STIMULASI PEMBENTUKAN GUBAL GAHARU (*Aquilaria* sp.) DENGAN VARIASI STRAIN DAN KONSENTRASI *Fusarium* sp.

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagaian persyaratan
Mencapai derajat Sarjana S-1 pada Program Studi Biologi

Disusun oleh :
Intan Syahfitri Nurus
21106040075

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2026

HALAMAN PENGESAHAN

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2445/Un.02/DST/PP.00.9/10/2026

Tugas Akhir dengan judul : Stimulasi Pembentukan Gubal Gaharu (Aquilaria sp.) dengan Variasi Strain dan Konsentrasi Fusarium sp.

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama	: INTAN SYAHFITRI NURUS
Nomor Induk Mahasiswa	: 21106040075
Telah diujikan pada	: Senin, 24 Agustus 2026
Nilai ujian Tugas Akhir	: A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR

Ketua Sidang

Lela Susilawati, S.Pd., M.Si., PhD.
SIGNED

Valid ID: 6a0eb9308d3c3

Penguji I

Dr. Arifah Khusnuryani, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a08d4c34bc43

Penguji II

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si., M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 6a04bccb8462b

Yogyakarta, 24 Agustus 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6a0c5812b4378

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI

Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir
Lamp :

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Intan Syahfitri Nurus
NIM : 21106040075
Judul Skripsi : "Stimulasi Pembentukan Gubal Gaharu (*Aquilaria* sp.) dengan Variasi Strain dan Konsentrasi *Fusarium* sp."

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Biologi.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 10 Agustus 2026
Pembimbing

Lela Susilawati, S.Pd., M.Si., PhD.
NIP. 19790127 200901 2 004

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Intan Syahfitri Nurus
NIM : 21106040075
Jurusan : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Stimulasi Pembentukan Gubal Gaharu (*Aquilaria* sp.) dengan Variasi Strain dan Konsentrasi *Fusarium* sp." merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 11 Desember 2025



Intan Syahfitri Nurus
NIM. 21106040075

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

“Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal itu baik bagimu dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu buruk bagimu. Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui”

(QS. Al-Baqarah 2 : 216)

“Manah den Syukur ing Allah”
“Aja Ngaji Kejayaan kang ala rautah”
“Aja ilok gawe lara ati ing wong”
“Den bisa megeng ing nafsu”
“Aja ujub ria suma takabur”
“Angasana diri”

(Petatah-Petitih Syekh Syarif Hidayatullah)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PESRSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk :

Allah, Tuhan yang Maha Esa

Keluarga, sahabat, dan almamater Program Studi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kepada Allah atas limpahan rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Stimulasi Pembentukan Gubal Gaharu (*Aquilaria* sp.) dengan variasi strain dan konsentrasi *Fusarium* sp.)" sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sunan Kalijaga.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan, arahan, serta motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
2. Dr. Ika Nugraheni Ari Martiwi, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi, dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah dengan sabar membimbing, memberikan arahan, dan motivasi.
3. Ibu Lela Susilawati, Ph.D., selaku dosen pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan pada tahap perkuliahan dan pengerjaan skripsi.
4. Seluruh dosen dan staf Program Studi Biologi, yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan.
5. Bapak Nagin (Alm.), yang telah berhasil dalam menjaga, mendidik, serta mengusahakan berbagai hal kepada anugerah yang telah diamanatkan Tuhan selama kurang dari dua dasawarsa di kehidupannya.
6. Mama, yang telah memberikan semangat dan nasihat untuk senantiasa mengingat Tuhan dalam setiap langkah yang penulis jejaki.
7. Aa dan Teteh, yang senantiasa membersamai dan memberikan saran serta masukan kepada penulis sebagai seorang adik.
8. Nacita Dinesha Nurus, yang membawa kebahagiaan serta keceriaan dalam kehidupan *Aunty* Intan.
9. Mba Lutfi selaku kakak tingkat yang telah banyak membantu serta memberikan saran, masukan, serta arahan kepada penulis pada tahap skripsi.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

10. Teman-Teman yang telah membersamai, membantu, dan mewarnai penulis pada masa perkuliahan.
11. Seluruh pihak yang terlibat dalam tahap skripsi dan tahap kehidupan penulis.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi ilmiah bagi pembaca yang tertarik dalam bidang terkait.

Yogyakarta, 28 Agustus 2026

Penulis



Intan Syahfitri Nurus
NIM. 21106040075

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Stimulasi Pembentukan Gubal Gaharu (*Aquilaria* Sp.) Dengan Variasi Strain Dan Konsentrasi *Fusarium* sp.

Intan Syahfitri Nurus
21106040075

ABSTRAK

Gaharu (*Aquilaria* sp.) merupakan komoditas yang memiliki nilai ekonomi tinggi, tetapi pembentukan gubal gaharu secara alami membutuhkan waktu yang relatif lama. Injeksi inokulum fungi patogen digunakan sebagai upaya mempercepat pembentukan gubal gaharu untuk memenuhi permintaan yang meningkat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh *Fusarium* sp. dan konsentrasi berbeda terhadap pembentukan gubal gaharu. Fungi yang digunakan FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2 dengan konsentrasi $1x10^6$ dan $1x10^7$ konidia/mL serta PDB sebagai kontrol. Seluruh isolat menunjukkan aktivitas enzim selulase dan lakase, yang menunjukkan kemampuan enzimatis dalam mendukung proses infeksi pada jaringan kayu gaharu. Inokulasi *Fusarium* sp. mampu menstmulasi pembentukan gubal gaharu yang ditunjukkan oleh perubahan profil metabolit berdasarkan analisis GC-MS. Perlakuan FusCB1 konsentrasi $1x10^7$ konidia/mL menghasilkan senyawa isoaromadendrene epoxide yang berkontribusi pada aroma khas gaharu dan menghasilkan intesitas aroma tertinggi berdasarkan *olfactory test*. Dengan demikian injeksi buatan menggunakan *Fusarium* sp. dapat digunakan sebagai pengembagan teknologi budidaya gaharu yang efisien.

