



## Serapan Logam Berat oleh Fungi Mikoriza Arbuskula Lokal pada *Nauclea orientalis* L. dan Potensial untuk Fitoremediasi Tanah Serpentine

*Heavy Metal Uptake by Indigenous Arbuscular Mycorrhizas of Nauclea orientalis L. and the Potential for Phytoremediation of Serpentine Soil*

Faisal Danu Tuheteru\*, Asrianti Arif, Eka Widiastuti, & Ninis Rahmawati

Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan, Universitas Halu Oleo. Jl. Mayjen S. Parman, Kendari 93121

\*E-mail : fdtuheteru1978@gmail.com

### HASIL PENELITIAN

Riwayat naskah:

Naskah masuk (received): 26 Oktober 2016

Diterima (accepted): 8 Januari 2017

### KEYWORDS

*Acaulospora tuberculata*  
lonkida  
rhizophyltration  
phytoextraction  
serpentine soil

### KATA KUNCI

*Acaulospora tuberculata*  
lonkida  
rizofiltrasi  
fitoekstraksi  
tanah serpentine

### ABSTRACT

*Effect of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on growth and metal uptake of Nauclea orientalis L. plants, has been investigated. Plants were grown in greenhouse conditions on serpentine soil media without and with the AMF (Glomus sp., Acaulospora tuberculata, and mix) for two months. Lonkida roots was colonized by AMF because it was found structures of AMF: internal hyphae>external hypae>coil>vesicles>arbuscule. Colonization A. tuberculata and Glomus sp. significantly increased dry weight of root ( $P<0.01$ ,  $r=0.810$ ) and shoot ( $P<0.05$ ,  $r=0.802$ ). N. orientalis has a high dependence on inoculation of AMF ( $MIE>65$ ). Transport Factor value (TF)  $<1$  for all metals with metal uptake sequence was Fe>Mn>Ni>Cr. Glomus sp reduced Fe and Ni uptake on roots by 13% and 3%, respectively. A. tuberculata increased the uptake of all metals. Metal uptake ability was difference among types of AMF.*

### INTISARI

Pengaruh fungi mikoriza arbuskula (FMA) lokal terhadap pertumbuhan dan serapan logam tanaman *Nauclea orientalis* L., telah diteliti. Tanaman ditumbuhkan pada kondisi rumah kaca pada media serpentine soil tanpa dan dengan FMA (*Glomus* sp., *Acaulospora tuberculata*, dan campuran) selama 2 bulan. Akar tanaman lonkida terkolonisasi FMA dengan ditemukan struktur FMA berupa hifa internal>hifa eksternal>coil>vesikula>arbuskula. Kolonisasi *A. tuberculata* dan *Glomus* sp. signifikan meningkatkan berat kering akar ( $P<0,01$ ,  $r=0,810$ ) dan pucuk ( $P<0,05$ ,  $r=0,802$ ). *N. orientalis* memiliki ketergantungan tinggi terhadap inokulasi FMA ( $MIE>65$ ). Nilai Transpor Faktor (TF)  $<1$  untuk semua logam dengan urutan serapan logam Fe>Mn>Ni>Cr. *Glomus* sp mengurangi serapan Fe dan Ni akar sebesar 13% dan 3%, secara berturutan. *A. tuberculata* meningkatkan serapan semua logam. Kemampuan serapan logam berbeda antara jenis FMA.

## Pendahuluan

Lonkida (*Nauclea orientalis* L.) termasuk jenis pohon multiguna dan termasuk famili Rubiaceae (LaFrankie 2010). Jenis ini tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan secara khusus tumbuh di beberapa tipe habitat di Sulawesi (Keßler et al. 2002). Beberapa tipe habitat itu adalah rawa permanen, rawa temporal, savana, hutan dataran rendah, karst serta lahan dengan tanah ultramafik atau serpentine (Kartikasari et al. 2012; Tuheteru 2015). *N. orientalis* memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai tumbuhan berpotensi obat (Collins et al. 2006, 2007; Sichaem et al. 2010), rehabilitasi lahan (Marghescu 2001), produksi kayu (Muslich et al. 2013) serta fitoremediasi. Khusus peran fitoremediasi, jenis ini dilaporkan berpotensi sebagai jenis fitoremediasi untuk unsur Fe, Mn, Cu, dan Zn pada konstruksi lahan basah air asam tambang (Tuheteru et al. 2016) dan Hg (Ekamawanti et al. 2014) dengan teknik rizofiltrasi. Informasi mekanisme serapan logam oleh tanaman lonkida pada media tanah pasca tambang nikel masih sangat terbatas.

Salah satu faktor penting dalam proses fitoremediasi dan kemampuan tumbuh tanaman pada kondisi kontaminasi logam berat adalah aplikasi fungsi mikoriza arbuskula (Takács 2012). Pada kondisi kontaminasi logam berat, FMA dapat memainkan peran dalam dua bentuk yakni fitoekstraksi (serap logam dan transfer akar ke pucuk) dan fitostabilisasi (immobilisasi logam) (Gohre & Pazkowski 2006; Takács 2012). Faktor yang membatasi peran FMA pada kondisi kontaminasi logam adalah *strain* dan ekotipe FMA serta jenis dan ekotipe tanaman inang (Leyval & Joner 2001; Zhang et al. 2005; Wang et al. 2005; Redon et al. 2009; Muleta & Woyessa 2012), meskipun masih banyak faktor lain yang turut berkontribusi. Banyak studi melaporkan bahwa FMA dapat meningkatkan (Joner & Leyval 1997; Tseng et al. 2009; Redon et al. 2009; Andrade et al. 2009), mengurangi (Vivas et al.

