

REKLAMASI AREA *TAILING* DI PERTAMBANGAN DENGAN TANAMAN PAKAN TERNAK; MUNGKINKAH?

N.D. PURWANTARI

Balai Penelitian Ternak, PO Box 221, Bogor 16002

(Makalah diterima 24 Mei 2007 – Revisi 6 September 2007)

ABSTRAK

Tailing adalah limbah industri pertambangan, baik tambang tembaga, emas, perak maupun mineral lainnya. Batuan tambang tersebut diproses sehingga menjadi partikel yang halus dan kemudian dipisahkan antara mineral yang berharga dan sisanya merupakan limbah. Limbah padatan tersebut mau tidak mau akan mempengaruhi kondisi lingkungan baik lingkungan fisik maupun biotanya. Pada umumnya *tailing* bersifat porositas tinggi sehingga kapasitas memegang air (*holding capacity*) rendah, struktur tidak stabil, sangat miskin bahan organik, bahkan dapat dikatakan tidak ada bahan organik, miskin unsur hara mikro dan makro, aktivitas mikroba juga tidak ada sama sekali. Sehingga memerlukan waktu yang relatif lama dan strategi tertentu untuk mengelolanya menjadi area atau lahan yang lebih produktif. Untuk mengubah *tailing* menjadi lahan pertanian, banyak teknologi yang sudah tersedia antara lain penggunaan pupuk kandang, kompos, *mulching* (serasah), biosolid, pupuk kimia, mikroba seperti bakteri, mikoriza dan penggunaan tanaman (fitoremediasi). Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan/memindahkan kontaminan dari tanah, *sludge*, sedimen, air. Tipe fitoremediasi antara lain; fitodegradasi/rhizodegradasi, fitoekstraksi, fitostabilisasi. Teknik fitoremediasi tipe fitoekstraksi lebih murah biayanya dibanding cara pemindahan/penghilangan kontaminan konvensional. Beberapa tanaman pakan ternak yang telah digunakan sebagai fitoremediasi antara lain rumput Bahia (*Paspalum* spp.), rumput Vetiver (*Vetiveria zizonooides*), rumput Bermuda (*Cynodon dactylon*). *Paspalum notatum* dan *V. zizonooides* telah diketahui sebagai tanaman yang dapat mengakumulasi logam berat.

Kata kunci: *Tailing*, reklamasi, hijauan, fitoremediasi

ABSTRACT

THE RECLAMATION OF TAILING AREA RECLAMATION IN THE MINING AREA WITH FORAGES, IS IT POSSIBLE?

Tailings are what's left over from mining. The rock where copper, gold, silver and other minerals found is ground up into fine particles so that the valuable material can be taken out and refined. The solid waste would affect the environment physically and biologically. Characteristics of tailing are high porosity with low water holding capacity, poor organic matter, poor macro and micro nutrients and no microorganism activity. Therefore, it takes time and requires strategy to manage and change them to a more productive area. Many technologies have been applied to rehabilitate tailing for agriculture. The technologies including the use of manure, compost, mulch, biosolid, chemical fertilizer, microorganism (bacteria, mycorrhiza) and phytoremediation. Phytoremediation is the use of plants to remediate selected contaminants in the contaminated soil, sludge, sediment, water (ground, surface, waste water). Phytoremediation encompasses a number of different methods that can lead to contaminant degradation, removal or immobilization. Those methods including phytodegradation/rhizodegradation, phytoextraction, phytovolatilization and phytostabilization. The phytoextraction is inexpensive compared with the conventional technology. Some forages have been used for phytoremediation such as *Paspalum notatum* (Bahia grass), *Vetiveria zizonooides* (Vetiver grass), *Cynodon dactylon* (Bermuda grass), since they have been known as heavy metal hyperaccumulator plant.

Key words: Tailing, reclamation, forage, phytoremediation

PENDAHULUAN

Eksplorasi sumber daya alam seperti industri pertambangan adalah suatu kegiatan tak terelakkan untuk memenuhi kebutuhan ekonomi, sumber keuangan negara, dan lain-lain. Namun setiap eksplorasi sumber daya alam ini akan memberikan dampak terhadap lingkungan, budaya dan sosial baik

positif maupun negatif. Pengaruh negatif dapat diminimalkan bila kegiatan tersebut dilakukan dengan bertanggung jawab baik secara teknis maupun mentaati rambu-rambu yang telah ditetapkan oleh undang-undang yang berlaku.

Industri pertambangan merupakan salah satu industri yang berdampak pada kerusakan lingkungan baik lingkungan fisik maupun sosial karena pada

umumnya industri pertambangan menghasilkan limbah yang cukup besar. Salah satunya dalam bentuk *tailing* dan beberapa pertambangan menghasilkan residu logam berat yang bersifat toksik, contoh pada kasus Buyat yang melepas logam berat Merkuri (Hg) ke sungai (KOMPAS, 2004) dan membuang *tailing* lewat bawah laut (*submarine*), yang akan mempengaruhi kehidupan bawah laut apalagi adanya kemungkinan kebocoran pipa. *Tailing* dari penambangan emas mengandung beberapa jenis logam berat, seperti arsenik, cadmium, merkuri dan timbal pada level yang tinggi (PEARCE, 2000). Disamping itu, lahan-lahan bekas pertambangan jika tidak direhabilitasi akan menjadi kubangan raksasa, hamparan tanah yang gersang yang bersifat asam atau alkali.

