
Fitoremediasi dan
Phytomining Logam
Berat Pencemar Tanah

Sanksi Pelanggaran Pasal 72
Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00- (satu juta rupiah) atau paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan dan barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait, sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

Fitoremediasi dan *Phytomining* Logam Berat Pencemar Tanah

Prof. Ir. Eko Handayanto., MSc., PhD.
Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS.
Dr. Nurul Muddarisna, SP., MP.
Dr. Ir. Netty Syam, MS.
Amrullah Fiqri, SP., MP.



2016

Fitoremediasi dan *Phytomining* Logam Berat Pencemar Tanah

© 2016UB Press

Cetakan Pertama, Oktober 2016
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
All Right Reserved

Penulis	: Prof. Ir. Eko Handayanto., MSc., PhD. Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS. Dr. Nurul Muddarisna, SP., MP. Dr. Ir. Netty Syam, MS. Amrullah Fiqri, SP., MP.
Perancang Sampul	: Wendi Wiranata
Penata Letak	: Tim UB Press
Pracetak dan Produksi	: Tim UB Press

Penerbit:



UB Press

Jl. Veteran 10-11 Malang 65145 Indonesia
Gedung INBIS Lt.3
Telp: 0341-554357, Fax: 0341-554357 (call)
e-mail: ubpress@gmail.com/ubpress@ub.ac.id
<http://www.ubpress.ub.ac.id>

ISBN: 978-602-203-.....

i-xiv+212 hlm, 15.5 cm x 23.5 cm

Dilarang keras memfotokopi atau memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini tanpa seizin tertulis dari penerbit

Kata Pengantar Penulis

Pencemaran tanah oleh logam berat yang dihasilkan dari kegiatan manusia merupakan masalah yang pelik. Konsentrasi logam berat yang berlebihan dalam tanah pertanian dapat menurunkan kuantitas dan kualitas produk pertanian, selain dapat membahayakan kesehatan manusia melalui konsumsi pangan yang dihasilkan dari tanah yang tercemar logam berat.

Salah satu teknologi yang dapat dikembangkan untuk remediasi tanah tercemar logam berat adalah fitoremediasi dan *phytomining*. Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk mengurangi konsentrasi atau mengurangi pengaruh meracun bahan pencemar, termasuk logam berat, dalam tanah dan lingkungan. *Phytomining* adalah produksi 'tanaman logam' dengan cara menanam tumbuhan hiperakumulator yang dapat mengakumulasi logam dalam konsentrasi tinggi kemudian memanennya dan membakar biomasnya untuk menghasilkan '*bio-ore*' logam.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti dan Universitas Brawijaya atas dukungan dana penelitian yang hasilnya menjadi bagian buku ini. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi yang memerlukannya.

Malang, 1 Maret 2016

Kata Pengantar Pakar

Potensi pengembangan sektor pertambangan di Indonesia sangat besar. Berdasarkan atas kondisi geologi, wilayah Indonesia berpotensi sebagai penghasil bahan tambang logam seperti emas, nikel, dan lainnya. Kegiatan pertambangan di Indonesia mencakup skala besar, menengah dan kecil. Pengembangan kegiatan pertambangan disatu sisi memberikan keuntungan secara ekonomi namun juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan.

Penulisan buku yang berisi teknologi remediasi tanah / lahan tercemar logam berat yang berbasis tumbuhandilengkapi dengan beberapa hasil penelitian dalam rangka eksplorasi tumbuhan lokal (*indigenous*) yang berpotensi dalam fitoremediasi dan *phytomining* termasuk: emas (Au), merkuri (Hg) dan nikel (Ni) sangat relevan dengan permasalahan yang saat ini menjadi perbincangan dalam mengatasi pencemaran lahan sebagai dampak kegiatan pertambangan. Pencemaran tanah / lahan yang disebabkan oleh aktivitas pertambangan dapat ditekan dengan penerapan fitoremediasi, dan pada gilirannya suatu masalah pencemaran oleh pertambangan dapat dirubah menjadi penghasilan dengan penerapan *phytomining*, sehingga fitoremediasi dan potensi *phytomining* logam berat menjadi suatu langkah pengembangan sektor pertambangan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Penerbitan buku ini, menjadi sebuah harapan dan pencerahan dalam melakukan fitoremediasi pada tanah / lahan tercemar logam berat dan/atau mendukung kegiatan pertambangan pada lahan dengan kadar logam rendah yang tidak efektif jika dilakukan penambangan secara konvensional.

Malang, 1 Maret 2016

Prof.W.H. Utomo, PhD.

