

PERAN FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA (FMA) DAN ASAM HUMAT TERHADAP PERTUMBUHAN BALSA (*Ochroma bicolor* Rowlee.) PADA TANAH TERKONTAMINASI TIMBAL (Pb)

*The Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) and Humic Acid Toward Balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee.) Growth on Soil Contaminated by Lead (Pb)*

Fatimah Nur Istiqomah^a, Sri Wilarso Budi^b, Arum Sekar Wulandari^b

^a Program studi Silvikultur Tropika, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680 — istiqomah.klaten@gmail.com

^b Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Abstract. The aims of this research were to analyze the role of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and humic acid toward balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee.) growth on soil contaminated by lead (Pb) and to analyze Pb accumulation in balsa. This study used a split split plot design. The main plot was AMF with 5 levels; without AMF (A0), AMF from secondary forest (A1), AMF from rubber natural forest (A2), AMF from oil palm plantations (A3), and AMF from rubber plantations (A4). The subplot was humic acid with 2 levels; no humic acid (B0) and 100 mL humic acid (B1). The sub subplot was Pb with 3 levels; 0 ppm Pb (C0), 500 ppm Pb (C1), and 750 ppm Pb (C2). Observations of balsa seedlings was done until age of 22 weeks after planting in the greenhouse. Variables observed were height (cm), diameter (mm), shoot dry weight (g), root dry weight (g), FMA colonization (%), and the accumulation of Pb (ppm). The role of AMF and humic acid was more effective on the soil with 0 ppm of Pb than at 500 ppm of Pb and 750 ppm of Pb. AMF from rubber natural forest was the most effective AMF to increase diameter, root dry weight and shoot dry weight. Humic acid was able to increase the growth of height of 22.87% and diameter of 24.86% better than no humic acid. Pb accumulation in the entire plant tissue was more than 1000 ppm. It inhibited the growth of balsa seedlings and causing dead in 17.52% plant.

Keywords: Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Pb, humic acid, *Ochroma bicolor*, phytoremediation

(Diterima: 26-12-2016; Disetujui: 13-02-2017)

1. Pendahuluan

Logam timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan organisme lainnya. Logam berat Pb dihasilkan oleh kendaraan bermotor (Rangkuti, 2004), limbah cair industri (Haryati *et al.*, 2012), dan paling banyak terdapat di lahan pasca tambang (Setyaningsih, 2007). Menurut Widaningrum *et al.*, (2007), akumulasi Pb di dalam tubuh manusia dalam jangka lama dapat menyebabkan gangguan sistem peredaran darah, urat syaraf, dan ginjal. Sedangkan logam berat Pb di dalam tanah mengakibatkan toksik pada tanaman, sehingga mengganggu fotosintesis dan menghambat pertumbuhan, sebagai contoh *Avicenia marina* pada sedimen yang mengandung Pb 13.15 ppm mengalami kerusakan jaringan buah dan daun (Arisandy *et al.*, 2012) dan Mindi (*Melia azedarach* Linn.) pada media tailing yang mengandung Pb 172 ppm mengakibatkan penurunan tinggi sebesar 28.4% dibandingkan kontrol (Setyaningsih, 2007).

Pb akan menjadi toksik jika konsentrasinya tinggi. Batas normal Pb pada tanah adalah 2 – 200 ppm dan pada tanaman 0.2 – 20 ppm (Balai Penelitian Tanah 2009). Tingkat pencemaran Pb di Indonesia masih di bawah ambang batas pencemaran, namun harus tetap diwaspadai. Kayu manis (*C.burmani*) di sisi kiri tol Jagorawi mengakumulasi Pb rata-rata 7.95 ppm pada

daun dan 19.59 ppm pada kulit batang (Rangkuti, 2004). Kandungan Pb pada tanah non-tambang di berbagai lokasi berkisar antara 0.39 – 1.21 ppm (Suhariyono dan Menry, 2005), sementara itu pada tanah bekas tambang emas 172 ppm (Setyaningsih, 2007), limbah batu bara 54.26 ppm (Noviardi, 2013), dan tanah bekas tambang timah 7.7 ppm (Gedooan *et al.*, 2011). Upaya untuk menghilangkan Pb dari tanah salah satunya dengan fitoremediasi. Menurut Prijambada (2006), fitoremediasi merupakan upaya untuk menghilangkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik berupa senyawa organik maupun anorganik menggunakan tumbuhan.