Kata Kunci : *Aquilaria* sp., *Fusarium* sp., GC-MS, Isoaromadendrene epoxide, Enzim Lakase, Enzim Selulase, *olfactory test*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Stimulation Of Agarwood Formation (*Aquilaria* sp.)
Using Different Strains and Concentration Of *Fusarium* sp.

Intan Syahfitri Nurus
21106040075

ABSTRACT

Agarwood (*Aquilaria* sp.) is a high-value commodity; however, the natural formation of agarwood resin requires a relatively long period. The injection of pathogenic fungi has been employed as an approach to accelerate agarwood formation in response to increasing market demand. This study aimed to determine the effects of different *Fusarium* sp. isolates and inoculum concentrations on agarwood formation. The fungi used were FusCB1, FusCB2, FusCB3, and BD2 at concentrations of 1×10^6 and 1×10^7 conidia/mL, with PDB as the control. All isolates exhibited cellulase and laccase activities, indicating their enzymatic potential to support infection in agarwood tissues. Inoculation with *Fusarium* sp. stimulated agarwood formation, as indicated by changes in the metabolite profile based on GC-MS analysis. The FusCB1 treatment at a concentration of 1×10^7 conidia/mL produced isoaromadendrene epoxide, a sesquiterpenoid compound associated with the characteristic aroma of agarwood, and resulted in the highest aroma intensity based on the olfactory test. Therefore, artificial inoculation using *Fusarium* sp. has potential as an efficient approach for the development of agarwood cultivation technology.

Keywords: *Fusarium* sp., *Aquilaria* sp., GC-MS, isoaromadendrene epoxide, *olfactory test*, cellulase, laccase.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI ii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR iii
MOTTO v
PESRSEMBAHAN vi
KATA PENGANTAR vii
ABSTRAK ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR TABEL 1
BAB I 2
PENDAHULUAN 2
A. Latar Belakang 2
B. Rumusan Masalah 3
C. Tujuan Penelitian 4
D. Manfaat Penelitian 4
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA 5
A. Gaharu (*Aquilaria* sp.) Tanaman Penghasil Gubal 5
B. Mekanisme Pembentukan Gubal Gaharu 6
C. Peranan Fungi *Fusarium* sp. dalam menstimulasi gubal gaharu 7
D. Aktivitas Enzimatis Fungi *Fusarium* sp. 8
E. Analisis Senyawa Gubal dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) 9
BAB III 12
METODE PENELITIAN 12
A. Waktu dan Tempat 12
B. Alat dan Bahan 12
C. Prosedur Kerja 12
1. Peremajaan Sampel Fungi *Fusarium* sp. 12
2. Preparasi Konidia *Fusarium* sp. 13

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

3. Persiapan Inokulum untuk Tahapan Injeksi pada Pohon Gaharu 13
4. Persiapan Injeksi Konidia *Fusarium oxysporum* pada Pohon Gaharu 14
5. Uji Aktivitas Enzim Ekstraseluler Fungi *Fusarium* sp. 14
BAB IV 18
HASIL DAN PEMBAHASAN 18
A. Hasil 18
B. Pembahasan 30
BAB V 36
PENUTUP 36
A. Kesimpulan 36
B. Saran 36
DAFTAR PUSTAKA 37
LAMPIRAN 45

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema mekanisme pembentukan gubal gaharu sebagai respons terhadap perlukaan atau infeksi fungi yang mengaktifkan sistem pertahanan tanaman melalui sinyal Ca2+-CaM, hormon pertahanan, dan ROS yang selanjutnya menginduksi biosintesis sesquiter dan chromone sebagai penyusun resin gubal gaharu (sumber: Wang et al., 2021)..... 7

Gambar 2. Ilustrasi injeksi inokulum Fusarium sp. pada batang gaharu, (A) lubang injeksi dibuat pada ketinggian 20 cm dari permukaan tanah dengan jarak antar lubang injeksi sejauh 10 cm dan kedalaman lubang sedalam 3 cm. (B) inokulan dimasukkan dalam wadah plastik yang disambungkan dengan selang, selanjutnya dialirkan ke lubang injeksi dan ditutup menggunakan lilin (sumber: Afdila., 2025)..... 14

Gambar 3. Hasil infeksi kayu gaharu pasca tiga bulan injeksi inokulum Fusarium sp. (FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2) pada konsentrasi masing-masing ($1x10^6$ dan $1x10^7$ konidia/mL), dengan PDB sebagai kontrol 18

Gambar 4. Potongan hasil infeksi kayu gaharu pasca tiga bulan injeksi inokulum *Fusarium* sp. (FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2) pada konsentrasi masing-masing ($1x10^6$ dan $1x10^7$ konidia/mL), dengan PDB sebagai kontrol..... 19

Gambar 5. Rerata diameter infeksi kayu gaharu pasca injeksi Fusarium sp. (FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2) pada konsentrasi masing-masing (1x106 dan 1x107 konidia/mL), dengan PDB sebagai kontrol. Tanda Bintang menunjukkan tingkat signifikansi (*p<0,05) p..... 20

Gambar 6. Hasil re-isolasi fungi dari kayu terinfeksi Fusarium sp. pasca tiga bulan injeksi pada media PDA setelah 4 hari inkubasi pada suhu ruang 28˚C. Semua perlakuan isolat menunjukkan pertumbuhan koloni, sedangkan perlakuan kontrol (PDB) tidak terdapat pertumbuhan koloni sedangkan perlakuan control (PDB) tidak terdapat pertumbuhan koloni..... 21

Gambar 7. Morfologi makrokonidia, mikrokonidia, dan klamidiospora hasil re-isolasi kayu terinfeksi pasca tiga bulan injeksi inokulum Fusarium sp. (FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2) pada konsentrasi masing-masing (1x106 dan 1x107 konidia/mL). Keterangan Ma : makrokonidia, Mi : mikrokonidia, K : klamidiospora (perbesaran 40x10) 22

Gambar 8. Kromatografi uji GC-MS dari sampel kayu gaharu terinfeksi pasca tiga bulan injeksi inokulum Fusarium sp. strain FusCB1 ; (a) kontrol (PDB); (b) perlakuan 1x106 kondia/mL; (c) 1x107 konidia/mL 23

