

POTENSI CENDAWAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTE* UNTUK REVEGETASI AREA TAILING TAMBANG EMAS DENGAN TREMBESI (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.)

LA ARLAN



**PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI TESIS, SUMBER INFORMASI, PENGGUNAAN AI, DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Potensi Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Revegetasi Area Tailing Tambang Emas dengan Trembesi (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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 di bagian akhir tesis ini.

Dalam penyusunan karya ini, penulis menggunakan bantuan kecerdasan buatan generatif multimodal, yaitu ChatGPT (OpenAI, GPT-5.5 Thinking), untuk memperoleh informasi awal berupa beberapa dugaan genus cendawan berdasarkan karakter koloni dan struktur mikroskopis yang diamati. Penggunaan alat tersebut hanya berfungsi sebagai pendukung identifikasi awal dan tidak digunakan untuk menetapkan identitas taksonomi secara langsung. Seluruh dugaan genus selanjutnya ditinjau dan divalidasi secara manual menggunakan kunci identifikasi serta deskripsi cendawan dalam buku *The Genera of Hyphomycetes*. Setelah menggunakan layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting konten sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas seluruh isi karya tugas akhir ini

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

La Arlan
G3501241005

RINGKASAN

LA ARLAN. Potensi Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Revegetasi Area Tailing Tambang Emas dengan Trembesi (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.). Dibimbing oleh SRI LISTIYOWATI, SURONO, dan HAMIM.

Tailing tambang emas memiliki karakter fisikokimia yang kurang mendukung pertumbuhan tanaman, sehingga menjadi kendala utama dalam revegetasi lahan pascatambang. Trembesi berpotensi digunakan sebagai tanaman revegetasi karena mampu tumbuh pada tailing tambang emas, tetapi kondisi lingkungan yang ekstrem di tailing dapat membatasi pertumbuhan dan perkembangan bibit. Inokulasi *dark septate endophyte* (DSE) berpotensi meningkatkan keberhasilan revegetasi tailing tambang emas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi, menyeleksi, dan mengidentifikasi DSE yang toleran terhadap logam berat dari akar trembesi yang tumbuh di area tailing tambang emas, serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan respons fisiologis bibit trembesi pada media tailing tambang emas.

Penelitian ini terdiri atas isolasi dan seleksi keamanan hayati isolat DSE dari akar trembesi, seleksi potensi pemacu pertumbuhan tanaman, serta uji toleransi terhadap Pb. Sebanyak tiga isolat terpilih diidentifikasi secara morfologis dan molekuler berdasarkan sekuens ITS rDNA. Isolat terpilih selanjutnya diuji pada dua skala pengujian, yaitu pada kecambah trembesi dalam media padat untuk mengevaluasi pengaruh terhadap pertumbuhan dan serapan Pb serta pada tahap *pre-nursery* menggunakan tanah oksisol sebagai kontrol dan tailing tambang emas untuk mengevaluasi respons pertumbuhan dan fisiologi bibit trembesi.

Penelitian ini berhasil mengisolasi 10 isolat DSE dari akar trembesi pada tailing tambang emas dengan kolonisasi alami yang rendah (13,3%). Seluruh isolat bersifat nonpatogen dan nonhemolitik. Sebanyak enam isolat mampu meningkatkan pertumbuhan kecambah trembesi dan bersifat toleran terhadap Pb^{2+} 0,1 mg mL⁻¹. Isolat terpilih berjumlah tiga diidentifikasi sebagai *Aureobasidium melanogenum* SSEF-RA3, *Cladosporium* sp. SSEF-RC6a, dan *Diaporthe pandanicola* SSEF-RD6. Penelitian ini merupakan laporan pertama yang mengungkapkan *Aureobasidium* sebagai genus DSE. *A. melanogenum* SSEF-RA3 memiliki toleransi paling tinggi terhadap Pb berdasarkan nilai *effective concentration* 50% (EC₅₀: 2,98 mg mL⁻¹), *minimum inhibitory concentration* (MIC: 12,8 mg mL⁻¹), dan *minimum fungicidal concentration* (MFC: 12,8 mg mL⁻¹). *A. melanogenum* SSEF-RA3 paling efektif meningkatkan pertumbuhan, sedangkan *D. pandanicola* SSEF-RD6 menghasilkan total serapan Pb tertinggi (347,1%) dibandingkan kontrol tanpa inokulasi di media padat. Tahap *pre-nursery* pada media tailing menunjukkan bahwa *A. melanogenum* SSEF-RA3 lebih menonjol dalam meningkatkan pertumbuhan akar dan mempertahankan pigmen fotosintesis, sedangkan *D. pandanicola* SSEF-RD6 lebih konsisten dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan menurunkan kadar MDA. Dengan demikian, *D. pandanicola* SSEF-RD6 merupakan isolat yang paling potensial sebagai bioinokulan pendukung revegetasi area tailing tambang emas.

