

SKRIPSI

KEPADATAN DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA

Disusun dan diajukan oleh:

**AGNES MEILANI
M021201019**



**PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KEPADATAN DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA
AREAL KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT
PULAU OBI, MALUKU UTARA**

**AGNES MEILANI
M021201019**



**PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**KEPADATAN DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL
KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT
PULAU OBI, MALUKU UTARA**

**AGNES MEILANI
M021201019**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN

pada

**PROGRAM STUDI REKAYASA KEHUTANAN
FAKULTAS KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI
KEPADATAN DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA
AREAL KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT
PULAU OBI, MALUKU UTARA

AGNES MEILANI

M021201019

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka penyelesaian Sarjana S-1 Rekayasa Kehutanan
pada September 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,

Gusmiaty, S.P., M.P.
NIP. 197911202009122002

Prof. Dr. Ir. H. Muh Restu, MP
NIP. 196509041992031003

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

Mengetahui

Ketua Program Studi Rekayasa Kehutanan



Dr. Siti Halimah Larekeng, S.P., M.P.
NIP. 1982020920150442002

**PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI
DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "KEPADATAN DAN ASOSIASI FUNGI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ibu Gusmiaty, S.P., M.P sebagai pembimbing utama, Bapak Prof. Dr. Ir. Muh Restu, MP. 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 hasil 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 September 2024
Yang menyatakan



Agnes Meilani

ABSTRAK

Agnes Meilani. KEPADATAN DAN ASOSIASI MIKORIZA ARBUSKULA PADA AREAL KOLAM LIMBAH PENGOLAHAN BIJIH EMAS RAKYAT PULAU OBI, MALUKU UTARA di bawah bimbingan Gusmiaty, Muh Restu, dan Retno Prayudyaningsih.

Fungi mikoriza arbuskula (FMA) merupakan salah satu dari sekian banyak jenis makhluk hidup yang mampu bersimbiosis dengan makhluk hidup lainnya. FMA ini dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif teknologi untuk membantu pertumbuhan, meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman terutama yang ditanam pada lahan-lahan marginal yang kurang subur atau bekas tambang/industri. Mikoriza membantu mempertahankan stabilitas pertumbuhan tanaman pada kondisi tercemar. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kepadatan dan asosiasi fungi mikoriza arbuskula yang akan dikembangkan sebagai sumber inokulum untuk diaplikasikan dalam meningkatkan keberhasilan pemulihan lahan reklamasi penambangan emas di Pulau Obi, Maluku Utara. Ekstraksi spora dilakukan dengan teknik tuang saring menggunakan saringan bertingkat dengan diameter lubang 425 μm , 250 μm , dan 45 μm . Hasil saringan yang telah dipindahkan pada cawan petri. Spora diamati dan dihitung di bawah mikroskop dissecting dengan pembesaran 4X. Pengamatan infeksi FMA dilakukan secara sistematis dengan cara mengambil potongan-potongan rambut akar yang telah diwarnai sepanjang 1 cm secara acak sebanyak 10 potong rambut akar dan disusun di dalam slide mikroskop lalu diamati dengan mikroskop binokular. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 6 morfotipe yang termasuk dalam genus *Glomus*, dengan kepadatan tertinggi (59 spora) pada areal tambang baru. Persentase kolonisasi akar termasuk dalam kategori sedang. Total infeksi FMA yang paling banyak ditemukan di tiga areal tersebut didapatkan pada tanaman paspalum yaitu areal TT 80%, TL 29% dan TB 25%.

Kata Kunci: Asosiasi, Fungi Mikoriza Arbuskula, Kepadatan, Pulau Obi.

ABSTRACT

AGNES MEILANI, DENSITY AND ASSOCIATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN GOLD ORE PROCESSING WASTE POND AREA OF OBI ISLAND, NORTH MALUKU, supervised by Gusmiaty, Muhammad Restu, and Retno Prayudyaningsih.

Arbuscular mycorrhizal fungi (FMA) is one of the many types of living things that are able to symbiotize with other living things. FMA can be used as an alternative technology to help growth, increase productivity and quality of plants, especially those planted on marginal lands that are less fertile or former mining / industry. Mycorrhiza helps maintain plant growth stability in polluted conditions. This study aims to identify the density and association of arbuscular mycorrhizal fungi that will be developed as a source of inoculum to be applied in improving the success of gold mining reclamation land recovery on Obi Island, North Maluku. Spore extraction was carried out with a pour-filter technique using a graduated sieve with hole diameters of 425 μm , 250 μm , and 45 μm . The filter results were transferred to a Petri dish. Spores were observed and counted under a dissecting microscope with 4X magnification. Observation of FMA infection was carried out systematically by taking pieces of root hair that had been stained along 1 cm randomly as many as 10 pieces of root hair and arranged in a microscope slide and then observed with a binocular microscope. The results showed that there were 6 morphotypes included in the *Glomus* genus, with the highest density (59 spores) in the new mining area. The percentage of root colonization was moderate. The most total FMA infection found in the three areas was found in *paspalum* plants, namely the TT area 80%, TL 29% and TB 25%.