Jenis tumbuhan yang mampu mengakumulasi logam berat Pb umumnya berupa tumbuhan bawah dan tanaman hias, seperti sambang dara (*Excoecaria cochinchensis*), hanjuang (*Cordyline fruticososa*), dan *Aglaonema* (Haryanti *et al.*, 2013). Penggunaan jenis pohon kehutanan seperti Balsa (*Ochroma bicolor* Rowlee.) yang dikenal sebagai jenis cepat tumbuh atau *fast growing* spesies dan tergolong tanaman reboisasi sebagai akumulator logam berat Pb belum pernah diuji. Kayu balsa dimanfaatkan untuk pelampung kapal, sebagai isolator, dan bahan pembuatan pulp (Alrasyid, 1996). Tanaman cepat tumbuh cocok digunakan sebagai fitoremediasi logam berat karena memiliki biomassa dan transpirasi tinggi, serta sistem perakaran yang luas (Bissonnette *et al.*, 2010).

Asam humat dan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) ditambahkan pada media tanah yang tercemar logam berat Pb untuk menunjang pertumbuhan balsa. Asam humat merupakan bio-organik yang berfungsi sebagai pembenah tanah. Manfaat asam humat menurut Karti dan Setiadi (2011) antara lain: melarutkan mineral yang tidak tersedia, meningkatkan penyerapan unsur hara, memperbaiki kesuburan tanah, serta memperbaiki pertumbuhan, kesehatan, dan kualitas dari tanaman. Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan simbiosis mutualisme antara akar tanaman tingkat tinggi dengan fungi. Menurut Arisusanti dan Purwani (2013), FMA dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap logam berat Pb, meningkatkan akumulasi Pb di akar, serta menghambat akumulasi Pb pada batang dan daun. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran FMA dan asam humat terhadap pertumbuhan semai balsa pada tanah terkontaminasi Pb, serta menganalisis akumulasi Pb pada semai balsa.

2. Metode

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 10 bulan dari bulan Oktober 2015 sampai Juli 2016. Penanaman semai balsa dilakukan di rumah kaca Departemen Silviculture. Isolasi spora dan analisis parameter setelah panen dilakukan di Laboratorium teknologi mikoriza dan peningkatan kualitas bibit Departemen Silviculture IPB. Analisis tanah dan logam berat Pb dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan IPB.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah Podsolik Merah Kuning, zeolit, pasir, benih balsa (*O. bicolor*), benih sorgum, inokulum FMA jenis *Acaulospora*, asam humat, $(\text{PbNO}_3)_2$, dan aquades. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkul, saringan tanah, karung, plastik anti panas, mikroskop stereo, oven, autoklaf, neraca analitik, kaliper, botol film, polibag (15x20) cm, gembor, rak *trapping*, kulkas, cawan petri, saringan bertingkat berukuran 250 μm , 125 μm , dan 63 μm , mikro pipet, gelas ukur, sudip, pinset, kaca preparat, dan *cover glass*.

2.3. Prosedur penelitian

a. Penangkaran FMA (*Trapping*) dan isolasi spora

Teknik penangkaran FMA dan isolasi spora mengikuti metode Brundrett *et al.*, (1996). Tanah yang digunakan untuk *trapping* FMA berasal dari empat ekosistem di Jambi, yaitu hutan sekunder, hutan karet alam, kebun kelapa sawit, dan hutan tanaman karet. Tanah tersebut masing-masing ditimbang sebanyak 50 gram, kemudian dimasukkan dalam pot-pot kecil dengan susunan zeolit-tanah-zeolit. Benih sorgum

kemudian disipih pada media tersebut dan dirawat selama 3 bulan untuk kemudian dilakukan isolasi spora. Spora disaring menggunakan saringan bertingkat dengan diameter 250 μm , 125 μm , dan 63 μm di bawah air mengalir, kemudian spora dipisahkan berdasarkan genus yang dominan (*Acaulospora*) sebanyak 30 spora/botol.

b. Sterilisasi tanah dan persiapan media

Tanah podsolik merah kuning diambil dari Haurbentes, Jasinga pada kedalaman 1 – 40 cm. Tanah dikeringanginkan selama 7 hari, selanjutnya diayak menggunakan saringan tanah berukuran 5 mm. Tanah disterilkan menggunakan autoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit. Setiap 1 kg tanah steril dicampur dengan $(\text{PbNO}_3)_2$ dengan konsentrasi 500 ppm dan 750 ppm, setelah 24 jam ditambahkan asam humat dengan konsentrasi 2.5% (v/v) sebanyak 100 mL.

c. Pengecambahan, penyapihan, dan inokulasi FMA

Benih balsa direndam dalam air panas suhu 80 °C selama 12 jam, kemudian ditaburkan di atas media pasir dan tanah dengan perbandingan 1:1 (b/b). Setelah berkecambah dengan tinggi minimal 2 cm, semai balsa disipih pada polibag. Semai balsa dibiarkan beradaptasi dalam rumah kaca kurang lebih 3 minggu, kemudian dilakukan inokulasi FMA sebanyak 30 spora/polibag. Inokulasi dilakukan dengan cara melubangi tanah sedalam jari telunjuk sampai terlihat akar utama, kemudian spora dimasukkan dalam lubang tersebut dekat dengan akar tanaman.

