

Analisis Kandungan Logam pada Tumbuhan Dominan di Lahan dan Kolong Pasca Penambangan Timah Bangka Selatan

(Metals Content Analysis in Dominant Plants in ex-Tin Mined Land and Pond South Bangka)

Eka Sari¹, Dyah Sandra Fiona¹, Nuril Hidayati², Eddy Nurtjahya¹

¹Jurusan Biologi, Fakultas Pertanian, Perikanan dan Biologi, Universitas Bangka Belitung

²Pusat Penelitian LIPI, Cibinong, Bogor, Jawa Barat

Abstract

Besides to impact on changing of landscape and biodiversity, tin mined left heavy metal contaminants, and phytoremediation (the use of plants to accumulate heavy metals) is a chosen method. This study measures Pb (Lead), Cu (Copper), Zn (Zinc) in soil and dominant terrestrial plants in tin mined land and Fe (Iron), Al (Aluminum), As (Arsen) in root and shoot of dominant plants in ex-tin mined pond. Dominant species was determined by vegetation analysis of quadrat method. Metals analysis was conducted using atomic absorption spectrophotometry. Pb in secondary forest (8 ppm), in revegetated tin mined soil (10,80 ppm) and in 0 year abandoned tin mined soil (20,70 ppm) exceed quality standards. There is no potential of becoming accumulator plant for Pb, Cu, Zn in tin mined land, but *Schima wallichii* was found potential to be Cu accumulator in secondary forest because it has translocation factor (TF) > 1. The highest Fe > 2% in shoot and > 3% in roots. Al > 2% in shoot and > 3% in root. As was not detected.

Keywords: Tin mined soil, Bangka, Metal, Accumulator plants

1. Pendahuluan

Bangka Belitung adalah penghasil timah terbesar di Indonesia, dan terbesar kedua di dunia setelah China. Total produksi biji timah di Pulau Bangka pada tahun 2005 mencapai 42.615,22 ton Sn (Indonesia Tanah Airku, 2007), dan 28.165 ton Sn pada triwulan III tahun 2011 (Bangka Pos, 2011). PT. Timah (Persero) Tbk. (2009; 2011) melaporkan bahwa rata-rata produksi bijih dan logam timah dari tahun 2006-2011 berturut-turut sebesar 44.968 ton dan 45.945 mton Sn.

Sektor pertambangan memberikan dampak positif terhadap perekonomian di Provinsi Bangka Belitung, namun kegiatan oertambangan menurunkan kualitas produktivitas tanah dan mutu lingkungan termasuk potensi bahaya seperti air asam tambang, konsentrasi logam-logam berat yang tinggi (Hermawan, et.al. 2010)

Beberapa logam berat terukur di lahan pasca penambangan timah di Semenanjung Malaysia, yakni Pb, Cu, Zn, Ge, Mn, As, Ni, Co, dan S, Ashraf *et al.* 2003). Kadar Zn dan Cu di lokasi eks *open pit* Pemali (usia .40 tahun) dan Zn dilokasi lahan percobaannya melebihi baku mutu dan kadar Pb dan Zn di atas nilai ambang batas maksimum untuk budidaya ikan (Veriady, 2007).

Danau tambang didominasi oleh Fe, Al dan As. Kandungan Fe mencapai 0.05-1.83 mg/L di air kolong, dan 67.973 mg/kg di sedimen. Logam Al mencapai 108.500 mg/kg di sedimen, dan mencapai 1.86 mg/L di air kolong. Logam As di air kolong dapat mencapai 0.24 mg/L di air kolong dan mencapai 34.18 mg/kg di sedimen (Henny, 2011).

Logam-logam tersebut berdampak negatif pada manusia jika masuk melalui rantai makanan. Logam yang melebihi nilai ambang batas akan mengikat secara kuat sejumlah molekul asam amino, haemoglobin, enzim, sel-sel darah merah, ginjal, janin dan beberapa organ penting lainnya, dan menyebabkan kanker, masalah kulit (Jaishankar *et al.* 2014), serta gangguan detak jantung, kerusakan otak, dan penyakit Alzheimer (Tamas *et al.* 2014). Kandungan logam/logam berat menurunkan keanekaragaman hayati. Pengukuran kandungan logam/logam berat pada tumbuhan terestrial dominan dan tumbuhan akuatik di kolong timah diharapkan menjadi masukan bagi fitoremediasi dan bahan pertimbangan bagi kegiatan reklamasi dan revegetasi lahan pasca penambangan timah di Pulau Bangka.

Kandungan logam tertinggi di tailing timah adalah Pb, Cu dan Zn, sementara di kolong pasca penambangan timah adalah Fe, Al dan As. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengukur kandungan logam Pb, Cu dan Zn pada tumbuhan terestrial dominan di lahan pasca penambangan timah, dan logam Fe, Al dan As

* Korespodensi Penulis: ((Eka Sari) Jurusan Biologi Universitas Bangka Belitung
E-mail: ekasari090@gmail.com
HP: 082281133985

pada bagian akar dan tajuk tumbuhan akuatik di kolong pasca penambangan timah.

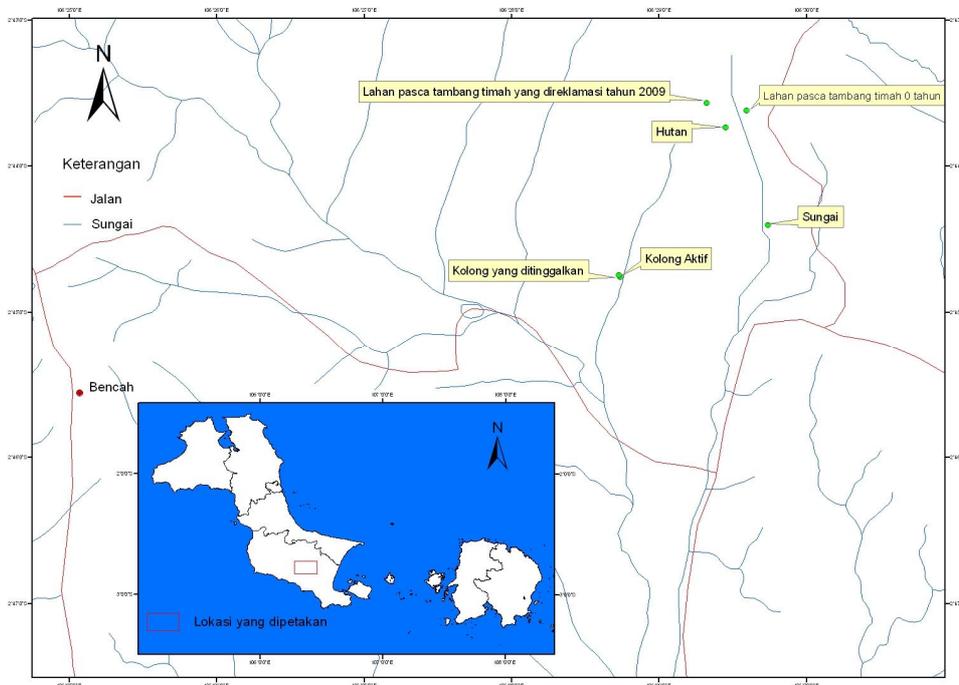
Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah hutan (02°43.731 LS; 106°29.451 BT), lahan pasca tambang timah yang direklamasi tahun 2009 (02°43.564 LS; 106°29.325 BT), lahan pasca tambang timah

belum direklamasi-berumur 0 tahun (02°43.616 LS; 106°29.596 BT), sungai (02°44'24.00" LS dan 106°29'44.30" BT), kolong aktif (02°44'45.20" LS; 106°28'44.20"BT) dan kolong yang ditinggalkan (02°44'45.70" LS; 106°28'43.60" BT) di Desa Bencah, Kecamatan Air Gegas, Kabupaten Bangka Selatan (Gambar 1; Gambar 2).



Gambar 1. Lokasi penelitian: a) hutan; b) lahan pasca tambang timah yang direklamasi; c) lahan pasca tambang timah belum direklamasi- berumur 0 tahun; d) sungai; e) kolong yang ditinggalkan; f) kolong aktif



Gambar 2. Peta lokasi penelitian di Bangka Selatan

Tinjauan Pustaka

Dampak Penambangan Timah

Bank Indonesia Palembang (2006) menyatakan bahwa keuntungan industri Tambang Inkonvensional (TI), yaitu membantu perekonomian Bangka Belitung, menambah devisa negara dan mensejahterakan masyarakat di sekitarnya, juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan alam (Zulkarnain 2005). Menurut PT. Timah (Persero) Tbk. (1991), dampak dari penambangan timah di Pulau Bangka adalah terjadinya perubahan sifat fisik dan kimia tanah, perubahan struktur tanah akibat penggalian *top soil* untuk mencapai lapisan timah yang lebih dalam, perubahan topografi dan komposisi permukaan tanah akibat digunakannya tanah *overburden* dan sebagai sarana penimbun. Tjhiaw dan Djohan (2009) menambahkan bahwa kerusakan lahan pasca penambangan timah telah meninggalkan lubang bekas galian timah berisi air berbentuk kolam dan danau, disebut *kolong*, dan juga lahan tanpa vegetasi. *Kolong* tersebut dikelilingi oleh timbunan tailing yang miskin hara.