Keywords: Association, Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Density, Obi Island.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas anugrah dan kasih yang melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir skripsi yang berjudul “**Kepadatan dan Asosiasi Fungi Mikoriza Arbuskula Pada Areal Pengolahan Biji Emas Rakyat Pulau Obi, Maluku Utara.**” guna memenuhi syarat dalam menyelesaikan pendidikan di Fakultas Kehutanan, Universitas Hasanuddin. Ucapan terimakasih yang tak terhingga penulis ucapkan kepada yang terhormat dan tercinta Ibu **Gusmiaty, S.P., M.P** dan Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Restu, MP** selaku pembimbing internal dari Fakultas Kehutanan, serta Ibu **Dr. Retno Prayudyaningsih, S.Si., M.Sc** selaku pembimbing eksternal dari Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN), yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan, membantu, dan mendampingi penulis dalam menyelesaikan penelitian serta penulisan skripsi ini.

Skripsi ini merupakan persembahan kecil yang penulis berikan kepada yang terkasih dan tercinta yaitu untuk kedua orang tua, cinta pertamaku Ayahanda **RAPIUDDIN** dan Ibunda **Hasnah Alwi**, serta kakak kandung **Sindi Aprilianti**, serta segenap **Keluarga Besar** yang telah memberikan motivasi, dukungan, doa serta bantuan selama penyusunan skripsi penulis. Terimakasih atas kasih sayang, cinta, perhatian, nasihat, doa, dan dukungannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tanggung jawab ini. Tanpa kalian, penulis tidak akan bisa sampai di titik ini. Semoga di hari esok penulis kelak menjadi anak yang membanggakan. Dengan segala kerendahan hati, penulis juga mengucapkan banyak rasa terima kasih dan hormat:

1. Kepada Bapak **Prof. Dr. Ir. Musrizal Muin, M.Sc.** dan ibu **Dr. Ir. Astuti, S.Hut., M.Si., IPU** selaku dosen penguji yang telah memberikan koreksi, masukan dan saran untuk menyempurnakan penyusunan skripsi penulis.
2. Kepada Ibu **Dr. Siti Halimah Larekeng S.P., M.P**, Bapak **Iswanto, S.Hut. M.Si.**, dan Kak **Fitri S.Si., M.Si.** penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan, motivasi, serta masukan selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi penulis.
3. Kepada Bapak/ibu **Dosen Fakultas Kehutanan**, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan serta **Staf Fakultas Kehutanan**, yang selalu memberikan pelayanan yang terbaik dalam pengurusan administrasi.
4. Terkhusus kepada **Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN)** dan **Pusat Kolaborasi Riset (PKR) Mikroba Karst** yang telah memberikan kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan penelitian terkait judul pada skripsi ini, serta ucapan terima kasih kepada orang-orang yang terlibat di dalamnya.
5. Terkhusus kepada rekan kerja **Mitra senolinggi** yang telah membersamai dalam proses pelaksanaan penelitian dari awal hingga akhir.
6. Kepada seluruh teman-teman dan kakak-kakak **Laboratorium Biotek dan Laboratorium Teknologi**, terkhusus kepada **Saidil, Aidil, Vero, Novita, Adelia, Nurul**, dan **Lisa** terima kasih karena telah membersamai pada masa masa perkuliahan. kak **Ali Hasan Salman, S.Hut**, kak **Nur Padli, S.Hut**, dan kak **Dian Sasmita, S.Hut** terima kasih atas segala bantuannya selama awal hingga akhir penyusunan skripsi penulis.

7. Kepada **Ratu, Firman dan Evul**. Terima kasih karena telah kebersamai pada saat pengurusan administrasi dan membantu penulis serta penyusunan skripsi
8. Kepada seluruh **Keluarga Besar Foren'20 dan IMPERIUM'20**, penulis ucapkan banyak terima kasih untuk segala bantuan dan kekeluargaan pada masa perkuliahan hingga masa akhir semester yang telah dilalui bersama.
9. Terkhusus kepada sahabat kece **Vira, Dila, Puspa dan Inayah**. Terimakasih telah menemani, mendengarkan keluh kesah, dan berjuang dikota perantauan ini.
10. Kepada **Bripda Muhammad Akbar Nurul Amin Rauf**, terimakasih karena telah berkontribusi banyak dalam penulisan skripsi ini, meluangkan baik tenaga, waktu, pikiram maupun materi. Terimakasih telah menjadi bagian awal dari perjalanan kuliah penulis hingga sekarang.
11. Kepada Seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu penulis dalam proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
12. Kepada **Agnes Meilani**, terima kasih untuk diri sendiri karena telah mampu berusaha keras dan berjuang sejauh ini. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tak pernah memutuskan menyerah sesulit apapun prosesnya. Berbahagialah selalu dimanapun kamu berada. *Proud of me* apapun kurang dan lebihnya, mari merayakan diri sendiri.

