

**APLIKASI RHIZOBIA INDIGENOUS DAN KOMPOS LIMBAH
BAGLOG JAMUR TIRAM (*Pleurotus ostreatus*) UNTUK
PERTUMBUHAN ANGSANA (*Pterocarpus indicus* Wild.)
PADA MEDIA TANAH BEKAS TAMBANG NIKEL**

***THE APPLICATION OF INDIGENOUS RHIZOBIA AND
SPENT OYSTER MUSHROOM (*Pleurotus ostreatus*)
COMPOST FOR THE GROWTH OF ANGSANA (*Pterocarpus
indicus Wild.*) ON EX-NICKEL MINING SOIL MEDIA***

**RAMDANA SARI
M012191017**



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**APLIKASI RHIZOBIA INDIGENOUS DAN KOMPOS LIMBAH
BAGLOG JAMUR TIRAM (*Pleurotus ostreatus*) UNTUK
PERTUMBUHAN ANGSANA (*Pterocarpus indicus* Wild.)
PADA MEDIA TANAH BEKAS TAMBANG NIKEL**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Ilmu Kehutanan

Disusun dan diajukan oleh

RAMDANA SARI

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**APLIKASI RHIZOBIA INDIGENOUS DAN KOMPOS LIMBAH BAGLOG
JAMUR TIRAM (*Pleurotus ostreatus*) UNTUK PERTUMBUHAN
ANGSANA (*Pterocarpus indicus* Wild.) PADA MEDIA TANAH BEKAS
TAMBANG NIKEL**

Disusun dan diajukan oleh:

RAMDANA SARI
Nomor Pokok: M012191017

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
pada tanggal 3 Januari 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,
Komisi Penasehat

Ketua

Anggota


Dr. Ir. Astuti, S.Hut, M.Si, IPU
NIP.197303152001122001


Prof. Dr. Ir. Muhammad Restu, M.P
NIP.196509041992031003

Ketua Program Studi S2
Ilmu Kehutanan,

Dekan Fakultas Kehutanan
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Ir. Muh. Dassir, M.Si
NIP.196710051991031006


Dr. A. Mujetahid, M. S.Hut., MP
NIP.196902081997021002

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ramdana Sari
Nomor Mahasiswa : M012191017
Program Studi : Ilmu Kehutanan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 3 Januari 2022

Yang menyatakan,



Ramdana Sari

PRAKATA

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah swt. atas segala karunia dan ridho-Nya sehingga tesis yang berjudul “Aplikasi rhizobia indigenus dan kompos limbah baglog jamur tiram (*Pleurotus ostreatus*) untuk pertumbuhan angkana (*Pterocarpus indicus* Wild.) pada media tanah bekas tambang nikel” ini dapat diselesaikan. Sholawat dan salam tak lupa kami haturkan kepada Baginda Nabi Muhammad saw.

Gagasan yang melatarbelakangi penelitian ini berawal dari permasalahan lingkungan yang menjadi isu global dan membutuhkan penanganan segera. Proses penambangan meninggalkan lahan yang rusak dan sulit untuk dipulihkan. Penulis bermaksud menyumbangkan konsep penanganan lahan kritis dengan menggunakan teknologi kompos dan mikroba tanah potensial.

Penulis menghadapi banyak kendala saat proses penelitian dan penulisan tesis. Berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara materiil maupun moril, maka tesis ini dapat selesai tepat pada waktunya. Penulis merasa sangat bersyukur dan berterima kasih kepada kedua orang tua, suami dan anak-anak atas segala doa dan dukungannya selama ini. Dalam kesempatan ini, penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih kepada Dr. Ir. Astuti, S.Hut, M.Si, IPU selaku ketua komisi pembimbing serta Prof. Dr. Ir. Muhammad Restu, M.P dan Dr. Retno Prayudyaningsih, S.Si, M.Sc selaku anggota komisi pembimbing. Ucapan terima kasih tak lupa kami sampaikan kepada Dr. Ir. Syamsuddin Millang, M.S dan Ira Taskirawati, S.Hut, M.Si, Ph.D selaku anggota komisi penilai. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Muhammad Dassir, M.Si, IPU selaku ketua Program Studi S2 Ilmu Kehutanan serta Dr. Andi Mujetahid M., S.Hut, M.P selaku Dekan Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin. Ucapan terima kasih tak lupa penulis sampaikan kepada Andi Sri Rahmah Dania yang telah banyak membantu dalam proses

pengumpulan data penelitian serta kepada semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu tetapi telah banyak membantu dalam menyelesaikan penelitian dan tesis ini.

Tulisan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan kritikan yang membangun. Semoga karya ini bermanfaat bagi pemerintah, pelaku usaha khususnya dalam bidang pertambangan, masyarakat yang berkaitan dengan pengelolaan lahan terdegradasi, dunia ilmu pengetahuan serta pihak-pihak yang membutuhkan.

Makassar, Januari 2022

Ramdana Sari

ABSTRAK

RAMDANA SARI *Aplikasi Rhizobia Indigenus dan Kompos Limbah Baglog Jamur Tiram (Pleurotus ostreatus) untuk Pertumbuhan Angsana (Pterocarpus indicus Wild.) pada Media Tanah Bekas Tambang Nikel* (dibimbing oleh Astuti, Muhammad Restu, dan Retno Prayudyaningsih).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan kompos limbah baglog jamur tiram terhadap kemampuan bakteri rhizobia dalam meningkatkan pertumbuhan semai angsana pada media tanah bekas tambang nikel.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap pola faktorial. Faktor A adalah jenis rhizobia indigenus (R0 = tanpa isolat; R1 = isolat *Rhizobium* 1; R2 = isolat *Rhizobium* 2; dan R3 = isolat *Bradyrhizobium*). Faktor B adalah jenis pupuk (P0 = tanpa pupuk; P1 = kompos limbah baglog tua dosis 3%; P2 = kompos limbah baglog terkontaminasi dosis 3%; P3 = pupuk kandang dosis 30%; dan P4 = NPK dosis 1,5%). Isolat bakteri berasal dari lahan bekas tambang nikel, Konawe Utara. Sedangkan media tanam berasal dari lahan bekas tambang nikel di Luwu Timur.

Hasil uji anova menunjukkan kombinasi jenis rhizobia dan pupuk berpengaruh tidak nyata terhadap pertumbuhan semai. Pemberian pupuk dan bakteri secara tunggal berpengaruh nyata terhadap tinggi, diameter, biomassa, serapan nitrogen jaringan semai, serta kerapatan stomata (hanya faktor pemupukan). Uji Duncan menunjukkan umumnya isolat R1 dan P3 memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan semai. Meskipun efek yang diberikan lebih rendah dibandingkan P3, tetapi pengaruh pemberian kompos P1 tidak jauh berbeda. Oleh karena itu, pemanfaatan kompos yang ramah lingkungan dengan berbahan dasar limbah baglog tua serta biaya produksi yang relatif rendah menyebabkan limbah tersebut berpotensi untuk dijadikan pupuk.

Kata kunci: angsana (*Pterocarpus indicus* Wild.), bakteri rhizobia, limbah baglog jamur tiram, pertumbuhan.

ABSTRACT

RAMDANA SARI *The Application of Indigenous Rhizobia and Spent Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Compost for the Growth of Angsana (*Pterocarpus indicus* Wild.) on Ex-Nickel Mining Soil Media* (supervised by Astuti, Muhammad Restu, dan Retno Prayudyaningsih).

This study aims to determine the effect of the addition of spent oyster mushrooms on the ability of rhizobia bacteria to increase the growth of angsana seedlings on ex-nickel mining soil media.

This study uses a completely randomized factorial. Factor A is a type of indigenous rhizobia (R0 = without isolate; R1 = *Rhizobium* 1 isolate; R2 = *Rhizobium* 2 isolate; and R3 = *Bradyrhizobium* isolate). Factor B is a type of fertilizer (P0 = without fertilizer; P1 = the old substrate waste compost 3%; P2 = the contaminated substrate compost 3%; P3 = manure 30%; and P4 = NPK 1,5%). The bacterial isolated from a former nickel mine in North Konawe. While the planting media were from the former nickel mine in East Luwu.

The results of the anova test showed that the combination of rhizobia and fertilizer had no significant effect on seedling growth. The application of fertilizer and bacteria alone significantly affected the height, diameter, biomass, nitrogen uptake of seedling tissue, and stomatal density (fertilization factor only). Duncan's test showed that generally R1 isolate and P3 had the best effects on seedling growth. Although the effect is lower than P3, the effect of P1 compost was not much different. Therefore, the use of environmentally friendly compost made from old substrate waste and relatively low production costs have made this waste potential to be used as fertilizer.

