



AKUMULASI LOGAM TIMBAL (PB) PADA TANAMAN BAYAM (*Amaranthus tricolor* L.) DENGAN APLIKASI PUPUK MIKORIZA

ACCUMULATION OF LEAD METAL (PB) IN SPINACH PLANTS (*Amaranthus tricolor* L.) WITH THE APPLICATION OF MYCORRHYZ FERTILIZER

Etyn Yunita¹, Dasumiati^{1*}, Azizah Mei Widyastuti¹, Irzal Irda²

¹Program Studi Biologi, FST Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

²Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh

*Corresponding author: etyn@uinjkt.ac.id

Naskah Diterima: 5 Oktober 2019; Direvisi: 27 Juli 2021; Disetujui: 19 Maret 2023

Abstrak

Pencemaran tanah oleh logam timbal (Pb) merupakan salah satu bentuk pencemaran yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Salah satu tanaman bioakumulator penyerap logam berat di lingkungan adalah tanaman bayam (*Amaranthus tricolor* L.). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh aplikasi pupuk mikoriza terhadap akumulasi Pb pada akar, batang, dan daun serta pertumbuhan tanaman bayam. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan perlakuan dosis pupuk mikoriza, yaitu 0 g, 5 g, 10 g, dan 15 g per polybag. Jumlah Pb yang diaplikasikan ke media tanam adalah 5 ppm per polybag. Akumulasi Pb tertinggi terdapat pada tanaman bayam dengan perlakuan 5 g pupuk mikoriza. Rata-rata akumulasi Pb di akar, batang, dan daun pada perlakuan ini berturut-turut adalah 103,57 ppm; 36,67 ppm; dan 8,60 ppm. Pertumbuhan tanaman bayam pada perlakuan 5 g pupuk mikoriza lebih baik dari perlakuan lainnya, yaitu memiliki rata-rata tinggi tanaman dan jumlah daun tertinggi pada minggu ke-4 (9,7–12,5 cm dan 6,9–8,6 helai). Aplikasi pupuk mikoriza dapat meningkatkan akumulasi Pb pada akar, batang, dan daun serta meningkatkan pertumbuhan tanaman bayam pada dosis 5 g per polybag.

Kata Kunci: Akumulasi; Bayam; Mikoriza; Pb

Abstract

Soil pollution by lead (Pb) is a form of pollution that is very dangerous for living creatures. One of the bioaccumulator plants that absorb heavy metals in the environment is spinach (*Amaranthus tricolor* L.). The aim of this research was to analyze the effect of mycorrhizal fertilizer application on Pb accumulation in roots, stems and leaves as well as spinach plant growth. This research used a completely randomized design (CRD) with treatment doses of mycorrhizal fertilizer, namely 0 g, 5 g, 10 g, and 15 g per polybag. The amount of Pb applied to the planting media is 5 ppm per polybag. The highest Pb accumulation was found in spinach plants treated with 5 g of mycorrhizal fertilizer. The average accumulation of Pb in roots, stems and leaves in this treatment was 103.57 ppm; 36.67 ppm; and 8.60 ppm. The growth of spinach plants in the 5 g mycorrhizal fertilizer treatment was better than the other treatments, namely having the highest average plant height and number of leaves in the 4th week (9.7-12.5 cm and 6.9-8.6 pieces). Application of mycorrhizal fertilizer can increase Pb accumulation in roots, stems and leaves and increase the growth of spinach plants at a dose of 5 g per polybag.

Keywords: Accumulation; Mycorrhiza; Pb; Spinach

Permalink/DOI: <http://dx.doi.org/10.15408/kauniyah.v16i2.35282>

PENDAHULUAN

Timbal (Pb) merupakan kelompok logam berat yang tidak esensial bagi tumbuhan, bahkan dapat mengganggu siklus hara dalam tanah. Dewasa ini pelepasan Pb ke atmosfer meningkat tajam akibat pembakaran minyak dan gas bumi yang turut menyumbang pembuangan Pb ke atmosfer. Masuknya Pb ke lingkungan dapat terakumulasi di dalam tanah dan diserap oleh tumbuhan. Logam Pb yang terserap melebihi ambang batas fisiologi tumbuhan, akan mengganggu proses metabolisme tumbuhan, keracunan, dan menyebabkan tanaman tidak dapat tumbuh dengan baik serta kematian. Pada tanaman budi daya yang dikonsumsi oleh manusia, jika mengandung Pb di luar standar yang ditetapkan untuk kesehatan dan lingkungan akan berakibat tidak baik bagi yang mengkonsumsinya. Untuk itu perlu dilakukan remediasi pada tanah, air, atau sedimen lainnya agar tidak berdampak negatif terhadap tumbuhan ataupun yang mengkonsumsinya, salah satunya adalah menggunakan tumbuhan (fitoremediasi) (Warrier, 2012).

Tumbuhan yang terpapar logam Pb akan meresponnya secara fisiologis, terutama berpengaruh terhadap biomasnya, sehingga dapat dijadikan sebagai bioindikator, seperti tanaman papirus (Ulumudin & Purnomo, 2022). Kandungan Pb yang melebihi batas toleransi pada jaringan tumbuhan dapat menimbulkan keracunan dan membahayakan metabolisme (Siswoyo et al., 2011). Namun ada tumbuhan yang memiliki toleransi yang kuat terhadap Pb, bahkan mampu mengakumulasinya dalam jaringan, sehingga dapat digunakan sebagai fitoremediasi. Proses penyerapan Pb oleh tumbuhan dapat melalui akar dan stomata daun. Pb terserap oleh tumbuhan melalui siklus rantai makanan. Pada keadaan kesuburan dan kandungan bahan organik tanah rendah, Pb akan terlepas dari ikatan tanah dalam bentuk ion dan bergerak bebas dalam larutan tanah. Selanjutnya Pb terserap oleh akar, kemudian ditranslokasikan ke organ tumbuhan lain seperti batang dan daun (Widowati et al., 2008).