Semoga Allah SWT, memberikan balasan dengan segala kebaikan dunia dan akhirat atas keikhlasan dan kebaikan dari semua pihak yang telah diberikan kepada penulis. Harapan penulis semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya pengembangan di bidang rekayasa kehutanan. Dalam penulisan ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan dan saran yang membangun untuk skripsi ini.

Makassar, 30 september 2024

Agnes Meilani

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN KELIMPAHAN HAK CIPTA	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ix
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Teori.....	3
BAB II. METODE PENELITIAN	5
2.1 Waktu dan Tempat	5
2.2 Alat dan Bahan	5
2.3 Prosedur Penelitian.....	6
2.3.1 Pengambilan Sampel Tanah dan Akar	6
2.3.2 Ekstraksi dan Identifikasi Spora FMA pada Tanah	7
2.4 Pengolahan dan Analisis Data	9
BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN	10
3.1 Populasi atau Kepadatan Spora	10
3.2 Identifikasi dan Karakteristik Jenis Spora Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) ..	11
3.3 Asosiasi FMA	14
BAB IV. KESIMPULAN	18
DAFTAR PUSTAKA.....	19
LAMPIRAN.....	24

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
Tabel 1. Kategori tingkat Kolonisasi FMA	9
Tabel 2. Hasil Identifikasi dan Karakterisasi Jenis Spora FMA	11
Tabel 3. Asosisasi FMA pada akar tanaman areal penambangan emas rakyat pulau Obi, Maluku Utara	14

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel	5
Gambar 2. Alur Prosedur Penelitian	6
Gambar 3. Sketsa Plot Pengambilan Sampel	7
Gambar 4. Diagram Jumlah Kepadatan Spora Pada Setiap Sampel.....	10
Gambar 5. Jenis Spora Pada Areal Penambangan Emas Rakyat Pulau Obi, Maluku Utara	13
Gambar 6. Kolonisasi FMA pada akar tanaman penambangan emas rakyat pulau Obi, Maluku Utara	16

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penambangan rakyat menunjukkan potensi sumberdaya mineral logam emas yang masih berlangsung hingga saat ini di Desa Anggai di Kecamatan Obi, Kabupaten Halmahera Selatan (Alkatiri et al., 2022). Penambangan emas skala kecil di Desa Anggai menerapkan tiga metode pengolahan yang berbeda, yaitu amalgamasi, sianidasi, dan kombinasi keduanya. Pengolahan yang banyak dipraktikkan saat ini adalah pengolahan gabungan dari keduanya, dimana batuan direduksi ukurannya oleh para pekerja (rempel), kemudian material yang sudah halus dimasukkan dalam mesin tromol selanjutnya diolah dan ditambahkan merkuri untuk mengekstrak kandungan emas dan logam berharga lainnya. Lumpur (tailing) diambil kembali kemudian diolah dengan menggunakan tangki pelindian (kelompok PESK menyebutnya metode tong) menggunakan sianida (Wahab et al., 2022).

Pertambangan emas skala kecil (PESK) menggunakan merkuri untuk mengekstrak kandungan emas dalam bijih telah dilarang oleh pemerintah dengan keluarnya Peraturan Presiden No. 21 Tahun 2019 tentang Rencana Aksi Nasional Pengurangan dan Penghapusan Merkuri (RAN-PPM). Aktivitas PESK ini semakin marak jika bijih emas mempunyai sifat yang cocok untuk diolah dengan amalgamasi dimana Merkuri (Hg) digunakan sebagai media untuk mengikat emas, pada umumnya emas diekstraksi melalui proses amalgamasi/merkuri. Residu berbahaya dari proses ini terakumulasi dalam kolam limbah, mengancam kualitas lingkungan sekitar.

Merkuri memiliki dampak terhadap lingkungan, yaitu dapat menyebabkan pencemaran air, tanah, dan udara (Alkatiri et al., 2022). Limbah hasil pertambangan emas melalui pengolahan yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan yang mengakibatkan menurunnya kualitas kesuburan pada tanah (Liestianty et al., 2023). Kadar merkuri menurut peraturan Pemerintah RI No 101 tahun 2014 baku mutu tanah tercemar merkuri yang ditetapkan adalah 0.3 ppm. Pada hasil penelitian yang dilakukan oleh (Mirdat et al., 2013). menunjukkan bahwa Kandungan merkuri Hg yang terdapat pada beberapa sampel yang jauh dari lokasi/pusat penambangan menunjukkan kandungan merkurnya rendah. Konsentrasi merkuri (Hg) dalam tanah berkisar 0,57 ppm- 8,19 ppm sedangkan pada limbah berkisar 84,15 ppm sampai 575,16 ppm. Kandungan logam berat merkuri (Hg) dalam tanah di areal penambangan kelurahan Poboya sudah melewati ambang yang bisa di toleransi. Sementara itu, studi terbaru oleh (Majelis et al., 2022) mengemukakan bahwa sebagian besar sampel tailing telah memenuhi baku mutu air limbah setelah proses pengolahan.