Gambar 9. Senyawa hasil analisis GC-MS yang dilaporkan terdapat pada gubal gaharu berdasarkan studi literatur pada sampel kontrol dan perlakuan inokulasi Fusarium sp. strain FusCB1 K (A) Persentase total peak area senyawa pada kontrol serta perlakuan inokulasi Fusarium sp. strain FusCB1 dengan konsentrasi 1x106 dan 1x107 konidia/mL. (B) Diagram venn yang menunjukkan distribusi senyawa yang bersifat spesifik maupun terdeteksi bersama antar perlakuan..... 26

Gambar 10. Hasil olfactory test kayu gaharu yang dibakar pasca tiga bulan Injeksi pada perlakuan kontrol (PDB), FusCB1 1x106 kondia/mL , dan FusCB1 1x107 konidia/mL 27

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Gambar 11. Zona bening yang dihasilkan oleh Fusarium sp. Uji penghasilan enzim selulase pada media CMC, inkubasi 2 hari pada suhu ruang (28˚C) (a) FusCB1; (b) FusCB2; (c) FusCB3; (d) BD2 28
Gambar 12. Warna coklat kemerahan yang dihasilkan oleh Fusarium sp. uji penghasilan enzim lakase pada media ME, , inkubasi 7 hari pada suhu ruang (28˚C) yang ditambahkan guaiacol dan CuSO4 (a) FusCB1; (b) FusCB2; (c) FusCB3; (d) BD2 28
Gambar 13. Uji penghasilan enzim pendegradasi lignin pada Lignin Basal Medium(LBM), inkubasi 10 hari, pada suhu 25˚C. Menunjukkan tidak adanya zona oksidasi berwarna coklat disekitar koloni (a) FusCB1; (b) FusCB2; (c) FusCB3; (d) BD2 29
Gambar 14. Anatomi kayu terinfeksi inokulum Fusarium sp. . (FusCB1, FusCB2, FusCB3, dan BD2) pada konsentrasi masing-masing (1x106 dan 1x107 konidia/mL), dan kayu sehat. Keterangan : tanda panah menunjukkan xylem rays (perbesaran 4 x 10)..... 30

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jumlah puncak (peak) dari perlakuan kontrol dan perlakuan inokulasi Fusarium sp. strain FusCB1 pasca injeksi tiga bulan pada pohon gaharu 23
Tabel 2. Distribusi senyawa hasil analisis GC-MS yang dilaporkan terdapat pada gubal gaharu berdasarkan studi literatur pada sampel kontrol dan perlakuan inokulasi Fusarium sp. strain FusCB1 Konsentrasi $1x10^6$ dan $1x10^7$ konidia/mL (D: detected dan ND: not detected) 24
Tabel 3. % area senyawa hasil analisis GC-MS yang dilaporkan terdapat pada gubal gaharu berdasarkan studi literatur pada sampel kontrol dan perlakuan inokulasi Fusarium sp. strain FusCB1 konsentrasi $1x10^6$ dan $1x10^7$ konidia/mL. 24
Tabel 4. Diameter zona bening yang diukur menggunakan jangka sorong 28

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gaharu merupakan hasil hutan bukan kayu yang bernilai ekonomis tinggi (Rachmawaty *et al*., 2021). Indonesia termasuk kedalam negara penghasil gaharu terbesar di dunia (Wangiyana, 2020) sehingga berpotensi menduduki tempat strategis di dalam pasar gaharu dunia (Septiningrum *et al*., 2015). Potensi tersebut turut didukung melalui Peraturan Menteri Kehutanan No. P.19/Menhut-II/2009 tentang Strategi pengembangan hasil hutan bukan kayu nasional menyatakan bahwa gaharu termasuk diantara lima jenis hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang pengembangannya diprioritaskan oleh Kementerian Kehutanan (Septiningrum *et al*., 2015).

Gaharu umumnya diperdagangkan untuk kegiatan industri parfum atau wewangian, kosmetik, hingga obat-obatan (Selno *et al*., 2021). Pemanfaatan gaharu dalam bidang medis contohnya adalah produksi minyak esensial gaharu yang memiliki aktivitas antioksidan, antifungal, hingga antibacterial (Wangiyana, 2019). Gaharu juga menjadi salah satu komoditas favorit dari kegiatan ekspor ke negara-negara lain seperti Arab Saudi, China, Singapura, dan Taiwan (Fikri *et al*., 2022). Resin diproduksi sebagai respons terhadap adanya infeksi mikroba dan tekanan lingkungan melalui aktivasi jalur metabolisme sekunder yang menghasilkan senyawa pertahanan seperti fitoaleksin (Auri *et al*., 2021), salah satu contohnya adalah sesquiterpenes (Y. Wang *et al*., 2021). Resin memiliki aroma wangi yang khas, berwarna coklat kehitaman serta banyak terdapat menumpuk pada *xylem* dan *floem* (Catur *et al*., 2019).

Pembentukan resin pada pohon gaharu dapat terjadi secara alami maupun dengan cara buatan (Gogoi *et al*., 2023). Pembentukan resin secara alami terkadang membutuhkan waktu yang lama, sehingga saat ini banyak dikembangkan berbagai cara sebagai upaya mempercepat pembentukan resin

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

gaharu (Chhipa & Kaushik, 2017). Pembentukan gubal secara alami antara lain melalui adanya cabang dahan yang patah atau kulit batang yang

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

terkelupas, adapun pada perlakuan buatan dapat dilakukan dengan proses *stressing* infeksi gaharu menggunakan inokulum fungi (RamLi *et al*., 2022). *Fusarium* merupakan fungi yang dapat dijadikan inokulum karena memiliki kemampuan untuk menginfeksi jaringan gaharu dan merangsang pembentukan gubal (Zhang *et al*., 2022).