Selain sebagai sayuran, bayam dapat menjadi penyerap Pb dari lingkungan. Pada penelitian Nuryanti (2018), kandungan Pb pada daun bayam merah sebesar 4,15 ppm dan daun bayam hijau sebesar 9,75 ppm. Nilai ini jauh lebih besar dari Standard Nasional Indonesia (SNI) kandungan Pb untuk bayam, yaitu sebesar 0,5 ppm. Irwan et al. (2008) memperoleh penyerapan Pb pada tanaman bayam, yaitu pada akar 137,18 mg/kg, batang 88,61 mg/kg, dan daun 11,49; 35,52 mg/kg. Pb juga terkandung pada tanaman bayam yang tumbuh di dekat pembuangan limbah di Amba Nalla, India sebesar 5,5 ppm (Mohod, 2015).

Pada penelitian ini digunakan tanaman bayam (*Amaranthus tricolor* L.) untuk menyerap Pb yang ada di tanah atau media tanam. Karena bayam adalah tanaman sayur, maka digunakan pupuk mikoriza sebagai rhizofiltrasi Pb selain melihat kemampuan akumulasi Pb oleh bayam. Diharapkan Pb yang diserap oleh akar akan terfiltrasi di akar dengan bantuan mikoriza dan sekaligus meningkatkan pertumbuhan tanaman, sehingga tanaman bayam sebagai bioremediator masih dapat dikonsumsi batang dan daunnya.

Penurunan kadar logam berat pada tanah selain menggunakan cara fisika-kimia yang membutuhkan peralatan dan sistem monitoring yang mahal, juga banyak dilakukan dengan organisme hidup dan tumbuhan. Metode yang menggunakan organisme hidup untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan atau menghancurkan bahan pencemar baik berupa senyawa organik maupun anorganik merupakan suatu metode yang sangat efektif dan aman secara ekologis (Hardiani, 2009). Pada penelitian ini digunakan dua organisme hidup, yaitu tanaman bayam dan mikoriza.

Mikoriza merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara fungi dengan sistem perakaran tumbuhan. Mikoriza dapat melindungi tanaman inang dari serapan unsur beracun melalui efek filtrasi, kompleksasi, dan akumulasi. Mikoriza diketahui mampu menyerap dan mengakumulasi logam dalam biomasa dan akar tanaman inang. Simbiosis mikoriza juga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan dan kelembapan yang ekstrem, membantu akumulasi zat dan unsur-unsur yang beracun bagi tanaman seperti As, Cr, dan Pb (Aisyah et al., 2009). Mikoriza yang diberikan ini diharapkan dapat menjadi infiltrasi Pb di akar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pupuk mikoriza terhadap akumulasi Pb pada akar (rhizofiltrasi), batang, dan

daun, serta pertumbuhan tanaman bayam, sehingga bayam dapat digunakan sebagai fitoremediasi untuk tanah tercemar logam Pb.

MATERIAL DAN METODE

Material Penelitian

Tanaman bayam yang digunakan berumur 2 minggu setelah semai. Benihnya diperoleh dari Trubus. Pupuk mikoriza komersial diperoleh dari Agrotech Malang. Logam Pb yang digunakan adalah $Pb(NO_3)_2$. Tanah yang digunakan sebagai media tanam adalah tanah yang sudah steril dari mikroba. Pengukuran kadar logam Pb pada tanaman bayam menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spektrofotometry*) Perkin Elmer Type A-Analyst-700.

Rancangan Penelitian

Rancangan percobaan pada penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan berupa dosis pupuk mikoriza pada taraf 0 g (kontrol), 5 g, 10, dan 15 g per *polybag* dengan pengulangan sebanyak 3 kali. Perlakuan pupuk mikoriza ini diberikan pada tanaman bayam melalui pemupukan pada media yang telah diberi perlakuan 5 ppm Pb setiap *polybag* tanam.

Penyiapan Media Tanam dan Penanaman

Tanah yang digunakan sebagai media tanam disterilisasi dengan cara dikukus setiap hari (2 jam per hari) selama 3 hari berturut-turut. Selanjutnya tanah dikeringanginkan selama satu minggu dan diaduk untuk dihomogenkan, serta diukur kandungan Pb-nya (21 ppm). Tanah dimasukkan ke dalam *polybag* ukuran 30 x 30 cm sebanyak 3 kg per *polybag*. Pada setiap *polybag* media tanam ditambahkan NPK 0,225 g, logam Pb dengan dosis 5 ppm setiap *polybag* (total kandungan Pb 26 ppm per *polybag*), dan pupuk mikoriza sesuai perlakuan. Media dengan komposisi tersebut disebut media bioreaktor.

Perlakuan pupuk mikoriza dilakukan dengan menggunakan sistem lapisan. Media tanam di bagian permukaan diambil setebal 1 cm, kemudian di sebar pupuk mikoriza sesuai dosis perlakuan dan ditutup lagi dengan media tanam yang telah diambil tadi. Selanjutnya ditanam 5 tanaman bayam di setiap *polybag* dan ditumbuhkan dalam *green house* selama 1 bulan (Hardiani, 2009). Selama pertumbuhan tanaman bayam dilakukan penyiraman sesuai dengan keadaan media untuk menjaga kelembapan. Selain itu, juga dilakukan pengukuran pH dan kelembapan media pada awal penanaman dan panen.

Pewarnaan dan Perhitungan Infeksi Akar

Perhitungan infeksi akar oleh mikoriza dilakukan secara *in vitro* setelah 1 bulan masa penanaman. Akar tanaman dibersihkan dan dipotong-potong sepanjang 1 cm menggunakan scalpel. Potongan-potongan akar dicuci dengan air dan dimasukkan ke dalam cawan petri lalu ditambahkan KOH 10% sampai akar terbenam dan dibiarkan selama 12 jam, KOH dibuang dan dibilas dengan air selama 5–10 menit. Kemudian ditambahkan HCl 2% dan dibiarkan semalaman. HCl dibuang dan ditambahkan *Lactophenol tryphan blue* (LTB), setelah itu dibilas dengan air untuk proses destaining (Purnanto et al., 2014).

Potongan akar diambil sebanyak 10 potong secara acak, disusun pada kaca preparat dan ditutup dengan kaca penutup. Selanjutnya dilakukan pengamatan di bawah mikroskop. Persentase infeksi mikoriza dihitung dari jumlah akar yang terinfeksi dari 10 potongan yang diamati. Pengamatan diulang sebanyak dua kali untuk setiap sampel.