Pembuangan *tailing* dengan mengalirkannya ke dataran yang lebih rendah sebelum sampai ke laut akan menyebabkan kerusakan hutan, lingkungan yang dilewatinya dimana terdapat biodiversitas baik flora, fauna maupun mikroorganisme. *Tailing* yang dibuang ke laut juga akan merusak dan mencemari lingkungan dan biota laut. LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) dalam survei Laut Arafuru, sebelah selatan Irian Jaya, menemukan sedimentasi dalam jumlah besar yang tersebar dan tertumpuk pada sebuah cekungan di perairan tersebut. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa sedimen tersebut adalah limbah yang keluar dari muara Sungai Aikwa, kemudian diketahui sungai tersebut telah lama menjadi tempat pembuangan *tailing* dari penambangan tembaga dan emas terbesar di dunia. Kandungan mineral sedimen itu adalah jenis logam berat (KOMPAS, 2000). Artikel ini ditulis untuk mendapatkan suatu gambaran, kemungkinan adanya penggunaan area *tailing* untuk produksi komoditas pertanian termasuk peternakan dengan tanaman (fitoremediasi).

TAILING

Tailing adalah limbah industri pertambangan, baik tambang emas, tembaga, perak maupun mineral lainnya. Jumlah *tailing* yang besar dapat merusak tanaman atau komunitas tanaman melalui proses penyumbatan, menghambat difusi oksigen ke dalam akar tanaman dan menyebabkan tanaman tersebut mati (PTFI, 1997 dalam WALHI, 2006). Selain itu bahan-bahan kimia yang terkandung dalam *tailing* juga dapat mengganggu proses pertumbuhan tanaman (CHAPMAN *et al.*, 2000 dalam WALHI, 2006). *Tailing* biasanya mengandung bahan bersifat toksik atau berbahaya bagi lingkungan, sebagai contoh *tailing* dari pertambangan terbesar di Papua mengandung mineral tembaga (Cu) yang tinggi mencapai 3620 mg/kg berat kering, dibanding kandungan Cu tanah hutan alami yang hanya 27 mg/kg berat kering (PARAMETRIX, 2002), *Tailing*

pertambangan emas Manado, mengandung merkuri yang tinggi sedangkan Cu relatif rendah (LAHAR, 2004).

Tailing terdiri dari batuan yang telah hancur, berasal dari batuan mineral yang telah diambil mineralnya. *Tailing* dapat berupa padatan semacam pasir yang sangat halus atau *slurry* yaitu *tailing* padat yang bercampur dengan air membentuk lapisan tipis. Pada umumnya, *tailing* bersifat porositas tinggi sehingga kapasitas memegang air (*holding capacity*) rendah, struktur tidak stabil, sangat miskin bahan organik, bahkan dapat dikatakan tidak ada bahan organik, miskin unsur hara mikro dan makro, aktivitas mikroba juga tidak ada sama sekali. Sehingga memerlukan waktu yang relatif lama dan strategi tertentu untuk mengelolanya menjadi area atau lahan yang lebih produktif. *Tailing* yang telah direklamasi memerlukan waktu lebih dari 10 tahun untuk membentuk *top soil* setebal 10 cm (ALKATIRI, 2006 komunikasi pribadi).

Keberadaan logam berat pada limbah *tailing*

Logam berat termasuk bahan yang beracun. Logam berat yang banyak di dalam *tailing* adalah merkuri (Hg), cadmium (Cd), plumbum (Pb), cuprum (Cu) dan mineral lain seperti chromium (Cr). Sebagian mineral seperti Cu, Fe, Zn dibutuhkan oleh makhluk hidup seperti tanaman (JONES dan JACOBSEN, 2005) maupun manusia dan hewan (AUBUSSON *et al.*, 1997) dalam jumlah tertentu. Tanaman air Kiapu (*Pistia startiotes*) telah dilaporkan dapat menyerap chromium, sehingga bisa berfungsi sebagai pembersih polutan yang ada (SISWOYO, 2006). Pada tumbuhan Cu, Zn dan Fe digolongkan dalam nutrisi mikro, jadi unsur ini dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Cu, Zn merupakan komponen dari struktur enzim, sedangkan Fe untuk memproduksi klorofil dan ATP (Adenosin Triphosphate) pada tanaman. Unsur mikro ini bila dalam keadaan berlebihan akan berakibat tanaman keracunan.

Logam berat Pb dan Hg termasuk dalam kategori sangat beracun untuk makhluk hidup maupun lingkungan. Kedua logam ini merupakan racun yang terakumulasi (UNEP, 2002). Pada industri pertambangan biasanya logam berat berasal dari mineral yang ditambang atau sebagai bahan yang digunakan untuk memisahkan mineral yang ditambang. Logam berat seperti Hg dan Cd ada di lingkungan secara alami dalam jumlah yang tidak berbahaya karena kedua logam ini merupakan elemen penyusun bumi dalam berbagai bentuk. Merkuri berada di alam biasanya dalam bentuk senyawa dan garam-garam anorganik. Toksisitas Hg sangat tergantung dari bentuk kimianya, sehingga gejala dan tanda-tanda keracunan akan berbeda antara bentuk murni, senyawa merkuri anorganik dan senyawa organik. Di Indonesia

pencemaran merkuri ditemukan di banyak tempat, tetapi tidak pernah ada penyelidikan adanya penderita penyakit Minamata atau keracunan merkuri (SOEMIRAT, 2003). Salah satu penyebab pencemaran lingkungan oleh Hg adalah pembuangan *tailing*, dari pengolahan emas secara amalgamasi. Di pertambangan emas Cineam Tasikmalaya, keberadaan Hg di dalam *tailing* telah dilaporkan oleh KEUKEU (2002). Di Pongkor, Jawa Barat dilaporkan bahwa konsentrasi Hg di sedimen sungai berkisar 0 – 2688 ppm dan di tanah 1 – 1300 ppm (GUNRADI, 2001). Logam berat tersebut dapat dikategorikan kontaminan dalam lingkungan maupun makhluk hidup, sehingga perlu diminimalkan atau dinetralisir supaya tidak membahayakan kehidupan maupun lingkungan. Salah satu caranya adalah dengan fitoremediasi.

Manajemen area *tailing*

Untuk merubah *tailing* menjadi lebih produktif banyak teknologi yang tersedia antara lain penggunaan pupuk kandang, kompos, *mulch* (serasah), *biosolid*, pupuk kimia, penggunaan mikroba seperti rhizobium, mikoriza.