Batuan sisa tambang memiliki karakteristik yang sangat berbeda, terutama kandungan kimianya. Batuan tersebut jika terjadi kontak dengan udara/air, maka akan berpotensi membentuk air asam tambang. Air asam tambang akan melarutkan logam-logam pada batuan, dan saat mengalir sebagai larutan, logam berat terendapkan sehingga menyebabkan pengayaan logam-logam berat di daerah tertentu (Veriady 2007).

Kandungan logam berat pada kolong muda di Pulau Bangka bisa mencapai 5-8 mg L⁻¹ dengan pH berkisar antara 2,9-4,5 (Henny & Susanti 2009). Kandungan logam seperti Fe, Zn, Cr, Pb dan As di beberapa kolong sudah melebihi standar baku mutu khususnya untuk air minum dan perikanan (Henny 2011). Standar baku mutu air minum dari EPA (Weiner 2000, diacu dalam Henny 2011) dan PP No. 82 tahun 2001 (Henny 2011), untuk kandungan Fe sebesar 0,3 mg L⁻¹, As sebesar 0,05 mg L⁻¹ dan Al sebesar 0,2 mg L⁻¹. Menurut Peraturan Pemerintah No.85 Tahun 1999 mengenai baku mutu *toxicity characteristic leaching procedure* (TCLP, zat pencemar dalam limbah untuk penentuan karakteristik sifat racun, sebagai berikut: Pb 5 mgL⁻¹; Cu 10 mgL⁻¹; Zn 50 mgL⁻¹. Mengel dan Kirkby (1987) menyatakan bahwa nilai ambang gawat unsur logam berat dalam tanaman, sebagai berikut: Pb (10-20 µgg⁻¹); Cu (15-20 µgg⁻¹); dan Zn (150-200 µgg⁻¹). Tingginya logam berat baik di tanah maupun di kolong bekas penambangan timah menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang perlu diatasi dengan salah satu cara, yaitu fitoremediasi.

Fitoremediasi

Fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Akhir-akhir ini teknik reklamasi dengan fitoremediasi mengalami perkembangan pesat karena terbukti lebih murah dibandingkan metode lainnya, misalnya penambahan lapisan permukaan tanah (Juhaeti *et al.* 2005).

Beberapa macam strategi fitoremediasi (Chaney *et al.* 1995, diacu dalam Hidayati 2005), di antaranya: *rhizofiltration* (kemampuan akar menyerap kontaminan dari air tanah); *phytotransformation* (kemampuan tumbuhan dalam memetabolisme kontaminan di dalam jaringan); *phytostimulation* (kemampuan tumbuhan dalam menstimulasi aktivitas biodegradasi oleh mikroba yang berasosiasi dengan akar); *phytostabilization* (imobilisasi kontaminan di dalam tanah oleh eksudat dari akar); serta *phytomining* (kemampuan tumbuhan dalam menyerap logam dari dalam tanah dalam jumlah besar dan secara ekonomis digunakan untuk meremediasi tanah yang bermasalah).

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan terdiri atas: tumbuhan dominan dan tanah (*tailing*) di hutan sekunder, lahan pasca tambang timah yang direklamasi dan lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun, tumbuhan air asal kolong pasca penambangan timah, tumbuhan air asal sungai, air kolong, air sungai, sedimen kolong, sedimen sungai, alkohol 70%, bahan pembuatan herbarium (seperti: label gantung, kertas herbarium dan lain-lain), bahan preparasi sampel analisis logam berat (misalnya: HCl, HNO₃, larutan standard Pb, Cu, Zn, Al₃(OH)₃, larutan baku As dan akuades).

Alat yang digunakan antara lain: *global positioning system* (GPS), kamera, alat untuk analisis vegetasi (roll meter, meteran, kompas, tali rafia), termohigrometer, termometer, *lux meters*, timbangan analitik, *ring sample*, bor tanah berdiameter 8 cm oven, *furnace* dan SSA, indikator pH, DO meter kit, termometer, termohigrometer, *sediment trap*, *water sampler*, *ice box*, *secchi disk*, pipa paralon, kertas saring, dan botol kaca.

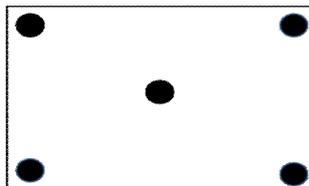
Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada dua ekosistem berbeda, yaitu ekosistem terestrial (*tailing* timah) dan ekosistem akuatik (*kolong* timah). Pemilihan tiga logam berbeda di masing-masing ekosistem berdasarkan kajian pustaka (Ashraf *et al.*, 2011; Henny, 2011). Lokasi penelitian berupa

ekosistem terestrial hutan sekunder, lahan pasca tambang timah yang direklamasi tahun 2009 dan lahan pasca tambang timah belum direklamasi berumur 0 tahun dan ekosistem akuatik sungai (kontrol), kolong timah aktif dan kolong timah yang telah ditinggalkan. Pemilihan lokasi berdasarkan topografi, vegetasi, kemiringan (Ashraf *et al.*, 2011) dengan memperhatikan gradien lingkungan. Metode yang digunakan berupa metode wawancara dan survei lapangan langsung.

Tumbuhan dominan ditentukan dengan metode kuadrat (Restiana & Dahlianah 2014) dengan penentuan luas petak minimum berdasarkan kurva spesies area (KSA). Luas petak minimum hutan, lahan pasca tambang timah yang direklamasi dan lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun, masing-masing: 0.1024 ha; 0.0064 ha dan 0.0008 ha. KSA di sungai adalah 0.0016 ha, di kolong aktif adalah 0.0001 ha dan di kolong yang ditinggalkan adalah 0.0004 ha. Identifikasi tumbuhan dilakukan dengan mencocokkan contoh dengan koleksi Herbarium Bangka Belitungense, Herbarium Bogoriense LIPI, dan merujuk Heyne (1987) dan Fakhrurrozi (2001).

Contoh tanah sebanyak 1 kg dari masing-masing lokasi penelitian diambil komposit secara diagonal dengan 5 sub sampel (Jones *et al.* 2014; Rakkar *et al.* 2015) dengan bor tanah pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm (Nurtjahya *et al.* 2008) [Gambar 3] dan sifat fisika dan kimia dianalisis di Balai Penelitian Tanah, Bogor.



Gambar 3. Ilustrasi pengambilan sampel tanah (Veriady 2007)

Titik pengambilan contoh air badan sungai dan kolong bekas tambang timah, sama dengan lokasi pengambilan contoh vegetasi. Contoh air sebanyak 2 L diambil secara komposit di permukaan dan dasar perairan, dari hulu ke hilir dengan *water sampler*, dan sifat fisika dan kimia air dianalisis di Laboratorium MIPA Universitas Bangka Belitung (UBB) dan Laboratorium Badan Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Sampel sedimen sebanyak 1 kg komposit diambil pada bagian perakaran tumbuhan pada masing-masing petak contoh dengan *sediment trap* pada kedalaman 0-10 cm untuk kolong dan 0-20 cm untuk sungai dengan ulangan 3 kali. Sifat fisika dan kimia dianalisis di Balai Penelitian Tanah, Bogor.

Pengukuran Logam Berat

Kandungan Pb, Cu, Zn pada tanah dan tumbuhan terestrial dominan diukur dengan metode spektrofotometri serapan atom (Thillaiarasu *et al.* 2014) menurut SNI-13-6974-2003 mengenai penentuan kadar Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, dan Cd dengan SSA (SNI, 2003). Selain itu, pengukuran konsentrasi logam dilakukan berdasarkan metode standar SNI 06-6989.8-2009 untuk logam Pb (SNI, 2009a), SNI 06-6989.6-2009 untuk logam Cu (SNI, 2009b) dan SNI 06-6989.7-2004 untuk logam Zn (SNI, 2004), SNI-06-6989.-4-2009 untuk logam Fe (SNI, 2009c), SNI 06-6989.34-2009 untuk logam Al (SNI, 2009d) dan SNI 06-6989.54-2005 untuk logam As (SNI, 2005). Kandungan Fe, Al dan As pada tumbuhan dan sedimen diukur di Balai Penelitian Tanah Bogor, Fe pada air diukur di Laboratorium Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, dan Pb, Cu, Zn, Al dan As di ukur di Laboratorium Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA), Universitas Bangka Belitung (UBB).