Fitoremediasi merupakan pemanfaatan tumbuhan, baik itu tumbuhan lokal (*native*) maupun tumbuhan budidaya untuk mendegradasi, menstabilkan, dan mengambil logam pencemar dari tanah dan air (Juhriah, 2016). Mikroba dan tanaman memiliki hubungan simbiosis mutualisme dalam proses fitoremediasi. Tanaman menyediakan sumber karbon bagi mikroba, sedangkan mikroba membantu tanaman menyerap kontaminan. Kerja sama ini menjadikan fitoremediasi

sebagai salah satu metode remediasi yang ramah lingkungan dan efektif untuk mengatasi masalah pencemaran tanah (Lee et al., 2021)

Keberadaan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan salah satu faktor yang mendukung proses fitoremediasi saat ini. FMA, sebagai salah satu kelompok mikroba simbiotik, membantu tanaman dalam penyerapan nutrisi dan air, serta meningkatkan toleransi terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Peran FMA dalam memperbaiki kondisi tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman membuatnya sangat penting dalam upaya fitoremediasi. Penelitian yang dilakukan oleh (Tuheteru et al., 2017). Inokulasi FMA lokal *Glomus* sp. dan *Acaulosporatuberculata* pada tanah *serpentine* meningkatkan pertumbuhan *Nauclea orientalis* L. serta penyerapan logam berat, kecuali *Acaulospora tuberculata* untuk Fe dan Ni, dengan Lonkida berperan dalam fitoremediasi melalui rizofiltrasi.

Kepadatan populasi dan jenis FMA sangat beragam dan dipengaruhi oleh karakteristik tanaman serta faktor lingkungan seperti suhu, pH tanah, kelembaban tanah, kandungan fosfor dan inangnya. Akibatnya, setiap ekosistem bisa mengandung jenis FMA yang sama atau berbeda. Variasi keanekaragaman dan penyebaran FMA disebabkan oleh perbedaan kondisi lingkungan (Puspitasari et al., 2012) dalam (Iubis et al., 2018).

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) memberikan manfaat saling menguntungkan bagi tanaman dan mikroorganisme lain. Simbiosis ini telah dimanfaatkan sebagai teknologi alternatif untuk meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas tanaman, khususnya pada lahan kritis seperti bekas tambang atau lahan marginal yang tercemar (Delvian, 2006). Mikoriza membantu mempertahankan stabilitas pertumbuhan tanaman pada kondisi tercemar (Khan, 2005). Unsur-unsur logam berat seperti Hg, Pb, Cd, As dapat difasilitasi FMA untuk stabilisasi logam dalam proses remediasi sehingga tidak membahayakan secara langsung di lingkungan (Khan, 2005 ; Suharno dan Sancayaningsih, 2013).

Hasil penelitian yang dilakukan (Prasetyo et al., 2019), Eksplorasi FMA pada berbagai tumbuhan menunjukkan dominasi genus *Glomus* dan *Acaulospora*, sementara perakaran *Stenochlaena palustris* terinfeksi FMA dengan adanya struktur vesikula, arbuskula, dan hifa ekstern. Penelitian (Delvian et al., 2006) pada lahan reklamasi bekas tambang emas berhasil mengidentifikasi 9 jenis tumbuhan potensial sebagai pionir dan mengungkapkan keberadaan 21 tipe spora mikoriza arbuskular (FMA), termasuk 2 tipe *Acaulospora* dan 19 tipe *Glomus*. Kedua hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa fungi mikoriza FMA dan spesies tumbuhan ditemukan bervariasi pada lahan bekas tambang.

FMA memiliki potensi yang cukup tinggi dalam memaksimalkan upaya fitoremediasi pada lahan bekas tambang. Penelitian potensi FMA di areal kolam limbah pengolahan bijih emas masih sangat terbatas, terlebih pada penambangan emas rakyat Pulau Obi, Maluku Utara. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kepadatan dan asosiasi fungi mikoriza arbuskula yang akan dikembangkan sebagai sumber inokulum untuk diaplikasikan dalam meningkatkan keberhasilan pemulihan lahan reklamasi penambangan emas. Hasil isolasi fungi mikoriza pada areal kolam

limbah pengolahan bijih emas dapat dijadikan sebagai sumber inokulum untuk kegiatan revegetasi lahan.

