

EFEK TIMBAL (Pb) TERHADAP PERTUMBUHAN DAN ADAPTABILITAS *Acacia mangium* PADA TAILING EMAS

Effect of Lead (Pb) toward the Growth and Adaptability of Acacia mangium on the Gold Tailing

Bayu Winata^{1*}, Basuki Wasis¹, dan Yadi Setiadi¹

(Diterima Juni 2019/Disetujui Agustus 2019)

ABSTRACT

Gold mining is a human activity with high environmental risk through its tailing, due to the heavy metals content. Lead (Pb) is one of dangerous heavy metals in the world, because its toxicity to organism and environment. Phytoremediation is a method to remove hazard pollutant from environment by using plant. *Acacia mangium* is fast growing and pioneer tree species which mostly grow on the secondary forest as well as marginal land. Usually, this species is used for revegetation on postmining land. Study on Pb effect to *A. mangium* is an important issue to support phytoremediation advancement as well as for forest restoration. This study aimed to analyze the effect of Pb with several levels toward the growth and adaptability of *A. mangium* on the gold tailing. The results showed that Pb increment on tailing were significantly effect on the growth and adaptability of the plants. *A. mangium* showed a well performance even on 900 mg Pb/kg tailing with high tolerance index (TI > 100%). Moreover, this species had ability to accumulate Pb in the root higher than shoot tissue. *A. mangium* had a good potency as phytoremediant plant, also as revegetation plant on the marginal land, such as on the gold mining tailing.

Key words: *Acacia mangium*, heavy metal, lead, phytoremediation, Pb

PENDAHULUAN

Penambangan emas merupakan salah satu aktivitas manusia yang beresiko besar terhadap pencemaran logam berat melalui tailing yang dihasilkan. Tailing adalah residu limbah aktivitas pertambangan yang didominasi oleh tekstur pasir, bersifat marjinal, dan sering kali mengandung unsur logam berat. Ho *et al.* (2008) menyatakan bahwa Pb merupakan salah satu logam berat yang ditemukan pada tailing.

Pb merupakan salah satu unsur logam berat yang tidak esensial bagi metabolisme tanaman, tapi dapat terserap dan terakumulasi pada jaringan tanaman (Aziz 2015), sehingga berbahaya bagi makhluk hidup serta lingkungannya (Nagajyoti *et al.* 2010). Bagi manusia, Pb bahkan dapat menyebabkan gangguan kesehatan, seperti gangguan organ hati, hemoglobin, enzim, RNA dan DNA, hipertensi, kerusakan otak, bahkan dapat menyebabkan kematian (Herman 2006). Berdasarkan hal tersebut, maka Pb tercatat sebagai unsur kedua paling berbahaya setelah Arsen (ATSDR 2017).

Fitoremediasi merupakan metode pembersihan polutan dari lingkungan atau ekosistem dengan menggunakan peran tanaman. Tanaman yang cocok untuk fitoremediasi idealnya memiliki beberapa karakteristik, yaitu (1). sifat pertumbuhan yang cepat, (2). produksi biomassa yang tinggi, dan (3). adaptabilitas yang baik terhadap kontaminasi logam berat (Cunningham dan Ow 1996; Rezvani dan

Zaefarian 2011). Pohon adalah tanaman/tumbuhan yang potensial untuk diteliti dan dikembangkan sebagai tanaman fitoremediasi Pb, karena memiliki potensi biomassa yang besar dan usia yang lebih panjang dibandingkan dengan tumbuhan bawah.