Akar yang terinfeksi mikoriza ditandai dengan adanya vesikel dan arbuskel dalam korteks akar tanaman. Mikoriza dikatakan *viable* jika mempunyai persentase infeksi sebesar 50%. Persentase infeksi mikoriza dihitung jumlah akat yang terinfeksi dibagi jumlah akar yang diamati, dikali 100%. Tingkat infeksi akar berdasarkan persentase tersebut ada lima kelas. Kelas pertama bila infeksi akar 0–5% (sangat rendah). Kelas kedua bila infeksi akar 6–25% (rendah). Kelas ketiga bila infeksi akar 26–50% (sedang). Kelas keempat bila infeksi akar 51–75% (tinggi). Kelas kelima bila infeksi akar 76–100% (sangat tinggi) (Nurhandayani et al., 2013).

Analisis Kandungan Logam Pb pada Organ Tanaman Bayam

Kandungan logam Pb diamati pada setiap organ tanaman bayam, yaitu pada akar, batang, dan daun. Sampel tanaman bayam yang telah berumur 1 bulan panen dengan cara dicabut dan kemudian diberi label sesuai perlakuan. Tanaman dicuci dan dipisahkan bagian akar, batang, dan daunnya sebagai sampel untuk diuji kandungan logam Pb-nya. Sampel dipotong kecil-kecil, dibungkus dengan aluminium foil dan diberi label sesuai perlakuan. Sampel dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 °C selama 4 jam.

Sampel yang sudah kering dihaluskan menggunakan lumpang dan mortar porselen. Sebanyak 1 g sampel dimasukkan ke dalam beker gelas 100 mL, ditambahkan 10 mL HNO₃ 65% dan dibiarkan semalaman. Sampel dipanaskan di atas hot plate sampai produksi asap merah NO₂ berhenti. Sampel didinginkan dan ditambahkan HClO₄ 70% (2–4 mL) hingga larutan menjadi jernih. Sampel dipanaskan kembali hingga larutan lebih jernih dan menguap pada volume kecil. Sampel didinginkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL. Sampel diencerkan dengan akuades sampai batas tera dan dikocok hingga homogen. Sampel disaring menggunakan kertas saring dan dimasukkan ke dalam botol sampel. Selanjutnya, sampel dianalisis menggunakan AAS prosedur dan aturan yang sesuai untuk logam Pb.

Kandungan logam Pb setiap organ ditentukan berdasarkan pengukuran AAS. Kandungan logam Pb pada sampel (K) adalah a dikurangi b dibagi W dan dikali dengan V . Huruf a adalah absorpsi sampel (mg/L), b adalah absorpsi blanko (mg/L), W adalah berat sampel (kg), V adalah volume akhir sampel (L). Satuan untuk K adalah mg/kg atau ppm (Sopyan et al., 2014).

Pengamatan Pertumbuhan Tanaman

Pertumbuhan tanaman bayam yang diamati adalah tinggi tanaman dan jumlah daun. Pengamatan pertumbuhan dilakukan setiap minggu selama pertumbuhan tanaman bayam di *green house*.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan SPSS dengan *Analysis of Varians (ANOVA) one way* dengan tingkat kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) untuk mengetahui sidik ragamnya. Jika terdapat pengaruh nyata pada perlakuan, maka dilakukan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test (DMRT)*.

HASIL

Infeksi Mikoriza pada Tanaman Bayam

Mikoriza yang ditambahkan pada media tanaman bayam dapat menginfeksi akar tanaman bayam. Dosis mikoriza yang diberikan berpengaruh terhadap persentasi infeksi ($P < 0,05$). Tanaman bayam yang diperlakukan dengan pupuk mikoriza terinfeksi oleh mikoriza. Infeksi mikoriza tertinggi ditemukan pada perlakuan 15 g mikoriza (80%), dan pada kontrol tanpa pupuk mikoriza tidak terjadi infeksi (Gambar 1). Pada akar tanaman bayam ditemukan spora dan hifa mikoriza melalui pengamatan mikroskopik akar. Spora yang ditemukan berwarna kuning kecokelatan dan berbentuk lonjong, sedangkan hifa terlihat seperti serabut-serabut halus (Gambar 2).

Akumulasi logam Pb pada Akar, Batang, dan Daun Tanaman Bayam

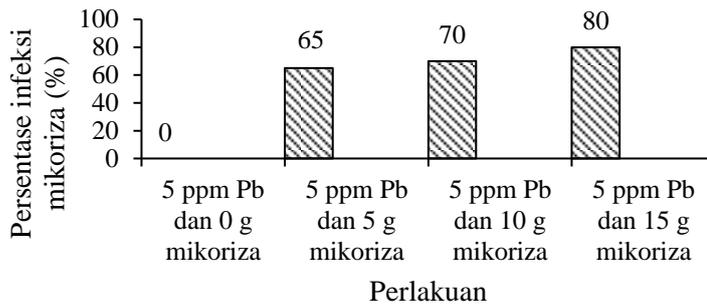
Timbal (Pb) yang ditambahkan pada media tanaman bayam berpengaruh terhadap akumulasi Pb pada akar dan batang ($P < 0,05$), sedangkan pada daun tidak berpengaruh ($P > 0,05$). Rata-rata akumulasi Pb tertinggi terdapat pada perlakuan 5 g pupuk mikoriza dengan akumulasi Pb pada akar, batang, dan daun berturut-turut adalah 103,57 ppm; 36,67 ppm; dan 8,60 ppm. Rata-rata akumulasi Pb terendah terdapat pada kontrol dengan akumulasi Pb pada akar, batang, dan daun berturut-turut yaitu 4,01 ppm; 1,36 ppm; dan 0,70 ppm (Gambar 3).

