



JRT PPI 8 (1) (2017)

Jurnal Riset
Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri

Journal homepage : ejournal.kemenperin.go.id/jrtppi

Kementerian
Perindustrian
REPUBLIK INDONESIA

Stimulasi fitostabilisasi logam berat Pb dan Cd menggunakan inokulan kapang terpapar radiasi gamma dosis 250 Gy

Stimulation of Pb and Cd phytostabilization using mold inoculants exposed gamma-radiation with 250 Gy dosage

Nana Mulyana ^{1*}, Tri Retno Dyah Larasati ¹, Srikandi ²

¹Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jln. Lebak bulus raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

²Fakultas MIPA Jurusan Biologi, Universitas Nusa Bangsa Bogor, Jln. KH Sholeh Iskandar KM 4, Tanah sereal, Bogor 16166, Indonesia

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel :

Diterima 10 April 2017

Direvisi 05 Mei 2017

Disetujui 05 Mei 2017

Dipublikasikan online 29 Mei 2017

Keywords :

Phytostabilization

Heavy metal

Mold inoculants

Gamma radiation

ABSTRAK

Fitostabilisasi merupakan bagian dari proses fitoremediasi pada tanah tercemar logam berat menggunakan kombinasi antara tanaman dan inokulan kapang. Pemanfaatan radiasi sinar Gamma dosis rendah bersifat stimulus terhadap kapang dapat meningkatkan kemampuan beberapa *strain* kapang dalam mengakumulasi logam berat. Inokulan kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* diinkubasi pada 28°C selama 7 hari, kemudian dilakukan radiasi Gamma pada dosis 0 Gray dan 250 Gray. Inokulan konsorsia kapang tersebut digunakan sebagai stimulan dalam fitostabilisasi cemaran Pb dan Cd. Tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) digunakan sebagai akumulator logam Pb dan Cd. Inokulasi konsorsia kapang yang diradiasi Gamma berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa tanaman sorgum dan kedelai masing-masing sekitar 42% dan 31%. Inokulan konsorsia kapang ini juga dapat meningkatkan serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 44% dan 31%, serapan Pb dan Cd oleh akar tanaman kedelai sekitar 58% dan 27%. Penggunaan inokulan kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dengan tanaman kedelai selama 35 hari dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Pb dari 1,749 menjadi 2,391 dan dapat meningkatkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah dari 0,781 ppm menjadi 1.337 ppm sedangkan fitostabilisasi Cd dapat meningkatkan indek faktor bio-konsentrasi Cd dari 8,166 ppm menjadi 8,907 ppm. Inokulan konsorsia kapang ini dapat menurunkan indek faktor transfer Cd dari 0,158 ppm menjadi 0,131 ppm dan konsentrasi Cd di dalam lindi tanah dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma 250 Gray sesuai dan berpotensi untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi Cd dengan tanaman kedelai.

ABSTRACT

Phytostabilization is a part of the phytoremediation process on metal heavy contaminated soil using combination between plants and mold inoculants. The utilization of low-dose radiation Gamma rays to stimulate mold that can improve the ability of some molds in the accumulation of heavy metals. Prior to exposed by Gamma radiation at 0 Gray and 250 Gy, mold inoculants of *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* and *Aspergillus niger* were incubation at 28 °C for 7 days. The inoculants of mold consortia with different dose of Gamma radiation were used as a stimulant for Pb and Cd phytostabilization by sorghum plant mold consortia was significant to increase the dry weight of sorghum and soybean biomass about 42% and 31%. This mold inoculants also able to increase Pb and Cd uptake by root of sorghum about 44 and 31%, Pb and Cd uptake by root of soybean about 58% and 27%. Application of Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Pb phytostabilization by soybean for 35 days were able to increase

the index of bio-concentration factors from 1.749 ppm to 2.391 ppm and they would increase the concentration of Pb on soil leachate from 0.781 ppm to 1,337 ppm. While the Gamma irradiated mold inoculants as a stimulant of Cd phytostabilization were able to increase the index of bio-concentration factors from 8.166 ppm to 8.907 ppm. The inoculants of mold consortia were able to reduce the index of transfer factors from 0.158 to 0.131 and concentration of Cd on soils leachate from 0.274 ppm to 0.190 ppm. The results show that Gamma irradiated-mold inoculants consortia were suitable and potential to use as a stimulant of Cd phytostabilization by soybean.

© 2017 BBTPI. All rights reserved.

*Alamat korepondensi :

E-mail : nanamulyana@batan.go.id (N. Mulyana)

1. PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat seperti Cd dan Pb menjadi perhatian serius karena dapat menjadi potensi cemaran pada air permukaan dan air tanah, serta dapat menyebar ke daerah sekitarnya melalui air, angin dan penyerapan oleh tumbuhan "bioakumulasi" pada rantai makanan (Hidayat, 2005; Aydinal dkk., 2009). Sumber utama pencemaran logam berat adalah aktivitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil, pertambangan dan peleburan bijih logam, industri metalurgi, penggunaan pupuk anorganik dan pestisida, serta sampah kota (Hidayat, 2005; Mohebbi dkk., 2012; Ahmadpour dkk., 2012; Marquez dkk., 2009). Pencemaran logam berat dapat menyebabkan kerusakan permukaan tanah, pencemaran lahan pertanian, serta kerusakan beberapa fungsi tanah seperti kapasitas penyangga (*buffering*), penyaringan (*filtering*) dan pengubahan (*transforming*) tanah (Vamerali dkk., 2010; Gisbert dkk., 2003). Pencemaran logam berat di dalam tanah juga dapat menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati (Yanqun dkk., 2005).