Acacia mangium adalah jenis pohon intoleran dan pionir yang cepat tumbuh. Jenis ini dapat tumbuh pada hutan sekunder atau hutan terganggu yang terbuka. *A. mangium* dikenal mampu tumbuh pada lahan yang kurang subur termasuk pada lahan-lahan pasca tambang yang marjinal. Berdasarkan hal tersebut, maka pengujian pengaruh Pb terhadap pertumbuhan serta adaptabilitas *A. mangium* perlu dilakukan, sehingga dapat diketahui kemampuannya dalam mengakumulasi Pb. Tujuan penelitian ini, yaitu menganalisis efek Pb pada beberapa konsentrasi terhadap pertumbuhan dan adaptabilitas semai *A. mangium* dalam mengakumulasi Pb pada media tailing emas.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan di Rumah Kaca Ekologi Hutan, Fakultas Kehutanan IPB. Analisis tanah dan jaringan dilaksanakan di Laboratorium Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian IPB. Adapun lokasi pengambilan tailing dilakukan di Pongkor, Bogor, Jawa Barat.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan, yaitu sekop, mangkuk, timbangan (neraca analitik dan timbangan digital),

¹ Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan IPB University

* Penulis koresponden:

E-mail: bayuwinata91@gmail.com
bayuwinata@apps.ipb.ac.id

mistar, kaliper digital, gelas ukur, oven, *tallysheet*, alat tulis, kamera, *software* Ms. Excel dan SAS 9.1.3 *portable*. Bahan yang digunakan, yaitu semai *A. mangium*, tailing emas, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, polybag (20 x 20 cm), air minum mineral, dan pupuk cair.

Prosedur

Penelitian ini dilakukan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL). Perlakuan yang diberikan yaitu pemberian $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang terdiri dari lima taraf (P0 = 0 mg Pb/kg tailing, P1 = 150 mg Pb/kg tailing, P2 = 300 mg Pb/kg tailing, P3 = 450 mg Pb/kg tailing (Setyaningsih *et al.* 2012), dan P4 = 900 mg Pb/kg tailing). Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Adapun prosedur penelitian dijelaskan sebagai berikut:

Persiapan Media dan Tanaman

Media berupa tailing emas ditimbang seberat 1 kg, lalu dimasukkan ke dalam polybag. Semai *A. mangium* berumur tiga bulan masing-masing dipersiapkan dengan tinggi dan diameter yang relatif sama, sehat, serta bebas dari hama dan penyakit. Semai kemudian ditanam pada media yang telah dipersiapkan. Kemudian, dilakukan pemberian larutan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ masing-masing sebanyak 50 ml sesuai dengan taraf yang ditentukan, yaitu 0, 150, 300, 450 mg Pb/kg tailing (Setyaningsih *et al.* 2012) dan 900 mg Pb/kg tailing. Setiap polybag tersebut, lalu diletakkan di atas wadah/mangkung.

Pemeliharaan

Pemeliharaan yang dilakukan berupa pemupukan dan pemberian air bagi tanaman. Pupuk yang digunakan yaitu pupuk cair yang mengandung unsur hara makro dan unsur hara mikro. Pupuk cair sebanyak 1 liter diencerkan terlebih dahulu dengan 60 liter air mineral, kemudian diberikan pada setiap tanaman sesuai kapasitas lapangnya. Pemupukan dilakukan sekali pada saat semai telah ditanam. Pemberian air bagi tanaman dilakukan dengan cara menambahkan air ke dalam mangkuk penyangga polybag untuk menghindari pencucian Pb yang telah diberikan. Adapun air yang digunakan merupakan air mineral untuk dikonsumsi oleh manusia dengan asumsi bahwa air tersebut tidak memiliki kandungan Pb.

Analisis Tailing dan Jaringan Tanaman

Analisis karakteristik tailing dilakukan sebelum dan sesudah penelitian untuk mengetahui kandungan hara dan Pb-nya. Analisis jaringan tanaman dilakukan setelah penelitian untuk mengetahui akumulasi Pb pada jaringan tanaman (bagian pucuk dan bagian akar). Analisis tailing dan jaringan tanaman dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian IPB.