2.4. Rancangan Percobaan dan Analisis data

Rancangan percobaan pada penelitian ini menggunakan split split plot design. Petak utama adalah FMA dengan 5 taraf, yaitu: tanpa FMA (A0), FMA asal hutan sekunder (A1), FMA asal hutan alam karet (A2), FMA asal kebun kelapa sawit (A3), dan FMA asal hutan tanaman karet (A4). Anak petak adalah asam humat dengan 2 taraf, yaitu: tanpa asam humat (B0) dan asam humat 100 mL (B1). Anak anak petak adalah Pb dengan 3 taraf, yaitu: Pb 0 ppm (C0), Pb 500 ppm (C1), dan Pb 750 ppm (C2). Berdasarkan ketiga faktor tersebut diperoleh 30 kombinasi perlakuan dengan 5 ulangan, sehingga terdapat 150 semai balsa. Data dianalisis menggunakan sidik ragam *software* SAS 9.1 (SAS Institute Inc. 2004) pada taraf nyata 5%, jika perlakuan berpengaruh nyata dilakukan uji lanjut Duncan.

2.5. Variabel pengamatan

Variabel yang diamati yaitu tinggi (cm), diameter (mm), berat kering pucuk (g), berat kering akar (g), dan akumulasi Pb (ppm). Perhitungan akumulasi Pb sesuai dengan rumus sebagai berikut (Hardiani, 2009).

$$\text{Akumulasi Pb} = \frac{\text{Berat Pb pada tanaman}}{\text{Berat kering total}} \text{ mg/kg}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Rekapitulasi sidik ragam pertumbuhan semai balsa umur 22 minggu setelah tanam (MST) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa interaksi ketiga faktor serta interaksi FMA dengan asam humat tidak berpengaruh terhadap semua parameter pengamatan. Interaksi FMA dengan Pb dan interaksi asam humat dengan Pb berpengaruh nyata terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar. FMA berpengaruh positif terhadap pertambahan diameter dan berat kering akar.

Asam humat berpengaruh terhadap pertambahan tinggi dan diameter. Pb berpengaruh negatif sangat nyata terhadap seluruh parameter semai balsa umur 22 MST.

3.1. Tinggi dan Diameter Semai Balsa

Pemberian asam humat memberikan respon pertumbuhan positif dan Pb memberikan respon negatif terhadap tinggi dan diameter semai balsa, sedangkan jenis FMA menunjukkan respon yang berbeda-beda terhadap tinggi dan diameter tergantung kepada asal ekosistem FMA yang digunakan (Tabel 2).

Tabel 1. Rekapitulasi sidik ragam pertumbuhan semai balsa umur 22 MST

Parameter	A	B	C	A x B	A x C	B x C	A x B x C
Pertambahan tinggi (cm)	tn	*	**	tn	tn	tn	tn
Pertambahan diameter (mm)	*	**	**	tn	tn	tn	tn
Berat kering pucuk (g)	tn	tn	**	tn	*	*	tn
Berat kering akar (g)	*	tn	**	tn	**	*	tn

Keterangan: A= FMA, B= asam humat, C=Pb, **= berpengaruh sangat nyata pada ($P \leq 0.01$), *= berpengaruh nyata pada ($0.01 < P \leq 0.05$), dan tn= berpengaruh tidak nyata pada ($P > 0.05$).

Tabel 2. Pengaruh FMA, asam humat, dan Pb terhadap pertumbuhan tinggi dan diameter semai balsa umur 22 MST

Perlakuan	Tinggi (cm)	Peningkatan (%)	Diameter (mm)	Peningkatan (%)
FMA				
A0 (tanpa FMA)	1.09 ^a	00.00	1.05 ^{ab}	0.00
A1 (Hutan sekunder)	1.09 ^a	00.00	1.06 ^{ab}	7.74
A2 (Hutan karet alam)	1.14 ^a	00.00	1.08 ^a	19.82
A3 (Kebun kelapa sawit)	1.03 ^a	00.00	1.00 ^b	-24.11
A4 (Hutan tanaman karet)	1.11 ^a	00.00	1.01 ^{ab}	-8.71
Asam humat				
B0 (0 mL)	1.05 ^b	00.00	1.01 ^b	0.00
B1 (100mL)	1.13 ^a	22.87	1.07 ^a	24.86
Pb				
C0 (0 ppm)	1.46 ^a	00.00	1.24 ^a	0.00
C1 (500 ppm)	0.93 ^b	-86.51	0.96 ^b	-72.55
C2 (750 ppm)	0.89 ^b	-88.42	0.91 ^b	-77.63