Penggunaan *biosolid* telah dilaporkan memberikan sumber bahan organik untuk memperbaiki fisik, kimia dan mensuplai nutrisi dan energi untuk kehidupan yang ada di *tailing* (BROERSMA, 2003). SPRENGER *et al.* (2003) melaporkan bahwa *biosolid* sangat efektif digunakan pada area yang luas dalam reklamasi *tailing* yang banyak mengandung mineral Zn, Cu dan logam berat Cd, Sn (timah) dengan mempercepat pembentukan mikroba dan komunitas tanaman, dengan berkurangnya unsur-unsur tersebut di atas.

Revegetasi dengan menggunakan tumbuhan eksotik maupun spesies tanaman asli telah dilakukan di beberapa pertambangan misalnya pertambangan timah Bangka (NURTJAHYA, 2003). Penggunaan jenis leguminosa, yang pertumbuhannya cepat dapat menjadi pilihan dan diharapkan revegetasi yang terjadi akan lebih cepat pula. Kombinasi penggunaan kompos dalam revegetasi *tailing* sangat efektif dalam menentukan dan menjaga daya penutupan vegetasi dan produksi biomasa serta mengurangi penyerapan logam berat oleh tanaman (KELLY *et al.*, 2003). Revegetasi yang lebih cepat diperlukan untuk mengimbangi kecepatan produksi *tailing* itu sendiri atau kerusakan lingkungan yang makin parah terjadi.

Tahap awal yang perlu dilakukan dalam mengelola area *tailing* adalah menganalisa tanah (*tailing*) yang akan diremediasi, untuk mengetahui ada-tidaknya bahan toksik dan jenis logam berat yang ada. Sehingga akan dapat ditentukan dengan tepat tipe fitoremediasi. Tahap berikutnya adalah dengan memberikan pupuk organik (pupuk kandang, *biosolid*, pupuk hijau) untuk memperbaiki sifat fisik tanah dan

untuk kesuburan tanah serta meningkatkan aktivitas mikroba. Kebutuhan pupuk organik akan sangat tinggi, untuk memastikan bahwa tanaman akan tumbuh dengan baik. Pengapuran diperlukan untuk *tailing*, bila diperlukan dalam usaha meningkatkan pH, atau sebagai sumber kalsium. Tahap selanjutnya adalah pemilihan jenis tanaman yang akan ditanam, karena tidak semua tanaman dapat tumbuh pada *tailing*.

FITOREMEDIASI

Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang menggunakan tanaman untuk menghilangkan (memindahkan) kontaminan dari tanah dan air (U.S. EPA, 1999; PIVETZ, 2001). Dalam usaha penggunaan cara fitoremediasi untuk meremedi suatu lingkungan yang tercemar diperlukan pemahaman proses yang terjadi, pemilihan tanaman dan usaha yang harus dilakukan agar tanaman tumbuh. Fitoremediasi memerlukan komitmen sumber daya dan waktu, walau begitu memerlukan biaya yang relatif murah, ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi konvensional (PIVETZ, 2001).

Pada teknologi konvensional, remediasi adalah dengan menggali tanah yang terkontaminasi dan memindahkan ke lokasi lain atau menutup area yang terkontaminasi tersebut. Sehingga teknologi ini sebetulnya hanya memindahkan kontaminan dari satu tempat ke tempat lain dan sangat riskan saat penggalian, penanganan dan transpor material berbahaya tersebut (VIDALI, 2001). Ada beberapa mekanisme fitoremediasi yaitu fitoekstraksi, fitotransformasi (fitodegradasi, rizodegradasi), fitostabilisasi dan fitofiltrasi (VIDALI, 2001).

Fitoekstraksi atau fitoakumulasi adalah proses yang digunakan oleh tanaman untuk mengakumulasi kontaminan ke dalam akar dan bagian atas tanaman atau daun. Fitoekstraksi akan terjadi bila kontaminan seperti logam berat dalam bentuk tersedia. Ketersediaan kontaminan terserap oleh tanaman tergantung dari solubilitas logam dalam larutan tanah, hanya logam dalam bentuk ion bebas, logam kompleks dan metal yang terserap oleh unsur inorganik tanah pada lokasi pertukaran ion (TESSIER *et al.*, 1979). Fitoekstraksi terjadi di zona perakaran (*root zone*) dari tanaman. Tipikal zona perakaran adalah relatif dangkal, dimana biomasa (*bulk*) dari akar berada. Kondisi ini merupakan faktor pembatas dari fitoekstraksi. Remediasi tanah yang terkontaminasi Pb dengan menggunakan tanaman *Brassica juncea* hanya dapat mengekstraksi Pb yang berada pada area kedalaman 15 cm (BAYLOCK *et al.*, 1999). Tanaman yang telah mengakumulasi logam berat tersebut harus diangkat keluar lokasi untuk dibuang atau dibakar sesuai standar baku pemrosesan limbah beracun yaitu tanaman dimasukkan ke *smelter* untuk logam, dibakar sehingga

semua bahan organik habis dan tertinggal hanya logamnya, dan dapat dijual. Biaya pembersihan tanah yang terkontaminasi logam berat dengan cara konvensional dapat 10 kali lebih besar dibandingkan dengan fitoremediasi. Penghematan biaya setiap luasan tanah 1 acre rata-rata berkisar 75 – 85% dengan cara fitoremediasi (CRUSENBERRY *et al.*, 1998).