Observasi dan Pengambilan Data

Observasi dan pengambilan data dilakukan terhadap variabel tinggi, diameter, dan panjang akar. Selain itu, dilakukan pengambilan data terhadap parameter berikut ini:

a. Berat kering total (BKT)

Semai *A. mangium* dipanen setelah 12 minggu, lalu dipisahkan antara pucuk (daun dan batang) dengan bagian akar. Kemudian, bagian tanaman tersebut dioven pada suhu 80°C selama 24 jam, lalu ditimbang.

b. Nisbah pucuk akar (NPA)

NPA diperoleh dengan membandingkan nilai BKT pucuk dengan BKT akar.

c. Bioakumulasi timbal (Pb)

Bioakumulasi Pb yang diikat oleh tanaman dihitung menggunakan rumus berikut (Hardiani 2009):

$$\text{Bioakumulasi} = \frac{\text{berat Pb pada (akar atau daun)}}{\text{berat kering tanaman (akar atau daun)}} \text{ (mg/kg)}$$

$$\text{Berat Pb} = \text{konsentrasi Pb} \times \text{berat kering}$$

Keterangan: Konsentrasi Pb (pada akar atau daun)
Berat kering (akar atau daun)

d. Faktor biokonsentrasi (FB) dan faktor translokasi (FT) (Magaña *et al.* 2011):

$$\text{FB} = \frac{\text{konsentrasi Pb pada jaringan (akar atau daun)}}{\text{konsentrasi Pb pada tanah (media)}}$$

$$\text{FT} = \frac{\text{konsentrasi Pb pada jaringan pucuk}}{\text{konsentrasi Pb pada jaringan akar}}$$

Tabel 1 Pengaruh Pb terhadap pertumbuhan semai *A. mangium* pada tailing emas

Perlakuan	Δ Tinggi (cm)	Δ Diameter (mm)	BKT (g)	Panjang akar (cm)	NPA
P0 (0 mg Pb/kg tailing)	15.3 a	0.84 a	9.28 ab	21.1 a	3.2 a
P1 (150 mg Pb/kg tailing)	14.2 ab	0.85 a	8.42 bc	21.9 a	3 a
P2 (300 mg Pb/kg tailing)	14.0 ab	0.88 a	7.90 c	23.3 a	3 a
P3 (450 mg Pb/kg tailing)	12.2 b	0.78 a	9.58 ab	22.6 a	3.3 a
P4 (900 mg Pb/kg tailing)	12.2 b	0.72 a	9.93 a	23.3 a	4 a
Nilai signifikan	0.042 *	0.111 tn	0.028 *	0.077 tn	0.566 tn

Angka yang diikuti oleh huruf yang sama dalam satu kolom dan satu kelompok perlakuan menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%; * = perlakuan berpengaruh nyata pada selang kepercayaan 95% dengan nilai signifikan ($p < 0.05$); tn = perlakuan tidak berpengaruh nyata pada selang kepercayaan 95% dengan nilai signifikan ($p > 0.05$).

e. **Indeks Toleransi Timbal (Pb)** (Rabie 2005):

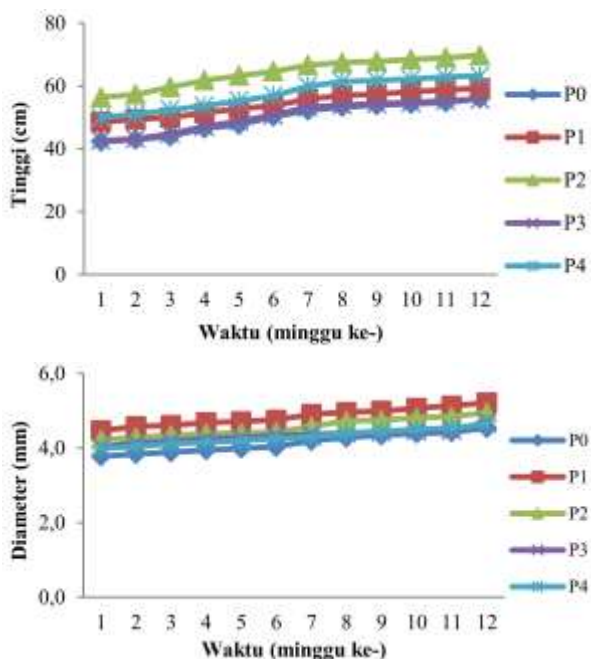
$$IT = \frac{\text{berat kering akar tanaman dengan perlakuan Pb}}{\text{berat kering akar tanpa perlakuan Pb}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efek Pb terhadap pertumbuhan Semai *A. mangium* pada Tailing Emas

Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh faktor internal (genetik) dan eksternal (lingkungan). Salah satu faktor eksternal yang dapat mempengaruhi pertumbuhan semai *A. mangium* pada tailing, kandungan logam berat yang merupakan unsur tidak esensial dan berpotensi sebagai *toxic substance*. Pertumbuhan tanaman adalah hal yang penting diamati untuk mengetahui pengaruh lingkungan tempat tumbuhnya. Cunningham dan DW (1996) menyatakan bahwa dalam konsep fitoremediasi pertumbuhan tanaman memiliki hubungan dengan kemampuannya dalam menyerap logam berat. Tabel 1 menyajikan pengaruh Pb terhadap pertumbuhan semai *A. mangium* pada tailing emas selama tiga bulan.

Peningkatan konsentrasi Pb memberikan pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi dan biomassa (BKT) *A. mangium* selama tiga bulan observasi. Konsentrasi 0 mg Pb/kg tailing menghasilkan pertumbuhan tinggi *A. mangium* sebesar 15.3 cm, lalu mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan kenaikan konsentrasi Pb yang diterapkan. Pertumbuhan tinggi terendah semai *A. mangium* terjadi pada konsentrasi 450 dan 900 mg Pb/kg tailing, yaitu hanya mencapai 12.2 cm. Keberadaan Pb dengan beberapa konsentrasi, tidak



Gambar 1 Laju pertumbuhan tinggi dan diameter semai *A. mangium* pada berbagai konsentrasi Pb selama 12 minggu. P0=0 mg Pb/kg tailing, P1=150 mg Pb/kg tailing, P2=300 mg Pb/kg tailing, P3=450 mg Pb/kg tailing, dan P4= 900 mg Pb/kg tailing

memberikan pengaruh signifikan terhadap diameter *A. mangium*. Pertumbuhan diameter merupakan pertumbuhan sekunder pada jaringan kambium tanaman (Darnawan dan Baharsjah 2010). Pada fase semai, *A. mangium* diduga belum mengalami pertumbuhan sekunder, sebab sedang mengalami fase pertumbuhan primer, seperti pertumbuhan tinggi (vertikal). Namun demikian, rata-rata pertumbuhan diameter semai *A. mangium* pada mengalami penurunan pada konsentrasi 450 dan 900 mg Pb/kg tailing.

Secara umum, rata-rata pertumbuhan tinggi dan diameter menunjukkan penurunan seiring dengan peningkatan konsentrasi Pb pada tailing, tetapi laju pertumbuhan tinggi dan diameter semai *A. mangium* menunjukkan peningkatan terhadap waktu selama 12 minggu (Gambar 1). Kondisi tersebut mengindikasikan jika *A. mangium* masih adaptif dan mampu tumbuh pada media yang terkontaminasi Pb pada berbagai konsentrasi yang diberikan, bahkan pada penambahan Pb hingga konsentrasi 900 mg Pb/kg tailing.

Dari aspek pembentukan biomassa, penambahan Pb pada konsentrasi 450 – 900 mg Pb/kg tailing justru menghasilkan biomassa (BKT) tertinggi, yaitu berturut-turut 9.58 dan 9.93 g yang tidak berpengaruh nyata dengan konsentrasi 0 mg Pb/kg tailing. Hal ini mengindikasikan jika pertumbuhan biomassa semai *A. mangium* relatif tidak terganggu dengan keberadaan Pb.