Pertumbuhan Tanaman Bayam

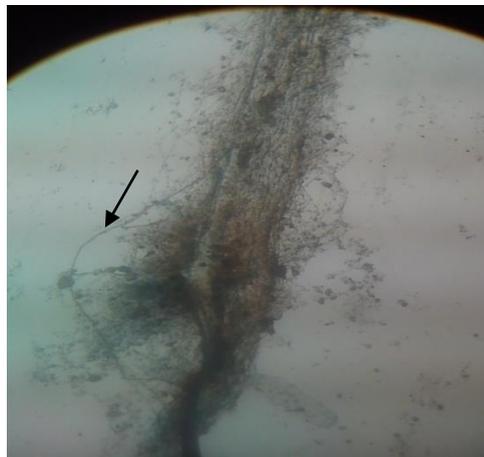
Tinggi Tanaman

Aplikasi pupuk mikoriza pada tanaman bayam yang ditumbuhkan pada media yang mengandung Pb tidak memengaruhi tinggi tanaman ($P > 0,05$). Namun terlihat kecenderungan semua

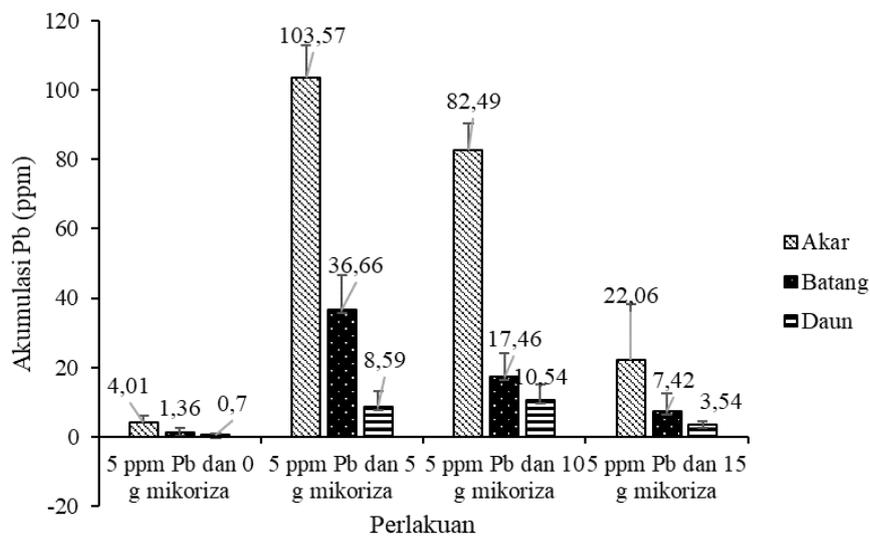
perlakuan yang diberikan pupuk mikoriza memiliki rata-rata tinggi tanaman lebih besar dibandingkan tanaman yang tidak diberikan pupuk mikoriza (Gambar 4).



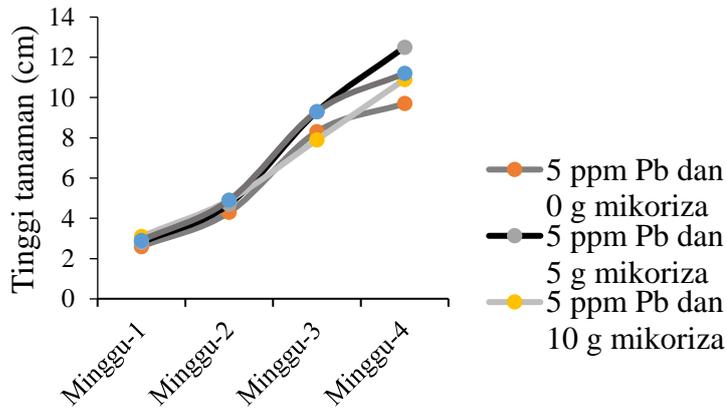
Gambar 1. Persentase infeksi mikoriza pada akar tanaman bayam untuk setiap perlakuan pupuk mikoriza



Gambar 2. Hifa mikoriza pada akar tanaman bayam (Pembesaran 400x)



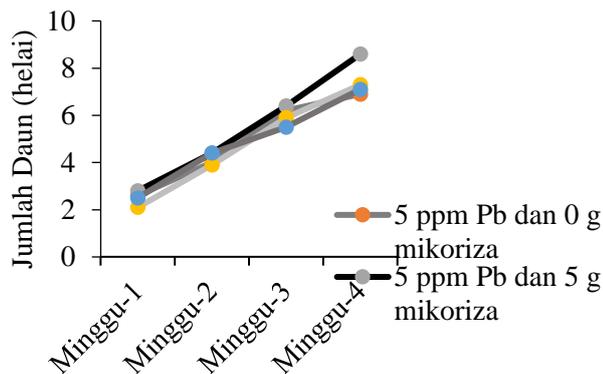
Gambar 3. Akumulasi Pb pada tanaman bayam untuk setiap perlakuan pupuk mikoriza



Gambar 4. Rata-rata tinggi tanaman bayam pada setiap perlakuan pupuk mikoriza selama 4 minggu pengamatan

Jumlah Daun

Jumlah daun tanaman bayam terus mengalami peningkatan pada setiap perlakuan dari minggu-1 hingga minggu ke-4 (Gambar 5). Jumlah daun tanaman bayam juga tidak dipengaruhi oleh aplikasi pupuk mikoriza ($P > 0,05$). Namun jumlah daun tertinggi selama empat minggu pengamatan diperoleh pada tanaman bayam dengan perlakuan 5 ppm Pb dan 5 g mikoriza.



Gambar 5. Rata-rata jumlah daun tanaman bayam pada setiap perlakuan pupuk mikoriza selama 4 minggu pengamatan

PEMBAHASAN

Infeksi Mikoriza pada Tanaman Bayam

Pada akar tanaman bayam yang diberi perlakuan pupuk mikoriza ditemukan spora dan hifa sebagai bukti infeksi dari mikoriza. Keduanya ini berasal dari pupuk mikoriza komersial yang diberikan, karena tanaman yang tanpa perlakuan pupuk mikoriza tidak ditemukan atau tidak terinfeksi (Gambar 1). Semakin tinggi dosis pupuk mikoriza yang diberikan maka infeksi mikoriza juga makin tinggi. Hal yang sama juga ditemukan Juwita dan Indah (2013) pada akar tanaman

dahlia dengan penambahan mikoriza *Glomus fasciculatum* pada media tanam. Spora yang terdapat pada pupuk berkembang menjadi hifa, memanjang, berpenetrasi, menembus korteks dan empelur membentuk arbuskular. Arbuskular adalah struktur hifa yang bercabang-cabang seperti pohon kecil yang berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tanaman inang dengan jamur (Sastrahidayat, 2011). Mikoriza arbuskular akan saling menguntungkan antara jamur dan akar tanaman (Willis et al., 2013).