Fitotransformasi atau fitodegradasi adalah proses pengrusakan/penghancuran kontaminan yang ada, mekanismenya adalah pendegradasian kontaminan di dalam tanah, sedimen, *sludge*, air tanah atau air permukaan oleh enzim yang diproduksi dan dilepaskan tanaman. Jenis kontaminan yang dapat dihilangkan melalui mekanisme fitodegradasi antara lain senyawa organik, seperti Trinitrotoluen (TNT) (THOMPSON *et al.*, 1998), herbisida (BURKEN dan SCHNOOR, 1997), insektisida, hara anorganik. Rhizodegradasi adalah teknik dimana kontaminan dipecah oleh aktivitas mikroba di dalam *rhizosphere* (daerah di sekitar akar tanaman). Aktivitas ini disebabkan oleh keberadaan protein dan enzim yang diproduksi oleh tanaman atau mikroba tanah seperti bakteri, *yeast* dan fungi. Penggunaan rhizobakteria tertentu telah dimanfaatkan untuk mengatur terjadinya akumulasi kadmium pada bagian tanaman yang tidak dikonsumsi (SRI SUMARSIH, 2003).

Fitostabilisasi adalah teknik dimana tanaman mempunyai kemampuan untuk mengurangi sifat bergerak dan berpindah tempat dari kontaminan yang ada di tanah, sedimen atau *sludge*. Logam di daerah perakaran dapat distabilkan dengan merubah bentuk dari senyawa dapat larut menjadi tidak larut oleh proses oksidasi, melalui pengendapan di akar tanaman. Sebagai contoh, akar dapat merupakan tempat terjadinya pengendapan timah dalam bentuk yang tidak larut seperti timah fosfat (SALT *et al.*, 1995). Pada teknik ini, kontaminan dapat dikurangi melalui penyerapan maupun pengikatan di akar.

Keunggulan sistem fitoremediasi disamping ramah lingkungan juga murah dan dapat dilakukan *in situ*. Kelemahan sistem ini adalah memerlukan waktu yang cukup lama dan memerlukan pupuk yang banyak untuk menjaga kesuburan tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik (SALT *et al.*, 1995).

Dari uraian di atas, apabila suatu tanaman tidak mengakumulasi suatu logam berat yang berada di *tailing* maka polutan (logam berat) tersebut masih berada dalam lingkungan, dapat dalam bentuk teroksidasi yang sudah kurang toksis atau dalam bentuk tidak mudah bergerak.

Pemilihan jenis tanaman untuk fitoremediasi

Pemilihan jenis tanaman yang tepat sangat krusial untuk keberhasilan fitoremediasi yang akan dilakukan. Faktor lain adalah iklim, kondisi *tailing* (tanah) sangat

mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang akan digunakan. Jenis tanaman sebaiknya tanaman yang cepat tumbuh, mempunyai kemampuan mengikat nitrogen udara, sehingga diharapkan tanaman mampu menyediakan unsur nitrogen sendiri untuk pertumbuhannya. Dalam hal ini, inokulasi dengan mikroba yang tepat sangat disarankan. Tipe fitoremediasi juga merupakan faktor yang perlu dipertimbangkan untuk keberhasilan re-vegetasi di area *tailing*. Di beberapa lokasi pertambangan terutama di area *tailing* dapat ditemukan tanaman asli yang tumbuh liar dan beradaptasi dengan baik pada lingkungannya. Tanaman-tanaman tersebut dapat merupakan indikasi awal untuk dapat digunakan sebagai usaha re-vegetasi. Pada pertambangan tembaga dan emas di Papua, telah dilakukan pengambilan sampel salah satu tumbuhan di area suksesi dan dari hasil identifikasi ternyata spesies tersebut adalah leguminosa herba *Vigna parkeri* Baker. Tanaman *Vigna parkeri* Baker mempunyai kandungan N 4,1% setara dengan 25,6% protein kasar, disukai ternak, kecernaan bahan kering 61% (COOK dan BENJAMIN, 1992). Walaupun nilai nutrisinya tinggi, tanaman tersebut perlu dianalisis kandungan logam beratnya sebelum diberikan kepada ternak. Beberapa jenis tanaman yang telah diketahui sebagai hiperakumulator logam berat antara lain *Ipomea alpina*, dengan potensi akumulasi logam Cu di dalam daun mencapai 12300 ppm dan *Thlaspi caerulescens*, hiperakumulator logam Zn/Cd dengan potensi akumulasi di dalam daun sekitar 39600 ppm Zn dan 1800 ppm Cd (BAKER dan WALTER dalam LI *et al.*, 2006). Sifat hiperakumulator telah dibahas oleh BROOKS (1998), dimana beberapa tanaman hiperakumulator dapat mengakumulasi beberapa logam berat yang ada di lokasi. Namun ada hiperakumulator yang hanya mengakumulasi logam berat tertentu.

Tanaman pakan ternak untuk fitoremediasi

Tumbuhan telah lama digunakan sebagai agen reklamasi area *tailing*, termasuk tanaman pakan ternak. tetapi belum banyak yang diketahui fungsi atau tipe fitoremediasi terhadap polutan yang ada di *tailing*, sehingga penting untuk dilakukan skrining terutama terhadap jenis tanaman pakan ternak untuk remediasi *tailing*. Tanaman pakan ternak yang banyak digunakan adalah rumput dan leguminosa.

Beberapa tanaman pakan ternak yang dapat digunakan untuk reklamasi *tailing* antara lain tanaman leguminosa pohon seperti Turi (*Sesbania grandiflora*), gamal (*Gliricidia sepium*), rumput Bahia (*Paspalum spp*), rumput Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), rumput Bermuda (*Cynodon dactylon*). Rumput-rumput tersebut mempunyai sifat fitoekstraksi atau fitostabilisasi terhadap logam berat yang ada di tanah (*tailing*).

Sedang untuk tanaman leguminosa pohon, informasi masih kurang tersedia mengenai tipe fitoremediasinya.

Rumput Bahia adalah rumput berumur tahunan, perakaran dalam, tahan terhadap penggembalaan berat, mudah membentuk hamparan, toleransi pada tanah yang tingkat kesuburannya rendah dan berpasir, tahan terhadap hama dan penyakit. Produksi hijauan segar rumput ini mencapai 10 – 20 ton per ha per tahun bila ditanam dengan jarak tanam 50 x 50 cm (SUTEDI *et al.*, 2000). YOON *et al.* (2006) menemukan adanya konsentrasi Cu yang tinggi pada daun (200 – 352 mg kg⁻¹) maupun akar (250 – 432 mg kg⁻¹) rumput bahia yang tumbuh di area *tailing* yang terkontaminasi logam berat dari kegiatan berbagai industri.

