

## Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan

### (Mycoremediation to Remove Heavy Metal Pollution in Post-Mining Areas for Farmland Utilization)

Riza Zainuddin Ahmad

Balai Besar Penelitian Veteriner, Jl. RE Martadinata No. 30, Bogor 16114  
[rizamiko@yahoo.co.id](mailto:rizamiko@yahoo.co.id)

(Diterima 9 Februari 2018 – Direvisi 20 Februari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

#### ABSTRACT

The agriculture land including farmland is decreasing caused by conversion to industrial area and settlement, therefore post-mining area is used to be farmlands. The utilization of post-mining area causes serious health problem in animals and humans due to heavy metal waste pollution (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, and Pb). Efforts to overcome the pollution of heavy metals on farms can be carried out by preventing and controlling waste in post-mining and industry areas. There are several mycoremediation methods to recover heavy metal polluted land such as biosorption, bioaccumulation, bioprecipitation, bioreduction, and bioleaching. Mycoremediation is a process to remove pollutants or heavy metals from soil using potential fungi (*Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp, *Fusarium* sp, *Saccharomyces cerevisiae*). Mycoremediation is chosen due to economical cost, efficient, and environmentally friendly.

**Key words:** Contamination, mycoremediation, farmland, heavy metal, post-mining land

#### ABSTRAK

Luas lahan pertanian termasuk peternakan semakin berkurang karena alih fungsi untuk pemukiman dan industri, sehingga lahan bekas tambang dimanfaatkan untuk lahan pertanian termasuk peternakan. Penggunaan lahan bekas tambang menimbulkan banyak masalah yang disebabkan oleh polusi limbah logam berat (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni dan Pb) yang menyebabkan gangguan kesehatan pada hewan dan manusia. Upaya mengatasi cemaran polusi logam berat pada lahan peternakan dapat dilakukan dengan pencegahan dan pengendalian limbah di daerah bekas pertambangan dan industri. Terdapat beberapa metode mikoremediasi untuk membersihkan lahan yang tercemar logam berat antara lain biosorpsi, bioakumulasi, biopresipitasi, bioreduksi dan *bioleaching*. Mikoremediasi adalah suatu proses untuk memulihkan lahan dari bahan-bahan pencemar atau polutan secara biologi atau dengan menggunakan cendawan potensial antara lain *Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp, *Fusarium* sp, *Saccharomyces cerevisiae*. Metode ini dipilih karena murah, efisien dan ramah lingkungan.

**Kata kunci:** Cemaran, mikoremediasi, lahan peternakan, logam berat, lahan bekas tambang

#### PENDAHULUAN

Hasil peternakan mendukung hasil pertanian namun keterbatasan lahan untuk beternak dan bercocok tanam merupakan masalah yang serius dan penting untuk dipikirkan. Di Indonesia lahan seringkali berubah fungsi menjadi perkebunan, perumahan atau industri (pabrik). Lahan kering potensial tersedia di Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Papua untuk tanaman pangan, tanaman sayuran dataran tinggi, tanaman tahunan dan penggembalaan ternak. Berdasarkan hasil analisis potensi lahan kering di kawasan areal penggunaan lain, hutan produksi konversi, hutan produksi, tersedia luas lahan kering potensial untuk pengembangan pertanian pada ketiga kawasan tersebut seluas 24,79 juta ha dan

untuk penggembalaan ternak hanya sebesar 931.289 ha (Ritung et al. 2015). Lahan peternakan yang tersedia kurang mencukupi untuk memelihara ternak, sehingga lahan bekas pertambangan dan pabrik digunakan untuk peternakan ruminansia dan unggas khususnya di daerah pulau-pulau padat penduduk dengan risiko pencemaran logam berat.

Selain pabrik, eksploitasi sumber daya alam seperti industri pertambangan merupakan salah satu industri yang sangat menguntungkan karena memiliki daya jual tinggi di pasaran global, meskipun menimbulkan dampak terhadap lingkungan (Purwantari 2007). Kegiatan pertambangan dan usaha pabrik pada umumnya bila dilakukan di kawasan hutan menyebabkan kerusakan lingkungan secara keseluruhan dalam bentuk pencemaran air, tanah dan udara yang

tidak menguntungkan bagi kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Hal ini disebabkan oleh sampah, limbah industri minyak dan logam berat dari aktivitas manusia yang mengakibatkan lingkungan tidak berfungsi seperti semula (Gunawan et al. 2015).

Polusi dapat didefinisikan sebagai pencemaran lingkungan oleh bahan-bahan yang dapat mengganggu kesehatan hewan, manusia, kualitas kehidupan dan juga fungsi alami dari ekosistem. Polutan ada yang mudah terdegradasi (sampah dari bahan organik) dan yang sukar terdegradasi (pestisida, fungisida, insektisida, petrokimia, logam berat dan lainnya). Polusi lingkungan terjadi karena keberadaan sumber logam berat yang salah tempat dan mencemari tanah sehingga akan mengganggu kesehatan manusia dan hewan bila masuk ke dalam rantai makanan (Akhtar et al. 2013). Polusi logam berat pada masa kini perlu mendapat perhatian khusus. Aktivitas antropogenik seperti pabrik baja, pertanian, pembuangan limbah industri menghasilkan berbagai macam logam berat seperti Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Rd, Sn, Th, U dan Zn yang dapat merusak kesehatan manusia (Malik 2004).

Bila dipaksakan mungkin ternak dapat dipelihara pada lahan peternakan dekat kawasan pabrik atau bekas pertambangan yang berpolusi (Gambar 1). Ketika ternak mengonsumsi pakan yang mengandung logam berat maka manusia yang mengonsumsi produk ternak tersebut akan terkontaminasi logam berat yang di kemudian hari akan merugikan kesehatan. Percepatan jumlah penduduk, sampai dengan tahun 2016 tercatat sebanyak 259 jiwa (BPS 2016) sedangkan luas lahan untuk beternak terus berkurang karena dipakai untuk memenuhi kebutuhan penduduk, misalnya untuk perumahan, pasar, perkantoran dan sebagainya. Ironisnya, populasi ternak harus ditambah untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satu kendala besar bagi usaha peternakan sapi di daerah perkotaan adalah keterbatasan lahan penggembalaan. Penyediaan pakan ternak menjadi salah satu masalah bagi peternak. Hijauan makanan ternak sebagai pakan utama semakin sulit diperoleh akibat berkurangnya lahan untuk pengembangan produksi hijauan. Pakan alternatif untuk

mengganti sebagian atau seluruh hijauan makanan ternak perlu dicari sebagai sumber pakan baru untuk kelangsungan usaha peternakan, khususnya sapi perah (Salundik et al. 2012). Namun, pakan alternatif tersebut sering berisiko tercemar logam berat.

