

Potensi Pohon Lokal untuk Fitostabilisasi Logam Berat pada Tanah Tercemar Limbah Sianidasi Emas di Lombok Barat

The Potential of Local Trees for Phytostabilization of Heavy Metals in Gold Cyanidation Tailing Contaminated Soils of West Lombok, Indonesia

E. Handayanto*¹, **B.D. Krisnayanti**^{1,2} dan **N. Muddarisna**³

¹IRC-MEDMIND, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran No1, Malang 65145

²Fakultas Pertanian, Universitas Mataram, Jl. Pendidikan No. 37, Mataram

³Fakultas Pertanian, Universitas Wisnuwardhana, Jl. Danau Setani No 99, Malang 65139

*)Penulis untuk korespondensi: handayanto@ub.ac.id

ABSTRACT

The discharge of mercury amalgamation and cyanidation tailings of small-scale gold mining in West Lombok to agricultural lands caused Hg, Cd, Cu, Pb and Zn contamination. Phytostabilization may be a feasible approach for the management of contaminated sites. The objective of this study was to search for tree species that are potential for phytostabilization of soils contaminated by small-scale gold mine tailings in West Lombok, Indonesia. Results of this study showed that there were at least 28 tree species found in areas contaminated by gold cyanidation tailing. Based on cyanide concentration, Hg concentration, and energy of above-ground parts of the identified plants, *Duabanga moluccana* (DM), *Erythrina orientalis* (DM), and *Paraserianthes falcataria* (PF) were selected to study their phytostabilization potential. Results of plant growth experiment showed that the tolerance of the three species to heavy metals was in the order of Zn > Pb > Cu > Cd. The highest concentration of Cd (0.9 mg/kg) was found in the roots of DM. The highest concentration of Cu (37,7 mg/kg) was found in roots of EO. Roots of PF contained the highest concentrations of Pb (37.7 mg/kg) and Zn (546 mg/kg). The three plants species had metal shoot / metal root ratios of less than one. This indicates that *Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria*, and *Erythrina orientalis* are suitable for phytostabilization of Cu, Pb, Cd, and Zn in gold cyanidation tailing contaminated soils of West Lombok, Indonesia.

Keywords: Cadmium, copper, lead, phytostabilization, trees, zinc

ABSTRAK

Pembuangan limbah amalgamasi dan sianidasi emas dari pertambangan emas skala kecil di Lombok Barat ke lahan pertanian menyebabkan pencemaran Hg, Cd, Cu, Pb dan Zn. Fitistabilisasi bisa merupakan salah satu pendekatan yang layak untuk pengelolaan lokasi yang tercemar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari jenis pohon yang potensial untuk fitostabilisasi tanah tercemar limbah pertambangan emas skala kecil yang mengandung unsur logam. Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa setidaknya ada 28 jenis pohon yang ditemukan di daerah yang tercemar oleh limbah sianidasi emas. Berdasarkan konsentrasi sianida, konsentrasi Hg, dan energi beberapa tumbuhan lokal, *Duabanga moluccana* (DM), *Erythrina orientalis* (DM), dan *Paraserianthes falcataria* (PF) dipilih untuk dipelajari potensinya untuk fitostabilisasi logam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman toleransi dari tiga spesies terhadap logam berat berada di urutan Zn > Pb > Cu > Cd. Konsentrasi Cd tertinggi (0,9 mg/kg) ditemukan pada akar DM. Konsentrasi Cu tertinggi (37,7 mg/kg) ditemukan pada akar EO. Akar PF mengandung konsentrasi Pb tertinggi (37,7 mg/kg) dan Zn (546 mg/kg). Tiga spesies

tanaman memiliki rasio logam dalam tajuk/logam dalam akar kurang dari satu. Hal ini menunjukkan bahwa *Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria*, dan *Erythrina orientalis* cocok untuk fitostabilisasi Cu, Pb, Cd, dan Zn tanah tercemar limbah sianidasi emas di Lombok Barat.

Kata kunci: Fitostabilisasi, kadmium, pohon, tembaga, timah, seng

PENDAHULUAN

Sektor pertambangan emas di Indonesia terdiri atas pertambangan emas skala besar, menengah, dan skala kecil (PESK). Indonesia dianggap sebagai lokasi utama untuk kegiatan PESK, tetapi pemantauan atau proyek percontohan teknologi baru belum banyak dilakukan. Aspinall (2011) melaporkan bahwa ada 713 lokasi penambangan skala kecil tanpa ijin di Sumatera, Jawa, Kalimantan dan Sulawesi, yang sebagian besar adalah PESK. Pada sebagian besar PESK di Indonesia, umumnya proses amalgamasi dengan merkuri yang diikuti oleh proses sianidasi digunakan memperoleh emas (Veiga *et al.* 2006). Salah satu PESK terletak di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat. Di daerah ini, batuan yang diperoleh dari lubang (galian), dihancurkan dengan penggiling bola sederhana (nama lokal 'gelondong'). Merkuri kemudian ditambahkan selama proses penggelondongan untuk memperoleh amalgam. Tahap berikutnya, amalgam dibakar untuk memisahkan merkuri dari emas. Sebagian besar dari limbah amalgamasi yang berupa lumpur, dilakukan proses sianidasi (disebut proses 'tong'). Limbah amalgamasi ditempatkan dalam tangki pencucian, dan kemudian ditambahkan natrium sianida untuk menangkap emas dengan tambahan arang aktif.

