

Inokulasi berbagai spesies cendawan mikoriza arbuskular (CMA) terhadap pertumbuhan dan kemampuan akumulasi logam Pb pada tanaman marigold (*Tagetes erecta* L.)

(Inoculation of various species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on plant growth and Pb metal accumulation ability of marigold (*Tagetes erecta* L.)

F. D. Safitri, D.R. Lukiwati, dan I. Mansur

Agroetchnology, Faculty of Animal and Agricultural Sciences, Diponegoro University Tembalang Campus, Semarang 50275- Indonesia

Corresponding E-mail: fagetadwisafitri@gmail.com

ABSTRACT

This research aimed to identify the impact of single species (*G. fasciculatum*, *Acaulospora* sp., *G. etunicatum*), double species, and multi-species AMF inoculation for plant growth and Pb accumulation ability of marigold plant. The research used monofactor randomized complete design with eight treatments and three replications. The treatments were M0. Control, M1. *G. fasciculatum*, M2. *Acaulospora* sp., M3. *G. etunicatum*, M4. *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp., M5. *G. fasciculatum* + *G. etunicatum*, M6. *Acaulospora* sp. + *G. etunicatum*, dan M7. *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp. + *G. etunicatum*. The parameters observed were plant height, number of branches, BCF, TF, and final concentration of Pb. Data analyzed using anova and followed by DMRT at $\alpha = 5\%$. The result indicated that AMF inoculation had significantly impact to the plant growth of marigold, BCF value, and Pb final concentration, but had no impact to the TF value. Inoculation of *G. fasciculatum* (M1) showed the highest plant growth of marigold. Inoculation of *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp. + *G. Etunicatum* (M7) showed the highest ability of Pb accumulation (BCF) and the lowest Pb final concentration in growing media. Based on BCF and TF values, the mechanism of Pb accumulation by marigold is phytoextraction.

Keywords: Marigold, Pb, G. fasciculatum, Acaulospora sp., G. etunicatum.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh inokulasi CMA tunggal (*G. fasciculatum*, *Acaulospora* sp., *G. etunicatum*), ganda, dan multi-spesies terhadap pertumbuhan tanaman dan kemampuan akumulasi Pb pada marigold. Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor dengan delapan perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan yang diberikan adalah M0. Kontrol, M1. *G. fasciculatum*, M2. *Acaulospora* sp., M3. *G. etunicatum*, M4. *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp., M5. *G. fasciculatum* + *G. etunicatum*, M6. *Acaulospora* sp. + *G. etunicatum*, dan M7. *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp. + *G. etunicatum*. Parameter penelitian meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, TF, BCF, dan konsentrasi Pb akhir media tanam. Data dianalisis ragam dan dilanjutkan uji jarak berganda *Duncan* pada taraf $\alpha = 5\%$. Hasil penelitian menunjukkan inokulasi berbagai spesies CMA berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman, nilai BCF, dan kadar Pb akhir media tanam, tetapi tidak berpengaruh terhadap nilai TF. Inokulasi *G. fasciculatum* (M1) memberikan pertumbuhan tanaman marigold tertinggi. Inokulasi *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp, dan *G. etunicatum* (M7) menunjukkan kemampuan akumulasi Pb (BCF) tertinggi dan kadar Pb akhir media tanam terendah. Berdasarkan nilai BCF dan TF, mekanisme tanaman marigold dalam mengakumulasi logam Pb adalah fitoekstraksi.

Kata kunci : Marigold, Pb, G. fasciculatum, Acaulospora sp., G. etunicatum.

PENDAHULUAN

Marigold (*Tagetes erecta* L.) merupakan tanaman hias semusim asal Amerika Tengah yang memiliki bunga berwarna kuning hingga oranye berbentuk gemuk bulat dengan kelopak bertumpuk. Tanaman ini berbentuk perdu memiliki daun yang lancip bergerigi, kecil, dan berwarna kehijauan. Komoditas marigold sudah banyak dibudidayakan oleh petani terutama di daerah Bali, dan pada tahun 2015 produksinya mengalami peningkatan hingga mencapai 100% dari tahun sebelumnya (Purwati dkk., 2016). Keunggulan lain marigold yaitu berperan sebagai tanaman hiperakumulator yang mampu menyerap logam berat berbahaya dalam tanah. Salah satu unsur berbahaya yang mampu diakumulasi oleh tanaman marigold adalah logam berat timbal (Pb) (Bosiacki, 2009).