Kata kunci: *Aureobasidium melanogenum*, bioinokulan, *Cladosporium*, *Diaporthe pandanicola*, Pb



SUMMARY

LA ARLAN. Potential of Dark Septate Endophyte Fungi for Revegetation of Gold Mine Tailings Using Rain Tree (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.). Supervised by SRI LISTIYOWATI, SURONO, and HAMIM.

Gold mine tailings exhibit physicochemical properties that are generally unfavorable for plant growth, posing a major constraint to post-mining land revegetation. Rain tree (*Samanea saman*) is a promising revegetation species because of its ability to establish in gold mine tailings; however, the harsh conditions of these substrates may restrict seedling growth and development. Inoculation with dark septate endophyte (DSE) may enhance the success of revegetation of gold mine tailings. This study, therefore, aimed to isolate, screen, and identify heavy-metal-tolerant DSEs from the roots of *S. saman* growing in gold mine tailings and to evaluate their effects on the growth and physiological responses of *S. saman* seedlings cultivated in tailings.

The experimental work comprised the isolation and biosafety screening of DSE isolates from *S. saman* roots, assessment of their plant growth-promoting potential, and evaluation of their tolerance to Pb. Three selected isolates were subjected to Pb sensitivity assays and subsequently identified using morphological characteristics and molecular analysis of the ITS rDNA region. The selected isolates were subsequently evaluated at two experimental scales: in seedlings grown on solid medium to assess growth and Pb uptake, and at the *pre-nursery* stage using oxisol soil as the control and gold mine tailings to assess seedling growth and physiological responses.

Ten DSE isolates were recovered from *S. saman* roots collected from gold mine tailings, with a low natural colonization frequency of 13.3%. All isolates were nonpathogenic and nonhemolytic. Six isolates promoted early seedling growth and exhibited high tolerance to $0.1 \text{ mg mL}^{-1} \text{ Pb}^{2+}$. Three selected isolates were identified as *Aureobasidium melanogenum* SSEF-RA3, *Cladosporium* sp. SSEF-RC6a, and *Diaporthe pandanicola* SSEF-RD6. To our knowledge, this is the first report identifying *Aureobasidium* as a DSE genus. *A. melanogenum* SSEF-RA3 showed the highest Pb tolerance, with an effective concentration causing 50% growth inhibition (EC_{50} : 2.98 mg mL^{-1}), a minimum inhibitory concentration (MIC: 12.8 mg mL^{-1}), and a minimum fungicidal concentration (MFC: 12.8 mg mL^{-1}). Under agar-based conditions, *A. melanogenum* SSEF-RA3 was the most effective isolate in promoting seedling growth, whereas *D. pandanicola* SSEF-RD6 produced the highest total Pb uptake, representing a 347.1% increase relative to the uninoculated control. At the *pre-nursery* stage under tailings conditions, *A. melanogenum* SSEF-RA3 was more effective in promoting root growth and maintaining photosynthetic pigments, whereas *D. pandanicola* SSEF-RD6 showed a more consistent effect on vegetative growth and MDA reduction. Overall, *D. pandanicola* SSEF-RD6 emerged as the most promising isolate for development as a bioinoculant to support revegetation of gold mine tailings areas.