Apabila tingkat pencemaran logam berat pada lahan peternakan cukup tinggi, dalam jangka waktu yang lama logam berat tersebut berakumulasi pada organ tubuh ternak sehingga menyebabkan kelainan patologis. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan upaya remediasi khususnya mikoremediasi, umumnya dengan teknik biosorpsi. Meskipun cendawan dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan kesehatan ternak, baik secara langsung dan tidak langsung (Ahmad 2008). Namun demikian, beberapa mikroba cendawan dapat juga dipakai untuk meremediasi lingkungan, misalnya tanah yang sudah terakumulasi logam berat. Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan pendekatan mikoremediasi untuk menekan tingkat pencemaran logam berat pada lahan peternakan yang berlokasi di dekat kawasan industri, bekas industri dan pertambangan.

## LOGAM BERAT DAN PENCEMARANNYA

Sumber pencemaran logam berat di suatu lahan secara umum berasal dari proses alam (misalnya aktivitas gunung berapi) atau akibat kegiatan manusia, misalnya pertambangan (minyak, emas dan batubara), pembangkit listrik, peleburan logam, pabrik pupuk dan penggunaan bahan sintetik. Cemar akan terus bertambah sejalan dengan meningkatnya usaha eksplorasi berbagai sumber alam dengan kandungan logam berat di dalamnya (Onrizal 2005). Proses industri dan urbanisasi berperan penting terhadap peningkatan kontaminasi tersebut. Beberapa logam polutan yang penting untuk diketahui yaitu arsenik (As), boron (B), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), selenium (Se) dan seng (Zn). Logam berat dan cemarannya berbahaya untuk lingkungan (Setyorini et al. 2009).



Lampung



Pulau Sumbawa



Sumatera Utara

**Gambar 1.** Lahan peternakan yang dapat tercemar limbah pabrik, industri dan pertambangan

**Sumber:** Dokumentasi pribadi

Limbah yang dihasilkan pabrik mengandung berbagai senyawa berbahaya bagi kehidupan manusia, salah satu diantaranya adalah logam berat. Logam berat secara alami sudah ada di dalam tanah dan tidak dapat terdegradasi, dapat menetap di tanah dan air untuk waktu yang lama, sehingga akan terus meningkat dari waktu ke waktu (Govindasamy et al. 2011). Akumulasi logam pada tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba, kesuburan, kualitas tanah, hasil tanah secara keseluruhan dan masuknya bahan beracun ke dalam rantai makanan (Kurnia et al. 2009; Atafar et al. 2010). Pencemaran/polusi lingkungan oleh logam berat dapat terjadi apabila proses produksi oleh industri dan pertambangan yang menggunakan logam berat tidak memperhatikan keselamatan lingkungan, khususnya dalam membuang limbah. Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran, bila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan berakhir pada manusia sehingga memungkinkan timbulnya berbagai macam penyakit (Sudarmaji et al. 2006).

Logam berat masuk ke dalam tubuh hewan dan manusia melalui intravaskuler atau ekstrasvaskuler (sirkulasi sistemik) dan didistribusikan ke seluruh tubuh. Proses distribusi memungkinkan logam berat sampai pada sel reseptor. Interaksi sel reseptor dengan logam berat yang berlebihan dapat menghasilkan efek keracunan. Bila pakan terkontaminasi oleh mineral dan logam berat yang tidak diperlukan pada fungsi fisiologis tubuh maka akan terakumulasi di dalam tubuh sebagai racun yang merugikan kesehatan (Raikwar et al. 2008). Palar (2004) menjelaskan bahwa logam berat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui pernapasan atau penetrasi melalui kulit. Selain itu, masuknya logam berat ke dalam tubuh ternak secara alami dapat melalui rumput atau beberapa jenis leguminosa pakan ternak dan air minum yang tercemar oleh logam berat. Logam berat terserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga terakumulasi dalam pakan ternak (Widaningrum et al. 2007). Cemar logam berat pada tanah dan air yang melebihi batas ambang yang dipersyaratkan dapat menyebabkan pengaruh negatif terhadap tanaman, ternak yang digembalakan dan kesehatan masyarakat di sekitarnya. Cemar logam ini dikhawatirkan memberikan paparan pada masyarakat dan ternak di sekitarnya dengan dosis rendah dan terakumulasi dalam tubuh dalam jangka waktu lama, sehingga harus dilakukan antisipasi terhadap efek yang ditimbulkan oleh cemar logam berat pada kesehatan manusia dan ternak (Kihampa & Wenaty 2013).

## Cemaran logam berat di Indonesia

Logam As merupakan unsur yang melimpah secara alami, termasuk golongan semi-logam yang dapat mencemari tanah, air dan udara melalui proses erosi atau letusan gunung berapi (Widowati et al. 2008). Penggunaan logam As sebagai pestisida dalam dunia pertanian merupakan sumber utama kontaminasi As dalam tanah atau air tanah (Notodarmojo 2005). Widowati et al. (2008) menjelaskan bahwa tersebarnya logam berat seperti Hg di tanah, perairan dan udara dapat melalui berbagai jalur seperti pembuangan limbah industri secara langsung, baik limbah padat maupun limbah cair. Dalam volume rendah, tanah dapat mengurai logam berat, namun secara terus menerus tanah akan tercemar logam berat. Pencemaran Pb berasal dari sumber alami maupun limbah hasil aktivitas manusia dengan jumlah yang terus meningkat, baik di lingkungan air, darat, maupun udara. Pencemaran logam Pb dan As dapat mengganggu organ hati dan ginjal ternak dan secara tidak langsung dapat mengganggu kesehatan manusia yang mengkonsumsi produk asal ternak tersebut.

