman tumbuh pada tanah yang diberi selenium. *J. Lingkungan*. Kual.19, 772–777. DOI: 10.2134/jeq1990.00472425001900040023x
- Bayani, Hartila. (2022). *Penyisihan Merkuri (Hg) Dari Tanah Tercemar Limbah Tailing Dengan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria Zizanoide L.)*. Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh, Aceh.
- Berti, WR, & Cunningham, SD (2000). "Fitostabilisasi logam," di Fitoremediasi Logam Beracun: Menggunakan Tumbuhan untuk Membersihkan Lingkungan, eds I. Raskin dan BD Ensley (New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.), 71–88.
- Buntoro, B. H., Rohlan, R., & Sri, T. (2014). Pengaruh takaran pupuk kandang dan intensitas cahaya terhadap pertumbuhan dan hasil temu putih (*Curcuma zedoaria* L.). *Vegetalika*, 3(4): 29-39.
- Cui L, Lianqing L, A feng Z, Genxing P., & B, Andrew C, (2011). Biochar amendment greatly reduces rice Cd uptake in a contaminated paddy soil: A two year field Experiment. *BioResources*, 6(3): 2605-2618
- Debela F, Thring RW, Arocena JM. (2012). Immobilization of heavy metals by copyrolysis of contaminated soil with woody biomass. *Water Air Soil Pollut* 223:1161–1170
- Ernst, WH (2005). Ekstraksi fito limbah tambang–opsi dan ketidak mungkinan kimia. *Erde Geochem*.65, 29–42. DOI: 10.1016/j.chemer.2005.06.001
- Garam, DE, Blaylock, M., Kumar, NPBA, Dushenkov, V., Ensley, BD, Chet, I., (1995). Fitoremediasi: strategi baru untuk menghilangkan logam beracun dari lingkungan menggunakan tumbuhan. *Nat. Bioteknologi*, 13, 468–474. DOI: 10.1038/nbt0595-468
- Hamzah A., Kusuma Z., Utomo W.H., Guritno B. (2012). Penggunaan Tanaman *Vetiveria zizanoides* L. dan Biochar untuk Remediasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Pertambangan Emas. *Jurnal Buana Sains* 12: 53-60.
- Hidayat B. (2015). Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar. *Jurnal Pertanian Tropik* 2:31-41.
- Ippolito JA, Laird DA, Busscher WJ. (2012). Environmental benefits of biochar. *J Environ Qual* 41: 967–972
- Jacob, JM, Karthik, C., Saratale, RG, Kumar, SS, Prabakar, D., Kadirvelu, K. (2018). Pendekatan biologis untuk mengatasi pencemaran logam berat: survei literatur. *J. Lingkungan. Mengelola*, 217: 56–70. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.077
- Jiang J, Ren-kou Xua, Tian-yu Jiang, Zhuo Li. (2012). Immobilization of Cu(II), Pb(II) and Cd(II) by the addition of rice straw derived biochar to a simulated polluted Ultisol. *Journal of Hazardous Materials* 229– 230.
- Komárek M, Vaněk A, Ettler V (2013) *Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides—a review*. *Environ Pollut* 172:9–22
- Kookana RS, Sarmah AK, Van Zwieten L, Krull E, Singh B. (2011). *Aplikasi biochar ke tanah: manfaat agronomis dan lingkungan serta konsekuensi yang tidak diinginkan*. *Sparks DL (ed) Adv Agro*, 112:103-143.
- Kurnia U., Suganda H., Saraswati R., Nurjaya. (2009). *Teknologi Pengendalian Pencemaran Lahan Sawah*. URL: <http://balittanah.litbang.deptan.go.id/dokumentasi/buku/tanahsawah/tanahsawah9.pdf>. [18 Nopember 2018]

- Lehmann J., Joseph S. (2009). *Biochar for Environmental Management*. Earthscan. London.
- Lu H, Zhang YY, Huang X, Wang S, Qiu R, (2012). Relative distribution of Pb²⁺ sorption mechanisms by sludgederived biochar. *Wat Res*, 46: 854–862.