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf α 5%

Asam humat mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi semai balsa 22.87% dan diameter 24.86% lebih baik dibandingkan tanpa asam humat (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan penelitian (Karti *et al.*, 2009), asam humat efektif meningkatkan tinggi tanaman jagung dan legum pada tanah tailing dan latosol. Menurut Tisdale *et al.* (1990), asam humat merupakan pembenah tanah yang mampu mengkhelat Al dan logam berat. Asam humat mampu menyerap unsur hara yang kemudian akan dilepaskan secara simultan saat terjadi pertukaran unsur hara dengan tanaman, sehingga meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman.

FMA dari hutan karet alam merupakan jenis FMA terbaik yang mampu meningkatkan pertambahan diameter semai balsa 19.82% lebih baik dibandingkan tanpa FMA dan FMA asal kebun kelapa sawit merupakan jenis FMA paling buruk yang mengakibatkan penurunan diameter sebesar 24.11% dibandingkan tanpa FMA (Tabel 2). FMA yang

berasal dari ekosistem yang berbeda memiliki efektivitas yang berbeda dan jenis FMA *indigenous* lebih efektif daripada sumber inokulum FMA lainnya. Miska (2015) menyatakan inokulum FMA *indigenous* mampu meningkatkan pertumbuhan bibit aren berdasarkan parameter tinggi tanaman, panjang pelepah daun, diameter pangkal pelepah, bobot kering tajuk, biomassa total, serapan hara P, jumlah spora, dan persen infeksi akar daripada *mycofer* (campuran inokulum FMA pada media zeolit). FMA yang digunakan dalam penelitian ini merupakan FMA *indigenous* yang berasal dari 4 ekosistem di Jambi. FMA yang berasal dari hutan karet alam merupakan isolat yang paling efektif, hal tersebut diduga karena ekosistem hutan karet alam kondisinya masih alami dan belum banyak mendapatkan gangguan manusia.

FMA berperan sebagai *biofertilizer*, perbaikan struktur tanah, meningkatkan penyerapan hara, melindungi tanaman dari patogen akar, dan unsur toksik seperti logam berat. FMA melindungi tanaman

inang dari logam berat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi melalui eksudat akar yang dikeluarkan tanaman inang, dan akumulasi di dalam hifa (Rossiana, 2003).

Pemberian Pb 500 ppm dan 750 ppm menurunkan pertumbuhan tinggi dan diameter semai balsa dibandingkan media tanpa Pb (Tabel 2). Semai balsa pada media tanpa Pb tumbuh normal dan pertumbuhannya cenderung lebih baik dengan penambahan FMA dan asam humat. Sementara itu pada media Pb 500 ppm dan 750 ppm, semai balsa menunjukkan pertumbuhan tinggi sangat lambat, tanaman menjadi kerdil dan sebagian mati. Hal ini menunjukkan bahwa FMA dan asam humat belum berperan dalam meningkatkan pertumbuhan semai balsa pada media yang mengandung Pb 500 ppm dan 750 ppm. Hal yang sama ditemukan pada semai mindi di tanah tailing yang mengandung Pb 172 ppm mengalami penurunan diameter sebesar 9.7% dibandingkan media tanah kontrol. Pemberian FMA

jenis NPI 126 dan *mycofer* pada media tanah kontrol, tailing murni, dan campuran tanah+tailing baik dengan penambahan kompos maupun tanpa kompos tidak berbeda nyata dengan semai mindi tanpa inokulasi FMA. Pertumbuhan tinggi dan diameter pada media tailing murni tidak meningkat secara signifikan, namun pertumbuhan semai mindi pada media dengan penambahan kompos cenderung lebih baik (Setyaningsih, 2007).