Limbah proses sianidasi tersebut kemudian dibuang langsung ke lahan pertanian di sekitarnya. Proses ini berjalan terus-menerus sehingga timbunan limbah sianidasi semakin luas menutupi lahan pertanian. Hasil survei lapangan yang dilakukan sebelumnya oleh Prasetya *et al.* (2010) menunjukkan bahwa karakteristik kimia dari limbah sianidasi emas tersebut adalah sebagai berikut: tekstur berpasir

lempung, pH 7,7; 1,19% organik-C, 0,001% Total N, 2,89 mg Total P/kg; 1,27 mg S/kg; 11,57 cmol/kg CEC; 792 mg Cu/kg; 4,0 mg Cu/kg; 1.090 mg Hg/kg; 1.68 mg Au/kg; Pb 530 mg/kg; 3.810 mg Fe/kg; 4.840 mg Mn/kg; dan 3.760 mg Zn/kg.

Tanah yang terkontaminasi oleh tailing tambang mengandung logam berat dapat direstorasi dengan menggunakan perlakuan kimia dan / atau fisika (Berti dan Cunningham 2000; Lasat 2002). Namun demikian, teknologi tersebut bersifat merusak, mahal, dan tidak mencapai pemecahan masalah untuk jangka panjang (Cao *et al.* 2002). Suatu teknologi berkelanjutan yang menjanjikan untuk restorasi tanah tercemar logam adalah fitoremediasi (Padmavathamma dan Li 2007).

Fitoekstraksi dan fitostabilisasi merupakan teknik yang paling banyak digunakan dalam fitoremediasi tanah tercemar logam berat. Karena akumulasi jangka panjang dari logam dalam biomassa tanaman di atas tanah dapat menimbulkan risiko transfer ke rantai makanan, maka fitostabilisasi dapat merupakan pendekatan yang lebih layak dibandingkan fitoekstraksi untuk pengelolaan lokasi yang terkontaminasi logam berat (Mertens *et al.* 2004). Penggunaan tanaman asli adalah fokus fitostabilisasi. Karena banyaknya spesies tanaman asli yang sudah teradaptasi dengan kondisi tercemar, maka cara terbaik untuk pemilihan spesies terbaik adalah melalui observasi spesies tanaman asli yang dapat tumbuh di sekitar lokasi yang tercemar logam berat (Monica dan Maier 2008).

Suatu spesies tanaman dapat dianggap potensial untuk fitostabilisasi jika faktor akumulasi (FA) = (konsentrasi unsur dalam jaringan tajuk:konsentrasi unsur dalam

tailing tambang) dan (b) rasio tajuk: akar (T:A) = (konsentrasi unsur dalam jaringan tajuk: konsentrasi unsur dalam jaringan akar), kurang dari satu (Brooks 1998). Kanopi tanaman pohon umumnya menyediakan naungan dan membentuk sistem perakaran yang dalam untuk menahan erosi dalam jangka panjang (Mendez *et al.* 2007). Pohon memberikan lingkungan yang mengandung hara tinggi untuk tanam rumputan sekaligus mengurangi cekaman air dan memperbaiki sifat fisik tanah di daerah beriklim kering (Tiedemann dan Klemmedson 2004). Pohon legum yang berperan sebagai pemasok nitrogen seperti *Acacia* spp. dan *Prosopis* spp. telah dilaporkan berhasil mengkoloni tailing tambang di Amerika Serikat bagian Barat (Day *et al.* 1980).

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari jenis pohon yang potensial untuk fitostabilisasi tanah tercemar tailing tambang emas skala di Lombok Barat. Penelitian ini dimulai dengan identifikasi spesies tanaman indigenus yang toleran logam pada lahan tercemar tailing tambang emas skala kecil. Studi lebih lanjut kemudian dilakukan untuk evaluasi kelayakan penggunaan spesies tanaman yang dipilih untuk fitostabilisasi melalui studi pertumbuhan tanaman.

BAHAN DAN METODE

Deskripsi Lokasi dan Observasi Pohon Lokal

Observasi lapangan pohon lokal dilakukan pada September 2013 di lokasi yang berdekatan dengan daerah pembuangan limbah sianidasi emas di Sekotong Kabupaten Lombok Barat, (1150,46 ' -1.160,20' BT dan 80,25 ' -80,55' LS). Daerah tersebut terletak 400 m di atas permukaan laut dengan curah hujan tahunan rata-rata 1500 mm. Pada pertambangan emas skala kecil di daerah tersebut batuan dan atau tanah mengandung bijih emas diolah menggunakan peralatan yang disebut 'gelondong', untuk memisahkan emas dari batuan dan atau tanah. Alat ini terdiri atas satu sampai sepuluh silinder yang diputar

9-12 jam dengan mesin diesel untuk mencampur batuan dan tanah mengandung emas dengan merkuri. Hasil proses penggelondongan dengan merkuri tersebut menghasilkan lumpur yang kemudian disaring dengan kain untuk memperoleh amalgam emas (disebut *bullion*). Karena sebagian besar lumpur (*tailing*) amalgamasi masih mengandung emas, maka lumpur amalgamasi diproses lagi dengan menggunakan sianida (disebut proses sianidasi) dengan konsentrasi 600-800 mg/kg. Tailing proses sianidasi kemudian dibuang ke lahan pertanian di sekitarnya.