Pengukuran Logam Berat

Data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan parameter-parameter kontrol dengan kedua lokasi masing-masing pada ekosistem terestrial dan akuatik. Potensi tumbuhan sebagai hiperakumulator dihitung dengan membandingkan konsentrasi logam dari akar ke tajuk atau *translocation factor* (TF) dan *bioconcentration factor* (BCF). Menurut Cherian dan Oliveira (2005) fitoekstraksi merupakan teknik fitoremediasi yang penting dan paling berguna untuk memindahkan logam berat dan metaloid dari tanah, sedimen dan air tercemar. Nilai TF dan BCF bisa digunakan untuk mengevaluasi potensi jenis tumbuhan sebagai fitoekstraksi dan fitostabilisasi (Tsibangu *et al.*, 2014). Fitoekstraksi atau fitoabsorpsi, fitoakumulasi, fitosekuentrasi adalah penyerapan kontaminan dari tanah atau air dengan akar tumbuhan dan mentranslokasinya serta mengakumulasi di dalam tajuk (Al-qahatani, 2012). Fitostabilisasi adalah proses akar dalam membatasi mobilitas dan bioavailabilitas kontaminan di dalam tanah melalui penyerapan, pengendapan, dan reduksi valensi logam (Ashraf *et al.*, 2011). Jika rasio TF > 1, tumbuhan berpotensi sebagai akumulator dan/atau hiperakumulator. Jika memiliki nilai BCF > 1 dan TF > 1, tumbuhan berpotensi dalam fitoekstraksi, namun jika nilai BCF > 1 dan TF < 1, tumbuhan berpotensi dalam fitostabilisasi (Lorestani *et al.*, 2011).

3. Hasil dan Pembahasan

Mikroklimat dan Sifat Fisik Kimia

Kondisi mikroklimat di lahan pasca penambangan timah, baik di lahan reklamasi maupun 0 tahun kurang baik dibandingkan kondisi mikroklimat di hutan (Tabel 1). Hal serupa terjadi pada sifat fisik kimia tanah, yaitu tanah di

hutan lebih baik dibandingkan dengan tanah di kedua lahan pasca penambangan timah (Tabel 2). Sifat fisik kimia sedimen (Tabel 3) dan air (Tabel 4) di sungai lebih baik dibandingkan dengan kondisi lingkungan di kedua kolong penambangan timah.

Tabel 1. Rerata suhu tanah, suhu udara, kelembaban udara dan intensitas cahaya hutan, di lokasi penelitian

Lokasi penelitian	Rerata			
	TT(°C)	TU(°C)	KU(%)	IC(Klx)
Hutan sekunder	27,93	32,79	70,17	4,21
LPTTR	30,50	33,73	69,07	30,76
LPTT 0	30,65	34,33	67,33	38,07

Keterangan = TT (suhu tanah); TU (suhu udara); KU (kelembaban udara); IC (intensitas cahaya); Klx (kilolux); LPTTR (lahan pasca penambangan timah yang direklamasi); LPTT 0 (lahan pasca penambangan timah belum direklamasi-berumur 0 tahun).

Tabel 2. Rerata sifat fisika dan kimia tanah di lokasi penelitian

Parameter	Rerata			Parameter	Rerata		
	Hutan sekunder	LPTTR	LPTT 0		Hutan sekunder	LPTTR	LPTT 0
Pasir (%)	65,00	91,50	89,50	Ca (cmol _e /kg)	0,73	0,64	0,62
Debu (%)	19,00	1,00	4,00	Mg (cmol _e /kg)	0,49	0,22	0,20
Liat (%)	16,00	7,50	6,50	K (cmol _e /kg)	0,10	0,01	0,03
pH (H ₂ O)	4,65	5,15	4,90	Na (cmol _e /kg)	0,43	0,08	0,07
pH (KCl)	4,15	4,40	4,50	KTK (cmol _e /kg)	4,34	1,37	1,59
C (%)	2,60	0,85	0,94	Kejenuhan Basa (%)	40,50	74,00	60,50
N (%)	0,20	0,07	0,08	Al ³⁺	1,51	0,05	0,16
C/N	14,00	12,0	12,0	H ⁺	0,28	0,14	0,17
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg100/g)	7,00	1,50	2,00	Pb	8,00	10,80	20,70
K ₂ O HCl 25% (mg100/g)	5,00	1,00	2,00	Cu	5,30	3,10	2,70
P ₂ O ₅ Bray (ppm)	8,45	3,90	6,95	Zn	11,40	2,60	2,30
K ₂ O Morgan (ppm)	48,5	7,00	16,50				

Keterangan: KTK (kapasitas tukar kation); LPTTR (lahan pasca penambangan timah yang direklamasi); LPTT 0 (lahan pasca penambangan timah belum direklamasi-berumur 0 tahun)

Tabel 3. Rerata sifat fisika dan kimia sedimen di lokasi penelitian

Parameter	Rerata			Parameter	Rerata		
	S	KA	KT		S	KA	KT
Pasir (%)	39	84	86	P ₂ O ₅ Bray (ppm P)	15,10	4,30	7,20
Debu (%)	49	2	49	K ₂ O Morgan (ppm)	46	27	12
Liat (%)	19	14	19	Ca (cmol _e /kg)	0,11	0,27	0,08
pH (H ₂ O)	4,50	4,70	4,50	Mg (cmol _e /kg)	0,21	0,19	0,08
pH (KCl)	4,30	4,40	4,40	K (cmol _e /kg)	0,09	0,05	0,02
C (%)	5,88	0,20	0,43	Na (cmol _e /kg)	0,31	0,04	0,01
N (%)	0,16	0,02	0,03	KTK (cmol _e /kg)	2,40	1,79	0,81
C/N	37	10	14	Kejenuhan (%)	30	31	23
P ₂ O ₅ HCl 25% (mg100/g)	78	35	34	Al ³⁺	1,34	0,49	0,24
K ₂ O HCl 25% (mg100/g)	5	3	2	H ⁺	0,20	0,17	0,16

Keterangan: S (sungai); KA (kolong aktif); KT (kolong yang ditinggalkan).

Penambangan timah berdampak negatif terhadap sifat fisik kimia tanah. Tanah pada kedua lahan pasca tambang timah memiliki persentase pasir lebih tinggi, memiliki kandungan bahan organik tanah dan kapasitas tukar kation yang rendah dibandingkan tanah hutan. Hasil penelitian serupa (Nurtjahya *et al.*, 2009a), menunjukkan komponen pasir di empat lahan pasca tambang pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm berkisar pasir 80-97%. Tanah berpasir

mempunyai daya hantar air baik, kapasitas pemegang air rendah, aerasi baik, umumnya kadar hara rendah, kapasitas penyerapan rendah, perakaran rendah dan mudah diolah, sementara tanah liat mempunyai drainase kurang baik, kapasitas pemegang air tinggi, aerasi buruk, kadar hara tinggi, kapasitas penyerapan air tinggi, ruang perakaran jelek dan sulit diolah (Saidi, 2006).

Tabel 4. Kondisi fisik dan kimia air di lokasi penelitian

Parameter (<i>Parameter</i>)	Lokasi penelitian (<i>study site</i>)					
	S		KA		KT	
	P	D	P	D	P	D
Fisik						
1. Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	29,54	27,75	31,79	31,21	31,21	31,20
2. <i>Total Suspended Solid</i> (TSS) (% g L^{-1})	5	4	3	3	2	3
3. Kedalaman (m)	0,30-3,75		0,30-5		0,30-3,75	
4. Kececerahan (cm)	37		15		37	
Kimia						
1. <i>pH</i>	5	5	5	5	5	5
2. <i>Dissolved oxygen</i> (DO) (ppm)	10,60	8,15	7,95	8,44	10,40	9,25
3. Karbon organik) (ppm)	4,77	4,68	5,24	5,43	5,40	5,75
4. Total nitrogen (mg L^{-1})	0,86	0,48	1,03	0,51	0,67	8,04

Keterangan: S (sungai); KA (kolong aktif); KT (kolong yang ditinggalkan); P (permukaan air); D (dasar air).

