

MIKORIZA INDIGINOUS DI AREA YANG TERKONTAMINASI LOGAM Cr dan Cu

Muhammad Akhsan Akib¹, Andi Nuddin², Retno Prayudyaningsih³

¹Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan; dan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan, 91131, Indonesia.

²Fakultas Pertanian, Peternakan, dan Perikanan, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan, 91131, Indonesia.

³Balai Litbang Lingkungan Hidup dan Kehutanan Makassar, Sulawesi Selatan, 90243, Indonesia.
Email: akhsanbagus@umpar.ac.id¹, andinuddin@umpar.ac.id², rprayudyaningsih@gmail.com³

Corresponding author: akhsanbagus@umpar.ac.id

Abstrak

Cendawan mikoriza yang mampu beradaptasi dan resisten terhadap lingkungan yang tercemar logam berat mendapat perhatian khusus bagi peneliti phytoremediasi. Tujuan penelitian adalah untuk mengeksplorasi mikoriza indigenus dari area yang terkontaminasi logam berat untuk dimanfaatkan sebagai starter agen hayati dalam program phytoremediasi. Penelitian ini dilaksanakan dalam dua fase, yaitu: Pengambilan sampel rhizosfer *Polypodium glycyrrhiza*, *Sumasang sp* (nama lokal) dan *Spathoglottis plicata* di area Sumasang, Sorowako, Indonesia; Sedangkan fase lainnya adalah mengisolasi dan identifikasi spora mikoriza di Laboratorium Mikrobiologi, Balai Penelitian Dan Pengembangan Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Makassar, Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditemukan tiga genus mikoriza indigenus yang mampu beradaptasi dan resistensi di area yang terkontaminasi Cr dan Cu yaitu 69,56% *Acaulospora sp*; 13, 69% *Gigaspora sp*, dan 17,39% *Glomus sp*. Identifikasi species mikoriza untuk ketiga genus yang ditemukan merupakan pekerjaan yang menarik dan potensial dimasa yang akan datang.

Kata Kunci : *Acaulospora*, *fungi*, *Gigasporas*, *Glomus*, *pascatambang*

PENDAHULUAN

Konsentrasi logam berat yang melebihi ambang batas menjadi sumber polutan di lahan-lahan pasca tambang. Pencemaran logam berat telah terjadi di lahan pasca tambang emas (Fashola et al, 2016), nikel (Hu et al, 2017), timah (Kurniawan, 2017), dan batubara (Bhuiyan et al, 2010). Konsentrasi logam berat yang tinggi akan menghambat pertumbuhan (Jaishankar et al, 2014), mengubah morfologi (Bini et al, 2012) dan mengganggu metabolisme (Singh et al, 2012). Namun, setiap jenis organisme juga memiliki strategi pertahanan terhadap cekaman logam berat untuk menjalankan proses adaptasi (Emamverdian et al, 2015).

Logam berat dapat menyebabkan perubahan dalam komunitas mikroorganisme, sehingga mikroorganisme lebih tahan terhadap cekaman logam berat (Igiri et al, 2018), logam berat yang esensial dan tidak esensial menunjukkan toksisitas jika berada diatas konsentrasi tertentu (Bansal and Asthana, 2018). Cekaman toksisitas ini, dibatasi dengan nilai

ambang batas yang bervariasi, tergantung pada banyak faktor (Ju et al. 2016), termasuk jenis mikroorganisme, sifat fisikokimia dan konsentrasi logam, dan kondisi tanah (edafik) dan lingkungan (Emamverdian et al, 2015).

