

Jenis-jenis tumbuhan reklamasi potensial untuk fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas

Kinds of reclamation plants potential for phytoremediation at ex-gold mining area

DANANG WAHYU PURNOMO^{1,*}, MAHAT MAGANDHI^{1,**}, HENDRA HELMANTO^{1,***}, JOKO RIDHO WITONO^{1,****}

¹Pusat Konservasi Tumbuhan Kebun Raya, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Kebun Raya Bogor), Jl. Ir. H. Juanda 13 Bogor 16003 telp/fax (0251) 8322187, *email: dnabdz@yahoo.com, ** mgandhi38@gmail.com, *** hendraforestugm@gmail.com, **** jrwitono@yahoo.com

Manuskrip diterima: 10 Februari 2015. Revisi disetujui: 26 April 2015.

Abstrak. Purnomo DW, Magandhi M, Helmanto H, Witono JR. 2015. Jenis-jenis tumbuhan reklamasi potensial untuk fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1*: 496-500. Penurunan kualitas lingkungan akibat aktivitas tambang emas selalu terkait dengan polusi unsur logam berat dan kerusakan tanah. PT Newmont Minahasa Raya (PT NMR) telah mereklamasi lahan eks tambang emas sejak 1996 dan dinilai berhasil oleh pemerintah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis tumbuhan reklamasi terkait sifat dan karakter habitatnya yang potensial sebagai fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas PT NMR. Pengamatan dilakukan dengan membuat plot di lokasi-lokasi yang terkena dampak polusi, yaitu Kolam ex PLS, RLS dan SWP, dan Kolam Sediment Pond. Pada tiap plot 2m x 2m diamati jenis tumbuhan dan kondisi lingkungannya, kemudian sampel tumbuhan diambil untuk dianalisis kandungan unsur arsenik (As) dan merkuri (Hg). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa jenis paku laut (*Acrostichum speciosum*) (INP=25,53%), paku sepat (*Nephrolepis falcata*) (INP=22,60%), dan paku pedang (*Nephrolepis exaltata*) (INP=22,09%) merupakan 3 jenis dominan di lokasi. Sementara kandungan As dan Hg tertinggi terdapat pada teki badot (*Cyperus kyllingia*) (As=1,93ppm; Hg=126ppb), *Pteris biaurita* (As=1,07ppm; Hg=96ppb), dan jotang hurna (*Spilanthus ocyimifolia*) (As=0,30; Hg=126ppb). Pemilihan jenis fitoremediasi untuk As dan Hg pada area yang dikelola secara intensif dianjurkan untuk menggunakan *Pteris biaurita*, teki badot, dan jotang hurna, sedangkan untuk wilayah yang dibiarkan secara alami dianjurkan untuk menggunakan paku laut, paku sepat, dan paku pedang.

Kata kunci: As, fitoremediasi, Hg, kualitas lingkungan, reklamasi, tambang emas

Abstract. Purnomo DW, Magandhi M, Helmanto H, Witono JR. 2015. *Kinds of reclamation plants potential for phytoremediation at ex-gold mining area. Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 1*: 496-500. Environmental degradation caused by gold mining activities are always related to heavy metal pollution and land degradation. PT Newmont Minahasa Raya (NMR) had been reclaiming former gold mine since 1996 and were considered successful by the government. This study was aimed to determine kinds of the reclamation plants including its habitat type and character that potential for phytoremediation in the gold mining area of PT NMR. Observations were carried out by establishing plots in locations contaminated by pollution, ie Pond ex PLS, RLS and SWP, and Sediment Pond. In each plot 2mx2m, there were identified of plant species and environmental conditions, and plant samples were taken for analysis material content of arsenic (As) and mercury (Hg). The results showed that the species of paku laut (*Acrostichum speciosum*) (Important Value /IV = 25.53%), paku sepat (*Nephrolepis falcata*) (IV = 22.60%), and paku pedang (*Nephrolepis exaltata*) (IV = 22.09%) were three dominant species at the site. While the high material content of As and Hg were teki badot (*Cyperus kyllingia*) (As = 1,93ppm; Hg = 126ppb), *Pteris biaurita* (As = 1,07ppm; Hg = 96ppb), and jotang hurna (*Spilanthus ocyimifolia*) (As = 0.30; Hg = 126ppb). Selection of the species of phytoremediation for As and Hg in the intensively managed areas were encouraged to use *Pteris biaurita*, teki badot, and jotang hurna, whereas for the natural area was recommended to use paku laut, paku sepat, and paku pedang.