Nilai pH di hutan dan kedua lahan pasca tambang timah bersifat asam. Nilai keasaman dapat tukar Al^{3+} dan H^{+} di hutan dan lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun lebih tinggi daripada lahan pasca tambang timah yang direklamasi, sehingga kandungan logam Cu dan Zn lebih tinggi di hutan dan kandungan Pb lebih tinggi di lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun. Lahuddin (2007) dan Widowati *et al.* (2008) menyatakan bahwa akumulasi logam dalam tanah dipengaruhi oleh pH tanah, sifat logam, dan jenis logam.

Kandungan unsur hara pada kolong usia muda sudah hilang atau rusak. pH air kolong relatif asam dan berkisar antara 2.91-4.95, konsentrasi sulfat hingga 1100 mg L^{-1} dengan kandungan oksigen terlarut 6-7 mg L^{-1} yang mendukung terjadinya oksidasi sulfida dan pembentukan asam (Djakamihardja & Santoso, 2004). Menurut Veriady (2007), pH air tidak begitu terpengaruh terhadap lama-tidaknya air pada lahan pasca tambang ditinggalkan. pH lokasi penelitian secara umum sangat rendah. Kolong usia sedang telah menunjukkan kehidupan biologis, namun memiliki jumlah populasi dan jenis vegetasi yang masih terbatas (Puspita *et al.*, 2005). Kececerahan dan DO air di kolong aktif paling rendah dibandingkan dengan sungai dan kolong yang ditinggalkan. Aktivitas

penambangan timah diduga menyebabkan air menjadi keruh dan kandungan oksigen menurun.

Keberadaan logam Al pada sedimen sungai, kolong aktif dan kolong yang ditinggalkan menyebabkan pH sedimen menjadi masam. pH sedimen yang kurang dari 5 termasuk kategori sangat rendah. Ion Al^{3+} dalam larutan tanah memecah molekul H_2O menjadi ion H^{+} dan OH^{-} dan bereaksi dengan ion OH^{-} membentuk senyawa $\text{Al}(\text{OH})_n$ dan ion H^{+} dalam larutan tanah penyebab asam (Sandika, 2008). Kejenuhan ion Al^{3+} menyebabkan variasi kemasaman pH tanah. Dibandingkan sedimen kolong aktif dan kolong yang ditinggalkan, sedimen sungai didominasi oleh tekstur lempung. Pada umumnya umumnya konsentrasi logam berat lebih tinggi pada sedimen lempung, debu dan debu berpasir dibandingkan pasir. Partikel lempung bereaksi dengan ion H^{+} dan menggantikan atom Al yang membentuk suatu kompleks lempung Al-H. Reaksi ini dapat meningkatkan konsentrasi ion H^{+} dalam tanah (Anonimous, 2009).

Aktivitas penambangan timah mengubah kondisi iklim mikro, dan menurunkan kadar bahan organik di dalam tanah serta menurunkan kadar hara makro dan hara mikro di dalam tanah, sehingga kesuburan tanah di lahan tersebut kurang baik untuk pertumbuhan tumbuhan dan habitat fauna serta mikroba tanah.

Vegetasi Dominan

Tumbuhan dominan di hutan dijumpai pada semua tingkat pertumbuhan, sementara di lahan pasca tambang timah yang direklamasi berupa semai dan sapihan (Tabel 5, Tabel 6). Kegiatan penambangan mengubah bentang alam, mengurangi keanekaragaman flora dan fauna, menurunkan jumlah jenis, jumlah individu dan jumlah famili tumbuhan, menurunkan kualitas mikroklimat dan sifat fisik kimia tanah. Aktivitas penambangan juga mengubah lapisan tanah, lapisan bawah menjadi di permukaan tanah. Batuan yang mengandung logam berat dapat kontak langsung dengan air/udara dan berpeluang menghasilkan air asam tambang dan menyebabkan pH rendah.

Hal serupa terjadi pada ekosistem akuatik. Kondisi fisik dan kimia sedimen dan air di sungai lebih baik dibandingkan dengan kedua kolong pasca tambang timah, sehingga menyebabkan jumlah individu, jumlah jenis dan jumlah famili

tumbuhan di sungai lebih tinggi daripada kedua lingkungan akuatik tersebut.

Dominansi tumbuhan dapat diamati menggunakan indeks nilai penting (Sandika 2008; Ningsih 2008). Besar INP berkisar antara 0-300% (Novera 2008). Semakin besar nilai INP suatu spesies, maka semakin besar peran spesies tersebut dalam komunitas. Sebagian besar vegetasi di Pulau Bangka didominasi oleh *Schima wallichii* dari famili *Theaceae* (PT. Timah (Persero) Tbk. 2009; Ropika 2012) dan selain itu *Calophyllum pulcherrimum* dari famili *Clusiaceae* (Galam 2011). Hidayati (2012, komunikasi pribadi) menyebut bahwa *Fimbristylis ovata* merupakan salah satu tumbuhan yang banyak tumbuh pada saat terjadi suksesi tumbuhan di musim hujan. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, yaitu tumbuhan dominan di hutan, di antaranya *Schima wallichii* dan *Calophyllum pulcherrimum*.

Tabel 5. Indeks nilai penting tiga jenis tumbuhan tertinggi pada tingkat semai/vegetasi bawah, sapihan, tiang dan pohon di lokasi penelitian

Tingkat pertumbuhan	INP tumbuhan dominan (%)		
	Hutan sekunder	LPTTR	LPTT 0
Semai/vegetasi bawah	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius (46,89)	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) P.Beauv (75,77)	<i>Fimbristylis ovata</i> J.Kern (93,29)
	<i>Vatica</i> sp. (17,63)	<i>Eupatorium inulifolium</i> Kunth (42,53)	<i>Scleria laevis</i> Retz (33,90)
	<i>Vitex pinnata</i> L. (7,29)	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb. (29,84)
Sapihan	<i>Gordonia excelsa</i> Blume (23,84)	<i>Melastoma malabathricum</i> L. (66,39)	-
	<i>Guioa pubescens</i> Radlk. (21,59)	<i>Albizia falcata</i> (L.) Backer (37,82)	-
	<i>Aporosa octandra</i> (Buch.-Ham. ex D.Don) A.R.Vickery (17,55)	<i>Eupatorium inulifolium</i> Kunth (23,19)	-
Tiang	<i>Calophyllum pulcherrimum</i> Wall (74,21)	-	-
	<i>Gordonia excelsa</i> Blume (38,96)	-	-
	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth. (36,37)	-	-
Pohon	<i>Schima wallichii</i> (DC.) Korth (97,28)	-	-
	<i>Aporosa octandra</i> (Buch.-Ham. ex D.Don) A.R.Vickery (22,82)	-	-
	<i>Calophyllum pulcherrimum</i> Wall (30,59)	-	-

Keterangan :LPTTR (lahan pasca penambangan timah yang direklamasi); LPTT 0 (lahan pasca penambangan timah belum direklamasi-berumur 0 tahun. (LPTTR)

Dari hasil penelitian ini tercatat ada 4 jenis tumbuhan di sungai, 6 jenis tumbuhan di kolong yang ditinggalkan, dan 3 jenis tumbuhan di kolong aktif. Keanekaragaman di kolong lebih rendah dari penelitian Aminah (2011) di Desa Pemali dan Riding Panjang yakni 14 jenis. Puspita *et al.* (2005) melaporkan 22 jenis tumbuhan yang terdapat di dalam dan sekitar kolong galian timah di Pulau Bangka. Jenis tumbuhan yang sama ditemukan di dua

penelitian lain (Aminah 2011; Puspita *et al.* 2005) yaitu *Cyperus* sp., *Scleria purpurascens* dan *Fuirena umbellata*. Perbedaan keanekaragaman tumbuhan diduga karena perbaikan perairan kolong (Aminah, 2011), atau karena peningkatan hara dan penurunan pencemar di kolong (Puspita *et al.*, 2005). Kehadiran vegetasi merupakan respon terhadap ketersediaan hara (Tjhiaw & Djohan, 2009).

