

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gaharu merupakan salah satu hasil hutan bukan kayu (HHBK) yang bernilai tinggi karena mengandung resin wangi dari jenis pohon tropis. Spesies ini tersebar secara alami di negara-negara Asia Selatan dan Tenggara termasuk Indonesia, Cina, dan Kamboja (Lloren, 2023). Pemanfaatan gaharu telah banyak digunakan sebagai bahan dasar kosmetik, obat-obatan, dan keperluan ritual agama. Gaharu merupakan jenis kayu yang memiliki berbagai bentuk dan warna khas, serta mengandung resin beraroma wangi. Resin ini berasal dari pohon atau bagian pohon penghasil gaharu, yang terbentuk akibat infeksi, baik secara alami maupun buatan, yang umumnya terjadi pada pohon *Aquilaria* sp. dan *Gyrinops* sp. (Ponisri et al., 2022).

Terbentuknya gaharu pada jaringan kayu pohon penghasil gaharu adalah karena adanya proses dan mekanisme biologis yang didahului oleh adanya luka pada batang (patah cabang), diikuti oleh terinfeksinya batang oleh penyebab penyakit (patogen) pada bagian yang terluka (Zakiah & Kurniatuhadi, 2023). Gaharu pada awalnya terbentuk dan dapat ditemukan di hutan, tetapi keberadaannya menurun drastis karena eksploitasi yang tidak terkontrol. Selain itu, proses pembentukan secara alami membutuhkan waktu yang lama, sehingga inokulasi sangat penting untuk memacu pembentukan gaharu yang sangat berharga ini.

Perlakuan inokulasi yang diawali dengan pengeboran atau pelukaan pohon akan membuka jalan untuk terjadinya infeksi patogen, sehingga akan terbentuk resin gaharu. Gaharu merupakan suatu resin yang dihasilkan oleh tanaman sebagai respon adanya luka, akibat serangan serangga, atau mikroorganisme tertentu. Resin yang dihasilkan tersebut merupakan zat ekstraktif dengan aroma harum. Bahan aktif utama yang terkandung dalam gaharu adalah *Sesquiterpenes* dan *2-2-Phenylethyl Chromone* (Kusumaningsih et al., 2022).

Inokulasi merupakan salah satu teknik yang diadopsi untuk merangsang pembentukan gaharu pada pohon. Proses inokulasi melibatkan pengenalan mikroorganisme tertentu ke dalam jaringan pohon untuk memicu respons fisiologis yang menghasilkan resin. Namun, keberhasilan teknik ini sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk diameter batang dan volume inokulan yang digunakan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ukuran batang dapat mempengaruhi penyerapan inokulan dan respon pohon terhadap infeksi (Rizal, 2020).

Diameter batang pohon gaharu berperan penting dalam menentukan jumlah dan jenis inokulan yang dapat diserap. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Junaidi, (2019), batang yang lebih besar cenderung memiliki jaringan yang lebih banyak, sehingga meningkatkan kemungkinan inokulan untuk berkembang. Sementara itu, volume inokulan yang optimal juga berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan inokulasi. Penelitian oleh Sari et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan volume inokulan yang tepat dapat meningkatkan persentase keberhasilan infeksi hingga 75%.

Perubahan warna dan luas infeksi pada pohon gaharu juga menjadi parameter penting dalam penelitian ini. Respon fisiologis pohon terhadap inokulasi seringkali kali

ditandai dengan perubahan warna pada jaringan yang terinfeksi, yang dapat menunjukkan tingkat keberhasilan dan aktivitas mikroorganisme. Menurut penelitian oleh Widiyanto & Setiawan (2021), perubahan warna ini berhubungan langsung dengan konsentrasi resin yang dihasilkan. Warna gelap pada jaringan sering kali menandakan akumulasi resin yang tinggi.

Permintaan pasar yang terus meningkat terhadap produk-produk gaharu mendorong upaya produksi resin gaharu secara buatan melalui inokulasi patogen pada tanaman gaharu. Dalam hal ini, pengembangan teknik inokulasi dan inokulan yang berkualitas sangat krusial untuk meningkatkan produksi gaharu, sehingga dapat memenuhi kebutuhan pasar internasional yang terus berkembang. Berbagai peneliti dari institusi di Indonesia aktif melakukan isolasi, pengembangan, dan pengujian inokulan potensial dari berbagai daerah pada tanaman gaharu. Harapannya, melalui penelitian dan pengembangan teknik inokulasi yang beragam, akan tercapai produksi gaharu berkualitas tinggi yang memenuhi standar internasional (Iskandar & Suhendra, 2023).