Timbal (Pb) merupakan logam dari alam yang terdapat di dalam kerak bumi dan jumlahnya yang berlebih mengakibatkan cemaran udara, air, serta tanah. Sumber cemaran Pb dalam tanah berasal dari aktivitas penambangan, pertanian, limbah pupuk, bahan bakar, industri metalurgi, elektronik, dan limbah rumah tangga misalnya sabun atau detergen (Herman, 2006). Jumlah kandungan Pb alami dalam tanah bekisar 2 – 200 ppm, dan akibat aktivitas manusia, jumlahnya mencapai 1600 – 2400 ppm. Lingkungan yang memiliki kadar logam berat tinggi biasanya terdapat pada lahan mining ataupun bekas pertambangan. Kadar logam Pb pada lahan mining mencapai 2.160 ppm (Razo dkk., 2004). Unsur Pb tidak dibutuhkan oleh tanaman tetapi jika masuk ke dalam metabolisme tanaman dapat merusak kemampuan fisiologisnya. Gejala keracunan logam berat pada tanaman misalnya klorosis, pertumbuhan terhambat, penurunan efektivitas akar, hingga gangguan fotosistem (Clemens, 2001).

Tindakan pemulihan atau remediasi perlu dilakukan supaya lahan yang tercemar logam berat dapat dimanfaatkan kembali untuk budidaya tanaman pangan, pakan, maupun hortikultura. Fitoremediasi merupakan solusi remediasi tanah tercemar menggunakan teknologi biologi dengan pemanfaatan tanaman hijau maupun mikroorganisme yang berasosiasi (Memon dkk., 2001). Fitoremediasi pada lahan tercemar logam

berat terbagi menjadi beberapa jenis yaitu fitostabilisasi, fitoekstraksi, fitotransformasi, dan rhizodegradasi. Fitoekstraksi merupakan jenis remediasi yang dinilai efisien karena logam berat diakumulasi dalam biomassa tanaman sehingga dapat dipanen secara aman dan berkala (Peuke dan Renneberg, 2005).

Kemampuan akumulasi logam berat oleh tanaman dapat ditentukan melalui nilai *bioconcentration factor* (BCF). Kemampuan translokasi logam berat dalam jaringan tanaman dapat ditentukan melalui nilai *translocation factor* (TF). Nilai BCF merupakan perbandingan antara kadar logam berat pada jaringan tanaman dengan kadar logam berat pada tanah, sedangkan nilai TF merupakan perbandingan antara kadar logam pada jaringan tajuk dengan kadar logam pada jaringan akar tanaman (Handayanto dkk., 2017). Nilai BCF dan TF dapat menentukan mekanisme fitoremediasi oleh suatu tanaman. *Tagetes erecta* L. berpotensi sebagai tanaman fitoekstraksi karena memiliki nilai TF > 1 dan BCF < 1 dalam mengakumulasi Pb, Zn, dan Cd (Ding dan Hu, 2012).

Fitoremediasi sangat bergantung pada kemampuan tanaman dalam mengakumulasi logam berat. Hal tersebut menyebabkan proses fitoremediasi membutuhkan waktu yang lama. Inokulasi cendawan mikoriza arbuskular terbukti mampu meningkatkan efisiensi serapan logam Pb pada tanaman remediator (Arisusanti dan Purwani, 2013). Mikoriza arbuskular merupakan suatu bentuk simbiosis mutualistik antara cendawan dan akar tanaman (Nursanti dkk., 2012). Inokulasi CMA dapat meningkatkan fitoakumulasi tanaman dengan mengeluarkan asam organik misalnya asam karboksilat yang dapat melarutkan logam terikat karbonat. Asam karboksilat terlibat dalam transport logam berat melalui jaringan xilem (Leyval dan Joner, 2002). Kemampuan tanaman yang diinokulasi CMA dalam mengakumulasi logam berat dipengaruhi oleh spesies CMA, konsentrasi dan ketersediaan logam berat, serta sifat-sifat tanah. Inokulasi campuran spesies CMA *Gigaspora margarita*, *Gigaspora decipens*, *Scutellospora gilmori*, *Acaulospora spp.*, dan *Glomus spp.* meningkatkan akumulasi Pb pada tajuk tanaman *Elsholtzia splendens* dibanding inokulasi spesies CMA tunggal (Wang dkk., 2005). Inokulasi CMA tunggal *Glomus*