Identifikasi jenis pohon dilakukan di bidang sekitar daerah pembuangan tailing menggunakan metode kuadrat Oosting (Kent dan Paddy, 1992) untuk menghitung dominansi, kerapatan, dan frekuensi spesies. Tiga transek masing-masing 50 m x 50 m dengan jarak 40 m dibuat vertikal memotong tempat pembuangan tailing. Dalam setiap transek, dibuat 5 plot masing-masing ukuran 1x1 m dengan interval 5 m. Setiap jenis pohon yang ditemukan pada setiap plot dicatat. Spesies pohon dominan diestimasi menggunakan nilai penting yang merupakan jumlah dari kepadatan relatif, frekuensi relatif dan dominansi relatif dari tiap spesies. Kepadatan relatif, frekuensi dan dominansi spesies adalah persentase kontribusi spesies terhadap total kerapatan, frekuensi dan dominansi.

Analisis Sampel Tanaman dan Tanah

Bagian atas pohon (ranting dan daun) yang memiliki indeks nilai penting lebih 10% dikumpulkan, dicuci dengan air suling untuk membuang partikel tanah, dan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 48 jam. Spesies yang energik ditentukan berdasarkan kalori yang diukur dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Kalori biomassa tanaman (H Kcal/g) dihitung menggunakan persamaan:

$$H = (\text{kapasitas panas} \times \text{perubahan suhu}) \times (1000 \text{ m})^3$$

Sampel tanah dari zona perakaran (0-15 cm) yang diperoleh dari lima belas

plot dicampur dan dikeringkan udara pada suhu kamar selama dua minggu dan kemudian diayak dengan 2-mm ayakan. Kandungan sianida dalam sampel tanaman dan tanah diukur dengan metode argentometriy menggunakan perak nitrat (AgNO_3) sebagai standar titrasi. Dua puluh gram sampel tanah kering udara dicampur dengan 10 mL H_2SO_4 dan 100mL air suling. Distilat kemudian dimasukkan ke dalam botol berisi 20 mL 2,5% NaOH, dan kemudian dititrasi dengan 0.02N AgNO_3 sampai larutan berubah menjadi merah. Konsentrasi Hg dalam sampel tanah dan tanaman diukur dengan menggunakan F732-S Cold Atomic Absorption Mercury Vapor Analyzer (Shanghai Huaguang Instrument Company).

Percobaan Pertumbuhan Tanaman Potensial

Berdasarkan konsentrasi sianida dan Hg, dipilih tiga spesies pohon untuk dipelajari potensi fitostabilisasi. Percobaan pot dilakukan dari Oktober sampai Desember 2013 di rumah kaca Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya yang memiliki suhu rata-rata 27 °C dan kelembaban 93%. Empat media tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah, satu tanah tidak tercemar taoling sianidasi, dan tiga campuran tailing dan kompos (100:0, 80:20, dan 60:40 % berat). Dua biji yang telah dikecambahkan untuk masing-masing spesies tanaman pada media tanam. Dua belas perlakuan (tiga spesies dan empat media tanam) disusun dalam rancangan acak lengkap dengan empat ulangan. Kadar air media tanah pada dipertahankan pada kapasitas menahan air. Setiap hari air dipasok pada setiap pot untuk menjaga kadar air media tailing pada kapasitas menahan air. Tinggi tanaman diukur setiap minggu sampai panen pada umur 8 minggu. Pada saat panen, tajuk dan akar tanaman dipisahkan dan kemudian dikeringkan dengan oven pada 60 °C selama 72 jam, ditimbang, dihaluskan dan disaring lolos ayakan 1 tanah untuk analisis sianida dan Hg. Analysis of variance (anova) yang

dilanjutkan dengan uji beda terkecil (LSD) pada taraf 5% dilakukan pada data yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lahan di sekitar pembuangan limbah sianidasi di Sekotong Kabupaten Lombok Barat dijumpai 28 spesies (Tabel 1). Dari 28 spesies tersebut, terdapat 12 spesies yang memiliki nilai frekuensi lebih besar dari 10, yaitu: *Aglaia odorata* Lour., *Aquilaria malaccensis* Lam., *Dracontomelon dao* (Blanco) Merr., *Duabanga moluccana* Blum., *Erythrina orientalis* L., *Eugenia subglauca* Koord. & Valeton., *Kleinhovia hospita* L., *Lagerstromia speciosa* (L.) Pers., *Melochia umbellata* (Houtt.) Stapf., *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen., *Schleichera oleosa* (Lour.) Oken., dan *Toona sureni* (Blume) Merr. (Tabel 2). Dua belas spesies pohon tersebut merupakan spesies pionir dan sekunder yang dapat bertahan hidup pada kondisi miskin unsur hara. Hasil analisis penyerapan merkuri dan sianida yang disajikan pada Tabel 2 menubuhkan bahwa *Erythrina orientalis* dan *Duabanga moluccana* merupakan species pohon yang menunjukkan kandungan sianida yang tinggi, yakni 15,70 mg/kg dan 9,69 mg/kg sehingga species pohon tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai spesies fitostabilisator. Sementara itu *Paraserianthes falcataria* dan *Duabanga moluccana* menunjukkan kandungan merkuri (Hg) yang tinggi, yakni 11,65 mg/kg dan 7,30 mg/kg. Hal ini menunjukkan bahwa tiga tumbuhan tersebut mempunyai toleransi yang tinggi terhadap lingkungan marginal di lahan penimbunan limbah sianidasi sehingga diduga tumbuhan ini potensial sebagai fitoremediator terutama pada sianida dan merkuri.