Mikoriza merupakan salah satu mikroorganisme tanah yang bersifat obligat. Cendawan ini memiliki kemampuan bersimbiosis secara mutualistik dengan 80% species tanaman (Berruti et al, 2016). Namun, sangat ditentukan oleh tipe cendawan mikoriza dan kondisi lingkungan (Tahat dan Sijam, 2012). Cendawan mikoriza yang memiliki daya adaptasi yang luas akan memiliki kemampuan untuk bertahan diberbagai kondisi lingkungan khususnya pada lahan-lahan yang tercemar logam berat (Chen et al, 2018). Namun, tingkat toleransi logam berat bervariasi antara kelompok cendawan yang berbeda (Anahid et al, 2011). Beberapa strain cendawan mikoriza dapat mentolerir tekanan logam berat, di antaranya, *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* dan beberapa spesies *Glomus* lainnya yang penting. Oleh karena itu pemilihan

strain cendawan mikoriza yang toleran terhadap logam berat merupakan langkah penting untuk mendapatkan tanaman sehat di area yang tercemar logam berat (Bano dan Ashfaq, 2013).

Evaluasi toleransi mikroorganisme dalam tanah yang tercemar logam berat, para spesialis telah mengadopsi konsep toleransi masyarakat yang disebabkan oleh polutan (Giller et al, 2009). Perspektif ini menetapkan bahwa seiring waktu dalam suatu ekosistem, paparan kontaminasi meningkatkan toleransi pada komunitas mikroorganisme (Shade et al, 2012). Tiwari dan Lata (2018) mengemukakan bahwa paparan jangka panjang logam berat memberi cekaman terhadap mikroba tanah dan meningkatkan toleransi. Mereka menyimpulkan bahwa akumulasi jangka panjang logam berat dalam tanah memberikan waktu kepada komunitas mikroorganisme untuk beradaptasi dengan logam berat. Adaptasi ini telah dikaitkan dengan dua faktor, yaitu penurunan ketersediaan logam secara bertahap karena reaksi imobilisasi yang terjadi di rhizosfer, sedangkan faktor lainnya adalah perubahan bertahap dalam struktur komunitas mikroba, berdasarkan perubahan profil asam lemak fosfolipid (Azarbad et al, 2013) yang menghasilkan organisme yang lebih toleran. Selain kedua hal tersebut, organisme seperti cendawan mikoriza mengakumulasi logam berat kedalam vesikel, hifa, dan arbuscula cendawan (Rezvani et al, 2015).

Isolasi cendawan mikoriza indiginous yang telah teradaptasi pada lingkungan yang tercekam dapat menjadi alat bioteknologi potensial untuk diinokulasikan pada tanaman untuk keberhasilan restorasi ekosistem yang terdegradasi. Sehingga dibutuhkan suatu kegiatan yang bertujuan untuk mengeksplorasi cendawan mikoriza indigenus dari area yang terkontaminasi logam berat untuk dimanfaatkan sebagai starter agen hayati.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam dua fase. Pada fase pertama dilakukan pengambilan sampel rhizosfer *Polypodium glycyrrhiza*, *Sumasang sp* (nama lokal) dan *Spathoglottis plicata* di area Sumasang, Sorowako, Indonesia; menggunakan metode dari Krishnamoorthy (2015) dan Toh et al (2018).

Fase lainnya, spora cendawan mikoriza diisolasi dari sampel rhizosfer menggunakan

teknik wet sieving (Brundrett et.al, 1984) dengan menggunakan saringan bertingkat yang memiliki ukuran mesh 325, 40 dan 50 μm di Laboratorium Mikrobiologi, Balai Penelitian Dan Pengembangan Lingkungan Hidup Dan Kehutanan, Makassar, Indonesia. Morfologi spora diidentifikasi menggunakan manual book dari International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM, 2019).

Konsentrasi logam berat tanah diukur di laboratorium kimia, Politeknik Ujung Pandang, Makassar, menggunakan buku manual X-Ray Florence Spectrophotometer/Bruker/S2 Ranger, konsentrasi logam berat dalam tanah dapat dilihat pada tabel 1.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran logam berat di laboratorium menunjukkan bahwa area pasca tambang telah terkontaminasi logam Cr dan Cu yang melebihi batas kritis untuk tanah dan tanaman (Tabel 1), hal ini akan memberikan cekaman kepada makroorganisme dan mikroorganisme tanah untuk menyelesaikan siklus hidupnya, namun beberapa organisme mampu beradaptasi pada lingkungan yang tercemar logam tersebut.