fasciculatum pada tanaman *Ephorbia milli* dapat meningkatkan akumulasi Pb pada akar dan efisiensi serapan Pb tanaman (Aprilia dan Purwani, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh inokulasi CMA tunggal (*G. fasciculatum*, *Acaulospora sp.*, *G. etunicatum*), ganda, dan multi-spora terhadap pertumbuhan marigold, nilai BCF dan TF Pb, serta kadar Pb akhir pada media tanam.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada tanggal 5 Februari – 10 Mei 2018 di Rumah kaca dan Laboratorium Silvikultur dan Mikoriza SEAMEO Biotrop, Bogor serta di Laboratorium Fisiologi dan Pemuliaan Tanaman Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro, Semarang.

Materi

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu benih tanaman marigold Maharani F1, tanah, pot kapasitas 3 kg tanah, inokulum spora CMA *Glomus fasciculatum*, *Acaulospora sp.*, dan *Glomus etunicatum*, pupuk urea (45% N), TSP (46% P₂O₅), KCl (50% K₂O), air, logam berat Pb(NO₃)₂, dan akuades. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sekop, drum sterilisasi, mikropipet, pinset spora, cawan petri plastik, timbangan analitik, blender, *hot plate*, lemari asam, *Atomic Absorption Spectrophotometer*, dan peralatan penunjang analisis tanah dan jaringan di laboratorium.

Metode

Tahap persiapan dimulai dengan sterilisasi tanah menggunakan drum selama 6 jam kemudian diinkubasi selama 3 hari supaya suhu tanah menurun. Persiapan media tanam dilakukan dengan penambahan logam berat Pb(NO₃)₂ sebanyak 0,96 gram ke dalam masing-masing pot yang telah diisi 3 kg tanah steril sehingga diperoleh kadar Pb media tanam 200 ppm. Persiapan bahan tanam dilakukan dengan penyemaian benih marigold selama 4 minggu. Peminjaman bibit dilakukan dengan pemilihan tanaman yang memiliki tinggi dan jumlah daun seragam. Inokulasi CMA dilakukan bersamaan dengan peminjaman bibit sesuai dengan

perlakuan. Masing-masing perlakuan diinokulasi dengan 54 spora/tanaman. Pemupukan menggunakan pupuk urea, TSP, dan KCl mengikuti rekomendasi dosis pemupukan 100 kg N/ha, 100 kg P₂O₅/ha, dan 100 kg K₂O/ha (Singh dkk., 2015). Pemupukan dilakukan dengan pemberian 50% dosis N dan 100% dosis P₂O₅ dan K₂O saat peminjaman bibit tanam, serta 50% N saat tanaman mulai berbunga. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, penyiangan, dan pengendalian organisme pengganggu tanaman dengan penyemprotan insektisida. Parameter penelitian meliputi tinggi tanaman, jumlah cabang, nilai TF, nilai BCF, dan konsentrasi Pb akhir media tanam.

Rancangan Penelitian dan Analisis Data

Penelitian dilaksanakan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) monofaktor dengan delapan perlakuan dan tiga ulangan. Perlakuan yang diberikan adalah M0. Kontrol, M1. *G. fasciculatum*, M2. *Acaulospora sp.*, M3. *G. etunicatum*, M4. *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.*, M5. *G. fasciculatum* + *G. etunicatum*, M6. *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum*, dan M7. *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum*. Data dianalisis ragam dan dilanjutkan uji jarak berganda *Duncan* pada taraf $\alpha = 5\%$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan spesies CMA berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap tinggi dan jumlah cabang tanaman marigold. Hasil uji jarak berganda *Duncan* terhadap tinggi dan jumlah cabang tanaman marigold pada berbagai inokulasi spesies CMA tercantum pada Tabel 1.