Adanya mikoriza pada akar akan memengaruhi penyerapan unsur hara dan mobilitas unsur hara yang diserapnya (Supeni et al., 2011; Ashofie & Prasetya, 2019), termasuk juga Pb. Penyerapan Pb dan imobilisasinya pada akar tanaman yang mengandung mikoriza lebih tinggi dibandingkan dengan non-mikoriza. Seperti pada tanaman dan vakuola fungi, vesikel mungkin terlibat dalam menyimpan/mengisolasi senyawa-senyawa toksik. Dengan demikian, tanaman bermikoriza mampu berperan dalam memperkaya mekanisme proses detoksifikasi logam berat di lingkungan (Suharno & Peni, 2013).

Akumulasi logam Pb pada Akar, Batang, dan Daun Tanaman Bayam

Kemampuan tanaman bayam menyerap dan mengakumulasi Pb dengan aplikasi pupuk mikoriza lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa pupuk mikoriza (Gambar 2). Hal ini disebabkan oleh perpanjangan hifa mikoriza pada akar sehingga memperluas jangkauan penyerapan unsur hara termasuk logam berat yang ada di sekitarnya. Perpanjangan jaringan mikoriza membantu dalam meningkatkan struktur tanah, sehingga meningkatkan pengambilan nutrient, membantu tumbuhan dapat hidup dibawah kondisi stres, seperti kekeringan, salinitas, taktur tanah serta kontaminasi logam berat (Ramadhani et al., 2016). Penyerapan Pb dan imobilisasinya pada akar tanaman bermikoriza lebih tinggi dibandingkan dengan non-mikoriza (Chen et al., 2007). Bai et al. (2008) mengemukakan bahwa mikoriza mempunyai pengaruh terhadap penyerapan logam (translokasi dan akumulasi pada jaringan tanaman) dan pertumbuhan tanaman inang. Sudova dan Vosatka (2007) juga mengungkapkan serapan Pb yang tinggi pada tanaman jagung yang diinokulasi mikoriza. Tanaman mampu tumbuh dengan baik, tetapi juga mengakumulasi dan mentranspor logam ke akar dan tajuk tanaman.

Akumulasi Pb pada tanaman bayam yang diaplikasikan mikoriza melebihi kandungan Pb yang ada pada media tanah (26 ppm). Hal ini diduga berasal dari air yang digunakan untuk menyiram tanaman sudah terkontaminasi logam Pb. Kebutuhan pupuk mikoriza untuk memperoleh akumulasi Pb yang tinggi pada tanaman bayam hanya membutuhkan 5 g pupuk mikoriza dengan akumulasi pada akar, batang, dan daun (103,57; 36,67; dan 8,60 ppm) (Gambar 3). Kebutuhan pupuk ini termasuk dosis yang rendah dibandingkan tanaman lain. Tanaman *Dahlia pinnata* membutuhkan 25 g pupuk mikoriza dan hanya mampu mengakumulasi Pb pada akar, batang dan daun sebesar 5,97; 0,64; 1,31 mg/kg (Juwita & Indah, 2013). Tanaman *Euphorbia milii* yang bersimbiosis dengan mikoriza mampu menyerap Pb pada akar, batang dan daun berturut-turut sebanyak 5,4575; 0,6225; dan 0,3025 mg/kg (Dwi & Indah, 2013).

Akar mengakumulasi Pb paling banyak dibanding organ batang dan daun. Akar adalah organ yang berfungsi untuk menyerap unsur hara, air maupun logam-logam, sehingga semua unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman akan disimpan terlebih dahulu pada organ akar dan kemudian baru ditransfer ke organ lain sesuai kebutuhan dan daya isap organ tersebut. Demikian juga halnya dengan penyerapan Pb. Akar yang menyerap Pb akan mengakumulasinya di akar dan setelah jenuh logam Pb akan disalurkan ke organ di atasnya, yaitu batang dan daun. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2, dimana akar pada semua tanaman bayam yang diberi perlakuan Pb mengakumulasi Pb lebih tinggi dari organ lainnya baik yang diaplikasikan pupuk mikoriza atau tidak. Secara struktur sel, vakuola pada akar lebih besar dibandingkan vakuola pada batang dan daun. Kondisi tersebut menyebabkan organ akar memiliki fungsi sebagai penampung sari makan yang tidak terpakai oleh batang dan daun. Pb yang diserap juga akan diakumulasikan pada organ akar, karena Pb merupakan suatu unsur yang tidak dibutuhkan oleh tanaman bayam, maka banyak kandungan yang tidak terpakai tersebut terakumulasi pada bagian akar (Jumhana, 2013). Berdasarkan sistem organ, mikoriza pada akar dapat meningkatkan percabangan akar. Meningkatnya jumlah cabang akar akan

meningkatkan luas bidang penyerapan, sehingga penyerapan Pb juga meningkat. Moelyohadi et al. (2012) dan Hardiani (2009) juga menyatakan bahwa meningkatnya serapan Pb terjadi karena mikoriza meningkatkan jumlah percabangan akar, pemanjangan akar sekunder, dan menginduksi pembentukan akar kuartier serta meningkatkan jumlah akar lateral pada tanaman inang sehingga menyebabkan akar dapat menyerap Pb lebih banyak. Tanaman tanpa mikoriza juga mampu mengakumulasi logam, namun keadaan secara fisiologis tanaman tersebut terganggu.

Selanjutnya Pb akan diedarkan oleh xilem dan floem ke seluruh organ tumbuhan seperti pada batang dan daun, sehingga menyebabkan batang dan daun juga mengandung Pb. Pada konsentrasi rendah, Pb akan berpindah melalui organ akar, terutama melalui apoplas dan secara radial melalui korteks. Kemudian Pb akan diakumulasikan di dekat endoderm. Endoderm ini berfungsi sebagai partial barrier terhadap pemindahan Pb dari akar ke tunas. Hal ini diduga menyebabkan Pb di akar lebih besar dari pada organ lainnya (Siswanto, 2009). Pernyataan tersebut juga diungkapkan oleh Irsyad et al. (2014) yang mengatakan bahwa ketika tanaman telah optimum (jenuh) dalam menyerap Pb maka Pb akan ditransfer ke bagian batang dan daun.