Potensi *Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria* dan *Erythrina orientalis* untuk Fitostabilisasi

Hasil pengukuran tinggi tanaman menunjukkan bahwa penambahan kompos

pada limbah sianidasi memacu tanaman pada media tanpa penambahan pertumbuhan *Duabanga moluccana*, kompos secara signifikan berkurang *Erythrina orientalis* dan *Paraserianthes* dibandingkan dengan yang ditanam di tanah *falcataria* (Gambar 1). Pertumbuhan yang tidak tercemar limbah sianidasi.

Tabel 1. Spesies pohon local yang dijumpai pada daerah tercemar limbah sianidasi emas di Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat.

No	Spesies	D	C	F	RD	RC	RF	IIV	DI
1	<i>Aglaia odorata</i> Lour.	209	1044	41	6.77	9.01	11.6	27.37	0.323
2	<i>Alstonia scholaris</i> (L.) R.Br.	11	225	4	0.44	2.04	1.09	3.57	0.034
3	<i>Anthocephalus cadamba</i> Miq.	7	100	7	0.28	0.91	1.9	3.09	0.024
4	<i>Aquilaria malaccensis</i> Lam	128	303	17	3.83	2.55	2.01	8.39	0.180
5	<i>Artocarpus utilis</i> L.	3	25	3	0.12	0.23	0.82	1.16	0.012
6	<i>Calophyllum soulatri</i> Burm.f.	11	225	4	0.44	2.04	1.09	3.57	0.034
7	<i>Casia siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby	8	50	5	0.24	0.42	1.44	2.1	0.021
8	<i>Dracontomelon dao</i> (Blanco) Merr.	339	2455	58	11.63	21.28	16.3	49.16	0.477
9	<i>Drypetes longifolia</i> (Blume) Pax	33	23	2	1.32	0.21	0.54	2.07	0.082
10	<i>Duabanga moluccana</i> Blum.	17	160	8	0.68	1.45	2.17	5.31	0.049
11	<i>Erythrina orientalis</i> L.	33	235	10	1.25	2.05	2.78	6.08	0.087
12	<i>Eugenia subglauca</i> Koord. & Valetton	465	606	14	14	5.13	3.99	23.12	0.421
13	<i>Garciana celebica</i> L.	10	70	1	0.4	0.64	0.27	1.31	0.032
14	<i>Heritiera littoralis</i> Dryand.	1	85	1	0.03	0.72	0.29	1.03	0.004
15	<i>Intsia bijuga</i> (Colebr.) Kuntze.	5	10	2	0.2	0.09	0.54	0.83	0.018
16	<i>Kleinhovia hospita</i> L.	241	639	32	8.12	5.56	8.91	22.59	0.375
17	<i>Lagerstromieia speciosa</i> (L.) Pers.	121	413	11	3.63	3.49	3.14	10.27	0.177
18	<i>Manilkara kauki</i> (L.) Dubard	30	84	6	1.15	0.75	1.68	3.57	0.08
19	<i>Melochia umbellata</i> (Houtt.) Stapf.	241	2620	41	8.56	22.96	11.4	42.95	0.385
20	<i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen.	120	100	21	4.8	0.91	0.27	5.98	0.21
21	<i>Planchonela obovata</i> (R.Br.) Pierre	9	29	2	0.27	0.24	0.57	1.09	0.023
22	<i>Protium javanicum</i> Burm. f.	1	4	1	0.04	0.04	0.27	0.35	0.005
23	<i>Sandoricum koetjape</i> (Burm. f.) Merr.	8	18	2	0.32	0.16	0.54	1.03	0.027
24	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Oken.	112	272	11	4.45	2.46	3.03	9.94	0.206
25	<i>Sterculia foetida</i> L..	1	15	1	0.04	0.14	0.27	0.45	0.005
26	<i>Tetrameles nudiflora</i> R. Br.	30	84	6	1.15	0.75	1.68	3.57	0.08
27	<i>Toona sureni</i> (Blume) Merr.	302	523	20	12.08	4.75	5.43	22.26	0.368
28	<i>Trema orientalis</i> Linn. Blume	2	25	1	0.08	0.23	0.27	0.58	0.008

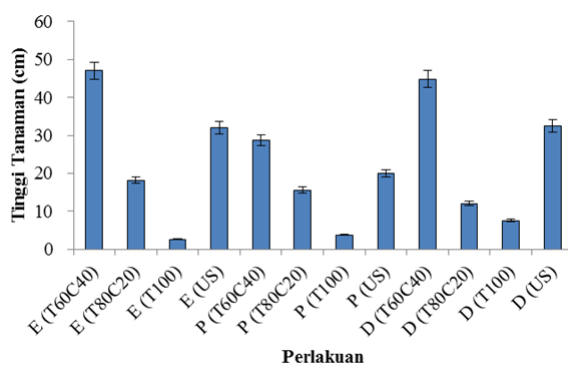
Keterangan: D: density; C: coverage; F: Frequency; RC: Relative coverage; RD: relative density; RF: relative frequency; IIV: important index value; DI = diversity index *) trees

Tabel 2. Kandungan sianida dan merkuri pada tajuk tiga spesies pohon dengan nilai F lebih besar dari 10.