Keywords: As, phytoremediation, Hg, environmental quality, reclamation, gold mining

PENDAHULUAN

Sekitar 70% kerusakan lingkungan hidup terjadi akibat aktivitas pertambangan mineral dan batu bara (Messwati 2012). Operasional tambang sistem terbuka (*open pit mining*) telah menyebabkan hilangnya hutan primer sehingga menjadi pemicu terjadinya perubahan iklim (Barrow, 1991). Salah satu bentuk pencemaran akibat tambang adalah *tailing* yang menghasilkan residu logam

berat yang bersifat toksik, contoh pada kasus Buyat yang melepas logam berat Merkuri (Hg) ke sungai (Kompas 2004). *Tailing* dari penambangan emas mengandung beberapa jenis logam berat, seperti arsenik, cadmium, merkuri dan timbal pada level yang tinggi (Pearce 2000; Arets et al. 2006). Selain itu, lahan-lahan bekas pertambangan jika tidak direhabilitasi akan menjadi kubangan raksasa, hamparan tanah yang gersang yang bersifat asam atau alkali.

Kerusakan lingkungan tersebut terjadi karena sistem operasional yang tidak ramah lingkungan dan upaya reklamasi yang tidak tepat. Permen ESDM No.18 Tahun 2008 tentang Reklamasi dan Penutupan Tambang menyebutkan bahwa setiap usaha reklamasi tambang harus memenuhi prinsip-prinsip lingkungan hidup, keselamatan dan kesehatan kerja, serta konservasi bahan galian. PT. Newmont Minahasa Raya (PT. NMR) adalah perusahaan pertambangan emas yang mulai menjalankan aktivitasnya pada tahun 1984 dan mengakhiri operasi tambang pada tahun 2004. Kawasan eks tambang PT. NMR sekitar 221 Ha yang terletak di Resort Pemangku Hutan Ratatotok telah direhabilitasi selama tahun 1996-2010 dan kini dipenuhi oleh beragam jenis tegakan yang membentuk ekosistem hutan sekunder. Upaya reklamasi PT. NMR dinilai berhasil oleh Kementerian Kehutanan berdasarkan beberapa kriteria termasuk kondisi tanah dan air yang baik. Pembebasan kondisi kimia tanah dari unsur logam berat tidak lepas dari teknologi fitoremediasi melalui berbagai jenis tanaman reklamasi.

Fitoremediasi adalah salah satu teknologi yang menggunakan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah dan air yang terkontaminasi (Pivetz 2001; Juhaeti *et al.* 2005). Keunggulan sistem fitoremediasi adalah ramah lingkungan, murah dan dapat dilakukan secara *in situ* (Purwantari 2007). Teknologi fitoremediasi merupakan perbaikan metode konvensional yang hanya memindahkan polutan dari satu tempat ke tempat lain. Terdapat beberapa mekanisme fitoremediasi, di antaranya adalah fitoekstraksi dan fitotransformasi (Vidali 2001). Fitoekstraksi adalah proses tumbuhan dalam mengakumulasi polutan ke dalam akar dan bagian atas tanaman yang akan terjadi bila kontaminan seperti logam berat dalam bentuk tersedia. Fitotransformasi adalah proses penghancuran polutan oleh enzim yang dihasilkan tumbuhan.

Keberhasilan sistem fitoremediasi ditentukan oleh jenis tumbuhan, iklim, dan kondisi *tailing* (Sarma 2011; Purwantari 2007). Setiap suku, marga atau bahkan jenis memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyerap unsur logam berat dalam tanah atau air. Jenis tanaman sebaiknya tanaman yang cepat tumbuh, mempunyai kemampuan mengikat nitrogen udara, sehingga diharapkan tanaman mampu menyediakan unsur nitrogen sendiri untuk pertumbuhannya. Selain itu, kemampuan tumbuhan untuk beradaptasi terhadap kondisi habitat sangat penting dalam menunjang fungsi remediasi lingkungan yang tercemar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis tumbuhan reklamasi terkait sifat dan karakter habitatnya yang potensial sebagai fitoremediasi di kawasan bekas tambang emas PT NMR. Hasil dari kajian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan manajemen untuk menentukan teknik pemeliharaan jenis dan lokasi habitatnya secara tepat.

BAHAN DAN METODE

Area kajian

Lokasi penelitian berada di kawasan eks Tambang PT. NMR Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa

Tenggara dan berjarak sekitar 115 Km dari Kota Manado dan 35 Km dari Ratahan jika ditempuh dengan perjalanan darat. Lokasi ini berada pada posisi geografis antara 124°39'30"LS - 124°40'28"LS dan 0°52'35"BT - 0°53'55"BT. Terdapat dua lokasi pengambilan data, yaitu Lokasi 1 Kolam Eks PLS, RLS, dan SWP dan Lokasi 2 Kolam Sediment Pond (Gambar 1).

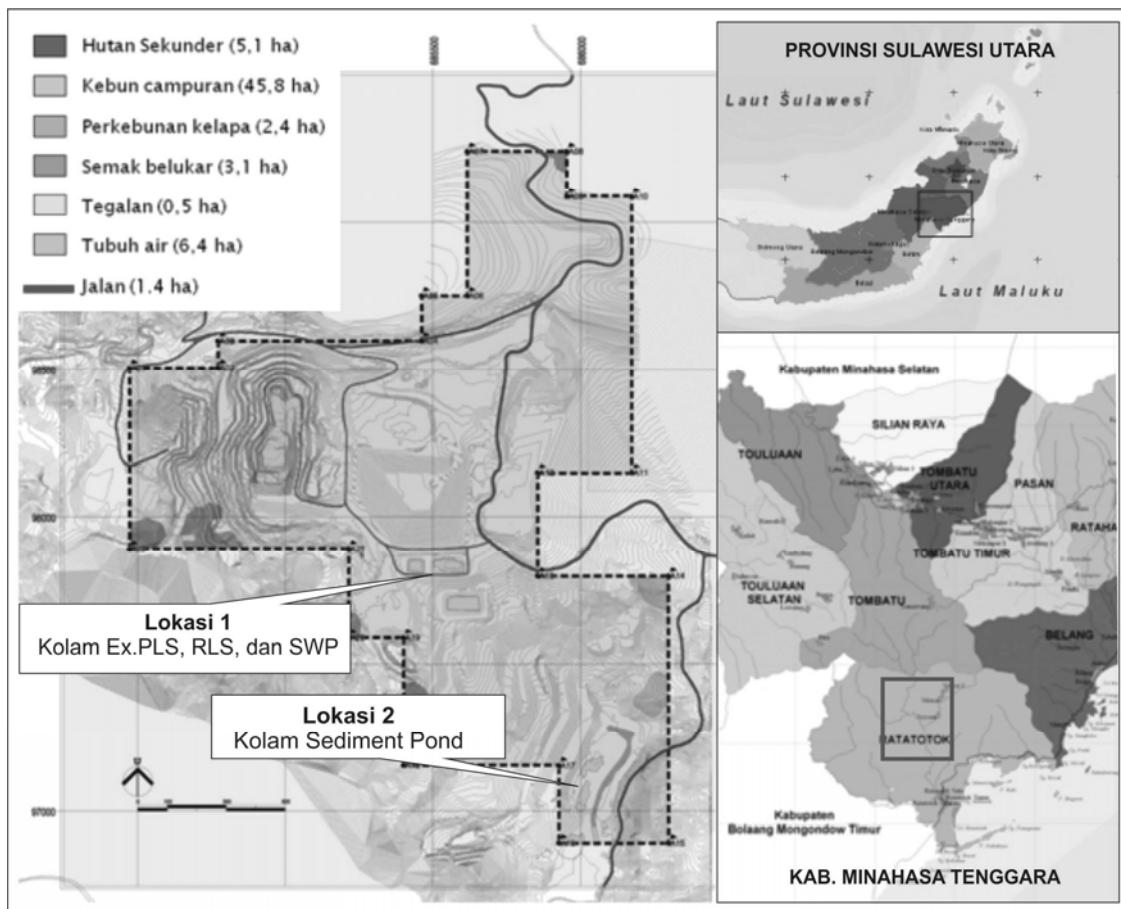
Cara kerja

Berdasarkan kondisi bentang alam dan segmen peruntukan lahan pada saat operasional tambang, kawasan eks tambang PT. NMR terdiri atas 15 blok pengelolaan (Sembel *et al.* 2013). Area yang terkena dampak paling besar akibat kontaminasi unsur logam berat berada di area pembuangan limbah, yaitu kolam *Ex Pregnant Liquid Solution* (PLS), *Recycled Liquid Solution* (RLS), dan *Storm Water Pond* (SWP) dan kolam *Sediment Pond* (Witono *et al.* 2014). Pada saat dilakukan pengamatan pendahuluan, beberapa area genangan air tersebut menjadi titik-titik outlet utama untuk jalur drainase maupun aliran air permukaan yang terjadi secara alami. Oleh karena itu, polutan akan mengendap dan terakumulasi pada lokasi-lokasi tersebut. Pengamatan dilakukan pada kedua lokasi tersebut dengan melihat kondisi fisik dan vegetasinya. Plot 2 m x 2 m ditempatkan di sepanjang tepi kolam dengan jarak antarplot 10m.

Semua jenis tumbuhan memiliki kemampuan remediasi, namun hanya jenis-jenis tertentu yang mampu menyerap unsur logam berat dalam jumlah yang banyak secara kontinyu. Pemilihan jenis fitoremediasi diarahkan untuk jenis tumbuhan pionir yang memiliki sifat hiperakumulator, yaitu adaptasi cepat, mampu menyerap unsur logam berat yang tinggi dalam waktu yang cepat (Juhaeti *et al.* 2005; Arets *et al.* 2006). Kemampuan serapan polutan yang tinggi dan cepat dapat diindikasikan dengan kerapatan dan frekuensi jenis yang tinggi.

Analisis data

Analisis kandungan unsur logam berat berupa arsenik (As) dan merkuri (Hg) dilakukan di Laboratorium Kimia Tanah Balai Penelitian Tanah Kementerian Pertanian. Laboratorium ini telah terakreditasi sebagai laboratorium pengujian berdasarkan SNI 19-17025-2000 yang dikeluarkan oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) Badan Standarisasi Nasional. Unsur As dan Hg menjadi bahan kimia bersifat toksik yang digunakan dalam operasional tambang PT. NMR (Kojansow 2014, komunikasi pribadi). Analisis fisik tanah dilakukan pada beberapa aspek, meliputi kedalaman, warna, dan tekstur. Sedangkan kajian kimia tanah dilakukan dengan penilaian tingkat kesuburan melalui interpretasi sifat dan karakteristik tanah meliputi nilai pH, C-organik, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan Kejenuhan Basa (KB). Sedangkan tingkat kualitas tanah dilakukan dengan analisis kandungan logam berat seperti arsenik (As) dan merkuri (Hg).



Gambar 1. Lokasi penelitian (Lokasi 1 Kolam Ex. PLS, RLS, dan SWP dan Lokasi 2 Kolam Sediment Pond) di Kawasan Eks Tambang PT. NMR di Kecamatan Ratatotok, Kabupaten Minahasa Tenggara.

Tabel 1. Hasil analisis sifat fisik dan kimia tanah pada kawasan lokasi penelitian

Blok	Kedalaman (cm)	Warna	P	D (%)	L	pH	C-org (%)	KTK (meq/100g)	KB (%)	As (ppm)	Hg (ppb)
Lokasi 1	0 - 39	10 YR 3/8	52	17	31	7,7	2,19	20,99	>100	1	td
	39 - 60	10 YR 4/3	51	22	27	7,7	1,01	16,85	>100	0,68	td
Lokasi 2	0 - 30	10 YR 5/4	50	22	28	7,8	0,5	29,68	>100	0,19	td
	30 - 60	10 YR 5/4	59	19	22	7,9	0,41	33,16	>100	0,03	0,03

Keterangan: Lokasi 1: kolam PLS, RLS, dan SWP; Lokasi 2: kolam sediment pond; P: pasir; D: debu; L: liat; C-org: kandungan bahan organik; KTK: Kapasitas Tukar Kation; KB: kejenuhan basa; As: unsur arsenik; Hg: unsur merkuri; dan td: tidak terdeteksi

#

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi lahan

Berdasarkan hasil analisis sifat fisiknya, tanah di kedua lokasi penelitian dapat dikelompokkan menjadi tanah lempung liat berpasir ($L > 30\%$) dan warna cokelat/merah terang (Tabel 1). Sementara analisis kesuburan tanah menunjukkan bahwa kesuburan alami yang tinggi karena memiliki nilai KTK > 16 meq/100g. Pada umumnya, nilai kemasaman (pH) tanah berada pada nilai sekitar netral. Hasil analisis kandungan logam berat menunjukkan bahwa kandungan arsenik (As) dan merkuri (Hg) umumnya berada di bawah batas angka baku mutu (0,5 ppm dan 5 ppb). Blok Lokasi 1 pada kedalaman 39-60 cm memiliki

kadar As dalam tanah di atas ambang baku mutu yakni 1 ppm.

Kondisi tanah yang relatif subur sangat mendukung pertumbuhan vegetasi di atasnya. Tutupan vegetasi pada lapisan atas didominasi oleh jenis-jenis tumbuhan reklamasi, yaitu mahoni (*Swietenia macrophylla*), gamal (*Gliricidia maculata*), lamtoro (*Leucena leucocephala*), sengon buto (*Enterolobium cyclocarpum*), sirihan (*Piper aduncum*), tutup (*Melanolepis munglandulosa*), jati (*Tectona grandis*), kenari (*Canarium hirsutum*), nyatoh (*Palaquium obovatum*), tapen (*Mallotus floribundus*), dan kaliandra (*Calliandra tortuosa*). Sementara pada lapisan bawah terdiri atas beberapa jenis anakan pohon, jenis paku-pakuan dan rerumputan yang pada mulanya ditanam kemudian dibiarkan tumbuh secara alami.

Tabel 2. Jenis-jenis tumbuhan potensial fitoremediasi di kawasan eks tambang PT. NMR

Nama ilmiah	Nama umum	Suku	Kerapatan (ind/m ²)	Frekuensi INP (%)	As (ppm)	Hg (ppb)	
<i>Acrostichum speciosum</i> Willd.	Paku laut	Pteridaceae	1,38	0,67	25,53	0,88	40,00
<i>Nephrolepis falcata</i> (Cav.) C. Chr.	Paku sepat	Nephrolepidaceae	0,96	0,83	22,60	0,11	20,00
<i>Nephrolepis exaltata</i> (L.) Schott	Paku pedang	Nephrolepidaceae	0,92	0,83	22,09	0,25	17,00
<i>Marattia</i> sp.	-	Marattiaceae	0,46	0,67	14,31	0,32	90,00
<i>Cyclogramma auriculata</i> (J. Sm.) Ching	-	Thelypteridaceae	0,38	0,67	13,29	0,76	98,00
<i>Pteris biaurita</i> L.	-	Pteridaceae	0,54	0,33	10,98	1,07	96,00
<i>Acrostichum aureum</i> L.	Paku laut	Pteridaceae	0,50	0,33	10,47	0,14	22,00
<i>Cyperus kyllingia</i> Endl.	Teki badot	Cyperaceae	0,50	0,33	10,47	1,93	126,00
<i>Davallia denticulata</i> (Burm. f.) Mett. ex Kuhn	Paku tertutup, Sakat laipang	Davalliaceae	0,13	0,50	8,05	0,54	29,00
<i>Sphaerostephanos unitus</i> (L.) Holttum	-	Thelypteridaceae	0,13	0,50	8,05	0,40	86,00
<i>Asplenium nidus</i> L.	Paku sarang burung	Aspleniaceae	0,38	0,17	6,77	0,78	66,00
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex DC.	Patah kemudi, Temu wiyang	Compositae	0,38	0,17	6,77	0,28	5,00
<i>Spilanthes ocyimifolia</i> (Lam.) A.H.Moore	Jotang hurna	Compositae	0,33	0,17	6,26	0,30	126,00
<i>Verbesina encelioides</i> var. <i>exauriculata</i> B.L.Rob. ex B.L.Rob. & Greenm.	Daun sipat	Compositae	0,29	0,17	5,75	0,20	44,00
<i>Blechnum orientale</i> L.	Pakis gergaji	Blechnaceae	0,21	0,17	4,72	0,49	27,00
<i>Angiopteris</i> Sp	Paku gajah	Marattiaceae	0,21	0,17	4,72	0,14	29,00