Toksisitas logam berat menjadi masalah yang serius karena dapat bertahan dalam kurun waktu yang lama di lingkungan (Ahmadpour dkk., 2012; Marquez dkk., 2009). Logam berat tidak dapat dimusnahkan dan hanya dapat diubah dari satu tahap oksidasi atau kompleks organik ke bentuk yang lain (Marquez dkk., 2009). Respon terhadap kebutuhan mengatasi pencemaran logam berat, telah banyak dikembangkan teknologi remediasi terutama

dengan metode mekanis atau fisika-kimia seperti pencucian, penggalian dan penguburan tanah (Vamerali dkk., 2010). Namun, teknologi tersebut memerlukan sumber daya eksternal yang mahal dan menyebabkan tanah menjadi tidak layak untuk aktivitas lebih lanjut seperti pertumbuhan tanaman (Karimi, 2013). Teknologi remediasi tanah tercemar logam berat yang sederhana, efisien, murah dan ramah lingkungan adalah metode fitoremediasi (Mangkoedihardjo dkk., 2008; Kumar dkk., 2012). Metode fitoremediasi yang paling handal dalam penanganan tanah tercemar logam berat adalah fitoekstraksi dan fitostabilisasi (Vamerali dkk., 2010). Fitoekstraksi adalah strategi remediasi yang berlandaskan kemampuan tanaman dalam mengakumulasi cemaran, sedangkan fitostabilisasi adalah strategi remediasi yang berlandaskan immobilisasi logam berat oleh eksudat akar tanaman (Hidayat, 2005).

Pada tanah dengan kandungan cemaran logam berat yang tinggi, penggunaan tanaman untuk menghilangkan logam berat merupakan pendekatan yang kurang tepat karena memerlukan waktu yang sangat lama. Salah satu alternatif mengurangi resiko lingkungan yang ditimbulkan oleh logam berat adalah penggunaan tanaman untuk menstabilkan permukaan tanah sehingga dapat menurunkan erosi dan pencucian logam berat pada lapisan tanah yang lebih dalam. Pilihan ini disebut fitostabilisasi dengan tanaman yang toleran untuk inaktivasi logam berat di dalam tanah, menurunkan mobilitas dan mengurangi potensi masuknya logam berat ke dalam rantai makanan

(Wong dkk., 2012). Fitostabilisasi menggunakan spesies tanaman tertentu untuk inaktivasi cemaran di dalam tanah dan air melalui penyerapan dan akumulasi dalam jaringan tanaman, adsorpsi ke permukaan akar atau pembentukan senyawa yang tidak larut sebagai akibat interaksi cemaran dengan eksudat tanaman di *rhizosfer* (Soudek dkk., 2012).

Logam berat berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman, tutupan tanah dan mikroflora di dalam tanah (Roy dkk., 2005). Logam berat dapat menggantikan unsur logam penting dalam pigmen atau mengganggu fungsi enzim yang menyebabkan tanah menjadi tidak sesuai untuk pertumbuhan tanaman (Ghosh dkk., 2005). Ketika logam berat terakumulasi di dalam jaringan tanaman sering menyebabkan keracunan baik secara langsung dengan merusak struktur sel maupun tidak langsung melalui penggantian nutrisi penting lain (Marquez dkk., 2009). Salah satu upaya untuk mengurangi dampak toksisitas logam berat dan meningkatkan pertumbuhan tanaman adalah melalui penggunaan inokulan mikroba *rhizosfer* (Kumar dkk., 2012).

Beberapa fungi *rhizosfer* *Trichoderma* sp. dan *Aspergillus* sp. memiliki keunggulan dalam menghasilkan berbagai jenis protein ekstraselular, asam organik dan enzim. Biomassa selnya dapat digunakan sebagai bio-absorben yang efektif untuk menurunkan dan detoksifikasi polutan termasuk logam berat (Dwivedi dkk., 2013; Anastasi dkk., 2011). Penggunaan inokulan *Trichoderma virens* berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa akar dan tajuk tanaman jagung masing-masing sekitar 64% dan 56%. Inokulasi *Trichoderma virens* juga dapat meningkatkan konsentrasi logam berat Cd di dalam akar dan Pb di dalam tajuk tanaman jagung masing-masing sampai 62% dan 64% (Babu dkk., 2014).

Perlakuan radiasi Gamma merupakan salah satu upaya yang bersifat fisik untuk meningkatkan kemampuan beberapa *strain* kapang dalam mengakumulasi logam berat (Das dkk., 2013). Perlakuan radiasi Gamma dosis rendah bersifat menstimulus kapang seperti peningkatan daya tumbuh spora dan pertumbuhan sedangkan pada dosis yang lebih tinggi dapat memusnahkan kapang tersebut (Geweely dkk., 2006). Pada radiasi Gamma dosis 250 Gy

diperoleh peningkatan bobot kering miselia *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma viridie* yang optimal masing-masing sekitar 22,8% dan 16,2% (Afify dkk., 2012). *Aspergillus* sp. yang diradiasi sinar Gamma dengan dosis 20 Gy – 100 Gy menunjukkan peningkatan pertumbuhan dan efisiensi yang tinggi dalam mengakumulasi dan membersihkan cemaran logam berat Cd. (Das dkk., 2013). Biomassa sel mikroba baik hidup atau mati memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat (Ann dkk., 2012).

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi efektivitas inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi cemaran Cd dan Pb di dalam tanah. Pada penelitian terdahulu inokulan kapang tunggal tanpa radiasi Gamma sering digunakan untuk fitostabilisasi logam berat, sedangkan inokulan kapang tunggal yang diradiasi Gamma banyak digunakan untuk pengendali hayati dan pengurai residu pestisida (Afify dkk., 2012; Das dkk., 2013). Dengan demikian, penggunaan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dan Cd belum pernah dilakukan sebelumnya. Inokulan konsorsia kapang yang diradiasi Gamma dosis rendah diharapkan sesuai untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan akumulasi logam berat pada akar tanaman serta menurunkan konsentrasi logam berat di dalam lindi tanah.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Inokulan Kapang yang Diradiasi Gamma