Variasi konsentrasi bioinokulan dan keanekaragaman jenis fungi memiliki pengaruh berbeda terhadap pembentukan dan kualitas gubal (Mega *et al*., 2021; RamLi *et al*., 2022). Menurut penelitian Tamuli *et al* (2008) diketahui bahwa fungi *Fusarium oxysporum* memiliki aktivitas enzim selulase dan pektinase. Penelitian Nagajothi *et al* (2016) melaporkan fungi *Fusarium* (DIB1, DIB2, RFR15, dan RFR17) yang diinokulasikan pada media *Potato Dextrose Agar* (PDA) dan *Lignin Basal Medium* (LBM) menunjukkan kemampuan memproduksi enzim selulase, lakase dan ligninolitik Enzim ini dapat digunakan untuk mendegradasi struktur komponen dinding sel batang gaharu sehingga selanjutnya fungi patogen dapat memiliki kemungkinan untuk menginfeksi batang gaharu dan terjadi pembentukkan resin (Lorrai & Ferrari, 2021), oleh karena itu penelitian mengenai potensi fungi patogen dalam menghasilkan enzim perlu dilakukan guna mengetahui potensinya sebagai stimulator dalam pembentukan gubal.

Penelitian Afdila (2025) melaporkan bahwa pemberian inokulum konidia *Fusarium* sp. BW5 dengan konsentrasi $1x10^6$ konidia/mL mampu menghasilkan senyawa *Heptadence* dengan konsentrasi tertinggi sebesar 48.81 % area. Penelitian Wilisiani *et al* (2024) menunjukkan bahwa pemberian inokulum konidia *Fusarium* sp. konsentrasi $1x10^6$ konidia/mL memiliki potensi sebagai inokulan yang ditandai dengan adanya gubal (resin) berwarna coklat kehitaman. Menurut Zhang *et al*. (2022) infeksi fungi *Fusarium oxysporum* dengan konsentrasi $1x10^6$ konidia/mL pada pohon *Aquilaria sinensis* secara efektif menstimulasi pembentukan gubal gaharu berkualitas tinggi dalam waktu singkat yaitu tiga pekan. Metode ini diklaim sebagai teknik induksi yang lebih cepat dan efisien jika dibandingkan dengan metode lainnya. Penelitian ini menunjukkan bahwa struktur dan komposisi

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

kimia gaharu seperti kadar ekstrak alkohol, *chromones*, dan minyak atsiri dengan senyawa utama sesquiterpenes pada pembentukan gubal gaharu secara buatan memiliki kualitas yang serupa bahkan lebih tinggi jika dibandingkan dengan gaharu alami.

Variasi kemampuan strain *Fusarium* dalam menginduksi pembentukan gubal gaharu telah dilaporkan oleh berbagai studi, dan perbedaan tersebut berkorelasi kuat dengan kemampuan infeksi terhadap jaringan kayu serta aktivitas enzimatik yang dimiliki masing-masing strain. Du *et al* (2022) mencatat bahwa dari 59 strain endofitik yang mampu menginduksi resin, sebanyak 28 strain berasal dari genus *Fusarium*, namun efektivitasnya bervariasi. Perbedaan tersebut berkaitan erat dengan produksi enzim seperti selulase, lignin peroksidase, dan laktase, yang memfasilitasi degradasi dinding sel kayu dan mempermudah kolonisasi jamur (Nagajothi *et al*., 2016). Penelitian ini bertujuan untuk memperluas potensi sumber inokulan melalui pemanfaatan isolat fungi *Fusarium* sp. yang diperoleh dari tanaman pisang yang terinfeksi penyakit *Fusarium wilt*. Beberapa koleksi strain fungi *Fusarium* tersebut akan dievaluasi kemampuannya dalam menstimulasi pembentukan gubal pada pohon gaharu berdasarkan kemampuannya dalam memproduksi enzim hidrolitik dan perlakuan konsentrasi inokulan yang berbeda.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana aktivitas enzim isolat fungi *Fusarium* sp. pada media uji sebagai dasar pemilihan kandidat stimulan pembentukan gubal pada pohon gaharu ?
2. Apakah strain dan konsentrasi konidia *Fusarium* sp. yang berbeda berpengaruh terhadap pembentukan gubal pada pohon gaharu?
3. Berapakah konsentrasi konidia *Fusarium* sp. terbaik yang dapat menstimulasi pembentuka gubal pada pohon gaharu?

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

A. Mengetahui aktivitas enzim isolat fungi *Fusarium* sp. pada media uji sebagai dasar pemilihan kandidat stimulan pembentukan gubal pada pohon gaharu.
B. Mengetahui pengaruh strain dan konsentrasi konidia *Fusarium* sp. yang berbeda pada pembentukan gubal gaharu terbaik.
C. Mengetahui konsentrasi konidia *Fusarium* sp. terbaik untuk menstimulasi pembentukan gubal gaharu terbaik.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu sebagai solusi untuk meningkatkan pembentukan gubal dengan melakukan metode biologi yaitu injeksi fungi *Fusarium* sp. yang diketahui memerlukan waktu lebih singkat terhadap pembentukan gubal gaharu jika dibandingkan dengan proses secara alami serta memberikan pengetahuan mengenai potensi serta manfaat fungi *Fusarium* sp.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V
PENUTUP

A. Kesimpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah

1. Aktivitas enzim isolat *Fusarium* sp. pada media uji menunjukkan adanya potensi sebagai kandidat stimulan pembentukan gubal gaharu.
2. Strain dan konsentrasi konidia berpengaruh terhadap pembentukan gubal pada pohon gaharu.
3. Konsentrasi kondia berpengaruh terhadap intensitas aroma khas gubal gaharu yang dihasilkan. Berdasarkan hasil *olfactory test*, konsentrasi $1x10^7$ konidia/mL pada isolat FusCB1 menghasilkan aroma khas gaharu dengan intensitas tertinggi dibandingkan konsentrasi lainnya.