Serangkaian prinsip-prinsip ekologi "klasik" yang mengkaji proses meningkatnya toleransi atau resistensi suatu komunitas mikroorganisme telah banyak dipelajari. Resistensi mikroorganisme, mengacu pada kemampuan untuk melawan efek polutan yang biasanya efektif terhadap mereka, sedangkan toleransi mikroorganisme, mengacu pada kemampuan untuk beradaptasi dengan adanya polutan persisten (Bhalerao, 2013). Tiwari dan Lata (2018) mengemukakan bahwa toleransi dan resistensi terhadap efek toksik logam berat bergantung pada mekanisme yang terlibat. Secara singkat, toleransi terhadap logam berat dapat didefinisikan sebagai fenomena dimana mikroorganisme meningkatkan resistensi terhadap cekaman logam berat yang dapat mengakibatkan keracunan

Tabel 1. Element logam berat di area yang terkontaminasi logam berat di Sorowako, kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan, Indonesia.

Logam berat (ppm)	Area Sumasang	Batas Kritis	
		Tanah	Tanaman
Kromium (Cr)	26.458	2,5*	5-30**
Tembaga (Cu)	87.3	60-125*	20-100**

* Sumber: Ministry of State for Population and Environment Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada. 1992.

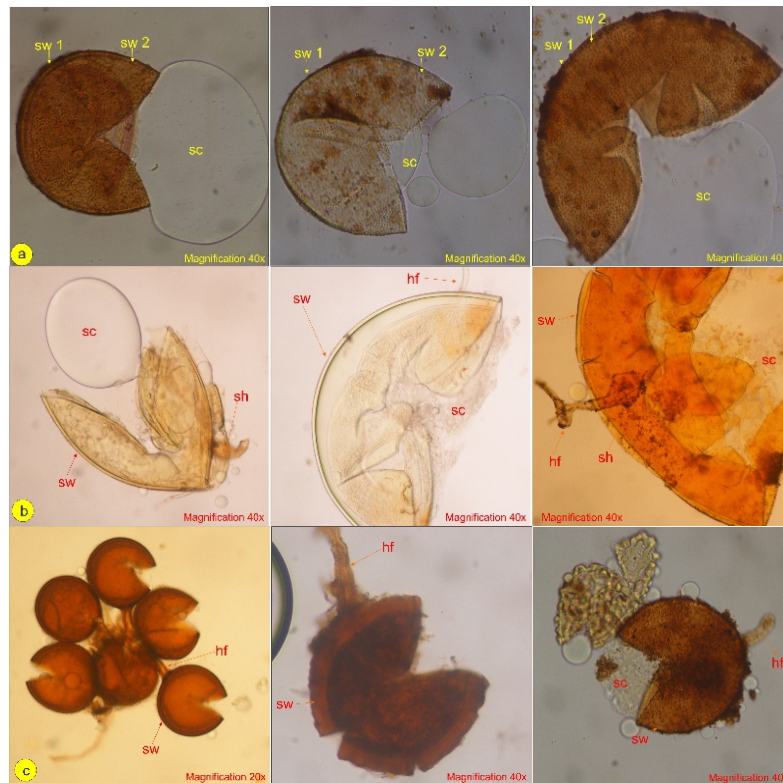
** Alloway (1995) and Shanab et al (2007).

Semua organisme, termasuk mikroorganisme, dapat mencapai resistensi terhadap logam berat dengan "penghindaran" ketika organisme mampu membatasi penyerapan logam, atau dengan "toleransi" ketika organisme bertahan hidup di konsentrasi logam internal yang tinggi (Hossain et al, 2012; Khare et al, 2017; Ojuederie dan Babalola, 2017). Mekanisme pertama yang terlibat yaitu berkurangnya penyerapan atau peningkatan efflux, pembentukan dan pelepasan asam organik di luar kompleks sel. Mekanisme kedua, logam dikelat secara intraseluler melalui sintesis ligan seperti metallothionein, polifosfat, dan/atau kompartemen dalam vakuola (Ma et al, 2016; Singh et al, 2016). Individu yang toleran dan sensitif terhadap logam berat dapat dibedakan dengan kinerja pertumbuhan mereka pada substrat yang terkontaminasi logam berat (Glubiak et al, 2012, Singh et al. 2016).