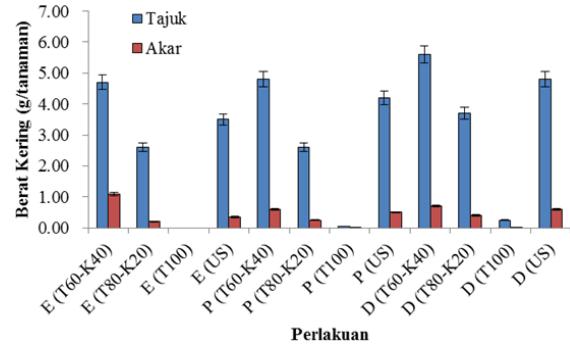
No	Spesies	Nilai F *)	Cyanide (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Energi (Kcal/g)
1	<i>Aglaia odorata</i> Lour.	41	0,55	0.73	2.51
2	<i>Aquilaria malaccensis</i> Lam.	17	2,91	1.79	2.23
3	<i>Dracontomelon dao</i> (Blanco) Merr.	58	4,62	5.13	2,48
4	<i>Duabanga moluccana</i> Blum.	18	9,69	7.30	3,50
5	<i>Erythrina orientalis</i> L.	10	15,70	6.76	3,01
6	<i>Eugenia subglauca</i> Koord. & Valetton.	14	3,35	4.50	2,60
7	<i>Kleinhovia hospita</i> L.	32	1,20	4.70	2.44
8	<i>Lagerstromieia speciosa</i> (L.) Pers.	11	1,05	0.63	2.38
9	<i>Melochia umbellata</i> (Houtt.) Stapf.	41	4,72	2.55	2.36
10	<i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen.	21	6,66	11.65	3.04
11	<i>Schleichera oleosa</i> (Lour.) Oken.	11	1,54	4.93	2.59
12	<i>Toona sureni</i> (Blume) Merr.	20	3,13	2.15	2.32

Keterangan: *) Lihat Tabel 1.

Berat kering tajuk dan akar tanaman pada media campuran tailing-kompos sejalan dengan pertumbuhan tanaman (Gambar 2). Hal ini menunjukkan bahwa agar dapat tumbuh dengan baik pada media tercemar limbah sianidasi emas, tiga spesies tanaman membutuhkan bahan organik tambahan, seperti kompos yang digunakan dalam penelitian ini. Penambahan kompos yang optimum adalah 20% berat untuk mencapai pertumbuhan yang hampir mirip dengan yang ditanam di tanah yang tidak tercemar. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa tanaman yang ditanam pada tailing yang mengandung Pb dan Zn terhambat jika tidak ada penambahan bahan organik. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yang *et al.* (1997) dan Shu *et al.* (2002). Meskipun hasil penelitian ini tidak menjelaskan mekanisme yang terlibat, secara umum, penambahan bahan organik pada limbah sianidasi meningkatkan kapasitas menahan air, kapasitas tukar kation, dan struktur tailing melalui pembentukan agregat (Ye *et al.*, 1999; Schippers *et al.*, 2000; Krzaklewski dan Pietrzykowski, 2002). Selain itu, kompos yang ditambahkan dapat menstabilkan logam untuk mengurangi ketersediaan hayatinya (*bioavailability*) (Stevenson dan Cole 1999).



Gambar 1. Tinggi tanaman *Duabanga moluccana* (D), *Erythrina orientalis* (E) dan *Paraserianthes falcataria* (P) yang ditanam pada berbagai campuran tailing dan kompos selama 60 hari. T60C20 = 60% tailing + 40% kompos; T80C20 = 80% tailing + 20% kompos, T100 = 100% tailing, dan US = tanah tidak tercemar limbah sianidasi.