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi dalam upaya produksi resin gaharu secara buatan adalah kegagalan dalam inokulasi, yang mengakibatkan tidak terproduksinya resin gaharu. Keberhasilan inokulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk jenis inokulan dengan volume yang tepat, jarak antar lubang inokulasi yang sesuai, serta diameter pohon gaharu yang digunakan (Hidayah & Yulianti, 2016). Hasil dari proses inokulasi ini dapat dievaluasi melalui uji karakteristik, seperti persentase keberhasilan infeksi, serta perubahan warna dan luas jaringan yang terinfeksi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan proses inokulasi tanaman gaharu (*Gyrinops sp.*) dengan diameter 10 cm hingga 18 cm. Penelitian ini menggunakan metode analisis varians, dan hasil analisis varians yang menunjukkan beda nyata diuji lebih lanjut dengan uji BNJ (Beda Nyata Jujur) atau Uji Tukey. Parameter yang diamati dalam penelitian adalah persentase keberhasilan infeksi (%), luas infeksi serangan jamur (cm^2) serta perubahan warna yang terjadi akibat infeksi jamur patogen. Perubahan tersebut akan diamati satu kali dalam sebulan selama periode waktu 3 bulan. Proses inokulasi pada pohon penghasil gaharu (*Gyrinops sp.*) dilakukan di Desa Parigi, Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Selanjutnya, data yang diperoleh akan dianalisis secara statistik di Laboratorium Silvikultur dan Fisiologi Pohon, Universitas Hasanuddin, Makassar untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh diameter batang terhadap perbedaan karakteristik warna, luas jaringan terinfeksi, dan persentase keberhasilan infeksi pohon gaharu (*Gyrinops sp.*). Adapun kegunaan dari penelitian ini yaitu sebagai sumber informasi mengenai perbedaan karakteristik dari teknik inokulasi dengan menggunakan diameter batang yang beragam yaitu 10 cm hingga 18 cm. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai bagaimana fungi atau jamur yang terdapat dalam inokulan dapat mempengaruhi jaringan yang terinfeksi dengan perbedaan diameter batang tersebut.

1.2 Landasan Teori

Gaharu (*Gyrinops sp.*) dihasilkan sebagai respons terhadap cedera yang dialami pohon. Produksi resin merupakan mekanisme pertahanan yang penting bagi pohon

untuk melawan serangan patogen dan mikroba (Bhat et al., 2017). Meningkatnya permintaan gaharu di pasar internasional menjadikan penelitian tentang cara meningkatkan produksinya sangat relevan. Gaharu terbentuk dari respons terhadap cedera alami maupun buatan, seperti goresan tipis, terbakar, pemotongan, atau inokulasi jamur dengan menyuntikkan jamur ke dalam batang atau akar pohon penghasil gaharu dari spesies *Aquilaria* sp. dan *Gyrinops* sp. Cedera ini memicu produksi resin dan senyawa aromatik (Anggadhanika et al., 2022). Bagian kayu yang terluka umumnya berwarna lebih gelap dibandingkan bagian kayu yang tidak terluka. Dari luka tersebut, ketika terinfeksi mikroba maka memicu mekanisme pertahanan tanaman. Proses ini melibatkan akumulasi metabolit sekunder yang memiliki aroma khas dan bernilai (Faizal et al., 2020).

Komposisi metabolit merupakan kunci menentukan kualitas gaharu. Komponen utama yang mempengaruhi kualitas resin adalah campuran seskuiterpen dan 2-(2-feniletil) kromon. Umumnya produksi kedua senyawa utama ini berkaitan dengan luka fisik sebab hembusan angin, aktivitas herbivora, atau infeksi oportunistik oleh patogen jamur (Roswanjaya et al., 2022). Dalam hal ini, penelitian dilakukan dengan melukai pohon untuk memicu produksi resin.

Gyrinops sp. dikenal sebagai pohon penghasil gaharu dari famili *Thymelaeaceae* yang hanya tumbuh di daerah tropis. Spesies ini merupakan tanaman asli Papua, Sulawesi, dan Nusa Tenggara dan tersebar luas mulai dari Kepulauan Sunda Kecil, Pulau Lombok, Pulau Flores hingga Sulawesi, Maluku, dan Papua. *Gyrinops* sp. adalah genus pohon yang dikenal sebagai penghasil gaharu berkualitas tinggi. Gaharu yang dihasilkan dari infeksi jamur pada kayu, memiliki nilai ekonomi yang sangat tinggi dan digunakan dalam berbagai produk, termasuk parfum dan obat-obatan. Hal ini mendorong masyarakat untuk terlibat dalam budidaya dan pengelolaan pohon ini, yang pada gilirannya dapat membantu konservasi spesies yang terancam punah (Fiqa et al., 2020).

Gyrinops sp. berpenampilan seperti pohon perdu dengan buah berwarna kuning jingga. Buahnya bisa berbentuk elips, persegi panjang, atau bulat (Rukmana et al., 2024). *Gyrinops* sp. dipilih sebagai subjek penelitian ini karena memiliki potensi untuk meningkatkan produktivitas resin, terutama melalui metode bio-induksi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas resin agarwood (*Gyrinops* sp.) dengan menggunakan isolat *fusarium solani* dan beberapa fungi dan patogen lainnya sebagai agen bio-induksi (Adi et al., 2021).