Keywords: angšana (*Pterocarpus indicus* Wild.), rhizobia bacteria, spent oyster mushroom substrate, growth.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Deskripsi Pertambangan Nikel	9
1. Karakteristik nikel sebagai bahan alam bernilai ekonomi tinggi	9
2. Dampak penambangan terhadap kualitas tapak	10

3. Reklamasi lahan bekas tambang	13
B. Potensi Bakteri Rhizobia sebagai Biofertilizer	15
1. Peran penting mikroba dalam menjaga kualitas tanah ..	15
2. Karakteristik rhizobia sebagai bakteri penambat nitrogen simbiotis	17
3. Interaksi bakteri rhizobia dengan tanaman legum	18
4. Pemanfaatan rhizobia sebagai bakteri penambat nitrogen dalam mendukung pertumbuhan tanaman legum pada lahan terdegradasi	20
C. Kompos Limbah Baglog Jamur Tiram	21
1. Limbah baglog jamur tiram sebagai salah satu bahan pencemar lingkungan	21
2. Potensi limbah baglog jamur tiram sebagai kompos	24
D. Angsana (<i>Pterocarpus indicus</i> Wild.) sebagai Pohon Legum yang Berpotensi Diaplikasikan pada Reklamasi Lahan Bekas Tambang Nikel	28
1. Kriteria tanaman untuk diaplikasikan pada reklamasi lahan bekas tambang	28
2. Deskripsi angšana (<i>P. indicus</i> Wild.)	30
3. Nilai budaya angšana pada masyarakat suku Bugis Sulawesi Selatan	33
4. Manfaat angšana dalam kehidupan sehari-hari	34
5. Status tanaman angšana di alam	35
E. Kerangka Pikiran Penelitian	36
BAB III. METODE PENELITIAN	37
A. Waktu dan Lokasi Penelitian	37
B. Alat dan Bahan	37
C. Prosedur Kerja	39

1. Pembuatan inokulum bakteri rhizobia	40
2. Pembuatan kompos limbah baglog jamur tiram	42
3. Persiapan benih, media kecambah, dan media semai ...	43
4. Penyapihan serta pemberian inokulum dan pupuk	44
5. Pemeliharaan tanaman	45
6. Pengamatan dan pengukuran	46
a. Pertumbuhan tinggi semai	46
b. Pengukuran diameter batang	46
c. Penghitungan jumlah daun	47
d. Biomassa semai	47
e. Indeks Mutu Bibit (IMB)	47
f. Jumlah bintil akar	47
g. Kerapatan stomata	48
h. Serapan nitrogen jaringan semai angšana	48
i. Analisis kualitas kimia dan fisik tanah	49
j. Rancangan penelitian	49
k. Analisis data	51
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	52
A. Hasil Penelitian	52
1. Respon pertumbuhan tinggi semai	55
2. Respon pertumbuhan diameter semai	58
3. Respon pembentukan daun semai	60
4. Biomassa semai	62

5. Indeks Mutu Bibit (IMB)	63
6. Jumlah bintil akar	64
7. Kerapatan stomata	66
8. Serapan nitrogen jaringan semai angkana	69
9. Analisis sifat fisik dan kimia tanah setelah pemanenan	70
B. Pembahasan	73
1. Analisis sifat fisik dan kimia tanah sebelum penanaman	73
2. Analisis sifat fisik dan kimia pupuk organik sebelum diaplikasikan pada media tanam	80
3. Pertumbuhan tinggi semai angkana	87
4. Pertumbuhan diameter semai angkana	92
5. Jumlah daun semai angkana	95
6. Biomassa semai	97
7. Indeks Mutu Bibit (IMB)	101
8. Jumlah bintil akar	102
9. Kerapatan stomata	105
10. Serapan nitrogen jaringan semai angkana	110
11. Sifat kimia tanah setelah pemanenan	112
BAB V. PENUTUP	121
A. Kesimpulan	121
B. Saran.....	120
DAFTAR PUSTAKA	123
LAMPIRAN	137

CURRICULUM VITAE	146
------------------------	-----

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Denah satuan percobaan dengan perlakuan jenis bakteri rhizobia dengan pupuk	50
Tabel 2. Hasil analisis tanah dan pupuk organik	53
Tabel 3. Rerata suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya matahari selama 12 minggu pengamatan	54
Tabel 4. Hasil uji lanjut Duncan untuk faktor tunggal jenis pupuk dan isolat rhizobia terhadap pertumbuhan tinggi semai angkana umur 12 minggu	57
Tabel 5. Hasil uji lanjut Duncan untuk faktor tunggal jenis pupuk dan isolat rhizobia terhadap pertumbuhan diameter semai angkana umur 12 minggu	60
Tabel 6. Rerata jumlah daun semai umur 12 minggu	61
Tabel 7. Hasil uji lanjut Duncan untuk faktor tunggal jenis pupuk dan isolat rhizobia terhadap biomassa semai angkana umur 12 minggu	62
Tabel 8. Rerata nilai Indeks Mutu Bibit (IMB) semai angkana umur 12 minggu	63
Tabel 9. Rerata jumlah bintil akar semai angkana umur 12 minggu	65
Tabel 10. Hasil uji lanjut Duncan untuk faktor tunggal pupuk terhadap kerapatan stomata daun semai angkana umur 12 minggu	67
Tabel 11. Rerata panjang stomata pada daun semai angkana umur 12 minggu	68
Tabel 12. Hasil uji lanjut Duncan untuk faktor tunggal pupuk dan isolat rhizobia terhadap serapan nitrogen jaringan semai angkana umur 12 minggu	69
Tabel 13. Analisis kimia tanah setelah pemanenan	72

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Limbah baglog jamur tiram	22
Gambar 2. Limbah baglog jamur tiram yang dibuang dan dibakar di sekitar lokasi budidaya	23
Gambar 3. Karakteristik angšana	33
Gambar 4. Kerangka pikir penelitian	36
Gambar 5. Alur operasional penelitian	39
Gambar 6. Laju pertumbuhan tinggi semai angšana setiap 2 minggu pengamatan	55
Gambar 7. Laju pertumbuhan diameter batang semai angšana setiap 2 minggu pengamatan	58
Gambar 8. Semai angšana umur 12 minggu	89
Gambar 9. Daun semai terlihat berwarna hijau kekuningan pada umur 12 minggu	96
Gambar 10. Semai angšana yang telah dipanen	99
Gambar 11. Bintil pada akar semai angšana	104
Gambar 12. Anatomi daun angšana	107

DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran 1. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap pertumbuhan tinggi semai angšana umur 12 minggu	137
Lampiran 2. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap diameter angšana umur 12 minggu	138
Lampiran 3. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap jumlah daun semai angšana umur 12 minggu	139
Lampiran 4. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap biomassa semai angšana umur 12 minggu	140
Lampiran 5. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan bakteri rhizobia terhadap IMB semai angšana umur 12 minggu	141
Lampiran 6. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap jumlah bintil akar semai angšana umur 12 minggu	142
Lampiran 7. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap kerapatan stomata daun semai angšana umur 12 minggu	143
Lampiran 8. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap panjang stomata daun semai angšana umur 12 minggu	144
Lampiran 9. Hasil uji anova aplikasi pemupukan dan inokulasi bakteri rhizobia terhadap serapan nitrogen jaringan semai angšana umur 12 minggu	145

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sulawesi merupakan salah satu wilayah yang dicanangkan dalam program pengembangan pertambangan nikel berdasarkan Masterplan Percepatan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI 2011 – 2025) (Nursahan *et al.*, 2013). Hal ini disebabkan karena potensi sumber daya dan cadangan bijih nikel laterit di Pulau Sulawesi melimpah. Sulawesi merupakan wilayah penghasil nikel tertinggi di Indonesia, bahkan menyumbangkan sekitar 7% PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) Sulawesi (Nursahan *et al.*, 2013). Geliat usaha pertambangan ditandai dengan banyaknya IUP (Izin Usaha Pertambangan) yang diterbitkan (Fua, 2021). Kondisi ini tentunya memberikan keuntungan, khususnya bagi perekonomian daerah dan nasional. Namun, dampaknya terjadi eksploitasi hutan yang tak terkendali dan berpotensi mengakibatkan bencana alam.

Kegiatan penambangan yang menghasilkan permasalahan lingkungan menjadi isu penting yang harus segera diselesaikan. Umumnya bahan-bahan alam galian potensial berada pada kawasan hutan. Untuk memperoleh bahan-bahan alam tersebut, maka perlu dilakukan penggalian melalui proses penambangan. Metode penambangan ada 2 macam, yaitu penambangan tertutup dan terbuka. Penambangan terbuka menjadi pilihan

bagi perusahaan-perusahaan tambang karena biaya operasionalnya lebih rendah dibandingkan dengan penambangan tertutup. Sebelum melakukan penggalian, proses pengupasan tanah lapisan atas dan vegetasi harus dilakukan (Subowo, 2011).

Masalah utama yang ditemukan pada lahan bekas tambang adalah perubahan kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Sisa-sisa bahan galian dan limbah tambang (*tailing*) mengandung logam berat seperti Pb, Fe, Cu dan Zn yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman (Nuriadi *et al.*, 2013). Perubahan fisik lahan akibat penggalian dan penggunaan alat-alat berat terjadi pada struktur, tekstur dan topografi lahan (Munir dan Setyowati, 2017). Cekaman lingkungan pada lahan-lahan terdegradasi mengakibatkan mikroba tanah potensial tidak mampu bertahan hidup sehingga membutuhkan kegiatan reklamasi lahan bekas tambang. Reklamasi bertujuan untuk memperbaiki ekosistem lahan bekas tambang.

Pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) eksplorasi dan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) eksplorasi berkewajiban untuk melaksanakan reklamasi. Hal ini didasari oleh UU No. 4 Tahun 2009 Pasal 99 (1) serta didukung dengan PP No. 78 Tahun 2010 Pasal 2 (1). Reklamasi pada lahan bekas tambang menghadapi kendala yang kompleks. Umumnya tanaman tidak mampu tumbuh dan bertahan hidup sampai tingkat dewasa akibat kerusakan yang berat pada tempat tumbuhnya. Beberapa tanaman dapat bertahan hidup dengan pertumbuhan lambat dan tanaman menjadi kerdil. Penanaman pada lahan kritis, seperti pada lahan

bekas tambang, membutuhkan penanganan yang baik dan sesuai dengan kebutuhan pertumbuhan tanaman.