Hasil identifikasi spora cendawan mikoriza yang diperoleh dari berbagai rhizosfer tanaman inang di area yang terkontaminasi logam berat, ditemukan tiga genus spora cendawan mikoriza indigenous yang mampu beradaptasi dan resisten pada area yang dengan konsentrasi logam berat yang tinggi, yaitu *Acaulospora* sp, *Gigaspora* sp dan *Glomus* sp (Gambar 1) dengan kelimpahan spora yang berbeda dari berbagai rhizosfer tanaman inang (Tabel 2). Keberadaan mikoriza dilahan yang terkontaminasi Cr dan Cu kemungkinan mengikuti mekanisme pertahanan yang kedua untuk menjadi toleran dan resisten.

Cendawan mikoriza sangat penting dalam program fitostabilisasi logam berat yang bersifat beracun. Tumbuhan yang memiliki asosiasi dengan mikoriza mengakumulasi polutan logam berat dengan menyimpan logam-logam ini dalam vesikel dan hifa cendawan di akarnya, sehingga polutan logam ini tidak bergerak dan tidak menghambat pertumbuhan dan penyerapan fosfor dan beberapa mikronutrien lainnya (Bano, 2013; Yang, 2016). Cendawan mikoriza juga melepaskan berbagai asam organik yang

meningkatkan kelarutan senyawa fosfat tak larut yang ada di tanah (Jamal et al, 2018). Bentuk fosfor yang tidak tersedia diubah menjadi bentuk yang tersedia sebagai hasil dari asam organik yang diproduksi oleh cendawan (Bolduc dan Hijri, 2010; Johri et al, 2015). Cendawan mikoriza melepaskan glomalin yang merupakan glikoprotein logam sorble tertentu yang meningkatkan imobilisasi logam beracun (Ambrosini, 2015; Hristozkova et al, 2016). Protein metallothioneine yang dilepaskan oleh cendawan mikoriza tertentu, juga mengurangi toksisitas logam berat dalam tanah (Bano dan Ashfaq, 2013). Miselium eksternal cendawan mikoriza tertentu juga menghasilkan sejenis protein yang disebut Glycoprotein (Glomalin), yang memiliki area pengikat logam berat (Trouvelot et al, 2015; Leal et al, 2016). Beberapa laporan dan ulasan menunjukkan bahwa mikoriza dari area yang terkontaminasi logam berat telah mengembangkan toleransi terhadap toksisitas logam berat dan beradaptasi dengan baik. Mikoriza terbukti melakukan evolusi toleransi terhadap logam berat, sebagaimana yang dinyatakan oleh Lingua et al (2012) dan French (2017), beberapa strain mikoriza toleran berkembang dalam satu atau dua tahun. Namun sampai saat ini, mekanisme interaksi yang potensial antara cendawan mikoriza dan logam berat, serta mekanisme seluler dan molekuler tentang toleransi logam berat oleh cendawan mikoriza, masih kurang dipahami. Karena cendawan mikoriza tidak dapat dibudidayakan tanpa tanaman inang, maka lebih sulit untuk menunjukkan penyerapan logam intrinsik oleh hifa mereka. Isolat cendawan mikoriza yang berada secara alami di area yang tercemar logam berat lebih toleran daripada isolat dari area yang tidak tercemar, dan dilaporkan bahwa mikoriza menginfeksi akar tanaman di lingkungan yang tertekan logam berat secara efisien (Upadhyaya et al, 2010; Vaishaly et al, 2015; Burreti, et al, 2015).



Gambar 1. Morfologi spora cendawan mikoriza yang diisolasi dari area yang terkontaminasi logam berat. (a) adalah *Acaulospora* sp., (b) adalah *Gigaspora* sp., dan (c) adalah *Glomus* sp.