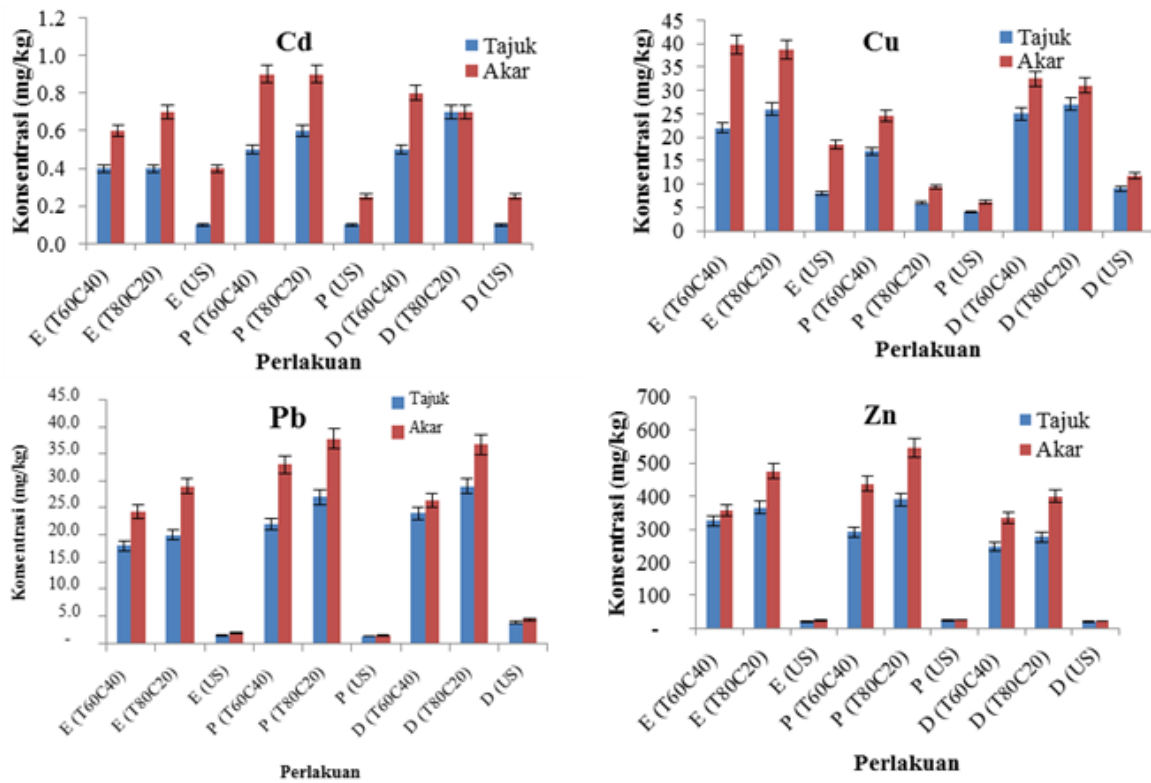
Gambar 2. Berat kering tajuk dan akar *Duabanga moluccana* (D), *Erythrina orientalis* (E) dan *Paraserianthes falcataria* (P) yang ditanam pada berbagai campuran tailing dan kompos selama 60 hari. T60C20 = 60% tailing + 40% kompos; T80C20 = 80% tailing + 20% kompos, T100 = 100% tailing, dan US = tanah tidak tercemar limbah sianidasi.

Akumulasi logam dalam tajuk tanaman diukur untuk toleransi dan potensi fitostabilisasi tiga spesies pohon yang diteliti. Sebagaimana yang dijelaskan sebelumnya, konsentrasi Pb dalam tailing relatif tinggi (530 mg / kg), namun Pb yang dikumulasi dalam tajuks dan akar tanaman sangat kecil (kurang dari 60 mg / kg). Pola akumulasi logam dalam tajuk dan akar *Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria* dan *Erythrina orientalis* pada perlakuan D (T60C40), D (T80C20), P (T60C40), P (T80C20), E (T60C40) dan E (T80C20) secara berurutan adalah Zn > Pb > Cu > Cd (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi logam dalam jaringan tanaman adalah bersifat spesifik tanaman, terutama untuk Zn yang diakumulasi lebih besar dari logam lain (Pb, Cu dan Cd). Selain itu, jumlah logam yang diakumulasi dalam jaringan tanaman meningkat dengan meningkatnya dosis kompos yang ditambahkan. Rasio logam yang diakumulasi dalam tajuk/akar pada tiga spesies tanaman menunjukkan bahwa semua tanaman memiliki rasio logam tajuk/akar kurang dari satu (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa semua spesies tanaman yang diuji cocok untuk fitostabilisasi. Suatu spesies tanaman dapat dianggap potensial untuk fitostabilisasi jika rasio logam dalam tajuk/logam dalam akar

kurang dari satu (Brooks 1998; Yoon *et al.* 2006). Perbedaan rasio logam dalam tajuk/akar pada semua tanaman menunjukkan perbedaan efektivitas setiap spesies tanaman dalam mengangkut logam dari sistem akar ke tajuk (sebagai tempat akumulasi) (Selin 2009).

Konsentrasi Pb dalam jaringan tanaman adalah lebih rendah dari tailing (530 mg/kg). Konsentrasi tertinggi ditemukan dalam tajuk *Duabanga moluccana* (29 mg/kg), dan terendah (1,8 mg/kg) pada tajuk *Paraserianthes falcataria* yang ditanam pada tanah yang

tidak tercemar limbah sianidasi emas. Konsentrasi Pb dalam tiga spesies tanaman di semua media tanam semuanya lebih rendah dari nilai maksimum Pb yang dapat ditoleransi dalam pakan ternak, yaitu 30 mg/kg (NRC 1980). Meskipun dalam sebagian besar spesies tanaman, konsentrasi Pb di daun tanaman berkisar dari 5 sampai 10 mg/kg (Kabata-Pendias dan Pendias 1992), konsentrasi Pb dalam tajuk tiga spesies tanaman yang ditanam pada media tailing tidak mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa tiga spesies tanaman yang toleran terhadap Pb.