Selain pertumbuhan diameter, konsentrasi Pb juga tidak berpengaruh signifikan terhadap panjang akar semai *A. mangium* (Tabel 1). Akar *A. mangium* cenderung menunjukkan pertumbuhan terpanjang pada penambahan 900 mg Pb/kg tailing. Fenomena pada akar tersebut diduga sebagai adaptasi akar menghindari keberadaan Pb pada konsentrasi tinggi, sehingga akar dapat memperluas jerapan air dan hara yang dapat digunakan untuk mendukung berbagai metabolisme. Liu *et al.* (2000) menyatakan bahwa meskipun secara umum Pb tidak dipertimbangkan sebagai elemen esensial bagi pertumbuhan tanaman, tapi dalam jumlah tertentu Pb mungkin berperan dalam menstimulasi pertumbuhan beberapa jenis tanaman. Ketika akar menyerap air dan hara, ion-ion dan molekul termasuk Pb di sekitar perakaran bergerak ke dalam akar melalui aliran massa dan proses difusi (Fahr *et al.* 2013).

NPA merupakan perbandingan biomassa kering bagian pucuk dan akar tanaman. Wasis *et al.* (2015) menyatakan bahwa NPA dapat menggambarkan kemampuan akar menjalankan fungsinya secara optimal dalam media tumbuh. Keberadaan Pb pada beberapa konsentrasi tidak berpengaruh signifikan terhadap NPA semai *A. mangium*. Secara keseluruhan rata-rata nilai NPA ≥ 1 . Herliyana *et al.* (2012) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman yang baik dapat ditunjukkan oleh nilai NPA yang berkisar antara 1 – 3. NPA dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya: sifat genetik tanaman, ketersediaan unsur hara, dan persaingan cahaya (Mokany *et al.* 2006; Wulandari dan Susanti 2012). Pertumbuhan semai *A. mangium* yang baik berdasarkan NPA, diduga dipengaruhi oleh keberadaan nitrat yang berasal dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (Ho *et al.* 2008). Indranada (1989) menyatakan bahwa unsur nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk nitrat (NO_3^-). Nitrogen merupakan unsur hara yang penting bagi

Perlaku

P0 (0 m

P1 (150

P2 (300

P3 (450

P4 (900

pertumbuhan vegetatif dan pembentukan protein pada tanaman (Hardjowigeno 2003).

Studi lain menemukan bahwa semai pohon dapat tumbuh pada media yang terkontaminasi Pb, diantaranya *Antocephalus candamba* dan *Paraserianthes falcataria* masih dapat tumbuh pada media dengan kontaminasi 450 mg Pb/kg (Setyaningsih 2012). Selain itu, pada studi yang dilakukan Magaña *et al.* (2011) menemukan bahwa *Acacia farnesiana* masih dapat tumbuh dengan baik dalam media yang terkontaminasi 250 dan 500 mg Pb/L. Secara umum, peningkatan kontaminasi Pb pada tempat tumbuh, akan berdampak terhadap penurunan pertumbuhan tanaman (Niu *et al.* 2007; Ho *et al.* 2008).

Efek Pb terhadap Adaptabilitas Semai *A. mangium* pada Tailing Emas

Adaptabilitas tanaman dalam merespon keberadaan logam berat di tempat tumbuhnya dapat digambarkan oleh bioakumulasi logam berat dan indeks toleransi. Bioakumulasi merupakan kemampuan tanaman untuk mengakumulasi logam berat pada jaringannya.

Akumulasi Pb tertinggi oleh semai *A. mangium* (Tabel 2) dihasilkan pada semai dengan perlakuan P4 yang mencapai total akumulasi sebesar 460.78 mg/kg. Berdasarkan lokasi jaringannya, *A. mangium* mengakumulasi Pb pada jaringan perakaran (446.48 mg/kg) jauh lebih besar daripada akumulasi Pb pada

jaringan pucuk (14.39 mg/kg). Sharma dan Dubey (2005) menyatakan bahwa kandungan Pb bervariasi pada jaringan tanaman dan cenderung menurun dari akar menuju pucuk. Selain itu, semakin besar konsentrasi Pb pada media tailing, maka bioakumulasinya juga semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan prinsip penyerapan logam Pb oleh tanaman, yaitu semakin besar kandungan Pb dalam media, maka semakin besar juga serapan Pb oleh tanaman (Magaña *et al.* 2011; Haryanti 2013; Malar *et al.* 2014).