1.2 Teori

Pertambangan emas tradisional adalah salah satu sumber pendapatan bagi masyarakat, tetapi kegiatan ini berisiko mencemari lokasi dan lingkungan sekitarnya akibat penggunaan teknologi sederhana, seperti merkuri, yang digunakan sebagai pengikat unsur emas dalam proses amalgamasi (Sumual, H., 2009). Menurut (Suharno et al., 2013) Logam berat, pH tanah yang ekstrem, dan kerusakan struktur serta biologi tanah menandai degradasi lahan tambang sehingga penerapan rehabilitasi menggunakan mikoriza dapat memulihkan kondisi tersebut dan mengembalikan fungsi ekosistem.

Fungi Mikoriza sebagai mikroorganisme tanah memiliki peran signifikan di ekosistem terutama pada lahan-lahan marginal dikarenakan mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui keberadaan hifanya yang memperluas sistem perakaran sehingga membantu penyerapan nutrisi (Suharno et al., 2014) (Christofer et al., 2022). menyatakan asosiasi tanaman hiperakumulator dengan Fungi mikoriza arbuskula (mikroremediasi) dapat dimanfaatkan dalam upaya reklamasi lahan pasca tambang karena keberadaan fungi mikoriza berpotensi meningkatkan kemampuan dan efektivitas penyerapan logam berat pada tanaman hiperakumulator.

Proses penambangan emas, masyarakat sering kali menambahkan merkuri (Hg) dalam jumlah berlebihan dengan tujuan untuk meningkatkan jumlah emas yang dapat diekstraksi dari bijih. Penggunaan merkuri yang berlebihan dalam penambangan emas tidak hanya meningkatkan risiko kontaminasi lingkungan, tetapi juga mengancam kesehatan masyarakat. Praktik penambangan yang tidak ramah lingkungan ini didorong oleh ketidaksesuaian kandungan emas (Inswiasri, 2017).

Merkuri (Hg) merupakan salah satu unsur logam berat yang banyak digunakan oleh manusia dalam proses industri ataupun pertambangan. Merkuri pada industri dibidang kesehatan dapat digunakan sebagai bahan yang dicampurkan dengan logam lain untuk membuat tambalan gigi. Selain itu, pada proses pengolahan emas secara tradisional penggunaan merkuri Hg yang diterapkan dalam menambang emas yang menggunakan teknologi sederhana dengan merkuri digunakan sebagai bahan penangkap emas melalui proses amalgamasi (Banunaek, 2016). Metode ekstraksi emas seperti ini memiliki keuntungan karena sederhana dilakukan, efektif dalam menangkap bijih emas, dan mudah diangkut karena merkuri berwujud cair, namun penggunaannya dalam proses amalgamasi dapat menimbulkan dampak berbahaya bagi lingkungan (Rodríguez dan López-Delgado, 2012).

Hasil Penelitian yang dilakukan oleh (Wawo et al., 2017). menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) , menunjukkan bahwa tanah yang berada di sekitar pertambangan rakyat telah mengakibatkan pencemaran lingkungan, sedangkan tanah yang berdekatan dengan sungai memiliki konsentrasi yang normal. Analisis terhadap kadar merkuri (Hg) dalam tanah menjadi penting

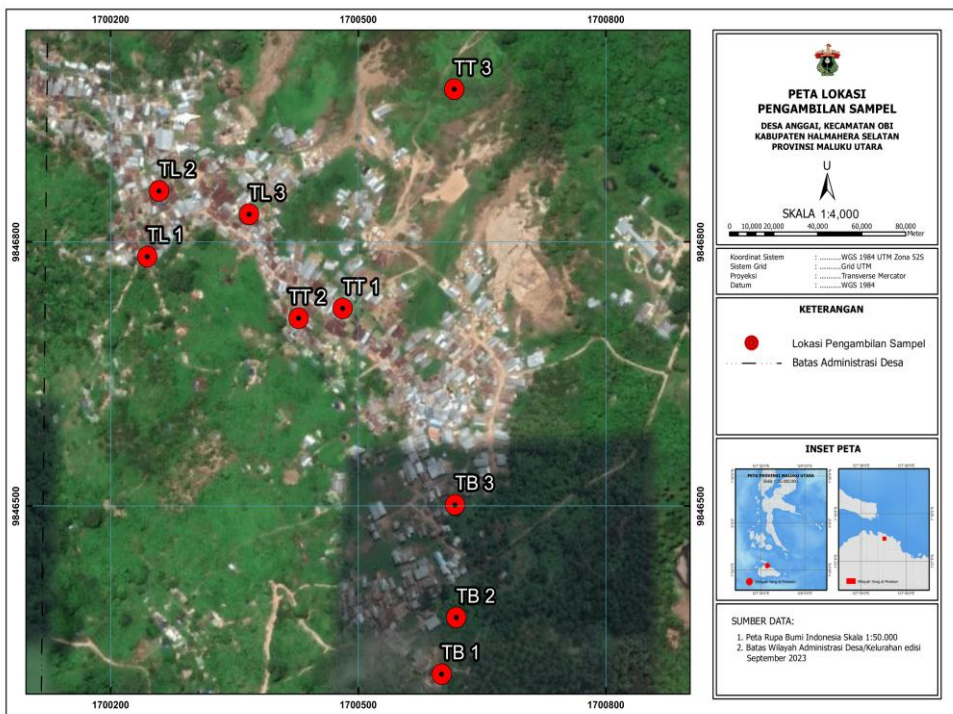
untuk memahami tingkat pencemaran dan dampaknya pada ekosistem, mengingat akumulasi logam berat ini mengancam lingkungan secara serius.