2005; Amir et al. 2013; Husna et al. 2016) serta tidak ada pengaruh (Galli et al. 1995) terhadap serapan logam pada tanaman.

Khusus pada tanah serpentine dengan toksitas logam tinggi (Ni, Cr, Mn), FMA mampu memperbaiki pertumbuhan dan serapan hara (khusus P). Selain itu serapan Ni tanaman oleh FMA tidak konsisten pada kondisi tanah serpentine. Pada tanaman sensitif Ni, FMA cenderung mengurangi kadar Ni pada pucuk *Phaseolus vulgaris* (Guo et al. 1996), pucuk *Trifolium repens* (Vivas et al. 2006), akar *Costularia comosa* (Lagrange et al. 2011, 2013), *Knautia arvensis* (Doubková et al. 2011), dan *Alpitonia neocaledonica* dan *Cloezia artensis* (Amir et al. 2013) dibanding kontrol. Fakta lain, inokulasi FMA meningkatkan kadar Ni jenis hiperakumulator nikel seperti *Berkheya coddii* (Turnau & Mesjasz-Przybyłowics 2003; Orłowska et al. 2011), dan sunflower (Ker & Christine 2009).

Studi tentang aplikasi FMA dengan lonkida pada media pasca tambang nikel dan potensi kedua untuk fitoremediasi masih terbatas. Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian uji coba simbiosis FMA dengan lonkida pada kondisi terkontaminasi logam berat media tanah pascatambang nikel.

## Bahan dan Metode

### Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April-Juli 2016 di rumah kaca Asosiasi Mikoriza Indonesia (AMI) Cabang Sulawesi Tenggara (6°38'07.35" S dan 106°49'31.72" E) dan Laboratorium Kehutanan Fakultas Kehutanan dan Ilmu Lingkungan Universitas Halu Oleo Kendari serta Laboratorium Tanah dan Tanaman SEAMEO BIOTROP Bogor (3°57'55.92" S dan 122°31'51.42" E).

## Rancangan percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL) dengan perlakuan fungsi mikoriza arbuskula yang terdiri atas kontrol (tanpa FMA) (M<sub>0</sub>), *Glomus* sp. (M<sub>1</sub>) dan *Acaulospora tuberculata* (M<sub>2</sub>) dan FMA campuran (M<sub>1</sub> dan M<sub>2</sub>). Setiap perlakuan diulang 5 kali, sehingga terdapat 15 satuan percobaan. Setiap satuan percobaan digunakan 5 bibit maka jumlah keseluruhan 75 bibit.

## Tahapan kegiatan

### Pengecambahan benih

Benih lonkida dikoleksi dari pohon induk di Kecamatan Unaaha, Kabupaten Konawe Sulawesi Tenggara (3°58'59.70" S dan 122°02'48.94" E). Perkecambahan benih lonkida tidak membutuhkan perlakuan awal benih. Benih dikecambahkan pada bak berbahan mika (20 x 20 x 5 cm) yang sudah dilubangi dan berisi media pasir steril selama 60 hari.

### Penyiapan inokulum dan inokulasi FMA

Inokulum FMA yang digunakan adalah *Glomus* sp. (diisolasi dari rizosfer *Pericopsis mooniana*), *Ac. tuberculata* (diisolasi dari rizosfer *Nauclea orientalis*), hasil kultur menggunakan media zeolit dan inang *Pueraria javanica*. Jumlah spora per 5 g inokulum (50 spora). Spora diekstraksi dengan teknik tuang saring basah (*wet sieving*) dan spora pada saringan terakhir (ukuran 45 µm) dituang ke dalam cawan petri dan kemudian diamati/dihitung dibawah mikroskop *dissecting*. Sebelum inokulasi FMA, *polybag* (15 x 20 cm) diisi media tanah overbudden tambang nikel PT. Stargate Pasific Resources (Kab. Konawe Utara) steril sebanyak ± 1,5 kg. Inokulasi FMA diberikan sesuai perlakuan untuk setiap *polybag*, yang diletakan dekat akar semai lonkida yang berumur 60 hari. Semai yang tidak diinokulasi dijadikan sebagai kontrol.

### Pemeliharaan semai

Penyiraman air kran sebanyak 50 ml/tanaman setiap hari serta pemberian hiponex merah (N 25%, P 5%, K 20%) dengan dosis 2g/liter sebanyak 20

ml/tanaman setiap 2 minggu serta tidak ada kegiatan penyulaman.

## Pengukuran parameter

### Kolonisasi FMA

Teknik pewarnaan akar mengikuti metode mengacu Brundrett et al. (1996) dengan rumus sebagai berikut : [ bid pandang bermikoriza/ total bidang pandang yang diamati] x 100%.

### Berat kering tanaman

Bagian akar dan pucuk (daun dan batang) semai dioven pada suhu 70 °C selama 2 kali 24 jam kemudian ditimbang. Kedua bagian tersebut diukur secara terpisah.