Tabel 6. Jenis tumbuhan air di sungai, kolong aktif, kolong yang ditinggalkan

Tingkat pertumbuhan	INP tumbuhan dominan (%)		
	Sungai	Kolong aktif	Kolong yang ditinggalkan
Semai/vegetasi bawah	<i>Eriocaulon longifolia</i> Nees ex Kunth (112,49) <i>Fimbristylis ovata</i> (Burm f) J. Kern (36,89) <i>Melaleuca cajuputi</i> Roxb. (28,62) <i>Eriocaulon aquaticum</i> (Hill) Druce (21,99)	<i>Fimbristylis ovata</i> (Burm f) J. Kern (131,94) <i>Scleria purpurascens</i> Steud. (56,05) <i>Cyperus polystachyus</i> Kunth. (12)	<i>Eriocaulon longifolia</i> Nees ex Kunth (89,99) <i>Fimbristylis ovata</i> (Burm f) J. Kern (44,44) <i>Fuirena umbellata</i> Rottb (25) <i>Scleria purpurascens</i> Steud. (16,11) <i>Utricularia</i> sp. (12,78) <i>Cyperus polystachyus</i> Kunth. (11,67)

Tiga genus tumbuhan di sungai yaitu *Eriocaulon*, *Fimbristylis*, dan *Melaleuca*. *Eriocaulon* dan *Melaleuca* merupakan tumbuhan yang terdapat di tanah bencah yaitu lahan rawa atau gambut dengan air yang tergenang atau mengalir dengan tinggi tidak mencapai 6 meter saat pasang surut, sedangkan *Fimbristylis* dapat ditemukan pada berbagai habitat (Azhan, 2008; Munandar & Hartati, 2010). *Melaleuca cajuputi* ditemukan di lahan pasca tambang yang belum dan sudah direvegetasi (Novera, 2008). Jenis ini adaptif di rawa air tawar yang pada umumnya memiliki pH rendah (3-5) dan kurang subur (Munandar & Hartati, 2010).

Logam Pb, Cu dan Zn pada Tanah dan Tumbuhan Terrestrial Dominan

Kandungan logam Pb di hutan, di lahan pasca tambang timah direklamasi dan di lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun melewati baku PP No. 85 (1999) sementara kandungan logam Cu dan Zn di ketiga lokasi masuk dalam baku mutunya (Tabel 7). Sebagian besar logam berat tidak terdeteksi pada beberapa tumbuhan dominan. Hanya *Schima wallichii* dan *Calophyllum pulcherrimum* di hutan mengandung logam Cu dan Pb, serta *Imperata cylindrica* di lahan yang direklamasi (Tabel 8).

Logam Cu dan Zn di kedua lahan pasca tambang timah lebih rendah dibandingkan tanah hutan, sementara logam Pb tertinggi di lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun, diikuti dengan lahan yang direklamasi, dan hutan. Rendahnya Cu dan Zn di lahan pasca

penambangan timah baik yang direklamasi maupun yang belum direklamasi, kemungkinan disebabkan oleh pencucian timah di dalam penambangan timah, dan pencucian alami oleh hujan sehingga banyak logam terdistribusi tidak merata di lahan tersebut. Tingginya Cu dan Zn di hutan diduga karena hutan tersebut merupakan lahan pasca penambangan timah yang sudah lama ditinggalkan dan mengalami suksesi menjadi hutan sekunder. Oleh karena itu, logam Cu dan Zn sudah terakumulasi tinggi di hutan sekunder tersebut.

Berdasarkan PP No. 85 (1999) mengenai baku mutu *toxicity characteristic leaching procedure* (TCLP) zat pencemar dalam limbah untuk penentuan karakteristik sifat racun, di antara ketiga logam tersebut, hanya logam Pb yang melebihi baku mutu (5 ppm). Hal ini menunjukkan tanah di lahan pasca tambang timah tercemar oleh logam Pb.

Sebagian besar kandungan logam Pb, Cu dan Zn tidak terdeteksi pada ketiga tumbuhan dominan di hutan dan kedua lahan pasca tambang timah. Hal ini diduga karena kandungan Pb, Cu dan Zn di tanah adalah rendah dan proses penambangan ulang timah (*re-mining*). Hal ini berbeda dengan penelitian lain (Veriady, 2007) bahwa Pb, Cu dan Zn di lahan pasca tambang timah lebih tinggi. Menurut Nurtjahya *et al.* (2009b) kandungan logam berat pada padi di lahan bekas tambang timah, adalah: Pb yaitu 0,06 – 0,12 mg/kg, Cu yaitu 0,13 – 0,18 mg/kg, Sn yaitu 0,34 – 0,50 mg/kg, sementara Cd tidak terdeteksi pada semua contoh.

Tabel 7. Rerata logam Pb, Cu dan Zn pada tanah di hutan, di lahan pasca tambang timah yang direklamasi dan di lokasi penelitian

Lokasi penelitian	Rerata logam dalam (ppm)			Baku mutu * (ppm)		
	Cu	Zn	Pb	Cu	Zn	Pb
Hutan sekunder	5.3	11.4	8,0			
Lahan pasca tambang timah yang direklamasi	3.1	2.6	10.8	10	50	5
Lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun	2.7	2.3	20.7			

Keterangan: * Baku mutu TCLP zat pencemar dalam limbah untuk penentuan karakteristik sifat racun (Peraturan pemerintah No. 85 tahun 1999 Tanggal 7 Oktober 1999)

Tabel 8. Kandungan logam Pb, Cu, dan Zn pada tumbuhan dominan di lokasi penelitian

Lokasi penelitian	Tumbuhan dominan	Logam	Ulangan	Logam pada tumbuhan ((ppb)			TF
				Akar	Tajuk	Total	
Hutan sekunder	<i>Schima wallichii</i>	Pb	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
		Cu	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	10	42	52	4,08
		Zn	1	21	6	27	0,26
			2	Ttd	7	7	~
	<i>Calophyllum pulcherrimum</i>	Pb	1	Ttd	3,0	3	~
			2	75	Ttd	75	0
		Cu	1	Ttd	76	76	~
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
Zn	1	2	Ttd	2	0		
	2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd		
Lahan pasca tambang timah yang direklamasi	<i>Imperata cylindrical</i>	Pb	1	Ttd	5	5	~
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
		Cu	1	Ttd	Ttd	ttd	~
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
	Zn	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
		2	Ttd	1	1	~	
	<i>Eupatorium inulifolium</i>	Pb	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
		Cu	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
Zn		1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
		2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
Lahan pasca tambang timah belum direklamasi-berumur 0 tahun	<i>Fimbristylis ovata</i>	Pb	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
		Cu	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
	Zn	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
		2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
	<i>Scleria laevis</i>	Pb	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
		Cu	1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
			2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd
Zn		1	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	
		2	Ttd	Ttd	ttd	Ttd	

Keterangan: ttd= tidak terdeteksi; ~: tidak terhitung; TF (faktor translokasi) Keterangan: S (sungai); KA (kolong aktif); KT (kolong yang ditinggalkan); P (permukaan air); D (dasar air).

Logam Fe, Al dan As pada Sedimen, Air dan Tumbuhan Akuatik Dominan. Persentase logam Al lebih tinggi pada sedimen sungai, sedangkan As dan Fe lebih tinggi pada sedimen kolong. Konsentrasi Al pada air paling tinggi

terdapat pada lokasi kolong aktif sedangkan As tertinggi terdapat pada lokasi sungai (Tabel 9). Tingginya Fe dan Al di sungai kemungkinan sungai tersebut juga terkontaminasi oleh logam-logam akibat pencucian timah di dalam penambangan timah dan pencucian alami oleh

hujan sehingga banyak logam terdistribusi tidak merata di lokasi tersebut sehingga logam-logam dari lahan pasca penambangan timah bisa masuk ke sungai tersebut. Kandungan As tidak terdeteksi pada tumbuhan dominan di sungai, di

kolong aktif dan di kolong yang ditinggalkan. Hal ini berbeda dengan kandungan logam Fe dan Al yang ditemukan pada tumbuhan dominan di semua lokasi tersebut (Tabel 10).

Tabel 9. Rerata logam Fe, Al dan As pada sedimen dan air di sungai, kolong aktif dan kolong yang ditinggalkan

Lokasi	Rerata logam dalam sedimen (ppm)			Rerata logam dalam air (ppm)					
	Fe	Al	As	Fe		Al		As	
				P	D	P	D	P	d
Sungai	0,17	8,02	Ttd	<0,06	<0,06	0,24	0,27	0,65	0,24
Kolong aktif	0,18	2,60	7,20	<0,06	<0,06	1,34	0,23	0,37	0,12
Kolong yang ditinggalkan	0,05	1,74	2,60	<0,06	<0,06	0,61	0,46	0,46	0,43

Keterangan: ttd=tidak terdeteksi

Sebagian besar logam (Fe dan Al) banyak diakumulasi di bagian akar dibandingkan di tajuk. Hal ini diduga proses detoksifikasi oleh tumbuhan sudah terjadi pada saat berada di daerah perakaran. Persentase logam Al lebih tinggi pada sedimen sungai (8.02%), sedangkan logam As dan Fe lebih tinggi pada sedimen kolong aktif (masing-masing sebesar 7.2 ppm dan 0.18%). Konsentrasi logam Al pada air paling tinggi terdapat pada lokasi kolong aktif yaitu sebesar 1.34 ppm, sedangkan logam As paling tinggi terdapat pada lokasi sungai yaitu sebesar 0.65 ppm. Hal ini kemungkinan karena logam As cukup *mobile* pada pH netral hingga alkali.

