

**DIVERSITAS DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA
AREAL TERDAMPAK PEMBUANGAN LIMBAH AMALGAMASI
PENAMBANGAN EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA**

**MITRA SENOLINGGI
M021201025**



PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN

FAKULTAS KEHUTANAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



**DIVERSITAS DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA
AREAL TERDAMPAK PEMBUANGAN LIMBAH AMALGAMASI
PENAMBANGAN EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA**

MITRA SENOLINGGI

M021201025

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN

pada

PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN

DEPARTEMEN KEHUTANAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



SKRIPSI

**DIVERSITAS DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA
AREAL TERDAMPAK PEMBUANGAN LIMBAH AMALGAMASI
PENAMBANGAN EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA****MITRA SENOLINGGI****M021201025**

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam Rangka penyelesaian Sarjana S-1 Rekayasa Kehutanan
Pada 30 Agustus 2024

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Rekayasa Kehutanan
Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin
Makassar

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping I,

Pembimbing Pendamping II,

Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P.
NIP. 198202092015042002

Prof. Dr. Ir. Muh. Restu, M.P.
NIP. 196309041992031003

Dr. Retno Prayudyaningsih, S.Si., M.Sc.
NIP. 197411292001122003

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P.
NIP. 198202092015042002



Optimization Software:
www.balesio.com

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "DIVERSITAS DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL TERDAMPAK PEMBUANGAN LIMBAH AMALGAMASI PENAMBANGAN EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ibu Dr. Ir. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P sebagai pembimbing utama, Bapak Prof. Dr. Ir. Muh. Restu, M.P. sebagai pembimbing pendamping dan Ibu Dr. Retno Prayudyaningsih, S.Si., M.Sc. sebagai pembimbing pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan peraturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Optimization Software:
www.balesio.com

ABSTRAK

MITRA SENOLINGGI. DIVERSITAS DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL TERDAMPAK PEMBUANGAN LIMBAH AMALGAMASI PENAMBANGAN EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA di bawah bimbingan Siti Halimah Larekeng, Muh Restu, Retno Prayudyaningsih.

Pulau Obi dikenal sebagai salah satu daerah penambangan emas dengan metode amalgamasi yang masih menggunakan merkuri. Pengambilan sampel tanah dilakukan di tiga lokasi berbeda: areal kebun, limbah tong lama, dan limbah tong terbaru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FMA yang ditemukan hanya berasal dari genus *Glomus*, dengan empat spesies berbeda (*Glomus* sp1, *Glomus* sp2, *Glomus* sp3, dan *Glomus* sp4). Kepadatan spora tertinggi ditemukan di areal kebun dengan 108 spora, diikuti oleh limbah tong terbaru dengan 21 spora, dan limbah tong lama dengan 12 spora, dengan total 141 spora dari ketiga areal. Fungi mikoriza arbuskula menunjukkan tingkat asosiasi tertinggi dengan tanaman pisang di areal K dan tanaman kersen di areal LTT. Jumlah kepadatan spora yang rendah ini menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti vegetasi inang, kondisi kimia tanah (pH, C organik, dan P tersedia), dan kadar fosfor yang tinggi dapat mempengaruhi diversitas dan efektivitas FMA. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemantauan dan pengelolaan penggunaan merkuri dalam penambangan emas untuk menjaga keberlanjutan ekosistem dan kesehatan tanah. Hasil ini juga memberikan dasar bagi pengembangan strategi pengelolaan tanah yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, terutama di wilayah yang terdampak aktivitas penambangan emas skala kecil. Secara keseluruhan, penelitian ini memperlihatkan pentingnya konservasi dan rehabilitasi lingkungan di daerah penambangan, serta memberikan wawasan mengenai peran FMA dalam memperbaiki kondisi tanah yang terdegradasi oleh aktivitas penambangan yang menggunakan merkuri. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan dan pemanfaatan sumber daya alam yang lebih bijaksana di Pulau Obi dan daerah sejenis lainnya yang menghadapi tantangan serupa

Kata kunci: Pulau Obi, Penambangan Emas Skala Kecil, Fungi Mikoriza Arbuskula, Infeksi FMA, *Glomus*



ABSTRACT

MITRA SENOLINGGI. DIVERSITY AND ASSOCIATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAS FUNGIES IN THE AREA IMPACTED BY AMALGAMATION WASTE DISPOSAL ON OBI ISLAND, NORTH MALUKU, supervised by Siti Halimah Larekeng, Muh Restu, and Retno Prayudyaningsih.