Hasil uji jarak berganda *Duncan* menunjukkan bahwa perlakuan *G. fasciculatum* (M1) memberikan hasil tinggi tanaman tertinggi 47,60 cm berbeda nyata ($P < 0,05$) terhadap perlakuan kontrol (M0), *Acaulospora sp.* (M2), *G. etunicatum* (M3), *G. fasciculatum* + *G. etunicatum* (M5), *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M6), dan *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M7) serta berbeda tidak nyata terhadap perlakuan *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* (M4). Perlakuan

Tabel 1. Tinggi dan Jumlah Cabang Tanaman Marigold pada Berbagai Inokulasi Spesies CMA

Perlakuan	Tinggi Tanaman ---cm---	Jumlah Cabang ---batang---
M0. Kontrol	33,87 ± 1,77 ^d	3,33 ± 0,33 ^c
M1. <i>G. fasciculatum</i>	47,60 ± 1,04 ^a	9,33 ± 0,33 ^a
M2. <i>Acaulospora sp.</i>	35,97 ± 0,69 ^{cd}	6,33 ± 1,20 ^b
M3. <i>G. etunicatum</i>	36,33 ± 2,40 ^{cd}	6,00 ± 0,00 ^b
M4. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i>	43,67 ± 0,17 ^{ab}	6,67 ± 0,33 ^b
M5. <i>G. fasciculatum</i> + <i>G. etunicatum</i>	37,77 ± 2,87 ^{bcd}	6,33 ± 0,67 ^b
M6. <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. etunicatum</i>	38,70 ± 3,12 ^{bcd}	7,00 ± 0,58 ^{ab}
M7. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. etunicatum</i>	40,60 ± 1,53 ^{bc}	8,00 ± 1,53 ^{ab}

Keterangan : superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05).

inokulasi *G. fasciculatum* (M1) juga menunjukkan jumlah cabang tertinggi 9,33 batang dan hanya berbeda tidak nyata terhadap perlakuan *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M6) dan *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M7) (Tabel 1). Perlakuan kontrol (M0) menunjukkan tinggi dan jumlah cabang terendah yaitu 33,87 cm dan 3,33 batang dibanding perlakuan lainnya. Hal tersebut merupakan salah satu gejala terhambatnya pertumbuhan tanaman akibat logam berat. Logam Pb pada konsentrasi tinggi (>200 ppm) dapat masuk ke dalam jaringan tanaman dan mengganggu aktivitas metabolisme, pertumbuhan dan proses fotosintesis (Handayanto dkk., 2017). Menurut Clemens (2001), gejala keracunan logam berat yang dialami tanaman dapat berupa pertumbuhan terhambat, klorosis, penurunan efektivitas akar, hingga gangguan fotosistem. Ramana dkk. (2008) menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman marigold terhambat dengan pemberian Pb konsentrasi 100 - 500 ppm.

Pertumbuhan tanaman yang diinokulasi CMA lebih cepat dibanding tanaman tanpa inokulasi CMA (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulasi CMA mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman marigold pada kondisi cekaman Pb. Cendawan mikoriza arbuskular mampu menghasilkan senyawa glomalin yang berperan mengikat logam berat dalam tanah sehingga tidak masuk dan mengganggu metabolisme tanaman. Gonzalez-Chavez dkk. (2004) menyatakan bahwa ditemukan

4,3 mg Cu, 0,08 mg Cd, dan 1,12 mg Pb per gram glomalin yang diekstraksi dari tanah tercemar yang telah diinokulasi CMA. Inokulasi CMA spesies tunggal *G. fasciculatum* (M1) menunjukkan pertumbuhan tinggi tanaman marigold lebih tinggi dibanding perlakuan kontrol atau inokulasi CMA lainnya. Novoa dkk. (2010) menyatakan bahwa inokulasi campuran *G. fasciculatum* dan *G. intraradices* meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman alfalfa hingga 24% dibanding perlakuan tanpa inokulasi dibawah cekaman logam Cu 620 mg/kg. Menurut Val dkk. (1999) tidak semua spesies CMA dapat bertahan pada kondisi cekaman logam berat, sehingga proses kolonisasi dan pertumbuhan hifa, arbuskel, maupun vesikel beberapa spesies CMA dapat terhambat.

Bioconcentration dan Translocation Factor

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan spesies CMA berpengaruh nyata (P<0,05) terhadap nilai *bioconcentration factor* (BCF) dan tidak berpengaruh terhadap nilai *translocation factor* (TF) logam Pb pada tanaman marigold. Hasil uji jarak berganda *Duncan* terhadap nilai BCF dan TF logam Pb pada tanaman marigold dengan berbagai inokulasi spesies CMA tercantum pada Tabel 2.