Di Bogor, ditemukan Pb dan As pada susu segar di peternakan sapi perah yang diberi pakan asal limbah organik (sampah), namun khusus pakan yang berbahan dasar jagung kadar Pb dan As masih di bawah kadar ambang, masing-masing yaitu 0,3 dan 0,5 ppm. Keracunan logam Pb dan As pada ternak sapi biasanya berpengaruh terhadap produksi, disamping itu residu logam Pb dan As dalam susu dapat menurunkan kualitasnya karena sebagian logam Pb dan As diekskresikan melalui susu. Konsentrasi logam Pb dan As dalam pakan yang dikonsumsi oleh ternak sapi biasanya sangat bervariasi, sehingga keberadaan logam tersebut dalam tubuh sapi berbeda-beda (Salundik et al. 2012).

Penelitian di Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah pada tahun 2013 menunjukkan bahwa kadar Hg pada tanah terdeteksi di 72% lokasi dan kadar sianida pada air di 66,7% lokasi pengambilan sampel. Analisis kandungan Hg pada tanah melebihi batas ambang yang diijinkan, demikian pula kandungan sianida pada air. Sedangkan sampel rumput alam diketahui kandungan Hg-nya sebesar 0,05 ppm. Luasnya lokasi pencemaran Hg dan sianida pada lingkungan dan pakan dapat memberi paparan rendah kepada masyarakat dan ternak sekitarnya sehingga harus dilakukan antisipasi terhadap bahaya yang ditimbulkan pada kesehatan manusia dan ternak. Cemar Hg pada tanah dan lingkungannya di Kabupaten Lombok Barat dan Tengah mengandung Hg 0,2-3,5 ppm sedangkan batas ambang sebesar 0,005 ppm (Astuti & Sugianti 2014).

## Cemaran logam berat di luar negeri

Beberapa negara di luar negeri cemaran logam berat pada lingkungan khususnya di daerah pertanian perlu mendapat perhatian khusus. Di daerah Barat Saudi Arabia polusi logam berat telah mencemari sayuran yang diairi dari irigasi dekat pertambangan pada tahun 2010 dan 2011 (Balkhair & Ashraf 2016). Menurut *The Health Risk Index* (HRI), logam yang berbahaya (index >1) secara berurutan adalah Cr > Zn > Ni > Cd > Mn > Pb > Cu > Fe.

Simon et al. (2016) menyatakan pengairan sawah dari air bekas pertambangan di Tanzania tercemar logam Pb. Hal ini dapat diatasi dengan merawat lingkungan untuk keamanan hasil-hasil pertanian. Dari hasil tersebut, terdapat korelasi positif antara kandungan logam berat hasil panen dengan pengairan air irigasi bekas pertambangan. Di pusat perkembangan industri di Tiongkok telah diteliti kualitas tanah pertanian (tanah peternakan, tanah hutan, padang rumput) dengan cemaran As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni dan Zn, namun masih di bawah batas ambang berbahaya. Logam As dan Ni ditemukan pada lahan pertanian yang sudah lama, sedangkan logam berat lainnya pada tanah yang baru diolah. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan industri mempengaruhi kualitas tanah dan kesehatan (Liu et al. 2015). Selain itu, hasil penelitian FAO di India ditemukan cemaran logam berat Zn dan Mg pada air irigasi dan pada hasil panen tomat di Kota Mysore, sedangkan mineral seperti P, Ca, K dan Na dibutuhkan oleh tanaman hortikultura tersebut (Alghobar & Suresha 2017).

## Dampak keracunan logam berat pada kesehatan hewan

Efek gangguan logam berat terhadap kesehatan hewan ternak tergantung pada lokasi dalam tubuh, serta besarnya dosis paparan. Beberapa gejala penyakit yang timbul adalah anemia, gangguan pada hati, ginjal, jantung dan penurunan kecerdasan (Kafiar et al. 2013). Keracunan As dalam bentuk As<sub>2</sub>O dan Na<sub>3</sub>AsO<sub>3</sub> mengakibatkan gangguan pencernaan dan kardiovaskular (Blakley & Barry 2011), keracunan Cd menyebabkan gastroenteritis, gangguan kardiovaskular dan kerusakan hati (Gupta & Mohapatra 2003). Selain itu, keracunan Hg menyebabkan gastroenteritis dan diare (Blakley & Barry 2011), keracunan logam berat Pb menyebabkan gangguan syaraf.

## BIOREMEDIASI DAN MIKOREMEDIASI (MIKO-BIOREMEDIASI)

Bioremediasi adalah proses untuk mengurangi efek negatif dari industri yang menghasilkan limbah/polusi logam berat. Istilah miko-bioremediasi (mikoremediasi) berasal dari miko (cendawan) bio (hidup) dan remediasi (pemulihan kembali) yang berarti menggunakan cendawan untuk menghilangkan senyawa yang toksik dari air, lumpur dan tanah sehingga lingkungan kembali menjadi bersih dan alamiah. Bioremediasi pada lahan terkontaminasi logam berat didefinisikan sebagai proses membersihkan lahan dari bahan-bahan pencemar/polutan secara biologis atau dengan menggunakan organisme hidup (Hidayat 2015). Melalui bioremediasi, lahan dapat dibersihkan, khususnya lahan peternakan yang berdekatan dengan pabrik sehingga bebas dari cemaran logam berat. Bioremediasi sudah banyak dilakukan pada pengolahan limbah minyak bumi (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 K Tahun 2003), sedangkan untuk lahan peternakan belum ada aturannya. Mikoremediasi dapat dilakukan bila lingkungan tempat tumbuh cendawan sesuai dengan habitatnya seperti suhu, pH, nutrisi, kelembaban dan oksigen. Mikoremediasi dapat dilakukan dengan biostimulasi (memperbanyak cendawan) yang sudah ada di dalam tanah yang tercemar dengan cara memberikan lingkungan pertumbuhan yang diperlukan dan bioaugmentasi (menambahkan populasi cendawan). Di dalam proses bioremediasi dibedakan menjadi dua golongan, yaitu *in situ* untuk polutan yang tidak dipindahkan dan *ex situ* untuk polutan yang dipindahkan.