Kepadatan spora, terutama spora jamur mikoriza arbuskular (FMA), pada lahan pertambangan emas memiliki potensi yang sangat signifikan dalam upaya rehabilitasi dan restorasi lahan. Lebih lanjut (Effendy dan Wijayani, 2021). menjelaskan bahwa simbiosis mikoriza, terutama FMA, berperan krusial dalam memulihkan lahan bekas tambang emas karena jaringan hifa FMA yang ekstensif meningkatkan ketersediaan nutrisi, seperti fosfor, dan merangsang pertumbuhan tanaman, sehingga berkontribusi pada kesuburan tanah. FMA mampu bersimbiosis dengan sebagian besar (90%) jenis tanaman di dunia dengan kepadatan spora yang bervariasi karena dipengaruhi oleh kondisi lingkungan dan pertumbuhan tanaman (Muin dan Ekyastuti, 2016). Berdasarkan penelitian yang juga dilakukan (Muin dan Ekyastuti, 2016) mengungkapkan bahwa pada sampel tanah tanaman budidaya di lahan bekas tambang emas dijumpai genus *Glomus* lebih mendominasi dibanding *Gigaspora*

BAB II. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan november – desember 2023. Pengambilan sampel tanah dan akar dilakukan disekitar tambang tengah, tambang lama, dan tambang baru pada areal kolam limbah pengolahan bijih emas pada penambangan emas rakyat pulau Obi, Maluku Utara (Gambar 1). Pengambilan sampel tanah dan akar tanaman dilakukan oleh peneliti BRIN untuk kegiatan riset Riset Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM). Ekstraksi dan identifikasi Fungi Mikoriza Arbuskula serta asosiasi FMA pada tumbuhan dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi PKR Mikroba Karst, Universitas Hasanuddin.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Keterangan :

- TT 1 : Tambang Tengah 1
- TT 2 : Tambang Tengah 2
- TT 3 : Tambang Tengah 3
- TL 1 : Tambang Lama 1
- TL 2 : Tambang Lama 2
- TL 3 : Tambang Lama 3
- TB 1 : Tambang Baru 1
- TB 2 : Tambang Baru 2

TB 3 : Tambang Baru 3

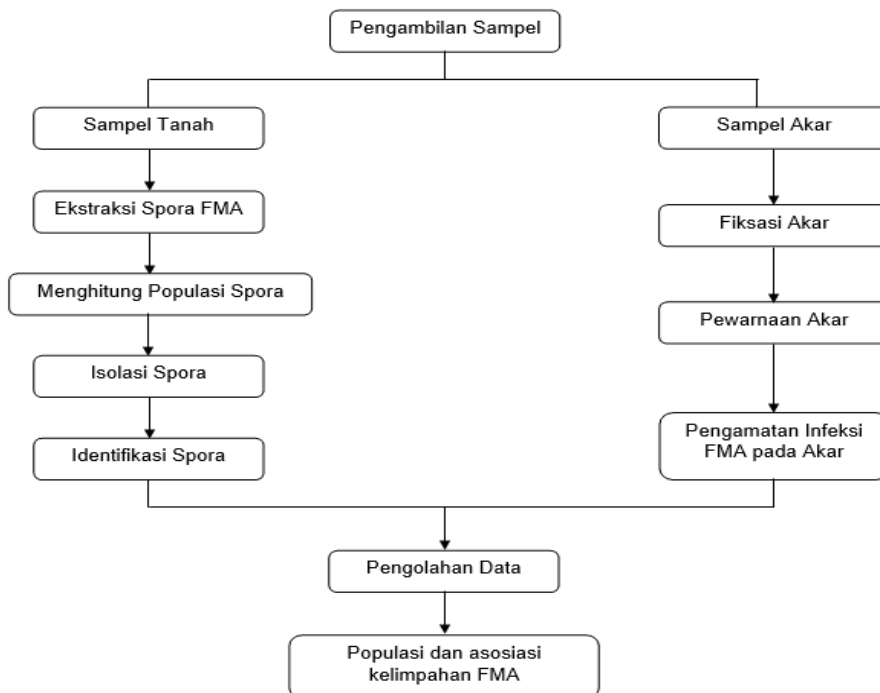
2.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkul, parang, skop tanaman, roll meter, gunting pangkas, *container box*, timbangan, gelas *beker* ukuran 1000 ml, batang pengaduk, saringan bertingkat dengan diameter lubang 425 μm , 250 μm , 45 μm , cawan petri, sentrifugasi, mikroskop, GPS, kamera, dan alat tulis.