Strain *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* dikultivasi dalam media *Potatoes Dextrose Broth* (PDB) menggunakan shaker mekanis pada 150 rpm selama 4 hari. Kultur cair *strain* kapang ini digunakan untuk pembuatan 3 jenis inokulan kapang berbasis kompos, yaitu inokulan *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger*. Bahan pembawa berbasis kompos disterilkan dengan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy, sebelum digunakan pada pembuatan inokulan kapang. Sterilisasi bahan pembawa organik dengan radiasi Gamma pada dosis 20 kGy dapat memusnahkan sebagian besar mikroorganisme tanah

termasuk aktinomiset dan kapang (Mc Namara dkk., 2003). Pada penelitian ini, bahan pembawa berbasis kompos disterilkan dengan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy untuk memperoleh jaminan sterilitas yang baik (Mulyana dkk., 2013). Ke dalam bahan pembawa yang steril ini diinokulasikan kultur cair *strain* kapang sebanyak 10% v/b, sehingga diperoleh tiga jenis inokulan kapang dengan konsentrasi masing-masing sekitar 10^9 cfu/g. Semua inokulan kapang berbasis kompos diinkubasi pada 28 °C selama 7 hari, sebelum perlakuan radiasi Gamma pada dosis 250 Gy. Hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang dipapar sinar Gamma 250 Gy memiliki tampilan pertumbuhan dan kemampuan mereduksi Pb dan Cd pada medium cair yang lebih baik dibandingkan kontrol (0 Gy), 125 Gy dan 500 Gy (Mulyana dkk., 2013). Sterilisasi bahan pembawa dan perlakuan radiasi gamma dosis rendah masing-masing dilakukan di fasilitas iradiator IRKA dan Gamma Chamber 4000A di Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Pasar Jum'at Jakarta.

2.2. Perlakuan Fitostabilisasi Cemaran Pb dan Cd

Perlakuan fitostabilisasi cemaran Pb dan Cd terdiri dari M0T1, M1T1, M2T1, M0T2, M1T2 dan M2T2 di dalam pot plastik berdiameter 22,5 cm, masing-masing 3 kali ulangan. M0 = tanpa inokulasi kapang (kontrol), M1 = inokulan kapang yang tidak diradiasi Gamma, M2 = inokulan kapang yang diradiasi Gamma 250 Gy, T1 = tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan T2 = tanaman kedelai (*Glycine max* L.).

Tanah tercemar secara artifisial dengan menambahkan larutan Pb dan Cd yang dibuat $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dalam akuades steril, sehingga diperoleh konsentrasi cemaran Pb dan Cd masing-masing sekitar 20 ppm. Ke dalam 1800 g (berat kering) tanah tercemar Pb dan Cd ini ditambahkan 200 g pupuk kandang, 5 g pupuk NPK Phonska (15:15:15) dan 2,5 g inokulan kapang berbasis kompos. Pada media tanam yang digunakan sebagai kontrol (tanpa inokulan kapang), ditambahkan bahan pembawa berbasis kompos steril sekitar

2,25 g/pot. Semua media tanam diinkubasi selama 24 jam, sebelum penanaman benih sorgum dan kedelai.

Benih sorgum ditanam sebanyak 5 biji/pot pada tanah yang dicemari Pb dan Cd dengan perlakuan M0T1, M1T1 dan M2T1. Benih kedelai ditanam sebanyak 5 biji/pot pada tanah tercemar Pb dan Cd dengan perlakuan M0T2, M1T2 dan M2T2. Pada 14 hari setelah tanam, dilakukan penjarangan dan disisakan 2 tanaman/pot. Selama 35 hari pemeliharaan tanaman sorgum dan kedelai, dilakukan penyiraman setiap 2 hari dengan air bersih sebanyak 100 ml/pot.

2.3. Penentuan Total Kapang

Total kapang di dalam bahan pembawa dan tanah ditentukan dengan metode *Total Plate Count* (TPC). Ke dalam 1 g sampel ditambahkan 9 ml air fisiologis (0,85% NaCl) steril untuk memperoleh suspensi sampel. Suspensi tersebut diencerkan sampai 10^7 dengan air fisiologis steril dan dituangkan ke atas lempeng *Potatoes Dextrose Agar* (PDA). Kemudian diinkubasi pada suhu 25°C selama 5-7 hari, dan dilakukan penghitungan jumlah koloni fungi di dalam media tersebut (Saraswati dkk., 2007).

2.4. Penentuan Karakteristik Tanah dan Kesuburan

Pemeliharaan tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) dilakukan selama 35 hari. Sebelum dan setelah penanaman tanaman uji, dilakukan evaluasi karakteristik fisika dan kimia tanah yang meliputi pH, nisbah C/N, kadar P_2O_5 (fosfat terlarut), serta konsentrasi Pb dan Cd dalam tanah dan lindi tanah. Pada 35 hari setelah tanam, dilakukan evaluasi pertumbuhan dan respon tanaman terhadap cemaran Pb dan Cd yang meliputi bobot biomassa tanaman, serapan N dan P, serapan Pb dan Cd, faktor bio-konsentrasi dan faktor transfer Pb dan Cd. Penentuan pH tanah dilakukan dengan pH meter digital terhadap filtrat yang diperoleh dari pengocokan campuran sampel dan akuades (1:2,5) dengan shaker mekanis pada 150 rpm selama 30 menit (Alidadi dkk., 2007). Analisis total N, nisbah C/N, total P dan kadar fosfat terlarut (P_2O_5) dilakukan di Laboratorium Kimia, Universitas Nusa Bangsa, Bogor.