Proses remediasi berdasarkan kemampuan toleransi cendawan terbagi atas dua mekanisme, yaitu pemisahan ekstrak seluler melalui khelasi dan pengikatan dinding sel serta pemisahan intraseluler fisik logam melalui pengikatan protein atau ligan lainnya untuk mencegah kerusakan target seluler sensitif logam (Anahid et al. 2011). Enzim juga memegang peranan dalam proses mikoremediasi yang akan mendegradasi sejumlah jenis substrat dan polutan (Kulshreshtha et al. 2014).

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi ramah lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Teknik ini efektif, murah, mudah dilakukan dan efisiensi tinggi dalam membersihkan

tanah serta air yang tercemar oleh senyawa beracun (Kensa 2011; Bhatnagar & Kumari 2013). Mikroba yang sering digunakan dalam proses bioremediasi adalah bakteri, cendawan dan alga. Degradasi senyawa kimia dan logam berat oleh mikroba merupakan proses yang sangat penting untuk mengurangi kadar bahan berbahaya di lingkungan yang berlangsung melalui suatu seri reaksi kimia yang cukup kompleks.

### Mekanisme bioremediasi

Umumnya proses bioremediasi ion logam berat terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses pengambilan aktif (*active uptake*) dan penyerapan pasif (*passive uptake*). Prosesnya berlangsung dengan cepat dan bolak balik. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa.

Cendawan sebagai bioremediasi lebih baik daripada bakteri. Bakteri mengurai senyawa organik polutan logam berat dengan cara menangkap/mengambil senyawa tersebut ke dalam sel dan memanfaatkan enzim intraseluler. Dalam hal ini, difusi dengan polutan dibatasi oleh ukuran molekul, dinding sel, toksisitas senyawa tertentu yang akan mematikan bakteri. Sebaliknya, pada cendawan enzim pendegradasi disekresi oleh cendawan dan miselia (enzim ekstraseluler) dan proses biodegradasi (pengurai) dilakukan di luar sel cendawan sehingga ukuran molekul dan toksisitasnya dapat diabaikan (Onrizal 2005). Gambar 2 menunjukkan beberapa spesies cendawan yang sering dipakai untuk proses miko-bioremediasi.

Kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang terkontaminasi telah banyak diteliti (Pushkar et al. 2015). Salah satu pendekatan yang telah dilakukan pada proses bioremediasi adalah mikoremediasi (Agunwamba et al. 2013).

### Kemampuan toleransi fungi

Mekanisme bioremediasi menggunakan mikroorganisme dikembangkan untuk mentoleransi konsentrasi logam berat (Ahmad & Malik 2012). Secara umum, kemampuan toleransi yang ditunjukkan oleh cendawan terjadi melalui dua mekanisme, yaitu pemisahan secara *ekstraselular* melalui khelasi dan pengikatan dinding sel, serta pemisahan *intraselular* fisik logam melalui pengikatan ke protein atau ligan lainnya untuk mencegah kerusakan target selular yang sensitif terhadap logam tersebut. Mekanisme ekstraselular berupaya menghindarkan sel dari masuknya logam, sedangkan sistem atau mekanisme

intraselular bertujuan untuk mengurangi beban logam dalam sitosol (Anahid et al. 2011).

Mikroorganisme memegang kunci penting dalam geoaktif di *biosphere* dan berperan di dalam pengendalian racun logam berat di lingkungan. Hal ini terjadi melalui mekanisme pertahanan yang mempengaruhi transformasi antara bentuk terlarut dan tidak terlarut. Mekanisme ini merupakan komponen yang terintegrasi secara alami di dalam siklus biogeokimia dan berpotensi dalam proses bioremediasi secara *in situ* maupun *ex situ* (Gadd 2000; 2010).

### Mikoremediasi

Mikoremediasi adalah suatu proses pendegradasian atau penghilangan bahan toksik dari lingkungan yang tercemar dengan menggunakan fungi (Asiriwu et al. 2013). Pada proses remediasi cemar di lingkungan melibatkan cendawan beserta mekanisme reduksinya, baik secara intraselular maupun ekstraselular. Beberapa jenis fungi yang sering dijadikan agen mediator antara lain *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Penicillium* sp, *Hanerochaete* sp, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichoderma* sp (Gambar 2). Cendawan mereduksi logam berat dengan beberapa cara yaitu biosorpsi, bioakumulasi, biopresipitasi, bioreduksi dan *bioleaching* dengan proses kimiawi melalui modifikasi ataupun mengubah bioavailabilitas (Damodaran et al. 2011; Harms et al. 2011; Chaturvedi et al. 2015; Dixit et al. 2015) (Tabel 1).

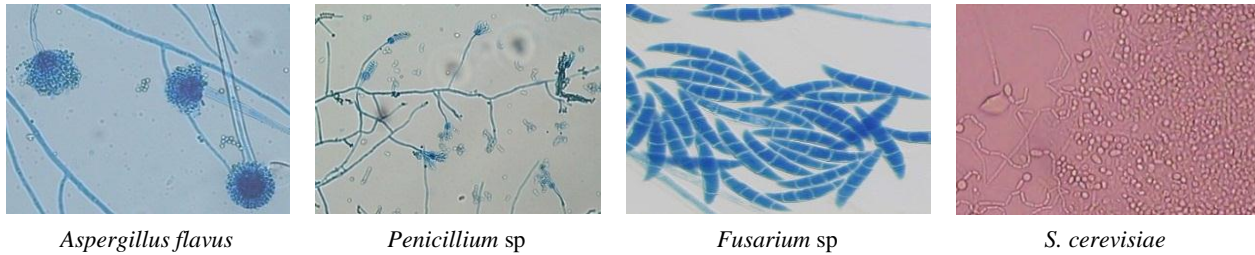
**Tabel 1.** Proses-proses yang dapat terjadi dalam mikoremediasi

Proses	Sumber
Biosorpsi ( <i>passive active</i> )*	Gelagutashvili (2013); Davis et al. (2003); Chipasa (2003); Pagnanelli et al. (2000); Hansda et al. (2015)
Bioakumulasi ( <i>active uptake</i> )	Arunakumara & Zhang (2007); Smical et al. (2008)
Biopresipitasi	Fu & Wang (2011); Martinez et al. (2007)
Bioreduksi	Wani & Ayoola (2015)
<i>Bioleaching</i>	Ohimain et al. (2009); Gadd (2010)