Daftar Isi

Kata Pengantar Penulis	v
Kata Pengantar Pakar	vii
Daftar Isi	ix
1. Pendahuluan.....	1
1.1. Pencemaran Lingkungan oleh Logam Berat.....	1
1.2. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat.....	2
2. Logam Berat Pencemar Tanah	3
2.1. Definisi Logam Berat.....	3
2.2. Karakteristik Logam Berat.....	3
2.2.1. Timbal (Pb)	3
2.2.2. Kromium (Cr)	4
2.2.3. Arsen (As).....	5
2.2.4. Seng (Zn)	6
2.2.5. Kadmium (Cd).....	6
2.2.6. Tembaga (Cu).....	7
2.2.7. Merkuri (Hg).....	8
2.2.8. Nikel (Ni)	9
2.3. Sumber Logam Berat di Lingkungan Tanah	10
2.3.1. Pupuk.....	11
2.3.2. Pestisida.....	11
2.3.3. Limbah Bologi Padat dan Pupuk Kandang	11
2.3.4. Air Limbah.....	12
2.3.5. Limbah Tambang dan Proses Industri.....	12
2.3.6. Sumber dari Udara.....	13
2.4. Pengaruh Logam Berat terhadap Kesehatan Manusia	13
2.5. Pengaruh Logam Berat terhadap Tanaman	15
2.5.1. Pengaruh Pb terhadap tanaman	19
2.5.2. Pengaruh Cr terhadap tanaman.....	19
2.5.3. Pengaruh As terhadap tanaman	20

2.5.4. Pengaruh Zn terhadap tanaman	21
2.5.5. Pengaruh Cd terhadap tanaman	22
2.5.6. Pengaruh Cu terhadap tanaman	22
2.5.7. Pengaruh Hg terhadap tanaman.....	23
2.5.8. Pengaruh Ni terhadap tanaman.....	24
2.5.9. Pengaruh Co terhadap tanaman	24
3. Fitoremediasi Tanah Tercemar Logam Berat	27
3.1. Definisi.....	27
3.2. Teknik / Strategi Fitoremediasi	27
3.2.1. Fitoekstraksi	28
3.2.2. Fitostabilisasi	30
3.2.3. Fitovolatilisasi	31
3.2.4. Fitodegradasi	31
3.2.5. Rhizofiltrasi	32
3.3. Perlakuan terhadap Tanaman yang Digunakan untuk Fitoremediasi	32
3.4. Keterbatasan Fitoremediasi	33
3.5. Prospek Fitoremediasi	33
3.6. Peluang Penelitian Fitoremediasi	34
4 Phytomining	35
4.1. Pengertian.....	35
4.2. <i>Phytomining</i> dan Penambangan Logam secara Konvensional	35
4.3. Proses <i>Phytomining</i>	37
4.4. Faktor yang Mempengaruhi <i>Phytomining</i>	39
4.4.1. Faktor Terkait dengan Tumbuhan	40
4.4.2. Faktor Terkait dengan Tanah	43
4.5. <i>Phytomining</i> Nikel	47
4.5.1. Penelitian dengan <i>Streptanthus polygaloides</i>	47
4.5.2. Penelitian dengan <i>Alyssum bertolonii</i>	47
4.5.3. Penelitian dengan <i>Berkheya coddii</i>	48
4.5.4. Penelitian dengan Spesies Lainnya	49
4.6. <i>Phytomining</i> Thallium	50
4.6.1. Ketersediaan Thallium	50
4.6.2. Akumulasi Thallium oleh Spesies Tanaman Tertentu	50
4.7. <i>Phytomining</i> Kobalt	51

4.8.	<i>Phytomining</i> Emas.....	52
4.8.1.	Potensi Ekonomi.....	52
4.8.2.	Hiperakumulator Emas.....	53
4.8.3.	Hiperakumulasi Induksi	54
4.8.4.	Metode Ekstraksi Emas dari Biomasa Tanaman	58
4.9.	Keuntungan dan Keterbatasan <i>Phytomining</i>	59
4.9.1.	Keuntungan.....	59
4.9.2.	Keterbatasan	60
4.9.3.	Lingkup ke depan <i>Phytomining</i>	62
4.9.4.	Ekonomika <i>Phytomining</i>	65
5.	Mekanisme Hiperakumulasi Logam	69
5.1.	Pelarutan Logam dari Matrik Tanah	70
5.1.1.	Pemasaman Rhizozfer	70
5.1.2.	Sekresi Ligan oleh Rhizosfer	70
5.1.3.	Asosiasi Rhizosfer dengan Mikroorganisme.....	71
5.2.	Penyerapan Akar dan Pengangkutan ke Tajuk	72
5.2.1.	Penyerapan oleh Akar	73
5.2.2.	Pengangkutan dari Akar ke Tajuk Tanaman.....	75
5.3.	Distribusi, Detoksifikasi, dan Sekuestrasi Ion Logam.....	77
5.3.1.	Detoksifikasi dengan Pengkelatan	77
5.3.2.	Sekuestrasi di Vakuola.....	79
6.	Studi Kasus 1: Fitoremediasi Tanah Tercemar Limbah Tambang Mengandung Merkuri.....	81
6.1.	Latar Belakang	81
6.1.1.	Pertambangan Emas Skala Kecil	81
6.1.2.	Proses Penambangan Emas Skala Kecil	82
6.2.	Permasalahan	85
6.3.	Eksplorasi dan Inventarisasi Vegetasi.....	86
6.3.1.	Metode.....	86
6.3.2.	Hasil	88
6.4.	Potensi Tumbuhan Penutup Tanah dan Tumbuhan Menjalar untuk Fitoremediasi Tanah Tercemar Merkuri Limbah Tambang Emas Skala Kecil	92
6.4.1.	Metode.....	92
6.4.2.	Hasil	95