Jenis fitoremediasi

Terdapat 22 jenis tumbuhan bawah yang ditemukan, namun hanya 16 jenis yang memiliki potensi tinggi sebagai hiperakumulator unsur logam berat As dan Hg. Jenis paku laut (*Acrostichum speciosum*) (INP=25,53%), paku sepat (*Nephrolepis falcata*) (INP=22,60%), dan paku pedang (*Nephrolepis exaltata*) (INP=22,09%) merupakan 3 jenis dominan di lokasi (Tabel 2). Sementara kandungan As dan Hg tertinggi terdapat pada teki badot (*Cyperus kyllingia*) (As=1,93ppm; Hg=126ppb), *Pteris biaurita* (As=1,07ppm; Hg=96ppb), dan jotang hurna (*Spilanthes ocyimifolia*) (As=0,30; Hg=126ppb). Lebih rinci lagi dapat dikatakan bahwa *Pteris biaurita* sebagai fitoremediator untuk As dan Hg, sedangkan fitoremediator khusus yaitu teki badot untuk As dan jotang hurna untuk Hg. Akan tetapi pada skala ekosistem setempat ketiga jenis tersebut tidak dapat mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan paku laut, paku sepat, dan paku pedang.

Pembahasan

Penilaian baku mutu kadar logam mengacu kepada baku mutu air limbah penambangan emas dan tembaga (KLH 2004), karena standar baku mutu kualitas tanah eks tambang belum tersedia. Nilai kadar As yang tinggi di Lokasi 1 pada kedalaman 39-60 cm diduga berasal dari pengendapan unsur tersebut proses alami. Lokasi 1 merupakan area sedimentasi dari buangan drainase blok-blok di atasnya. Meskipun kadar As di lokasi ini melebihi ambang batas baku mutu, namun potensi untuk mencemari area sekitarnya sangat kecil. Penambahan bahan organik dapat dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi kelarutan logam tersebut. Sementara permasalahan utama lahan terutama di Lokasi 2 adalah rendahnya kandungan bahan

organik/C-organik. Kandungan bahan organik salah satu parameter utama kesuburan tanah, karena bahan organik merupakan sumber makanan bagi biota dalam tanah (Sugiyarto et al. 2007; Witono et al. 2014).

Jenis-jenis tumbuhan untuk reklamasi dipilih terutama dari jenis pionir yang mampu tumbuh dalam kondisi kritis. Pada tahap berikutnya, vegetasi lain akan tumbuh secara alami termasuk jenis-jenis herba yang berpotensi sebagai fitoremediasi. Kriteria jenis tumbuhan fitoremediasi antara lain: memiliki tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang lebih tinggi dibanding tumbuhan lainnya, beradaptasi terhadap unsur polutan yang tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, dan memiliki laju translokasi logam berat dari akar ke tajuk yang tinggi sehingga akumulasi polutan lebih besar di bagian atas (Brown et al. 1995).

Marga *Nephrolepis* dengan kemampuan hiperakumulatornya telah banyak digunakan sebagai fitoremediator, misalnya *N. Cordifolia* yang mampu meremediasi logam berat Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, dan Zn (Kachenko et al. 2007). *N. Exaltata* mampu mengakumulasi As dan Hg dalam akar (Tu et al. 2004; Chen et al. 2009). Sementara marga *Pteris* juga menjadi hiperakumulator khususnya untuk As, misalnya *P. fauriei* memiliki kandungan As pada daun dengan konsentrasi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 1362 mg/kg di lokasi bekas pertambangan As Dama Mountain, Provinsi Guangxi, Cina (Wang et al. 2007). Teki badot (*Cyperus kyllingia*) memiliki karakter yang ideal sebagai hiperakumulator As dan Hg baik untuk individu maupun dalam komunitas. Rumput ini juga mampu mengakumulasi logam Mn, Ni, Pb, Zn, Fe, Al dan Cd (Latief et al. 2012). *Cyperus kyllingia* bersama dengan *Lindernia crustacea*, dan *Paspalum conjugatum* merupakan tiga jenis rumput

yang sering digunakan untuk pengujian kontaminasi Hg (Muddarisna et al. 2013).