\*: Paling banyak digunakan

### Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses penghilangan logam dari suatu larutan dengan menggunakan bahan biologis. Proses penghilangan logam berat melalui pengikatan pasif ke biomassa tidak hidup dari suatu larutan dan



**Gambar 2.** Cendawan yang potensial sebagai mikoremediasi

**Sumber:** Dokumentasi pribadi

mekanisme reduksinya tidak dikendalikan secara metabolik. Biosorpsi merupakan proses penyerapan logam secara pasif oleh sel-sel mikroorganisme, hasil dari formasi organik kompleks-logam dengan penyusun dinding sel mikroorganisme, kapsul atau polimer ekstraseluler yang disintesis dan diekskresikan oleh mikroorganisme (Gavrilescu 2004). Mekanisme biosorpsi dapat dikelompokkan menjadi mekanisme yang bergantung pada metabolisme (metabolism-dependent mechanisms) dan mekanisme yang tidak bergantung dengan metabolisme (metabolism-independent mechanisms) (Pagnanelli et al. 2000). Pengikatan logam tidak bergantung metabolisme (metabolism-independent metal binding) ke dinding sel dan permukaan eksternal hanya terjadi pada biosorpsi yang melibatkan biomassa tidak hidup (non-living biomass). Sedangkan pada metabolisme-independent metal binding melibatkan proses adsorpsi seperti ionik, kimiawi dan fisik oleh grup fungsional dinding sel biomassa. Biosorben memiliki berbagai sisi fungsional yaitu karboksil, imidazole, sulfidril (thiol), amino, fosfat, sulfat, thioether, fenol, karbonil (keton), amida, gugus hidroksil, fosfonat dan fosfodiester yang memiliki potensi (Gupta & Mohapatra 2003; Javanbakht et al. 2014). Interaksi pasif dinding sel dengan ion logam dalam proses biosorpsi juga melibatkan makromolekul seperti lipid, protein dan polisakarida yang terdapat pada permukaan dinding sel (Chipasa 2003). Biosorpsi adalah proses mikoremediasi paling banyak dilakukan dalam melakukan remediasi.

### **Bioakumulasi**

Mikroorganisme memiliki kapasitas untuk mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi yang umumnya ada di lingkungan. Proses akumulasi ini dapat dikelompokkan menjadi biokonsentrasi dan bioakumulasi. Biokonsentrasi merupakan proses peningkatan konsentrasi polutan secara langsung sewaktu berpindah dari lingkungan ke suatu organisme. Sedangkan bioakumulasi adalah absorpsi polutan secara langsung yang terakumulasi melalui nutrisi yang ditambahkan pada organisme (Smical et al. 2008). Bioakumulasi logam berat pada

organisme hidup dideskripsikan sebagai suatu proses dan jalur migrasi polutan dari satu level trofik ke level lainnya, termasuk melalui rantai makanan sehingga dapat terakumulasi pada jaringan organ (Kouba et al. 2010; Akan et al. 2012). Keberadaan logam berat tergantung pada karakteristik bioakumulasi logam yang terkonsentrasi. Bioakumulasi logam berat terjadi secara aktif dan dikendalikan secara metabolik oleh organisme. Sedangkan bioavailabilitas logam berat, akumulasi dan toksisitasnya tergantung pada variabel-variabel yang terdapat di lingkungan (Arunakumara & Zhang 2007).

### **Biopresipitasi**

Proses reaksi kimiawi terhadap logam berat dilakukan sehingga terbentuk presipitat tidak larut dan kemudian presipitat tersebut dipisahkan melalui proses sedimentasi atau filtrasi (Fu & Wang 2011). Presipitasi diikuti oleh proses koagulasi atau penggumpalan yang terjadi di dalam pembentukan presipitat hidroksida logam melalui penambahan bahan alkali untuk menghilangkan kation logam berat seperti Pb(II), Cd(II), Cu(II) dan Ni(II) (Dhokal et al. 2005). Di dalam biopresipitasi, pereduksian logam berat menjadi presipitat dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob dimana proses ini berbeda dengan biomineralisasi yang terjadi secara aerob (Martinez et al. 2007).

### **Bioreduksi**

Pereduksian racun dari suatu lingkungan atau detoksifikasi dengan menggunakan mikroorganisme adalah merupakan pendekatan perlindungan lingkungan yang ramah. Proses bioreduksi atau biodetoksifikasi oleh mikroorganisme dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Bioreduksi secara langsung terjadi dengan melibatkan aktivitas enzimatis, sedangkan mekanisme tidak langsung melibatkan produk metabolisme (reduktan maupun oksidan) melalui reaksi reduksi oksidasi kimiawi (Wani & Ayoola 2015).

### Bioleaching

Proses pelarutan logam dari substrat padatan secara langsung dapat dilakukan melalui metabolisme mikroorganisme seperti cendawan dan bakteri, serta secara tidak langsung dilakukan oleh produk metabolisme. Unsur-unsur dapat mengalami proses asimilasi, degradasi dan metabolisme senyawa organik serta anorganik seperti C, H, O. Selain itu, pada unsur N terjadi dekomposisi senyawa, denitrifikasi dan nitrifikasi, oksidasi amonia dan nitrit, atau sintesis biopolimer yang mengandung nitrogen (N). Delusi fosfat anorganik dan mineral yang mengandung fosfor (P); degradasi senyawa organik yang mengandung sulfur (S); pelapukan biologis pada mineral yang mengandung besi (Fe); pelarutan Fe oleh siderofor atau asam organik dan metabolit lainnya, seperti biomineralisasi dan oksidasi; bioakumulasi, immobilisasi, biosorpsi, presipitasi intraselular, oksidasi, reduksi dan biomineralisasi Mn; oksidasi, reduksi dan akumulasi kromium (Cr); pelapukan, biosorpsi, biopresipitasi dan penyerapan, serta akumulasi pada unsur magnesium (Mg), kalsium (Ca), kobalt (Co), nikel (Ni), seng (Zn) dan kadmium (Cd); reduksi, biosorpsi dan akumulasi perak (Ag); akumulasi, translokasi melalui miselium dan mobilisasi kalium (K) serta natrium (Na); mobilisasi mineral yang mengandung tembaga (Cu); volatilisasi raksa (Hg) menjadi Hg(0), biometilasi Hg dan reduksi Hg(II) menjadi Hg(0); dan peran lainnya di dalam siklus mineral, termasuk proses dehalorespirasi (Ohimain et al. 2009; Gadd 2010).