- Marques, AP, Rangel, AO, and Castro, PM (2009). Perbaikan dari tanah yang terkontaminasi logam berat: fitoremediasi sebagai teknologi pembersihan yang berpotensi menjanjikan Kritik. *Pendeta Env. Sains. Technol.* 39, 622–654. DOI: 10.1080/10643380701798272
- McGrath S. P., & Zhao F. J. (2003). Phytoextraction of Metals and Metalloids from Contaminated Soils. *Curr Opin. Biotechnology*, 277-282.
- Mesjasz-Przybyłowicz, J. O. L. A. N. T. A., Nakonieczny, M. I. R. O. S. Ł. A. W., Migula, P. A. W. E. Ł., Augustyniak, M. A. R. I. A., Tarnawska, M. O. N. I. K. A., Reimold, W. U., ... & Głowacka, E. L. Ż. B. I. E. T. A. (2004). Uptake of cadmium, lead nickel and zinc from soil and water solutions by the nickel hyperaccumulator *Berkheya coddii*. *Acta Biol. Cracoviensia Ser. Bot*, 46, 75-85.
- Patandung, A., Syamsidar, H. S., & Aisyah, A. A. (2016). Fitoremediasi Tanaman Akar Wangi (*Vetiver zizanioides*) Terhadap Tanah Tercemar Logam Kadmium (Cd) Pada Lahan TPA Tamangapa Antang Makassar. *Al-Kimia*, 4(2), 107-120.
- Rop, O., Valášek, P., Golian, J., & Hoza, I. (2008). Dependence of uptake and distribution of mercury in vegetable plants on increasing content of mercury in soil. *The scientific journal for phytotechnics and zootechnics*, 11: 53-56.
- Sarwar, N., Saifullah, Malhi, S. S., Zia, M. H., Naeem, A., Bibi, S., & Farid, G. (2010). Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(6), 925-937.
- Seth, CS (2012). Tinjauan tentang mekanisme toleransi tanaman dan peran transgenik tanaman dalam pembersihan lingkungan. *Bot. Putaran*. 78, 32–62. DOI: 10.1007/s12229-011-9092-x
- Setyaningtyas, Tien, Zufahair, Suyata. (2005). Pemanfaatan Abu Sekam Padi Sebagai Adsorben Kadmium (II) dalam Pelarut Air. *Jurnal Kimia* 31: 33-41.
- Sonya D.N., Bobby J., Polli. (2002). Pendugaan Kandungan Merkuri dan Sianida di Daerah Aliran Sungai (DAS) Buyat Minahasa. *Jurnal Etokon* 2: 31-37.
- Terry, N., Carlson, C., Raab, T., & Zayed, AM (1992). Tingkat selenium penguapan di antara spesies tanaman. *J. Lingkungan. Kual.* 21, 341–344. DOI: 10.2134/jeq1992.00472425002100030006 x
- Triastuti, Yuli. (2010). *Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri (Hg²⁺) Menggunakan Tanaman Akar Wangi (Vetiveria Zizanioides L.) Pada Lahan Eks-TPA Keputih*. Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Truong P, Claridge J. (1996). *Effect of heavy metals toxicities on vetiver growth*. Vetiver Network (TVN) Newsletter, 15. Bangkok, Thailand.
- Truong, P. & Baker, D. (1998). Vetiver grass for stabilization of acid sulfate soil. In *Proc. 2nd Nat. Conf. Acid Sulfate Soils. Coffs Harbour, Australia.* (2) : 196-198.
- Truong, P. & Hart, B. (2001). *Vetiver System for Wastewater Treatment*. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin, No. 2001/2. Bangkok, Thailand. P.1-26.
- Truong, P. (1999). *Vetiver grass technology for mine rehabilitation* (Vol. 19). Bangkok: Office of the Royal Development Projects Board.
- Truong, Paul. (2002). *Vetiver System: Potential Applications In Latin America*. Australia: Technical Bulletin N0. 1998/1. Pacific Rim Vetiver Network. Royal Development Projects Board.
- Uchimiya M, Lima IM, Klasson KT, Wartelle LH. (2010). Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: roles of natural organic matter. *Chemosphere*, 80:935–940
- Wong, MH (2003). Restorasi ekologi tanah tambang yang terdegradasi, dengan penekanan pada tanah yang terkontaminasi logam. *Kemosfer*, 50, 775–780. DOI: 10.1016/S0045-6535(02)00232-1