Hasil uji jarak berganda *Duncan* menunjukkan perlakuan *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* + *G. Etunicatum* (M7) memberikan hasil nilai *bioconcentration factor* (BCF) tertinggi yaitu 0,130 dan berbeda nyata

Tabel 2. Nilai BCF dan TF Logam Pb pada Tanaman Marigold dengan Berbagai Inokulasi Spesies CMA

Perlakuan	Nilai BCF	Nilai TF
M0. Kontrol	0,012 ± 0,001 ^d	1,010 ± 0,11
M1. <i>G. Fasciculatum</i>	0,114 ± 0,017 ^{ab}	2,089 ± 0,53
M2. <i>Acaulospora sp.</i>	0,032 ± 0,007 ^{cd}	1,385 ± 0,82
M3. <i>G. Etunicatum</i>	0,028 ± 0,002 ^{cd}	1,108 ± 0,11
M4. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i>	0,048 ± 0,003 ^{bcd}	1,019 ± 0,40
M5. <i>G. fasciculatum</i> + <i>G. Etunicatum</i>	0,074 ± 0,009 ^{abcd}	2,057 ± 0,48
M6. <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. Etunicatum</i>	0,087 ± 0,023 ^{abc}	3,373 ± 1,17
M7. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. Etunicatum</i>	0,130 ± 0,053 ^a	3,269 ± 1,36

Keterangan : superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05).

(P<0,05) terhadap perlakuan kontrol (M0), *Acaulospora sp.* (M2), *G. etunicatum* (M3), *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* (M4) serta berbeda tidak nyata terhadap perlakuan *G. fasciculatum* (M1), *G. fasciculatum* + *G. etunicatum* (M5), dan *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M6). Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulasi multi-spesies CMA mampu meningkatkan kemampuan akumulasi logam Pb pada tanaman marigold. Nilai BCF merupakan perbandingan antara kadar logam berat pada jaringan tanaman terhadap kadar logam berat pada tanah. Hasil sidik ragam menunjukkan tidak terdapat pengaruh perlakuan spesies CMA terhadap nilai *translocation factor* (TF) logam Pb pada tanaman marigold (Tabel 2). Nilai TF merupakan perbandingan antara kadar logam berat pada jaringan tajuk tanaman terhadap kadar logam berat pada jaringan akar (Handayanto dkk., 2017). Perlakuan tanpa inokulasi CMA menunjukkan nilai TF terendah 1,010 dibanding perlakuan yang diinokulasi CMA. Hal tersebut menunjukkan bahwa inokulasi CMA meningkatkan daya translokasi unsur Pb dari akar ke bagian tajuk tanaman marigold. Nilai TF yang berbeda tidak nyata antar perlakuan mengindikasikan bahwa marigold pada dasarnya merupakan tanaman hiperakumulator yang mengakumulasi logam berat Pb pada bagian tajuk tanaman. Choudhury dkk. (2015) menyatakan bahwa tanaman marigold mampu mengakumulasi logam berat Pb tertinggi

di jaringan tajuk sebesar 21,9 mg/kg dibanding jaringan akar sebesar 13 mg/kg.

Nilai BCF dan TF digunakan untuk menentukan mekanisme akumulasi logam berat pada tanaman. Tanaman yang memiliki nilai BCF < 1 dan TF > 1 berpotensi mengakumulasi logam berat dengan mekanisme fitoekstraksi (Handayanto dkk., 2017). Penelitian menghasilkan nilai BCF <1 dan nilai TF >1 yang menunjukkan bahwa tanaman marigold berpotensi mengakumulasi logam berat Pb dengan mekanisme fitoekstraksi (Tabel 2). Ding dan Hu (2012) menyatakan bahwa *Tagetes erecta* L. berpotensi sebagai tanaman fitoekstraksi logam Pb, Zn, dan Cd karena memiliki nilai TF > 1 dan BCF < 1. Menurut Peuku dan Renneberg (2005), fitoekstraksi menurunkan kadar logam berat di dalam tanah dengan mengakumulasinya ke dalam biomassa tanaman sehingga dapat dipanen secara aman dan berkala. Hal ini menunjukkan bahwa inokulasi berbagai spesies CMA meningkatkan kemampuan akumulasi Pb pada tanaman marigold tetapi tidak merubah mekanisme tanaman marigold dalam mengakumulasi Pb.