### Analisis mycorrhizae inoculation effect (MIE)

[berat kering tanaman bermikoriza - berat kering tanaman non mikoriza/berat kering tanaman bermikoriza] x 100% (Habte & Manjunath 1991).

### Pengukuran kadar Mn, Fe, Cr, Ni

Bagian akar dan pucuk masing-masing 3 ulangan.

### Kadar logam

Analisis kadar logam menggunakan metode HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> (Carter 1993).

### Faktor transpor (TF)

$C_{\text{aerial}}/C_{\text{root}}$  ; dimana  $C_{\text{aerial}}$  adalah konsentrasi logam pada bagian pucuk (batang & daun) dan  $C_{\text{root}}$  adalah konsentrasi logam pada bagian akar.

### Peningkatan/pengurangan serapan logam

[serapan logam tanaman bermikoriza - serapan logam tanaman non mikoriza/serapan logam tanaman non mikoriza] x 100% (Wang et al. 2005).

## Analisis data

Hasil pengamatan pada setiap satuan amatan akan dianalisis terlebih dahulu dengan analisis ragam (uji F). Apabila hasil uji menunjukkan pengaruh nyata

maka dilakukan beda perlakuan menurut *Duncan Multiple Range Test* pada tingkat kepercayaan 95%.

## Hasil dan Pembahasan

### Kolonisasi FMA

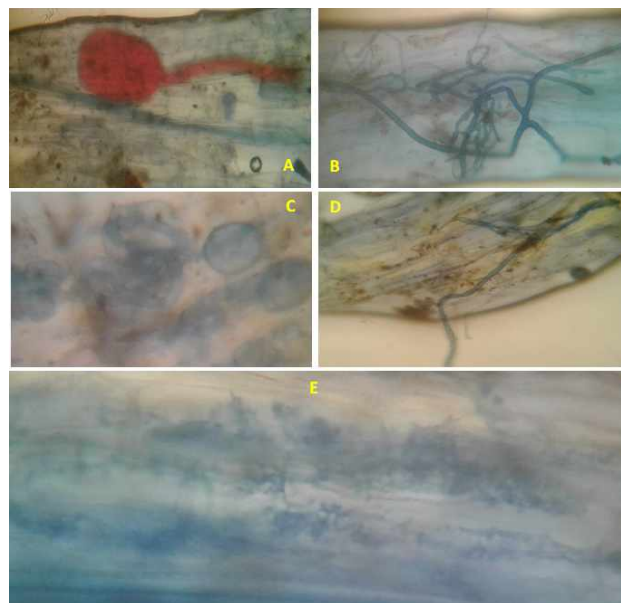
Berdasarkan hasil pewarnaan akar tampak bahwa akar semai lonkida terkolonisasi oleh FMA. Struktur FMA yang ditemukan hifa internal>hifa eksternal>Coil>vesikula>arbuskula (Gambar 1). Semai lonkida yang diinokulasi *Glomus* sp. memiliki rataan kolonisasi tertinggi (54,3%) diikuti *Ac. tuberculata* (44,6%) dan FMA campuran (34,9%). Semai lonkida yang tanpa inokulasi juga terkolonisasi FMA sebesar 1,2%. Kolonisasi FMA berkorelasi positif dan kuat dengan peubah berat kering akar ( $r=0,810$ ) dan pucuk ( $r=0,802$ ) serta berkorelasi negatif dengan kadar Mn, Fe dan Ni pada bagian akar tanaman (Tabel 1).

### Berat kering dan MIE

Inokulasi *Glomus* sp dan *A. tuberculata* signifikan meningkatkan berat kering pucuk dan BK akar masing-masing 118 dan 124% dan 103 dan 58% dibanding kontrol (Gambar 2). Pada BK akar,

mikoriza campuran (M<sub>3</sub>) tidak berbeda nyata dengan kontrol. MIE semai lonkida tertinggi pada perlakuan *Glomus* sp dan *A. tuberculata* sebesar 64 dan 87% dan terendah pada perlakuan M<sub>3</sub> (23%).

Inokulasi *Glomus* sp dan *A. tuberculata* secara nyata meningkatkan pertumbuhan (biomasa) semai lonkida umur 2 bulan. Peningkatan pertumbuhan semai bermikoriza sangat dikaitkan dengan peran FMA dalam suplai hara dan air (Smith & Read 2008). Banyak hasil penelitian melaporkan bahwa FMA dapat memperbaiki status hara tanaman dan stimulasi pertumbuhan pada tanah serpentine. Turnau dan Mesjasz-Przybylowicz (2003) melaporkan bahwa inokulasi FMA lokal meningkatkan biomasa pucuk *Berkheya coddii* pada kondisi rumah kaca. Pada jenis yang sama, tanaman yang diinokulasi FMA lokal memiliki biomasa tinggi dibanding kontrol (Orlowska et al. 2011). Pada level 0 dan 100 Ni mg/kg, kolonisasi *Glomus intraradices* meningkatkan berat bahan kering *sunflower* dibanding kontrol (Ker & Christine 2009). Amir et al. (2013) melaporkan bahwa inokulasi *Glomus etunicatum* meningkatkan bahan kering *Alpitonia neocaledonica* dan *Cloezia artensis* umur 12