Keberhasilan rehabilitasi lahan kritis dapat ditunjang dengan memadukan pemilihan jenis tanaman yang tepat, penerapan teknik silvikultur yang baik serta input energi, baik sintetis maupun alami, untuk meningkatkan kualitas tanah (Oktorina, 2017). Kriteria pemilihan jenis tanaman untuk lahan bekas tambang adalah jenis yang mudah beradaptasi pada lingkungan, cepat tumbuh (*fast growing species*), menghasilkan serasah yang banyak dan mudah terdekomposisi, memiliki sistem perakaran yang baik dan mampu bersimbiosis dengan mikroba tertentu, memiliki daya tarik bagi hewan pembawa biji, serta mudah dan murah ketika akan dilakukan perbanyakan bibit (Sittadewi, 2016). Legum merupakan jenis tanaman yang memenuhi kriteria tersebut. Beberapa jenis legum seperti sengon laut (*Paraserianthes falcataria*), lamtoro (*Leucaena glauca*) dan gamal (*Grisidia maculata*) mampu tumbuh dan bertahan hidup di awal revegetasi (Maharani *et al.*, 2010). Jenis tanaman tersebut dapat memfiksasi nitrogen karena bantuan bakteri rhizobia yang bersimbiosis pada bintil akarnya. Kemampuan fiksasi ini menyebabkan jaringan tanaman mengandung nitrogen yang tinggi. Ketika bagian tanaman (daun, batang, bunga, biji dan akar) jatuh ke tanah dan dibiarkan terurai, maka akan meningkatkan kandungan unsur nitrogen, kalium dan fosfor di dalam tanah. Kualitas tanah yang baik tentunya memberikan keuntungan bagi tanaman yang ada di sekitarnya.

Sulawesi memiliki beragam jenis tanaman dengan nilai ekologi, budaya dan ekonomi yang tinggi, khususnya untuk jenis legum. Angsana (*Pterocarpus indicus* Wild.) merupakan salah satu jenis legum yang mampu bertahan hidup pada kondisi tanah dengan tingkat kesuburan yang rendah. Penelitian yang dilakukan Varela *et al.*, (2016) menunjukkan bahwa angsana memiliki pertumbuhan dan ketahanan hidup yang baik pada lahan bekas tambang nikel di Surigao del Norte, Filipina. Selain memiliki kemampuan hidup yang baik, angsana juga memiliki nilai budaya khususnya pada masyarakat Bugis, Sulawesi Selatan. Angsana disebut juga *aju maddara tau* (kayu berdarah manusia) karena memiliki getah yang berwarna merah darah (Fajrin dan Lestari, 2016). IUCN (*International Union for Conservation and Nature*) menetapkan angsana dengan status terancam punah (*vulnerable*) sehingga harus dijaga kelestariannya (Sulistyawati dan Widyatmoko, 2017).

Perbaikan lahan bekas tambang dapat dilakukan dengan pemanfaatan bahan-bahan kimia, namun membutuhkan biaya yang mahal dan dapat meninggalkan residu bahan kimia pada tanah. Aplikasi teknologi hayati merupakan alternatif strategi yang efektif, relatif lebih murah dan bersahabat dengan lingkungan. Pemanfaatan mikroba dalam rehabilitasi lahan kritis sudah banyak dilakukan. *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR) merupakan salah satu kelompok mikroba potensial yang mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang. PGPR dapat meningkatkan ketersediaan fosfor di dalam tanah yang mampu

diserap tanaman serta memungkinkan terjadinya fiksasi nitrogen (Thavamani *et al.*, 2017). Aplikasi rizobakteri pada *cover-crop* mampu memperbaiki sifat kimia tanah bekas tambang nikel (Leomo *et al.*, 2013).

Penelitian yang dilaporkan mengenai asosiasi bakteri rhizobia secara tunggal maupun kombinasi dengan bahan organik pada legum jenis tanaman kehutanan di lahan bekas tambang, sampai saat ini, masih sedikit. Potensi bakteri rhizobia memungkinkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman pada lahan terdegradasi. Pemanfaatan bakteri ini relatif murah karena bakteri memiliki kemampuan untuk memperbanyak diri ketika mendapatkan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhannya. Sari dan Prayudyaningsih (2019) telah mengaplikasikan bakteri rhizobia secara tunggal pada tanaman sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) dengan menggunakan media tanah bekas tambang nikel. Hasil yang diperoleh menunjukkan pertumbuhan yang kurang optimal. Semai terlihat kerdil serta daun semai berwarna kuning dan berguguran. Rerata pertumbuhan tinggi semai 9,81 – 10,89 cm selama 4 bulan pengamatan. Kualitas media tanam yang rendah tidak mampu mendukung pertumbuhan dan kolonisasi bakteri rhizobia pada akar tanaman inang. Peningkatan aktifitas biologi tanah dapat dilakukan dengan penambahan pupuk organik. Pemberian pupuk organik dengan konsentrasi tertentu dapat meningkatkan pertumbuhan bibit sengon laut (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen) (Knaofmone, 2016).

Pemberian kompos dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah serta mampu meningkatkan viabilitas mikroba tanah yang bermanfaat (Wasis dan Fathia, 2011). Kompos yang berasal dari kotoran hewan (pupuk kandang) sudah banyak digunakan, termasuk pada media tanah bekas tambang. Pupuk kimia banyak dimanfaatkan untuk menyuburkan tanah dan menstimulasi aktivitas mikroba tanah. Penggunaan pupuk kimia dalam jangka waktu lama dapat menurunkan kualitas tanah. Berbagai macam bahan organik di lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, salah satunya adalah limbah baglog jamur tiram.

Penelitian mengenai kompos limbah baglog dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman seperti kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Pamuji *et al.*, 2018). Tumpukan baglog yang sudah tidak digunakan di tempat pembuangan sampah atau di sekitar rumah pemeliharaan jamur tiram menjadi berkurang karena dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Data mengenai aplikasi bakteri rhizobia yang dikombinasikan dengan kompos limbah baglog jamur tiram dalam meningkatkan pertumbuhan semai angkana pada media tanah bekas tambang nikel belum ditemukan. Kombinasi bakteri rhizobia dengan pupuk kompos limbah baglog jamur tiram diharapkan mampu memperbaiki kualitas tanah dan meningkatkan metabolisme angkana pada tanah bekas tambang nikel sehingga dapat mendukung proses reklamasi yang akan dilakukan. Teknologi yang dihasilkan dapat diaplikasikan untuk memperbaiki lahan marginal bekas tambang serta mengkonservasi angkana di alam.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah inokulasi bakteri rhizobia indigenus secara tunggal dapat mendukung pertumbuhan tanaman angkana pada media tanah bekas tambang nikel?
2. Apakah pemberian kompos limbah baglog jamur tiram dapat memberikan pengaruh yang baik terhadap pertumbuhan angkana pada media bekas tambang nikel?
3. Apakah kompos limbah baglog jamur tiram dapat meningkatkan kemampuan bakteri rhizobia dalam menginfeksi dan mendukung pertumbuhan tanaman angkana sebagai inang?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kompos limbah baglog jamur tiram terhadap kemampuan bakteri rhizobia dalam meningkatkan pertumbuhan semai angkana (*P. indicus* Wild.) pada media tanah bekas tambang nikel.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah kombinasi isolat bakteri rhizobia dan pupuk kompos yang memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan

pertumbuhan semai angsana dapat dikembangkan lebih jauh untuk diaplikasikan dalam reklamasi lahan bekas tambang nikel.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Pertambangan Nikel

1. Karakteristik nikel sebagai bahan alam bernilai ekonomi tinggi

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah, khususnya potensi bahan-bahan mineral. Kekayaan alam Indonesia dieksplorasi dan dieksploitasi untuk memenuhi kebutuhan umat manusia. Kekayaan sumber daya mineral di Indonesia yang melimpah mendatangkan keuntungan dalam berbagai sektor kehidupan. Peningkatan kekuatan ekonomi, daya dukung kehidupan sosial serta penyerapan tenaga kerja dapat tercapai dengan memaksimalkan potensi sumber daya mineral. Keberadaan sektor ini sangat penting karena mampu meningkatkan pendapatan daerah bahkan nasional.

Salah satu bahan mineral primadona Indonesia adalah nikel. Nikel merupakan batuan logam putih yang bersifat keras, anti karat dan mudah ditempa. Nikel bersifat lembek dalam keadaan murni, jika bersenyawa dengan besi, krom dan logam lainnya maka dapat membentuk baja tahan karat yang keras, sedikit ferromagnetis dan mudah ditempa (Sari, 2013). Berdasarkan sifat-sifat tersebut, nikel banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, berupa produksi baja tahan karat (*stainless steel*) dan baja paduan, produksi logam campuran untuk mendapatkan sifat tertentu (*alloy*),

pelapisan logam lain (*nickel plating*), peralatan elektronik, industri petroleum, kimia, konstruksi, mesin dan peralatan rumah tangga (Mayangsari dan Prasetyo, 2016).