Konsentrasi Pb Akhir Media Tanam

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perlakuan spesies CMA berpengaruh nyata (P<0,05) terhadap kadar Pb akhir media tanam. Hasil uji jarak berganda Duncan terhadap kadar Pb akhir media tanam pada berbagai inokulasi

Tabel 3. Kadar Pb Akhir Media Tanam pada Berbagai Inokulasi Spesies CMA

Perlakuan	Kadar Pb	
	Awal	Akhir
	-----mg/kg-----	
M0. Kontrol	229,78	192,09 ± 5,65 ^a
M1. <i>G. Fasciculatum</i>	229,78	120,68 ± 12,77 ^{bc}
M2. <i>Acaulospora sp.</i>	229,78	189,74 ± 17,59 ^a
M3. <i>G. Etunicatum</i>	229,78	156,15 ± 4,11 ^{ab}
M4. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i>	229,78	172,18 ± 8,97 ^a
M5. <i>G. fasciculatum</i> + <i>G. Etunicatum</i>	229,78	180,68 ± 4,46 ^a
M6. <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. Etunicatum</i>	229,78	159,49 ± 3,92 ^{ab}
M7. <i>G. fasciculatum</i> + <i>Acaulospora sp.</i> + <i>G. Etunicatum</i>	229,78	105,06 ± 33,25 ^c

Keterangan : superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata (P<0,05).

spesies CMA tercantum pada Tabel 3.

Hasil uji jarak berganda *Duncan* menunjukkan bahwa perlakuan kontrol (M0) memberikan hasil kandungan Pb akhir media tanam tertinggi sebesar 192,09 mg/kg berbeda nyata terhadap perlakuan *G. fasciculatum* (M1) dan *G. fasciculatum* + *Acaulospora sp.* + *G. etunicatum* (M7). Kandungan logam Pb akhir media tanam terendah terdapat pada perlakuan yang diinokulasi campuran spesies CMA *G. fasciculatum*, *Acaulospora sp.*, dan *G. etunicatum* (M7) sebesar 105,06 mg/kg. Chen dkk. (2005) menyatakan bahwa inokulasi campuran spesies CMA mampu meningkatkan akumulasi kadar Pb pada akar dan tajuk tanaman *Kummerowia striata*, *Ixeris denticulate*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens*, dan *Echinochloa crusgalli* sehingga menurunkan kadar Pb pada tanah. Cendawan mikoriza arbuskular dapat membentuk struktur hifa yang mampu menembus pori tanah diluar jangkauan akar tanaman sehingga memperluas bidang serapan (Talanca, 2010). Cendawan mikoriza dapat mengikat ion-ion logam dalam dinding sel hifanya dan melindungi tanaman dari ion-ion logam tersebut. Inokulasi CMA dapat meningkatkan fitoakumulasi tanaman dengan mengeluarkan asam organik misalnya asam karboksilat yang dapat melarutkan logam terikat karbonat. Asam karboksilat terlibat dalam transport logam berat melalui jaringan xilem

(Leyval dan Joner, 2002). Menurut Giasson dkk. (2006) hifa yang dibentuk oleh CMA dapat melarutkan ZnCO₃ sehingga bisa ditranslokasikan ke akar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar Pb masih berada diatas ambang batas normal sehingga belum aman untuk budidaya tanaman lainnya (Tabel 3). Menurut Widaningrum dkk. (2007) konsentrasi Pb 100 – 1000 ppm dapat mengakibatkan pengaruh toksik dan mengganggu proses fotosintesis tanaman. Kadar Pb diatas 100 ppm juga berbahaya bagi kualitas hasil tanaman. Onggo (2009) menyatakan bahwa tanaman sayuran spinasia yang ditanam pada media diberi larutan Pb-Nitrat konsentrasi 250 ppm mengandung 6,5 ppm Pb, padahal batas maksimum kadar Pb pada buah, sayur, umbi, ataupun kacang yaitu 0,5 ppm (SNI, 2009). Penelitian Juliana dkk. (2015) menunjukkan bahwa tanaman padi yang ditanam pada tanah dengan kadar Pb 89 ppm menghasilkan gabah dengan kandungan Pb <0,0025 ppm yang berada dibawah batas maksimum Pb pada serealialia yaitu 0,3 ppm (SNI, 2009). Hal tersebut menunjukkan bahwa kadar Pb tanah yang aman untuk budidaya serta kualitas hasil tanaman pangan maupun sayuran yaitu dibawah 100 ppm.