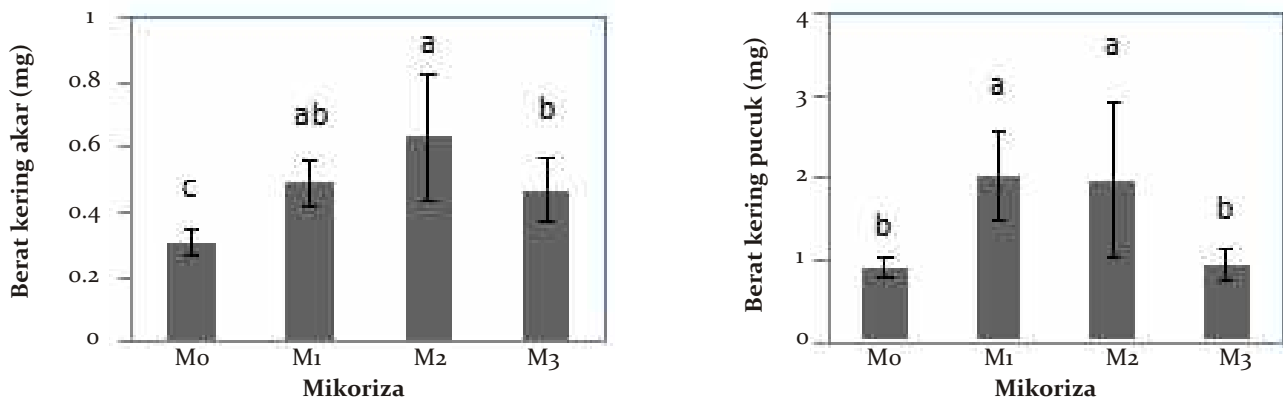


**Gambar 1.** Struktur FMA yang ditemukan pada akar lonkida umur 2 bulan. Keterangan : A. vesikula (perlakuan kontrol), B. hifa internal (*Glomus* sp), C. Hifa coil dan vesikula (*Ac. tuberculata*), D. hifa internal dan eksternal, E. arbuskula (FMA campuran).

**Figure 1.** AMF Structure found in two-month-old lonkida roots. A. vesicle (control treatment), B. internal hyphae (*Glomus* sp), C. Coils and vesicles (*Ac. tuberculata*), D. internal and external hyphae, E. arbuscules (mix. AMF)

**Tabel 1.** Korelasi antara kolonisasi FMA dengan peubah berat kering serta kadar dan serapan logam tanaman.  
**Table 1.** Correlations between AMF colonization with dry weight, metal content, and uptake variables

Berat Kering	Kadar logam							
	Pucuk				Akar			
Akar	Mn	Fe	Cr	Ni	Mn	Fe	Cr	Ni
0,810	0,468	0,504	0,138	0,470	-0,657	-0,631	0,053	-0,479
	Serapan logam							
	Pucuk				Akar			
Pucuk	Mn	Fe	Cr	Ni	Mn	Fe	Cr	Ni
0,802	0,477	0,549	0,464	0,456	0,472	0,221	0,548	-,305



**Gambar 2.** Berat kering semai lonkida tanpa dan inokulasi dengan *Glomus* sp (M<sub>1</sub>), *Acaulospora tuberculata* (M<sub>2</sub>) atau FMA campuran (M<sub>3</sub>) pada kondisi rumah kaca  
**Figure 2.** Dry weight of lonkida seedlings without and with inoculation of *Glomus* sp (M<sub>1</sub>), *Acaulospora tuberculata* (M<sub>2</sub>) or mixed AMF (M<sub>3</sub>) in a green house condition

bulan. Di Indonesia, inokulasi FMA signifikan meningkatkan biomassa *Albizia saponaria* sebesar 309% dibanding kontrol (Tuheteru et al. 2011) dan *Pericopsis mooniana* (Husna 2010; Husna et al. 2016). Meskipun demikian, pengaruh FMA terhadap pertumbuhan dan serapan logam sangat tergantung pada kadar dan ketersediaan logam, jenis tanaman, jenis FMA, sifat tanah, dan faktor lain yang tidak dapat diidentifikasi.

Semai *N. orientalis* L. yang diinokulasi FMA menunjukkan derajat ketergantungan terhadap FMA sebesar 64% dan 86%. Berdasarkan nilai tersebut maka *N. orientalis* L. termasuk jenis yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap FMA. Tingginya nilai MIE menunjukkan bahwa inokulasi FMA bermanfaat bagi produksi bibit yang berkualitas di skala persemaian dan lapangan dan kuat terhadap cekaman lingkungan (Wilson et al. 1991 dalam Ghosh & Verma

2006). Ketergantungan jenis tropis terhadap FMA telah diulas oleh Tawaraya dan Turjaman (2014).

### Kadar dan serapan logam berat

Nilai TF<sub><1</sub> semai lonkida untuk semua unsur logam (Tabel 2). Pada bagian pucuk, kadar Fe tertinggi pada perlakuan FMA campuran (11833 mg/kg) dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan mikoriza lainnya kecuali kontrol. Kadar Cr dan Ni tidak dipengaruhi perlakuan mikoriza dan cenderung tinggi pada perlakuan mikoriza (Tabel 3). Pada bagian akar, *Glomus* sp. signifikan menurunkan kadar Mn, Fe, dan Ni dan cenderung mengurangi kadar Cr (Tabel 3). Tidak ada perbedaan signifikan pada kadar Cr antara perlakuan.