3.2. Berat Kering Pucuk dan Berat Kering Akar

Asam humat tidak berpengaruh nyata, sedangkan FMA dan Pb berpengaruh nyata terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar semai balsa 22 MST. Hasil uji duncan pengaruh FMA dan Pb terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar semai balsa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengaruh FMA dan Pb terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar semai balsa umur 22 MST

Perlakuan	Berat Kering Pucuk (g)	Peningkatan (%)	Berat Kering Akar (g)	Peningkatan (%)
FMA				
A0 (tanpa FMA)	0.79 ^a	00.00	0.75 ^b	00.00
A1 (Hutan sekunder)	0.79 ^a	00.00	0.73 ^b	-16.35
A2 (Hutan karet alam)	0.83 ^a	00.00	0.82 ^a	144.98
A3 (Kebun kelapa sawit)	0.77 ^a	00.00	0.76 ^b	40.14
A4 (Hutan tanaman karet)	0.79 ^a	00.00	0.79 ^{ab}	94.42
Pb				
C0 (0 ppm)	0.95 ^a	00.00	0.90 ^a	00.00
C1 (500 ppm)	0.71 ^b	-87.28	0.72 ^b	-81.43
C2 (750 ppm)	0.70 ^b	-90.43	0.70 ^b	-87.13

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf α 5%.

FMA asal hutan karet alam mampu meningkatkan berat kering akar semai balsa sebesar 144.98% dibandingkan tanpa FMA. Media yang diberi Pb 500 ppm dan 750 ppm menurunkan berat kering pucuk semai balsa sebesar 87.28% dan 90.43%, serta menurunkan berat kering akar sebesar 81.43% dan 87.13% dibandingkan dengan media tanpa Pb (Tabel 3). Pertumbuhan semai balsa pada media yang mengandung Pb 500 ppm dan 750 ppm tergolong tidak normal, hal tersebut ditandai dengan daun yang menguning kemudian mengering dan rontok, akar pendek, serta pertumbuhannya kerdil. Haryati *et al.* (2012) menjelaskan Pb termasuk logam berat yang dapat mengganggu aktivitas enzim, sehingga reaksi kimia di dalam sel terganggu. Hal tersebut menyebabkan kerusakan jaringan epidermis, spons, dan palisade yang ditandai dengan nekrosis dan klorosis pada tanaman.

Tabel 4 menjelaskan bahwa interaksi asam humat dengan Pb 500 ppm dan 750 ppm tidak berbeda nyata terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar, namun keduanya lebih rendah dibandingkan dengan media tanpa Pb Dosis asam humat 2.5% sebanyak 100 mL belum mampu meningkatkan berat kering akar dan berat kering pucuk semai balsa pada media

terkontaminasi Pb tinggi. Pemberian asam humat sebaiknya disertai dengan penambahan kompos untuk menghasilkan biomassa tinggi. Menurut Iqbal (2016), dosis asam humat sebanyak 1 ml dengan penambahan kompos 2.5 kg/lubang tanam mampu meningkatkan berat kering akar dan pucuk sengon (*Paraserienthes falcataria*) pada tanah bekas tambang nikel.

Berat kering pucuk dan akar pada interaksi FMA dengan Pb 500 ppm dan 750 ppm lebih rendah daripada media Pb 0 ppm. Semai balsa pada media Pb 0 ppm tumbuh dengan normal tanpa gangguan logam berat Pb, sedangkan pada media terkontaminasi Pb pertumbuhan semai balsa tertekan meskipun sudah diberi FMA (Tabel 4). Hasil penelitian ini berbeda dengan Nadeak (2015), yang menyebutkan bahwa interaksi FMA dengan Pb 400 ppm/3 kg tanah pada semai sengon 12 MST tidak berpengaruh nyata terhadap berat kering pucuk dan akar. Setiap jenis tanaman menunjukkan respon yang berbeda terhadap perlakuan FMA dan Pb. Menurut Wang (2007), pengaruh mikoriza dalam pengambilan logam berat berbeda untuk setiap jenis tanaman, tergantung pada jenis mikoriza, konsentrasi dan ketersediaan logam berat serta sifat-sifat tanah.

Interaksi asam humat dengan Pb 500 ppm dan 750 ppm terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar semai balsa dapat dilihat pada Tabel 4.

3.3. Akumulasi Pb pada Semai Balsa

Akumulasi Pb merupakan jumlah logam Pb yang terdapat di dalam tanaman. Akumulasi Pb tertinggi yaitu sebesar 2571.17 ppm terdapat pada interaksi perlakuan FMA asal kebun kelapa sawit tanpa asam

humat pada media Pb 750 ppm (Tabel 5). Menurut Widyati (2011), tanaman yang mampu mengakumulasi logam berat Ni, Cu, Co, Cr, dan Pb lebih dari 1000 mg/kg biomas disebut sebagai tanaman hiperakumulator. Pada kondisi cekaman Pb yang sangat tinggi, semai balsa mampu bertahan hidup namun pertumbuhannya terganggu dan beberapa semai balsa mati, sehingga balsa bukan tergolong tanaman hiperakumulator.

Tabel 4. Pengaruh interaksi asam humat dan FMA dengan Pb terhadap berat kering pucuk dan berat kering akar semai balsa umur 22 MST

Perlakuan	Pb (ppm)					
	Berat Kering Pucuk (g)			Berat Kering Akar (g)		
	C0 (0)	C1 (500)	C2 (750)	C0 (0)	C1 (500)	C2 (750)
Asam humat						
B0 (0 mL)	0.94 ^a	0.70 ^b	0.72 ^b	0.87 ^a	0.72 ^b	0.70 ^b
B1 (100 mL)	0.96 ^a	0.69 ^b	0.73 ^b	0.85 ^a	0.69 ^b	0.70 ^b
FMA						
A0 (tanpa FMA)	0.94 ^{ab}	0.70 ^c	0.72 ^c	0.87 ^c	0.72 ^{bcd}	0.70 ^{bcd}
A1 (Hutan sekunder)	0.70 ^c	0.87 ^{abc}	0.69 ^c	0.69 ^{cd}	0.83 ^{bcd}	0.69 ^{bcd}
A2 (Hutan karet alam)	1.05 ^a	0.77 ^{bc}	0.68 ^c	1.05 ^a	0.81 ^{bcd}	0.67 ^d
A3 (Hutan kelapa sawit)	0.68 ^c	0.89 ^{abc}	0.68 ^c	0.85 ^{bcd}	0.68 ^d	0.67 ^d
A4 (Hutan tanaman karet)	0.90 ^{abc}	0.69 ^c	0.75 ^{bc}	0.88 ^b	0.69 ^{bcd}	0.74 ^{bcd}

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Duncan pada taraf α 5%.

Tabel 5. Akumulasi Pb semai balsa umur 22 MST.

FMA	Perlakuan	Asam humat (mL)	Akumulasi Pb (ppm)	
			Pb (ppm)	(ppm)
Tanpa FMA	0	0	0	tidak terukur
			500	1200.11
			750	1279.79
	100	0	0	8.88
			500	1265.07
			750	1348.95
FMA asal hutan sekunder	0	0	0	9.00
			500	475.65
			750	1743.13
	100	0	0	tidak terukur
			500	1313.04
			750	2252.66
FMA asal hutan karet alam	0	0	0	6.22
			500	940.62
			750	1690.00
	100	0	0	4.44
			500	1036.75
			750	1294.70
FMA asal kebun kelapa sawit	0	0	0	3.56
			500	1180.47
			750	2571.17
	100	0	0	tidak terukur
			500	1482.38
			750	1873.70
FMA asal hutan tanaman karet	0	0	0	14.20
			500	1394.05
			750	1448.20
	100	0	0	25.74
			500	1833.30
			750	2091.55

Akumulasi Pb terendah yaitu sebesar 3.56 ppm terdapat pada interaksi perlakuan FMA asal kebun kelapa sawit tanpa asam humat pada media tanpa Pb. Semai balsa pada media tanpa Pb ditemukan akumulasi Pb berkisar antara 3.56 ppm – 25.75 ppm, hal ini disebabkan media awal yang digunakan sudah mengandung Pb sebesar 1.32 ppm. Akumulasi Pb pada semai balsa lebih tinggi dari dosis Pb yang diberikan (Tabel 5). Peningkatan akumulasi Pb tersebut diduga karena faktor penyiraman yang terus dilakukan sampai 22 minggu dan udara yang juga mengandung logam berat Pb. Selain itu tanah yang digunakan pada penelitian tergolong liat, sehingga unsur-unsur di dalam tanah terjerap dan sukar tercuci. Hal yang sama ditemukan pada tanaman kangkung darat (*Ipomea reptans* Poir) yang dapat mengakumulasi Pb sampai 1627.90 ppm pada waktu optimum 3 minggu dengan pemberian Pb 100 ppm (Liong, 2010).

Akumulasi Pb pada media dengan penambahan asam humat secara umum lebih tinggi daripada tanpa asam humat (Tabel 5). Menurut Rahmawati (2011), serapan Pb oleh asam humat sangat dipengaruhi pH. Hardjowigeno (1995) menambahkan tanah pH masam menyebabkan logam berat yang terkandung dalam medium tersebut menjadi larut dan aktif diserap oleh tanaman. Media tanah yang digunakan memiliki pH sangat masam yaitu 3.65 sehingga logam berat Pb aktif diserap oleh semai balsa.

Akumulasi Pb oleh semai balsa umur 22 MST dapat dilihat pada Tabel 5. Semai balsa yang diberi FMA secara umum mampu mengakumulasi logam berat Pb lebih banyak dibandingkan tanpa FMA (Tabel 5). Salisbury dan Ross (1995) menjelaskan, logam berat diserap oleh akar tanaman dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air. Tanaman dengan media yang banyak mengandung logam berat akan membentuk senyawa pengikat yang disebut fitokhelatin. Bila bertemu dengan logam berat Pb, fitokhelatin akan membentuk ikatan sulfida di ujung belerang pada sistein dan membentuk senyawa kompleks, sehingga Pb akan terbawa menuju jaringan tumbuhan. Menurut Rossiana (2003), FMA akan mengakumulasi Pb pada bagian hifa.

Semai balsa bermikoriza mampu mengakumulasi Pb lebih banyak, namun FMA sendiri belum mampu meningkatkan pertumbuhan semai balsa pada kondisi cekaman Pb tinggi. Hal tersebut dikarenakan terjadi kompetisi serapan ion toksik dengan ion hara di dalam tanah (Rossiana, 2003). Jumlah ion hara yang diperlukan untuk pertumbuhan lebih sedikit daripada ion toksik, sehingga pertumbuhan tanaman terhambat meskipun sudah diberi perlakuan FMA.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

FMA dan asam humat belum menunjukkan peran pada media yang mengandung Pb 500 ppm dan 750

ppm. FMA asal hutan karet alam paling efektif dalam meningkatkan diameter, berat kering akar, dan berat kering pucuk semai balsa. Asam humat mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi 22.87% dan diameter 24.86% semai balsa lebih baik dibandingkan tanpa asam humat. Akumulasi Pb pada seluruh jaringan tanaman lebih dari 1000 ppm, hal itu membuat pertumbuhan semai balsa menjadi terhambat, tanaman menjadi kerdil dan 17.52% mati

4.2. Saran

Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengetahui peran FMA dan asam humat terhadap pertumbuhan tanaman lain pada media yang mengandung Pb kurang dari 500 ppm. Semai balsa tidak tergolong sebagai tanaman hiperakumulator Pb, sehingga balsa tidak direkomendasikan sebagai tumbuhan potensial untuk fitoremediasi Pb.

Daftar Pustaka

- [1] Alrasyid, H., 1996. Teknik Penanaman dan Pemungutan Kayu Balsa. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Bogor.
- [2] Arisandy, K. R., E. Y. Herawati, E. Suprayitno, 2012. Akumulasi logam berat timbal (Pb) dan gambaran histologi pada jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di perairan Pantai Jawa Timur. Jurnal Penelitian Perikanan 1(1), pp. 15-25.
- [3] Arisusanti, R., K. Purwani, 2013. Pengaruh mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap akumulasi logam timbal (Pb) pada tanaman *Dahlia pinnata*. Jurnal Sains dan Seni Pomits 2 (2), pp. 2337-3520.
- [4] Balai Penelitian Tanah, 2009. Petunjuk Teknis: Analisis Kimia Tanah Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- [5] Bissonnette, M., M. Arnaud, M. Labrecque, 2010. Phytoextraction of heavy metals by two Salicaceae clones in symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungi during the second year of a field trial. Plant Soil (332), pp. 55-67.
- [6] Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove, N. Malajczuk, 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.
- [7] Gedoan, S., A. Hartana, Hamim, U. Widyastuti, N. Sukarno, 2011. Pertumbuhan tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) pada tanah pasca tambang timah di Bangka yang diberi pupuk organik. Jurnal Ilmiah Sains 11(2), pp. 181-190.
- [8] Hardiani, H., 2009. Potensi tanaman dalam mengakumulasi logam Cu pada media tanah terkontaminasi limbah padat industri kertas. Bioscience 44(1), pp. 27-40.
- [9] Hardjowigeno, S., 1995. Ilmu Tanah. Akademia Pressindo, Jakarta.
- [10] Haryanti, D., D. Budianta, Salni, 2013. Potensi beberapa jenis tanaman hias sebagai fitoremediasi logam timbal (Pb) dalam tanah. Jurnal Penelitian Sains 16(2), pp. 52-58.
- [11] Haryati, M., T. Purnomo, S. Kuntjoro, 2012. Kemampuan tanaman genjer (*Limnocharis Flava* (L.)Buch.) menyerap logam berat timbal (Pb) limbah cair kertas pada biomassa dan waktu pemaparan yang berbeda. Lateral Bio 1(3).
- [12] Iqbal, Iskandar, S. W. Budi, 2016. Penggunaan bahan humat dan kompos untuk meningkatkan kualitas tanah bekas tambang nikel sebagai media pertumbuhan sengon (*Paraserianthes falcataria*). Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 6(1), pp. 53-60.
- [13] Karti, P. M. D. H., S. W. Budi, N. F. Mardatin, 2009. Optimalisasi kerja mycofer dengan augmentasi mikroorganisme tanah potensial dan asam humat untuk

- rehabilitasi lahan marginal dan terdegradasi di Indonesia. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* 14(2), pp. 118-131.
- [14] Karti, P. M. D. H., Y. Setiadi, 2011. Respon pertumbuhan, produksi, dan kualitas rumput terhadap penambahan fungsi mikoriza arbuskula dan asam humat pada tanah masam dengan aluminium tinggi. *JITV*. 16(2), pp. 105-112.
- [15] Liong, S., 2010. Mekanisme fitoakumulasi Cd (II), Cr (IV), dan Pb (II) pada kangkung darat (*Ipomoea reptans* Poir). Disertasi. Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [16] Miska M. E. L., 2015. Respon pertumbuhan bibit aren (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr.) terhadap inokulasi fungsi mikoriza indigenous. tesis. Sekolah pascasarjana IPB, Bogor.
- [17] Nadeak, J. O. S., Delvian, D. Elfiati, 2015. Pengaruh pemberian fungsi mikoriza arbuskula (FMA) terhadap kandungan logam timbal (Pb) pada tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*). *Penorema Forestry Science Journal* 4(3), pp. 1-8.
- [18] Noviardi, R., 2013. Limbah batubara sebagai pembenah tanah dan sumber nutrisi: Studi kasus tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*). *Riset Geologi dan Pertambangan* 23(1), pp. 61-72.
- [19] Prijambada, I. D., 2006. Peranan mikroorganisme pada fitoremediasi tanah tercemar logam berat. Di dalam: *Prosiding PIT PERMI*, pp. 117-135; [terhubung berkala]. http://faperta.ugm.ac.id/download/publikasi_ [15 Desember 2015].
- [20] Rahmawati, A., 2011. Pengaruh derajat keasaman terhadap adsorpsi logam kadmium(II) dan timbal(II) pada asam humat. *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi* 12(1), pp. 1-14.
- [21] Rangkuti, M. N. S., 2004. Kandungan logam berat timbal dalam daun dan kulit kayu tanaman kayu manis (*Cinnamomum burmani* Bl) pada sisi kiri jalan tol Jagorawi. *Biosmart*. 6(2), pp. 143-146.
- [22] Rossiana, N., 2003. Penurunan Kandungan logam Berat dan Pertumbuhan Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L (Nielsen)) Bermikoriza Dalam Medium limbah Lumpur. Universitas Padjajaran, Bandung.
- [23] Salisbury, F. B., C. W. Ross, 1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid II*. Dian R., Lukman, Sumaryono, penerjemah. Terjemahan dari: *Plant Physiology Vol 2*. ITB, Bandung.
- [24] SAS Institute Inc., 2004. *Base SAS 9.1 Procedures Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- [25] Setyaningsih, L., 2007. Pemanfaatan cendawan mikoriza arbuskula dan kompos aktif untuk meningkatkan pertumbuhan semai mindi (*Melia azedarach* Linn) pada media tailing tambang emas pongkor. Tesis. Program pascasarjana USU, Sumatra Utara.
- [26] Suhariyono, G., Y. Menry, 2005. Analisis karakteristik unsur-unsur dalam tanah di berbagai lokasi dengan menggunakan XRF. Dalam: *Prosiding PPI-PDIPTN 2005*; 2005 Jul 12. Yogyakarta, Puslitbang Teknologi Maju-BATAN, pp 197-206.
- [27] Tisdale, S. L., W. L. Nelson, J. D. Beaton, 1990. *Soil Fertility and Fertilizers* 4th Edition. Macmillan Publishing Company, New York.
- [28] Wang, F. Y., X. G. Lin, R. Yin, 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal fungal inoculation on heavy metal accumulation of maize grown in a naturally contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation* 9, pp. 345-353.
- [29] Widaningrum, Miskiyah, Suismono., 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternatif pencegahan cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* (3), pp. 16-27.
- [30] Widyati, E., 2011. Potensi tumbuhan bawah sebagai akumulator logam berat untuk membantu rehabilitasi lahan bekas tambang. *Mitra Hutan Tanaman* 6(2), pp. 47-56.