Menurut Veriady (2007), kandungan As tidak tergantung oleh lama tidaknya tambang ditinggalkan. As bersifat tidak rusak oleh lingkungan, namun berpindah menuju air atau tanah yang dibawa oleh debu, angin, hujan atau awan. As bisa terlepas ke perairan melalui pencucian tanah, dengan beberapa senyawa yang tidak larut di perairan dan mengendap di sedimen. Logam As lebih tinggi pada sedimen dan air dibandingkan tumbuhan dominan, yang menunjukkan bahwa konsentrasi logam di sedimen belum cukup tinggi untuk diserap tumbuhan atau tumbuhan belum mampu mengakumulasi logam tersebut.

Tabel 10. Kandungan logam Fe, Al, As pada tumbuhan dominan dan nilai TF, BCF

Lokasi penelitian	Tumbuhan	Fe (%)				Al (%)				As (%)			
		Tajuk	Akar	TF	BCF	Tajuk	Akar	TF	BCF	Tajuk	Akar	TF	BCF
Sungai	<i>Fimbristylis ovata</i>	0,69	1,17	0,6	6,83	1,5	2,15	0,7	0,26	Ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Eriocaulon longifolia</i>	0,25	2,14	0,1	12,5	0,45	2,11	0,2	0,26	Ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Melaleuca cajuputi</i>	0,27	1,04	0,3	6,17	0,27	1,11	0,2	0,12	Ttd	Ttd	ttd	ttd
Rerata		0,40	1,45	0,31	8,51	0,74	1,79	0,38	0,21	Ttd	Ttd	ttd	ttd
Kolong aktif	<i>Fimbristylis ovata</i>	0,79	2,67	0,3	14,8	1,63	2,71	0,6	1,04	Ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Scleria purpurascens</i>	0,27	0,86	0,3	4,78	0,65	0,89	0,7	0,34	Ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Cyperus polystachyus</i>	1,18	2,83	0,4	15,7	0,82	2,47	0,3	0,95	Ttd	Ttd	ttd	ttd
Rerata		0,75	2,12	0,34	11,78	1,03	2,02	0,55	0,78	ttd	Ttd	ttd	ttd
Kolong yang ditinggalkan	<i>Fimbristylis ovata</i>	0,1	0,47	0,2	9,4	0,69	3,01	0,2	1,73	ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Eriocaulon longifolia</i>	0,9	0,59	1,5	11,8	0,31	2,72	0,1	1,58	ttd	Ttd	ttd	ttd
	<i>Fuirena umbellata</i>	0,69	1,17	0,1	11,8	0,13	1,37	0,1	0,78	ttd	Ttd	ttd	ttd
Rerata		0,56	0,74	0,61	11,00	0,38	2,05	0,14	1,36	ttd	Ttd	ttd	ttd

Keterangan= ttd= tidak terdeteksi; TF (faktor translokasi); BCF (faktor biokonsentrasi)

Kandungan logam As pada semua tumbuhan dominan tidak terdeteksi. Kandungan logam Fe pada tumbuhan dominan di kolong aktif berkisar 0,27-1,18% untuk bagian tajuk dan 0,86-2,83% untuk bagian akar. Kandungan logam Fe pada tumbuhan dominan di kolong yang ditinggalkan berkisar antara 0,07-0,90% untuk bagian tajuk dan 0,47-0,59% untuk bagian akar. Kandungan logam Fe tertinggi pada tumbuhan dominan di lokasi sungai berkisar antara 0,25-0,69% untuk bagian tajuk dan 1,04-2,14% untuk bagian akar. Secara keseluruhan, kandungan logam Fe tertinggi pada tumbuhan dominan hanya mencapai kurang dari 2% untuk bagian tajuk dan kurang dari 3% untuk bagian akar tumbuhan dengan kandungan logam Fe tertinggi terdapat pada tumbuhan *Cyperus polystachyus* di lokasi kolong aktif baik pada akar maupun tajuknya.

Menurut Suhartini (2004) batas kritis keracunan Fe dalam tumbuhan adalah 300 ppm, konsentrasi Fe kritis dalam larutan tanah yang dapat meracuni tanaman bervariasi tergantung pH, sekitar 100 ppm pada pH 3,7 dan 300 ppm pada pH 5. Toksisitas Fe bagi berbagai tumbuhan adalah 500 mg/kg (Lorestani *et al.* 2011) yang setara dengan 0,05% (1 mg/L = 1 ppm = 1 mg/kg). Kandungan total Fe untuk tumbuhan hiperakumulator > 10.000 mg/kg (1%) (Lorestani *et al.* 2011). Meskipun penyerapan logam oleh akar lebih cepat, yang dibuktikan dengan konsentrasi logam Fe lebih tinggi pada bagian akar, namun sebagian besar nilai TF pada tumbuhan dominan < 1. Nilai TF Fe > 1 ditunjukkan oleh tumbuhan *Eriocaulon longifolia* di kolong yang ditinggalkan. Namun demikian, kandungan Fe pada tajuk dan akar tumbuhan ini lebih rendah dibandingkan beberapa tumbuhan lain terutama tumbuhan *Eriocaulon longifolia* yang terdapat di sungai.

Konsentrasi Al tertinggi pada tumbuhan *Fimbristylis ovata* terletak pada bagian akar di lokasi kolong yang ditinggalkan, sedangkan konsentrasi pada bagian tajuk tertinggi juga terdapat pada tumbuhan *Fimbristylis ovata* di kolong aktif. Nilai TF pada kedua tumbuhan ini adalah < 1, namun nilai BCF > 1 mengindikasikan potensi tumbuhan dalam mekanisme fitostabilisasi. Padmavathamma dan Li (2007) menyatakan bahwa tumbuhan hiperakumulator Al dapat menyerap 0,1% Al dari berat kering tajuk, yang menunjukkan bahwa keseluruhan tumbuhan dapat berpotensi sebagai hiperakumulator Al. Kemampuan tumbuhan yang rendah dalam mentranslokasikan logam ke tajuk tumbuhan terlihat dari nilai TF yang rendah, dimana salah satu kriteria tumbuhan hiperakumulator adalah kemampuan tumbuhan dalam mengakumulasi logam yang sangat tinggi pada bagian tajuknya.

Kandungan As tidak terdeteksi pada semua tumbuhan dominan yang diuji. Kandungan arsen alami pada tanaman adalah 1 mg/kg. Tumbuhan toleran terhadap arsen dapat mengakumulasi arsen hingga beberapa ribu mg/kg selama masa hidupnya dengan mekanisme detoksifikasi (Bondada & Ma, 2003). Kandungan logam pada sedimen sangat berpengaruh terhadap kandungan logam dalam tumbuhan yang tumbuh di atasnya, sehingga kandungan logam yang tinggi pada jaringan tumbuhan dapat mencerminkan kandungan logam dalam sedimen (Darmono, 2001). Kandungan Fe dan Al lebih tinggi di sedimen dibandingkan di air, sedangkan logam As tidak terdeteksi pada sedimen sungai. Hal ini menunjukkan gejala akumulasi logam Fe dan Al terdapat pada bagian sedimen, sedangkan As terakumulasi di air dan sedimen (Azizah 2009). Kapasitas penyerapan logam pada sedimen akan meningkat pada fraksi sedimen pasir < debu < liat (Othman *et al.*, 2009). Jika dilihat dari persentase fraksi sedimen, kapasitas penyerapan logam tertinggi ditunjukkan oleh sedimen sungai. Fraksi liat yang lebih tinggi pada sedimen sungai mempengaruhi ketersediaan logam (Malik *et al.*, 2010). Hasil penelitian memperlihatkan kandungan logam Fe dan Al pada tumbuhan dominan lebih tinggi dibandingkan pada sedimen dan air (dalam satuan persen).

Korelasi daya serap logam pada tumbuhan dan jumlah logam di sedimen dapat dilihat dari daya serap tumbuhan *Fimbristylis ovata* untuk logam Fe. Tajuk dan akar *Fimbristylis ovata* di kolong aktif menyerap logam Fe paling banyak dibandingkan dua lokasi lainnya. Kandungan Fe di sedimen kolong aktif lebih tinggi dibandingkan kolong yang ditinggalkan dan sungai. Logam Al tidak menunjukkan korelasi antara daya serap tumbuhan dan jumlah logam di sedimen.