Keywords: *Aureobasidium melanogenum*, bioinoculant, *Cladosporium*, *Diaporthe pandanicola*, Pb



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

**POTENSI CENDAWAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTE*
UNTUK REVEGETASI AREA TAILING TAMBANG EMAS
DENGAN TREMBESI (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.)**

LA ARLAN

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister pada
Program Studi Mikrobiologi

**PROGRAM STUDI MIKROBIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tesis:
Prof. Dr. Ir. Luluk Setyaningsih, S.Hut., M.Si.



IPB University
— Bogor Indonesia —

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Potensi Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Revegetasi Area
Tailing Tambang Emas dengan Trembesi (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.)

Nama : La Arlan
NIM : G3501241005

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Dra. Sri Listiyowati, M.Si.

Pembimbing 2:
Surono, S.P., M.Agr., Ph.D.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Dra. Anja Meryandini, M.S.
NIP. 19620327 198703 2001

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam:
Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
NIP. 19780723 200701 1001

Tanggal Ujian:
6 Agustus 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga naskah tesis ini dapat diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2025 hingga Februari 2026 dengan fokus pada pemanfaatan cendawan *dark septate endophyte* untuk mendukung revegetasi area tailing tambang emas menggunakan tanaman trembesi. Penelitian tersebut berjudul “Potensi Cendawan *Dark Septate Endophyte* untuk Revegetasi Area Tailing Tambang Emas dengan Trembesi (*Samanea saman* (Jacq.) Merr.)”.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para komisi pembimbing, Dr. Dra. Sri Listiyowati, M.Si., sebagai ketua komisi pembimbing, Surono, S.P., M.Agr., Ph.D., sebagai pembimbing kedua, dan Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si., selaku pembimbing ketiga yang telah membimbing dan banyak memberi saran selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Luluk Setyaningsih, S.Hut., M.Si. selaku dosen penguji luar komisi pembimbing, dan Prof. Dr. Dra. Anja Meryandini, M.S. selaku ketua program studi Mikrobiologi yang telah memberikan banyak arahan dan masukan terkait penulisan tesis. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh dosen Program Studi Mikrobiologi, Departemen Biologi IPB, atas ilmu, bimbingan, wawasan, dan pengalaman akademik yang telah diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan magister. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada jajaran Tenaga Kependidikan Departemen Biologi, FMIPA, IPB, serta seluruh rekan-rekan kelas mikrobiologi angkatan 2024 atas dukungan teknis yang diberikan selama pelaksanaan penelitian dan kegiatan laboratorium, sehingga seluruh rangkaian penelitian dapat terlaksana dengan baik.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dan Kementerian Keuangan yang telah memberikan pendanaan pendidikan kepada penulis selama menempuh studi S-2. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Departemen Biologi, FMIPA, IPB dan Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) Cibinong yang telah memberikan fasilitas selama proses analisis dan pengumpulan data.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan maupun bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

