

**APLIKASI INOKULUM *Fusarium* sp. DENGAN
KONSENTRASI BERBEDA DALAM PEMBENTUKAN GUBAL
(RESIN) GAHARU (*Aquilaria* sp.)**

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagai persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1 pada

Program Studi Biologi



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

disusun oleh:

LUTFI NUR AFDILA
19106040009

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2025

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-205/Un.02/DST/PP.00.9/01/2025

Tugas Akhir dengan judul : Aplikasi Inokulum *Fusarium* sp. dengan Konsentrasi berbeda dalam Pembentukan Gubal (Resin) Gaharu (*Aquilaria* sp.)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : LUTFI NUR AFDILA
Nomor Induk Mahasiswa : 19106040009
Telah diujikan pada : Kamis, 23 Januari 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

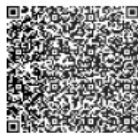
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Val5d ID: 699af3602873

Ketua Sidang

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



Val5d ID: 699af33644dfb

Penguji I

Jumailatus Solihah, S.Si., M.Si.
SIGNED



Val5d ID: 699af30456949

Penguji II

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



Val5d ID: 699b384e3d2a5

Yogyakarta, 23 Januari 2025

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lutfi Nur Afdila
NIM : 19106040009
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya, bahwa skripsi saya yang berjudul: Aplikasi Inokulum *Fusarium* sp. dengan Konsentrasi Berbeda dalam Pembentukan Gubal (Resin) Gaharu (*Aquilaria* sp.) adalah hasil karya pribadi dan sepanjang pengetahuan penyusun tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang penyusun ambil sebagai acuan.

Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggungjawab penyusun.

Yogyakarta, 17 Januari 2025

Yang menyatakan,



Lutfi Nur Afdila

NIM. 19106040009

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI /TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



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 : Lutfi Nur Afdila
NIM : 19106040009
Judul Skripsi : Aplikasi Inokulum *Fusarium* sp. dengan Konsentrasi Berbeda dalam Pembentukan Gubal (Resin) Gaharu (*Aquilaria* 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 berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 18 Januari 2025
Pembimbing

Lela Susilawati, Ph.D.
NIP. 19790127 200901 2 004

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN MOTTO

أنا أريد وأنت تريد والله يفعل ما يري

(Ana urid, wa anta turid wallahu yaf'alu ma yurid)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, yang telah memberikan kelancaran, kekuatan dan petunjuk-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan. Tanpa berkat dan Rahmat-Nya penulis tidak mampu menyelesaikan karya ini.

Dengan penuh rasa syukur, penulis berhasil menyelesaikan skripsi dengan judul “Aplikasi Inokulum *Fusarium* sp. Dengan Konsentrasi Berbeda Dalam Pembentukan Gubal (Resin) Pada Pohon Gaharu (*Aquilaria* sp.)” sebagai bagian dari persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Penulisan skripsi tidak terlepas dari lika-liku dan tantangan yang penulis hadapi. Namun, berkat dukungan dan doa dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sardjan Santoso dan Ibu Satinem, kedua orang tua tercinta dan terkasih yang senantiasa memberikan doa tulus, dukungan, kepercayaan penuh dan kasih sayang tanpa batas.
2. Prof. Dr. Dra. Hj. khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Dr. Ika Nugraheni Ayu Martiwi, S.Si., M.Si. selaku ketua Program Studi Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Ibu Lela Susilawati, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang sabar dan telaten dalam memberikan arahan dan masukan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Terima kasih sudah mengizinkan untuk bergabung dalam proyek skripsi gaharu.
5. Ibu Ethik, Pak Doni dan Ibu Anif, selaku PLP yang selalu *fast respon* dan siap siaga dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian di laboratorium.
6. Seluruh jajaran dosen dan tenaga pendidik Program Studi Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
7. Mas Andri, Mbak Tyas, Mbak Nurul dan Mas Hari selaku kakak penulis yang selalu mendukung dan tak henti memberi semangat kepada penulis dan meyakinkan bahwa penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
8. Abimanyu, Alfadine, Maheswara keponakan yang selalu menjadi mood booster untuk penulis.
9. Dewi, Bela, Ganesya, Rika dan Icha selaku teman berjuang penulis selama perkuliahan.

10. Dewi Atika dan Rika Azizah yang selalu menjadi teman keluh kesah dan selalu memberikan support dan meyakinkan penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
11. Alvin, Muham, Tsalisa, Nauval dan Iin selaku teman penulis yang selalu menghibur dan direpotkan dalam hal apapun.
12. Rosyda Nailah Amany teman penulis sejak dibangku sekolah yang selalu memberi semangat dan menebar keceriaan.
13. Teman-teman sebimbingan yang saling memberikan support dan semangat juang untuk segera menyelesaikan amanah dari orang tua.
14. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas segala atensinya dalam penulisan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa naskah skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar naskah ini menjadi lebih baik. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat.

Yogyakarta 17, Januari 2025

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**Aplikasi Inokulum *Fusarium* sp. dengan Konsentrasi Berbeda dalam
Pembentukan Gubal (Resin) Gaharu (*Aquilaria* sp.)**

Lutfi Nur Afdila
19106040009

ABSTRAK

Gaharu merupakan salah satu komoditas hasil hutan yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Untuk memenuhi permintaan yang meningkat, dilakukan injeksi buatan menggunakan fungi *Fusarium* sp. hasil diamati setelah tiga bulan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi berbeda inokulum *Fusarium* sp. terhadap pembentukan gubal gaharu. Konsentrasi inokulum yang digunakan 1×10^5 , 1×10^6 , 1×10^7 (konidia/ml) serta PDB sebagai kontrol. Pemberian konsentrasi inokulum *Fusarium* sp. untuk semua perlakuan terbukti mampu menstimulasi pembentukan gubal dengan terdeteksinya senyawa *heptadecane* dengan GC-MS. dengan %area 29.99 (PDB), 45.64 (1×10^5 konidia/ml), 48.81 (1×10^6 konidia/ml), 44.93 (1×10^7 konidia/ml). Konsentrasi 1×10^7 konidia/ml mampu menghasilkan intensitas aroma tertinggi berdasarkan *olfactory test*. Dengan demikian injeksi buatan dengan *Fusarium* sp. dapat digunakan sebagai pengembangan teknologi budidaya gaharu yang lebih efisien.

Kata kunci: *Heptadecane*, enzim selulase, enzim lakase, GC-MS, *olfactory test*.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**"Application of *Fusarium* sp. Inoculum at Various Concentrations for
Agarwood (*Aquilaria* sp.) Gubal (Resin) Formation."**

Lutfi Nur Afdila
19106040009

ABSTRACT

Agarwood is one of the forest products with high economic value. To meet the increasing demand, artificial injection using *Fusarium* sp. fungi was conducted, with observations made after three months. This study aimed to determine the effect of different concentrations of *Fusarium* sp. inoculum on agarwood resin formation. The inoculum concentrations used were 1×10^5 , 1×10^6 , and 1×10^7 (conidia/ml), with PDB (Potato Dextrose Broth) as the control. The application of *Fusarium* sp. inoculum at all concentrations successfully stimulated resin formation, as indicated by the detection of heptadecane compounds through GC-MS analysis. The %area of *heptadecane* detected was 29.99 (PDB), 45.64 (1×10^5), 48.81 (1×10^6), and 44.93 (1×10^7). Additionally, the 1×10^7 conidia/ml concentration produced the highest aroma intensity based on an olfactory test. Thus, artificial injection with *Fusarium* sp. can be utilized as a technological advancement to develop more efficient agarwood cultivation methods.

Keywords: *Heptadecane*, cellulase enzyme, laccase enzyme, GC-MS, olfactory test.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI /TUGAS AKHIR.....	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Tanaman Penghasil Gubal Gaharu (<i>Aquilaria</i> sp.).....	5
B. Fungi <i>Fusarium</i> sp. dan Karakteristiknya	6
C. Pembentukan Gubal Gaharu oleh Fungi <i>Fusarium</i> sp.	7
D. Prinsip Kerja Analisis Gas Chromatography – Mass Spectrometry (GC-MS)	9
BAB III METODE PENELITIAN.....	12
A. Waktu dan Tempat	12
B. Alat dan Bahan.....	12
C. Prosedur Kerja.....	12
D. Analisis Data.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
A. Hasil	18
B. Pembahasan.....	26
BAB V PENUTUP.....	30

A. Kesimpulan.....	30
B. Saran.....	30
DAFTAR PUSTAKA.....	31
LAMPIRAN	36



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ilustrasi injeksi inokulum <i>Fusarium</i> sp. pada batang gaharu, lubang injeksi dibuat pada ketinggian 20 cm dari permukaan tanah dengan jarak antar lubang injeksi 10 cm	14
Gambar 2. Spot hitam pasca injeksi gaharu tiga bulan dengan inokulum <i>Fusarium</i> sp. konsentrasi berbeda (a) PDB (kontrol) (b) perlakuan konsentrasi 1×10^5 konidia/ml (c) perlakuan konsentrasi 1×10^6 konidia/ml (d) perlakuan konsentrasi 1×10^7 konidia/ml	18
Gambar 3. Hasil pengamatan diameter spot hitam kayu gaharu pasca injeksi dengan <i>Fusarium</i> sp. Tanda bintang menunjukkan tingkat signifikansi (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$)	19
Gambar 4. Hasil re-isolasi fungi dari spot hitam kayu pasca injeksi tiga bulan pada media PDA setelah inkubasi 7 hari suhu ruang 28°C (a) koloni <i>Fusarium</i> sp. strain BW5; (b) Kontrol (PDB); (c) perlakuan konsentrasi 1×10^5 konidia/ml; (d) perlakuan konsentrasi 1×10^6 konidia/ml; (e) perlakuan konsentrasi 1×10^7 konidia/ml	20
Gambar 5. Morfologi hifa <i>Fusarium</i> sp. (a) hasil pengamatan mikroskopis <i>Fusarium</i> sp. strain BW5. Morfologi hifa <i>Fusarium</i> sp. setelah re-isolasi (b); morfologi hifa konsentrasi 1×10^5 konidia/ml; (c) morfologi hifa konsentrasi 1×10^6 konidia/ml; (d) morfologi hifa konsentrasi 1×10^7 konidia/ml.....	20
Gambar 6. Kromatografi uji GC-MS dari sampel spot hitam kayu gaharu pasca tiga bulan injeksi dengan <i>Fusarium</i> sp. BW5. (a) PDB (kontrol); (b) perlakuan 1×10^5 konidia/ml; (c) perlakuan 1×10^6 konidia/ml; (d) perlakuan 1×10^7 konidia/ml	21
Gambar 7. (a) Zona bening yang dihasilkan <i>Fusarium</i> sp. uji penghasiian enzim selulase pada media CMC, inkubasi 48 jam pada suhu ruang (28°C). (b) Warna merah-coklat yang dihasilkan <i>Fusarium</i> sp. uji penghasiian enzim lakase pada media PDA yang ditetaskan guaiacol dan diinkubasi selama empat hari suhu ruang (28°C).....	24
Gambar 8. Uji penghasiian enzim pendegradasi lignin, menggunakan media <i>Lignin Basal Medium</i> (LBM) inkubasi 10 hari, pada suhu 25°C , indikator positif ditunjukkan warna coklat disekitar koloni	24
Gambar 9. Hasil <i>olfactory test</i> gubal gaharu yang dibakar setelah tiga bulan pasca injeksi	25

DAFTAR TABEL

- Tabel 1.** jumlah puncak (*peak*) dari perlakuan konsentrasi *Fusarium* sp. berbeda pasca injeksi tiga bulan pada pohon gaharu 22
- Tabel 2.** Komponen senyawa kimiawi dari berbagai ekstrak gaharu dengan perlakuan konsentrasi inokulum *Fusarium* sp. berbeda dan kontrol PDB setelah tiga bulan pasca injeksi 23
- Tabel 3.** Diameter zona bening yang diukur menggunakan jangka sorong 24



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gaharu atau dikenal juga sebagai *agarwood*, *eaglewood*, *aloeswood*, adalah produk hutan bukan kayu berupa damar wangi yang dihasilkan oleh pohon dari genus *Aquilaria* dan genus *Thymelaeaceae* (Triadiati & Miftahudin, 2021). Gubal gaharu terbentuk akibat infeksi mikroba atau luka pada pohon, yang memicu produksi resin aromatik dengan nilai ekonomi tinggi. Beberapa jenis pohon penghasil gaharu yang telah banyak diteliti dan dieksplorasi antara lain *Aquilaria* sp, *Aetoxylon sympetalum*, *Gyrinops*, dan *Gonystylus*. Pohon ini tersebar luas di berbagai wilayah Indonesia seperti Kalimantan, Sumatera, Nusa Tenggara, dan Papua. Gaharu dapat tumbuh di berbagai ketinggian, mulai dari dataran rendah hingga dataran tinggi, dan hampir disemua jenis tanah (Suhendra *et al.*, 2012).

Gubal gaharu merupakan salah satu komoditas hasil hutan yang memiliki nilai ekonomi tinggi, terutama sebagai produk ekspor (Mega *et al.*, 2012). Tingginya permintaan gubal gaharu di pasar global disebabkan oleh beragam manfaat dan kegunaanya. Gubal gaharu digunakan sebagai bahan utama dalam industri parfum dan kosmetik, serta dalam ritual keagamaan seperti dupa (Zamrodah, 2016). Selain itu gubal gaharu memiliki manfaat medis, termasuk sebagai anti asmatik, antimikroba, stimulant saraf, penghilang rasa sakit, obat stress, serta pengobatan untuk sakit perut, lever, malaria dan diare (Mega *et al.*, 2012).

Gubal gaharu dihasilkan sebagai metabolit sekunder yang merupakan respon pertahanan tanaman terhadap luka fisik atau infeksi mikroorganisme (Yulizah *et al.*, 2022). Infeksi ini memicu perubahan kimiawi pada pentosan atau selulosa di kayu, yang menghasilkan resin. Resin ini terakumulasi dalam jaringan kayu yang disebut gaharu (Subowo, 2016). Bagian jaringan kayu yang mengandung resin berubah warna dari putih menjadi coklat tua atau hitam pekat, menghasilkan “gubal gaharu” yang memiliki nilai ekonomis tinggi (Yulizah *et al.*, 2022).

Budidaya gaharu menjadi salah satu solusi untuk memenuhi permintaan pasar yang terus meningkat. Salah satu metode penting dalam budidaya ini adalah

teknik inokulasi yang digunakan untuk mempercepat pembentukan gubal gaharu (Wahyuni *et al.*, 2018). Metode tradisional biasanya dilakukan dengan melukai batang pohon gaharu untuk memicu pembentukan resin. Namun, metode ini membutuhkan waktu yang relatif lama. Misalnya, setelah pelukaan, area batang berubah warna menjadi coklat kekuningan dalam waktu tiga bulan, kemudian coklat kehitaman pada delapan sampai sepuluh bulan, dan akhirnya menjadi hitam setelah dua puluh bulan (Wangiyana, 2020).

Saat ini, metode modern yaitu inokulasi buatan dengan fungi, seperti *Fusarium* sp. telah dikembangkan untuk mempercepat pembentukan gubal gaharu. Teknologi inokulasi buatan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan rendemen serta masalah lambatnya pembentukan gaharu secara alami terutama untuk diterapkan pada budidaya tanaman gaharu (Wilisiani & Hasibuan, 2020). Penelitian Wilisiani *et al* (2024) melaporkan potensi fungi *Fusarium* sp. dalam menginfeksi tanaman penghasil gaharu dapat merangsang perubahan warna kayu sebagai indikator adanya interaksi antara mikroba dengan tanaman dalam pembentukan gubal gaharu.

Gubal gaharu dihasilkan sebagai respon fisiologis pohon terhadap infeksi mikroba atau jamur yang masuk melalui luka pada jaringan kayu. Ketika mikroba memasuki jaringan tanaman, pohon gaharu mengenalinya sebagai ancaman, sebagai respon, sel-sel tanaman memproduksi senyawa pertahanan yang disebut fitoaleksin (Suhendra *et al.*, 2012). Senyawa fitoaleksin dapat berupa resin aromatik yang ada pada gaharu didominasi oleh seskuiterpen dan kromon yang berwarna coklat atau hitam, senyawa harum penentu kualitas gubal. Resin berfungsi sebagai pertahanan terhadap patogen, tetapi juga membentuk gubal gaharu yang bernilai ekonomi tinggi.

Seskuiterpen merupakan komponen yang banyak ditemukan pada resin gaharu. Terdapat delapan komponen seskuiterpen utama yang terdapat pada *Aquilaria* sp. yaitu *a-agarofuran*, *(-)-10-epi-gamma-eudesmol*, *agarospirol*, *jinkohol*, *jinkoh-eremol*, *jink ohol II*, *k usumol* dan *ok-so agarospirol*. Kromon dan turunannya berperan dalam menentukan mutu suatu gaharu. Struktur kromon dan turunannya yaitu *6-metok si-2-[2-(3-metok si-4-hidroksifenil)etil] k romon*; *6,8-*

dihidroksi-2-(2-feniletil) k romon; 6- hidroksi-2-[2-(4-hidroksi fenil)etil] k romon; 6-hidroksi-2-[2-(2-hidroksi fenil)etil] k romon; 7-hidroksi-2-(2- feniletil) k romon 6-hidroksi-7-metoksi-2-(2- dan feniletil)k romon (Pasaribu et al., 2013).

Menurut Subowo (2016) fungi *Aspergillus* dan *Fusarium* sp. dapat membentuk gubal gaharu, tetapi memiliki hasil yang berbeda dimana fungi *Fusarium* sp. memiliki hasil yang lebih baik dalam pembentukan gubal gaharu dibandingkan fungi *Aspergillus*. Menurut Suada (2011) mekanisme infeksi fungi patogen pada tanaman dimulai dengan menembus dinding sel tanaman yang terdiri dari polimer seperti selulosa dan pektin, untuk dapat menembusnya, maka patogen membutuhkan enzim yang mampu memecah struktur dinding sel tersebut, seperti enzim selulase, lakase, enzim pendegradasi lignin dan enzim penting lainnya seperti pektinase.

Selulase merupakan enzim yang berperan dalam memecah selulosa menjadi gula sederhana atau glukosa (Dini & Munifah, 2014). Adapun proses degradasi lignin oleh fungi patogen dilakukan dengan memproduksi enzim seperti lakase dan manganese-peroxidase (Kumar & Chandra, 2020). Lakase memiliki peran penting yaitu dapat mengoksidasi senyawa aromatik dan nonaromatik pada spektrum luas yang terbentuk oleh aktivitas mikroba maupun tanaman. Fungi dan bakteri yang telah dilaporkan mampu memproduksi lakase yaitu *Penicillium*, *Agaricus bisporus*, *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., *Trametes*, *Lentinula edodes*, serta bakteri seperti *Lactobacillus* dan *Pseudomonas* (Reksohadwinoto et al., 2017).

Pembentukan gubal dipengaruhi salah satunya oleh konsentrasi fungi yang diinokulasikan pada pohon gaharu. Sejauh ini penelitian tentang pengaruh konsentrasi atau densitas fungi patogen dalam menstimulasi pembentukan gubal belum banyak dilakukan. Pada umumnya laporan penelitian terdahulu lebih banyak fokus pada volume. Penelitian tentang konsentrasi *Fusarium* sp. Nugroho et al (2006) melaporkan bahwasanya konsentrasi inokulum *Fusarium* sp. sebesar 4×10^3 spora/ml memiliki kecenderungan penghasilan gubal lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan konsentrasi lainnya yaitu 1×10^3 , 2×10^3 , 3×10^3 spora/ml.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi konidia *Fusarium* sp. terhadap pembentukan gubal gaharu pada pohon *Aquilaria* sp. melalui

metode injeksi buatan. Proses ini penting untuk memahami peran patogen, terutama fungi penghasil enzim selulosa dan ligninolitik seperti lakase, dalam mempercepat pembentukan gubal atau resin gaharu.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Apakah konsentrasi konidia *Fusarium* sp. berbeda berpengaruh terhadap diameter pembentukan gubal gaharu?
2. Pada konsentrasi berapakah *Fusarium* sp. dapat menghasilkan aroma khas gubal berdasarkan *olfactory test*?
3. Bagaimana kemampuan aktivitas enzim yang dihasilkan oleh fungi *Fusarium* sp. dalam proses pembentukan gubal gaharu?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh pemberian konsentrasi konidia berbeda terhadap pembentukan diameter gubal gaharu.
2. Mengetahui konsentrasi yang optimal untuk menghasilkan aroma khas gubal terbaik.
3. Mengetahui kemampuan enzim ligninolitik seperti lacase, selulase yang dihasilkan *Fusarium* sp., serta peran dalam pembentukan gubal gaharu.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain meningkatkan produksi gubal gaharu melalui metode injeksi buatan dengan menggunakan fungi *Fusarium* sp. dan memberikan wawasan baru mengenai potensi dan manfaat fungi patogen *Fusarium* sp. khususnya dalam kaitanya dengan pembentukan gubal gaharu. Teknik ini untuk meningkatkan efisiensi dalam budidaya gaharu serta meningkatkan produktivitas gaharu tanpa harus mengeksploitasi pohon secara berlebihan di alam liar.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Simpulan dari penelitian ini adalah:

1. Konsentrasi konidia berbeda memengaruhi hasil diameter pembentukan gubal gaharu.
2. Konsentrasi yang berbeda berpengaruh terhadap aroma khas yang dihasilkan oleh gubal gaharu. Konsentrasi 1×10^7 konidia/ml merupakan konsentrasi yang mampu menghasilkan aroma khas kuat berdasarkan *olfactory test*.
3. Enzim ekstraseluler yang dihasilkan fungi *Fusarium* sp. mampu menstimulasi pembentukan gubal dengan mengubah jaringan kayu normal menjadi warna coklat yakni gubal gaharu.

B. Saran

Saran dari penelitian ini adalah diperlukannya penelitian lanjutan untuk menambah variasi konsentrasi konidia *Fusarium* sp., dan penelitian pengembangan dengan memanfaatkan fungi patogen lainnya selain *Fusarium* sp.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR PUSTAKA

- Alkahfi, F., Wayan, A., & I Gede Putu, W. (2021). Isolasi dan Identifikasi Bakteri Selulolitik pada Sampah Organik di TPA Suwung Denpasar. *Agroekoteknologi Tropika*, 10(2), 153–160.
- Anna, N., Batara, E., & Siregar, M. (2015). Reisolasi dan Identifikasi Fungi pada Batang Gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) Hasil Isolation and Identifying of Fungi from The Stem of Agarwood (*Aquilaria malaccensis* Lamk .) was had been Inoculation . *Peronema Forestry Science Journal*, 4(3), 283–287.
- Aprilia, S. A., Wonorahardjo, S., & Utomo, Y. (2023). Analysis of Flavor in Roasted Coffee Using Temperature Programmable Injection (TPI) at GC/MS Method. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 46–53.
- Associate Professor, S. C., & Soundhari Associate Professor, C. C. (2019). Isolation and partial purification of laccase from *Calocybe indica* and its application in dye decolourization. ~ 23 ~ *The Pharma Innovation Journal*, 8(7), 23–29. www.thepharmajournal.com
- Azmi, F., Chatri, M., Advinda, L., & Irdawati. (2021). Effect of Rambutan Leaf Extract (*Nephelium lappaceum* L.) on Colony Diameter and Percentage of Growth of Inhibition *Fusarium oxysporum* Pengaruh Ekstrak Daun Rambutan (*Nephelium lappaceum* L.). *Serambi Biologi*, 6 (1), 7–11.
- Azwin, A. (2016). Inokulasi *Fusarium* sp. Pada Pohon Karas (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) Terhadap Pembentukan Gaharu. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 11(2), 60–75. <https://doi.org/10.31849/forestra.v11i2.180>
- 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>
- Dewantari, S. S., & Rahayu, Y. S. (2021). Aktivitas Biofungisida Ekstrak Daun Dewandaru (*Eugenia uniflora* L.) dalam Menghambat Pertumbuhan *Fusarium* sp. Secara In Vitro. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 10(2), 199–206. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v10n2.p199-206>
- 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>
- Dini, I. R., & Munifah, I. (2014). Produksi dan Karakterisasi Enzim Selulase Ekstrak Kasar dari Bakteri yang Diisolasi dari Limbah Rumpun Laut. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 6(3). <https://doi.org/10.17969/jtipi.v6i3.2315>
- Efri, E., Prasetyo, J., & Suharjo, R. (2009). Skrining Dan Uji Antagonisme Jamur *Trichoderma harzianum* Yang Mampu Bertahan Di Filosfer Tanaman Jagung. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 9(2), 121–129.

- El-Nahrawy, sahar. (2017). culture conditions for production of cellulase by *Aspergillus tubingensis* KY615746 using rice straw waste. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/jenvbs.2017.1525.1007>
- 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>
- Fitriasari, P. D., Soetarto, E., & Surata, I. K. (2021). Induction of Agarwood Formation by Lignocellulolytic Bacteria. *Proceedings of the International Conference on Engineering, Technology and Social Science (ICONETOS 2020)*, 529(Iconetos 2020), 345–351. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210421.049>
- Gde Adi Suryawan Wangiyana, I. (2020). Development of Induction Technology on Agarwood Cultivation- A Review. *Jurnal Sangkareang Mataram*, 6(1), 2355–2929. <http://www.untb.ac.id/Maret-2019/>
- 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>
- Heriyanto. (2019). Kajian Pengendalian Penyakit Layu *Fusarium* dengan *Trichoderma* pada Tanaman Tomat. *Triton*, 10(1), 45–58.
- Hidayat, H., Siburian, R., & Indah Yuliana, C. (2020). Gaharu Alam, Jaringan Perdagangan, dan Gaharu Budidaya: Studi Kasus Kalimantan Timur. *Jurnal Biologi Indonesia*, 16(1), 99–110. <https://doi.org/10.47349/jbi/16012020/99>
- Hotmian, E., Suoth, E., & Tallei, T. (2021). GC-MS (Gas Chromatography - Mass Spectrometry) Analysis Of Nut Grass Tuber (*Cyperus rotundus* L .) Methanolic Extract Analisis GC-MS (Gas Chromatography - Mass Spectrometry) Ekstrak Methanol Dari Umbi Rumpuk Teki (*Cyperus rotundus* L .). 10, 849–856.
- Iskandar, D., & Suhendra, A. (2013). Uji Inokulasi *Fusarium* sp Untuk Produksi Gaharu Pada Budidaya A. Beccariana. *Jurnal Sains Dan Teknologi Indonesia*, 14(3). <https://doi.org/10.29122/jsti.v14i3.924>
- 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.
- Kammaruddin, Titawael, R., & Gawariah. (2022). Contribution of Gaharu (*Aquilaria* sp) to Community Income in Fatmite Village, Namrole District, South Buru Regency. *Jurnal Agrohut*, 12(1), 1–8.
- Kumar, A., & Chandra, R. (2020). 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>
- Lozovaya, V. V., Lygin, A. V., Zernova, O. V., Li, S., Widholm, J. M., & Hartman, G. L. (2006). Lignin degradation by *Fusarium solani* f. sp. glycines. *Plant Disease*, 90(1), 77–82. <https://doi.org/10.1094/PD-90-0077>

- Margareta M. A. H., & Wonorahardjo, S. (2023). Optimasi Metode Penetapan Senyawa Eugenol dalam Minyak Cengkeh Menggunakan Gas Chromatography – Mass Spectrum dengan Variasi Suhu Injeksi. *Jurnal Sains Dan Edukasi Sains*, 6(2), 95–103. <https://doi.org/10.24246/juses.v6i2p95-103>
- Mega, I., Suanda, D., Kasniari, D., Suena, W., & Parwata, M. (2012). Formulasi Inokulan Jamur Pembentuk Gubal Gaharu pada Tanaman Ketimunan (*Gyrinops versteegii*). *Agrotrop: Journal on Agriculture Science*, 2(2), 139–144.
- Nani, M., Harahap, E. O. R., Khastini, R. O., & Ahmad, F. (2023). Deteksi Penyakit Layu *Fusarium* pada Pisang-Pisang Lokal di Pandeglang. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 19(4), 133–144. <https://doi.org/10.14692/jfi.19.4.133-144>.
- Nelly, S., Supriyadi., Ridwan., Teuku., R, Nurhanifa, A., Een, S. (2022). Jurnal Reaksi (*Journal of Science and Technology*) Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe. *Jurnal Reaksi*, 15(01), 46–53.
- Nugroho, R., Irasakti, L., & Mulyaningsih, T. (2006). Pengaruh Konsentrasi Spora Jamur *Fusarium* sp. Terhadap Produksi Gubal Gaharu pada Pohon Ketimunan (*Gyrinops versteegii* (Gilg.) Domke. (The Effect *Fusarium* sp. Spore Concentration on Aloeswood Production on *G. versteegii* Tree. *Jurnal Pen.*
- Nur Hidayati, Siti Husna Nurrohmah, & Fira Revina. (2020). Isolasi Dan Identifikasi Patogen Yang Menyerang Benih Sengon, Gmelina, Mahoni Dan Tisuk. *Talenta Conference Series: Agricultural and Natural Resources (ANR)*, 3(1). <https://doi.org/10.32734/anr.v3i1.828>
- Nuriah, S., Putri, M. D., Rahayu, S., Advaita, C. V., Nurfadhila, L., & Utami, M. R. (2023). Analisis Kualitatif Senyawa Parasetamol Pada Sampel Biologis Menggunakan Metode Gas Chromatography - Mass Spectrometry (GC-MS). *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 6(2), 795–803. <https://doi.org/10.36490/journal-jps.com.v6i2.158>
- Pasaribu, G., Waluyo, T. K., & Pari, G. (2013). Analisis of Chemical Compound in Some of Agarwood Quality by Gas Chromatography Mass Spectrometry. *Journal of Forest Product Research*, 31(3), 181–185.
- Rachmawaty, R., Ashar, A., Ali, A., Pagarra, H., & Hiola, S. F. (2021). Pembentukan Gaharu Pada Pohon *Aquilaria malaccensis* Lamk., Menggunakan Inokulum *Fusarium* sp. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 10(2), 178. <https://doi.org/10.35580/sainsmat102262252021>
- Reksohadiwinoto, B. S., Rosmalawati, S., Cahyana, P. T., & Hariyanto, B. (2017). Enzim Laccase dari Edible Mushroom untuk Pemutihan Pati Sagu Ramah Lingkungan Laccase Enzyme from Edible Mushroom for Bioleaching Sago Starch with Environmental Friendly. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 224–232.
- 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* Lamk.) 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>
- Samsuri, T. (2013). Pengaruh Berbagai Intensitas Cahaya Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun Tanaman Gaharu (*Gyrinops versteegii* (Gilg.) Domke). *Jurnal Ilmiah Biologi "Bioscientist"*, 1(1), 2338–5006.
- 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>
- Suada, I. K. (2011). Keefektifan Ekstrak Biota Laut Aglaophenia Terhadap Aktivitas Enzim Ekstraseluler Dan Kandungan Protein *Fusarium* Serta Persentase Busuk Batang Vanili. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 11(2), 157–165. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.211157-165>
- Subowo, Y. B. (2016). Jamur Pembentuk Gaharu Sebagai Penjaga Kelangsungan Hidup Tanaman Gaharu (*Aquilaria* sp). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(2), 167. <https://doi.org/10.29122/jtl.v11i2.1200>
- Subowo, Y. B. (2015). Isolasi dan seleksi jamur tanah pengurai selulosa dari berbagai lingkungan. 1, 423–427. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010307>
- Suhendra, A., Roswanjaya, Y. P., & Handayani, D. P. (2012). Aplikasi inokulasi *Fusarium* untuk mempercepat proses pembentukan dan produksi gubal gaharu di Kabupaten Penajam Paser Utara Kalimantan Timur. 1982, 64–69.
- 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(August 2020), 104498. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104498>
- Sutejo, A. M., Priyatmojo, A., & Wibowo, A. (2008). Identifikasi Morfologi Beberapa Spesies Jamur *Fusarium*. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 14(1), 7–13.
- Triadiati, T., & Miftahudin, M. (2021). Pemberdayaan Masyarakat pada Budi Daya dan Pengembangan Produk Pohon Gaharu (*Aquilaria* sp.) di Kabupaten Tolitoli, Sulawesi Tengah. *Agrokreatif: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(2), 174–184. <https://doi.org/10.29244/agrokreatif.7.2.174-184>
- Ulya, H., Darmanti, S., & Ferniah, R. S. (2020). Pertumbuhan Daun Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.) yang Diinfeksi *Fusarium oxysporum* pada Umur Tanaman yang Berbeda. *Jurnal Akademika Biologi*, 9(1), 1–6.
- 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>
- Wilisiani, F., & Hasibuan, A. (2020). Identifikasi *Fusarium* Sp. Dari Tanaman Pisang

Sebagai Inokulan Pembentukan Gaharu. *Jurnal Pertanian Agros*, 22(2), 253–257.

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.

Yulizah, Rahajoe, J. S., Fefirenta, A. D., & Nugroho, A. A. (2022). the Population and Distribution of Agarwood Producing Tree (*Aquilaria Malaccensis*) in Riau Province. *Reinwardtia*, 21(1), 1–11. <https://doi.org/10.55981/reinwardtia.v21i1.3874>

Zahra, N. N., Muliasari, H., Andayani, Y., & Sudarma, M. (2021). Karakteristik Fisikokimia Ekstrak Madu Dan Propolis. *Agrotek Ummat*, 8(1), 7–14.

Zamrodah, Y. (2016). Pertumbuhan tanaman Gaharu (*Aquilaria* spp) Yang Diinokulasi Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) Diabawah Tiga Kondisi Naungan. *Jurnal Hutan Lestari*, 15(2), 1–23