2.5. Penentuan Cd dan Pb

Sampel tanah dikering anginkan pada suhu kamar selama 6 hari, kemudian dihaluskan dan diayak dengan saringan nylon 0,25 mm (Yanqun dkk., 2005). Sampel ini digunakan untuk analisis total Cd dan Pb di dalam tanah. Preparasi lindi dilakukan dengan menambahkan 100 ml akuades ke 10 g sampel padat, kemudian dikocok dengan shaker mekanis pada 180 rpm selama 24 jam. Suspensi sampel disaring dengan kertas saring Whatman No. 42. Untuk menyisihkan partikel halus yang tersuspensi, dilakukan pemisahan menggunakan sentrifus (merk HITACHI seri Himac CR21GII) pada 3000 rpm selama 15 menit sehingga diperoleh supernatan yang jernih (Kumar dkk., 2012). Supernatan ini digunakan untuk analisis Cd dan Pb di dalam lindi. Sebelum analisis Cd dan Pb dalam sampel tanaman, tajuk dan akar dicuci dengan air kran yang mengalir dan akuades untuk membersihkan tanah atau debu, kemudian dikeringkan pada suhu 105 °C selama 24 jam. Sampel tanaman kering dihaluskan dan diayak dengan saringan nylon 1 mm (Yanqun dkk., 2005). Analisis Cd dan Pb di dalam sampel tanah, lindi tanah, akar dan tajuk tanaman dilakukan dengan AAS (*Flame Atomic Absorption Spectrophotometer*) di Laboratorium Kimia, Universitas Islam Negeri, Jakarta.

2.5. Analisis Statistik

Analisis statistik data menggunakan program SPSS Versi 13.0. Pada evaluasi total kapang terlebih dahulu diubah ke dalam bentuk logaritma, sebelum analisis statistik. Komparasi rerata data menggunakan ANOVA satu arah untuk menunjukkan beda nyata dari beberapa perlakuan. Hasilnya dianggap signifikan jika $p < 0,05$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sterilisasi bahan pembawa organik dengan radiasi Gamma pada dosis 20 kGy dapat memusnahkan sebagian besar mikroorganisme tanah termasuk aktinomiset dan kapang (Yardin dkk., 2000). Perlakuan radiasi Gamma pada dosis 25 kGy, dimaksudkan untuk memperoleh jaminan sterilitas dan kualitas bahan pembawa berbasis kompos. Radiasi Gamma pada dosis 25 kGy dapat membersihkan

mikroorganisme *indigeneous* di dalam bahan pembawa berbasis kompos seperti disajikan pada Tabel 1. Total bakteri aerob dan kapang yang semula masing-masing $2,90 \times 10^8$ dan $1,38 \times 10^7$ cfu/g dapat dibersihkan sampai tidak terdeteksi pada 10^1 cfu/g.

Tabel 1. Pengaruh iradiasi gamma terhadap kandungan bakteri aerob dan kapang di dalam bahan pembawa berbasis kompos

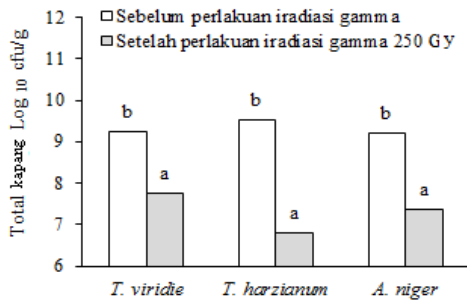
No	Radiasi Gamma, kGy	Sterilisasi radiasi Gamma 25 kGy	
		Sebelum	Setelah
1	Total bakteri aerob	$2,90 \times 10^8$	$< 10^1$
2	Total kapang	$1,32 \times 10^7$	$< 10^1$

Keterangan : cfu = *colony forming units*.

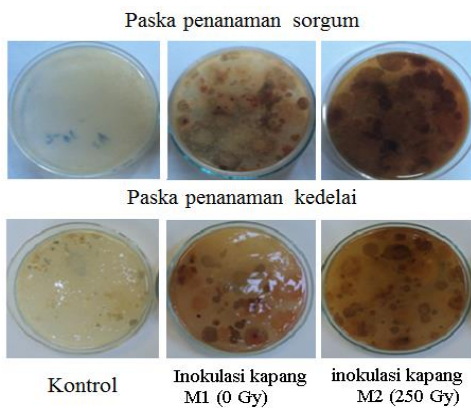
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kapang dalam medium standar yang diradiasi Gamma dengan dosis 250 Gy memberikan kemampuan optimal dalam mereduksi logam berat Pb dan Cd (Nana dkk., 2013). Perlakuan radiasi Gamma pada dosis 250 Gy dapat menurunkan populasi kapang target di dalam bahan pembawa berbasis kompos seperti disajikan pada Gambar 1. Radiasi Gamma pada dosis 250 Gy menyebabkan penurunan populasi *Trichoderma viridie* dari $3,78 \times 10^9$ menjadi $5,78 \times 10^7$ cfu/g, *Trichoderma harzianum* dari $3,33 \times 10^9$ menjadi $6,65 \times 10^7$ cfu/g dan *Aspergillus niger* dari $1,58 \times 10^9$ menjadi $2,25 \times 10^7$ cfu/g. Ketika populasi mikroorganisme diradiasi Gamma dengan dosis rendah, hanya sebagian sel yang mengalami kerusakan atau termusnahkan. Peningkatan dosis radiasi Gamma berpengaruh terhadap jumlah organisme yang mampu bertahan hidup dan akan menurun secara eksponensial (Moussa dkk., 2003).

Pemberian inokulan kapang M1 dan M2 sebanyak 2,5 g/pot, tidak berpengaruh nyata terhadap peningkatan total kapang di dalam media tanam. Sebelum penanaman benih sorgum dan kedelai, total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 masing-masing sekitar $4,95 \times 10^6$, $9,77 \times 10^6$ dan $5,02 \times 10^6$ cfu/g. Setelah 35 hari pemeliharaan tanaman sorgum dan kedelai, semua perlakuan inokulasi kapang berpengaruh nyata terhadap pengayaan kapang seperti disajikan pada Gambar 2 dan 3. Total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 paska penanaman sorgum masing-masing sekitar

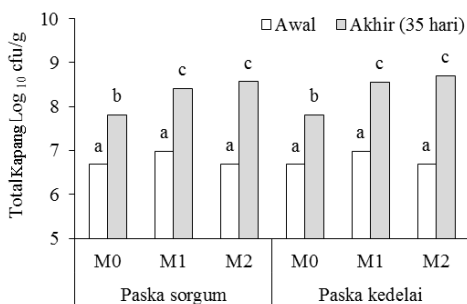
6,38x10⁷, 3,13x10⁸ dan 4,26x10⁸ cfu/g. Total kapang di dalam media tanam M0 (kontrol), M1 dan M2 paska penanaman kedelai masing-masing sekitar 6,78x10⁷, 3,71x10⁸ dan 5,07x10⁸ cfu/g. Hasil ini menunjukkan bahwa populasi kapang M2 kurang dari M1 tetapi mampu berperan lebih baik dalam pengayaan populasi kapang di dalam media tanam.