Tabel 2 menunjukkan beberapa cendawan yang dapat digunakan sebagai cendawan mikoremediasi. Sejumlah cendawan lainnya yang telah diteliti dan digunakan sebagai agen mikoremediasi antara lain *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp dan *Penicillium* sp yang telah diuji memiliki toleransi terhadap logam berat Zn, Pb, Ni dan Cd. *A. flavus*, *A. niger*, *Fusarium solani*, *Penicillium chrysogenum* resisten terhadap Cr dan Pb (Pan et al. 2009; Iram et al. 2013b), cendawan *Filamentus* yang mampu mengabsorpsi sejumlah logam berat seperti Zn, Cd, Pb, Fe, Ni dan lainnya (Bishnoi & Garima 2005). Fungi dari jenis *A. awamori*, *A. flavus*, *Phanerochaete chrysosporium* dan *Trichoderma viride* mampu toleran Pb, Cd, Cr dan Ni (Joshi et al. 2011). Kelompok *Trichoderma*, yaitu jenis *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma tomentosum* dapat menurunkan Cd (Mohsenzadeh & Shahrokhi 2014). Selain itu, *A. niger* dan strain *Phanerochaete chrysosporium* mampu menghambat dan mendegradasi *total organic carbons* (TOC) (Maruthi et al. 2013). *Aspergillus fumigatus* dapat meremediasi tanah dari logam berat Fe, Cu dan Cr dengan cara biosorpsi logam tersebut dari tanah yang tercemar (Iram et al. 2013a). *S. cerevisiae* mampu

mengabsorpsi cemaran ion timbal ( $Pb^{2+}$ ) 67-82% dan ion kadmium ( $Cd^{2+}$ ) sebanyak 73-79% dalam 30 hari (Damodaran et al. 2011). Proses reduksi  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  dan  $Cd^{2+}$  menjadi bentuk metaliknya dapat dilakukan oleh *S. cerevisiae* di dalam larutan *buffer* (Rahatgaonkar & Mahore 2008).

Mikoriza dapat mengurangi toksisitas logam berat terhadap tanaman pada tanah tercemar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Endomikoriza* menurunkan kadar Cu dan Pb yang tersedia di dalam tanah. Pada tanaman, pemberian *Endomikoriza* menurunkan serapan Pb (Chairiyah et al. 2013).

**Tabel 2.** Cendawan mikoremediasi dan logam berat yang diremediasi

Cendawan	Remediasi logam	Sumber
<i>Acrimonium</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Aspergillus flavus</i> *	Cr, Pb	Iram et al. (2013b)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Pb, Cu, Cr	Iram et al. (2013a; 2013b)
<i>Aspergillus niger</i>	Cd, Zn	Kumar et al. (2011)
<i>Aspergillus</i> sp*	Zn, Cr, Cu, Ni, Cd	Kumar et al. (2012); Ahmad et al. (2005); Akhtar et al. (2013)
<i>Curvularia</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Endomikoriza</i>	Cd, Cu, Pb	Chairiyah et al. (2013)
<i>Fusarium</i> sp	Cd, Cr, Zn	Pan et al. (2009)
<i>Penicillium</i> sp	Cd, Cr, Zn	Pan et al. (2009)
<i>Pithyium</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Rhizopus</i> spp	Cd, Cr	Ahmad et al. (2005);
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Pb, Cd	Damodaran et al. (2011)
<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>T. virens</i>	Pb, Cu, Ni, Zn	Siddiquee et al. (2013) Mohsenzadeh & Shahrokhi (2014)

\*: Sering digunakan

### UPAYA PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN CEMARAN LOGAM BERAT PADA LAHAN TERNAK DAN HEWAN

Masuknya logam berat ke dalam tubuh ternak secara alami dapat terjadi melalui perantara rumput atau beberapa jenis leguminosa pakan ternak dan air minum yang tercemar oleh logam berat. Logam berat terserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga terakumulasi dalam pakan ternak. Oleh karena itu, perlu upaya pencegahan dan pengendalian (Widaningrum et al. 2007).

Mikoremediasi biosorpsi dalam rangka detoksikasi limbah industri dapat dilakukan dengan

cara eradikasi. Hal ini sangat ekonomis karena biosorpsi secara teknis dapat diaplikasikan pada berbagai temperatur dan pH (Volesky et al. 2003). Daerah bekas pertambangan dan industri sebaiknya tidak dijadikan sebagai tempat usaha peternakan sebelum diremediasi. Pencegahan kontaminasi air sungai dan danau oleh logam berat hasil buangan dari pabrik atau sampah industri di area irigasi dapat dicegah dengan pengelolaan yang baik. Alternatif pencegahan keracunan akibat mengonsumsi rumput yang tercemar dapat dikembangkan pabrik-pabrik pengolah pakan ternak yang memproduksi protein suplemen. Selain itu juga perlu dilakukan kontrol makanan produk hewani untuk mencegah terjadinya keracunan pada manusia (Kafiar et al. 2013). Teknik mikoremediasi dapat menjadi salah satu instrumen untuk mengembalikan kualitas lingkungan yang bebas dari cemaran logam berat.