Bijih nikel dikenal dengan jenis laterit dan sulfida berdasarkan proses pembentukannya. Umumnya, nikel sulfida dibentuk pada belahan bumi subtropis, adapun laterit berada di khatulistiwa. Kandungan mineral laterit lebih besar dibandingkan mineral sulfida di alam. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh US Geological Survey tahun 2015, sebesar 60% sumber daya alam nikel dunia berupa laterit dan Indonesia menempati urutan ke-9 dengan produksi tambang nikel terbesar secara global, setelah USA, Australia, Brasilia, Canada, China, Colombia, Cuba dan Republik Dominika (Prasetyo, 2016).

2. Dampak penambangan terhadap kualitas tapak

Indonesia terletak di antara lempeng Pasifik dan lempeng Australia. Kedua lempeng besar ini aktif melakukan pergerakan sehingga kerap mengakibatkan terjadinya gesekan dan tumbukan (Manik, 2013). Indonesia menjadi salah satu wilayah yang rawan dengan gempa bumi, tsunami dan letusan gunung berapi. Aktifitas pergerakan lempeng tersebut mendukung terjadinya mineralisasi berbagai bahan mineral dan bahan galian.

Pembentukan bahan-bahan alam menjadi semakin intensif seiring dengan waktu. Beberapa bahan alam tersebut tertimbun di lapisan dalam tanah (seperti gas dan minyak bumi), sebagian lainnya dapat ditemukan di

dekat permukaan (seperti emas, nikel, timah, dan tembaga) ataupun terbuka di permukaan tanah (seperti pasir, batu pecah dan tanah hurug) (Subowo, 2011). Bahan-bahan alam tersebut memiliki manfaat untuk pertahanan/keamanan negara, menjamin perekonomian negara serta dapat meningkatkan kesejahteraan hidup masyarakat. Bahan galian diperoleh melalui proses ekstraksi pada kegiatan penambangan.

Penambangan merupakan bagian dari kegiatan usaha pertambangan yang bertujuan untuk memproduksi mineral, batubara dan/atau mineral ikutannya (Direktorat Pemulihan Kerusakan Lahan Akses Terbuka, 2016). Sistem penambangan terbagi menjadi dua jenis berdasarkan cara dan lokasi bahan alam yang akan digali. Bahan alam yang ditemukan pada lapisan jauh di bawah permukaan tanah, umumnya diperoleh dengan sistem penambangan tertutup. Penambangan tertutup dikenal juga dengan penambangan dalam. Penambangan tertutup dilakukan dengan sistem pengeboran ataupun membuat terowongan bawah tanah. Bahan galian yang berada di sekitar permukaan tanah diperoleh melalui penambangan terbuka dengan mengupas tanah penutup di atasnya (Subowo, 2011).

Nikel umumnya diperoleh melalui penambangan secara terbuka. Penambangan terbuka (*open pit mining*) merupakan rangkaian proses ekstraksi bahan alam yang umum dilakukan di Indonesia. Penambangan terbuka dimulai dengan melakukan pembersihan lahan (*land clearing*), pengupasan tanah pucuk, pembongkaran dan penggalian tanah penutup

(*overburden*), eksploitasi bahan galian serta pengolahan (Subowo, 2011). Pembersihan vegetasi penutup tanah serta penggalian saat proses penambangan menyebabkan terjadinya penurunan kualitas tapak.

Tapak merupakan lahan tempat tumbuh vegetasi yang dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya keadaan tanah (*edafis*) dan iklim (Karyati, 2019). Selain terjadinya degradasi pada tanah, kegiatan pertambangan cenderung akan mengakibatkan perubahan karakteristik cuaca atau iklim pada tempat tersebut, terutama pada iklim mikronya. Iklim mikro merupakan iklim dalam ruang lingkup yang sempit (< 2 meter di atas permukaan tanah), terutama yang berhubungan dengan kondisi tanah (Karyati, 2020). Beberapa unsur yang mempengaruhi iklim mikro pada suatu area adalah intensitas cahaya matahari, suhu, dan kelembapan udara (Karyati, 2019). Iklim mikro dapat dimodifikasi melalui perbaikan kondisi tapak agar mencapai kondisi termal yang baik.

Lahan bekas tambang yang kehilangan vegetasi dan air permukaan menyebabkan tanah menjadi gersang dan udara menjadi panas. Secara fisik, lahan bekas tambang meninggalkan lahan yang rusak, kedalaman efektif tanah menjadi dangkal, serta tanah bercampur dengan pasir, kerikil, dan sisa-sisa *tailing*. Kerusakan juga terjadi secara kimia meliputi ketidaktersediaan unsur hara tanah sehingga lahan tidak dapat memberikan dukungan positif terhadap pertumbuhan tanaman (Hirfan, 2016). Selain penurunan status hara, populasi mikroba dan serangga penyubur tanah juga mengalami penurunan (Subowo, 2011). Oleh karena

itu, sangat penting memulihkan kondisi lahan bekas tambang melalui proses reklamasi.

3. Reklamasi lahan bekas tambang

Menurut UU RI No. 4 Tahun 2009, reklamasi merupakan kegiatan yang dilakukan sepanjang tahapan usaha pertambangan untuk menata, memulihkan dan memperbaiki kualitas lingkungan dan ekosistem agar dapat berfungsi kembali sesuai peruntukannya. Pemulihan lahan bekas tambang merupakan hal yang wajib dilakukan perusahaan setelah kegiatan penambangan selesai dilakukan. Sebagaimana yang tertuang pada PP No. 78 Tahun 2010, Pasal 2, bahwa perusahaan tambang wajib melaksanakan reklamasi. Kegiatan reklamasi bertujuan memperbaiki atau menata kegunaan lahan yang terganggu sebagai akibat kegiatan usaha pertambangan umum, agar dapat berfungsi dan berdaya guna sesuai peruntukannya (Republik Indonesia, 1995). Perusahaan-perusahaan tambang akan memenuhi kewajiban reklamasi sesuai dengan aturan yang berlaku. Pelaksanaan reklamasi umumnya menghadapi berbagai permasalahan, seperti lereng yang tidak stabil, tanah miskin unsur hara, seringkali terjadi erosi dan sedimentasi, pembentukan air asam tambang, logam berat yang bersifat toksik, keterbatasan bahan amelioran, ketersediaan air tawar, iklim mikro yang belum tercipta dan berbagai kendala lainnya (Iskandar *et al.*, 2012).

Pemulihan lahan yang rusak dapat terjadi secara alami melalui proses suksesi. Suksesi alam membutuhkan waktu yang lama (tergantung tingkat kerusakan) sampai membentuk kondisi lahan normal seperti semula. Berbagai strategi dan teknologi diperlukan untuk memperbaiki kondisi tanah dan menyiapkan ruang tumbuh pada lahan-lahan terdegradasi, seperti pada lahan bekas tambang nikel. Alternatif teknologi yang dapat digunakan untuk memulihkan lahan-lahan rusak bekas tambang, seperti aplikasi *top soil* dan *soil conditioner*, penggunaan tanaman penutup tanah (*cover crop*), pemilihan jenis tanaman yang adaptif, serta pemanfaatan mikroorganisme potensial yang dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Asir, 2013).

Kriteria keberhasilan reklamasi hutan menurut Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor. P.60/Menhut-II/2009 Pasal 4 (2) meliputi penataan lahan, pengendalian erosi dan sedimentasi serta revegetasi atau penanaman pohon (Republik Indonesia, 2009a). Pelaksanaan teknik-teknik reklamasi yang dilakukan secara disiplin dapat meningkatkan kualitas lahan serta mendorong terbentuknya kondisi ekosistem seperti semula.

B. Potensi Bakteri Rhizobia sebagai Biofertilizer

1. Peran penting mikroba dalam menjaga kualitas tanah

Tanah merupakan ekosistem kompleks yang terdiri dari komponen fisik, kimia dan biologi yang saling berinteraksi membentuk media tanam yang baik bagi tanaman. Tanah yang sehat merupakan kriteria utama dalam menentukan keberhasilan pertumbuhan tanaman. Keanekaragaman dan populasi mikroba tanah yang tinggi menyebabkan dinamika tanah akan menjadi semakin baik sehingga menentukan kesehatan tanah (Prihastuti, 2011). Keberadaan mikroba tanah secara alami memiliki peran dalam menjaga fungsi tanah dan mengontrol produktivitasnya, proses pembentukan struktur tanah, dekomposisi bahan organik, bioremediasi zat beracun, serta siklus C, N, P dan S (Sopialena *et al.*, 2017).

Ketersediaan unsur hara esensial maupun nonesensial bagi tanaman juga dapat dipengaruhi oleh keberadaan mikroba tanah. Unsur hara esensial merupakan unsur utama yang dibutuhkan tanaman untuk mendukung pertumbuhannya. Peran dari unsur hara esensial tidak dapat digantikan oleh unsur yang lain. Unsur hara esensial terbagi menjadi dua kelompok, yaitu unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang lebih besar (sekitar 0,5-3% berat tubuh tanaman), seperti karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, sulfur dan magnesium, sedangkan unsur hara mikro dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang relatif kecil (hanya beberapa ppm dari berat

kering tanaman), seperti chlor, boron, besi, mangan, seng, tembaga, nikel dan molybdenum (Jovita, 2018). Berbeda dengan unsur hara esensial, unsur hara non esensial (disebut juga unsur hara fungsional) tidak terlalu penting bagi pertumbuhan tanaman. Peran dari unsur-unsur tersebut dapat digantikan oleh unsur yang lain sehingga tanaman tetap dapat menyelesaikan siklus hidupnya dengan baik meskipun tanpa unsur-unsur tersebut. Unsur hara yang termasuk ke dalam hara non esensial adalah aluminium, silikat, dan natrium (Lestari *et al.*, 2019).

Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak. Nitrogen menyusun sekitar 1,5% dari bobot tanaman (Jovita, 2018). Nitrogen berperan penting dalam memacu pertumbuhan tanaman pada fase vegetatif, serta berperan dalam sintesis protein, klorofil, lemak dan enzim (Patti *et al.*, 2013). Sumber nitrogen utama berasal dari atmosfer. Atmosfer mengandung 78% nitrogen, akan tetapi nitrogen dalam bentuk bebas belum dapat dimanfaatkan langsung oleh tanaman dalam proses metabolismenya (Ahemad dan Kibret, 2013). Tanaman hanya mampu menyerap nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3^-) dan ammonium (NH_4^+) (Prayoga, 2016). Nitrogen harus berikatan dengan unsur lain membentuk senyawa kimia sehingga bisa langsung diserap tanaman. Nitrogen bebas dari atmosfer dapat masuk ke dalam tanah dalam beberapa cara, yaitu melalui air hujan, petir, serta penambatan oleh mikroba, baik yang bersifat simbiosis maupun nonsimbiosis (Samekto, 2008).

2. Karakteristik rhizobia sebagai bakteri penambat nitrogen simbiotis

Bakteri rhizobia merupakan kelompok mikroorganisme yang mampu menginfeksi akar tanaman legum dan menyebabkan terjadinya pembengkakan pada jaringan akar. Organ yang berbentuk seperti tumor sebagai akibat dari pembengkakan akar disebut bintil akar (nodul). Bakteri rhizobia di dalam bintil akar, mampu menambat nitrogen dari atmosfer dan mengubahnya menjadi NH_3 , selanjutnya diubah menjadi asam-asam amino yang dapat langsung diserap tanaman (Menekaadnyana, 2012). Bakteri rhizobia memperoleh sumber energi berupa karbohidrat dari tanaman inang (Sari dan Prayudyaningsih, 2015).

Kelompok rhizobia terdiri atas 6 genus di antaranya *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Sinorhizobium*, *Azorhizobium* dan *Allorhizobium* (Loynachan, 2005). Bakteri rhizobia spesifik terhadap inang tertentu. Karakteristik koloni bakteri rhizobia secara makroskopis adalah berwarna putih susu, berbentuk sirkuler (lingkaran), permukaan *convex* (cembung), *semitranslusen*, dan memiliki diameter 2-4 mm (Surtiningsih *et al.*, 2009). Sel bakteri rhizobia berbentuk batang (*bacil*) dengan ukuran 0,5-0,9 x 1,2-3 μm , aerob, Gram negatif serta motil pada media cair atau semi cair karena adanya flagella (Sari dan Prayudyaningsih, 2015). Rhizobia mampu tumbuh optimum pada temperatur 25-30°C dan pH 6-7, meskipun beberapa galur mampu tumbuh pada pH sedikit di bawah netral hingga agak alkali (Saputra, 2014).

3. Interaksi bakteri rhizobia dengan tanaman legum

Bakteri penambat nitrogen merupakan penyumbang nitrogen terbesar, yaitu sekitar 2/3 dari penambatan nitrogen secara global, yang dapat dimanfaatkan langsung tanaman (Rubio dan Ludden, 2008). Jenis PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) yang memiliki kemampuan untuk menambat nitrogen atmosfer terbagi menjadi dua kelompok, yaitu simbiotis dan non-simbiotis. Penambatan nitrogen simbiotis merupakan hubungan antara mikroba dengan tanaman yang saling memberikan keuntungan (simbiosis mutualisme). Bakteri rhizobia merupakan kelompok terbesar dari rhizobacteria yang mampu mengkolonisasi akar legum dan mengubah nitrogen bebas menjadi ammonia yang tersedia bagi tanaman (Ahmad dan Kibret, 2013). Simbiosis mutualisme terjadi ketika rhizobia mengikat nitrogen bebas dari atmosfer dan diubah menjadi ammonia yang diperlukan tanaman dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya, sedangkan tanaman menyediakan karbohidrat yang merupakan sumber energi untuk rhizobia (Sari dan Prayudyaningsih, 2015).

Proses simbiosis antara bakteri rhizobia dengan tanaman legum dimulai pada saat bakteri masuk ke dalam akar dan membentuk bintil akar tanaman inang (Gupta *et al.*, 2015). Pengenalan awal antara rhizobia dengan tanaman inang terjadi pada interaksi molekuler antar mitra (Okazaki *et al.*, 2013). Legum sebagai tanaman inang menghasilkan eksudat akar yang mengakibatkan populasi mikroba tumbuh di sekitar perakaran.

Senyawa kimia tertentu yang diekskresikan oleh akar bereaksi dengan komponen dinding sel pada suatu jenis rhizobia sehingga bakteri tersebut akan mengenali tanaman inang yang tepat dan segera berkumpul lalu melekat pada bulu-bulu akar. Flavonoid dalam eksudat akar tanaman inang berinteraksi dengan faktor transkripsi rhizobial untuk menginduksi ekspresi gen nodulasi rhizobia, selanjutnya *lipochitooligosaccharides* terbentuk dan dikenal sebagai faktor Nod (Spaink, 1995). Pengenalan faktor Nod bakteri dengan reseptor tanaman inang menginduksi terbentuknya sinyal yang diperlukan untuk menginfeksi (Kouchi *et al.*, 2010). Ekskresi faktor Nod oleh rhizobia menyebabkan rambut akar menjadi keriting, bakteri kemudian masuk menembus sel-sel korteks melalui jalur infeksi dan membentuk bakteroid sehingga proses nodulasi pun terjadi (Ahemad dan Kibret, 2013).

Gen yang terlibat dalam penambatan nitrogen disebut gen *nif* (*nitrogen fixation genes*) (Kim dan Rees, 1994). Gen *nif* terlibat dalam aktivasi protein Fe dan biosintesis kofaktor besi molybdenum yang merupakan molekul penyusun enzim nitrogenase (Glick, 2012). Enzim nitrogenase berperan dalam konversi N₂ dari atmosfer menjadi ammonia. N₂ akan diubah menjadi ammonia dan selanjutnya berikatan dengan air membentuk ammonium (Prayoga, 2016). Beberapa bakteri, seperti *Azospirillum* (golongan bakteri penambat nitrogen non-simbiotis), juga mampu mengubah nitrogen bebas menjadi senyawa yang tersedia oleh

tanaman. Bakteri penambat nitrogen non-simbiotis hanya menyediakan sejumlah kecil nitrogen yang dibutuhkan tanaman (Glick, 2012).

4. Pemanfaatan rhizobia sebagai bakteri penambat nitrogen dalam mendukung pertumbuhan tanaman legum pada lahan terdegradasi

Kelompok mikroba PGPR, khususnya bakteri rhizobia, dapat diaplikasikan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman, termasuk pada lahan kritis. Lahan bekas tambang memiliki kondisi yang mengalami kerusakan pada sifat fisik, kimia maupun biologi tanah. Kualitas tanah yang buruk dapat menurunkan kesuburan tanah. Mikroba dengan infektivitas dan efektivitas yang baik dapat membantu memulihkan tanah dengan cepat, aman dan relatif murah sehingga lahan-lahan tersebut pada akhirnya dapat dimanfaatkan kembali (Rezekikasari *et al.*, 2018). Meskipun karakter tanah pada lahan bekas tambang nikel buruk, tetapi berpeluang mengandung isolat mikroba potensial, khususnya bakteri rhizobia, yang dapat dikembangkan sebagai pupuk hayati.

Bakteri penambat N simbiotis mempunyai peran dalam meningkatkan ketersediaan unsur hara N tanah. Rizobakteri, seperti bakteri penambat N simbiotis, mampu menghasilkan hormon tumbuh berupa IAA yang dapat mendukung pertumbuhan tinggi tanaman (Leomo *et al.*, 2013). Adanya asosiasi leguminosa-*Rhizobium* yang cocok memungkinkan kontribusi penambatan N pada tanah marginal menjadi cukup tinggi dan menyebabkan kesuburan tanah dapat ditingkatkan sehingga memungkinkan tanaman non-legum pun dapat tumbuh dengan baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Asmarahman dan Febryano (2012) menunjukkan bahwa Bakteri Fiksasi Nitrogen (BFN) jenis *Shinorhizobium* sp. dapat berasosiasi dengan tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan mampu meningkatkan pertumbuhan semai pada media tanah bekas tambang semen serta memberikan respon pertumbuhan yang lebih baik dibandingkan kontrol pada variabel pengamatan rerata diameter semai (1,65 mm), jumlah daun (10,9 helai), serapan N (2,10 g/tanaman) dan serapan P (0,16 g/tanaman).

C. Kompos Limbah Baglog Jamur Tiram

1. Limbah baglog jamur tiram sebagai salah satu bahan pencemar lingkungan

Jamur tiram merupakan salah satu jenis jamur dari kelompok Basidiomycetes yang dapat dikonsumsi. Teksturnya yang kenyal dengan rasa yang khas menjadi daya tarik tersendiri bagi penikmat jamur, tidak terkecuali oleh warga Makassar dan sekitarnya. Meningkatnya permintaan jamur tiram oleh masyarakat memacu perkembangan usaha budidaya jamur di kota Makassar. Bertambahnya jumlah pembudidaya jamur tiram tentunya meningkatkan limbah baglog yang dihasilkan. Istilah baglog umum digunakan untuk menyebut media tanam/tumbuh jamur. Komposisi baglog jamur tiram pada umumnya terdiri dari serbuk kayu, dedak, kapur, dan air.