B. Saran

Saran dari penelitian ini :

1. Perlu dilakukan pengembangan teknik induksi guna meningkatkan penyebaran infeksi atau sinyal pertahanan tanaman ke jaringan kayu agar area pembentukan gubal dapat lebih luas dan dapat menyeluruh pada batang.
2. Perlu dilakukan identifikasi molekuler 18S rDNA isolat unggul FusCB1 hingga level spesies.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

Achimón, F., Dambolena, J. S., Zygadlo, J. A., & Pizzolitto, R. P. (2019). LWT - Food Science and Technology Carbon sources as factors affecting the secondary metabolism of the maize pathogen Fusarium verticillioides. *LWT - Food Science and Technology*, *115*(August), 108470. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108470

Adhikari, S. R., Pokhrel, K., & Baral, S. D. (2021). Economic Value of Agarwood and Its Prospects of Cultivation. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*, *9*(1), 23–31. https://doi.org/10.3126/ijasbt.v9i1.35984

Afdila, L. N. U. R. (2025). *Aplikasi Inokulum Fusarium Sp. Dengan Konsentrasi Berbeda Dalam Pembentukan Gubal (Resin) Gaharu (Aquilaria sp.)*.

Ahmaed, D. T., Osman, F. A. Y., Masaad, A. M., & Tajuddin, S. N. (2022). *Phytochemical Screening and Characterization of Agarwood (Aquilaria malaccensis) Chips Wood Grade as Incense Headspace Volatile Compounds*. *2*, 85–104. https://doi.org/10.52981/ojps.v2i2.2206

Auri, A., Faridah, E., Sumardi, & Hardiwinoto, S. (2021). The effect of crown pruning and induction of acremonium sp. On agarwood formation in *Gyrinops caudata* in west papua, indonesia. *Biodiversitas*, *22*(7), 2604–2611. https://doi.org/10.13057/biodiv/d220707

Aweke, Y. K., Tasisa, B. Y., Garoma, W. D., & Denbi, W. B. (2022). Extraction and characterization of cellulase from forest and compost soil fungal isolates for the application of straw degradation. *International Journal of Health Sciences*, *6*(March), 7146–7162. https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns3.7732

Baig, A., Akram, A., & Lin, M. K. (2025). *Agarwood in the Modern Era : Integrating Biotechnology and Pharmacology for Sustainable Use*. 1–21.

Batubara, R., Hanum, T. I., Handika, A., & Affandi, O. (2020). *The screening of phytochemical and antioxidant activity of agarwood leaves (Aquilaria malaccensis) from two sites in North Sumatra , Indonesia*. *21*(4), 1588–1596. https://doi.org/10.13057/biodiv/d210440

Catur, A. D., Sari, N. H., Sutanto, R., & Wiratama, I. K. (2019). *Penerapan Mesin Penyuling Pada Pengusaha Kayu Gaharu Kandungan Damar Wangi dan Aroma yang Lemah Serta Memiliki Penampakan Fisik Berwarna*. *1*(2), 57–64.

Chhipa, H., & Kaushik, N. (2017). Fungal and bacterial diversity isolated from Aquilaria malaccensis tree and soil, induces agarospirol formation within 3 months after artificial infection. *Frontiers in Microbiology*, *8*(JUL). https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01286

Daâssi, D., Zouari-Mechichi, H., Belbahri, L., Barriuso, J., Martínez, M. J., Nasri,

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

M., & Mechichi, T. (2016). Phylogenetic and metabolic diversity of Tunisian forest wood-degrading fungi: a wealth of novelties and opportunities for biotechnology. *3 Biotech*, *6*(1), 1–16. https://doi.org/10.1007/s13205-015-0356-8

Das, R., Naziz, P. S., & Sen, S. (2022). *The Fragrance of Agarwood*. *October*.

Dewi Chusniasih, Erma Suryanti, & Erina Safitri. (2023). Isolasi dan Uji Aktivitas Selulolitik Bakteri Asal Limbah Bagas. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, *28*(3), 386–395. https://doi.org/10.18343/jipi.28.3.386

Dewiyanti, I., Darmawi, D., Muchlisin, Z. A., & Helmi, T. Z. (2022). *Characteristic and activity of cellulolytic bacteria isolated from mangrove soil in Northern Coast of Aceh Province , Indonesia*. *23*(12), 6587–6599. https://doi.org/10.13057/biodiv/d231258

Diana, E., & Nurcahyani, E. (2022). the Inducing Compound of Fusaric Acid for Resistance of Fusarium Wilt Disease in Family Orchidaceae. *Biodidaktika : Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, *17*(1), 86–92.

Djajakirana, G., & Sijabat, P. H. (2022). Pengaruh Media Tanam Terhadap Pertumbuhan Bibit Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L) Dan Intensitas Serangan Layu Fusarium (*Fusarium oxysporum* Schlecth) Pada Pembibitannya. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, *24*(2), 62–66. https://doi.org/10.29244/jitl.24.2.62-66

Du, T. Y., Dao, C. J., Mapook, A., Stephenson, S. L., Elgorban, A. M., Al-Rejaie, S., Suwannarach, N., Karunarathna, S. C., & Tibpromma, S. (2022). Diversity and Biosynthetic Activities of Agarwood Associated Fungi. *Diversity*, *14*(3), 1–17. https://doi.org/10.3390/d14030211

Duffy, B., Schouten, A., & Raaijmakers, J. M. (2003). Pathogen Self-Defense: Mechanisms to Counteract Microbial Antagonism. *Annual Review of Phytopathology*, *41*(February 2003), 501–538. https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095606

Dwianto, W., Kusumah, S. S., Darmawan, T., Amin, Y., Bahanawan, A., Pramasari, D. A., Lestari, E., Himmi, S. K., Hermiati, E., Fatriasari, W., Laksana, R. P. B., & Damayanti, R. (2019). Anatomical observation and characterization on basic properties of Agarwood (Gaharu) as an Appendix II CITES. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *374*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/374/1/012062

Ekwomadu, T. I., & Mwanza, M. (2023). Fusarium Fungi Pathogens, Identification, Adverse Effects, Disease Management, and Global Food Security: A Review of the Latest Research. *Agriculture (Switzerland)*, *13*(9). https://doi.org/10.3390/agriculture13091810

Faizal, A., Azar, A. W. P., Turjaman, M., & Esyanti, R. R. (2020). Fusarium solani induces the formation of agarwood in Gyrinops versteegii (Gilg.) Domke

branches. *Symbiosis*, *81*(1), 15–23. https://doi.org/10.1007/s13199-020-00677-w

Faizal, A., Rachmi, R., Adn, N., Rahmani, S., Wydia, A., Azar, P., & Turjaman, M. (2021). Heliyon Methyl jasmonate and crude extracts of *Fusarium solani* elicit agarwood compounds in shoot culture of *Aquilaria malaccensis* Lamk . *Heliyon*, *7*(March 2020), e06725. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06725

Faizal, A., Rachmi, R., Elfa, E., & Aulianisa, N. (2017). *Formation of agarwood from Aquilaria malaccensis in response to inoculation of local strains of Fusarium solani*. 189–197. https://doi.org/10.1007/s00468-016-1471-9

Fikri, U., Nasir Biasane, A., & Tiwow, C. (2022). Kebijakan Pengembangan Pemasaran Kayu Gaharu (Studi Kasus Pt. Alrazaak Gaharu Indonesia). *Jurnal Fokus Manajemen Bisnis*, *4*(1), 1–16.