Tanaman yang diberi perlakuan *A. tuberculata* memiliki serapan Mn, Fe, Cr dan Ni tertinggi pada bagian pucuk (Tabel 4). Dari keempat logam, Fe yang



diserap paling tinggi dan Cr terendah baik pada bagian akar maupun pucuk dengan urutan serapan logam : Fe>Mn>Ni>Cr. Mn, Fe, Cr dan Ni pucuk yang diserap tanaman yang diberi perlakuan *Glomus* sp. meningkat sebesar 261%, 281%, 187%, dan 275%. Pada perlakuan *A. tuberculata*, terjadi peningkatan serapan logam sebesar 1229%, 911%, 984%, dan 1508%. Peningkatan yang sama juga ditunjukkan pada tanaman yang diinokulasi FMA campuran yakni 81%, 75%, 79%, dan 104%. Dibanding tanaman kontrol, tanaman yang diinokulasi *A. tuberculata* dan FMA campuran meningkatkan serapan Mn, Fe, Cr dan Ni akar sebesar 91%, 84%, 138%, 101% serta 53%, 65%, 135%, dan 78%. Serapan Fe dan Ni akar menurun sebesar 13% dan 3% pada perlakuan *Glomus* sp.

Pada penelitian ini, TF untuk semua logam <1 mengindikasikan bahwa tanaman lonkida tidak dapat mengakumulasi logam di bagian pucuk, translokasi dibatasi hanya di bagian bawah. Faktor translokasi (TF) secara umum menunjukkan pergerakan logam dari tanah ke akar dan pucuk. TF memberikan petunjuk apakah jenis yang digunakan termasuk akumulator, ekskluder, dan indikator (Bose et al. 2008). Lonkida dikategorikan sebagai jenis fitoremediasi Fe, Mn, Cr, dan Ni kategori ekskluder dengan mekanisme rizofiltrasi (TF<1). Rizofiltrasi merupakan cara penghilangan kontaminan oleh akar tanaman melalui adsorpsi atau absorpsi diikuti penyimpanan logam di dalam akar (Dhir 2013). Hasil penelitian ini memperkuat penelitian sebelumnya (Tuheteru 2015; Ekamawanti 2014). Unsur besi (Fe) termasuk jenis logam yang diserap oleh lonkida dalam jumlah paling banyak diikuti Mn, Ni, dan Cr. Lonkida diduga menyerap dan mengakumulasi logam dengan cara kompartemenisasi (Lambers et al. 2008).

Pengaruh inokulasi FMA dapat meningkatkan (kadar Mn, Fe pada *Ac. tuberculata* dan campuran), mengurangi (kadar Cr, Mn, dan Ni pada *Glomus* sp.) dan tidak ada pengaruh (Cr akar & pucuk, Ni pucuk). FMA *Glomus* sp. mengurangi serapan Fe dan Ni pada bagian akar dan *Ac. tuberculata* meningkatkan

serapan semua logam. Variasi serapan logam oleh jenis FMA mengindikasikan bahwa setiap jenis memiliki kemampuan serapan logam yang berbeda. Muleta dan Woyessa (2012) menjelaskan bahwa efektivitas FMA dalam fitoremediasi sangat dipengaruhi oleh 1) strain dan ekotipe FMA, 2) tipe dan ekotipe tanaman dan 3) logam dan ketersediaannya. Perbedaan inokulum FMA berpengaruh terhadap efektivitas FMA dalam kadar dan serapan Ni.

Berdasarkan data kadar dan serapan logam, FMA melakukan mekanisme fitoekstraksi dan fitostabilisasi. Mekanisme fitoekstraksi FMA meliputi : 1) FMA membantu akumulasi logam oleh tanaman, 2) memfasilitasi pertumbuhan dan produksi biomassa dan 3) meningkatkan toleransi tanaman terhadap logam (Javaid 2011). Kolonisasi *Glomus intraradices* dapat meningkatkan kandungan logam (Zn, Cd, As, dan Se) pada jenis *Festuca* dan *Agropyron* dibanding kontrol (Giasson et al. 2006). Aplikasi FMA meningkatkan akumulasi logam berat di pucuk tanaman legume seperti *soybean*, alfalfa dan lentils serta pada rumput-rumputan dan paku-pakuan (Chen et al. 2007; Giasson et al. 2008). Akumulasi Cr (VI) tinggi pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus*) yang diinokulasi *Glomus intraradices* (Davies et al. 2001).

Mekanisme fitostabilisasi logam oleh FMA dapat dilakukan dengan cara logam disimpan di dalam struktur FMA di dalam akar tanaman (vakuola, coil maupun arbuskula) dan melalui senyawa yang diedkresi oleh fungi dan diserap di dinding sel (Joner & Leyval 1997; Gonzales-Chaves et al. 2004). Khusus Mn, Nogueira et al. (2002, 2007) menduga bahwa detoksifikasi Mn di internal tanaman dapat terjadi melalui stimulasi ATP, Mn-chelat di vakuola dan pembentukan P-Mn kompleks yang memiliki kelarutan rendah. Beberapa studi melaporkan bahwa FMA dapat mereduksi kadar dan serapan logam di bagian pucuk. Inokulasi *Glomus mosseae* dapat mereduksi kadar Ni pucuk *bean* dan *clover* (Vivas et al.