Rumput Bermuda berasal dari Afrika, Asia Selatan dan Asia Tenggara, namun sekarang telah tersebar ke seluruh daerah tropis dan sub-tropik. Rumput yang bersifat perennial ini, menghasilkan stolon, tumbuh pada tanah dengan aerasi yang baik, temperatur di atas 24°C, dan pH diatas 5,5, toleran pada tanah yang tidak subur, dan merupakan tanaman pengontrol erosi. Daunnya dapat digunakan untuk pakan ternak biasanya sebagai rumput potong. Jenis rumput ini potensial digunakan untuk program fitostabilisasi area tercemar, disamping toleran terhadap tanah masam juga mengakumulasi Pb dan Cd pada konsentrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lain (ARCHER dan CALDWELL, 2004).

Rumput Vetiver adalah rumput yang mempunyai keunikan karakter morfologi dan fisiologi dan telah dikenal sebagai tanaman yang efektif mengontrol erosi dan sedimen. Akar rumput Vetiver sangat kuat, rata-rata kekuatan daya rentang berkisar 5 Mpa yang setara dengan seperenam daya rentang baja medium (*mild steel*) (TRUONG, 1999). Jenis rumput ini sangat berbeda dengan rumput pada umumnya. Kebanyakan rumput mempunyai akar serabut yang pertumbuhannya pada arah horizontal, sedangkan rumput Vetiver ini akarnya tumbuh secara vertikal dan dapat menembus sangat dalam ke tanah, sehingga sangat tahan kekeringan. SIREGAR dan SAJIMIN (1992), melaporkan rumput Vetiver yang ditanam di Kabupaten Ende, Sikka dan Sumba, Provinsi NTT pada musim kering dengan curah hujan tidak ada sama sekali, pada bulan-bulan tertentu masih dapat menghasilkan hijauan. Rumput ini tahan terhadap kondisi tanah yang ekstrim termasuk area yang terkontaminasi logam berat (TRUONG dan BAKER, 1996). Rumput ini telah digunakan di pertambangan tembaga dan emas di Papua, Indonesia untuk penahan tanggul yang dibuat sebagai aliran *tailing* dari dataran tinggi tempat mineral ditambang ke dataran rendah agar tidak terjadi erosi (PTFI, 2004b). Vetiver telah berhasil untuk menstabilkan *tailing* dari tambang batubara yang bersifat basa (pH 9,5) di Queensland (RADLOFF *et al.*, 1995).

Jenis tumbuhan lain yang telah digunakan untuk fitoremediasi di Indonesia adalah enceng gondok (RISMANA, 2001), tanaman ini digunakan untuk penurunan kandungan logam berat dan radioaktif.

Penggunaan jenis tanaman pakan ternak untuk fitoremediasi dan akan digunakan sebagai pakan ternak, perlu dilakukan secara hati-hati, artinya harus diperhatikan mekanisme kerja dari tanaman tersebut sebagai fitoremediasi, karena tanaman yang mengandung logam berat dapat meracuni ternak yang memakannya. Misalnya rumput Bahia, mempunyai sifat mengekstraksi logam berat, sehingga tanaman ini akan mengakumulasi logam berat tersebut dalam jaringan tanaman termasuk daun, yang merupakan pakan ternak. Pada ternak ruminansia, keracunan logam berat dapat berasal dari rumput dan air yang tercemar. Toksisitas logam pada hewan seperti sapi, kambing akan berpengaruh terhadap produksi dan kepekaan terhadap penyakit infeksi bahkan kematian (DARMONO, 2001). Beberapa spesies rumput yang bersifat akumulatif terhadap logam berat antara lain, rumput Bahia yang apabila dibudidayakan pada tanah (*tailing*) yang mengandung logam berat, maka tidak boleh diberikan sebagai pakan ternak karena sifat rumput ini yaitu *high accumulator* (logam berat akan terakumulasi pada jaringan tanaman). Sebagai fitoremediator juga perlu dilakukan penanganan khusus dalam pemanenannya. Rumput Bahia dalam hal ini dapat dikatakan sebagai pembersih tanah yang terkontaminasi, sehingga nantinya kontaminan akan berkurang atau bersih sama sekali. Kemudian bila tanah/area yang terkontaminasi sudah dinyatakan bersih maka dapat digunakan untuk budidaya tanaman pakan ternak dan daunnya aman diberikan ke ternak. Selanjutnya untuk memastikan ada tidaknya kontaminan dalam jaringan tubuh ternak yang mengkonsumsi rumput tersebut, perlu dilakukan uji keberadaan logam berat, baik terhadap darah, karkas, organ hati dan ginjal. Uji ini perlu dilakukan untuk memastikan apakah hewan tersebut layak untuk dikonsumsi manusia.

PERTANIAN DI LAHAN *TAILING*

Tujuan reklamasi lahan *tailing* antara lain untuk memperbaiki lingkungan, juga kondisi lahan *tailing* menjadi area yang dapat digunakan menjadi lebih produktif misalnya untuk budidaya tanaman. Untuk tujuan kegiatan pertanian perlu dilakukan secara hati-hati sebelum produk pertanian dapat dikonsumsi manusia. Logam berat yang biasa diketemukan di lahan *tailing* antara lain kadmium, timbal, merkuri (PEARCE, 2000). Beberapa komoditas pertanian telah dibudidayakan pada lahan *tailing*, misalnya sayur-

sayuran (tomat, cabe, labu), buah-buahan seperti melon, jambu batu, matoa (PTFI, 2004a). Namun semua komoditas tersebut perlu dianalisis kemungkinan keberadaan logam berat sebelum dinyatakan layak untuk dikonsumsi. Logam berat dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh makhluk hidup termasuk tanaman. DARMONO (1995) melaporkan yaitu adanya akumulasi logam berat Cd, Pb, Cu dan Zn dalam rumput yang tumbuh di sekitar pabrik semen di Kabupaten Bogor (Tabel 1).