Limbah baglog terdiri dari baglog tua yang sudah tidak produktif dan baglog rusak karena terkontaminasi (Gambar 1). Baglog yang sudah tidak produktif merupakan baglog yang telah melewati beberapa masa panen dan berumur 3-4 bulan. Baglog yang sudah tua mengandung nutrisi yang lebih sedikit dibandingkan pada baglog yang terkontaminasi (Hunaepi *et al.*, 2018a). Nutrisi pada baglog telah digunakan selama pertumbuhan jamur. Jamur tiram tidak mampu menghasilkan makanannya sendiri karena tidak mengandung klorofil. Jamur memanfaatkan nutrisi dari media tumbuh untuk mendukung metabolismenya. Baglog yang terkontaminasi masih memiliki nutrisi yang lebih tinggi karena belum dimanfaatkan oleh jamur tiram.



Gambar 1. Limbah baglog jamur tiram: (A) Limbah baglog jamur tiram yang telah selesai masa panen (limbah baglog tua); (B) Limbah baglog jamur tiram yang terkontaminasi

Pengelolaan limbah baglog jamur tiram saat ini masih menjadi kendala. Baglog yang sudah tidak dimanfaatkan lagi umumnya ditumpuk di dekat lokasi budidaya atau dibuang pada tempat pembuangan sampah terdekat (Gambar 2). Produksi limbah baglog yang meningkat akan

berdampak terhadap lingkungan. Limbah yang menumpuk dapat menjadi sarang hama dan penyakit yang dapat menyerang jamur budidaya ataupun tanaman pertanian yang berada disekitar lokasi pembuangan (Widhiantara dan Sulistyadewi, 2017).

Pelepasan gas metana yang dihasilkan oleh bakteri metanogen pada limbah yang membusuk juga dapat menghasilkan bau yang menyengat (Hunaepi et al., 2018b). Hal ini tentu saja membuat masyarakat sekitar menjadi tidak nyaman. Limbah berupa bahan organik yang telah teroksidasi lebih dari 24 jam akan mengalami perombakan oleh mikroba pengurai dan menghasilkan lindi (*Leachate*) berupa bahan organik padat terlarut yang bersifat toksik (Wahyuni et al., 2017). Lindi akan mudah masuk ke dalam tanah bersama dengan air hujan dan mencemari air tanah. Pemusnahan limbah dengan cara pembakaran juga umum dilakukan oleh petani jamur. Pembakaran akan menghasilkan gas karbon dioksida dan karbon monoksida yang justru dapat meningkatkan potensi *global warming*.



Gambar 2. Limbah baglog jamur tiram yang dibuang dan dibakar di sekitar lokasi budidaya

2. Potensi limbah baglog jamur tiram sebagai kompos

Limbah baglog jamur tiram merupakan bahan organik yang berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan pembenah tanah (amelioran). Bahan pencemar yang berasal dari limbah baglog diantaranya serbuk kayu dan dedak yang bersifat organik. Bahan-bahan organik lebih mudah terurai secara alami (*biodegradable*) menjadi ukuran yang lebih kecil dan tidak berbau (Prasetyawati *et al.*, 2019). Karena memiliki sifat yang mudah terurai, maka limbah baglog dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos.

Kompos merupakan salah satu jenis pupuk organik yang berasal dari proses pembusukan sisa-sisa makhluk hidup. Limbah baglog jamur tiram mengandung P (0,7%), K (0,2%), N total (0,6%) dan C-organik (49%) (Hunaepi *et al.*, 2018a). Syarat mutu kompos sampah organik berdasarkan SNI 19-7030-2004, yaitu minimal mengandung: P (0,1%), K (0,2%), N total (0,4%) dan C-organik (27%) (Rahmawanti dan Dony, 2014). Hal ini menunjukkan bahwa limbah baglog jamur tiram memenuhi persyaratan untuk dijadikan kompos.

Kandungan nutrisi pada limbah baglog dapat memenuhi kebutuhan tanaman serta dapat meningkatkan kesuburan tanah. Unsur N, P dan K mempunyai fungsi yang saling mendukung dalam memacu pertumbuhan dan produksi tanaman. Nitrogen merupakan unsur penyusun utama protein serta berperan penting dalam pembentukan klorofil (Tando, 2018). Selain nitrogen, fosfor juga merupakan komponen penyusun protein dan asam nukleat, yang berperan dalam menyimpan dan mentransfer energi serta

terlibat dalam proses fisiologi dan biokimia tanaman (Haidlir *et al.*, 2019). Kalium memiliki peran yang tak kalah penting dibandingkan unsur lain. Keberadaan kalium dapat dimanfaatkan tanaman untuk membentuk dan mengangkut karbohidrat, katalisator dalam membentuk protein, serta meningkatkan karbohidrat dan gula dalam buah (Siswanto *et al.*, 2017).

Pembuatan pupuk kompos secara alami membutuhkan waktu yang relatif lama. Pupuk kompos dapat dihasilkan dalam waktu 2-3 bulan, bahkan ada yang sampai 6 bulan (Indriani, 2011). Limbah media jamur pada dasarnya telah mengalami proses dekomposisi selama masa pertumbuhan jamur. Oleh karena itu, proses dekomposisi limbah baglog tidak membutuhkan waktu yang lama untuk kemudian dapat dimanfaatkan sebagai pupuk kompos (Hunaepi *et al.*, 2018a). Pembuatan pupuk kompos yang berbahan dasar limbah baglog jamur tiram hanya membutuhkan waktu 1 bulan lebih efisien sehingga lebih cepat dapat diaplikasikan pada tanaman (Hunaepi *et al.*, 2014).

Kompos dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah. Kompos dapat menyebabkan tanah yang berpasir akan menjadi lebih kompak dan tanah berlempung akan menjadi lebih remah (Wahyono, 2010). Struktur dan tekstur tanah yang baik menyebabkan akar lebih mudah untuk berpenetrasi sehingga jangkauan untuk mendapatkan air dan nutrisi menjadi lebih luas. Selain itu, kompos mengandung makro dan mikronutrien yang dibutuhkan tanaman. Sejumlah besar mikroorganisme potensial seperti actinomycetes,

fungi dan bakteri juga terkandung dalam kompos. Keberadaan mikroorganisme tersebut mampu menstimulasi pertumbuhan mikroorganisme yang sudah ada di dalam tanah, membentuk polisakarida yang dapat memperbaiki agregat tanah serta berperan dalam berbagai reaksi kimia, seperti amonifikasi, nitrifikasi, dan fiksasi nitrogen.

Struktur dan tekstur tanah yang baik dapat mendorong perkembangan perakaran yang lebih baik pula sehingga bidang serapan terhadap unsur hara menjadi semakin luas. Penambahan bahan organik dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah. Selain menyediakan nutrisi bagi tanaman, bahan organik juga dapat menjadi sumber energi bagi mikroorganisme (Fitriana *et al.*, 2015). Bahan organik dapat meningkatkan kemampuan bakteri rhizobia untuk menginfeksi akar tanaman inang dan melakukan penambatan nitrogen (Jumini dan Rita, 2010). Oleh karena itu, kombinasi antara pemberian pupuk dengan inokulasi bakteri rhizobia akan memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman.

Kompos dapat dihasilkan melalui pembusukan sisa-sisa bahan organik yang disebut dengan pengomposan. Pengomposan merupakan serangkaian proses dekomposisi (penguraian) limbah organik *biodegradable* oleh mikroba dekomposer (pengurai) (Indriani, 2011). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan pengomposan seperti rasio C/N, ukuran partikel, aerasi, kelembaban, porositas, temperatur, derajat keasaman serta kandungan hara (Widarti *et al.*, 2015).

Kompos yang telah matang memiliki nisbah C/N 13-20, hampir mendekati tanah dengan nisbah C/N tanah 8-15 (Indrasti dan Elia, 2004).

Proses pengomposan yang dilakukan secara konvensional membutuhkan waktu lama tergantung komposisi bahan (Amalia dan Widyaningrum, 2016). Percepatan proses degradasi dapat memanfaatkan teknologi mikroba efektif yang dikenal dengan *Effective microorganism 4* (EM4). EM4 merupakan pupuk cair yang terdiri atas kultur campuran berbagai mikroorganisme potensial yang dapat menyuburkan tanah (Zahroh, 2015). Kandungan mikroorganisme potensial pada EM4 terdiri dari bakteri fotosintetik, *Lactobacillus* sp., dan *Streptomyces* sp. (Indriani, 2011).

Pemanfaatan limbah baglog jamur tiram sebagai kompos sudah banyak dilakukan, khususnya pada tanaman pertanian. Kandungan nutrisi pada kompos limbah baglog mampu memberikan pengaruh yang baik terhadap peningkatan pertumbuhan tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Pamuji *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa pemberian kompos limbah baglog jamur tiram, baik yang ditambahkan urin sapi maupun tanpa urin sapi, dapat meningkatkan pertambahan tinggi, lilit batang, jumlah daun, berat basah, berat kering, dan rasio pucuk akar bibit kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.). Pemanfaatan kompos limbah baglog jamur tiram juga memberikan hasil yang baik terhadap pertumbuhan sawi hijau (*Brassica rapa* var. *parachinensis* L.) (Rosmauli *et al.*, 2015) dan bawang merah pada tanah ultisol (Purnawanto dan Nugroho, 2015). Pemanfaatan limbah baglog jamur tiram terbukti dapat mendukung metabolisme tanaman

pertanian dengan memperbaiki sifat dan karakteristik media tanamnya. Berdasarkan hal tersebut, maka kompos limbah jamur tiram memiliki potensi untuk dapat diaplikasikan pada jenis tanaman kehutanan.