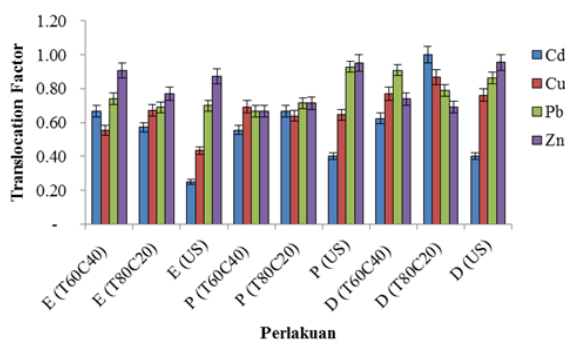


Gambar 3. Konsentrasi Cd, Cu, Pb dan Zn dalam tajuk *Duabanga moluccana* (D), *Erythrina orientalis* (E) dan *Paraserianthes falcataria* (P) yang ditanam pada berbagai campuran tailing dan kompos selama 60 hari. T60C20 = 60% tailing + 40% kompos; T80C20 = 80% tailing + 20% kompos, T100 = 100% tailing, dan US = tanah tidak tercemar limbah sianidasi.

Konsentrasi Zn pada tajuk tanaman untuk semua perlakuan berkisari dari 20 mg/kg dalam tajuk *Paraserianthes falcataria* ditanam sampai pada tanah yang tidak tercemar dengan 390 mg/kg dalam tajuk *Duabanga moluccana* yang ditanam pada pada campuran 80% tailing dan 20% kompos, sedangkan konsentrasi Zn dalam tailing adalah 3760 mg/kg. Berdasarkan

batas maksimum konsentrasi Zn dalam hijauan pakan ternak sebesar 500 mg/kg (NRC 1980), tajuki tiga spesies tanaman tidak akan membahayakan ternak jika digunakan sebagai pakan ternak. Tanaman yang ditanam pada tanah yang tidak tercemar rata-rata mengandung Cu 7 mg/kg, sedangkan konsentrasi Cu tertinggi (27 mg/kg) dijumpai pada tajuk *Dubanga*

moluccana yang ditanam pada campuran 80% tailing dan 20% kompos. Namun demikian, konsentrasi tertinggi Cu tersebut masih berada dalam kisaran normal 5-30 mg/kg (Kabata-Pendias dan Pendias 1992), dan di bawah konsentrasi toleransi maksimum Cu (100 mg/kg) untuk pakan ternak (NRC 1980). Kandungan Cd pada semua perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, berkisari dari 0,1 mg/kg sampai dengan 0,7 mg/kg, sedangkan kandungan Cd dalam tailing adalah 4 mg/kg. Batas kadar Cd dalam pakan ternak tergantung pada limbah makanan manusia (NRC 1980). Sisa organik yang mengandung Cd lebih dari 0,5 mg/kg Cd dalam jangka pendek diperkirakan tidak berbahaya bagi kesehatan ternak dan manusia (NRC 1980).



Gambar 4. Rasio konsentrasi logam dalam tajuk dan akar *Duabanga moluccana* (D), *Erythrina orientalis* (E) dan *Paraserianthes falcataria* (P) yang ditanam pada berbagai campuran tailing dan kompos selama 60 hari. T60C20 = 60% tailing + 40% kompos; T80C20 = 80% tailing + 20% kompos, T100 = 100% tailing, dan US = tanah tidak tercemar limbah sianidasi.

Fitoremediasi tanah yang tercemar limbah sianidasi emas mengandung logam berat dapat difokuskan pada fitoekstraksi logam, atau fitostabilisasi logam. Dalam fitostabilisasi, tidak dikehendaki adanya akumulasi logam dalam tajuk tanaman karena dapat digunakan sebagai pakan ternak. Oleh karena itu, informasi tentang akumulasi logam dalam jaringan tanaman sangat penting karena *Paraserianthes falcataria* biomassa dan *Erythrina orientalis* dapat digunakan sebagai pakan

ternak. Berdasarkan analisis kandungan logam dalam tajuk dan akar tanaman, *Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria* dan *Erythrina orientalis* dapat dianggap sebagai tanaman yang toleran terhadap logam atau sebagai kandidat untuk strategi fitostabilisasi. Beberapa penelitian tanaman toleran logam berat yang telah dilakukan di Indonesia. Supriyanto (2002) yang menguji menumbuhkan *Duabanga moluccana* dan *Paraserianthes falcataria* pada media tailing tambang emas menunjukkan bahwa dua spesies tanaman tersebut mampu tumbuh dengan baik dengan beberapa masukan tambahan seperti kompos. *Paraserianthes falcataria* dan *Erythrina orientalis* untuk remediasi tanah tercemar logam berat dapat memberikan manfaat tambahan karena dua spesies pohon legum tersebut menyediakan nitrogen melalui fiksasi nitrogen (Handayanto et al. 1992).