La Arlan



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Kebaruan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Deskripsi Umum Cendawan DSE	4
2.2 Toksisitas Tailing Tambang Emas terhadap Tanaman	4
2.3 Potensi Trembesi untuk Revegetasi Tailing Tambang Emas	5
2.4 Peranan DSE untuk Revegetasi Area Tailing Tambang Emas	6
III METODE	8
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	8
3.2 Alat dan Bahan	8
3.3 Kerangka Penelitian	8
3.4 Prosedur Kerja	9
3.4.1 Isolasi dan Purifikasi Kandidat DSE	9
3.4.2 Seleksi Kandidat DSE Berdasarkan Keamanan Hayati	9
3.4.3 Uji Potensi DSE dalam Memacu Pertumbuhan Tanaman	10
3.4.4 Seleksi Kandidat Isolat DSE Toleran Pb	11
3.4.5 Analisis Sensitivitas DSE Terpilih terhadap Pb	12
3.4.6 Identifikasi Morfologi Isolat DSE Terpilih	12
3.4.7 Identifikasi Molekuler Isolat DSE Terpilih	13
3.4.8 Analisis Filogenetik	15
3.4.9 Analisis Pertumbuhan dan Total Serapan Pb Kecambah Trembesi di Media Padat dengan Inokulasi DSE Terpilih	15
3.4.10 Inokulasi DSE pada Bibit Trembesi di Tahap <i>Pre-nursery</i>	16
3.4.11 Analisis Respons Pertumbuhan Bibit Trembesi	17
3.4.12 Pengukuran Kadar Pigmen Fotosintesis	18
3.4.13 Analisis Kadar Malondialdehid	18
3.4.14 Analisis Persentase Kolonisasi DSE pada Akar Tanaman	19
3.5 Analisis data	19
IV HASIL	21
4.1 Rekapitulasi Kandidat DSE Hasil Isolasi dari Akar Trembesi	21
4.2 Profil Keamanan Hayati Kandidat Isolat DSE	21
4.3 Seleksi Potensi Kandidat DSE sebagai Pemacu Pertumbuhan Tanaman	22
4.4 Analisis Toleransi Isolat DSE terhadap Pb	24
4.5 Sensitivitas Isolat DSE Terpilih terhadap Pb	24

4.6	Identifikasi Isolat DSE Toleran Pb	25
4.7	Pengaruh Inokulasi DSE terhadap Pertumbuhan Awal dan Serapan Pb Bibit Trembesi	32
4.8	Efek Utama Media Tanam dan Inokulasi DSE terhadap Pertumbuhan dan Fisiologi Bibit Trembesi	34
4.9	Interaksi antara Media Tanam dan Inokulasi DSE terhadap Interaksi antara Media Tanam dan Inokulasi DSE	35
V	PEMBAHASAN	43
5.1	Keragaman Cendawan DSE Asal Akar Trembesi yang Tumbuh pada Lahan Taling Tambang Emas	43
5.2	Kemanan Hayati dan Potensi Pemacu Pertumbuhan Isolat DSE pada Bibit Trembesi	43
5.3	Toleransi DSE Asal Akar Trembesi terhadap Logam Berat	45
5.4	Identitas Taksonomi Cendawan DSE Toleran Logam Berat	46
5.5	Peran DSE dalam Mendukung Pertumbuhan dan Ketahanan Fisiologis Bibit Trembesi	48
VI	SIMPULAN DAN SARAN	53
6.1	Simpulan	53
6.2	Saran	53
	DAFTAR PUSTAKA	54
	LAMPIRAN	63
	RIWAYAT HIDUP	74



DAFTAR TABEL

1	Jumlah isolat kandidat DSE yang berhasil diisolasi dari akar trembesi pada lahan yang mengandung tailing tambang emas di lima titik pengambilan sampel	21
2	Respon pertumbuhan awal dan kolonisasi akar oleh DSE pada bibit trembesi umur 14 HST oleh inokulasi kandidat cendawan DSE di media oatmeal padat	23
3	Efek interaksi DSE dan media tumbuh terhadap bobot kering miselium dan indeks toleransi DSE terhadap Pb setelah 14 hari inokulasi	24
4	Nilai EC ₅₀ , MIC, dan MFC tiga isolat DSE terpilih pada medium MMN cair (pH 5,5) yang disuplementasi dengan berbagai konsentrasi Pb ²⁺ setelah 14 hari inkubasi	25
5	Respon pertumbuhan dan fisiologi bibit trembesi umur 12 MST berdasarkan efek utama media tanam dan inokulasi DSE	35