Penurunan kadar Pb yang belum mencapai batas aman untuk budidaya tanaman lainnya dapat diakibatkan oleh waktu pemaparan. Kemampuan

fitoremediasi suatu tanaman juga dipengaruhi oleh lamanya tanaman bersinggungan dengan media yang tercemar logam berat. Tanaman melati air mampu meningkatkan penurunan kadar logam Pb pada air tercemar limbah seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan tanaman (Caroline dan Moa, 2015). Boonyapookana dkk. (2005) menunjukkan bahwa penurunan kadar Pb meningkat dengan bertambahnya waktu pemaparan bunga matahari terhadap media yang telah ditambah berbagai jenis larutan Pb. Peningkatan kadar Pb pada jaringan tanaman apu- apu berbanding lurus dengan penambahan waktu pemaparan tanaman terhadap media tanam (Raras dkk., 2015).

KESIMPULAN

Inokulasi CMA berpengaruh terhadap tinggi tanaman marigold, jumlah cabang, nilai BCF, kadar Pb akhir media tanam, tetapi tidak berpengaruh terhadap nilai TF pada tanaman marigold. Perlakuan spesies tunggal *G. fasciculatum* (M1) meningkatkan pertumbuhan tanaman marigold tertinggi dibanding perlakuan lainnya dibawah cekaman logam berat Pb. Tanaman marigold yang diinokulasi multi-spesies CMA *G. fasciculatum* + *Acaulospora* sp. + *G. etunicatum* (M7) memiliki kemampuan akumulasi logam Pb (BCF) tertinggi dan kadar Pb akhir media tanam terendah. Hasil perhitungan nilai BCF dan TF menunjukkan bahwa mekanisme akumulasi logam Pb pada tanaman marigold adalah fitoekstraksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilia, D. D. dan K. I. Purwani. 2013. Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap akumulasi logam timbal (Pb) pada tanaman *Ephorbia milii*. J. Sains dan Seni Pomits 2 (1) : 79 – 83.
- Arisusanti, R. J. dan K. I. Purwani. 2013. Pengaruh mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap akumulasi logam timbal (Pb) pada tanaman *Dahlia pinnata*. J. Sains dan Seni Pomits 2 (2) : 69 – 73.
- Bosiacki, M. 2009. Phytoextraction of cadmium

and lead by selected cultivars of *Tagetes erecta* L. part II. contents of Cd and Pb in plants. Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus, 8 (2) : 15 – 26.

- Caroline, J. dan G.A. Moa. 2015. Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Menggunakan Tanaman Melati Air (*Echinodorus palaefolius*) pada Limbah Industri Peleburan Tembaga dan Kuningan. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III Institut Teknologi Adhi Tama : Surabaya. 29 Oktober, halaman 733 – 744.
- Chen, X., C. Wu, J. Tang, dan S. Hu. 2005. Arbuscular mycorrhizae enhance metal lead uptake and growth of host plants under a sand culture experiment. Chemosphere, 60 : 665 – 671.
- Choudhury, M.R., M.S. Islam, Z.U. Ahmed, dan F. Nayar. 2015. Phytoremediation of heavy metal contaminated Buringanga Riverbed sediment by indian mustard and marigold plants. Environmental Progress & Sustainable Energy, 100 : 1 – 8.
- Clemens, S. 2001. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. Planta, 212 : 475 – 486.
- Ding, Z. dan X. Hu. 2012. Transfer of heavy metal (Cd, Pb, Cu, dan Zn) from roadside soil to ornamental plants in Najing, China. Advanced Materials Research, 356-360 : 3051 – 3054.
- Gonzalez-Chavez, M.Z., R. Carillo-Gonzalez, S.F. Wright, dan K.A. Nichols. 2004. The role of glomalin, a protein produced by arbuscular mycorrhizal fungi, in sequestering potentially toxic elements. Environmental pollution, 130 (3) : 317 – 323.
- Handayanto, E., Y. Nuraini, N. Muddarisna, N. Syam, dan A. Fiqri. 2017. Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. Universitas Brawijaya Press, Malang.
- Herman, D. Z. 2006. Tinjauan terhadap tailing