**Tabel 2.** Faktor transport unsur logam berat pada semai lonkida  
**Table 2.** Transport factors of metal elements on lonkida seedlings

	Mn	Fe	Cr	Ni
Kontrol	0,32	0,41	0,29	0,16
<i>Glomus</i> sp.	0,50	0,83	0,25	0,30
<i>Acaulospora tuberculata</i>	0,47	0,53	0,26	0,23
FMA Campuran	0,45	0,53	0,23	0,21

**Tabel 3.** Kadar Mn, Fe, Cr dan Ni di pucuk dan akar tanaman lonkida tanpa dan diinokulasi mikoriza  
**Table 3.** Content of Mn, Fe, Cr, and Ni in shoots and roots of lonkida without and with mycorrhizal inoculation

Kadar (mg/kg)	Kontrol		<i>Glomus</i> sp.		<i>Acaulospora tuberculata</i>		FMA Campuran	
<b>Pucuk</b>								
Mn	347±23,6	b	387±21,3	b	507±25,6	a	515±50,0	a
Fe	8300±568,6	b	9633±633,3	ab	10100±721,1	ab	11833±920,7	a
Cr	163±30,1		153±48,2		208±24,4		234±38,1	
Ni	179±37,8		207±44,4		265±21,3		287±44,1	
<b>Akar</b>								
Mn	1129±102,5	a	778±46,7	b	1082±52,8	a	1131±95,5	a
Fe	21333±2134,1	a	11433±1139,1	b	19167±2788,3	a	23100±2203,0	a
Cr	666±135,8		621±174,1		775±93,9		1026±29,8	
Ni	1145±41,0	a	677±40,3	b	1149±85,0	a	1339±78,9	a

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf dalam satu baris menunjukkan berbeda nyata antara perlakuan mikoriza dan kontrol pada taraf 95%.

Remarks : values followed by different letters in the same row showed significant differences between mycorrhizal treatments and the control at 95% level.

**Tabel 4.** Serapan Mn, Fe, Cr dan Ni pucuk dan akar tanaman lonkida tanpa dan diinokulasi mikoriza  
**Table 4.** Uptake of Mn, Fe, Cr, and Ni in shoots and roots of lonkida without and with mycorrhizal inoculation

Serapan (mg)	Kontrol		<i>Glomus</i> sp.		<i>Acaulospora tuberculata</i>		FMA Campuran	
<b>Pucuk</b>								
Mn	2,89±0,44	c	10,43±0,37	b	38,4±4,25	a	5,22±0,63	bc
Fe	68,2±6,95	b	260±28,62	b	689,6±149,8	a	119,3±8,71	b
Cr	1,31±0,20	b	3,76±0,89	b	14,2±3,50	a	2,35±0,36	b
Ni	1,42±0,22	c	5,33±0,24	bc	22,83±1,66	a	2,89±0,46	bc
<b>Akar</b>								
Mn	3,45±0,29		3,94±0,37		6,58±1,61		5,28±0,44	
Fe	65,3±5,84		57,1±2,43		120,2±41,51		107,9±6,03	
Cr	2,04±0,42		2,97±0,49		4,85±1,53		4,79±0,15	
Ni	3,51±0,16	b	3,41±0,20	b	7,05±0,87	a	6,25±0,36	a

Keterangan : angka yang diikuti oleh huruf dalam satu baris menunjukkan berbeda nyata antara perlakuan mikoriza dan kontrol pada taraf 95%.

Remarks : values followed by different letters in the same row showed significant differences between mycorrhizal treatments and the control at 95% level.

2005) dan *Trifolium repens* dibanding kontrol (Vivas et al. 2006). Selain Ni, FMA (*Glomus mosseae*) juga mereduksi kadar Cr tanaman (Karagiannidis & Hadjisavva 1998) serta melindungi tanaman dari toksitas Cr (Khan 2001).

## Kesimpulan

Inokulasi FMA lokal *Glomus* sp. dan *Acaulospora tuberculata* meningkatkan pertumbuhan tanaman *Nauclea orientalis* L. pada media tanah serpentine serta serapan logam berat, kecuali *Acaulospora tuberculata* untuk Fe dan Ni. Lonkida termasuk jenis

tanaman yang melakukan mekanisme fitoremediasi dengan teknik rizofiltrasi. Kolonisasi FMA membatasi kadar Fe, Mn dan Ni pada akar tanaman *N. orientalis*.

## Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai melalui Hibah Bersaing tahun 2016 No. 228c.1/UN29.20/PP/2016 dari Kementerian Riset, Teknologi dan DIKTI. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan PT. Stargate Pasific Resources atas bantuan tanah pasca tambang nikel.