Akumulasi Pb pada semua perlakuan tersebar pada seluruh organ tanaman bayam. Akumulasi paling tinggi adalah pada akar, diikuti oleh batang dan daun (Gambar 3). Pada dasarnya, tanaman secara aktif memiliki mekanisme tersendiri untuk mencegah pergerakan unsur dari akar ke tajuk dengan cara mensekuestrasi logam di bagian akar, khususnya di bagian vakuola atau dinding sel (Gupta & Sinha, 2008). Yoon et al. (2006) juga menyatakan bahwa terkadang akar juga mempunyai sistem penghentian transpor logam menuju daun terutama logam non esensial, sehingga ada penumpukan logam di akar. Logam Pb sebagai salah satu logam non esensial bagi tanaman memiliki kecenderungan ditumpuk oleh akar dari pada ditransfer ke bagian tajuk. Kemampuan ini diharapkan semakin meningkat dengan adanya mikoriza pada akar yang bersifat rhizofiltrasi. Namun mikoriza pada akar tanaman bayam belum mampu melakukan rhizofiltrasi terhadap Pb dengan sempurna, karena Pb masih terkirim ke batang dan daun. Kandungan Pb di batang dan daun masih tinggi sekitar 15–45 ppm (Gambar 3), sedangkan standar untuk tanaman sayur adalah 0,5 ppm berdasarkan SNI No. 7387:2009.

Pertumbuhan Tanaman Bayam

Pertumbuhan tanaman bayam terhambat dengan adanya Pb pada media tanam terlihat pada tanaman kontrol. Pb yang terserap oleh tanaman mempengaruhi penurunan pertumbuhan akar dan tunas yang disebabkan oleh penurunan pembelahan sel, fotosintesis, dan sintesis protein (Sharma & Dubey, 2005). Namun dengan aplikasi pupuk mikoriza, tanaman dapat tumbuh dengan baik yang dapat dilihat dari tinggi tanaman dan jumlah daun (Gambar 4 dan 5). Hal yang sama juga ditemukan Juwita dan Indah (2013) pada tanaman *D. pinnata* dengan perlakuan mikoriza.

Pada perlakuan tanpa pupuk mikoriza, Pb yang ada di media terserap oleh tanaman dan memengaruhi proses metabolisme sehingga memperlambat proses pertumbuhan. Pada perlakuan yang diberikan pupuk mikoriza, keberadaan Pb dapat diatasi oleh mikoriza. Mikoriza membantu tanaman bertahan pada tanah yang terkontaminasi logam berat seperti Pb hingga tanaman bayam mampu tumbuh baik. Hal ini disebabkan oleh hifa pada mikoriza toleran terhadap logam berat tersebut. Suharno dan Peni, (2013) dalam penelitiannya juga menemukan bahwa hifa mikoriza menunjukkan afinitas yang lebih tinggi terhadap logam berat dibanding dengan sel-sel tanaman tanpa mikoriza. Jenis tanaman toleran logam berat ini dapat terbantu oleh mikoriza. Mikoriza berkontribusi terhadap imobilisasi logam berat dalam tanah pada rizosfer akar tanaman. Dengan demikian, mikoriza meningkatkan fitostabilisasi yang sama dengan apa yang dilakukan oleh tanaman. Mikoriza juga mampu bersinergi dengan jenis mikroorganisme lain seperti fungi, misalnya *Aspergillus tubingensis* (Babu & Reddy, 2011), bakteri (Gamalero et al., 2009), termasuk juga jenis-jenis *mycorrhization helper bacteria* (MHB) dan *plant growth promoting rhizobacteria* (PGPR) (Khan, 2005), sehingga mampu bahu-membahu mempertahankan tingkat efektivitas dan kelangsungan hidup tanaman secara lebih baik (Janouskova et al., 2006). Namun demikian, kemampuan mikoriza dalam meningkatkan pertumbuhan setiap tanaman berbeda-beda, baik dalam tinggi tanaman, diameter batang dan jumlah daun (Purnanto et al., 2014).

Selain jumlah, morfologi daun tanaman bayam juga dipengaruhi oleh perlakuan pupuk mikoriza pada media yang mengandung Pb. Dengan penambahan pupuk mikoriza dan tanpa mikoriza memperlihatkan morfologi daun yang berbeda. Pada perlakuan tanpa mikoriza tampak bercak-bercak putih di daun serta permukaan daun yang tidak merata yang kemudian akan menyebabkan daun menjadi layu, sedangkan pada perlakuan dengan mikoriza daun terlihat normal. Hal ini disebabkan oleh terserapnya Pb sampai ke daun tanaman. Timbal (Pb) yang terserap oleh tanaman akan sampai ke daun dan dapat menyebabkan penurunan kadar klorofil seiring dengan kenaikan Pb. Ada kaitan antara konsentrasi Pb dengan perubahan kandungan klorofil total pada daun, dimana kandungan klorofil total akan mengalami penurunan sejalan dengan meningkatnya Pb. Perubahan kandungan klorofil akibat meningkatnya konsentrasi Pb, terkait dengan rusaknya struktur kloroplas. Pembentukan struktur kloroplas sangat dipengaruhi oleh nutrisi dan mineral seperti Mg dan Fe. Masuknya logam berat secara berlebihan pada tumbuhan akan mengurangi asupan Mg dan Fe sehingga menyebabkan perubahan pada volume dan jumlah kloroplas (Olivares, 2003).