Gao, M., Han, X., Sun, Y., Chen, H., Yang, Y., & Liu, Y. (2019). RSC Advances Overview of sesquiterpenes and chromones of agarwood originating from four main species of the genus Aquilaria. *RSC Advances*, *9*(January), 4113–4130. https://doi.org/10.1039/C8RA09409H

Gogoi, I., Choudhury, S., & Jayaraj, R. (2023). A review on biological induction of agarwood in Aquilaria, with special reference to India. *Journal of Non-Timber Forest Products*, *29*(4), 143–152. https://doi.org/10.54207/bsmps2000-2023-vmivkv

Harahap, P., Harahap, K. M., Pulungan, S., & Syawal, F. (2019). Jurnal Pertanian Tropik Jurnal Pertanian Tropik. *Pengaruh Penambahan Berbagai Komposisi Bahan Organik Terhadap Karakteristik Hidroton Sebagai Media Tanam*, *6*(2), 180–189.

Harish, J., Jambhulkar, P. P., Bajpai, R., Arya, M., Babele, P. K., Chaturvedi, S. K., Kumar, A., & Lakshman, D. K. (2023). Morphological characterization, pathogenicity screening, and molecular identification of *Fusarium* spp. isolates causing post-flowering stalk rot in maize. *Frontiers in Microbiology*, *14*(March), 1–16. https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1121781

Hartono, H., Wibowo, A., & Priyatmojo, A. (2019). Isolation, Identification and the Abilities of Fungi Associated with Agarwood from Bangka Belitung Island to Induce Agarwood Compounds. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, *23*(1), 94. https://doi.org/10.22146/jpti.31623

Hassan, M. K., Fadhil, W., Jarallah, K., Thamer, Z. N., & Hussein, L. M. (2024). *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) Principle , Instrument , Detectors , and Combining Mass Spectrometers with other Techniques*. *07*, 2896–2908.

Henschel, J. M., Bruna, J., Ribeiro, R., Alves, D., Souza, T., & Batista, D. S. (2024). *Lipidomics in Plants Under Abiotic Stress Conditions : An Overview*. 1–18.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

Herliani. (2018). Analisis Volume Minyak Gaharu Tipe *Aquilaria malaccensis* L. pada Proses Penyulingan Minyak Gaharu. *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Environmental, and Learning*, *15*(1), 743–749.

Herlinda, S., Darma Utama, M., Pujiastuti, Y., & Suwandi, S. (2006). Kerapatan Dan Viabilitas Spora Beauveria Bassiana (Bals.) Akibat Subkultur Dan Pengayaan Media, Serta Virulensinya Terhadap Larva *Plutella xylostella* (Linn.). *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, *6*(2), 70–78. https://doi.org/10.23960/j.hptt.2670-78

Ihkwanisa, N., Nugraheni, I. A., Kurniawati, T., & Fardhani, D. M. (2023). Uji antagonis Trichoderma spp terhadap layu Fusarium tanaman cabai (*Capsicum annum*). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta*, *1*, 244–252. https://proceeding.unisayogya.ac.id/index.php/prosemnaslppm/article/view/56

Jia, D., & Yi, S. (2018). *Classification of Hoi-An and Sin-Chew Agarwood by Components Analysis of VOCs Released in Heat-Treated Agarwood using TD-GCMS and Chemometric Methods*. *13*(2), 2916–2931.

Jong, P. L., Tsan, P., & Mohamed, R. (2014). Gas chromatography-mass spectrometry analysis of agarwood extracts from mature and juvenile *Aquilaria malaccensis*. *International Journal of Agriculture and Biology*, *16*(3), 644–648.

Kafey, M., Adhikari, H. S., Rijal, A., Lamichhane, N., & Chhetri, M. K. (2025). *Comparative Study of Agarwood Formation by Fusarium Inoculation and Physical Wounding in Aquilaria malaccensis Across Two Agroecological Zones of Central Nepal*. *2025*(November 1994). https://doi.org/10.1155/ijfr/7448656

Kodey, R. L., Mofu, W. Y., & Dimara, P. A. (2021). Teknik Pemanenan Tumbuhan Gaharu Pada Masyarakat Pencari Gaharu Di Kampung Merdey Distrik Merdey Kabupaten Teluk Bintuni. *Jurnal Kehutanan Papuasia*, *7*(2), 219–228.

Kumar, A., & Chandra, R. (2020). Heliyon Ligninolytic enzymes and its mechanisms for degradation of lignocellulosic waste in environment. *Heliyon*, *6*(2), e03170. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03170

Lee, S. Y., & Mohamed, R. (2016). *The Origin and Domestication of Aquilaria, an Important Agarwood-Producing Genus*. *October*, 1–20. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0833-7_1

Liu, P., Zhang, X., Yang, Y., Sui, C., Xu, Y., & Wei, J. (2019). Interxylary phloem and xylem rays are the structural foundation of agarwood resin formation in the stems of *Aquilaria sinensis*. *Trees*, *33*(2), 533–542. https://doi.org/10.1007/s00468-018-1799-4

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Liu, Y., Qiao, M., Fu, Y., Wei, P., Li, Y., & Liu, Z. (2022). *Tissue Structure Changes of Aquilaria sinensis Xylem after Fungus Induction*.