Gambar 1. Pengaruh iradiasi gamma terhadap total kapang target di dalam Bahan Pembawa berbasis kompos (indek huruf a dan b menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

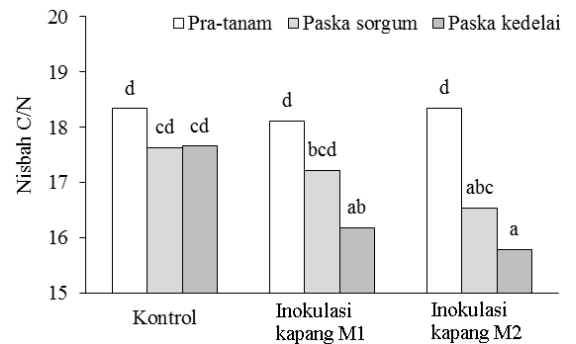


Gambar 2. Tampilan kapang dalam media *potatoes dextrose agar* dari sampel tanah paska penanaman sorgum dan kedelai

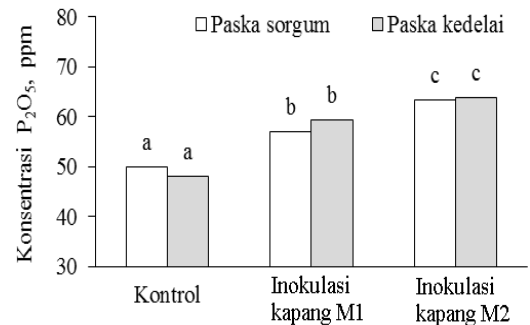


Gambar 3. Total kapang di dalam tanah pada pra-tanam dan paska penanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

Pengayaan populasi kapang di dalam tanah berpengaruh terhadap perubahan nisbah C/N di dalam tanah seperti disajikan pada Gambar 4. Penurunan nisbah C/N dalam tanah yang signifikan diperoleh pada media tanaman kedelai yang diinokulasi kapang M2, yaitu dari 18,34 menjadi 15,78. Inokulasi kapang M2 juga lebih mampu meningkatkan konsentrasi fosfat tersedia (P₂O₅) di dalam tanah seperti disajikan pada Gambar 5. Pemberian inokulan kapang M2 dapat meningkatkan konsentrasi P₂O₅ di dalam media tanaman sorgum sekitar 27% dari 50 ppm menjadi 63,5 ppm. Perlakuan ini juga dapat meningkatkan konsentrasi P₂O₅ di dalam media tanaman kedelai sekitar 33% dari 48 ppm menjadi 64 ppm.



Gambar 4. Pengaruh inokulasi kapang terhadap perubahan nisbah C/N media tanam (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)



Gambar 5. Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan konsentrasi P₂O₅ media tanah (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada p < 0,05)

Di dalam media tanam dengan perlakuan inokulasi kapang terjadi perbaikan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai seperti disajikan pada Gambar 6. Perlakuan inokulasi kapang M2 lebih mampu meningkatkan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai dibandingkan inokulasi kapang M1 seperti

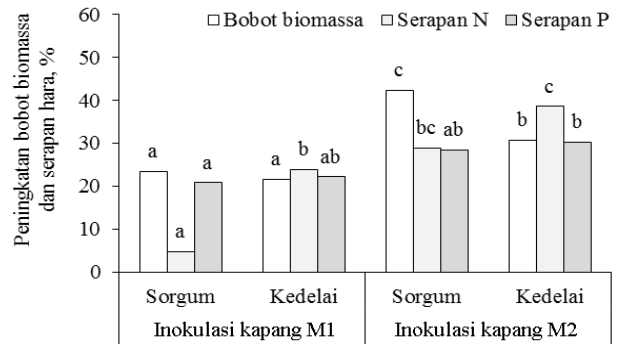
disajikan pada Gambar 7. Percepatan dekomposisi bahan organik dan peningkatan kadar P_2O_5 (fosfat terlarut) di dalam media tanam yang diinokulasi kapang M2 dapat meningkatkan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum dan kedelai. Inokulasi kapang M2 berpengaruh nyata terhadap peningkatan bobot kering biomassa tanaman sorgum 42% dari 11 g menjadi 14 g, serapan N sekitar 29% dari 350 mg/pot menjadi 452 mg/pot, serapan P sekitar 28% dari 384 mg/pot menjadi 493 mg/pot. Perlakuan ini juga dapat meningkatkan bobot kering biomassa tanaman kedelai sekitar 31% dari 6 g menjadi 8 g, serapan N sekitar 39% dari 191 mg/pot menjadi 265 mg/pot, serapan P sekitar 30% dari 195 mg/pot menjadi 254 mg/pot.