### KESIMPULAN

Pencemaran logam berat telah menimbulkan kerugian kesehatan bagi ternak dan manusia namun belum mendapat perhatian. Mikoremediasi salah satu pilihan yang tepat pada masa kini dan mendatang untuk mengurangi pencemaran logam berat di lingkungan di daerah industri maupun bekas pertambangan. Metode biosorpsi merupakan metode proses mikoremediasi yang sering dilakukan dan memungkinkan untuk diterapkan di daerah yang tercemar logam berat di Indonesia.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agunwamba JC, Kelechi OO, Mmonwuba N. 2013. Comparative analysis of bioremediation of heavy metals using plants and microorganisms. *Int J Curr Sci.* 6:153-160.
- Ahemad M, Malik A. 2012. Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater. *Bacteriol J.* 2:12-21.
- Ahmad I, Zafar S, Ahmad F. 2005. Heavy metal biosorption potential of *Aspergillus* and *Rhizopus* sp isolated from wastewater treated soil. *J Appl Sci Environ Manag.* 9:123-126.
- Ahmad RZ. 2008. Pemanfaatan cendawan untuk meningkatkan produktivitas dan kesehatan ternak. *J Litbang Pertanian.* 27:84-92.
- Akan JC, Mohmoud S, Yikala BS, Ogugbuaja VO. 2012. Bioaccumulation of some heavy metals in fish samples from River Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. *Am J Anal Chem.* 3:727-736.
- Akhtar S, Mahmood-ul-Hassan M, Ahmad R, Suthor V, Yasin M. 2013. Metal tolerance potential of filamentous fungi isolated from soils irrigated with untreated municipal effluent. *Soil Environ.* 32:55-62.
- Alghobar MA, Suresha S. 2017. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore City, Karnataka, India. *J Saudi Soc Agric Sci.* 16:49-59.
- Anahid S, Yaghmaei S, Ghobadinejad Z. 2011. Heavy metal tolerance of fungi. *Sci Iran.* 18:502-508.
- Arunakumara KKIU, Zhang X. 2007. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae. *J Ocean Univ China.* 7:60-64.
- Asiriwa OD, Ikuoria JU, Ilor EG. 2013. Mycoremediation potential of heavy metals from contaminated soil. *Bull Environ Pharmacol Life Sci.* 2:16-22.
- Astiti LGS, Sugianti T. 2014. Dampak penambangan emas tradisional pada lingkungan dan pakan ternak di Pulau Lombok. *Sains Peternakan.* 12:101-106.
- Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, Homae M, Yunesian M, Ahmadimoghaddam M, Mahvi AH. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ Monit Assess.* 160:83-89.
- Balkhair KS, Ashraf MA. 2016. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci.* 23:S32-S44.
- Bhatnagar S, Kumari R. 2013. Bioremediation: A sustainable tool for environmental management - A review. *Annu Rev Res Biol.* 3:974-993.
- Bishnoi NR, Garima A. 2005. Fungus - An alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: A review. *J Sci Ind Res (India).* 64:93-100.
- Blakley, Barry R. 2011. Arsenic poisoning, mercury poisoning. *Merck Manual* [Internet]. Available from: <https://www.merckmanuals.com/PetHealth/Special-Subjects/Poisoning/Arsenic-Poisoning/Mercury-Poisoning>
- BPS. 2016. Statistik Indonesia. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- Chairiyah RR, Guchi H, Rauf A. 2013. Bioremediasi tanah tercemar logam berat Cd, Cu dan Pb dengan menggunakan *Endomikoriza*. *J Online Agroekoteknologi.* 2:348-361.
- Chaturvedi AD, Pal D, Penta S, Kumar A. 2015. Ecotoxic heavy metals transformation by bacteria and fungi in aquatic ecosystem. *World J Microbiol Biotechnol.* 31:1595-1603.
- Chipasa KB. 2003. Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system. *Waste Manag.* 23:135-143.
- Damodaran D, Suresh G, Mohan BR. 2011. Bioremediation of soil by removing heavy metal using *Saccharomyces cerevisiae*. *Int Conf Environ Sci Technol.* 6:22-27.



- Davis TA, Volesky B, Mucci A. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37:4311-4330.
- Dhakal RP, Ghimire KN, Inoue K. 2005. Adsorptive separation of heavy metals from an aquatic environment using orange waste. *Hydrometallurgy.* 79:182-190.
- Dixit R, Wasiullah, Malaviya D, Pandiyan K, Singh UB, Sahu A, Shukla R, Singh BP, Rai JP, Sharma PK, et al. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability.* 7:2189-2212.
- Fu F, Wang Q. 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J Environ Manage.* 92:407-418.
- Gadd GM. 2000. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. *Curr Opin Biotechnol.* 11:271-279.
- Gadd GM. 2010. Metals, minerals, and microbes: Geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology.* 156:609-643.
- Gavrilescu M. 2004. Removal of heavy metals from the environment by biosorption. *Eng Life Sci.* 4:219-232.
- Gelagutashvili E. 2013. Comparative study on heavy metals biosorption by different types of bacteria. *Open J Metal.* 3:62-67.
- Govindasamy C, Arulpriya M, Ruban P, Francisca LJ, Ilayaraja A. 2011. Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *Int J Environ Sci.* 2:145-153.
- Gunawan, Priyanto R, Salundik. 2015. Analisis lingkungan sekitar tambang nikel terhadap kualitas ternak sapi pedaging di Kabupaten Halmahera Timur. *J Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan.* 3:59-64.
- Gupta R, Mohapatra H. 2003. Microbial biomass: An economical alternative for removal of heavy metals from waste water. *Indian J Exp Biol.* 41:945-966.
- Hansda A, Kumar V, Anshumali. 2015. Biosorption of copper by bacterial adsorbents: A review. *Res J Environ Toxicol* 9:45-58.
- Harms H, Schlosser D, Wick LY. 2011. Untapped potential: Exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nat Rev Microbiol.* 9:177-192.
- Hidayat B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan *Biochar*. *J Pertan Trop.* 2:31-41.
- Iram S, Uzma, Gul RS, Ara T. 2013a. Bioremediation of heavy metals using isolates of filamentous fungus *Aspergillus fumigatus* collected from polluted soil of Kasur, Pakistan. *Int Res J Biol Sci.* 2:1-6.
- Iram S, Waqar K, Shuja N, Perveen K, Akhtar I, Ahmad I. 2013b. Tolerance potential of different species of *Aspergillus* as bioremediation tool-comparative analysis. *J Biodivers Environ Sci.* 3:1-10.
- Javanbakht V, Alavi SA, Zilouei H. 2014. Mechanisms of heavy metal removal using microorganisms as biosorbent. *Water Sci Technol.* 69:1775-1787.
- Joshi PK, Swarup A, Maheshwari S, Kumar R, Singh N. 2011. Bioremediation of heavy metals in liquid media through fungi isolated from contaminated sources. *Indian J Microbiol.* 51:482-487.
- Kafiar FP, Setyono P, Handono AR. 2013. Analisis pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sapi potong di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Putri Cempo Surakarta. *J Ekosains.* 5:32-39.
- Kensa VM. 2011. Bioremediation - An overview. *J Ind Pollut Control.* 27:161-168.
- Kihampa C, Wenaty A. 2013. Impact of mining and farming activities on water and sediment quality of the Mara River Basin, Tanzania. *Res J Chem Sci.* 3:15-24.
- Kouba A, Buřič M, Kozák P. 2010. Bioaccumulation and effects of heavy metals in crayfish: A review. *Water Air Soil Pollut.* 211:5-16.
- Kulshreshtha S, Mathur N, Bhatnagar P. 2014. Mushroom as a product and their role in mycoremediation. *AMB Express.* 4:1-7.
- Kumar A, Bisht BS, Joshi VD. 2011. Zinc and cadmium removal by acclimated *Aspergillus niger*: Trained fungus for biosorption. *Int J Environ Sci Res.* 1:27-30.
- Kumar RR, Lee JT, Cho JY. 2012. Toxic cadmium ions removal by isolated fungal strain from e-waste recycling facility. *J Env Appl Biores.* 1:1-4.
- Kurnia U, Suganda H, Saraswati R, Nurjaya. 2009. Teknologi pengendalian pencemaran lahan sawah. Dalam: Lahan sawah dan teknologi pengelolaannya. Bogor (Indonesia): Balittanah. hlm. 249-283.
- Liu Y, Wang H, Li X, Li J. 2015. Heavy metal contamination of agricultural soils in Taiyuan, China. *Pedosphere.* 25:901-909.
- Malik A. 2004. Metal bioremediation through growing cells. *Environ Int.* 30:261-278.
- Martinez RJ, Beazley MJ, Taillefert M, Arakaki AK, Skolnick J, Sobecky PA. 2007. Aerobic uranium (VI) bioprecipitation by metal-resistant bacteria isolated from radionuclide- and metal-contaminated subsurface soils. *Environ Microbiol.* 9:3122-3133.
- Maruthi YA, Hossain K, Thakre S. 2013. *Aspergillus flavus*: A potential bioremediator for oil contaminated soils. *Eur J Sustain Dev.* 2:57-66.
- Mohsenzadeh F, Shahrokhi F. 2014. Biological removing of cadmium from contaminated media by fungal biomass of *Trichoderma* species. *J Environ Heal Sci Eng.* 12:1-7.
- Notodarmojo S. 2005. Pencemaran air dan air tanah. Bandung (Indonesia): ITB.