Bahan yang digunakan yaitu sampel tanah dan akar tanaman, larutan sukrosa, aquades, air mineral, *trypan blue*, alkohol 50%, KOH 10%, HCl 2%, H₂O₂ 10%, asam laktat, gliserin, kantong plastik, plastik sampel, label sampel, kertas A4.

2.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah pengambilan sampel tanah dan akar, sedangkan tahap kedua adalah ekstraksi dan identifikasi fungi mikoriza arbuskula serta pengamatan asosiasinya pada akar tumbuhan. Pengambilan sampel dilakukan di tiga lokasi berbeda, yakni area kolam limbah tambang lama, tambang tengah, dan tambang baru, dengan masing-masing lokasi dilakukan sebanyak tiga kali ulangan. Alur penelitian ini dijelaskan melalui bagan alur pada Gambar 2.

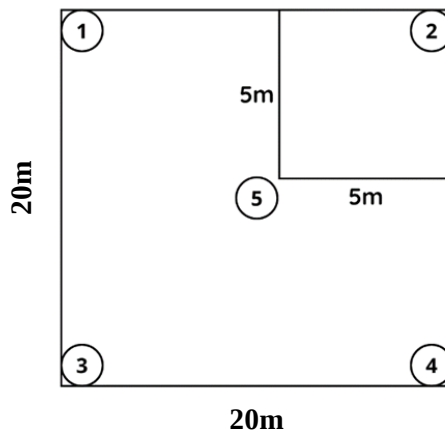


Gambar 2. Alur Prosedur Penelitian

2.3.1 Pengambilan Sampel Tanah dan Akar

Pengambilan sampel tanah dan akar tanaman dilakukan oleh peneliti BRIN untuk kegiatan riset Riset Inovasi untuk Indonesia Maju (RIIM) dari lokasi areal sekitar

kolam limbah pengolahan bijih emas pada penambangan emas rakyat pulau Obi, Maluku Utara. Pengambilan sampel tanah dan akar dilakukan dengan pembuatan plot pengamatan berdasarkan metode *purposive sampling*. Ukuran plot pengamatan yang digunakan adalah 20m x 20m pada setiap arah dan dibuat 3 plot. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman 0-20 cm pada 4 titik sudut dan 1 titik potong diagonal (pada tengah plot) dengan berat sampel tanah yang diambil sebanyak 500 gram/plot dengan kondisi sudah dikompositkan untuk mewakili satu plot.



Gambar 3. Sketsa Plot Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel akar juga dilakukan pada tanaman yang dipilih (*host target*) pada masing-masing plot. Akar diambil secara acak dengan sekop di sekitar area perakaran tanaman inang (*host target*), Kemudian dimasukkan masing-masing ke dalam kantong plastik dan diberi label.

2.3.2 Ekstraksi dan Identifikasi Spora FMA pada Tanah

Ekstraksi FMA dilakukan untuk memisahkan spora dari tanah sehingga dapat dilakukan identifikasi guna mengetahui genus spora FMA. Teknik yang digunakan adalah teknik tuang saring dan dilanjutkan dengan sentrifugasi dari Brundrett et al, (1996) dalam Sari et al., (2017). Ekstraksi spora FMA dilakukan dengan cara menimbang sampel tanah sebanyak 50 gram, kemudian dimasukkan dalam gelas beaker 1000 ml dan ditambah air sampai volume 1 liter. Suspensi tersebut diaduk selama ± 2 menit sampai homogen dan agregat tanah dipecah agar spora terbebas dari kotoran dan tanah. Suspensi tersebut di diamkan selama ± 15 menit sampai partikel-partikel yang besar mengendap. Setelah itu, suspensi dituang ke dalam saringan bertingkat dengan diameter lubang 425 μm , 250 μm , dan 45 μm (prosedur ini diulang sebanyak 3 kali). Residu masing-masing saringan dibilas dengan air kran untuk menjamin bahwa semua partikel yang kecil sudah terbawa. Residu saringan yang berukuran 250 μm dituangkan ke saringan 45 μm , kemudian dituang kedalam tabung *sentrifuge* 15 ml dengan bantuan botol semprot. Setelah itu, dimasukkan ke dalam *sentrifuge* yang diputar dengan kecepatan 2000 rpm selama 5 menit. Membuang kotoran yang mengambang pada cairan supernatan, kemudian diisi

dengan larutan gula sebanyak 2 kali dari banyaknya air didalam tabung sentrifuge tersebut, lalu dimasukkan kembali kedalam *sentrifuge* yang diputar dengan kecepatan 2000 rpm selama 1 menit. Setelah itu, tuang ke saringan 45 μ m dicuci dengan air mengalir dan hasil saringan dituang ke cawan petri dengan bantuan botol semprot untuk dilakukan pengamatan spora di bawah mikroskop.