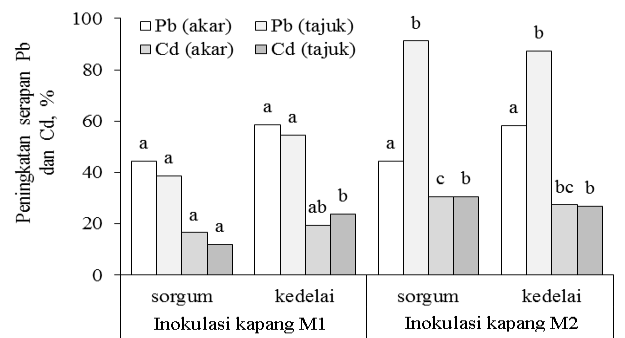
Gambar 6. Tampilan Tanaman Sorgum dan Kedelai pada 35 Hari Setelah Tanam

Semua perlakuan inokulasi kapang menyebabkan perubahan serapan Pb dan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai seperti disajikan pada Gambar 8. Inokulan kapang M1 dan M2 memiliki kemampuan yang tidak berbeda nyata dalam peningkatan serapan Pb oleh akar tanaman sorgum dan kedelai. Kedua perlakuan ini dapat meningkatkan serapan Pb oleh akar tanaman sorgum sekitar 44% dari 75 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 108 $\mu\text{g}/\text{pot}$ dan serapan Pb oleh akar tanaman kedelai sekitar 58 % dari 86 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 136 $\mu\text{g}/\text{pot}$. Peningkatan serapan Pb tertinggi oleh tanaman sorgum dan kedelai diperoleh pada perlakuan inokulasi kapang M2. Perlakuan ini dapat meningkatkan serapan Pb oleh tajuk tanaman sorgum sekitar 91% dari 94 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 131 $\mu\text{g}/\text{pot}$ dan serapan Pb oleh tajuk tanaman kedelai sekitar 87% dari 37 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 58 $\mu\text{g}/\text{pot}$. Adanya perubahan kondisi fisik dan kimia dari tanaman sorgum dan kedelai menyebabkan kemampuan kedua tanaman uji tersebut untuk menyerap Pb. Hal ini disebabkan meningkatnya kemampuan interaksi positif

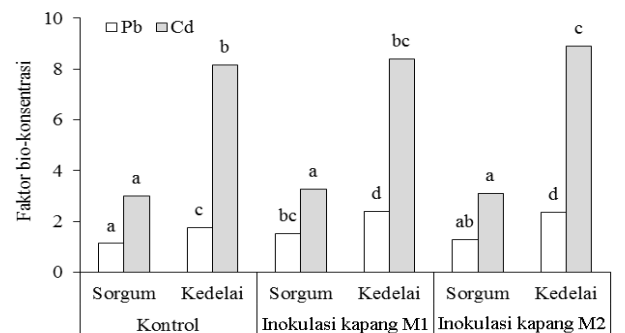
antara bagian tertentu dari kedua tanaman uji dengan logam Pb. Hasil ini mengindikasikan bahwa inokulan kapang M1 dan M2 berpotensi untuk stimulan fitoekstraksi tetapi tidak sesuai sebagai stimulan fitostabilisasi Pb dengan tanaman sorgum dan kedelai.



Gambar 7. Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan bobot biomassa dan serapan hara oleh tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$)



Gambar 8. Pengaruh inokulasi kapang terhadap peningkatan serapan Pb dan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$)



Gambar 9. Pengaruh inokulasi kapang terhadap indeks bio-konsentrasi Pb dan Cd pada tanaman sorgum dan kedelai (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$)

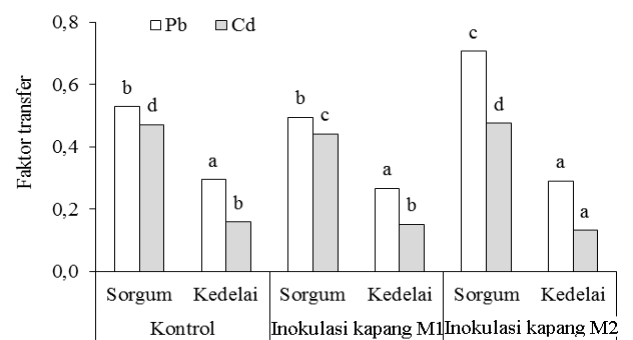
Inokulasi kapang M1 dan M2 juga berpengaruh terhadap peningkatan serapan Cd oleh tanaman sorgum dan kedelai. Perlakuan inokulasi kapang M1 dapat meningkatkan serapan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 17% dari 199 µg/pot menjadi 232 µg/pot, tajuk tanaman sorgum sekitar 12% dari 224 µg/pot menjadi 151 µg/pot, akar tanaman kedelai sekitar 19% dari 401 µg/pot menjadi 479 µg/pot dan tajuk tanaman kedelai sekitar 24% dari 94 µg/pot menjadi 116 µg/pot. Peningkatan serapan Cd tertinggi oleh tanaman sorgum dan kedelai diperoleh pada perlakuan inokulasi kapang M2.

Peningkatan luas permukaan di bagian tertentu pada tanaman menyebabkan kemampuannya untuk menyerap logam berat tertentu juga semakin meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya serapan Cd oleh akar tanaman sorgum sekitar 31% dari 199 µg/pot menjadi 260 µg/pot, tajuk tanaman sorgum sekitar 30% dari 224 µg/pot menjadi 292 µg/pot, akar tanaman kedelai sekitar 27% dari 401 µg/pot menjadi 511 µg/pot dan tajuk tanaman kedelai 27% dari 94 µg/pot menjadi 119 µg/pot.

Indek faktor bio-konsentrasi adalah nisbah konsentrasi logam berat di dalam akar tanaman dan tanah (Yoon dkk., 2006). Tanaman sorgum dan kedelai memiliki indeks bio-konsentrasi Pb dan Cd yang berbeda seperti disajikan pada Gambar 9. Inokulasi kapang M1 berpengaruh nyata terhadap peningkatan indeks faktor bio-konsentrasi Pb pada tanaman sorgum dari 1,128 menjadi 1,528 serta Cd pada tanaman kedelai dari 1,749 menjadi 2,391. Penggunaan inokulan kapang M2 sebagai stimulan fitostabilisasi dengan tanaman kedelai berpengaruh nyata terhadap peningkatan faktor bio-konsentrasi Pb dari 1,749 menjadi 2,370 dan Cd dari 8,166 menjadi 8,907. Dengan demikian, inokulan kapangi M1 dapat mengoptimalkan akumulasi Pb di dalam akar tanaman sorgum sedangkan inokulan kapang M2 dapat mengoptimalkan akumulasi Pb dan Cd di dalam akar tanaman kedelai.