Tabel 2. Jumlah spora cendawan mikoriza per 1000 mg sampel rhizosfer

Area	Family	Rhisosfer Tanaman Pioner	Jumlah Spora		
			GL	GS	AC
Sumasang	Polypodiaceae	<i>Polypodium glycyrrhiza</i>	2	0	7
	-	<i>Sumasang sp (local name)</i>	2	2	8
	Orchidaceae	<i>Spathoglottis plicata</i>	0	1	1

Note: GL, *Glomus* sp; GS, *Gigaspora* sp; AC, *Acaulospora* sp

Dengan demikian, penting untuk menyaring isolat indigenus yang toleran terhadap logam berat untuk menjamin efektivitas simbiosis antar cendawan mikoriza dan akar tanaman dalam program pemulihan area yang tercemar logam berat. Lebih lanjut, disarankan bahwa potensi fitoremediasi area yang terkontaminasi dapat ditingkatkan dengan menginokulasikan akar tanaman hyperaccumulator dengan cendawan mikoriza yang paling sesuai untuk lokasi yang terkontaminasi. Karenanya sangat penting bagi kami untuk menggabungkan tanaman endemik dengan isolat cendawan mikoriza indigenus yang disesuaikan dengan jenis dan konsentrasi logam

berat dalam penelitian di masa depan untuk program fitorhizoremediasi.

KESIMPULAN

Ditemukan tiga genus cendawan mikoriza yang mampu beradaptasi di area yang terkontaminasi Cr dan Cu yang dapat digunakan sebagai sumber inokulum dalam program fitorhizoremediasi yang dikombinasikan dengan tanaman endemik lokasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan yang telah memberikan dukungan melalui hibah kompetisi penelitian dasar 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- Alloway, B. J. (1995). *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic and Professional, London, UK, 2nd edition.
- Ambrosini, V. G., Voges, J. G., Canton, L., Couto, R. R., Ferreira, P. A. A., Comin, J. J., Melo, G. W. B., Brunetto, G., Soares, C. R. F. S. (2015). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on young vines in copper-contaminated soil. *Braz J Microbiol*. 46: 1045–1052.
- Anahid, S., Yaghmaei, S., Ghobadinejad, Z. (2011). Heavy metal tolerance of fungi. *Scientia Iranica*, 18: 502-508.
- Azarbad, H., Niklinska, M., Gestel, C. A. M., Straalen, N. M., Roling, W. F. M., Laskowski, R. (2013). Microbial community structure and functioning along metal pollution gradients. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32: 1992-2002.
- Bano, S. A., Ashfaq, D. (2013). Role of mycorrhiza to reduce heavy metal stress. *Natural Science* 5:16-20.
- Bansal, S. L and Asthana, S. (2018). Biologically Essential and Non-Essential Elements Causing Toxicity in Environment. *J Environ Anal Toxicol*, 8: 557-562.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R., Bianciotto, V. (2016). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Front Microbiol*. 6:1559.
- Bhuiyana, M. A. H., Parvez, L., Islam, L. A., Dampare, S. B., Suzuki, S. (2010). Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 384–392.
- Bini, C., Wahsha, M., Fontana, S., Maleci, L. (2012). Effects of heavy metals on morphological characteristics of *Taraxacum officinale* Web growing on mine soils in NE Italy. *Journal of Geochemical Exploration*, 123: 101–108.
- Bolduc, A. R dan Hijri, M. (2010). The Use of Mycorrhizae to Enhance Phosphorus Uptake: A Way Out the Phosphorus Crisis. *J Biofertil Biopestici*, 2: 1-5.
- Brundrett, M. C., Piche, Y., Peterson, R. L. (1984). A new method for observing the morphology of vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Canadian Journal of Botany* 62:2128-2134.
- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., Reinhardt, D. (2018). Beneficial Services of Arbuscular Mycorrhizal Fungi – From Ecology to Application. *Front Plant Sci*. 9: 1270.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., Xie, Y. (2015). Heavy Metal Stress and Some Mechanisms of Plant Defense Response. *Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal*, Article ID 756120: 1-18.
- Fashola, M. O., Ngole-Jame, V. M., Babalola, O. O. (2016). Heavy Metal Pollution from Gold Mines: Environmental Effects and Bacterial Strategies for Resistance. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 13: 1047-1067 .
- French, K. E. (2017). Engineering Mycorrhizal Symbioses to Alter Plant Metabolism and Improve Crop Health. *Front Microbiol*. 8: 1403.
- Glubiak, E. S., Korzeniowska, J., Kocon, A. (2012). Effect of the Reclamation of Heavy Metal Contaminated Soil on Growth of Energy Willow. *Pol. J. Environ. Stud*. 21:187-192.
- Hossain, M. A., Piyatida, P., Silva, J. A. T., Fujita, M. (2012). Molecular Mechanism of Heavy Metal Toxicity and Tolerance in Plants: Central Role of Glutathione in Detoxification of Reactive Oxygen Species and Methylglyoxal and in Heavy Metal Chelation. *Journal of Botany*, Article ID 872875, 37 pages.
- Hristozkova, M., Geneva, M. O., Stancheva, I., Boychinova, M., Djonova, E. (2016). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in attenuation of heavy metal impact on *Calendula officinalis* development. *Applied Soil Ecology*. 101:57-63.
- Hu, B., Jia, X., Hu, J., Xu, D., Xia, F., Li, Y. (2017). Assessment of Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Soil-Plant-Human System in the Yangtze River