D. Angsana (*Pterocarpus indicus* Wild.) sebagai Pohon Legum yang Berpotensi Diaplikasikan pada Reklamasi Lahan Bekas Tambang Nikel

1. Kriteria tanaman untuk diaplikasikan pada reklamasi lahan bekas tambang

Salah satu bagian kegiatan restorasi lahan bekas tambang adalah revegetasi. Revegetasi harus menggunakan jenis yang tepat sehingga memberikan kontribusi yang besar untuk menunjang keberhasilan restorasi. Pemilihan jenis pohon yang akan ditanam pada lahan bekas tambang harus memenuhi kriteria sebagai berikut (Maharani *et al.*, 2010):

a. Jenis lokal pioneer, merupakan tanaman yang memerlukan banyak cahaya sehingga tidak membutuhkan naungan selama pertumbuhannya, sesuai dengan kondisi lahan bekas tambang yang berupa hamparan miskin vegetasi. Tanaman lokal memiliki kelebihan untuk diaplikasikan pada kegiatan restorasi. Berdasarkan Permenhut Republik Indonesia No. P.4/Menhut-II/2011 tentang pedoman reklamasi hutan pasal 23 ayat 4 bahwa jenis tanaman yang dipilih diarahkan pada penanaman jenis tumbuhan asli, yaitu jenis tumbuhan lokal yang sesuai dengan iklim dan kondisi tanah setempat (Republik Indonesia, 2011a). Jenis lokal memiliki kelebihan untuk diaplikasikan pada lahan terdegradasi, akan tetapi pemilihan jenis eksotik juga bisa dilakukan. Karakteristik ekologi lahan yang

akan direklamasi dapat dijadikan dasar untuk menentukan jenis tanaman yang memiliki habitat asli mirip dengan lokasi target sehingga dapat dipilih meskipun secara geografis berjauhan (Hirfan, 2016).

b. Jenis cepat tumbuh (*fast growing species*). Tanaman yang cepat tumbuh relatif lebih efektif dalam menyerap air, nutrisi, CO₂ dan energi matahari sehingga proses metabolisme fisiologis, terutama fotosintesis, dapat berjalan optimal. Terjadinya percepatan pertumbuhan akan berpengaruh baik terhadap pembentukan iklim mikro dan perbaikan kondisi tanah sehingga suksesi dapat dipercepat.

c. Serasah yang dihasilkan banyak dan mudah terurai. Serasah berperan penting dalam menyimpan air untuk sementara waktu, memperbaiki struktur dan tekstur tanah serta menaikkan kemampuan penyerapan tanah (Windusari *et al.*, 2012). Umumnya, jenis cepat tumbuh menghasilkan serasah yang relatif banyak dan cepat terurai.

d. Mampu bersimbiosis dengan mikroba potensial. Akar tanaman yang mampu bersimbiosis dengan mikoriza dan bakteri tertentu dapat mendukung pertumbuhan tanaman sehingga mampu *survive* pada kondisi lahan marginal.

e. Mampu menarik datangnya satwa liar pemakan buah. Satwa yang telah memakan buah tanaman diharapkan dapat mengeluarkan biji dalam tinjanya pada lahan yang akan direstorasi. Apabila kondisi iklim mikro mendukung maka akan memudahkan biji tumbuh menjadi tanaman baru.

f. **Mudah dan murah dalam perbanyakannya.** Jenis yang akan diaplikasikan pada kegiatan restorasi sebaiknya tanaman yang mampu menghasilkan buah/biji yang banyak serta membutuhkan biaya penanaman dan pemeliharaan yang relatif rendah.

2. Deskripsi angkana (*P. indicus* Wild.)

Angkana merupakan salah satu anggota suku Fabaceae (Leguminoceae, polong-polongan) (Suwandi dan Maryanti, 2014). Tanaman ini mampu mengikat nitrogen dengan bantuan bakteri rhizobia, cepat tumbuh dan mudah diperbanyak (benih dan stek). Angkana berpotensi diaplikasikan dalam kegiatan restorasi lahan terdegradasi, seperti lahan bekas tambang.

Berdasarkan tata penamaan tumbuhan, angkana dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Yulianti, 2013):

Kingdom	:	Plantae
Divisi	:	Spermatophyta
Subdivisi	:	Angiosperame
Kelas	:	Dicotyledoneae
Ordo	:	Rosales
Family	:	Leguminoceae
Sub Family	:	Papilionoideae
Genus	:	<i>Pterocarpus</i>
Spesies	:	<i>Pterocarpus indicus</i> Wild.

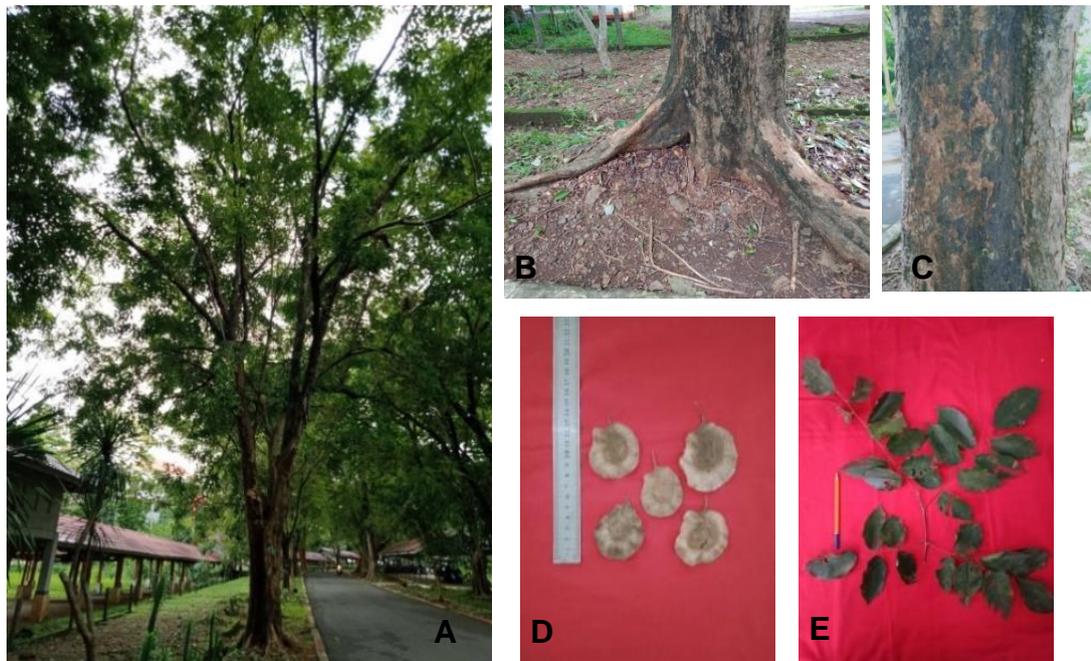
Penyebaran alami angšana berada di seluruh pulau Jawa, Sulawesi, Maluku, Bali, Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat dan Irian Jaya (Suwandi dan Maryanti, 2014). Penamaan angšana sinonim dengan *Pterocarpus wallichii* Wight and Arn; *P. zollingeri* Miq.; *P. Papuanus* F.V. Mueller dan *P. Vidalinus* Rolfe. (Andreas, 2015). Beberapa nama lokal dari angšana yaitu asan, athan (Aceh); sana kembang (Madura); sena (Gayo); sena, hasona, sona (Batak); asana, sana kapur, sana kembang (Minangkabau) ; kenaha (Solor), tonaha (Gorontalo); naga, aga, naakir (Sulawesi Utara), candana (Bugis); dan lana (Buru) (Suwandi dan Maryanti, 2014). Angšana juga dikenal dengan nama cenrana di Sulawesi (Hamzari, 2008).

Angšana tumbuh pada ketinggian di atas 600 mdpl, tetapi terkadang juga dijumpai tumbuh pada ketinggian 1.300 mdpl di hutan primer dan sekunder (Suwandi dan Maryanti, 2014). Angšana mampu tumbuh pada berbagai jenis tanah termasuk tanah agak berpasir dan tergenang air seperti tanah gambut akan tetapi tidak mampu tumbuh pada tanah liat yang berat, membutuhkan curah hujan rata-rata tahunan 1300 - 4000 mm, mampu hidup pada suhu tertinggi 29 - 30°C dan suhu terendah 18 - 24°C (Putri dan Suita, 2005). Angšana dapat toleran pada tanah yang bersifat masam – netral (pH 4,0 – 7,4) serta tumbuh paling baik pada area terbuka dengan cahaya matahari yang penuh (Thomson, 2006). Kemampuan adaptasi dan survival yang baik menyebabkan angšana menjadi salah satu tanaman pilihan pada reklamasi lahan kritis, termasuk lahan bekas

tambang. Tanaman ini mampu bertahan selama 4 – 6 bulan pada musim kering pertahun (Putri dan Suita, 2005).