Hampir seluruh tumbuhan menunjukkan kandungan logam Fe dan Al lebih tinggi pada bagian akar. Hal ini menandakan lambatnya laju translokasi untuk logam Fe dan Al dari akar ke tajuk sehingga lebih banyak terkonsentrasi di akar. Translokasi logam dari akar ke daun untuk logam esensial (Fe dan Al) sangat rendah dibandingkan logam non esensial (As). Rendahnya nilai TF pada logam esensial diduga tumbuhan tersebut menggunakan kedua logam untuk metabolisme dan pertumbuhan. Kadang-kadang terjadi sistem penghentian transpor logam non esensial menuju daun sehingga ada penumpukan di akar (Yoon *et al.*, 2006; Hamzah & Setiawan, 2010).

Tumbuhan *Eriocaulon longifolia* diperkirakan dapat digunakan dalam mekanisme fitoekstraksi. Menurut Juhaeti *et al.* (2005), untuk tujuan fitoremediasi diutamakan tumbuhan yang bersifat perdu, semak atau rerumputan. *Eriocaulon*

longifolia yang memiliki akar serabut, rambut-rambut akar memperbesar area penyerapan (Padmavathiamma & Li, 2007). Kemampuan tumbuhan air dalam menyerap bahan pencemar tidak sama. Jamnicka *et al.* (2006) melaporkan bahwa tumbuhan timbul menyerap lebih banyak logam pada bagian tajuk dibandingkan tumbuhan mengapung. Meskipun demikian, tumbuhan air mengapung lebih banyak digunakan karena pertumbuhannya yang relatif lebih cepat. Selain itu, mekanisme fitoekstraksi memerlukan pemanenan bagian tumbuhan (Padmavathiamma & Li 2007). Pemanenan akar tumbuhan mengapung akan lebih mudah dilakukan dibandingkan tumbuhan di sedimen.

Kemampuan akumulasi logam yang tinggi dalam jaringan pada kondisi terkontaminasi adalah mekanisme toleransi tumbuhan (Rahmansyah *et al.*, 2009), perpindahan logam yang cepat dari akar ke tajuk (Yoon *et al.*, 2006). Meskipun demikian, pencapaian tumbuhan hiperakumulator ideal tidak hanya didapatkan melalui karakteristik tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam dalam konsentrasi yang sangat tinggi pada tajuknya, tapi juga faktor lain seperti pertumbuhan cepat dan mampu memproduksi biomassa tinggi dan kemudahan perbanyakannya, memiliki toleransi tinggi terhadap lingkungan yang marginal dan tahan terhadap gangguan hama dan penyakit (Rahmansyah *et al.*, 2009).

Tumbuhan dengan nilai BCF tinggi dan nilai TF rendah dapat digunakan dalam fitostabilisasi. Tumbuhan toleran mengakumulasi logam di akar (Yoon *et al.* 2006). Dalam penelitian ini, dua tumbuhan yaitu *Fimbristylis ovata* dan *Eriocaulon longifolia* diperkirakan dapat digunakan dalam fitostabilisasi Al.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini, yaitu:

1. Kandungan Pb, Cu dan Zn di dalam tumbuhan terrestrial dominan di lahan pasca penambangan timah tidak terdeteksi, namun *Schima wallichii* dari hutan sekunder berpotensi sebagai akumulator Cu karena memiliki nilai TF>1. Kandungan logam Fe tertinggi terdapat pada *Cyperus polystachyus* di lokasi kolong aktif sedangkan kandungan logam Al tertinggi terdapat pada akar *Fimbristylis ovata* di lokasi kolong yang ditinggalkan.
2. *Eriocaulon longifolia* memiliki nilai TF > 1 untuk logam Fe di lokasi kolong yang ditinggalkan, karenanya jenis ini berpotensi sebagai tumbuhan hiperakumulator.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada PT. Timah (Persero) Tbk. yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih disampaikan juga untuk Kepala beserta Perangkat Desa Bencah, BPS Bangka Selatan yang berkenan menyambut dengan hangat dan memberikan data yang bermanfaat mengenai lokasi penelitian dan data-data lainnya yang diperlukan. Penghargaan juga disampaikan kepada Jurusan Biologi Universitas Bangka Belitung, Kepala Laboratorium Biologi Universitas Bangka Belitung, Kepala Laboratorium MIPA Universitas Bangka Belitung, Kepala Laboratorium Perikanan Universitas Bangka Belitung, KP2 Pertanian Universitas Bangka Belitung, Balai Penelitian Tanah Bogor dan Kepala Bidang Botani, Pusat Penelitian Biologi LIPI di Cibinong, Jawa Barat

Daftar Pustaka

- Al-qahtani, K.M. (2012) Assessment of heavy metals accumulation in native plant species from contaminated soils in Riyadh City, Saudi Arabia. *Life Sci J.* 9(2): 384-392.
- Aminah, S. (2011) *Bioremediasi kolong muda pasca penambangan timah menggunakan tumbuhan air yang tumbuh di kolong* [skripsi]. Bangka: Jurusan Biologi, Fakultas Pertanian, Perikanan, dan Biologi, Universitas Bangka Belitung.
- Anonimous. (2009) *Reaksi tanah dan pengapuran*. <http://kapurpertanian.com/index.php/Kesuburan-tanah/Reaksi-Tanah-dan-Pengapuran.html> [ptember 2012]
- Ashraf, M.A., Maah, M.J., Yusoff, I.B. (2003) Study of Water Quality and Heavy Metals in Soil & Water of Ex-Mining Area Bestari Jaya, Peninsular Malaysia. *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* 10 (03): 7-27
- Ashraf, M.A, Maah, M.J, Yusoff, IB. (2011) Heavy metals accumulation in plants growing in ex tin mining catchment. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 8 (2): 401-416.
- Azhan, K. (2008) *Penyingkiran logam berat menggunakan kaedah tanah bencah buatan bagi rawatan air larut lesap* [tesis]. Malaysia: Fakulti Kejuruteraan Awam, Universiti Teknologi Malaysia.
- Azizah, N. (2009) Kontaminasi merkuri (Hg) pada purun tikus (*Eleocharis dulcis*) yang tumbuh di tanah sulfat masam Kecamatan Alalak, Kabupaten Barito Kuala. *Bioscientiae* 6 (2) :7-14.
- Bangka Pos. (2011) *Ekspor dan produksi timah menurun, laba tetap tercapai*. Bangka Pos 14 November 2011.