Indek faktor transfer adalah kemampuan tanaman untuk mengambil logam berat dari akar dan mentranslokasikannya ke bagian tanaman di atas tanah (Yoon J dkk., 2006). Tanaman sorgum dan kedelai tanpa inokulasi kapang (kontrol) memiliki indeks faktor transfer

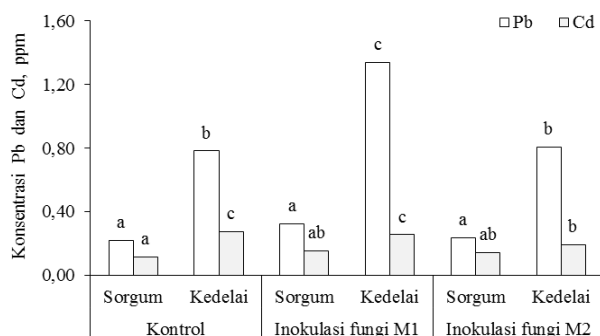
Pb sekitar 0,529 dan 0,294 serta indeks faktor transfer Cd sekitar 0,472 dan 0,158. Kedua jenis tanaman ini memiliki indeks faktor transfer kurang dari 1 (satu) atau bersifat ekskluder (Ahmadpour dkk., 2012). Tanaman sorgum dan kedelai menunjukkan respon yang berbeda terhadap inokulasi kapang M1 dan M2 seperti disajikan pada Gambar 10. Inokulasi kapang M1 berpengaruh nyata terhadap penurunan indeks faktor transfer Cd pada tanaman sorgum dari 0,472 menjadi 0,442. Inokulasi kapang M2 berpengaruh nyata terhadap penurunan indeks faktor transfer Cd pada tanaman kedelai dari 0,158 menjadi 0,131.



Gambar 10. Faktor transfer Pb dan Cd pada tanaman sorgum dan kedelai dengan stimulan inokulan kapang (indek huruf a, b, c dan d menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$)

Pengaruh inokulasi kapang terhadap perubahan konsentrasi Pb dan Cd dalam lindi tanah disajikan pada Gambar 11. Penggunaan inokulan kapang M1 dan M2 sebagai stimulan fitostabilisasi dengan tanaman sorgum tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi Pb dan Cd dalam lindi tanah. Pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai, inokulasi kapang M1 dapat meningkatkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah dari 0,781 ppm menjadi 1.337 ppm sedangkan inokulasi kapang M2 tidak berpengaruh nyata terhadap penurunan konsentrasi Pb dalam lindi tanah. Penurunan konsentrasi Cd dalam lindi tanah yang signifikan dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm, diperoleh pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai yang diinokulasi kapang M2. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250

Gy sesuai untuk menurunkan konsentrasi Pb dalam lindi tanah pada fitostabilisasi dengan tanaman kedelai.



Gambar 11. Konsentrasi Pb dan Cd di dalam lindi tanah paska penanaman sorgum dan kedelai dengan stimulan inokulan kapang (indek huruf a, b dan c menunjukkan beda nyata pada $p < 0,05$)

Penggunaan inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy mampu meningkatkan bobot kering biomassa tanaman kedelai dan indek faktor bio-konsentrasi Cd, serta menurunkan indek faktor transfer Cd dan konsentrasi Cd dalam lindi tanah. Fitostabilisasi merupakan pendekatan remediasi untuk mengurangi resiko lingkungan yang ditimbulkan oleh logam berat menggunakan tanaman untuk menstabilkan permukaan tanah, inaktivasi dan immobilisasi logam berat oleh eksudat akar, penurunan ketercucian logam berat, serta mengurangi masuknya logam berat ke dalam rantai makanan (Wong dkk., 2012; Liu dkk., 2010). Hal ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy sesuai untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi Cd dengan tanaman kedelai.

4. KESIMPULAN

Inokulasi kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy berpengaruh nyata terhadap peningkatan tampilan pertumbuhan tanaman sorgum (*Sorghum bicolor* L.) dan kedelai (*Glycine max* L.) di dalam tanah tercemar Pb dan Cd, dibandingkan perlakuan lain. Pemberian inokulan kapang ini dapat meningkatkan bobot

kering biomassa tanaman sorgum sekitar 42% dari 11 g menjadi 14 g dan tanaman kedelai sekitar 31% dari 6 g menjadi 8 g. Inokulasi kapang ini juga dapat meningkatkan serapan Pb akar tanaman sorgum sekitar 44% dari 75 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 108 $\mu\text{g}/\text{pot}$, serapan Cd akar tanaman sorgum sekitar 31% dari 199 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 260 $\mu\text{g}/\text{pot}$, serapan Pb akar tanaman kedelai sekitar 58% dari 86 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 136 $\mu\text{g}/\text{pot}$ dan serapan Cd akar tanaman kedelai sekitar 27% dari 401 $\mu\text{g}/\text{pot}$ menjadi 511 $\mu\text{g}/\text{pot}$. Penggunaan inokulan kapang yang diradiasi Gamma 250 Gy pada fitostabilisasi cemaran Cd dengan tanaman kedelai, berpengaruh nyata terhadap peningkatan indek faktor bio-konsentrasi Cd dari 8,166 menjadi 8,907 dan penurunan indek faktor transfer Cd dari 0,158 menjadi 0,131 serta penurunan konsentrasi Cd di dalam lindi tanah dari 0,274 ppm menjadi 0,190 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa inokulan konsorsia kapang *Trichoderma viridie*, *Trichoderma harzianum* dan *Aspergillus niger* yang diradiasi Gamma 250 Gy sesuai dan berpotensi untuk digunakan sebagai stimulan fitostabilisasi logam berat Cd dengan tanaman kedelai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR-BATAN) yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui DIPA tahun 2015, Fakultas MIPA Universitas Nusa Bangsa yang membantu analisa karakteristik tanah serta pihak Laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah yang membantu dalam analisa kadar logam berat Pb dan Cd menggunakan AAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Afify AEMR., Mabo-El-Seoud., Ibrahim GM., Helal IMM., Kassem BW., 2012, Exposing of *Trichodermaspp.* to gamma radiation for stimulating its pesticide biodegradation activity, J Rad Res Appl Sci 5(2):440-454.
- Ahmadpour P., Ahmadpour F., Mahmud TMM., Abdul A., Soleimani M and Tayefeh FH., 2012, phytoremediation of heavy metals: A green