Angsana merupakan pohon meranggas dan berumah dua (*deciduous*) dengan tinggi pohon bisa mencapai 35 m (Yulianti, 2013). Panjang batang bebas cabang 2 – 16 m, berbanir dengan tinggi sampai 3 m serta memiliki kulit kayu berwarna kelabu atau kelabu coklat dan mengelupas besar-besar (Suwandi dan Maryanti 2014). Memiliki tajuk pohon yang lebat (Gambar 3).

Pada area terbuka, diameter kanopi hampir sama dengan tinggi pohon (Thomson, 2006). Kayu mengeluarkan getah (eksudat) berwarna merah gelap yang disebut 'kino' atau darah naga (Andreas, 2015). Getah tersebut mengandung polimer alam yaitu alkaloid, flavonoid, saponin, tannin, kuinon dan triterpenoid (Yulianti, 2013). Daun majemuk yang terdiri dari 5–13 anak daun berbentuk bulat telur (*ovatus*), ujung daun meruncing (*acuminatus*), pangkal tumpul (*obtusus*) dan permukaan daun mengkilat (*nitidus*). Daging daun angsana relatif tebal. Bunga berwarna kuning dan berbentuk kupu-kupu. Termasuk buah polong bersayap yang mengandung 1-3 biji/buah (Thomson, 2006).



Gambar 3. Karakteristik angana (A) Pohon angana dengan tajuk yang lebar; (B) Batang berbanir; (C) Kulit kayu yang mengelupas; (D) Buah bersayap keras (samara); (E) Daun majemuk

3. Nilai budaya angana pada masyarakat suku Bugis Sulawesi Selatan

Angana merupakan salah satu tanaman penghasil kayu dengan kualitas yang tinggi. Kayu angana memiliki warna dan motif yang indah sehingga banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku meubel, bangunan dan peralatan (Thomson, 2006). Kayu angana juga dimanfaatkan sebagai wewangian yang disimpan di *saoraja* (istana) karena memiliki aroma yang khas (Fajrin dan Lestari, 2016). Kayunya yang bersifat kuat dan bertekstur halus menjadikan kayu ini digunakan juga untuk membuat dinding pada rumah-rumah bangsawan Bugis.

Masyarakat Bugis-Sulawesi Selatan menganggap angšana memiliki nilai budaya yang tinggi. Kayu angšana digunakan sebagai bahan untuk membuat perkakas yang dimuliakan seperti sarung badik (Fajrin dan Lestari, 2016). Kayu angšana hanya digunakan untuk membuat *jajareng* (dinding) rumah, tetapi *pemmali* (pantang/tabu) untuk digunakan sebagai lantai rumah panggung atau ranjang (Kesuma dan Rahman, 2018). Hal ini dilatarbelakangi oleh legenda rakyat berupa cerita yang berjudul *Cenrana Aju Maddara Tau* (Cenrana/angšana kayu berdarah manusia) dan diperkuat dengan adanya getah angšana yang berwarna merah seperti darah (Fajrin dan Lestari, 2016). Angšana diyakini merupakan jelmaan dari bidadari. Cerita ini masih diyakini oleh sebagian masyarakat Bugis. Berdasarkan legenda tersebut maka jenis kayu ini memiliki nilai gensi yang tinggi pada kalangan masyarakat Bugis.

4. Manfaat angšana dalam kehidupan sehari-hari

Angšana memiliki ekstrak kulit kayu yang dapat mengobati TBC, sakit kepala, luka luar, sifilis, dan sebagai pencahar (Yulianti, 2013). Kulit kayu angšana juga banyak dimanfaatkan sebagai obat anti diare dan anti malaria serta mengobati penyakit kandung kemih, edema, gangguan hati, dan sakit kepala (Sulistyawati dan Widyatmoko, 2017).

Angšana memiliki nilai budaya serta berpotensi untuk industri, pengobatan, dan memberikan kontribusi yang besar terhadap pengurangan polutan yang dapat mencemari udara. Daun angšana mampu

mengakumulasi Pb yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor sehingga banyak ditanam di pinggir jalan sebagai tanaman pelindung (Yudha *et al.*, 2013). Partikel Pb dapat masuk ke dalam jaringan palisade daun melalui stomata secara pasif (Antari dan Sundra, 2012). Ukuran dan jumlah stomata mempengaruhi masuknya partikel Pb ke dalam daun. Semakin besar ukuran dan semakin banyak jumlah stomata maka penyerapan Pb oleh daun juga akan semakin besar (Inayah *et al.*, 2010).

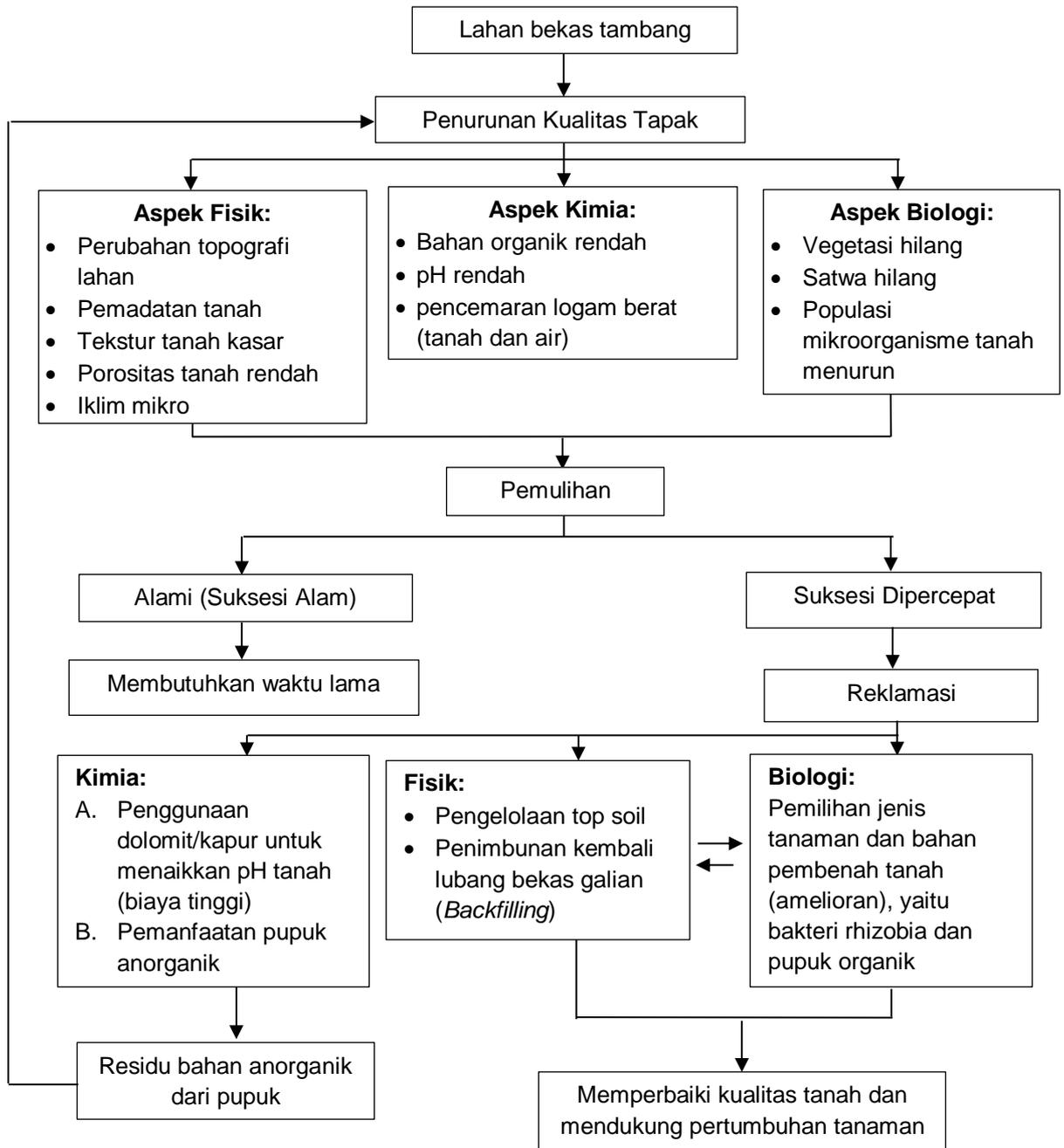
5. Status tanaman angšana di alam

Angšana memiliki penyebaran luas, sehingga dengan potensi yang besar menyebabkan eksploitasi dilakukan secara besar-besaran dan tidak terkendali. Penebangan yang tidak diiringi dengan regenerasi yang baik telah menurunkan jumlah populasi di alam. Jenis angšana berstatus terancam punah di Indonesia, Semenanjung Malaysia, Papua Nugini, dan Filipina. IUCN (*International Union for Conservation of Nature*) telah mengkategorikan angšana sebagai spesies yang rentan (*Vulnerable*) (Sulistyawati dan Widyatmoko, 2017).

Potensi sumber daya genetik angšana pernah mengalami ancaman serius akibat banyaknya penebangan liar, alih fungsi hutan, pemanfaatan hasil hutan yang berlebihan serta kebakaran hutan (Yuskianti *et al.*, 2017). Upaya pemerintah dalam melestarikan jenis ini dilakukan dengan penanaman melalui program rehabilitasi di lahan kritis dan sebagai pohon peneduh di pinggir jalan.

E. Kerangka Pikir Penelitian

Penelitian yang akan dilaksanakan berdasar pada konseptual teori seperti yang tersaji pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerangka pikir penelitian