- Bondada, B.R., Ma, L.Q. (2003) *Tolerance of heavy metals in vascular plants: arsenic hyperaccumulator by Chinese, Brake Vern (Pteris vittata L.)*.
- Cahyady, B. (2009) *Studi tentang kesensitifan spektrometer serapan atom (SSA) teknik vapour hydride generation accessorice (VHGA) dibandingkan dengan SSA nyala pada analisa unsur arsen (As) yang terdapat pada air minum* [tesis]. Medan: Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Sumatera Utara
- Chayed, N.F. (2009) *Determination of heavy metals uptake by Acacia mangium Grown in ex-mining area in Kampung Gajah, perak* [Final Year Report]. Malaysia: University Teknologi MARA.
- Cherian, S., Oliveira, M.M. (2005) Transgenic Plants in Phytoremediation: Recent Advances and New Possibilities. *Environ. Sci. Technol.* 39 (24): 9377–9390.
- Darmono. (2001) *Lingkungan hidup dan pencemaran, hubungannya dengan toksikologi senyawa logam*. Jakarta: UI Press.
- Djakamihardja, S.A., Santoso, A.B. (2004) *Alternatif pasif pengolahan air limbah penambangan timah di Pulau Bangka*. <http://elib.pdii.lipi.go.id/katalog/index.php/searchkatalog/publication/8095.pdf> [15 September 2012]
- Fakhrurrozi, Y. (2001) *Satuan-satuan lansekap dan keanekaragaman tumbuhan buah-buahan liar edibel dalam kehidupan masyarakat Melayu Belitung* [Tesis] Bogor: IPB
- Galam, A.A.A. 2011. *Inventarisasi dan evaluasi keanekaragaman tumbuhan buah*
- Ghosh, M., Singh, S.P. (2005) A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by products. *Appl. Ecolo. Environ. Res.* 3 (1): 1
- Hamzah, F., Setiawan, A. (2010) Akumulasi logam berat Pb, Cu, dan Zn di Hutan Mangrove Muara Angke, Jakarta Utara. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis* 2 (2) : 41
- Henny, C. (2011) "Kolong" bekas tambang timah di Pulau Bangka: permasalahan kualitas air dan alternatif solusi untuk pemanfaatan. *OLDI* 37 (1) : 119-138.
- Hermawan, A., Asmarhansyah, Choliq, A. (2010) Transformasi petani menjadi penambang timah di Bangka Belitung. *Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Semarang, 9-10 Juni 2010. hlm 323-334.
- Heyne, K. 1987. *Tumbuhan berguna Indonesia III*. Jakarta: Yayasan Sarana Wana Jaya Indonesia Tanah Airku. (2007) *Sumber daya alam Provinsi Bangka Belitung*.
- Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. (2014) Toxicity, mechanism and health effect of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol*, 7(2): 60-72
- Jones C, Jacobsen J, Rutz-Olson K. (2014) Soil Sampling and Laboratory Selection. *Nutrient Management Module No. 1*, 1-12
- Juhaeti, T., Syarif, F., Hidayati, N. (2005) Inventarisasi tumbuhan potensial untuk fitoremediasi lahan dan air terdegradasi penambangan emas. *Biodiversitas* 6 (1): 31-33.
- Lahuddin. 2007. *Aspek unsur mikro dalam kesuburan tanah*. Medan : UNSU
- Lorestani, B., Cheraghi, M., Yousefi, N. (2011) *Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran*. <http://www.waset.org/journals/waset/v53/v53-68.pdf> [15 September 2012]
- Malik, R.N., Husain, S.Z., Nazir, I. (2010) Heavy metals contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, Pakistan. *Pak. J. Bot.* 42 (1) : 291-301.
- Munandar, Hartati, R. (2010) *Konservasi lahan rawa gelam di Kalimantan Selatan, sangat mendesak* (sebuah tinjauan ekologis).
- Napitupulu, M. (2008) *Analisis logam berat seng, kadmium dan tembaga pada berbagai tingkat kemiringan tanah Hutan Tanaman Industri PT. Toba Pulp Lestari dengan metode spektrometri serapan atom (SSA)* [Tesis]. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Ningsih, S.S. (2008) *Inventarisasi hutan mangrove sebagai bagian dari upaya pengelolaan wilayah pesisir Kabupaten Deli Serdang* [tesis]. Medan: Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Novera, Y. (2008) Analisis vegetasi, karakteristik tanah dan kolonisasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) pada lahan bekas tambang timah di Pulau Bangka. Bogor : Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Nurtjahya, E., Fournita, A., Putri, W.A.E. (2008) Neraca ekologi penambangan timah di Pulau Bangka-studi kasus pengalihan fungsi lahan di ekosistem darat. *Hayati* 14 : 29-38.
- Nurtjahya, E, Setiadi, D., Guhardja, E., Muhadiono, Setiadi, Y. (2009a) Succession on tin-mined land in Bangka Island. *Blumea* 54: 131-138
- Nurtjahya, E., Nur, M.M, Mulyono, E. (2009b) Rice field cultivation on tin-mined land in Bangka Island, Indonesia. *Proceedings of the Fourth International Conference on Mine Closure 9 -11 September 2009, Perth, Australia. Mine Closure 2009*.
- Othman, M.S., Ahmad, A.K., Lim, E.C. (2009) Metals Concentration in Water and Sediment of Bebar Peat Swampy Forest River, Malaysia. *Journal of Biological Sciences* 9(7):730-737

- Padmavathiamma, P.K., Li, L.Y. (2007) Phytoremediation technology: hyper-accumulation metals in plants. *Water Air Soil Pollution* 184: 105-126.
- Parulian, A. (2009) *Monitoring dan analisis kadar aluminium (Al) dan besi (Fe) pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal* [Tesis]. Medan: Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Sumatera Utara.
- [PP No 85] Peraturan Pemerintah No. 85. (1999) *Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 tentang Baku Mutu TCLP Zat Pencemar dalam Limbah untuk Penentuan Karakteristik Sifat Racun. Lampiran II. 7 Oktober 1999.* Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- PT. Timah (Persero) Tbk. (2009) *Analisis Dampak Lingkungan (ANDAL) Buku II.* Bangka: PT Timah (Persero) Tbk.
- PT. Timah (Persero) Tbk. (2011) *Laporan tahunan 2011.* <http://www.timah.com/v2/ina/down/7601082012124945>
- Puspita, L., Ratnawati, E., Suryadiputra, I.N.N., Meutia, A.A. (2005) *Lahan basah di Indonesia.* Bogor: Wetlands International.
- Rahmansyah, N., Hidayati, N., Juhaeti, T. (2009) *Tumbuhan akumulator untuk fitoremediasi lingkungan tercemar merkuri dan sianida penambangan emas.* Jakarta: LIPI Press
- Rakkar MK, Franzem DW, Chatterjee A. (2015) Evaluation of Soil Potassium Test to Improve Fertilizer Recommendations for Corn. *Open Journal of Soil Science*, 5: 110-122.
- Restiana, Dahlianah I. (2014) Analisis Vegetasi Gulma Pada Kebun Semangka (*Citrullus lanatus*) di Desa Timbangan Kecamatan Inderalaya Kabupaten Ogan Ilir Provinsi Sumatera Selatan. *Sain matika*, 11(2): 49-58
- Ropika. (2011) *Potensi dan Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Buah-Buahan Liar Edibel di Kabupaten Bangka Barat* [Skripsi]. Pangkalpinang: Universitas Bangka Belitung
- Saidi, A. 2006. *Fisika tanah dan lingkungan.* Padang: Andalas University Press.
- Sandika, A.M.P. (2008) *Sukses vegetasi pada areal bekas tambang timah di Kabupaten Belitung, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung* [skripsi]. Bogor: Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2003) Percontoh batuan sulfida-Penentuan kadar Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, dan Cd dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) No. SNI-13-6974-2003. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2004) Air dan air limbah - Bagian 7: Cara uji seng (Zn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala No. SNI-06-6989.7-2004. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2005) Air dan air limbah - Bagian 54: Cara uji kadar Arsen (As) dengan spektrofotometer serapan atom (SSA) secara tungku karbon No. SNI 06-6989.54-2005. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2009a) Air dan air limbah-Bagian 8: Cara uji timbal (Pb) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala No. SNI 06-6989.8-2009. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2009b) Air dan air limbah - Bagian 6: Cara uji tembaga (Cu) dengan spektrofotometer serapan atom (SSA)-nyala No. SNI SNI 06-6989.6-2009. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2009c) Air dan air limbah - Bagian 4: Cara uji besi (Fe) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala No. SNI-06-6989.-4-2009. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- [SNI] Standar Nasional Indonesia. (2009d) Air dan air limbah-Bagian 34: Cara uji aluminium (Al) secara Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala. No. SNI 06-6989.34-2009. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional
- Suhartini, T. (2004) Perbaikan varietas padi untuk lahan keracunan Fe. *Buletin Plasma Nutraf* 10 (1) : 1-11.
- Tamas JM, Sharma SK, Ibstedt S, Jacobson T, Christen P (2014) Heavy Metals and Metalloids As a Cause for Protein Misfolding and Aggregation. *Biomolecules*, 2014 (4):252-267
- Thillaiarasu P, Murugan A, Inba J.K. (2014). Atomic Absorption Spectrophotometric Studies on Heavy Metal Contamination in Groundwater in and around Tiruchendur, Tamilnadu, India. *Chemical Science Transactions*, 3(2): 812-818
- Tjhiaw, G., Djohan, T.S (2009) Sukses vegetasi alami di bekas tambang timah Pulau Bangka. *Jurnal Manusia dan Lingkungan* 16 (1): 23-41.
- Tsibangu, M.I., Nsahlai, V.I., Kiatoko, M.H., Hornick, J.L (2014) Heavy metals concentration in *Adenodolichos rhomboideus* (O. Hoffm.) Harms forage growing on mining tailings in South East of Democratic Republic of Congo: Influence of washing, pH and soil concentrations. *Int J Cur Res Biosci Plant Biol.* 1(5): 16-27.
- Veriady (2007) *Studi pemanfaatan lahan pasca tambang timah (studi kasus PT. Timah Tbk di Pulau Bangka)* [Tesis]. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Widowati, W., Sastiono, A., Jusuf, R. 2008. *Efek toksik logam.* Yogyakarta: ANDI
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L.Q. (2006) Accumulation of Pb, Cu, and Zn in Native

Plants Growing on a Contaminated Florida Site. *Sci. Tot. Environ.* 368 (2) : 456–464.
Zulkarnain I, Erman E, Pudjiastuti TN, Mulyaningsih Y. (2005) *Konflik Di Kawasan*

Pertambangan Timah Bangka Belitung: Persoalan dan Alternatif Solusi. Jakarta: LIPI Press.