Setiap jenis tumbuhan memiliki respons berbeda terhadap jenis polutan logam berat. Oleh karena itu diperlukan strategi yang tepat untuk memilih jenis fitoremediasi agar mampu memberikan manfaat yang signifikan. Pemilihan jenis fitoremediasi untuk As dan Hg pada wilayah yang dikelola dianjurkan untuk menggunakan *Pteris biaurita*, teki badot, dan jotang hurna, sedangkan untuk wilayah yang dibiarkan secara alami dianjurkan untuk menggunakan paku laut, paku sepat, dan paku pedang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada beberapa pihak, antara lain: Kepala Pusat Konservasi Tumbuhan Kebun Raya-LIPI yang telah memberikan dukungan; Pengurus Yayasan Pembangunan Berkelanjutan Sulawesi Utara (YPBSU) atas bantuannya; serta direksi dan staf PT. NMR atas ijin dan segala kemudahan fasilitasnya; dan Tim Survei atas kerja samanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arets EJMM, van der Meer PJ, van der Brink NW, Tjon K, Atmopawiro VP. 2006. Assessment of the impact of gold mining on soil and vegetation in Brownsberg Nature Park, Suriname. Alterra-Rapport. Alterra, Wageningen.
- Barrow CJ. 1991. Land Degradation. Cambridge University Press, Great Britain.
- Chen J, Shiyab S, Han FX, Monts DL, Waggoner CA, Yang Z, Su Y. 2009. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Pteris vittata* and *Nephrolepis exaltata*. *Ecotoxicology* 18: 110-121.
- Juhaeti T, Syarif F, Hidayati N. 2005. Inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air terdegradasi penambangan emas. *Biodiversitas* 6 (1): 31-33.
- Kachenko AG, Singh B, Bhatia NP. 2007. Heavy metal tolerance in common fern species. *Australia J Bot* 300: 207-219.
- KLH. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: 202 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan Atau Kegiatan Pertambangan Bijih Emas dan Atau Tembaga.
- Kompas. 2004. Newmont Akui Membuang Puluhan Ton Merkuri. Kompas on line 24 Desember 2004.
- Latief AAA, Karim ATA, Ahmad AS, Ridzuan MB, Hung YT. 2012. Phytoremediation of Metals in Industrial Sludge by *Cyperus kyllingia*-*Rasiga*, *Asystasia intrusa* and *Scindapsus pictus* var *argyaeus* Plant Species. *Intl J Integr Engineer* 4 (2): 1-8.
- Messwati ED. 2012. 70 Persen Kerusakan Lingkungan akibat Operasi Tambang. www.regional.kompas.com [28 September 2012]
- Muddarisna N, Krisnayanti BD, Utami SR, Handayanto, E. 2013. Phytoremediation of Mercury-Contaminated Soil Using Three Wild Plant Species and Its Effect on Maize Growth. *Appl Ecol Environ Sci* 1 (3): 27-32.
- Pearce F. 2000. Tails of Woe. Minerals Policy Institute. www.nlc.net.au/-mpi/std/std_newsscientist.html [1 Juni 2007]
- Pivetz BE. 2001. Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA (United States Environmental Protection Agency), Office of Research and Development, Washington DC.
- Purwantari ND. 2007. Reklamasi area *tailling* di pertambangan dengan tanaman pakan ternak; mungkinkah? *Wartazoa* 17 (3): 101-108.
- Sarma H. 2011. Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology. *J Environ Sci Technol* 4 (2): 118-138.
- Sembel A, Rogi OH, Pollo HN. 2013. Laporan Penelitian Analisis Pra Disain Calon Kebun Raya Ratatotok Kabupaten Minahasa Tenggara. PT. NMR – UNSRAT, Manado.
- Sugiyarto, Efendi M, Mahajoeno E, Sugito Y, Handayanto E, Agustina L. 2007. Preferensi berbagai jenis makrofauna tanah terhadap sisa bahan organik tanaman pada intensitas cahaya berbeda. *Biodiversitas* 7 (4): 96-100.
- Tu S, Ma L, Luongo T. 2004. Root exudates and arsenic accumulation in arsenic hyperaccumulating *Pteris vittata* and non-hyperaccumulating *Nephrolepis exaltata*. *Plant and Soil* 258: 9-19.
- Vidali M. 2001. Bioremediation. An overview. *Pure Appl Chem* 73: 1163 – 1172.
- Wang HB, Wong MH, Lan CY, Baker AJM, Qin YR, Shu WS, Chen GZ, Ye ZH. 2007. Uptake and accumulation of arsenic by 11 *Pteris* taxa from southern China. *Environ Poll* 145: 225-233.
- Witono JR, Fijridiyanto IA, Purnomo DW, Setyanti D, Walujo EB, Lubis RF, Sandrawati A, Nugraha A, Safarinanugraha D, Magandhi M, Guswandi D, Suyanto, Harto. 2014. Laporan Akhir Masterplan Kebun Raya di Ratatotok Minahasa Tenggara. YPBSU – PKT KR-LIPI, Bogor.