Tabel 1. Kandungan rata-rata logam berat Pb, Cd, Cu dan Zn dalam rumput ($\mu\text{g/g}$ berat kering) menurut jarak pengambilan sampel dari pabrik semen di Kabupaten Bogor

Jarak (km)	Pb	Cd	Cu	Zn
1	10,50	0,43	6,16	184,2
2	6,18	0,34	5,49	79,5
3	8,83	0,35	6,31	144,0

Dari Tabel 1 dapat diketahui semua kandungan logam berat rumput telah melampaui batas ambang yang diperbolehkan untuk dikonsumsi ternak seperti ditetapkan menurut NRC (NAS, 1980) sehingga bila logam-logam berat tersebut dikonsumsi oleh ternak akan terakumulasi di dalam jaringan tubuhnya. ROSS dalam LI *et al.* (2006) melaporkan fitotoksitas Cu terjadi bila tanah mengandung Cu berkisar 60 – 125 mg/kg; 500 – 1000 mg/kg total Pb (JIANG *et al.* dalam LI *et al.*, 2006).

Budidaya tanaman apapun di area *tailing* perlu strategi tertentu untuk mengelolanya. Kondisi *tailing* yang secara fisik sangat sarang (*porous*), miskin hara dan bahan organik, maka perlu pemupukan dengan pupuk organik dan kimia secara seimbang. Penggunaan pupuk kandang maupun pupuk organik lain (pupuk hijau, *biosolids*) atau *top soils* perlu dilakukan dengan dosis yang tinggi. Pupuk kandang, untuk pertumbuhan tanaman yang optimal di *tailing* diperlukan dalam jumlah 4 – 5 kali dosis normal. Terutama untuk tanaman pakan ternak, biji yang diperlukan tiap hektarnya juga lebih banyak. Casuarina menghasilkan pertumbuhan yang optimal dengan pemupukan pupuk kandang, dosis 100 ton/ha (ALKATIRI, 2004 komunikasi pribadi).

Tanaman pakan ternak telah dicoba ditanam dan tumbuh di area *tailing* adalah rumput *Brachiaria humidicola*, rumput Bahia, leguminosa herba kacang pinto (*Arachis pintoi*), stilo (*Stylosanthes scabra* cv. Siran) (PTFI, 2006). Spesies-spesies tanaman tersebut mempunyai pertumbuhan yang berbeda antara yang ditanam di *tailing* segar (*fresh tailing*) dan *tailing* yang telah lebih 10 tahun digunakan untuk budidaya tanaman. Pertumbuhan lebih cepat dan lebih baik pada *tailing* yang telah digunakan untuk budidaya tanaman

lebih dari 10 tahun, dimana pada pengukuran tinggi rumput *P. notatum* yang tumbuh di *tailing* yang belum pernah diberi pemupukan maupun budidaya tanaman (*fresh tailing*) hanya 37 cm sedangkan di area *tailing* yang telah digunakan untuk budidaya tanaman, tinggi rumput mencapai 78 cm (PTFI, 2006). Di *tailing* yang masih baru (belum diberi perlakuan sama sekali), dapat ditemukan spesies tanaman yang tumbuh, misalnya leguminosa herba kalopo (*Calopogonium mucunoides*), *Melastoma dodecandrum* (LI *et al.*, 2006).

Logam berat yang masih berada di *tailing* perlu diperhitungkan bila tanaman akan dikonsumsi oleh hewan maupun oleh manusia, karena logam berat mempunyai sifat sangat beracun, akumulatif dalam tubuh manusia maupun hewan. Logam-logam berat ini masuk ke tubuh manusia melalui rantai makanan yang tercemar logam tersebut, air, udara atau melalui kulit. Pengaruh negatif terhadap kesehatan tubuh akan terlihat bila jumlah di dalam tubuh sudah cukup besar. Logam-logam berat tersebut biasanya menumpuk di otak, syaraf, jantung, hati dan ginjal yang dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan organ-organ tersebut. Keracunan logam berat pada tubuh dapat dideteksi menggunakan tes darah atau urin, rambut, analisa jaringan tubuh dan sinar X. *Level* merkuri (Hg) di dalam darah tidak boleh melebihi 3,6 $\mu\text{g/dL}$ sedang di dalam urin tidak boleh lebih dari 15 $\mu\text{g/dL}$. Gejala keracunan merkuri akan tampak bila level merkuri pada darah telah di atas 20 $\mu\text{g/dL}$ di dalam darah dan 60 $\mu\text{g/dL}$ di dalam urin (THIVIERGE, 2002). Level yang diperbolehkan berada di dalam tubuh bervariasi tergantung jenis logam berat.

Dalam jangka panjang, lahan *tailing* yang sangat luas setelah diremediasi dan layak digunakan untuk budidaya pertanian, perlu dipertimbangkan untuk dihibahkan kepada masyarakat terutama yang terkena langsung dampak akibat kegiatan pertambangan. Walaupun ini belum sebanding dengan dampak sosial dan lingkungan yang telah dideritanya.

PASAR FITOREMEDIASI; APAKAH TERSEDIA?