Selain itu, tingginya kandungan Pb pada tanah dapat memengaruhi kandungan unsur K. Proses penyerapan unsur hara oleh tanaman akan terganggu karena jumlah kation Pb dalam tanah lebih banyak dibandingkan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman terutama unsur K. Unsur K berperan dalam mendukung pertumbuhan tanaman, yaitu unsur K berperan dalam hal fotosintesis (Rohyanti et al., 2011). Dengan terganggunya proses fotosintesis ini maka akan terganggu pula proses pembentukan organ-organ pada tumbuhan, termasuk juga pembentukan daun. Proses fotosintesis tanaman akan menghasilkan karbohidrat, protein, dan senyawa organik lainnya. Senyawa-senyawa yang dihasilkan dipergunakan dalam proses pembelahan dan pembesaran atau diferensiasi sel-sel tanaman. Berlangsungnya pembelahan dan perpanjangan sel-sel tanaman akan memacu pertumbuhan pada tunas-tunas pucuk tanaman dan akhirnya akan mendorong terjadinya pertambahan tinggi tanaman, jumlah daun, dan biomassa tanaman. Untuk itu, aplikasi pupuk mikoriza diharapkan mampu untuk melindungi akar dalam menyerap unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

Aplikasi mikoriza bertujuan untuk melindungi akar tanaman dari unsur toksik, diantaranya yaitu logam berat. Mekanisme perlindungan terhadap logam berat dan unsur toksik oleh mikoriza dapat melalui efek filtrasi, menonaktifkan secara kimiawi, atau akumulasi unsur tersebut dalam hifa jamur. Penyerapan unsur-unsur mikro oleh tanaman bermikoriza bergantung kepada beberapa faktor, yaitu kondisi fisik-kimia tanah, tingkat kesuburan tanah, pH, jenis tanaman, serta konsentrasi unsur-unsur mikro di dalam tanah (Hardiani, 2009). Inilah sebabnya perlakuan dengan penambahan mikoriza lebih menghasilkan jumlah daun yang banyak dibandingkan dengan perlakuan dengan tanpa mikoriza.

Mikoriza meningkatkan pertumbuhan tanaman pada tingkat kesuburan tanah yang rendah, lahan terdegradasi, dan membantu memperluas fungsi sistem perakaran dalam memperoleh nutrisi (Garg & Chandel, 2010). Secara khusus, mikoriza berperan penting dalam meningkatkan penyerapan ion dengan tingkat mobilitas rendah, seperti fosfat (PO_4^{3-}) dan amonium (NH_4^+) (Suharno & Santosa, 2005) dan unsur hara tanah yang relatif immobil lain seperti belerang (S), tembaga (Cu), seng (Zn), dan juga boron (B). Mikoriza juga meningkatkan luas permukaan kontak dengan tanah, sehingga meningkatkan daerah penyerapan akar hingga 47 kali lipat, yang mempermudah melakukan akses terhadap unsur hara di dalam tanah. Mikoriza tidak hanya meningkatkan laju transfer nutrisi di akar tanaman inang, tetapi juga meningkatkan ketahanan terhadap cekaman biotik dan abiotik (Smith & Read, 2008). Mikoriza mampu membantu mempertahankan stabilitas pertumbuhan tanaman pada kondisi tercemar (Khan, 2005).

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil simpulan bahwa aplikasi pupuk mikoriza pada tanaman bayam belum mampu secara sempurna melakukan rizhofiltrasi logam Pb pada akar tanaman bayam. Aplikasi pupuk mikoriza meningkatkan akumulasi Pb pada akar, batang, dan daun dengan akumulasi tertinggi terdapat pada perlakuan 5 g pupuk mikoriza. Pupuk mikoriza mampu

meningkatkan pertumbuhan tinggi dan jumlah daun tanaman bayam dengan hasil tertinggi pertumbuhannya terdapat pada 5 g pupuk mikoriza.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar pemanfaatan mikoriza dapat menyempurnakan rhizofiltrasi logam Pb pada akar dan tanaman budi daya lainnya. Bayam yang melakukan rhizofiltrasi dengan sempurna dapat dikonsumsi dan ditanam di areal tercemar logam berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh serta berbagai pihak yang telah membantu.

REFERENSI

- Aisyah, L., Hardiani, H., & Fauzi, A. (2009). *Fitoremediasi tanah terkontaminasi logam cu limbah padat proses deinking industry kertas oleh tanaman bunga matahari (Helianthus annuus L.) dengan penambahan mikoriza*. Bandung: Universitas Universitas Jenderal Achmad Yani.
- Ashofie, I., & Prasetya, B. (2019). Pengaruh aplikasi kompos dan mikoriza arb uskular padatailing tambang emas terhadap pertumbuhan dan serapan fosfor tanaman bunga matahari. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 6(1), 1133-1144. doi: 10.21774/ub.jtsl.2019.006.1.12.
- Babu, A. G., & Reddy, M. S. (2011). *Aspergillus tubingensis* improves the growth and native mycorrhizal colonization of bermudagrass in bauxite residue. *Bioremediation Journal*, 15(3), 157-164.
- Bai, H. J., Zhang, Z. M., Yang, G. E., & Li, B. Z. (2008). Bioremediation of cadmium by growing *Rhodobacter sphaeroides*: Kinetic characteristic and mechanism studies. *Bioresource Technology*, 99, 7716-7722.
- Chen, B., Zhu, Y., Duan, J., Xiao, X., & Smith, S. (2007). Effects of the arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae*) growth and metal uptake by four plant species in copper mine tailings. *Environmental Pollution*, 147, 374-380.
- Dwi, D. A., & Indah, K. P. (2013). Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap akumulasi logam timbal (pb) pada tanaman *Euphorbia milii*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(1), 2337-3520.
- Gamalero, E., Lingua, G., Berta, G., & Glick, B. R. (2009). Beneficial Role of Plant Growth Promoting Bacteria and Arbuscular Mycorrhizal Fungi On Plant Responses To Heavy Metal Stress. *Journal Microbiology*, 55(5), 501-514.
- Garg, N., & Chandel, S. (2010). Arbuscular mycorrhizal networks: Process and function-a review. *Agronomy for Sustainable Development*, (30), 581-599.
- Gupta, A. K., & Sinha, S. (2008). Decontamination and/or revegetation of fly ash dykes through naturally growing plants. *Journal of Hazardous Materials*, 153, 1078-1084.
- Hardiani, H. (2009). Potensi tanaman dalam mengakumulasi logam cu pada media tanah terkontaminasi limbah padat industri kertas. *Jurnal Selulosa*, 44(1), 27-40.
- Irsyad, M., Sikanna, R., & Musafira. (2014). Translokasi merkuri (hg) pada daun tanaman bayam duri (*Amaranthus spinosus* L.) dari tanah tercemar. *Jurnal Natural Sains*, 3(1), 8-7.
- Irwan, A., Komari, N., & Nova, Y. E. (2008). Kajian penyerapan logam cd, ni, dan pb dengan variasi konsentrasi pada akar, batang, dan daun tanaman bayam (*Amaranthus Tricolor* L.). *Sains dan Terapan Kimia*, 2(2), 53-63.
- Janouskova, M., Pavlokova, D., & Vosatka, M. (2006). Potential contribution of arbuscular mycorrhiza to cadmium immobilization in soil. *Chemosphere*, (62), 1959-965.
- Jumhana, N. (2013). Transport dan perpindahan materi tumbuhan. Retrieved from <http://file.upi.edu/>.
- Juwita, R. A., & Indah, K. P. (2013). Pengaruh pemberian mikoriza *Glomus fasciculatum* terhadap akumulasi logam timbal (pb) pada tanaman *Dahlia pinnata*. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2), 2337-3520.
- Khan, A. G. (2005). Role of soil microbes in rizhospheres of plants growing on trace metal contaminated soils in phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 18, 355-364.