- technology, *African Journal of Biotechnology* 11(76):14036-14043.
- Alidadi H., Parvaresh AR, Shahmansouri MR., 2007, Combine compost and vermicomposting process in the treatment and bioconversion of sludge, *Pakistan Journal of Biological Science* 10(21):3944-3947.
- Anastasi A., Parato B., Spina F., Tigini V., Prigione V, Varese GC., 2011, Decolourisation and detoxification in the fungal treatment of textile wastewaters from dyeing processes, *New Biotechnology* 29(1):38-45.
- Ann WC., Ab Rahman NNN., Ab Kadir MO., Chen CC., 2012, Dried and wet *Trichoderma* sp. biomass adsorption capacity on Ni, Cd and Cr in contaminated groundwater, 2012, *International Conference on Environmental Science and Technology IPCBEE*, 30:51-57.
- Aydinalp C and Marinova S., 2009, The effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*), *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (4):347-350.
- Babu AG., Shim J., Bang KS., Shea PJ and Oh BT., 2014, *Trichoderma virens* PDR-28: A heavy metal-tolerant and plant growth-promoting fungus for remediation and bioenergy crop production on mine tailing soil, *Journal of Environmental Management*, 132:129-134.
- Das D., Chakraborty A., Bhar S., Sudarshan M Santra SC., 2013, Gamma irradiation in modulating cadmium bioremediation potential of *Aspergillus* sp, *Journal of Environmental Science*, 3(6):51-55.
- Dwivedi S., Mishra A and Saini D., 2013, Removal of heavy metals in liquid media through fungi isolated from wastewater, *International Journal of Science and Research*, 1(3):181-185.
- Geweely SIN., Nawar LS., 2006, Sensitivity to gamma irradiation of post-harvest pathogens of pear, *International Journal of Agriculture & Biology* 8(6):710-716.
- Ghosh M., Singh SP., 2005, A review on phytoremediation of heavy metal and utilization of its byproducts, *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1):1-18.
- Gisbert G., Ros R., Haro AD., Walker DJ., Bernal MP., Serrano R., 2003, A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation, *Biochem. Biophys. Commun* 303:440-445.
- Hidayati N., 2005, Ulasan : Fitoremediasi dan potensi tumbuhan hiperakumulator, *Hayati*, 2(1):35-40.
- Karimi N., 2013, Comparative phytoremediation of chromium-contaminated soils by alfalfa (*Medicago sativa*) and *Sorghum bicolor* (L) Moench, *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 1(3):44-49.
- Kumar M., Kaushik A., Chaidhary S., Sumit., Pal K., 2012, Studies on phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Arbuscular Mycorrhizal Fungus*, *International Journal of Pharma Professional's Research* 3(2):616-621.
- Liu W., Zhou Q., Sun AJY., Liu R., 2010, Variations in cadmium accumulation among Chinese cabbage cultivars and screening for Cd-safe cultivars, *J Hazard Mater* 173(1-3):737-743.
- Mangkoedihardjo S., Surahmida., 2008, *Jatropha curcas* L. for phytoremediation of Lead and Cadmium polluted soil, *World Applied Sciences J* 4(4):519-522.
- Marquez APGC., Rangel AOSS., Castro PML., 2009, Remediation of heavy metal contaminated soils: Phytoremediation as a potentially promising clean-up technology, *Environmental Science and Technology*, 39:622-654.
- Mcnamara NP., Black HIJ., Beresford NA., Parekh NR., 2003, Effect of acute gamma irradiation on chemical, physical and biological properties of soils, *Applied Soil Ecology* 24(2):117-132.
- Mohebbi AH., Harutyunyan SS., Chorom SM., 2012, Phytoremediation potential of three plant grown in monoculture and intercropping with date palm

- in contaminated soil, *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 4 (20):1523-1530.
- Moussa TAA., Rizk MA., 2003, Impact of gamma irradiation stresses: control of sugarbeet pathogens *Rhizoctonia solani* Kuhn and *Sclerotium rolfsii* Sacc, *Pakistan Journal of Plant Pathology* 2(1):10-20.
- Mulyana N., Larasati TRD., Adhari A., 2013, Stimulasi degradasi hidrokarbon dan reduksi logam berat dalam medium cair menggunakan inokulan fungi teriradiasi gamma dosis rendah, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN*
- Roy S., Labelle S., Mehta P., 2005, Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites, *Plant and Soil* 272(1-2): 277–290.
- Saraswati R., Husen E., Simanungkalit RDM., 2007, Metode analisis biologi tanah,, *Sumber daya Lahan Pertanian* : 10-18.
- Soudek P., Petrova S., Vanek T., 2012, Phytostabilization or accumulation of heavy metals by using of energy crop *Sorghum sp*, 3rd International Conference on Biology, Environment and Chemistry 46(6):25-29.
- Vamerali T., Bandiera M., Mosca G., 2010, A review: Field crops for phytoremediation of metal-contaminated land, *Environ Chem Lett* 8:1–17.
- Wong MW., 2003, Ecological restoration of mine degraded soils with emphasis on metal contaminated soils, *Chemosphere* 50:775–780.
- Yanqun Z., Yuan L., Jianjun C., Haiyan C., Li Q., Schvart C., 2005, Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead–zinc mining area in Yunnan, China, *Environment International* 31: 755–762.
- Yardin MR., Kennedy IR., Thies JE., 2000, Development of high quality carrier for field delivery of key microorganisms used as bio-fertilizers and bio-pesticides, *Radiation Physics and Chemistry*, 57(3-6) Pages 565-568.
- Yoon J., Cao X., Zhou Q., Ma LQ., 2006, Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, *Sci Total Environ* 368(2-3):456-464.