Negara penghasil gaharu seperti Indonesia, Malaysia, Cina, Kamboja, Thailand, dan Vietnam telah berkomitmen untuk mengembangkan induksi gaharu untuk pengembangan industri gaharu yang berkelanjutan. Gubal gaharu berbentuk bongkahan padat berwarna hitam kecoklatan dengan aroma yang khas, yang dihasilkan dari kayu atau akar pohon inang seperti *Gyrinops* sp. (Ahmad & Ismail, 2019). Bagian kayu yang terinfeksi jamur akan mengalami perubahan fisik dan perubahan kimia. Pembentukan gubal gaharu dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk genetika pohon penghasil gaharu, induksi mikroba, kondisi lingkungan, dan lamanya proses pembentukan gubal (I. M. Mega & Kartini, 2020).

Diameter batang pohon gaharu memiliki pengaruh signifikan terhadap kemampuan pohon dalam menyerap dan mendistribusikan nutrisi. Penelitian oleh

Siregar (2019) menunjukkan bahwa diameter batang yang lebih besar cenderung menghasilkan resin lebih banyak dibandingkan dengan batang yang lebih kecil, karena kapasitas penyimpanan dan metabolisme yang lebih tinggi. Diameter batang yang lebih besar juga menyediakan lebih banyak jaringan untuk infeksi jamur, yang berkontribusi pada pembentukan gaharu. Hal ini mengindikasikan bahwa ukuran diameter pohon dapat berperan penting dalam efektivitas inokulasi (Yesu et al., 2017). Oleh karena itu, ukuran diameter pohon berperan penting dalam menentukan keberhasilan inokulasi dan kualitas resin yang dihasilkan.

Kedalaman lubang inokulasi berperan penting dalam hasil inokulasi dan kualitas gaharu yang dihasilkan. Studi menunjukkan bahwa kedalaman optimal sekitar 5 cm dapat menghasilkan area infeksi yang lebih luas serta aroma gaharu yang lebih berkualitas (Sari et al., 2019). Meskipun diameter pohon dan kedalaman lubang inokulasi berkontribusi terhadap hasil inokulasi, keduanya tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam luas area infeksi, yang menunjukkan bahwa keduanya mungkin berfungsi secara independen. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami interaksi antara kedalaman lubang inokulasi, diameter pohon, dan faktor lainnya yang mempengaruhi hasil produksi gaharu.

Volume inokulan adalah faktor penting dalam keberhasilan inokulasi jamur. Menurut penelitian oleh Ismail (2020) menunjukkan bahwa volume inokulan yang optimal berkontribusi pada tingkat infeksi yang lebih tinggi dan produksi resin yang lebih baik. Volume inokulan yang terlalu sedikit dapat mengurangi efektivitas inokulasi, sedangkan volume yang terlalu besar dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tanaman. Penelitian oleh Mega et al. (2020) menunjukkan bahwa volume inokulan optimal menghasilkan persentase keberhasilan infeksi sebesar 100% setelah tiga bulan. Meskipun tidak ditemukan pengaruh yang signifikan dari variasi volume inokulan terhadap panjang infeksi jamur, terdapat kecenderungan bahwa volume inokulan yang maksimal dapat memberikan infeksi yang lebih luas dan lebih panjang (Triadiarti et al., 2016).

Jamur endofit memiliki peran penting dalam meningkatkan kesehatan tanaman dan produksi resin. Teknik inokulasi jamur dianggap efektif, dan sebagian besar jamur yang digunakan adalah endofit yang diambil dari kayu pohon penghasil gaharu yang sehat atau sakit. Produksi gaharu dapat diinduksi oleh jamur endofit seperti *Aspergillus niger*, *Fusarium solani*, *Lasiodiplodia theobromae*, dan *Melanotus flavolivens* (Du et al., 2022). Penelitian oleh Li et al. (2023) menunjukkan bahwa jamur endofit dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen, yang berujung pada peningkatan produksi resin. Penelitian oleh Rachmawati et al. (2021) juga menunjukkan bahwa inokulasi dengan jamur seperti *Fusarium solani* dan *Aspergillus niger* dapat merangsang akumulasi metabolit sekunder, yang berujung pada peningkatan kualitas gaharu. Oleh karena itu, inokulasi jamur endofit dapat meningkatkan jumlah resin yang dihasilkan dalam waktu yang lebih singkat.

Mikroorganisme ini dapat memperbaiki keseimbangan ekosistem mikroba di dalam tanah dan di sekitar akar pohon, yang dapat mendukung pertumbuhan pohon secara keseluruhan (Viride & Cerevisiae, 2024). