

**PENGARUH JARAK LUBANG INOKULASI TERHADAP KESEMPURNAAN
PEMBENTUKAN RESIN PADA POHON GAHARU (*Aquilaria filaria*)
DI DESA URSANA. KABUPATEN SERAM BAGIAN BARAT**

**EFFECT OF INOCULATION HOLE SPACING ON RESIN
FORMATION IN AGARWOOD TREES (*Aquilaria filaria*)
IN URSANA VILLAGE, WEST SERAM REGENCY**

Seivra Henderina Noya¹, Johan M. Matinahoru^{2*}, Ludia Siahaya³

^{1,2,3}Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Pattimura Ambon
Jalan. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka – Ambon, 97233. Indonesia

*Email Korespondensi: johanmatinahoru@gmail.com

ABSTRAK

Gaharu (*Aquilaria filaria*) merupakan hasil hutan bukan kayu bernilai ekonomi tinggi yang pembentukan resinnya dapat diinduksi melalui inokulasi jamur *Fusarium oxysporum*. Keberhasilan proses tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya jarak antar lubang inokulasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jarak lubang inokulasi *F. oxysporum* terhadap pembentukan resin pada pohon gaharu. Penelitian dilaksanakan di Desa Ursana, Kecamatan Inamosol, Kabupaten Seram Bagian Barat pada Maret–Juni menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan dua faktor, yaitu jarak inokulasi vertikal (10 cm dan 15 cm) serta jarak inokulasi horizontal (2 cm, 4 cm, dan 6 cm). Parameter yang diamati meliputi tingkat kesempurnaan pembentukan daerah infeksi, luas daerah infeksi, warna jaringan kayu, dan aroma gaharu. Data dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA), uji BNJ pada taraf kepercayaan 95%, dan uji Friedman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak lubang inokulasi berpengaruh nyata terhadap luas daerah infeksi, warna jaringan kayu, dan aroma gaharu. Kombinasi jarak vertikal 10 cm dan horizontal 2 cm menghasilkan luas daerah infeksi tertinggi (25,70 cm²), warna jaringan kayu cokelat kehitaman, serta aroma khas gaharu yang terdeteksi jelas. Perlakuan tersebut juga menunjukkan penyatuan daerah infeksi antar lubang inokulasi dengan tingkat kesempurnaan pembentukan daerah infeksi sebesar 20,68%. Penggunaan jarak lubang inokulasi yang lebih rapat, khususnya kombinasi jarak vertikal 10 cm dan horizontal 2 cm, lebih efektif dalam mendukung pembentukan resin gaharu pada *Aquilaria filaria*.

Kata kunci: *Aquilaria filaria*, *Fusarium oxysporum*, gaharu, inokulasi, resin.

ABSTRACT

Agarwood (*Aquilaria filaria*) is a high-value non-timber forest product whose resin formation can be induced through inoculation with the fungus *Fusarium oxysporum*. The success of resin induction is influenced by several factors, including the spacing between inoculation holes. This study aimed to analyze the effect of inoculation hole spacing on resin formation in *A. filaria*. The research was conducted in Ursana Village, Inamosol District, West Seram Regency, from March to June. A factorial Completely Randomized Design (CRD) was employed with two factors: vertical inoculation spacing (10 cm and 15 cm) and horizontal inoculation spacing (2 cm, 4 cm, and 6 cm). The observed parameters included the degree of infection zone formation, infection zone area, wood tissue color, and agarwood aroma. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test at a 95% confidence level, while qualitative data were analyzed using the Friedman test. The results showed that inoculation hole spacing significantly affected the infection zone area, wood tissue color, and agarwood aroma. The combination of 10 cm vertical spacing and 2 cm horizontal spacing produced the largest infection zone area (25.70 cm²), dark brown wood discoloration, and a clearly detectable characteristic agarwood aroma. This treatment also exhibited the highest degree of infection zone fusion between inoculation holes, reaching 20.68%. These findings indicate that closer inoculation hole spacing, particularly the combination of 10 cm vertical spacing and 2 cm horizontal spacing, is more effective in promoting agarwood resin formation in *Aquilaria filaria*.

Keywords: *Aquilaria filaria*, agarwood, *Fusarium oxysporum*, inoculation, resin formation.

Received: 24 Juni 2026; Revised: 25 Juni 2026; Accepted: 19 Juli 2026; Published: 23 Juli 2026

Vol. 3 No. 4. Juli 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

438

PENDAHULUAN

Seiring dengan upaya pemerintah pusat dalam pengembangan hasil hutan bukan kayu (HHBK), pemerintah daerah perlu mengimplementasikan dan mengoptimalkan program tersebut melalui pemanfaatan seluruh potensi yang tersedia guna meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pemanfaatan hasil hutan bukan kayu (HHBK) di Provinsi Maluku selama ini masih berfokus pada komoditas yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan menjadi prioritas pengembangan, seperti gaharu, damar, minyak kayu putih, dan madu. Pengelolaan komoditas tersebut perlu dilakukan secara terpadu agar selaras dengan sistem perencanaan kehutanan, karena berkaitan dengan arah pemanfaatan hutan, kegiatan rehabilitasi dan konservasi, penelitian dan pengembangan, penguatan kelembagaan, serta pemberdayaan masyarakat yang terdapat di dalam Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.49/Menhut-II/2011 tentang Rencana Kehutanan Tingkat Nasional (RKTN) Tahun 2011–2030 (Menteri Kehutanan Republik Indonesia, 2011)

Pohon Gaharu (*Aquilaria spp*) merupakan jenis pohon yang memproduksi gubal gaharu, sehingga disebut sebagai pohon yang menghasilkan gaharu. Tipe pohon ini dikenal sebagai kayu keras. Gaharu berjenis *Aquilaria filaria* dan *Aquilaria malaccensis* merupakan hasil hutan bukan kayu (HHBK) dari jenis komoditi yang banyak tumbuh menyebar di Kepulauan Maluku antara lain di Buru dan Seram. Gaharu dari kedua jenis ini menjadi komoditas utama / primadona dan berharga jual tinggi. Produk Gaharu ini biasanya dipasarkan dalam bentuk kayu, serbuk dan minyak (parfum) (Wattimena et al., 2024)

Saat ini di Maluku sendiri pada Pulau Seram dan Pulau Buru tersebar Gaharu/Kemedangan (telah dibudidayakan dan diperdagangkan secara terbatas), Untuk mengoptimalkan pemanfaatan hasil hutan bukan kayu serta peningkatan penerimaan negara bukan pajak sektor kehutanan maka Dinas Kehutanan Provinsi Maluku melalui kegiatan pengembangan HHBK telah melaksanakan teknik budidaya pohon gaharu dan penerapan teknik inokulasi gaharu yang tersebar di Kabupaten penghasil gaharu (Wattimena et al., 2024).