Tabel 3 menyajikan faktor biokonsentrasi (FB) dan faktor translokasi (FT) tanaman pada berbagai perlakuan penambahan Pb. FB menunjukkan nisbah Pb yang terdapat pada jaringan tanaman dengan Pb pada media, sedangkan FT menunjukkan nisbah Pb pada jaringan pucuk dengan Pb pada jaringan akar.

Pada semai *A. mangium*, nilai FB pada akar relatif lebih besar daripada pucuk. Nilai FB berkisar dari 1.6 – 3.8 untuk akar dan 0.1 – 0.9 untuk pucuk. Nilai FB berbanding lurus dengan nilai biokumulasi Pb yang dilakukan oleh tanaman. Hal tersebut mengindikasikan bahwa Pb yang diakumulasi oleh jaringan tanaman lebih banyak disimpan pada jaringan akar dibandingkan yang disimpan di jaringan pucuk. Liu *et al.* (2008) berpendapat bahwa konsentrasi Pb di pucuk relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan Pb di bagian perakaran, serta akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi Pb pada media tumbuh. Sementara itu, nilai FT semai *A. mangium* berkisar pada 0.03 – 0.33. Zou *et al.* (2012) menyatakan bahwa nilai FT < 1.0 menunjukkan jika konsentrasi logam berat di pucuk lebih rendah daripada di akar.

Hardiani (2009) berpendapat bahwa pada dasarnya, mekanisme penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tanaman meliputi: 1) penyerapan logam oleh akar, khususnya di area *rhizosfer*, 2) translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lainnya mengikuti aliran transpirasi melalui jaringan pengangkut (xilem dan floem), dan 3) lokalisasi logam pada sel dan jaringan.

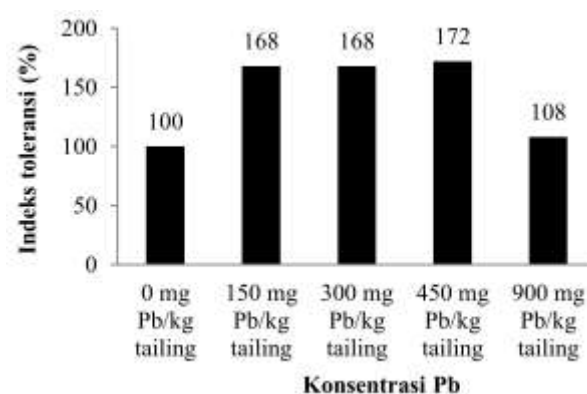
Indeks Toleransi (IT) dapat menunjukkan kemampuan tanaman yang adaptif pada suatu tempat tumbuh. Perlakuan penambahan Pb pada media memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap nilai IT (Gambar 2). Nilai IT semai *A. mangium* diketahui berkisar antara 100 – 172%. Penambahan Pb dengan konsentrasi 450 mg Pb/kg tailing menghasilkan IT

Tabel 2 Pengaruh konsentrasi Pb terhadap bioakumulasi semai *A. mangium*

Perlakuan	Akumulasi (mg/kg)		
	Pucuk	Akar	Total
P0 (0 mg Pb/kg tailing)	5.88	17.66	23.54
P1 (150 mg Pb/kg tailing)	8.42	120.24	128.66
P2 (300 mg Pb/kg tailing)	3.36	123.6	126.96
P3 (450 mg Pb/kg tailing)	21.02	200.96	221.98
P4 (900 mg Pb/kg tailing)	14.30	446.48	460.78

Tabel 3 Faktor biokonsentrasi dan faktor translokasi semai *A. mangium*

Perlakuan	FB		FT
	Pucuk	Akar	
P0 (0 mg Pb/kg tailing)	0.9	2.8	0.33
P1 (150 mg Pb/kg tailing)	0.3	3.8	0.07
P2 (300 mg Pb/kg tailing)	0.1	2.1	0.03
P3 (450 mg Pb/kg tailing)	0.2	1.8	0.10
P4 (900 mg Pb/kg tailing)	0.1	1.6	0.03



Gambar 2 Indeks toleransi semai *A. mangium*

tertinggi, dan menurun pada penambahan Pb hingga konsentrasi 900 mg Pb/kg tailing, dimana IT mencapai 108%. Secara umum, IT cenderung meningkat hingga penambahan Pb pada konsentrasi 450 mg Pb/kg tailing dan menurun pada konsentrasi 900 mg Pb/kg tailing. IT spesies ini terhadap kontaminasi Pb masih berada pada level di atas 100%. Hal tersebut mengindikasikan jika semai *A. mangium* memiliki toleransi terbaik, bahkan pada konsentrasi 900 mg Pb/kg tailing. Magaña *et al.* (2011) menemukan bahwa *A. farnesiana* memiliki IT yang sangat tinggi, yaitu > 100% pada pemaparan Pb sebesar 250 – 500 mg/l, lalu mengalami penurunan menjadi < 75% ketika paparan Pb berada pada konsentrasi 750 mg/l. Arisusanti dan Purwani (2013) menyatakan bahwa pada saat menyerap logam berat, tanaman yang adaptif akan membentuk suatu enzim reduktase pada akar. Enzim reduktase tersebut berfungsi untuk mereduksi logam yang kemudian logam diangkut di dalam membran akar.

SIMPULAN

Keberadaan Pb pada beberapa konsentrasi di dalam media tailing emas memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan dan adaptabilitas semai *A. mangium*. Semai *A. mangium* memiliki pertumbuhan dan adaptabilitas yang baik terhadap media yang terkontaminasi Pb hingga penambahan 900 mg Pb/kg tailing, dimana indeks toleransinya mencapai nilai > 100%. Semai *A. mangium* memiliki kemampuan dalam mengakumulasi Pb hingga 460.78 mg/kg tailing. Adapun zona perakaran semai *A. mangium* merupakan bagian yang mengakumulasi Pb lebih tinggi daripada bagian pucuk. Berdasarkan hal tersebut, maka *A. mangium* memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai tanaman revegetasi pada lahan pasca tambang sekaligus tanaman fitoremediasi logam Timbal.

DAFTAR PUSTAKA

- [ATSDR] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2017. Priority list of hazardous substances [Internet]. [diunduh 2019 Juli 15]. Tersedia pada: <https://www.atsdr.cdc.gov/spl/>.
- Aziz T. 2015. A mini review on Lead (Pb) toxicity in plants. *Journal of Biology and Life Science*. 6(2): 91-101.
- Cunningham SD, Ow DW. 1996. Promises and prospect of phytoremediation. *Plant Physiol*. 110: 715-719.
- Fahr M, Laplaze L, Bendaou N, Hocher V, El Mzibri M, Bogusz D, Smouni A. 2013. Effect of lead on root growth. *Frontiers in Plant Science*. 4(175): 1-7. doi: 10.3389/fpls.2013.00175.
- Hardiani H. 2009. Potensi tanaman dalam mengakumulasi logam Cu pada media tanah terkontaminasi limbah padat industri kertas. *BS*. 44(1): 27-40.
- Hardjowigeno S. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta (ID): Akademika Pressindo.
- Haryanti D, Budianta D, Salni. 2013. Potensi beberapa jenis tanaman hias sebagai fitoremediasi logam timbal (Pb) dalam tanah. *Jurnal Penelitian Sains*. 16(2D): 52-58.
- Herliyana EN, Achmad, Putra A. 2012. Pengaruh pupuk organik cair terhadap pertumbuhan bibit jabon (*Anthocephalus cadamba* miq.) dan ketahanannya terhadap penyakit. *Jurnal Silviculture Tropika*. 03(03): 168-173.
- Herman DZ. 2006. Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. *Jurnal Geologi Indonesia*. 1(1): 31-36.
- Indranada HK. 1989. *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Semarang (ID): Bina Aksara.
- Liu D, Jiang W, Liu C, Xin C, Hou W. 2000. Uptake and accumulation of lead by roots, hypocotyls and shoots of Indian mustard (*Brassica juncea* (L.). *Bioresource Technology*. 71(2000): 273-277.
- Liu J-n, Zhou Q, Sun T, Ma LQ, Wang S. 2008. Growth responses of three ornamental plants to Cd and Cd-Pb stress and their metal accumulation characteristics. *Journal of Hazardous Materials*. 151(2008): 261-267.
- Magaña AM, Torres EF, Cabrera FR, Sepulveda TLV. 2011. Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production. *Plant Soil* 2011(339): 377-389. doi: 10.1007/s11104-010-0589-6.
- Malar S, Vikram SS, Favas PJC, Perumal V. 2014. Lead heavy metal toxicity induced changes on growth and antioxidative enzymes level in water hyacinths (*Eichhornia crassipes* (Mart.). *Botanical Studies*. 55(54): 2-11.
- Mokany K, Raison RJ, Prokushkin NS. 2006. Critical analysis of root:shoot ratios in terrestrial biomes. *Global Change Biology*. 12: 84-96.
- Kopittke PM, Asher CJ, Kopittke RA, Menzies NW. 2007. Toxic effect of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution*. 150(2007) 280-287.
- Nagajyoti PC, Lee KD, Srekanth TVM. 2010. Heavy metals, occurrence, and toxicity for plants: a review. *Environ Chem Lett*. 8(3): 199-216.
- Niu ZX, Sun LN, Sun TH, Li YS, Wang H. 2007. Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *J Environ Sci*. 19(8): 961-967.
- Rabie GH. 2005. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungus to red kidney and wheat plants tolerance grown in heavy metal-polluted soil. *African Journal of Biotechnology*. 4(4): 332-345.
- Rezvani M, Zaefarian F. 2011. Bioaccumulation and translocation factors of cadmium and lead in *Aelurops littoralis*. *Australian Journal of Agricultural Engineering*. 2(4): 114-119.
- Setyaningsih L. 2012. Adaptabilitas semai tanaman hutan terhadap timbal pada media tailing dengan aplikasi kompos aktif dan fungi mikoriza arbuskula [disertasi]. Bogor (ID): Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Setyaningsih L, Setiadi Y, Sopandie D, Budi SW. 2012. Organic acid characteristic and Tolerance of sengon (*Paraserianthes falcataria* L Nielsen) to

- lead. *JMHT*. 18(3): 177-183. doi: 10.7226/jtfm.18.2.177.
- Sharma P, Dubey RS. 2005. Lead toxicity in plants. *Braz. J. Plant Physiol.* 17(1): 35-52.
- Wasis B, Sandrasari A. 2011. Pengaruh penambahan pupuk kompos terhadap pertumbuhan semai mahoni (*Swietenia macrophylla* King.) pada media tanah bekas tambang emas (tailing). *Jurnal Silviculture Tropika*. 3(1): 109-112.
- Wasis B, Mulyana D, Winata B. 2015. Pertumbuhan semai jabon (*Anthocephalus cadamba*) pada media bekas tambang pasir dengan penambahan *sub soil* dan arang tempurung kelapa. *Jurnal Silviculture Tropika*. 6(2): 93-100.
- Wulandari AS, Susanti S. Aplikasi pupuk daun organik untuk meningkatkan pertumbuhan bibit jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq.). *Jurnal Silviculture Tropika* 03(02): 137-142.
- Zou T, Li T, Zhang X, Yu H, Huang H. 2012. Lead accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing in a lead-zinc mine tailing. *Environ Earth Sci.* 65(2012): 621-630. doi: 10.1007/s12665-011-1109-6.