6.5.	Penggunaan Amonium Thiosulfat dan Natrium Sianida untuk Memacu Fitoekstraksi Merkuri dan Emas	102
6.5.1.	Latar Belakang	102
6.5.2.	Metode.....	104
6.5.3.	Hasil	105
6.6.	Akumulasi Hg dan Au	113
6.6.1.	Tumbuhan Akumulator Hg dan Au.....	113
6.6.2.	Phytomining Au	114
6.7.	Potensi Pohon Lokal untuk Fitostabilisasi Logam Berat pada Tanah Tercemar Limbah Tambang Emas Skala Kecil....	116
6.7.1.	Latar Belakang	116
6.7.2.	Metode.....	118
6.7.3.	Hasil	119
6.8.	Pengaruh Inokulasi Mikoriza terhadap Fitostabilisasi Merkuri oleh Tiga Spesies Pohon	125
6.8.1.	Latar Belakang	125
6.8.2.	Metode.....	127
6.8.3.	Hasil	128
6.9.	Optimalisasi Fitoekstraksi Logam Emas dari Limbah Tambang Emas Skala Kecil	135
6.9.1.	Latar Belakang	135
6.9.2.	Metode.....	136
6.9.3.	Hasil	139
6.10.	Kesimpulan.....	147
7.	Studi Kasus 2: Serapan dan Akumulasi Nikel oleh Tanaman pada Tanah Bekas Tambang Nikel	151
7.1.	Latar Belakang	151
7.2.	Inventori Spesies Akumulator Nikel	152
7.2.1.	Metode.....	152
7.2.2.	Hasil	154
7.3.	Uji Toleransi dan Bioakumulasi pada Tanaman Akumulator Nikel.....	155
7.3.1.	Metode.....	155
7.3.2.	Hasil	157
7.4.	Uji Toleransi dan Bioakumulasi Nikel pada Tanaman Akumulator Nikel dan Tanaman Kedelai	165
7.4.1.	Metode.....	165

7.4.2. Hasil	167
7.5. Kesimpulan	175
Daftar Pustaka	177
Senarai	207
Indeks.....	209
Biografi Penulis.....	213

1. Pendahuluan

1.1. Pencemaran Lingkungan oleh Logam Berat

Pencemaran lingkungan oleh logam berat telah menjadi masalah serius di dunia. Mobilisasi logam berat melalui ekstraksi dan pengolahan bijih logam menyebabkan terjadinya pelepasan unsur logam ke dalam lingkungan. Masalah pencemaran logam berat menjadi lebih serius seiring dengan meningkatnya industrialisasi dan gangguan siklus biogeokimia alami. Sebagian besar unsur logam tidak mengalamidegradasi biologiataukimia. Tidak seperti pencemar organik yang dapat teroksidasi menjadi karbonoksida oleh aktivitas mikroba.

Logam berat dapat diklasifikasikan sebagai **esensial** dan **non-esensial** berkaitan dengan perannya dalam sistem biologis. Logam berat esensial adalah logam berat yang dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah sedikit untuk mendukung fungsi fisiologis dan biokimia, misalnya Fe, Mn, Cu, Zn, dan Ni. Logam berat non-esensial adalah logam berat yang tidak dibutuhkan oleh organisme hidup untuk mendukung fungsi fisiologis dan biokimia, misalnya Cd, Pb, As, Hg, dan Cr. Unsur-unsur logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh organisme (bioakumulasi) dan konsentrasinya meningkat ketika melewati tingkat trofik yang lebih rendah ke tingkat trofik yang lebih tinggi (suatu fenomena yang dikenal sebagai biomagnifikasi).

Tanah dapat tercemar logam berat melalui emisi kawasan industri, limbah tambang, pembuangan limbah logam, bensin bertimbal, cat, pupuk anorganik, pupuk kandang, pestisida, irigasi air limbah, residu pembakaran batubara, tumpahan petrokimia, dan pengendapan dari atmosfer. Logam berat yang paling sering ditemukan di lokasi yang tercemar adalah timbal (Pb), kromium (Cr), arsen (As), seng (Zn), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), dan nikel (Ni).

Pencemaran tanah oleh logam berat dapat membahayakan kesehatan dan ekosistem melalui (a) kontak langsung dengan tanah yang terkontaminasi, (b) rantai makanan (tanah-tanaman manusia atau tanah-tanaman-hewan-