Lorrai, R., & Ferrari, S. (2021). Host cell wall damage during pathogen infection: Mechanisms of perception and role in plant-pathogen interactions. *Plants*, *10*(2), 1–21. https://doi.org/10.3390/plants10020399

Mahendra, D., Siregar, G., & Sinaga, H. (2022). Marketing Analysis of Gaharu (Aquilaria Malaccensis) At Dendang Village Stabat District. *Journal of Agriculture*, *1*(02), 40–48. https://doi.org/10.47709/joa.v1i02.1711

Mahendra, D., Siregar, G., & Sinaga, H. (2023). *Analisa Pemasaran Kayu Gaharu (Aquilaria malaccensis) Di Desa Dendang Kecamatan Stabat (Studi Kasus Cv. Cahaya Gaharu) Marketing Analysis Of Gaharu (Aquilaria malaccensis) At Dendang Village Stabat District (Case Study: Cv. Cahaya Gaharu)*. *1*(1).

Martosudiro, M., & Muhibuddin, A. (2025). *Inhibition of Cellulase Activity Fusarium oxysporum f . sp . lycopersici Pathogens in Tomato Plants Using Essential Oils from Citronella in Vitro*. *8*(1), 8–17.

Mega, I., Suanda, D., Kasnairi, D., Suena, W., & Parwata, M. (2021). Formulasi Inokulan Jamur Pembentuk Gubal Gaharu pada Tanaman Ketimunan (Gyrinops versteegii). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, *2*(2), 139–144.

Nasution, A. A., Juniarti, U., & Turjaman, M. (2019). Identification of chemical compounds in agarwood-producing species *Aquilaria malaccensis* and Gyrinops versteegii. *Journal of Forestry Research*. https://doi.org/10.1007/s11676-018-00875-9

Nor Mazila Ramli, A., Yusof, S., Bhuyar, P., Aminan, A. W., & Tajuddin, S. N. (2022). Fungi mediated agarwood (A. malaccensis) production and their pharmaceutical applications: A systematic review. *International Journal of Plant Based Pharmaceuticals*, *2*(2), 261–270. https://doi.org/10.29228/ijpbp.8

Rachmawaty, Ashar, A., Ali, A., Pagarra, H., & Fatmah Hiola, S. (2021). Pembentukan Gaharu Pada Pohon Aquilaria malaccensis Lamk., Menggunakan Inokulum Fusarium sp. Formation of Agarwood on The Tree Aquilaria malaccensis Lamk., Using Inoculum Fusarium sp. *Jurnal Sainsmat*, *X*(2), 178–188. http://ojs.unm.ac.id/index.php/sainsmat

Ranjan Maji, S., Roy, C., & Sinha, S. K. (2023). Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS): a Comprehensive Review of Synergistic Combinations and Their Applications in the Past Two Decades. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, *5*(2), 72–85. https://doi.org/10.48402/IMIST.PRSM/jasab-v5i2.40209

Rawana, Hardiwinoto, S., Budiadi, Rahayu, S., & Prijono, A. (2024). The Effect of Fusarium Fungal Inoculation, Hole Position, and Induction Technique on Forming Agarwood in *Gyrinops versteegii* Tree. *Jurnal Manajemen Hutan*

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tropika, *30*(3), 314–325. https://doi.org/10.7226/jtfm.30.3.314

Ridwanto, R., Trizaldi, A., Rani, Z., Sartika Daulay, A., Munandar Nasution, H., & Miswanda, D. (2022). Antioxidant Activity Test Of Methanol Extract Of Gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lam.) Bark With Dpph (1,1 Diphenyl-2-Picrylhydrazyl) Method. *International Journal of Health and Pharmaceutical (IJHP)*, *3*(2), 232–240. https://doi.org/10.51601/ijhp.v3i2.123

Rozihawati, Z., Wan-Muhammad-Azrul, W. A., Noor-Baity, Sheriza, M. R., Hazandy, A. H., Mohd-Farid, A., & Zaiton, S. (2022). Formulation of Alternative Media for Fungal Growth and Its Application As Agarwood-Inducing Agent in Aquilaria Trees. *Journal of Tropical Forest Science*, *34*(1), 127–132. https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.127

Sangareswari@Nagajothi, M., Thangamuthu Parthiban, K., Umesh Kanna, S., Karthiba, L., & Saravanakumar, D. (2016). Fungal Microbes Associated with Agarwood Formation. *American Journal of Plant Sciences*, *07*(10), 1445–1452. https://doi.org/10.4236/ajps.2016.710138

Selno, S., Zakiah, Z., & Kurniatuhadi, R. (2021). Kualitas Gaharu Aquilaria sp. dengan Pemberian Bioinokulan Fermentasi Batang Pisang yang Terkena Penyakit Layu *Fusarium. Jurnal Bios Logos*, *11*(2), 94. https://doi.org/10.35799/jbl.11.2.2021.32551

Septiningrum, D., Siregar, H., & Juanda, B. (2015). Analisis faktor-faktor yang Memengaruhi Penawaran Ekspor dan harga Ekspor Gaharu Indonesia (Factors Affecting Export Supply and Export Prices of Indonesia's Agarwood). *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, *12*(2), 1–13. https://media.neliti.com/media/publications/491480-none-4c80cda0.pdf

Shekher, R., Sehgal, S., Kamthania, M., & Kumar, A. (2011). *Laccase : Microbial Sources , Production , Purification , and Potential Biotechnological Applications*. *2011*. https://doi.org/10.4061/2011/217861

Shiraishi, I. S., Dorte, R. P., Ribeiro, B. R., Souza, G. C. P. S., Dekker, R. F. H., Furnaleto-Maia, L., Barbosa-Dekker, A. M., Borsato, D., Evaristo, J. A. M., Evaristo, G. P. C., Simionato, J. I., & Daniel, J. F. S. (2021). Optimization of Laccase Production, and Characterization of Lignin Degradation Products by Fusarium oxysporum JUMAD-053. *Orbital*, *13*(5), 404–412. https://doi.org/10.17807/orbital.v13i5.1623

Shivanand, P., Arbie, N. F., & Krishnamoorthy, S. (2022). *Agarwood — The Fragrant Molecules of a Wounded Tree*. 1–23.

Słupianek, A., Dolzblasz, A., & Sokołowska, K. (2021). Xylem Parenchyma — Role and Relevance in Wood Functioning in Trees. *Plants 2021*. https://doi.org/https://doi.org/ 10.3390/plants10061247

Subasinghe, S. M. C. U. P., Hitihamu, H. I. D., & Fernando, K. M. E. P. (2019). Use of two fungal species to induce agarwood resin formation in Gyrinops

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

walla. *Journal of Forestry Research*. https://doi.org/10.1007/s11676-018-0654-1

Susilawati, L., Iwai, N., Komatsu, K., & Arie, T. (2021). Antifungal activity of bacteria isolated from Japanese frog skin against plant pathogenic fungi. *Biological Control*, *153*(April), 104498. https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104498

Tamuli, P., Baruah, P., & Samanta, R. (2008). Enzyme activities of agarwood (Aquilaria malaccensis Lamk.) stem under pathogenesis. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, *17*(3), 240–243. https://doi.org/10.13140/2.1.2821.6008

Tan, C. S., Isa, N. M., Ismail, I., & Zainal, Z. (2019). Agarwood induction: Current developments and future perspectives. *Frontiers in Plant Science*, *10*(February), 1–13. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00122

Thompson, I. D., Lim, T., & Turjaman, M. (2022). *Expensive, Exploited and Endangered. A Review of the Agarwood-Producing Genera Aquilaria and Gyrinops: CITES considerations, Trade Patterns, Conservation, and Management* (Vol. 12, Issue October). https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29934.69446

Thu, C., Susawaengsup, C., Singer, T., Tongkoom, K., Oberg, R., Dangtungee, R., & Bhuyar, P. (2022). *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication Gas chromatography analysis of the microwave-aided extracted agarwood oil from physically induced Aquilaria malaccensis trees in*. *3*, 52–55.

Trontel, A., Novak, M., Pavleˇ, M., Mar, N., Grubiši, M., Ludwig, R., & Šantek, B. (2021). *Screening of Lignocellulolytic Enzyme Activities in Fungal Species and Sequential Solid-State and Submerged Cultivation for the Production of Enzyme Cocktails*.

Turjaman, M., & Hidayat, A. (2017). Agarwood-planted tree inventory in Indonesia This. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *54*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/54/1/012062

Ube, N., Yabuta, Y., Tohnooka, T., Ueno, K., Taketa, S., & Ishihara, A. (2019). Biosynthesis of phenylamide phytoalexins in pathogen-infected barley. *International Journal of Molecular Sciences*, *20*(22), 1–21. https://doi.org/10.3390/ijms20225541

Wahyuni, R., Triadiati, T., & Falah, S. (2018). Induction of agarwood in Aquilaria malaccensis using nitrogen fertilizer and Fusarium solani. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, *7*(2), 165. https://doi.org/10.18330/jwallacea.2018.vol7iss2pp165-171

Wang, M., Li, W., Luo, S., & Zhao, X. (2018). *GC-MS Study of the Chemical Components of Different Aquilaria sinensis (Lour .) Gilgorgans and Agarwood from Different Asian Countries*.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA

https://doi.org/10.3390/molecules23092168

Wang, Y., Hussain, M., Jiang, Z., Wang, Z., Gao, J., Ye, F., Mao, R., & Li, H. (2021). *Aquilaria* species (Thymelaeaceae) distribution, volatile and non-volatile phytochemicals, pharmacological uses, agarwood grading system, and induction methods. *Molecules*, *26*(24). https://doi.org/10.3390/molecules26247708

Wangiyana, I. G. A. S. (2019). Medicinal Usage of Agarwood Resin in Form of Essential Oil: a Review. *Jurnal Silva Samalas*, *2*(2), 86. https://doi.org/10.33394/jss.v2i2.3674

Wangiyana, I. G. A. S. (2020). Medicinal Effect Review of Agarwood Leaves From Aquilaria and Gyrinops Genera. *Jurnal Silva Samalas*, *3*(1), 36. https://doi.org/10.33394/jss.v3i1.3681

Wilisiani, F., Lela Susilawati, Sumardi, Yuslinawari, Dwi, W., Cicilia, D. ., Uswatun, K., & Ngalimatur, R. (2024). Potensi Fusarium sp. dari Tanaman Pisang sebagai Inokulan Pembentuk Gubal pada Tanaman Gaharu. *Jurnal Agroekoteknologi Tropikal Lembab* , *6*(2), 18–22.

Womsiwor, D., Dimara, P., & Mofu, W. (2018). Klasifikasi kualitas dan nilai komersial gaharu pada klaster pedagang pengumpul di Kabupaten Sorong. *Jurnal Kehutanan Papuasia*, *4*(1), 9–33.

Wu, Z., Liu, W., Li, J., Yu, L., & Lin, L. (2020). Dynamic analysis of gene expression and determination of chemicals in agarwood in Aquilaria sinensis. *Journal of Forestry Research*, *31*(5), 1833–1841. https://doi.org/10.1007/s11676-019-00970-5

Zakaria, L. (2023). *Fusarium* Species Associated with Diseases of Major Tropical Fruit Crops. *Horticulturae*, *9*(3). https://doi.org/10.3390/horticulturae9030322

Zhang, Z., Wei, J., Han, X., Liang, L., Yang, Y., & Meng, H. (2014). *The Sesquiterpene Biosynthesis and Vessel-Occlusion Formation in Stems of Aquilaria sinensis (Lour .) Gilg Trees Induced by Wounding Treatments without Variation of Microbial Communities*. 23589–23603. https://doi.org/10.3390/ijms151223589

Zhang, Z., Xiang-Zhao, M., Ran, J., Gao, M., Li, N. X., Ma, Y., Sun, Y., & Li, Y. (2022). *Fusarium oxysporum* infection-induced formation of agarwood (FOIFA): A rapid and efficient method for inducing the production of high quality agarwood. *PLoS ONE*, *17*(11 November), 1–15. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277136

Zhao, J., Davis, L. C., & Verpoorte, R. (2005). *Elicitor signal transduction leading to production of plant secondary metabolites*. *23*, 283–333. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2005.01.003