- Delta, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14: 1042-1062.
- Igiri, B. E., Okoduwa, S. I. R., Idoko, G. O., Akabuogu, E. P., Adeyi, A. O., Ejiogu, I. K. (2018). Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review. *Journal of Toxicology*, Article ID 2568038: 1- 16.
- INVAM, (2019). International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. <http://invam.caf.wvu.edu>.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdiscip Toxicol*. 2014; Vol. 7(2): 60–72.
- Jamal, A., Khan, A., Sharif, M., Jamal, H. (2018). Application of Different Organic Acids on Phosphorus Solubility from Rock Phosphate. *Journal of Horticulture and Plant Research*. 2: 43-48.
- Johri, A. K., Oelmuller, R., Dua, M., Yadav, V., Kumar, M., Tuteja, N., Varma, A., Bonfante, P., Persson, B. L., Stroud, R. M. (2015). Fungal association and utilization of phosphate by plants: success, limitations, and future prospects. *Front Microbiol*. 6: 984.
- Ju, J. H., Choi, E. Y., Yoon, Y. H. (2016). A Pilot Study to Determine the Substrate Threshold for Heavy Metal Toxicity in Groundcover Plants Used in Urban Landscapes. *Applied Ecology and Environmental Research*, 14: 59-70.
- Ken GillerErnst WitterErnst WitterSteve P McgrathSteve P Mcgrath. (2009). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biology and Biochemistry*, 4: 2031-2037.
- Khare, D., Mitsuda, N., Lee, S., Song, W. Y., Hwang, D., Takagi, M. O., Martinoia, E., Lee, Y., Hwang, J. U. (2017). Root avoidance of toxic metals requires the GeBP - LIKE 4 transcription factor in *Arabidopsis thaliana*. *New Phytol*. 213: 1257–1273.
- Krishnamoorthy R., Kim, C.G., Subramanian, P., Kim, K. Y., Selvakumar, G., Sa, T. (2015). Arbuscular Mycorrhizal Fungi Community Structure, Abundance and Species Richness Changes in Soil by Different Levels of Heavy Metal and Metalloid Concentration. *PLoS ONE* 10: 1-15.
- Kurniawan, A. (2017). Chronosequence Effect of Post Tin Mining Ponds to Metals Residu and Microecosystem Change. *Omni-Akuatika*, 13: 60–65.
- Leal, P. L., Lopez, M. V., Prado, I. G. O., Santos, J. V., Soares, C. R. F. S., Siqueira, J. O., Moreiraa, F. M. S. (2016). Enrichment of arbuscular mycorrhizal fungi in a contaminated soil after rehabilitation. *Braz J Microbiol*. 47: 853–862.
- Lingua, G., Bona, E., Todeschini, V., Cattaneo, C., Marsano, F., Berta, G., Cavaletto, M. (2012). Effects of Heavy Metals and Arbuscular Mycorrhiza on the Leaf Proteome of a Selected Poplar Clone: A Time Course Analysis. *PLoS One*. 7: e38662.
- Ma, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., Zhang, C. (2016). Biochemical and Molecular Mechanisms of Plant-Microbe-Metal Interactions: Relevance for Phytoremediation. *Front Plant Sci*. 7: 918.
- Ministry of State for Population and Environment Republic of Indonesia and Dalhousie University Canada. (1992). Environmental Management in Indonesia. Report on Soil Quality Standards for Indonesia (interim report). (Tidak dipublikasikan).
- Ojuederie, O. B dan Babalola, O. O. (2017). Microbial and Plant-Assisted Bioremediation of Heavy Metal Polluted Environments: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 14: 1504.
- Rezvani, M., Ardakani, M. A., Rejali, F., Zaefarian, F., Teimouri, S., Noormohammadi, G., Miransari, M. (2015). Uptake of Heavy Metals by Mycorrhizal Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Nutrition* 38: 904-919.
- Satish A. Bhalerao. (2013). Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Potential Biotechnological Tool for Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils. *International Journal of Science and Nature*. 4: 1-15.
- Shade, A., Peter, H., Allison, S. D., Baho, D. L., Berga, M., Burgmann, H., Huber, D. H., Langenheder, S., Lennon, J. T., Martiny, J. B. H., Matulich, K. L., Schmidt, T. M., Handelsman, J. (2012). Fundamentals of