Obi Island is known as one of the gold mining areas, and its amalgamation method still uses mercury. Soil sampling was conducted in three different locations: the garden area, the old waste barrel, and the new waste barrel. The results showed that the FMA found only came from the genus *Glomus*, with four different species (*Glomus* sp1, *Glomus* sp2, *Glomus* sp3, and *Glomus* sp4). The highest spore density was found in the garden area, with 108 spores, followed by the newest waste barrel with 21 spores and the old waste barrel with 12 spores, totaling 141 spores from the three areas. Arbuscular mycorrhizal fungi showed the highest level of association with banana plants in the K area and Kersen plants in the LTT area. This low spore density suggests that environmental factors such as host vegetation, soil chemical conditions (pH, organic C, and available P), and high phosphorus levels may affect FMA diversity and effectiveness. The role of FMA in improving soil conditions is significant, as it enhances the soil's ability to absorb water and nutrients, thereby promoting plant growth and soil health. This study emphasizes the importance of monitoring and managing mercury use in gold mining to maintain ecosystem sustainability and soil health. The results also provide a basis for developing more sustainable and environmentally friendly soil management strategies, especially in areas affected by small-scale gold mining activities. Overall, this study demonstrates the importance of environmental conservation and rehabilitation in mining areas and provides insight into the role of FMA in improving soil conditions degraded by mercury mining activities. As such, this study contributes to environmental conservation efforts and wiser utilization of natural resources in Obi Island and other similar areas facing similar challenges.

Keywords: Obi Island, Small-scale Gold Mining, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, FMA Infection, *Glomus*



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan pertolongan-Nya sehingga tugas akhir skripsi dengan judul “Diversitas Dan Asosiasi Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Areal Terdampak Pembuangan Limbah Amalgamsi Penambangan Emas Rakyat Pulau Obi, Maluku Utara” dapat terselesaikan dengan baik. Skripsi ini merupakan tugas akhir untuk mencapai gelar Sarjana Kehutanan pada Program Studi Rekayasa Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ibu **Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P.** sebagai pembimbing pertama, Bapak **Prof. Dr.Ir. Muh. Restu, M.P.** sebagai pembimbing kedua dan Ibu **Dr. Retno Prayudyaningsih, S.Si., M.Sc.** sebagai pembimbing ketiga yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan serta diskusi dan arahan selama pelaksanaan penelitian serta penulisan skripsi ini.

Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orangtua yang sangat berjasa dalam hidup penulis, Papa **Yemmi** dan Mama **Yulita** yang dengan penuh kesabaran mendidik penulis, memberikan kasih sayang, semangat, kepercayaan dan doa dengan penuh keikhlasan. Serta **Seprianto Senolinggi, Rexzy Senolinggi** dan **Cakra Senolinggi** selaku saudara dari penulis yang telah memberikan semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis. Dengan segala kerendahan hati penulis juga mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. **Ibu Gusmiaty, S.P., M.P.** dan **Bapak Agussalim, S.Hut., M.Si.** selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan, masukan berupa saran dan kritikan, serta bantuan dan koreksi dalam proses penyusunan skripsi.
2. Bapak/Ibu **Dosen Fakultas Kehutanan** yang senantiasa memberikan ilmu dengan penuh rasa tanggung jawab tanpa mengenal lelah serta seluruh **Staf Fakultas Kehutanan** yang selalu melayani pengurusan administrasi selama berada di lingkungan Fakultas Kehutanan.
3. Kepada kakak-kakak di **Laboratorium Mikrobiologi PKR Mikroba Kars LPPM Universitas Hasanuddin** terkhusus **Kak Dian Sasmita, S.Hut** dan **Kak Fitri S.Si., M.Si** juga teman teman sepenelitian yang telah membantu dan memberikan bimbingan serta arahan selama penelitian dan penulisan skripsi ini sehingga dapat berjalan dengan lancar.
4. Keluarga besar **Laboratorium Bioteknologi dan Pemuliaan Pohon**, terkhusus kepada **Kakak-kakak Asisten Praktikum** serta **Praktikan Kelompok 4 Praktek Bioteknologi 2024** atas bantuan, dukungan serta menghibur penulis dalam proses penulisan skripsi ini.
5. **Eunike Christaffilia Ruben, S.Hut** selaku sahabat dan saudara seperjuangan yang telah kebersamai melewati berbagai lika-liku dunia perkuliahan dan senantiasa memberikan semangat, motivasi dan apresiasi kepada penulis.