KESIMPULAN

Di daerah yang terkontaminasi oleh limbah sianidasi emas Sekotong Kabupaten Lombok Barat dijumpai 28 spesies pohon yang telah lama beradaptasi dan bertahan dalam kondisi ekstrim (konsentrasi logam yang tinggi). Di antara 28 spesies tersebut, tiga spesies (*Duabanga moluccana*, *Paraserianthes falcataria*, dan *Erythrina orientalis*) adalah kandidat untuk strategi fitostabilisasi berdasarkan toleransinya terhadap logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, dan Universitas Brawijaya atas dukungan dan dana penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada staf Kecamatan Sekotong Lombok Barat atas bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Aspinall C. 2001. *Small-scale Mining in Indonesia*. International Institute for Environment and Development and the World Business Council for Sustainable Development, England.
- Berti WR dan Cunningham SD. 2000. Phytostabilization of metals. In Raskin I, Ensley BD. (eds). *Phytoremediation of Toxic Metals—Using Plants to Clean Up the Environment*. New York: John Wiley & Sons. 71–88 p.
- Brooks RR. 1998. *Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals: Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration, and Phytomining*. Wallingford, UK: CAB International.
- Cao X, Ma LQ, Chen M, Singh SP, Harris WG. 2002 Impacts of phosphate amendments on lead biogeochemistry in a contaminated site. *Environmental Science and Technology* 36: 5296-5304.
- Day AD, Ludeke, KL, Tucker TC. 1980. Plant response in vegetative reclamation of mine wastes. In *Vegetative reclamation of mine wastes and tailings in the Southwest*. Tucson, AZ, Arizona Mining and Mineral Resources Research Institute. 1-3 p.
- Handayanto E, Nuraini Y, Purnomosidi P, Hanegraaf M, Agterberg G, Hassink J, van Noordwijk M. 1992. Decomposition rates of legume residues and N mineralization in an ultisol in Lampung. *Agrivita* 15: 75-86.
- Kabata-Pendias A, Pendias H. 1992. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, FL: CRC Press. 365 p.
- Kent M dan Paddy C. 1992. *Vegetation Description and Analysis: A Practical Approach*. London: Belhaven Press.
- Krzaklewski W, Pietrzykowski M. 2002. Selected physicochemical properties of zinc and lead ore tailings and their biological stabilization. *Water, Air and Soil Pollution* 141:125–142.
- Lasat MM. 2002. Phytoextraction of toxic metals: A review of biological mechanisms. *Journal of Environmental Quality* 31:109-120.
- Mendez MO, Glenn EP, Maier RW. 2007. Phytostabilization potential of quailbush for mine tailings: growth, metal accumulation, and microbial community changes. *Journal of Environmental Quality* 36: 245-253.
- Mertens J, Vervaeke P, Schrijver AD, Luysaert S. 2004. Metal uptake by young trees from dredged brackish sediment: limitations and possibilities for phytoextraction and phytostabilization. *Science of the Total Environment* 326: 209-215.
- Monica OM, Maier RM. 2008. Phytostabilization of mine tailings in arid and semiarid environments-an emerging remediation technology. *Environmental Health Perspectives* 116: 278-283.
- NRC (National Research Council). 1980. *Mineral Tolerance of Domestic Animals*. Washington, DC: National Academy of Sciences. 577 p.
- Padmavathiamma PK, Li LY. 2007. Phytoremediation Technology: Hyper-accumulation Metals in Plants. *Water, Air and Soil Pollution* 184: 105-126.
- Prasetya B, Krisnayanti BD, Utomo WH, and Anderson CWN. 2010. Rehabilitation of artisanal mining gold land in West Lombok, Indonesia: 2. Arbuscular Mycorrhiza Status of Tailings and Surrounding Soils. *Journal of Agricultural Science* 2(2): 2002-2009.
- Schippers A, Jozsa, PG, Sand W, Kovacs ZM, Jelea M. 2000. Microbiological pyrite oxidation in a mine tailings heap and its relevance to the death of vegetation. *Geomicrobiology Journal* 17: 151-162.
- Selin NE. 2009. Global Biogeochemical cycling of mercury: A review. *Annual*

- Review of Environment and Resources* 34: 43-63.
- Shu WS, Xia HP, Zhang ZQ, Lan CY, Wong MH. 2002. Use of vetiver and three other grasses for revegetation of Pb/Zn mine tailings: Field experiment. *International Journal of Phytoremediation* 4:47-57.
- Stevenson FJ dan Cole MA. 1999. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. New York: John Wiley & Sons.
- Supriyanto, 2002. Rehabilitasi Lahan Bekas Pertambangan Emas: Memupuk Tanah Bukan Memupuk Tanaman. Prosiding Diskusi Hasil-hasil Litbang Rehabilitasi dan Konservasi Sumber Daya Hutan. Bogor: 23 Desember 2002.
- Tiedemann AR dan Klemmedson JO. 2004. Responses of desert grassland vegetation to mesquite removal and regrowth. *Journal of Range Management* 57: 455-465.
- Veiga MM, Maxson, PA, Hylander LD. 2006. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production* 14: 436-447.
- Yang ZY, Yuan JG, Xin GR, Chang HY, Wong MH. 1997. Germination, growth, and nodulation of *Sesbania rostrata* grown in Pb/Zn mine tailings. *Environmental Management* 21: 617-622.
- Ye ZH, Wong JWC, Wong MH, Lan CY, Baker AJM. 1999. Lime and pig manure as ameliorants for revegetating lead/zinc mine tailings: A greenhouse study. *Bioresource Technology* 69: 35-43.
- Yoon J, Cao X, and Zhou O. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 368: 456-464.