1. Menghitung Populasi Spora

Hasil saringan yang telah dipindahkan pada cawan petri. Spora diamati dan dihitung di bawah mikroskop dissecting dengan pembesaran 4X. Selanjutnya, spora dipindahkan ke kertas saring berdasarkan karakteristik morfotipe-nya dengan menggunakan garis vertikal dan horizontal di dalam cawan yang berukuran 60mm x 15mm untuk mempermudah pengamatan.

2. Pengamatan Spora

Spora yang telah dihitung dan dipisahkan sesuai morfotipenya diletakkan pada kaca preparate. Sisi kiri ditetesi larutan PVLG dan sisi kanan ditetesi larutan Melzer's, kemudian masing-masing ditutup dengan cover slip. Spora dipecahkan dengan cara menekan permukaan cover slip menggunakan jarum pentul secara hati-hati. Perubahan warna pada spora dalam larutan Melzer's adalah salah satu indikator untuk menentukan tipe spora yang ada (Simamora et al., 2015)

3. Pewarnaan

Pengambilan sampel rambut akar dilakukan dengan menggali tanah di bawah tajuk. Sampel rambut akar dianalisis menggunakan metode pewarnaan akar (Phillips & Hayman, 1970) yang dimodifikasi dalam Akib et al., 2022 berupa jenis larutan dan waktu perendaman. Rambut akar dibersihkan dengan hati-hati dan disimpan dalam larutan alkohol 50% yang digunakan untuk mengawetkan (mengembalikan) sampel rambut akar dari pohon penelitian. Masukkan potongan rambut akar ke dalam tabung reaksi. Sampel rambut akar diklarifikasi dengan larutan KOH 10% selama 24 jam. Peran KOH adalah membersihkan sitoplasma inti akar, sehingga zat warna lebih mudah meresap. Setelah itu, akar rambut dibilas dengan larutan KOH 10% dan air hingga bersih. Tambahkan larutan H₂O₂ 10% selama 24 jam, tambahkan larutan HCl 2% selama 24 jam selama proses netralisasi, kembangkan rambut akar dengan larutan pengembang warna (staining) selama 24 jam, dan terakhir tambahkan larutan peluntur warna (*destaining*) selama 24 jam.

4. Pengamatan Infeksi Mikoriza

Pengamatan infeksi FMA dilakukan secara sistematis dengan cara mengambil potongan-potongan rambut akar yang telah diwarnai sepanjang 1 cm secara acak sebanyak 10 potong rambut akar dan disusun di dalam slide mikroskop lalu diamati dengan mikroskop binokular. Sampel akar dari satu jenis pohon penelitian disusun pada satu slide mikroskop yang berisi 10 potong rambut akar sepanjang 1 cm memiliki 6 bidang pandang. Menurut (Zulfredi et al., 2014) bidang pandang yang menunjukkan tanda-tanda kolonisasi dimana terdapat hifa, arbuskula dan vesikula

diberi tanda positif (+), sedangkan yang tidak terdapat tanda-tanda kolonisasi diberi tanda negatif (-).

2.4 Pengolahan dan Analisis Data

Data hasil pengamatan di laboratorium ditabulasi dan dianalisis menggunakan software excel kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan histogram. Klasifikasi banyaknya akar yang terinfeksi FMA dapat digolongkan dalam beberapa kategori berdasarkan Rajapakse & Miller, 1992) yang dimodifikasi pada bagian kategori dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kategori tingkat kolonisasi FMA

Persentase Kolonisasi (%)	Kelas	Kategori
0-5	Kelas 1	Sangat Rendah
6-25	Kelas 2	Rendah
26-50	Kelas 3	Sedang
51-75	Kelas 4	Tinggi
76-100	Kelas 5	Sangat Tinggi

Adapun derajat/persentase kolonisasi akar dihitung dengan menggunakan rumus:

1. Persentase infeksi FMA :

$$\% \text{Infeksi FMA} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi FMA}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

2. Persentase infeksi hifa :

$$\% \text{Infeksi Hifa} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi hifa}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

3. Persentase infeksi spora :

$$\% \text{Infeksi Spora} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi spora}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

4. Persentase infeksi vesikula :

$$\% \text{Infeksi Vesikula} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi vesikula}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

5. Persentase infeksi arbuskular :

$$\% \text{Infeksi Arbuskula} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi arbuskula}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$

6. Persentase struktur lainnya :

$$\% \text{Infeksi Struktur lain pada akar} = \frac{\text{jumlah bidang pandang terinfeksi struktur lain}}{\text{jumlah bidang pandang keseluruhan}} \times 100\%$$