Perdagangan gaharu di Indonesia, menunjukkan potensi yang signifikan di pasar internasional, terutama ke negara-negara seperti Arab Saudi dan China, dengan nilai transaksi mencapai sekitar US\$ 1,377 juta selama periode Januari 2019 hingga April 2021. Gaharu, sebagai salah satu produk hutan non-kayu yang bernilai tinggi, memiliki harga yang bervariasi berdasarkan kualitas atau grade, mulai dari grade mikro hingga grade double super, dengan harga per kilogramnya berkisar antara US\$ 915 hingga US\$ 2,199. Pemasaran gaharu memerlukan strategi yang efektif, terutama dalam pemilihan harga dan promosi produk, untuk meningkatkan daya saing di tengah persaingan pasar yang ketat. Hasil analisis menunjukkan bahwa grade mikro dan mini super mampu memberikan kontribusi signifikan terhadap total penjualan, meskipun terdapat perbedaan harga yang signifikan

antara berbagai grade. Kebijakan pemasaran yang tepat diperlukan untuk memaksimalkan keuntungan dan memastikan keberlanjutan pasokan gaharu di masa mendatang. (Fikri et al., 2022).

Jamur *Fusarium* merupakan genus jamur yang banyak ditemukan di tanah dan jaringan pohon, baik sebagai organisme saprofit maupun patogen. Jamur ini dikenal mampu menginfeksi pohon melalui jaringan yang terluka dan menimbulkan berbagai respon fisiologis, seperti kerusakan jaringan dan gangguan sistem pembuluh. Dalam beberapa pohon berkayu, infeksi *Fusarium* dapat memicu mekanisme pertahanan pohon berupa pembentukan senyawa tertentu sebagai respons terhadap serangan mikroorganisme. Dalam konteks kehutanan, khususnya pada pohon gaharu, jamur *Fusarium* memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai agen inokulasi karena kemampuannya merangsang pembentukan resin sebagai bagian dari respon pertahanan pohon. Oleh karena itu, pemahaman mengenai karakteristik dan peran jamur *Fusarium* penting sebagai dasar pengembangan teknologi inokulasi dalam upaya meningkatkan produksi gaharu secara terkontrol dan berkelanjutan (Denny et al., 2024).

Pembentukan gaharu melalui teknik inokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis, salah satunya adalah jarak antar lubang inokulasi. Jarak lubang inokulasi berperan penting dalam menentukan intensitas pelukaan dan penyebaran mikroorganisme yang memicu respon pertahanan pohon dalam membentuk resin gaharu (Kusumaningsih & Asmita, 2022; Bili, 2024). Secara umum, jarak lubang yang lebih rapat mampu meningkatkan akumulasi infeksi dan mempercepat pembentukan gubal gaharu, sedangkan jarak yang terlalu renggang cenderung menghasilkan luas infeksi yang lebih kecil dan pembentukan resin yang kurang optimal. Oleh karena itu, pengaturan jarak lubang inokulasi menjadi aspek penting dalam pengembangan teknologi inokulasi gaharu untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi budidaya gaharu secara berkelanjutan (Munajim, 2025).

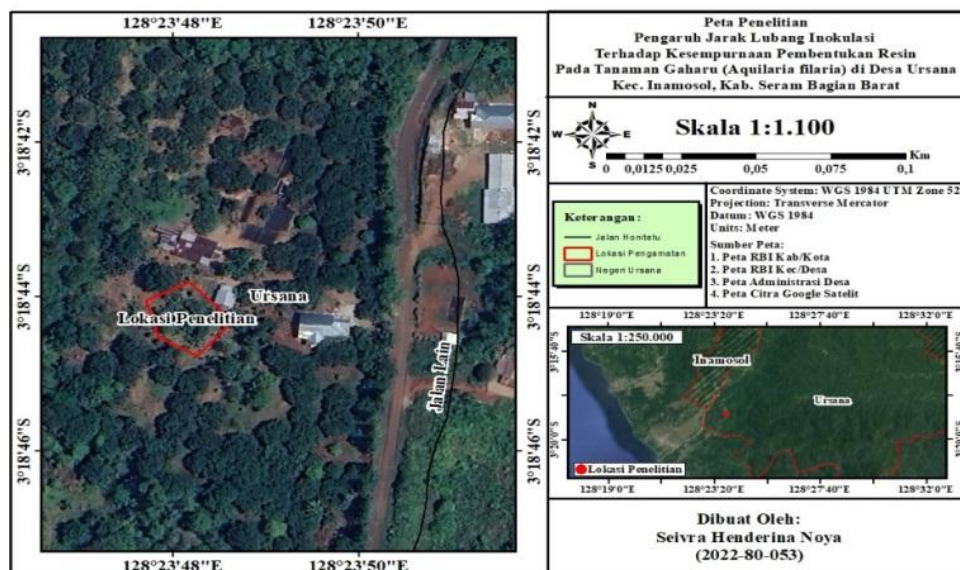
Penelitian ini penting untuk mendukung optimalisasi pemanfaatan hasil hutan bukan kayu (HHBK) di Maluku, khususnya gaharu (*Aquilaria filaria*), yang memiliki nilai ekonomi tinggi di tingkat lokal maupun internasional. Efektivitas pembentukan resin pada gaharu dipengaruhi oleh faktor teknis, seperti jarak lubang inokulasi, serta karakteristik jamur *Fusarium* sebagai agen penginduksi pembentukan resin. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk menghasilkan informasi ilmiah yang dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan budidaya gaharu, sekaligus mendukung pengelolaan HHBK yang terpadu dan peningkatan kesejahteraan masyarakat.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh jarak lubang inokulasi terhadap kesempurnaan pembentukan resin pada pohon gaharu (*Aquilaria filaria*) telah dilaksanakan di Desa Ursana, Kecamatan Inamosol,

Kabupaten Seram Bagian Barat. Pelaksanaan penelitian dilakukan selama 4 bulan, yaitu pada bulan Maret hingga Juni 2026.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Alat dan Bahan Penelitian

Alat Yang Digunakan Proses Isolasi Dan Pembiakan Jamur *Fusarium*

Tabel 1. Alat yang digunakan untuk Isolasi dan Perbiakan Jamur *Fusarium*

No	Nama Alat	Kegunaan
1.	Gelas Ukur	Mengukur volume cairan/larutan
2.	Timbangan Analitik	Menimbang berat suatu bahan
3.	Wadah Plastik	Penampungan perlakuan larutan
4.	Kamera Handphone	Dokumentasi kegiatan penelitian
5.	Alat Tulis Menulis	Menulis hasil pengamatan

Alat Persiapan Pengujian Inokulan di Lapangan

Tabel 2. Alat Persiapan Pengujian Inokulan di Lapangan

No	Nama Alat	Kegunaan
1.	Mistar	Mengukur perkembangan seberapa besar pengaruh inokulan
2.	Kamera Handphone	Dokumentasi
3.	Alat Tulis Menulis	Menulis hasil pengamatan
4.	Paku Pompa	Menempelkan kertas transparan di batang pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)
5.	Plastik Label	Memberikan keterangan di setiap perlakuan inokulan ke batang pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)
6.	Suntikan 10cc	Menyuntikan inokulan ke batang pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)
7.	Bor Listrik	Membuat lubang inokulan pada batang pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)
8.	Parang/Golok	Membersihkan area sekitar pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)
9.	Kertas Jilid Bening	Menutup semua lubang inokulan pada pohon gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)

Bahan untuk Proses Isolasi dan Perbanyak Jamur *Fusarium oxysporum*

Tabel 3. Bahan Untuk Proses Isolasi dan Pemiakan Jamur *Fusarium oxysporum*

No	Nama Bahan	Kegunaan
1.	Batang Pisang	Yang terinfeksi jamur <i>Fusarium</i>
2.	Air Rebusan Kentang	Bahan Campuran Media
3.	Gula Merah 20 Gram	Bahan Campuran Media
4.	PDA 500 Gram	Sebagai Media Perbiakan Jamur
5.	KOH 10%	Merendam Sampel
6.	Aquades	Bahan Pembersih Akar dan Bahan Campuran Pewarna
7.	Agar – Agar Bubuk (Putih)	Sebagai Media Perbiakan Jamur

Bahan Penelitian Untuk Persiapan Pengujian Inokulan di Lapangan

Tabel 4. Bahan Penelitian Untuk Persiapan Pengujian Inokulan di Lapangan

No	Nama Bahan	Kegunaan
1.	Alkohol 70%	Mensterilkan Semua Alat Sebelum dan Sesudah Digunakan
2.	Air Aqua	Menetralisir Semua Alat Sebelum dan Sesudah Digunakan
3.	Kertas Transparan	Menutupi Lubang Yang Telah Di Suntikan
4.	Kapas	Membersihkan Batang Pohon Gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>) Setelah Selesai Penyuntikan
5.	Inokulan	Menginduksi pembentukan resin melalui proses infeksi
6.	Batang Pohon Gaharu (<i>Aquilaria filaria</i>)	Sebagai Media Penelitian

Rancangan Penelitian

Rancangan Acak Lengkap (RAL) merupakan desain eksperimen dalam penelitian kuantitatif yang digunakan untuk menguji hipotesis dengan cara mengalokasikan perlakuan secara acak pada seluruh unit percobaan, sehingga setiap unit memiliki peluang yang sama untuk menerima setiap perlakuan (Rahmawati & Erina, 2020).

Penelitian ini dirancang menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 2 perlakuan yaitu sebagai berikut :

1. Faktor A (Jarak Inokulasi secara Vertikal)
 - V1 = 10 cm
 - V2 = 15 cm
2. Faktor B (Jarak Inokulasi secara Horizontal)
 - H1 = 2 cm
 - H2 = 4 cm
 - H3 = 6 cm

Penelitian ini melibatkan 6 pohon gaharu sebagai sampel, yang setiap pohonnya diberikan perlakuan jamur *Fusarium oxysporum* dengan 3 ulangan teknis berupa baris lubang inokulasi.

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan Media Potato Dextrose Agar (PDA)

Media PDA dibuat dengan merebus 50 g potongan kentang dalam 500 mL akuades hingga lunak untuk diambil ekstraknya. Ekstrak kentang disaring menggunakan labu Erlenmeyer, lalu ditambahkan 20 g gula merah dan agar-agar bubuk hingga volume total mencapai 500 mL. Campuran dipanaskan dan diaduk hingga homogen, kemudian dituangkan ke dalam wadah plastik steril dan didinginkan hingga memadat.

Isolasi Jamur *Fusarium oxysporum*

Isolat *F. oxysporum* diperoleh dari jaringan batang tanaman pisang yang menunjukkan gejala infeksi. Batang tersebut dipotong kecil secara aseptis, lalu diinokulasikan ke dalam media PDA steril. Isolat diinkubasi selama 14 hari hingga pertumbuhan miselium mencapai kondisi optimum. Setelah masa inkubasi, miselium jamur dipindahkan ke dalam media cair yang terbuat dari rebusan air kentang dan 20 g gula merah.

Inokulasi Jamur di Lapangan

Inokulasi dilakukan pada enam pohon gaharu (*Aquilaria filaria*) terpilih. Area sekitar pohon dibersihkan, dan diameter batang diukur pada ketinggian 1,3 m dari permukaan tanah. Titik inokulasi awal ditentukan pada ketinggian 20 cm dari permukaan tanah. Pengeboran dilakukan dengan sudut 45° menggunakan mata bor 7 cm, dengan kedalaman lubang sepertiga dari jari-jari batang (31r). Jarak antar-lubang diatur berdasarkan variasi perlakuan vertikal (10 cm dan 15 cm) serta horizontal (2 cm, 4 cm, dan 6 cm). Sebelum dan sesudah pengeboran, alat bor dan area sekitar lubang disterilkan menggunakan alkohol 70%. Inokulan *F. oxysporum* disuntikkan ke dalam lubang bor, yang kemudian ditutup dengan kertas jilid bening untuk mencegah kontaminasi. Langkah terakhir melibatkan pemberian label yang memuat kode perlakuan, nomor pohon, dan tanggal inokulasi.

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan 4 bulan setelah inokulasi jamur *fusarium oxysporum*. Parameter yang dilihat meliputi :

1. Kesempurnaan daerah serangan jamur secara vertikal maupun horizontal
2. Panjang daerah infeksi jamur *fusarium oxysporum*
3. Lebar daerah infeksi jamur
4. Warna daerah infeksi jamur

Identifikasi warna mengacu pada Standar Nasional Indonesia 7631:2011 dengan klasifikasi sebagai berikut :

Tabel 5. Kriteria Penilaian Warna Resin Gaharu Berdasarkan SNI 7631:2011

Skor	Warna
0	Putih
1	Putih Kecoklatan
2	Coklat
3	Coklat Kehitaman

5. Aroma daerah infeksi jamur

Penilaian aroma mengacu pada Standar Nasional Indonesia 7631:2011 sebagai berikut :

Tabel 6. Kriteria Penilaian Aroma Resin Berdasarkan SNI 7631:2011

Skor	Aroma
0	Tidak Beraroma
1	Agak Beraroma
2	Cukup Beraroma
3	Sangat Beraroma

Metode Analisis Data

Data hasil penelitian ditabulasi dan dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak Minitab 19. Data kuantitatif yang meliputi panjang daerah infeksi, lebar daerah infeksi, dan luas daerah infeksi dianalisis menggunakan Analysis of Variance (ANOVA) berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial untuk mengetahui pengaruh faktor jarak vertikal, jarak horizontal, serta interaksi antara kedua faktor terhadap pembentukan daerah infeksi pada pohon gaharu (*Aquilaria filaria*). Apabila hasil analisis menunjukkan pengaruh nyata pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$), maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Jujur (BNJ) untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

Data kualitatif berupa skor warna dan skor aroma gaharu yang bersifat ordinal dianalisis menggunakan Uji Friedman pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Uji Friedman digunakan untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap perbedaan skor warna dan aroma yang terbentuk pada masing-masing perlakuan. Analisis data skor warna dan aroma dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 19.

Metode linier Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Keterangan :

- Y_{ij} : Nilai pengamatan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j
- μ : Nilai rata-rata umum
- τ_i : Pengaruh perlakuan jarak lubang inokulasi ke-i
- ϵ_{ij} : Pengaruh acak pada perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Jarak Lubang Inokulasi terhadap Kesempurnaan Pembentukan Daerah Infeksi

Perkembangan daerah infeksi setelah inokulasi dapat diamati melalui pengukuran panjang, lebar, dan luas infeksi yang terbentuk pada jaringan kayu. Parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas jarak lubang inokulasi dalam mendukung penyebaran infeksi yang berpotensi merangsang pembentukan resin gaharu.

Tabel 7. Tingkat Kesempurnaan Pembentukan Daerah Infeksi pada Berbagai Jarak Lubang Inokulasi pada Pohon Gaharu (*Aquilaria filaria*)

Perlakuan	Ulangan	Vertikal (cm)	Horizontal (cm)	Kesempurnaan(%)
V10H2	1	0	5	17,24%
	2	0	6	20,68%
	3	0	0	0
V10H4	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
V10H6	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
V15H2	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
V15H4	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0
V15H6	1	0	0	0
	2	0	0	0
	3	0	0	0

Berdasarkan pengamatan, tingkat kesempurnaan pembentukan daerah infeksi menunjukkan variasi antarperlakuan jarak lubang inokulasi (Tabel 7). Perlakuan dengan jarak vertikal 10 cm dan horizontal 2 cm (V10H2) menjadi satu-satunya perlakuan yang berhasil membentuk penyatuan daerah infeksi antar-lubang, dengan nilai kesempurnaan 17,24% (ulangan I) dan 20,68% (ulangan II). Sebaliknya, nilai kesempurnaan pada ulangan III perlakuan V10H2 serta seluruh ulangan pada perlakuan lainnya (V10H4, V10H6, V15H2, V15H4, V15H6) masih sebesar 0%, mengindikasikan daerah infeksi yang terbentuk masih berkembang secara terpisah.

Hasil ini menegaskan bahwa jarak antar-lubang inokulasi yang lebih rapat (V10H2) memfasilitasi bertemunya perkembangan infeksi dari masing-masing titik untuk membentuk zona infeksi yang lebih luas dan kontinu (Krihariyani, 2024). Temuan ini sejalan dengan Irfandi (2017) bahwa pengaturan jarak inokulasi yang sesuai mengoptimalkan penyebaran infeksi pada tanaman

Received: 24 Juni 2026; Revised: 25 Juni 2026; Accepted: 19 Juli 2026; Published: 23 Juli 2026

Vol. 3 No. 4. Juli 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

445

gaharu. Sebaliknya, jarak horizontal (4 cm dan 6 cm) maupun vertikal (15 cm) yang terlalu renggang membatasi pertemuan antar-zona infeksi karena panjangnya ruang yang harus ditempuh oleh agen penginfeksi. Hal ini mendukung pendapat Kusumaningsih & Asmita (2013) bahwa luas penyebaran infeksi dipengaruhi oleh jarak inokulasi, kemampuan kolonisasi patogen, dan fisiologi inang.

Ketidakeragaman respon pada ulangan III perlakuan V10H2 menunjukkan bahwa perkembangan infeksi bersifat individual pada tiap tanaman. Menurut Winarsih et al. (2014), variasi kolonisasi ini dipengaruhi oleh anatomi kayu, status fisiologis, ketersediaan nutrisi, dan sistem pertahanan pohon.

Secara biologis, pembentukan gaharu merupakan bentuk akumulasi metabolit sekunder (seperti senyawa fenolik, kromon, dan seskuiterpen) sebagai respon pertahanan terhadap luka dan infeksi (Rachmawaty et al., 2021). Penyatuan daerah infeksi pada area yang lebih luas menjadi indikator awal keberhasilan teknik inokulasi (Febriani, 2016). Meskipun tingkat kesempurnaan dalam penelitian ini masih rendah (maksimal 20,68%), fenomena ini menandakan dimulainya proses penyatuan zona infeksi yang membutuhkan waktu biologis bertahap.

Secara keseluruhan, perlakuan V10H2 memberikan efektivitas terbaik pada *Aquilaria filaria* karena jarak yang rapat memperbesar peluang terbentuknya zona infeksi berkesinambungan untuk mendukung pembentukan resin gaharu.

Perkembangan Panjang, Lebar, dan Luas Daerah Infeksi Jamur

Tabel 8. Perkembangan Panjang, Lebar, dan Luas Daerah Infeksi Jamur *Fusarium oxysporum* pada Berbagai Jarak Lubang Inokulasi

Perlakuan	Ulangan	Panjang Infeksi (cm)	Lebar Infeksi (cm)	Luas Infeksi (cm ²)
V10H2	1	9,2	3	27,6
	2	12,5	3	37,5
	3	6	2	12
Rata – Rata		9,23	2,67	25,7
V10H4	1	2,5	1,7	4,25
	2	2,7	1,6	4,32
	3	3,6	2,1	7,56
Rata – Rata		2,93	1,8	5,38
V10H6	1	3,5	1,9	6,65
	2	3,5	2,1	7,35
	3	3,8	1,9	7,22
Rata – Rata		3,6	1,97	7,07
V15H2	1	2,3	2,4	5,52
	2	2,6	1,7	4,42
	3	3	1,8	5,4
Rata – Rata		2,63	1,97	5,11

Received: 24 Juni 2026; Revised: 25 Juni 2026; Accepted: 19 Juli 2026; Published: 23 Juli 2026

Perlakuan	Ulangan	Panjang Infeksi (cm)	Lebar Infeksi (cm)	Luas Infeksi (cm ²)
V15H4	1	2,7	1,7	4,59
	2	2,8	1,6	4,48
	3	2,9	1,6	4,64
Rata – Rata		2,8	1,63	4,57
V15H6	1	2,8	1,9	5,32
	2	2,7	1,5	4,05
	3	2,2	1,6	3,52
Rata – Rata		2,57	1,67	4,30

Secara keseluruhan, panjang daerah infeksi yang terbentuk pada seluruh perlakuan berkisar antara 2,2–12,5 cm, lebar berkisar antara 1,5–3,0 cm, dan luas daerah infeksi berada pada rentang 3,52–37,50 cm² (Tabel 8). Perbedaan nilai ini menunjukkan bahwa perkembangan infeksi tidak seragam dan dipengaruhi secara signifikan oleh pengaturan jarak lubang inokulasi.

Perlakuan V10H2 menghasilkan perkembangan daerah infeksi tertinggi dengan rata-rata panjang 9,23 cm, lebar 2,67 cm, dan luas 25,70 cm². Nilai ini jauh melampaui perlakuan lainnya yang hanya berkisar antara 4,30–7,07 cm². Luas infeksi maksimum pada V10H2 tercatat sebesar 37,50 cm² (panjang 12,5 cm; lebar 3 cm) pada ulangan kedua. Tingginya dimensi infeksi pada V10H2 membuktikan bahwa kombinasi jarak vertikal 10 cm dan horizontal 2 cm memberikan kondisi optimum bagi intensitas perkembangan infeksi. Hal ini sinkron dengan temuan fusi zona infeksi yang hanya terjadi pada perlakuan tersebut.

Sebaliknya, perlakuan dengan jarak lebih renggang menunjukkan perkembangan infeksi yang relatif rendah: V10H6: menghasilkan rata-rata luas 7,07 cm². Meskipun lebih tinggi dibanding variasi renggang lainnya, jarak horizontal 6 cm belum cukup dekat untuk memfasilitasi penyatuan daerah infeksi. V10H4, V15H2, V15H4, dan V15H6: masing-masing hanya menghasilkan rata-rata luas infeksi berturut-turut sebesar 5,38 cm², 5,11 cm², 4,57 cm², dan 4,30 cm². Titik infeksi pada perlakuan-perlakuan ini berkembang secara individual tanpa membentuk zona kontinu.

Variasi internal juga teramati pada ulangan perlakuan V10H2, di mana luas infeksi berkisar antara 12,00–37,50 cm²; ulangan ketiga belum menunjukkan penyatuan karena luasnya hanya mencapai 12,00 cm². Inkonsistensi respon ini dipengaruhi oleh variasi anatomi lokal (seperti kepadatan jaringan dan distribusi pembuluh) serta kondisi fisiologis tanaman inang yang memicu perbedaan respon pertahanan antarindividu pohon (Irfandi, 2017). Fenomena ini diperkuat oleh Azwin (2016) yang menyatakan bahwa efektivitas penyebaran infeksi pada pohon penghasil gaharu sangat ditentukan oleh interaksi antara posisi titik inokulasi, kapasitas kolonisasi patogen, dan fisiologi inang.

Secara fisiologis, dimensi penyebaran *Fusarium oxysporum* mencerminkan luas area interaksi yang memicu respon pertahanan tanaman melalui sintesis metabolit sekunder (senyawa fenolik,

Received: 24 Juni 2026; Revised: 25 Juni 2026; Accepted: 19 Juli 2026; Published: 23 Juli 2026

Vol. 3 No. 4. Juli 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

447

kromon, dan seskuiterpen) yang terakumulasi menjadi resin gaharu (Piancita, 2021). Dengan demikian, semakin luas daerah infeksi yang terbentuk pada perlakuan V10H2, semakin besar pula luasan jaringan *Aquilaria filaria* yang berpotensi memproduksi resin gaharu kualitas awal.

Tabel 9. Hasil Analisis Sidik Ragam Pengaruh Jarak Vertikal dan Horizontal Lubang Inokulasi terhadap Luas Daerah Infeksi *Fusarium oxysporum* pada *Aquilaria filaria*

Sumber Keragaman	db	JK	KT	Fhitung	P-Value
Vertikal (V)	1	292,0	292,09	10,30	0,008
Horizontal (H)	2	407,7	203,87	7,19	0,009
Interaksi (V × H)	2	356,1	178,08	6,28	0,014
Galat	12	340,4	28,37		
Total	17	1396,4			

Keterangan: db = derajat bebas; JK = jumlah kuadrat; KT = kuadrat tengah; Fhitung = nilai statistik F; P-Value = probabilitas signifikansi. Nilai $P < 0,05$ menunjukkan bahwa faktor jarak vertikal, jarak horizontal, maupun interaksi keduanya memberikan pengaruh nyata terhadap luas daerah infeksi.

Berdasarkan analisis sidik ragam (Tabel 9), faktor jarak lubang inokulasi vertikal maupun horizontal berpengaruh nyata terhadap luas daerah infeksi *Aquilaria filaria* setelah inokulasi *Fusarium oxysporum*. Faktor vertikal menunjukkan nilai F-hitung=10,30 (P-value=0,008), sedangkan faktor horizontal memiliki nilai F-hitung=7,19 (P-value=0,009). Karena kedua nilai $P < 0,05$, hipotesis nol (H_0) ditolak, yang menegaskan bahwa variasi jarak pada kedua arah tersebut secara signifikan memengaruhi perkembangan dimensi infeksi pada batang. Nilai Jumlah Kuadrat (JK) pada faktor horizontal (407,7) yang lebih besar dibandingkan faktor vertikal (292,0) mengindikasikan bahwa pengaturan jarak horizontal memberikan kontribusi keragaman yang lebih dominan terhadap perkembangan daerah infeksi. Jarak horizontal yang rapat memfasilitasi efektivitas penyebaran miselium jamur dan kolonisasi jaringan kayu, sementara jarak yang terlalu lebar membatasi pertemuan zona infeksi antar-titik inokulasi. Selain pengaruh faktor tunggal, ditemukan interaksi yang nyata antara faktor vertikal dan horizontal terhadap luas daerah infeksi (F-hitung=6,28; P-value=0,014<0,05). Adanya efek interaksi ini menunjukkan bahwa pengaruh jarak vertikal terhadap luas infeksi bergantung pada jarak horizontal yang diterapkan, sehingga performa luasan infeksi ditentukan oleh kombinasi spesifik kedua faktor tersebut. Hal ini mensubstansi data Tabel 8, di mana kombinasi perlakuan V10H2 (jarak rapat) terbukti menghasilkan rata-rata luas daerah infeksi tertinggi akibat kolonisasi jamur yang saling mendekat dan tumpang-tindih. Secara biologis, perluasan daerah infeksi mencerminkan keberhasilan *F. oxysporum* dalam mengkolonisasi jaringan pembuluh dan ruang antarsel inang. Kolonisasi yang masif ini menstimulasi respon pertahanan lokal *A. filaria* berupa akumulasi metabolit sekunder dan resin gaharu. Oleh karena itu, luas daerah infeksi yang terbentuk dari kombinasi jarak optimum dapat menjadi indikator awal efektivitas induksi resin gaharu. Akibat adanya pengaruh nyata pada faktor tunggal horizontal,

analisis dilanjutkan dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf kepercayaan 95% untuk mengetahui signifikansi antar-taraf perlakuan secara mendalam.

Tabel 10. Hasil Uji BNJ Dengan Tingkat Keyakinan 95% terhadap Rata-rata Luas Daerah Luas Infeksi pada Berbagai Jarak Horizontal Lubang Inokulasi

Perlakuan	Mean	Grouping
V10H2	25,70	A
V10H4	7,07	B
V10H6	5,38	B
V15H2	5,11	B
V15H4	4,57	B
V15H6	4,30	B

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang berbeda pada kolom perbedaan nyata antar perlakuan pada taraf kepercayaan 95% berdasarkan uji BNJ.

Hasil uji BNJ pada taraf kepercayaan 95% menunjukkan bahwa perlakuan V10H2 menempati kelompok A dengan rata-rata luas daerah infeksi tertinggi (25,70 cm²), dan berbeda nyata secara signifikan dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Sementara itu, perlakuan V10H6 (7,07 cm²), V10H4 (5,38 cm²), V15H2 (5,11 cm²), V15H4 (4,57 cm²), dan V15H6 (4,30 cm²) berada pada kelompok B dan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata satu sama lain.

Temuan ini mempertegas bahwa kombinasi jarak vertikal 10 cm dan horizontal 2 cm (V10H2) merupakan pengaturan spasial paling efektif untuk mengoptimalkan perkembangan infeksi *Fusarium oxysporum* pada batang *Aquilaria filaria*. Jarak lubang inokulasi yang rapat memicu daerah infeksi dari setiap titik saling mendekat hingga berpotensi tumpang tindih (*overlapping*), sehingga menghasilkan akumulasi luas infeksi yang jauh lebih besar. Sebaliknya, penempatan lubang dengan jarak yang lebih lebar menyebabkan pertumbuhan infeksi terisolasi di sekitar titik inokulasi masing-masing.

Bukti empiris ini selaras dengan hasil analisis sidik ragam sebelumnya yang mendeteksi adanya interaksi nyata antara faktor vertikal dan horizontal ($P=0,014$). Konsistensi tidak adanya perbedaan nyata di antara anggota kelompok B mengindikasikan bahwa variasi jarak yang lebih renggang menghasilkan kisaran respon biologis tanaman yang homogen dan terbatas.

Secara fisiologis, dominasi luasan infeksi pada perlakuan V10H2 merepresentasikan perluasan area jaringan *A. filaria* yang terlibat aktif dalam mekanisme pertahanan. Kondisi ini menstimulasi biosintesis serta akumulasi metabolit sekunder penting seperti senyawa fenolik, kromon, dan seskuiterpen yang menjadi prekursor utama pembentukan resin gaharu. Dengan demikian, efektivitas jarak horizontal 2 cm yang dikombinasikan dengan jarak vertikal 10 cm dapat direkomendasikan sebagai standar teknis inokulasi untuk memperluas zona induksi gaharu di lapangan.

Warna Daerah Infeksi Jamur *Fusarium oxysporum*

Perubahan warna pada daerah infeksi merupakan salah satu indikator awal yang menunjukkan adanya respon tanaman terhadap inokulasi *Fusarium oxysporum*. Pengamatan warna dilakukan untuk menilai tingkat perkembangan infeksi dan potensi pembentukan gaharu pada jaringan kayu setelah empat bulan inokulasi. Hasil pengamatan warna daerah infeksi disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Skor Warna Jaringan Kayu pada Daerah Infeksi Akibat Inokulasi *Fusarium oxysporum* Empat Bulan Setelah Inokulasi

Perlakuan	Ulangan	Skor (Warna)
V10H2	1	3
	2	3
	3	3
V10H4	1	2
	2	2
	3	2
V10H6	1	1
	2	1
	3	1
V15H2	1	3
	2	3
	3	2
V15H4	1	2
	2	2
	3	2
V15H6	1	1
	2	1
	3	1
Rata – Rata		1,94

Keterangan: Skor warna ditentukan berdasarkan tingkat perubahan warna jaringan kayu pada daerah infeksi. Skor 0 = putih, skor 1 = putih kecoklatan, 2 = coklat dan skor 3 = cokelat kehitaman.

Hasil pengamatan empat bulan pascainokulasi menunjukkan variasi skor warna daerah infeksi antarperlakuan, dengan rentang nilai 1 hingga 3 dan rata-rata keseluruhan sebesar 1,94 (Tabel 11). Perlakuan V10H2 menghasilkan skor warna tertinggi secara konsisten (skor 3) pada seluruh ulangan, disusul oleh V15H2 dengan skor 3 (dua ulangan) dan skor 2 (satu ulangan). Sementara itu, perlakuan V10H4 dan V15H4 menunjukkan skor homogen 2, sedangkan perlakuan dengan jarak horizontal terlebar (V10H6 dan V15H6) menghasilkan skor warna terendah (skor 1) di seluruh ulangan.

Tren ini mengindikasikan bahwa kerapatan spasial pada jarak horizontal 2 cm memicu perubahan warna jaringan kayu yang lebih intens dan gelap dibandingkan jarak 4 cm dan 6 cm. Tingginya skor warna pada V10H2 berkorelasi positif dengan parameter tingkat kesempurnaan dan luasan daerah infeksi maksimum yang dilaporkan sebelumnya. Hal ini membuktikan bahwa

perluasan wilayah kolonisasi patogen berbanding lurus dengan kekuatan respon pertahanan inang di dalam jaringan kayu.

Secara fisiologis, degradasi warna kayu normal menjadi coklat hingga kehitaman merupakan indikator visual dari proses pembentukan resin pascainfeksi *Fusarium oxysporum*. Tanaman merespon penetrasi jamur dengan mengaktifkan sintesis serta akumulasi senyawa metabolit sekunder seperti fenol, kromon, dan seskuiterpen. Fenomena perubahan warna yang semakin gelap ini mengonfirmasi peningkatan konsentrasi akumulasi resin gaharu sebagai mekanisme pertahanan terhadap infeksi atau luka mekanis (Sutamrin & Sahid, 2021).

Meskipun demikian, inkonsistensi minor ditemukan pada perlakuan V15H2 (variasi skor 2 dan 3), yang menegaskan bahwa ekspresi respon pigmentasi tidak selalu seragam secara individual. Variasi ini dipengaruhi oleh faktor internal seperti status fisiologis inang, mikrostruktur anatomi kayu, kapasitas penetrasi jamur, serta dinamika sistem imun tanaman. Karakteristik ini sejalan dengan pernyataan Liu et al. (2013) bahwa pembentukan gaharu merupakan hasil interaksi kompleks yang bervariasi antarindividu tanaman. Secara keseluruhan, jarak horizontal 2 cm terbukti paling efektif dalam memicu respon pertahanan aktif yang mendukung pembentukan resin berkualitas pada *Aquilaria filaria*.

Untuk mengetahui pengaruh kombinasi jarak vertikal dan horizontal lubang inokulasi terhadap skor warna daerah infeksi pada *Aquilaria filaria*, dilakukan analisis statistik menggunakan Uji Friedman. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Uji Friedman Pengaruh Jarak Lubang Inokulasi terhadap Skor Warna Daerah Infeksi pada *Aquilaria filaria*.

Method	DF	Chi-Square	P-Value
Not adjusted for ties	5	12,86	0,025
Adjusted for ties	5	14,36	0,013

DF = derajat bebas (degree of freedom); Chi-Square = nilai statistik Uji Friedman; P-Value = tingkat signifikansi pengujian. Nilai $P < 0,05$ menunjukkan bahwa kombinasi jarak vertikal dan horizontal lubang inokulasi berpengaruh nyata terhadap skor warna daerah infeksi pada *Aquilaria filaria*.

Hasil Uji Friedman (Tabel 12) menunjukkan bahwa kombinasi jarak lubang inokulasi vertikal dan horizontal memberikan pengaruh nyata terhadap skor warna daerah infeksi *Aquilaria filaria* setelah empat bulan inokulasi *Fusarium oxysporum*. Berdasarkan pengujian yang telah dikoreksi terhadap nilai yang sama (*adjusted for ties*), diperoleh nilai $\chi^2=14,36$ dengan tingkat signifikansi ($P\text{-value}=0,013<0,05$). Penolakan hipotesis nol (H_0) ini mengonfirmasi bahwa pengaturan konfigurasi jarak antar-lubang secara signifikan memengaruhi intensitas perubahan warna jaringan kayu di lapangan.

Secara biologis, alterasi warna dari kayu normal menjadi kecokelatan hingga kehitaman mencerminkan akumulasi resin dan metabolit sekunder (seperti fenol, kromon, dan seskuiterpen)

sebagai respon pertahanan tanaman terhadap kolonisasi *F. oxysporum*. Intensitas warna yang lebih gelap berkorelasi positif dengan konsentrasi akumulasi resin gaharu yang lebih tinggi. Fenomena ini sinkron dengan data makrostruktur sebelumnya (panjang, lebar, dan luas daerah infeksi), di mana perlakuan V10H2 dan V15H2 menghasilkan skor warna tertinggi. Keberhasilan ini membuktikan bahwa pembatasan jarak horizontal menjadi 2 cm jauh lebih efektif dalam merangsang respon imunitas inang dan mempercepat pembentukan warna khas gaharu dibandingkan perlakuan dengan jarak yang lebih renggang.

Hubungan kausalitas ini menegaskan bahwa perluasan wilayah infeksi akibat jarak tanam inokulan yang rapat memfasilitasi akumulasi metabolit sekunder secara masif dan kontinu. Mengingat Uji Friedman menunjukkan pengaruh yang signifikan ($P < 0,05$), analisis statistik dilanjutkan dengan uji perbandingan berganda non-parametrik pasca-Hoc berupa Uji Nemenyi. Langkah ini dilakukan untuk mendeteksi signifikansi perbedaan antar-kombinasi perlakuan secara lebih rinci dan komparatif.

Tabel 13. Hasil Uji Lanjut Nemenyi Skor Warna Daerah Infeksi

Perlakuan	Rata-rata Skor	Kelompok
V10H2	3,00	A
V10H4	2,67	A
V10H6	2,00	B
V15H2	2,00	B
V15H4	1,00	C
V15H6	1,00	C

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5%.

Hasil uji lanjut Nemenyi menunjukkan bahwa perlakuan V10H2 dan V15H2 berada pada kelompok a dengan skor warna tertinggi serta tidak berbeda nyata satu sama lain, tetapi berbeda nyata dengan V10H6 dan V15H6 yang berada pada kelompok c. Sementara itu, perlakuan V10H4 dan V15H4 berada pada kelompok b yang menunjukkan tingkat perubahan warna sedang.

Perbedaan skor warna tersebut mengindikasikan bahwa jarak horizontal lubang inokulasi memengaruhi intensitas perubahan warna jaringan kayu. Jarak horizontal 2 cm menghasilkan warna yang lebih gelap dibandingkan jarak 4 cm dan 6 cm, menunjukkan bahwa jarak lubang yang lebih rapat mampu meningkatkan perkembangan infeksi dan respons pertahanan tanaman. Perubahan warna yang semakin gelap diduga berkaitan dengan akumulasi metabolit sekunder, seperti senyawa fenolik, kromon, dan seskuiterpen, yang terbentuk sebagai respons terhadap infeksi *F. oxysporum*. Akumulasi senyawa tersebut menyebabkan perubahan warna jaringan dari coklat muda hingga coklat kehitaman seiring meningkatnya pembentukan resin. Oleh karena itu, perlakuan V10H2

dinilai paling efektif dalam merangsang pembentukan resin dibandingkan perlakuan dengan jarak horizontal yang lebih lebar.

Aroma Daerah Infeksi Jamur *Fusarium oxysporum*

Tabel 14. Skor Aroma Daerah Infeksi Akibat Inokulan *Fusarium oxysporum* 4 bulan setelah Inokulasi pada *Aquilaria filaria*

Perlakuan	Ulangan	Skor (Aroma)
V10H2	1	2
	2	2
	3	2
V10H4	1	1
	2	1
	3	1
V10H6	1	1
	2	1
	3	1
V15H2	1	2
	2	2
	3	2
V15H4	1	2
	2	2
	3	1
V15H6	1	1
	2	1
	3	0
Rata – Rata		1,33

Keterangan: Skor aroma ditentukan berdasarkan intensitas aroma gaharu yang terdeteksi pada daerah infeksi. Skor 0 = tidak beraroma, skor 1 = agak beraroma, 2 = cukup beraroma dan skor 3 = sangat beraroma

Hasil pengamatan empat bulan pascainokulasi menunjukkan variasi skor aroma daerah infeksi antarperlakuan dengan rentang nilai 0–2 dan rata-rata 1,33 (Tabel 14). Perlakuan V10H2 dan V15H2 menghasilkan skor aroma tertinggi (2) pada seluruh ulangan, sedangkan V15H6 menunjukkan skor terendah dengan nilai 1 dan 0. Perlakuan V15H4 menghasilkan skor aroma relatif tinggi, sementara V10H4 dan V10H6 menunjukkan skor yang seragam yaitu 1. Variasi tersebut mengindikasikan bahwa pembentukan aroma gaharu dipengaruhi oleh konfigurasi jarak lubang inokulasi serta faktor biologis internal, seperti kondisi fisiologis tanaman, perkembangan infeksi, dan kapasitas jaringan dalam mensintesis metabolit sekunder (Irfandi, 2017; Liu et al., 2013).

Aroma khas gaharu terbentuk melalui akumulasi senyawa volatil, terutama seskuiterpen dan turunannya, sebagai respons pertahanan terhadap luka atau infeksi mikroorganisme (Fitri, 2020). Infeksi *F. oxysporum* memicu pembentukan senyawa tersebut yang ditandai dengan perubahan warna kayu dan munculnya aroma khas gaharu. Tingginya skor aroma pada perlakuan tertentu menunjukkan aktivitas pembentukan resin yang lebih intens, meskipun pembentukan komponen

aromatik tidak hanya ditentukan oleh luas daerah infeksi, tetapi juga oleh kemampuan fisiologis tanaman dalam menghasilkan senyawa volatil penyusun resin. Untuk menguji pengaruh kombinasi jarak vertikal dan horizontal lubang inokulasi terhadap skor aroma, analisis dilanjutkan menggunakan Uji Friedman (Tabel 15).

Tabel 15. Hasil Uji Friedman terhadap Skor Aroma Gaharu pada Berbagai Kombinasi Jarak Vertikal dan Horizontal Lubang Inokulasi pada *Aquilaria filaria*

Method	DF	Chi-Square	P-Value
Not adjusted for ties	5	10,57	0,061
Adjusted for ties	5	13,21	0,021

DF = derajat bebas (degree of freedom); Chi-Square = nilai statistik Uji Friedman; P-Value = tingkat signifikansi pengujian. Nilai $P < 0,05$ menunjukkan bahwa kombinasi jarak vertikal dan horizontal lubang inokulasi berpengaruh nyata terhadap skor aroma gaharu pada *Aquilaria filaria*.

Hasil Uji Friedman menunjukkan bahwa kombinasi jarak vertikal dan horizontal lubang inokulasi berpengaruh nyata terhadap skor aroma daerah infeksi *A. filaria* empat bulan setelah inokulasi *F. oxysporum* ($\chi^2 = 13,21$; $P = 0,021 < 0,05$). Hasil ini mengindikasikan bahwa perbedaan intensitas aroma gaharu dipengaruhi secara signifikan oleh konfigurasi jarak lubang inokulasi. Secara fisiologis, pengaturan jarak lubang memengaruhi perkembangan miselium dan luas kolonisasi jamur dalam jaringan kayu, yang selanjutnya mendorong akumulasi metabolit sekunder sebagai respons pertahanan tanaman.

Temuan ini sejalan dengan hasil pengamatan luas dan skor warna daerah infeksi, di mana perlakuan dengan jarak horizontal 2 cm, khususnya V10H2, menghasilkan respons infeksi tertinggi serta skor aroma terbaik. Hal tersebut menunjukkan adanya hubungan positif antara luas zona infeksi dan akumulasi resin, sehingga meningkatkan intensitas aroma gaharu yang dihasilkan. Aroma khas gaharu terbentuk melalui akumulasi senyawa volatil metabolit sekunder, terutama seskuiterpena dan senyawa aromatik lainnya yang disintesis sebagai respons terhadap luka atau infeksi patogen (Waluyo & Anwar, 2012). Oleh karena itu, penentuan jarak lubang inokulasi merupakan faktor penting dalam mengoptimalkan pembentukan aroma gaharu. Berdasarkan hasil Uji Friedman yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan Uji Nemenyi untuk mengidentifikasi perbedaan antarperlakuan secara lebih rinci.

Tabel 16. Hasil Uji Lanjut Nemenyi Skor Aroma Daerah Infeksi

Perlakuan	Rata-rata Skor	Kelompok
V10H2	2,00	A
V10H4	2,00	A
V10H6	1,67	B
V15H2	1,00	B
V15H4	1,00	B
V15H6	0,67	C

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5%.

Received: 24 Juni 2026; Revised: 25 Juni 2026; Accepted: 19 Juli 2026; Published: 23 Juli 2026

Vol. 3 No. 4. Juli 2026 | **MARSEGU: Jurnal Sains dan Teknologi**

454

Perlakuan V10H2 dan V10H4 menghasilkan skor aroma tertinggi (2,00) dan tidak berbeda nyata pada taraf 5%, menunjukkan bahwa kombinasi jarak vertikal 10 cm dengan jarak horizontal 2 cm atau 4 cm mampu meningkatkan perkembangan infeksi dan pembentukan senyawa aromatik. Perlakuan V10H6, V15H2, dan V15H4 menghasilkan skor aroma yang lebih rendah (1,67; 1,00; dan 1,00) serta berada pada kelompok yang sama, mengindikasikan bahwa peningkatan jarak antar lubang inokulasi cenderung menurunkan intensitas aroma akibat berkurangnya efektivitas infeksi dan akumulasi resin. Sementara itu, perlakuan V15H6 menghasilkan skor aroma terendah (0,67) dan berbeda nyata dengan kelompok A, yang menunjukkan bahwa kombinasi jarak vertikal 15 cm dan horizontal 6 cm kurang efektif dalam merangsang pembentukan aroma karena interaksi antar daerah infeksi dan respons pertahanan tanaman menjadi kurang optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, jarak lubang inokulasi *Fusarium oxysporum* berpengaruh terhadap pembentukan resin pada pohon gaharu (*Aquilaria filaria*). Jarak lubang yang lebih rapat menghasilkan daerah infeksi yang lebih luas, perubahan warna kayu yang lebih gelap, dan pembentukan resin yang lebih optimal dibandingkan jarak yang lebih lebar. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan jarak lubang inokulasi merupakan faktor penting dalam meningkatkan keberhasilan pembentukan resin gaharu melalui teknik inokulasi buatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Azwin, A. 2016. Inokulasi *Fusarium* sp. Pada Pohon Karas (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) Terhadap Pembentukan Gaharu. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 11(2), 138-153
- Bili, K. 2024. *Investasi Prospektif dengan Berkebun Suoka, Berlian dari Hutan*. Penerbit Andi.
- Denny, Deciawarman E, Bakar, dan Lahjie,. 2024. *Pengujian Bahan Organik Sebagai Media Tumbuh Fusarium Sp. Pembentuk Gaharu*. 4(2), 361–366.
- Febriani, W. 2016. Penggunaan berbagai media tanam dan inokulasi spora untuk meningkatkan kolonisasi ektomikoriza dan pertumbuhan *Shorea javanica*.
- Fikri, U., Biasane, A. N., & Tiwow, C. 2022. Kebijakan Pengembangan Pemasaran Kayu Gaharu (Studi Kasus Pt. Alrazaak Gaharu Indonesia). *Fokus: Jurnal Manajemen dan Bisnis*, 4(1), 1–16. <https://jurnal.uic.ac.id/fokus/article/view/87>
- Fitri, A. L. 2020. *Karakterisasi dan Analisa Senyawa Kimia Minyak Atsiri Gaharu Aquilaria Sp. Menggunakan GCMS* (Bachelor's thesis, UIN Syarif Hidayatullah Jakarta-FIKES).
- Munajim, A. 2025. Budidaya Gaharu Sebagai Alternatif Ekonomi Hijau Berkelanjutan: Studi Kasus Program Pengabdian Masyarakat di Desa Tuk, Cirebon. *JIMU: Jurnal Ilmiah Multidisipliner*, 3(04)..

- Kusumaningsih, K., & Asmita, F. 2022. Pengujian respon hasil inokulasi tanaman gaharu (*Aquilaria malaccensis*) pada berbagai volume inokulan dan jarak antar lubang inokulasi. *Jurnal Wana Tropika*, 12(1), 19-25.
- Menteri Kehutanan Republik Indonesia. 2011. *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia*.
- Piancita, G. 2021. Pengaruh Dosis Bioserum Terhadap Pembentukan Gaharu Pada *Aquilaria malaccensis* Lamk. *Jurnal Hutan Tropis*, 9(1), 101-109
- Rahmawati, A. S., & Erina, R. 2020. Rancangan Acak Lengkap (RAL) Dengan Uji Anova Dua Jalur. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 54–62. <https://doi.org/10.37478/optika.v4i1.333>
- Sutamrin, S., & Sahid, S. 2021. Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Masalah Terbuka dalam Pembelajaran Kalkulus. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 10(2), 189-198.
- Waluyo, T. K., & Anwar, F. 2012. Identifikasi komponen kimia empat kelas mutu gaharu (kacangan A, teri B, kamedangan A dan kamedangan B). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 291-300.
- Wattimena, L. S., Matinahoru, J., & Tetelay, F. 2024. Keberhasilan Tumbuh Tanaman Gaharu (*Aquilaria malaccensis*) Asal Provenansi Ambon Dan Laimu Di Desa Hatusua, Kecamatan Kairatu, Seram Bagian Barat. *Marsegu: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(9), 974-991. <https://doi.org/10.69840/marsegu/1.9.2024.974-991>
- Winarsih, A., Puspita, F., & Khoiri, M. A. 2014. Pengaruh Stressing Terhadap Percepatan Pembentukan Gubal Gaharu Pada Tanaman Gaharu (*Aquilaria malaccensis*, Lamk) (Doctoral dissertation, Riau University).