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian	8
2	Hasil uji patogenisitas DSE pada bibit trembesi di media oatmeal padat pada 14 HST	22
3	Hasil uji hemolisis kandidat cendawan DSE umur 7–14 hari setelah inokulasi pada media <i>sheep blood agar</i>	22
4	Kolonisasi DSE pada akar trembesi umur 14 HST di media oatmeal padat	23
5	Kurva dosis-respons bobot kering miselium DSE terpilih pada media MMN cair (pH 5,5) dengan berbagai konsentrasi Pb ²⁺ setelah 14 hari inokulasi	25
6	Morfologi koloni kultur SSEF-RA3 pada media PDA umur 7 hari setelah inokulasi	26
7	Amplikon PCR hasil amplifikasi dengan primer ITS1 dan ITS4 dari isolat SSEF-RA3, SSEF-RC6a, dan SSEF-RD6	27
8	Pohon filogenetik isolat <i>Aureobasidium melanogenum</i> SSEF-RA3 berdasarkan sekuens ITS rDNA	27
9	Morfologi koloni kultur SSEF-RC6a pada media PDA umur 7 hari setelah inokulasi	28
10	Pohon filogenetik isolat <i>Cladosporium</i> sp. SSEF-RC6a berdasarkan sekuens ITS rDNA	29
11	Morfologi koloni kultur SSEF-RD6 pada media PDA umur 7 hari setelah inokulasi	30
12	Pohon filogenetik isolat <i>Diaporthe pandanicola</i> SSEF-RD6 berdasarkan sekuens ITS rDNA	31
13	Pengaruh interaksi inokulasi DSE dan media tanam terhadap kolonisasi akar, tinggi kecambah, bobot basah total, dan bobot kering total kecambah trembesi umur 14 HST di media MMN padat	33

14	Kolonisasi tiga isolat DSE pada akar kecambah trembesi umur 14 HST pada media MMN padat	33
15	Total serapan Pb pada kecambah trembesi umur 14 HST pada media MMN padat yang mengandung Pb^{2+} sebesar $0,8 \text{ mg mL}^{-1}$	34
16	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tanam terhadap tinggi bibit, panjang total bibit, panjang akar, dan panjang tajuk bibit trembesi umur 12 MST	36
17	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tanam terhadap jumlah daun majemuk, diameter batang, bobot basah tajuk, dan bobot kering tajuk bibit trembesi umur 12 MST	37
18	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tanam terhadap respons fisiologis bibit trembesi umur 12 MST	38
19	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tanam terhadap kolonisasi DSE pada akar bibit trembesi umur 12 MST	39
20	Biplot analisis komponen utama (PCA) pada parameter pertumbuhan, fisiologi, dan kolonisasi akar pada bibit trembesi umur 12 MST yang diinokulasi dengan DSE pada variasi media tanam	41
21	Vegetatif bibit trembesi umur 12 MST	42

DAFTAR LAMPIRAN

1	Panjang sekuens konsensus hasil contig pada tiga isolat DSE terpilih	64
2	Daftar <i>operational taxonomic unit</i> yang digunakan dalam analisis filogenetik isolat <i>Aureobasidium melanogenum</i> SSEF-RA3	65
3	Daftar <i>operational taxonomic unit</i> yang digunakan dalam analisis filogenetik isolat <i>Cladosporium</i> sp. SSEF-RC6a	66
4	Daftar <i>operational taxonomic unit</i> yang digunakan dalam analisis filogenetik isolat <i>Diaporthe pandanicola</i> SSEF-RD6	68
5	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tumbuh terhadap tinggi bibit, bobot basah, bobot kering, dan kolonisasi DSE pada bibit trembesi umur 14 HST di media MMN padat	71
6	Kandungan total Pb pada bibit trembesi umur 14 HST di media MMN padat yang mengandung Pb^{2+} sebesar $0,8 \text{ mg mL}^{-1}$	72
7	Interaksi antara inokulasi DSE dan media tanam terhadap tinggi bibit, jumlah daun majemuk, diameter batang, panjang akar, panjang tajuk, panjang total bibit, bobot basah tajuk, bobot kering tajuk, klorofil a, total klorofil, karotenoid, malondialdehid (MDA), dan kolonisasi DSE pada bibit trembesi umur 12 MST	73