dan “sobat wacana” **Brigita Gebi Matte** dan **Ludoliza Patrecya** atas serta selalu mendengar segala keluh kesah penulis selama

keluarga besar **Rekayasa Kehutanan 20 (foren kita kita ji)** penulis banyak terima kasih untuk segala bantuan, motivasi, suka duka di masa sehingga masa akhir semester yang telah dilalui bersama. Secara **Rahna AR, Gina Mutmainnah, S.Hut, Veronika Masseng, S.Hut,**

Andi Elnafilah, Zulfikri Basri dan Nabila Putri Suenda yang telah banyak membantu serta menemani penulis selama proses perkuliahan penulis dan penulisan skripsi ini.

8. Teman-teman **Kost Kuning** pada masanya **Jusniar Bahtiar, Novita Mangambe, Lisa Tandi dan Agnes Meilani** yang senantiasa memberikan semangat, mengibur, berbagi suka dan duka serta menemani penulis semasa perkuliahan.
9. Persekutuan Mahasiswa Kristen terkhusus **PDR 2020** yang telah menjadi saudara seiman dan telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis dalam proses perkuliahan.
10. **Keluarga besar Imperium 2020** atas segala dukungan dan kebersamaannya selama perkuliahan serta proses penulisan skripsi ini.
11. Teman seperjuangan **kucubitkonantileh.officialcls** yang juga selalu memberikan dorongan dan semangat kepada penulis mulai dari masa SMA hingga masa perkuliahan penulis.
12. Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
13. Terakhir, kepada diri sendiri **Mitra Senolinggi** selaku penulis skripsi ini, apresiasi sebesar-besarnya karena telah berjuang dan bertanggung jawab untuk menyelesaikan skripsi ini walaupun melalui proses yang sangat panjang. Terimakasih sudah bertahan menjalani suka duka dunia perkuliahan, melewati berbagai rintangan maupun masalah dan berani menyelesaikannya dengan bantuan diri sendiri. Terimakasih karna memutuskan untuk tidak menyerah dan selalu berusaha walau seringkali merasa tertinggal atas segala pencapaian. Terimakasih sudah kuat sampai sejauh ini, untuk diri sendiri berbahagialah selalu dimanapun kamu berada. *Proud of me* apapun kurang dan lebihnya mari merayakan diri sendiri.

Makassar, 30 Agustus 2024

Mitra Senolinggi



DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Teori	2
BAB II. METODE PENELITIAN	6
2.1 Waktu dan Tempat.....	6
2.2 Alat dan Bahan.....	7
2.3 Prosedur Penelitian.....	8
2.3.1 Pengambilan Sampel Tanah dan Akar	8
2.3.2 Ekstraksi dan Identifikasi Spora FMA pada Tanah	9
2.4 Pengolahan dan Analisis Data.....	11
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
3.1 Populasi atau Kepadatan Spora	13
3.2 Identifikasi dan Karakterisasi Jenis Spora FMA	14
3.3 Asosiasi FMA	16
BAB IV. KESIMPULAN	23
DAFTAR PUSTAKA.....	24
LAMPIRAN.....	29



DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Klasifikasi Banyaknya Infeksi pada Akar	12
2. Hasil identifikasi dan karakterisasi jenis spora FMA	14
3. Jenis spora pada areal K, LTL dan LTT	16
4. Jenis tanaman pada areal K, LTL dan LTT	17
5. Asosiasi FMA pada akar tanaman areal K, LTL dan LTT	18



DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Peta lokasi pengambilan sampel	6
2. Bagan alur penelitian	8
3. Sketsa plot pengambilan sampel	9
4. Ilustrasi ekstraksi, isolasi dan identifikasi spora	10
5. Ilustrasi kolonisasi fungi mikoriza arbuskula	11
6. Diagram jumlah kepadatan spora pada setiap areal	13
7. Kolonisasi FMA pada Akar Tanaman Areal K, LTL, LTT	21



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
Lampiran 1. Tabel hasil siving sampel tanah areal K, LTT, dan LTL	30
Lampiran 2. Jenis spora pada areal terdampak pembuangan limbah amalgamasi	31
Lampiran 3. Tabel persentase hasil pengamatan FMA pada akar areal K, LTT, LTL...	33
Lampiran 4. Dokumentasi Penelitian	36



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pulau Obi merupakan salah satu pulau yang berlokasi di gugusan pulau di Kabupaten Halmahera Selatan. Pulau Obi cukup dikenal sebagai salah satu daerah pertambangan di Kabupaten Halmahera Selatan. Masyarakat Obi secara umum melakukan kegiatan penambangan emas skala kecil (PESK) baik berprofesi sebagai penambang, pengangkut (kijang), pereduksi ukuran (rempel), pemilik lubang penambangan, pemodal (pemilik mesin pengolahan tromol ataupun tangki pelindian dengan sianida). Kegiatan pertambangan emas skala kecil (PESK) di Pulau Obi, Maluku Utara sudah berlangsung sejak tahun 1995. Kegiatan pertambangan emas skala kecil di Pulau Obi menerapkan tiga metode pengolahan, yaitu pengolahan dengan metode amalgamasi, pengolahan menggunakan metode sianidasi serta yang ketiga gabungan dari keduanya (Wahab et al., 2022).

Pengolahan emas pada kegiatan PESK di Pulau Obi mayoritas masih menggunakan merkuri (Hg) dalam mengestrak kandungan emas yang ada pada bijih. Proses pengolahan tersebut dikenal sebagai metode amalgamasi (Abbas & Firman, 2022). Pengolahan emas dengan merkuri sebenarnya sudah dilarang oleh pemerintah ketika terbitnya UU Nomor 11 tahun 2017 terkait ratifikasi *Minamata Convention on Mercury* (Undang- Undang Republik Indonesia, 2017). Kebijakan tersebut diambil setelah pemerintah meratifikasi Konvensi Minamata terkait pelarangan penggunaan merkuri, termasuk pada kegiatan PESK. Pengolahan emas dengan metode amalgamasi diharapkan oleh pemerintah untuk ditinggalkan kedepannya dan diganti dengan metode pengolahan emas yang lebih menguntungkan secara ekonomi (recoverynya tinggi), ramah secara lingkungan dan kesehatan serta tidak bertentangan dengan hukum (Abbas & Firman, 2022).

Limbah hasil penambangan emas berdampak bagi tanah dapat membuat tanah memiliki sifat porositas yang tinggi sehingga kapasitas untuk memegang air dan unsur hara rendah, struktur tidak stabil, sangat miskin bahan organik, miskin unsur hara makro dan mikro (Husna et al., 2021). Merkuri (Hg) tetap menjadi ancaman serius bagi lingkungan, terutama di area pertambangan, karena dapat mencemari ekosistem perairan, dan membahayakan manusia melalui rantai makanan (Mirdat et al., 2013). Penelitian Rya Tadeus et al., 2022 menunjukkan bahwa tingkat pencemaran merkuri pada tanah di sekitar penambangan emas tradisional Desa Kalirejo melebihi ambang batas dengan konsentrasi mencapai 22,51 mg/kg, jauh di atas ambang batas yang diperbolehkan yaitu 0,3 mg/kg sesuai PP 101 tahun 2014 sehingga membutuhkan upaya fitoremediasi untuk perbaikan tanah.

Fitoremediasi dapat memanfaatkan kemampuan tumbuhan dan mikroorganism, pencemar berbahaya seperti limbah B3 dari pertambangan menjadi bahaya atau bahkan bernilai ekonomis, sehingga memulihkan cemar (Salim & Suryati, 2014). Fitoremediasi (*phytoremediation*) pembersihan tanah dari zat pencemar yang memanfaatkan kemampuan dapat ditingkatkan dengan bantuan mikroorganism seperti fungi (FMA), untuk mengubah zat berbahaya menjadi bentuk yang lebih bahaya. (Husna et al., 2021).



FMA merupakan mikroorganisme tanah yang mampu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi tanaman melalui hifa, membentuk hubungan simbiosis yang spesifik dengan berbagai jenis tumbuhan (Muryati et al., 2017). Pemanfaatan FMA pada area penambangan dapat dilihat pada penelitian Prasetyo et al., 2019 yang menunjukkan beberapa jenis FMA yaitu genus *Glomus* dan *Acaulospora*, yang berpotensi paling dominan dalam upaya peningkatan pertumbuhan tanaman dalam usaha rehabilitasi lahan tambang.

Asosiasi FMA diduga sangat potensial untuk di aplikasikan di lahan areal pembuangan limbah amalgamasi yang tercemar merkuri karena FMA dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman. Penelitian Ekamawanti dan Ekyastuti, 2013, membuktikan inokulasi FMA mampu meningkatkan pertumbuhan tinggi tanaman *Paraserianthes falcataria* dan *Enterolobium cyclocarpum* pada media tanam yang tercemar merkuri. Sementara itu penelitian Bernada et al., 2016 menemukan beberapa tanaman budidaya di areal bekas tambang emas rakyat di Dusun Lonjengan Desa Sepahat Kecamatan Menjalain Kabupaten Landak yaitu karet, papaya terong cabai pisang dan tebu mempunyai asosiasi FMA dengan tingkat infeksi sedang sampai tinggi. Lebih lanjut Bernada et al., 2016 juga menemukan kepadatan spora per 100gram dari genus *Glomus* dan *Gigaspora* di lahan bekas tambang emas sebanyak 426 spora dan 7 spora.

Namun demikian penelitian diversitas dan asosiasi FMA di areal bekas tambang emas masih kurang khususnya di areal pembuangan limbah amalgamasi penambangan emas rakyat pulau Obi, belum pernah dilakukan penelitian. Sehingga dilakukan penelitian untuk mengetahui diversitas dan asosiasi fungi mikoriza arbuskula di areal terdampak pembuangan limbah amalgamasi penambangan emas rakyat Pulau Obi, Maluku Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis fungi mikoriza arbuskula (FMA) di areal terdampak pembuangan limbah amalgamasi dan asosiasinya pada beberapa akar tanaman yang tumbuh areal di penambangan emas rakyat Pulau Obi, Maluku Utara. FMA yang diperoleh akan dikembangkan sebagai sumber inokulum untuk kemudian diaplikasikan dalam upaya meningkatkan keberhasilan pemulihan revegetasi lahan terdampak limbah penambangan emas di Pulau Obi, Maluku Utara.

1.2 Teori

Kepulauan Obi merupakan kumpulan pulau-pulau di propinsi Maluku. Kepulauan ini terletak di utara Pulau Buru dan Pulau Seram (Geurhaneu et al., 2016). Pulau Obi adalah pulau terbesar dari kepulauan ini. Luas wilayah pulau Obi meliputi 2.542 km². Pulau Obi merupakan salah satu pulau penghasil nikel dan emas di Indonesia dan telah dieksploitasi (Zam Zam & Putrawan, 2020). Pulau Obi memiliki potensi sumberdaya alam sektor pertambangan yang cukup banyak. Aktivitas penambangan nikel dan emas di Pulau Obi dilakukan dengan cara pengupasan tanah menimbulkan berbagai dampak terhadap kualitas lingkungan. Dampaknya yang dikhawatirkan adalah perubahan kualitas airtanah di lokasi pertambangan. Air mengalir yang berasal dari lokasi penambangan membawa mineral berat yang akan masuk ke aliran sungai dalam tanah, sehingga akan mempengaruhi kualitas air tanah di lokasi penambangan (Yudo & Hernaningsih, 2021).

Proses penambangan, mulai dari eksplorasi, eksploitasi hingga pengolahan bahan tambang akan manfaat ekonomi namun juga menimbulkan tantangan



lingkungan, terutama bagi penambang skala kecil yang memiliki keterbatasan sumber daya dan peralatan yang memadai (Gustian, 2014). Pertambangan sering dianggap sebagai salah satu kegiatan untuk meningkatkan pendapatan dan perbaikan kualitas hidup. Kegiatan penambangan emas yang menggunakan bahan kimia berbahaya dapat pula berdampak negatif, pada kegiatan usaha penambangan emas skala kecil (PESK), pengolahan bijih emas dilakukan dengan proses amalgamasi dimana Merkuri (Hg) digunakan sebagai media untuk mengikat emas (Alkatiri, 2023).

Situasi yang mengkhawatirkan bagi keberlanjutan kehidupan berkelanjutan di Desa Anggai adalah buangan limbah dari kegiatan penambangan emas skala kecil. Limbah tersebut berupa air limbah buangan dari pengolahan menggunakan merkuri dan pengolahan menggunakan sianida. Limbah tersebut tidak diolah tetapi langsung dibuang ke lingkungan atau badan air alami (sungai dan laut). Limbah buangan yang diyakini mengandung merkuri, sianida serta logam berat lainnya yang secara alami ada di dalam bijih (ore) kemudian terdedah akibat pengolahan yang ada (Munawarah et al., 2017). Buangan limbah ini jika tidak dikelola akan membahayakan ekosistem lingkungan hidup di areal penambangan emas rakyat Pulau Obi, khususnya sumberdaya air dan tanah (Firman et al., 2022). Salah satu aplikasi bioteknologi dalam upaya pemulihan lahan kritis adalah pemanfaatan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA). FMA merupakan agen hayati yang mampu membantu dalam program rehabilitasi lahan pasca pertambangan dan pembenah lahan kritis (Suryati, 2017).

Mikoriza merupakan hubungan simbiosis antara jamur dengan akar tanaman yang bersifat saling menguntungkan (Alayya & Prasetya, 2022). Mikoriza memiliki peran utama dalam meningkatkan serapan hara dan air. Mikoriza arbuskula dapat ditemukan hampir pada sebagian besar jenis tanah dan pada umumnya tidak mempunyai inang yang spesifik, akan tetapi terdapat faktor-faktor tertentu yang mempengaruhi tingkat populasi serta komposisi jenis mikoriza arbuskula seperti karakteristik tanaman, suhu dan sifat kimia tanah seperti pH tanah, kelembaban tanah, kandungan N dan P serta tingkat konsentrasi logam berat (Kartika et al., 2012).

FMA merupakan salah satu kelompok mikoriza yang tergolong terbesar anggota dan simbiosisnya pada sebagian besar kelompok tumbuhan vaskular (Smith and Read, 2008). Simbiosis mutualisme yang terbentuk antara FMA dengan perakaran tanaman dapat membentuk luas serapan unsur hara yang besar (Karti, 2004; Luthfiana et al., 2020). Pemanfaatan mikoriza di bidang kehutanan dapat meningkatkan pertumbuhan semai tanaman kehutanan sehingga semakin luas diaplikasikan, terutama pada lahan marginal serta meningkatkan ekosistem daratan (Hardiatmi, 2012).

FMA tergolong ke dalam endomikoriza, membentuk organ-organ khusus dan mempunyai perakaran yang spesifik yaitu arbuskul, vesikula, dan spora (Ramadhani et al., 2019). Fungi mikoriza arbuskula memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, sehingga dapat hidup pada berbagai jenis tanah dan berasosiasi dengan beragam jenis tanaman, pertumbuhannya adalah sekitar 30°C, sedangkan untuk hidupnya lebih baik pada kisaran 28-35°C (Simamora, A & Elfiati, 2015). FMA merupakan suatu bentuk asosiasi mutualisme antara fungi (*myces*) dan tumbuhan tingkat tinggi (Damayanti et al., 2015). Mikoriza yang berasosiasi dengan tumbuhan dapat dibedakan berdasarkan struktur tumbuh dan cara hidupnya. Berdasarkan perakaran inang (*host*) yang dikelompokkan ke dalam tiga



golongan besar yaitu ektomikoriza (ECM), endomikoriza (FMA) dan ektendomikoriza (Doudi et al., 2018).