- mengandung unsur pencemar arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam. J. Geologi Indonesia, 1 (1) : 31 – 36.
- Juliana, E., Sarifuddin, dan Jamilah. 2015. Pemberian zeolit dan arang sekam pada lahan sawah tercemar limbah pabrik terhadap Pb tanah dan tanaman padi. J. Online Agroekoteknologi, 3 (2) : 703-709.
- Leyval, C., E.J. Joner, C.D. Val, dan K. Haselwandter. 2002. Potential of arbuscular mycorrhizal fungi for bioremediation. Mycorrhizal Technology in Agriculture, 175 – 186.
- Memon, A.R., D. Aktoprakligil, A. Özdemir, dan A. Vertii. 2001. Heavy metal accumulation and detoxification mechanism in plants. Turk J. Bot. 25 : 11-121.
- Novoa, D., S. Palma, dan H. Gaete. 2010. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus* spp. Inoculation on alfalfa growth in soils with copper. Chilean J. of Agriculture Research, 70 (2) : 259-265.
- Nursanti, R.P. Tamin, dan Hamzah. 2012. Identifikasi CMA mikoriza arbuskula (CMA) di hutan lindung mangrove pangkal babu Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi. J. Penelitian Universitas Jambi Seri Sains, 4 (2) : 29-34.
- Onggo, T.M. 2009. Pengaruh konsentrasi larutan berbagai senyawa timbal (Pb) terhadap kerusakan tanaman, hasil dan beberapa kriteria kualitas sayuran daun spinasia. Melalui <http://repository.unpad.ac.id> (1 September 2018).
- Peuke, A.D. dan H. Renneberg. 2006. Phytoremediation. EMBO Reports, 6 (6) : 497 – 501.
- Purwati, N.I., S. Mulyani, dan I.W. Arnata. 2016. Analisis ekonomijalur distribusi bunga gemitir (*Tagetes erecta* L.) di Kecamatan Petang Kabupaten Badung. J. Rekayasa dan Manajemen Agroindustri, 4 (4) : 63 – 72.
- Ramana, S., A.K. Biswas, Ajay, dan A. Subbarao. 2008. Phytoextraction of lead by marigold and chrysanthemum. Indian J. Plant Physiol, 13 (3) : 297 – 299.
- Raras, D.P., B. Yusuf, dan Alimuddin. 2015. Analisis Kandungan Ion Logam Berat (Fe, Cd, Cu dan Pb) pada Tanaman Apu-Apu (*Pistia stratiotes* L) dengan Menggunakan Variasi Waktu. Prosiding Seminar Tugas Akhir FMIPA Universitas Mulawarman : Samarinda. 1 Juni, halaman 76 – 79.
- Razo, I., L. Carrizales, J. Castro, F. Diaz-Barriga, dan M. Monroy. 2004. Arsenic and heavy metal pollution of soil, water, and sediment in a semi-arid climate mining area in Mexico. Water, Air, and Soil Pollution, 152 : 129 – 152.
- Sigiro, E.R.P.S., A.W.N. Jati, dan L.I. Murwani. 2016. Efektivitas penyerapan timbal (Pb) oleh bunga matahari (*Helianthus annuus* LINN) menggunakan penambahan mikoriza dan EDTA. Melalui <http://ejournal.uajy.ac.id> (1 September 2018).
- Singh, P., S. Prakash, M. Kumar, S.M.M.K. Singh, dan A. Kumar. 2015. Effect of integrated nutrient management (INM) on growth, flowering, and yield in marigold (*Tagetes erecta* L.) CV. “Pusa Basanti”. Annals of Horticulture, 8 (1) : 73-80.
- Standar Nasional Indonesia (SNI). 2009. Batas Maksimum Cemaran Logam Berat dalam Pangan. Badan Standarisasi Nasional.
- Talanca, H. 2010. Status Cendawan Mikoriza Vesikular-Arbuskular (MVA) pada Tanaman. Prosiding Pekan Serealia Nasional : Maros, Sulawesi Selatan. 21 Juni, halaman : 353-357.
- Val, C.D., J.M. Barea, dan C. Azcon-Aguilar. 1999. Assessing the tolerance to heavy metals of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from sewage sludge-contaminated soils.

Applied Soil Ecology, 11 : 261 – 269.

Wang, F., X. Lin, dan R. Yin. 2005. Heavy metal uptake by arbuscular mycorrhizal of *Elsholtzia splendens* and the potential for phytoremediation of contaminated soil. *Plant and Soil*, 269 : 225 – 232.

Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternatif pencegahan cemarannya. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 3 : 16 – 27.