Analisis pasar secara komprehensif dari akibat penggunaan fitoremediasi telah dilaporkan oleh GLASS 1999a; 1999b dalam LASAT, 2000. Glass memperkirakan pasar fitoremediasi di Amerika Serikat (AS) pada tahun 1999 meningkat dua kali dari tahun 1998. Kenaikan ini, diindikasikan dengan meningkatnya jumlah perusahaan yang menawarkan jasa teknologi ini dan juga tumbuhnya penerimaan/pengakuan teknologi ini oleh pengguna jasa. Pasar fitoremediasi kedua terbesar adalah di Eropa, walaupun pasar ini tetap masih relatif sangat kecil dibandingkan dengan pasar di Amerika Serikat (GLASS, 1999b dalam LASAT, 2000). Di Indonesia sendiri, studi mengenai pasar ini belum banyak dilakukan atau memang belum ada. Penulis

belum menemukan data mengenai studi mengenai pasar teknologi ini di Indonesia. Keberadaan industri pertambangan baik yang dikelola BUMN maupun swasta merupakan indikasi adanya pasar yang tersedia. Fakta yang ada perusahaan-perusahaan tersebut telah melakukan reklamasi/fitoremediasi dengan menggunakan jasa teknologi ini dari berbagai pihak baik itu swasta maupun kerjasama dengan institusi pemerintah, namun belum terdokumentasi secara baik.

KESIMPULAN

Reklamasi adalah suatu keharusan dilakukan pada area *tailing* di pertambangan untuk memperbaiki tanah maupun lingkungan. Salah satu cara remediasi area pertambangan adalah dengan fitoremediasi.

Untuk tercapainya hasil yang optimal reklamasi perlu dilakukan dengan berbagai kombinasi cara remediasi yaitu dengan input kompos, pupuk, *biosolid*, penggunaan *top soil*, tanaman dan mikroba.

Tanaman pakan ternak salah satu tanaman yang mempunyai kemampuan sebagai fitoremediator untuk lokasi area *tailing*. *Paspalum notatum*, *Vetiveria zizanoides*, *Cynodon dactylon*, *Leucaena leucocephala*, merupakan beberapa jenis tanaman pakan ternak yang dapat digunakan untuk fitoremediasi area *tailing*.

Evaluasi kandungan logam berat perlu dilakukan terhadap semua komoditas tanaman yang ditanam di area *tailing* termasuk rumput dan leguminosa pakan ternak. Kelayakan tanaman pakan ternak yang dibudidayakan di *tailing* untuk pakan ternak tergantung dari hasil analisis kandungan logam berat tanaman tersebut terutama daunnya dan tipe fitoremediasi tanaman itu sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- ARCHER, M.J.G and R.A. CALDWELL. 2004. Response of six Australian plant species to heavy metal contamination at an abandoned mine site. *J. Water, Air and Soil Pollution*. pp. 257 – 267.
- AUBUSSON, P., E. KENNEDY and W. SNYDER. 1997. *Biology. The Spectrum of Life*. Oxford University Press Australia. pp. 43 – 44.
- BAYLOCK, M.J., M.P. ELLESS, J.W. HUANG and S.M. DUSHENKOV. 1999. Phytoremediation of lead-contaminated soil at a New Jersey brownfield site. *Remediation* 9: 93 – 101.
- BROERSMA, K. 2003. The use of Soil Amendments and Domestic Native Forages in Reclaiming Mine Tailing. Agriculture and Agri-Food Canada, Kamloops Range. Research Station, Kamloops, Canada. http://res2.agr.ca/lethbridge/scitech/kb/klaas2_e.htm. (5 Juli 2006).
- BROOKS, R.R. 1998. Phytochemistry of hyperaccumulators. *In: Plant that Hyperaccumulate Heavy Metals*. BROOKS, R.R. (Ed.). CAB International, New York, NY. pp. 15 – 53.
- BURKEN, J.G. and J.L. SCHNOOR. 1997. Uptake and metabolism of atrazine by poplar trees. *Environ. Sci. Technol.* 31: 1399 – 1406.
- COOK, B.G. and A.K. BENJAMIN. 1992 *Vigna parkerii* Baker. *In: Forages*. L.'T MANNETJE and R.M. JONES (Eds.) Prosea, Bogor, Indonesia. pp. 232 – 234.
- CRUSENBERRY, M., L.A. JOHNSON and A. WILLIAMS. 1998. In Situ Biodegradation. Narainr Persaud. <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/group17/index.html> (1 Mei 2007).
- DARMONO. 1995. Kandungan logam berat (Pb, Cd, Cu dan Zn) pada rumput pakan ternak yang tumbuh di sekitar pabrik semen di Kabupaten Bogor. *Pros. Seminar Nasional Teknologi Veteriner*. Balai Penelitian Veteriner, Bogor. hlm. 391 – 395.
- DARMONO. 2001. Lingkungan Hidup dan Pencemaran. Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). 179 hlm.
- GUNRADI, R. 2001. Pemantauan unsur merkuri akibat Penambangan Tanpa Ijin (PETI) di daerah Pongkor, Jawa Barat. *J. Toksikologi Indonesia* 2: 1 – 13.
- JONES, C. and J. JACOBSEN. 2005. Plant Nutrition and Soil Fertility. MSU Extension Services. Montana State University, Bozeman, MT 59717.
- KELLY, D.B, J. CORNISH, R. GORDON and I. LICIS. 2003. Revegetation of mining waste using organic amendments and evaluating the potential for creating attractive nuisance for wildlife. National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation and the 9th Billings and reclamation symposium, Billings MT, June 3 – 6, 2003. Published by ASMR, 3134 Montevesta Rd., Lexington, KY 40502. http://www.billingslandreclamationsymposium.org/tailings_abstracts.htm. (5 Juli 2006).
- KEUKEU, R.R. 2002. Fenomena Transpor Merkuri (Hg) Pada Tailing Penambangan Emas di Saluran Terbuka (Studi Kasus pada Penambangan Emas di Cineam Tasikmalaya). Departemen Teknik Lingkungan ITB. KMRG ITB.
- KOMPAS. 2004. Newmont Akui Membuang Puluhan Ton Merkuri. Kompas on line 24 Desember 2004. hlm. 1 – 2.
- KOMPAS. 2000. Baruna Jaya Temukan Sedimen “Tailing” Freeport di Arafuru. hlm. 10.
- LAHAR, H. 2004. Evaluasi Sumber Daya dan Cadangan BahanGalian untuk Pertambangan Skala Kecil Daerah Lambar, Manado, Provinsi Sulawesi Utara. Kolokium. Hasil Lapangan-DIM. hlm. 45.1 – 45.12.
- LASAT, M.M. 2000. Phytoextraction of metals from contaminated soil: A review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. *J. Hazardous Substance Res.* 2: 1 – 25. <http://www.engg.ksu.edu/HSRC/JHSR/vol2no5.pdf> (1 Mei 2007).