## Daftar Pustaka

- Amir H, Lagrange A, Hassaine N, Cavaloc Y. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi from New Caledonian ultramafic soils improve tolerance to nickel of endemic plant species. *Mycorrhiza* 23:585-595
- Andrade SAL, Gratao PL, Silveira APD, Schiavinato MA, Azevedo RA, Mazzafera P. 2009. Zn uptake, physiological response and stress attenuation in mycorrhizal jack bean growing in soil with increasing Zn concentrations. *Chemosphere* 75:1363-1370
- Bose S, Vedamati J, Rai V, Ramanathan AL. 2008. Metal uptake and transport by *Typha angustata* L. grown on metal contaminated waste amended soil : An implication of phytoremediation. *Geoderma* 145:136-142.
- Carter MR. 1993. Soil sampling and methods of analysis Boca Raton. Lewis Publishers, USA.
- Chen BD, Zhu Y-G, Duan J, Xiao XY, Smith SE. 2007. Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on growth and metal uptake by four plant species in copper mine tailings. *Environmental Pollution* 147:374-380.
- Collins S, Martins X, Mitchell A, Teshome A, Arnason JT. 2006. Quantitative ethnobotany of two east Timorese cultures. *Economic Botany* 60(4):347-361.
- Collins S, Martins X, Mitchell A, Teshome A, Arnason JT. 2007. Fataluku medicinal ethnobotany and the East Timorese military resistance. *Journal Ethnobiology and Ethnomedicine* 3(5):1-10.
- Davies FT, Puryear JD, Newton RJ, Egilla JN, Grossi JAS. 2001. Mycorrhizal fungi enhance accumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annuus*). *Journal of Plant Physiology* 158:777-786.
- Doubková P, Suda J, Sudová R. 2011. Arbuscular mycorrhizal symbiosis on serpentine soils: the effect of native fungal communities on different *Knautia arvensis* ecotypes. *Plant and Soil* 345:325-338
- Ekamawanti HA, Setiadi Y, Sopandie D, Santosa DA. 2014. Mercury stress resistances in *Nauclea orientalis* seedlings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Forestry, and Fisheries* 3(2):113-120
- Galli U, Schuepp H, Brunold C. 1995. Thiols of Cu-treated maize plants inoculated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Physiologia Plantarum* 94:247-253.
- Ghosh S, Verma NK. 2006. Growth and mycorrhizal dependency of *Acacia mangium* Willd. inoculated with three vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in lateritic Soil. *New Forest* 31:75-81.
- Giasson P, Jaouich A, Gagné S, Massicotte L, Cayer P, Moutoglis P. 2006. Enhanced phytoremediation: A study of mycorrhizoremediation of heavy metal contaminated soil. *Remediation* 17: 97-110
- Göhre V, Paszkowski U. 2006. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. *Planta* 223:1115-1122.
- Guo Y, George E, Marschner H. 1996. Contribution of an arbuscular mycorrhizal fungus to the uptake of cadmium and nickel in bean and maize plants. *Plant Soil* 184:195-205
- Habte M, Manjunath A. 1991. Categories of vesicular-arbuscular mycorrhizal dependency of host species. *Mycorrhiza* 1:3-12
- Husna, Wilarso S, Budi R, Mansur I, Kusmana C. 2016. Growth and nutrient status of kayu kuku (*Pericopsis mooniana* Thw.) with micorrhiza in soil media of nickel post mining. *Pakistan Journal of Biological Science* 19: 158-170
- Husna. 2010. Pertumbuhan bibit kayu kuku (*Pericopsis mooniana* THW) melalui aplikasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan ampas sagu pada media tanah bekas tambang nikel. Tesis (Tidak dipublikasikan). Universitas Halu Oleo, Kendari.
- Javadi A. 2011. Importance of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Dalam Khan MS, editor. *Biomangement of metal-contaminated soils*. Springer, New York.
- Joner EJ, Leyval C. 1997. Uptake of 209 Cd by roots and hyphae of a *Glomus mosseae*/*Trifolium subterraneum* Mycorrhiza from soil amended with high and low concentration of cadmium. *New Phytologist* 135:353-360.
- Karagiannidis N, Hadjisavva ZS. 1998. The mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* enhances growth, yield and chemical composition of a durum wheat variety in 10 different soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52:1-7.
- Kartikasari SN, Marshal AJ, Beehler BM. 2012. *Ekologi Papua. Seri Ekologi Indonesia*. Jilid VI. Yayasan Pustaka Obor Indonesia dan Conservation International, Jakarta.
- Ker K, Christine C. 2009. Nickel remediation by AM-colonized Sunflower. *Mycorrhiza* 20:399-406
- Keßler PJA, Bos MM, Sierra Daza SEC, Kop A, Willemse LPM, Pitopang R, Gradstein SR. 2002. Checklist of woody plants of Sulawesi, Indonesia. *Blumea Supplement* 14. National Herbarium Nederland, Universiteit Leiden branch.
- Khan AG. 2001. Relationships between chromium biomagnification ratio, accumulation factor, and mycorrhizae in plants growing on tannery effluent-polluted soil. *Environment International* 26:417-423.
- LaFrankie JV. 2010. *Trees of tropical Asia*. La Union (PH) : BlackTree Publication, Inc.
- Lagrange A, Ducouso M, Jourand P, Majorel C, Amir H. 2011. New insights into the mycorrhizal status of