- Mohod, C. (2015). A review on the concentration of the heavy metals in vegetable samples like spinach and tomato grown near the area of Amba Nalla of Amravaty City. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4(5), 2319-8753.
- Moelyohadi, Y., Umar, M. H., Munandar., Hayati, R., & Gofar, N. (2012). Pemanfaatan berbagai jenis pupuk hayati pada budi daya tanaman jagung (*Zea mays* L.) efisien hara di lahan kering marginal. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 1(1), 31-39.
- Nurhandayani, R., Linda, R., & Khotimah, S. (2013). Inventarisasi jamur mikoriza vesikular arbuskular dari rhizosfer tanah gambut tanaman nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr). *Jurnal Protobiont*, 2, 146-251.
- Nuryanti, N. (2018). Uji kandungan logam berat timbal (pb) pada bayam (*Amaranthus* Spp) secara destruksi basah menggunakan spektroskopi serapan atom (ssa). *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*, 3(1), 28-36. doi: 10.36387/jiis.v3i1.124.
- Olivares, E. (2003). The effect of lead on phytochemistry of *Thitonia diversifolio*: Exposed to roadside automotive pollution or grown in pots of pb supplemented soil. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 15(3), 149-158.
- Purnanto, M., Hagus, T., & Aminudin, A. (2014). Efektivitas penggunaan pupuk hayati mikoriza (*Glomus* spp.) untuk mengendalikan nematoda puru akar (*Meloidogyne javanica*) pada tembakau (*Nicotiana tabaccum* L.). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 2(4), 123-130.
- Ramadhani, V. K., Kasmiyati, S., & Hastuti, S. P. (2016). Aplikasi mikoriza *Glomus fasciculatum* dan *Glomus mosae* dengan tumbuhan *Sorghum bicolor* dalam penyerapan cr vi. *Proceeding Biology Education Conference*, 13(1), 637-642.
- Rohyanti., Muchyar., & Hayani, N. (2011). Pengaruh pemberian bokashi jerami padi terhadap pertumbuhan vegetative tanaman tomat (*Lycopersicum escelentum* Mill) di tanah podsolik merah kuning. *Jurnal Wahana-Bio*, 4, 26-29.
- Sastrahidayat, I. (2011). *Rekayasa pupuk hayati mikoriza dalam meningkatkan produksi pertanian*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead toxycity in plants. *Brazilian Journal Plant Physiology*, 17, 35-52.
- Siswanto, D. (2009). *Respon pertumbuhan kayu apu (Pistia stratiotes L.), jagung (Zea mays), dan kacang tolo (Vigna sinensis L.) terhadap pencemar timbal (pb)*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Siswoyo, E., Kasam., & Abdullah, L. M. S. (2011). Penurunan logam timbal (pb) pada limbah cair tpa piyungan yogyakarta dengan constructed wetlands menggunakan tumbuhan eceng gondok (*Eichornia crassipes*). *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 3(1).
- Smith, S. E., & Read, D. (2008). *Mycorrhizal symbiosis-third edition*. New York: Academic Press, Elsevier.
- Sopyan, R., Sikanna., & Sumarni, N. K. (2014). Fitoakumulasi merkuri oleh akar tanaman bayam duri (*Amaranthus spinosus linn*) pada tanah tercemar. *Jurnal of Natural Science*, 3(1), 31-39.
- Sudova, R., & Vosatka, M. (2007). Differences in the effects of three arbuscular mycorrhizal fungal on p and pb accumulation by maize plants. *Plant Soil*, (296), 77-83.
- Suharno., & Santosa. (2005). Pertumbuhan tanaman kedelai (*Glycine max L Merr*) yang diinokulasi jamur mikoriza, legin dan penambahan seresah daun matoa (*Pometia pinnata Forst*) pada tanah berkapur. *Sains dan Sibermatika*, 18(3), 367-378.
- Suharno., & Peni, R. S. 2013. Fungsi mikoriza arbuskula: Potensi teknologi mikorizoremediasi logam berat dalam rehabilitasi lahan tambang. *Jurnal Bioeknologi*, 10(1), 31-42.
- Supeni, S., Suharno., & Bone, I. H. (2011). Endomikoriza yang berasosiasi dengan tanaman pertanian non-legum di lahan pertanian daerah transmigrasi Koya Barat, Kota Jayapura. *Jurnal Biologi Papua*, 3(1), 1-8.
- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis kandungan logam berat timbal (pb) pada tumbuhan papyrus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio*, 11(2), 273-283.
- Warrier, R. (2012). Phytoremediation for environmental clean up. *Forestry Bulletin*, 12(2), 1-7.

- Widowati, W., Sastiono, A., & Ramampuk, R. J. (2008). *Efek toksik logam: Pencegahan dan penanggulangan pencemaran*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Willis, A., Rodrigues, B. F., & Harris, P. J. C. (2013). The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., & Ma, L.Q. (2006). Accumulation of pb, cu, and zn in native plants growing on a contaminated floride site. *Journal Science of The Total Environment*, 368, 456-464.