- Ohimain EI, Olu DS, Abah SO. 2009. Bioleaching of heavy metals from abandoned mangrove dredged spoils in the Niger Delta: A laboratory study. *Delta*. 7:1105-1113.
- Onrizal. 2005. Restorasi lahan terkontaminasi logam berat. Medan (Indonesia): e-USU Repository. Universitas Sumatera Utara.
- Pagnanelli F, Papini MP, Toro L, Trifoni M, Vegliò F. 2000. Biosorption of metal ions on *Arthrobacter* sp: Biomass characterization and biosorption modeling. *Environ Sci Technol*. 34:2773-2778.
- Palar H. 2004. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta (Indonesia): Rineka Cipta.
- Pan R, Cao L, Zhang R. 2009. Combined effects of Cu, Cd, Pb, and Zn on the growth and uptake of consortium of Cu-resistant *Penicillium* sp A1 and Cd-resistant *Fusarium* sp A19. *J Hazard Mater*. 171:761-766.
- Purwantari ND. 2007. Reklamasi area *tailing* di pertambangan dengan tanaman pakan ternak, mungkinkah? *Wartazoa*. 17:101-108.
- Pushkar BK, Sevak PI, Singh A. 2015. Isolation and characterization of potential microbe for bio-remediating heavy metal from Mithi River. *Ann Appl Bio-Sciences*. 2:20-27.
- Rahatgaonkar AM, Mahore NR. 2008. A selective bioreduction of toxic heavy metal ions from aquatic environment by *Saccharomyces cerevisiae*. *E-Journal Chem* [Internet]. 5:918-923. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/jchem/2008/568717/>
- Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. 2008. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Vet World*. 1:28-30.
- Ritung S, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hikmatullah, Mulyani A, Tafakresnanto C, Sulaeman Y, et al. 2015. Sumber daya lahan pertanian Indonesia: Luas, penyebaran dan potensi ketersediaan. Jakarta (Indonesia): IAARD Press.
- Salundik, Suryahadi, Mansjoer SS, Sopandie D, Ridwan W. 2012. Cemaran timbal (Pb) dan arsen (As) pada susu sapi perah yang diberi pakan limbah organik pasar di peternakan sapi perah Kebon Pedes Bogor. *J Peternakan Indonesia*. 14:308-317.
- Setyorini D, Saraswati R, Anwar ER. 2009. Pupuk organik dan pupuk hayati. Bogor (Indonesia): Balittanah.
- Siddiquee S, Aishah SN, Azad SA, Shafawati SN, Naher L. 2013. Tolerance and biosorption capacity of Zn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>3+</sup>, and Cu<sup>2+</sup> by filamentous fungi (*Trichoderma harzianum*, *T. aureoviride*, and *T. virens*). *Adv Biosci Biotechnol*. 4:570-583.
- Simon F, Mtei KM, Kimanya M. 2016. Heavy metals contamination in agricultural soil and rice in Tanzania: A review. *Int J Environ Prot Policy*. 4:16-23.
- Smical A, Hotea V, Oros V, Juhasz J, Pop E. 2008. Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Env Eng Manag*. 7:609-615.
- Sudarmaji, Mukono J, Corie. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *J Kesehat Lingkungan*. 2:129-142.
- Volesky B, Weber J, Park JM. 2003. Continuous-flow metal biosorption in a regenerable *Sargassum column*. *Water Res*. 37:297-306.
- Wani PA, Ayoola OH. 2015. Bioreduction of Cr (VI) by heavy metal resistant *Pseudomonas* species. *J Environ Sci Technol*. 8:122-130.
- Widaningrum, Miskiyah, Suismono. 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternatif pencegahan cemarannya. *Bul Teknol Pascapanen Pertanian*. 3:16-27.
- Widowati W, Sastiono A, Rumampuk RJ. 2008. Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Yogyakarta: Penerbit Andi.