- Cyperaceae from ultramafic soils in New Caledonia. *Canadian Journal of Microbiology* **57**:21-28
- Lagrange A, L'Huillier L, Amir H. 2013. Mycorrhizal status of Cyperaceae from New Caledonian ultramafic soils: effects of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of *Costularia comosa* under field conditions. *Mycorrhiza* **23**:655-661
- Lambers H, Chapin III FS, Pons TL. 2008. *Plant physiology ecology*. Second edition. Springer, New York.
- Marghescu T. 2001. Restoration of degraded forest land in Thailand: the case of Khao Kho. *Unasylva* **207(52)**:52-56.
- Muleta D, Woyessa D. 2012. Importance of arbuscular mycorrhizal fungi in legume production under heavy metal-contaminated soils. Dalam Zaidi A, Wani PA, Khan MS, editor. *Toxicity of heavy metals to legumes and bioremediation*. Springer, New York.
- Muslich M et al. 2013. *Atlas Kayu Indonesia Jilid IV. Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan*, Bogor.
- Nogueira MA, Cardoso EJBN, Hampp R. 2002. Manganese toxicity and callose deposition in leaves are attenuated in mycorrhizal soybean. *Plant Soil* **246**:1-10.
- Nogueira MA, Nehls U, Hampp R, Poralla K, Cardoso EJBN. 2007. Mycorrhiza and soil bacteria influence extractable iron and manganese in soil and uptake by soybean. *Plant Soil* **298**:273-284.
- Orlowska E, Przybylowicz W, Orlowski D, Turnau K, Mesjasz-Przybylowicz J. 2011. The effect of mycorrhiza on the growth and elemental composition of ni-hyperaccumulating plant *Berkheya coddii* roessler. *Environmental Pollution* **159**:3730-3738.
- Redon PO, Be'guiristain T, Leyval C. 2009. Differential effects of AM fungal isolates on *Medicago truncatula* growth and metal uptake in a multimetallic (Cd, Zn, Pb) contaminated agricultural soil. *Mycorrhiza* **19**:187-195
- Sichaem J, Surapinit S, Siripong P, Khumkratok S, Jong-Aramruang J, Tip-Pyang S. 2010. Two new cytotoxic isomeric indole alkaloids from the roots of *Nauclea orientalis*. *Fitoterapia* **81**:830-833.
- Smith SE, Read DJ. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*. Third ed. Academic Press, New York.
- Takács T. 2012. Site-specific optimization of arbuscular mycorrhizal fungi mediated phytoremediation. Dalam Zaidi A, Wani PA, Khan MS, editor. *Toxicity of heavy metals to legumes and bioremediation*. Springer.
- Tawaraya K, Turjaman M. 2014. Use of arbuscular mycorrhizal fungi for reforestation of degraded tropical forests. Dalam Solaiman Z, Abbott LK, Varma A, editor. *Mycorrhizal fungi: Use in sustainable agriculture and land restoration*. Springer, New York.
- Tseng CC, Wang JY, Yang L. 2009. Accumulation of copper, lead, and zinc by in situ plants inoculated with AM fungi in multicontaminated soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **40**:2122
- Tuheteru FD, Husna, Arif A. 2011. Respon pertumbuhan dan ketergantungan *Albizia saponaria* (Lour.) Miq terhadap inokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula local Sultra pada media tanah pascatambang nikel. *Berita Biologi* **10(5)**:605-612.
- Tuheteru FD, Kusmana C, Mansur I, Iskandar, Tuheteru EJ. 2016. Potensial of lonkida (*Nauclea orientalis* L.) for phytoremediation of acid mined drainage at PT. Bukit Asam Tbk. (Persero), Indonesia. *Research Journal of Botany* **11 (1-3)**:9-17
- Tuheteru FD. 2015. *Phytoremediation potential of lonkida (Nauclea orientalis L.) in an acid mine drainage artificial wetland*. Dissertation (Unpublished). Bogor Agricultural University. (In Indonesia)
- Turnau K, Mesjasz-Przybylowicz J. 2003. Arbuscular mycorrhiza of *Berkheya coddii* and other ni-hyperaccumulating members of *Asteraceae* from ultramafic soils in South Africa. *Mycorrhiza* **13**:185-190
- Vivas A, Barea JM, Biro B, Azcon R. 2005. Interactive effect of *Brevibacillus brevis* and *Glomus mossae*, both isolated from Cd contaminated soil, on plant growth, physiological mycorrhizal fungul characteristis and soil enzymatic activities in Cd polluted soil. *Environmental Pollution* **134**:257-266
- Vivas A, Biró B, Németh T, Barea JM, Azcon R. 2006. Nickel-tolerant *Brevibacillus brevis* and arbuscular mycorrhizal fungus can reduce metal acquisition and nickel toxicity effects in plant growing in nickel supplemented soil. *Soil Biology and Biochemistry* **38**:2694-2704
- Wang F, Lin X, Yin R. 2005. Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizas of *Elsholtzia splendens* and the potential for phytoremediation of contaminated soil. *Plant Soil* **269**:225-232
- Zhang XH, Zhu YG, Chen BD, Lin AJ, Smith SE, Smith FA. 2005. Arbuscular mycorrhizal fungi contribute to resistance of upland rice to combined metal contamination of soil. *Journal of Plant Nutrition* **28**:2065-2077