- LI, M.S., Y.P. LUO and Z.Y. SU. 2006. Heavy metal concentrations in soils and plant accumulation in a restored manganese mineland in Guangxi, South China. Elsevier Ltd.
- NRC. 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. National Academy Press, Washington, DC.
- NURTAHYA, E. 2003. Potential local tree candidates for revegetation sandy tin tailing in Bangka Island. A literature review. Term Paper Introductory Science Philosophy. IPB, Bogor. 10 p.
- PARAMETRIX. 2002. Plant and Wildlife Risk Assessment. Prepared for PT Freeport, Indonesia. Vol. 3.
- PEARCE, F. 2000. Tails of Woe. Minerals Policy Institute. www.nlc.net.au/-mpi/std/std_newscientist.html. (1 Juni 2007).
- PIVETZ, B.E. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development. pp. 1 – 36.
- PTFI. 2004a. Pengangkutan Tailing Melalui Sungai. Laporan PT Freeport Indonesia. 11 hlm. www.ptfi.co.id (4 Juni 2007).
- PTFI. 2004b. Mine Reclamation for Pasture Grazing. Executive Summary for PT Freeport Indonesia. Recommendation. Prepared by Indonesian Research Institute for Animal Production.
- PTFI. 2006. Mine Reclamation for Pasture Grazing. Executive Summary for PT Freeport Indonesia. Prepared by Indonesian Research Institute for Animal Production. 14 p.
- RADLOFF, B., K. WALSH and A. MELZER. 1995. Direct revegetation of coal tailings at BHP. Saraji Mine. Aust. Mining Council Environm. Workshop, Darwin, Australia. Rd., Lexington, KY 40502. http://www.billingslandreclamationsymposium.org/tailings_abstracts.htm (5 Juli 2006).
- RISMANA, E. 2001. Teknologi Pengolahan Limbah Alternatif. Sinar Harapan Tahun 2001.
- SALT, D.E., M. BLAYLOCK, P.B.A. NANDA KUMAR, V. DUSHENKOV, B.D. ENSLEY, I. CHET and I. RASKIN. 1995. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnol.* 13: 468 – 474.
- SIREGAR, M.E. and SAJIMIN. 1994. Forage productivity of Vetiver grass using hedgerow system in East Nusa Tenggara Province Indonesia. Proc. of the 7th AAAP Animal Science Congress. Held in Bali, Indonesia. July 11 – 16. pp. 173 – 174.
- SISWOYO, E. 2006. Fitoremediasi logam berat chromium (Cr) menggunakan tanaman air Kiapu (*Pistia stratiotes*). J. Teknik Lingkungan Edisi Khusus, Agustus 2006.
- SOEMIRAT, J. 2003. Toksikologi Lingkungan. Gajah Mada University Press. 217 hlm.
- SPRENGER, M.D., H. COMPTON, A. MAXEMCHUCK and S. BROWN. 2003. Biosolids remediation of a base metals mining site. National Meeting of the American Society of Mining and reclamation and the 9th Billings and reclamation symposium, Billings MT, June 3 – 6, 2003. Published by ASMR, 3134 Montevesta.
- SRI SUMARSIH. 2003. Potensi bakteri sebagai pemacu fitoremediasi pencemaran cadmium pada tanah yang di pupuk fosfat. http://fp.brawijaya.ac.id/service.php?cd=jurnal&cf=jurnal_detail&v. (5 Juni 2007).
- SUTEDI, E., S. YUHAENI, N.D. PURWANTARI, B.R. PRAWIRADIPUTRA, T. MANURUNG dan SAJIMIN. 2000. Karakterisasi Leguminosa dan Rumput Tanaman Pakan Ternak. Laporan Hasil Penelitian TA 2000. Balai Penelitian Ternak, Bogor.
- TESSIER, A., P. CAMPBELL and M. BISSON. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.* 51: 844 – 850.
- THIVIERGE, B. 2002. Heavy Metal Poisoning. Gale Encyclopedia of Medicine. The Gale Group Pub.
- THOMPSON, P.L., L.A. RAMER and J.L. SCHNOOR. 1998. Uptake and transformation of TNT by hybrid poplar trees. *Environ. Sci. Technol.* 32: 975 – 980.
- TRUONG, P. and D. BAKER. 1996. Vetiver grass for the stabilization and rehabilitation of acid sulfate soils. Proc. of the Second national Conference on Acid Sulfate Soils. Coffs Harbour, Australia. pp. 196 – 198.
- TRUONG, P.N.V. 1999. Vetiver grass technology for land stabilisation, erosion control in the Asia-Pacific Region. Paper Prepared for the First Asia-Pacific Conference in Ground and Water Bio-Engineering, Manila April 1999. 23 p.
- U.S. EPA. 1999. Phytoremediation Resource Guide. EPA/542/B-99/003. <http://www.epa.gov/tio>. (7 Juli 2006).
- UNEP. 2002. Global Mercury Assessment. UNEP Chemical, Geneva, Switzerland. 178p.
- VIDALI, M. 2001. Bioremediation. An Overview. *Pure Appl. Chem.* 73: 1163 – 1172.
- WALHI. 2006. Dampak Lingkungan Hidup Operasi Pertambangan Tembaga dan Emas Freeport-Rio Tinto di Papua. 25 Tahun WALHI, Wahana Lingkungan Hidup Indonesia. Jakarta. 119 hlm.
- YOON, J., XINDE CAO, QIXING ZHOU and LENA Q. MA. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of Total Environment* 368: 456 – 464.