Kondisi tanah pertambangan yang ekstrem yang ditandai oleh akumulasi logam berat, pH yang tidak seimbang, dan kekurangan nutrisi, membuat lahan tersebut tidak subur. Oleh karena itu, teknologi FMA dikembangkan sebagai solusi untuk meremediasi dan memperbaiki kondisi tanah tersebut (Sancayaningsih, 2013).

Simbiosis mikoriza dengan tanaman sangat menguntungkan, terutama di tanah yang kurang subur karena mampu membantu tanaman menyerap nutrisi, dan juga tanaman menyediakan makanan dan sumber energi bagi mikoriza. (Smith and Read, 2008). Teknologi pemanfaatan tumbuhan sebagai pelaku remediasi menjadi prioritas saat ini. Proses stabilisasi bahan pencemar akan mencegah penyebaran logam berat ke lingkungan serta perluasannya melalui erosi tanah. Jenis tanaman yang toleran terhadap logam berat dengan sistem akar yang luas dan tanah yang baik untuk mencegah erosi oleh angin atau air, dinilai lebih baik untuk strategi fitostabilisasi. Tumbuhan dan mikoriza arbuskula mempunyai hubungan sangat erat terhadap proses remediasi logam berat (Suharno dan Sancayaningsih, 2013). Kemampuan tumbuhan beradaptasi di lahan tercemar bervariasi, ada yang tidak mampu bertahan hidup, ada yang mampu menyesuaikan diri, dan mampu mengakumulasi LB (logam berat) dalam jumlah yang berlebih (hiperakumulator) (Dubey & Fulekar, 2011).

Adanya simbiosis antara FMA dengan tanaman inang diharapkan dapat meningkatkan kemampuan tanaman dalam penyerapan unsur hara dan air, selain itu diharapkan pula dapat menyerap dan menjerap zat pencemar seperti Pb yang berada disekitarnya (Febrianty Sianipar et al., 2019). Fitoremediasi adalah metode yang memanfaatkan tumbuhan dan proses alami untuk menghilangkan zat-zat berbahaya dari lingkungan yang tercemar (Prasetyo, 2021). Ada beberapa mekanisme teknik penerapan fitoremediasi untuk tanah yang tercemar polutan menurut Prasetyo, 2021 antara lain:

1. Fitoekstraksi atau Fitoakumulasi

Tanaman akan berperan seperti pompa yang berfungsi untuk menarik air tercemar dalam volume besar sebagai bagian dari proses respirasi yang akan mengakibatkan berkurangnya kontaminan di dalam air tanah dan air permukaan seperti Logam dan anorganik toksik lainnya di tanah, sedimen dengan tujuan untuk penahanan dengan pengendalian hidrologi.

2. Fitodegradasi atau Fitotransformasi

Merupakan proses pemecahan senyawa kontaminan melalui proses metabolik dengan enzim seperti herbisida, TNT, MTBE, TCE dalam tanah dengan tujuan perlakuan untuk remediasi dengan destruksi.

3. Fitovolatilisasi

Proses penyerapan dan pelepasan kontaminan ke atmosfer yang selalu terjadi melalui respirasi seperti senyawa-senyawa VOC (TCE dan MTBE, dan logam berat seperti Se dan Hg dalam air) dengan tujuan perlakuan remediasi melalui tanaman.



5. Fitostabilisasi atau Fitosekuestrasi

Jenis tanaman tertentu akan melumpuhkan kontaminan melalui penyerapan dan akumulasi untuk mencegah kontaminan dan berpindah ke air tanah atau udara yang berupa senyawa organik dan anorganik di dalam tanah dan air dengan tujuan perlakuan untuk penahanan

6. Rizodegradasi

Proses bioremediasi yang dibantu oleh tanaman dengan proses utamanya adalah pemecahan kontaminan melalui aktivitas metabolic oleh mikroorganisme (fungus, kapang, bakteri) dalam tanah seperti senyawa organik hidrofobik (PCB dan PAH, serta hidrokarbon petroleum lainnya di dalam tanah dan air) dengan tujuan perlakuan untuk remediasi dengan destruksi