- Microbial Community Resistance and Resilience. *Front Microbiol*, 3: 417.
- Shanab, R. A. A., Ghazlan, H. A., Ghanem, K. M., Moawad, H. A. (2007). Heavy Metals in Soils and Plants from Various Metal Contaminated Sites in Egypt. *Terrestrial and Aquatic Environmental Toxicology*. 1:7-12
- Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., Gupta, R. (2012). Heavy metals and living systems. *Indian Journal of Pharmacology*, 43: 246-253.
- Singh, S., Parihar, P., Singh, R., Singh, V. P., Prasad, S. M. (2016). Heavy Metal Tolerance in Plants: Role of Transcriptomics, Proteomics, Metabolomics, and Ionomics. *Front. Plant Sci.* 6:1143.
- Tahat, M. M and Sijam, K. (2012). Mycorrhizal Fungi and Abiotic Environmental Conditions Relationship. *Research Journal of Environmental Sciences*, 6: 125-133.
- Tiwari, S. and Lata, C. (2018). Heavy Metal Stress, Signaling, and Tolerance Due to Plant-Associated Microbes: An Overview. *Front. Plant Sci.* 9: 452.
- Toh, S. C., Lihan, S., Yong, B. C. W., Tiang, B. R., Abdullahi, R., Edward, R. (2018). Isolation and characterisation of Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi spores from selected plant roots and their rhizosphere soil environment. *Malaysian Journal of Microbiology*, 14: 335-343.
- Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Tuinen, D., Adrian, M., Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35: 1449–1467.
- Upadhyaya, H., Panda, S. K., Bhattacharjee, M. K., Dutta, S. (2010). Role of Arbuscular Mycorrhiza in Heavy Metal Tolerance in Plants: Prospects for Phytoremediation. *Journal of Phytology*. 2: 16–27.
- Vaishaly, A. G., Mathew, B. B., Krishnamurthy, N. B., Krishnamurthy, T. P. (2015). Bioaccumulation of Heavy Metals by Fungi. *International Journal of Environmental Chemistry & Chromatography*. 1: 15 – 21.
- Yang, Y., Liang, Y., Han, X., Chiu, T. Y., Ghosh, Chen, A. H., Tang, M. (2016). The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil. *Sci Rep*. 6: 20469.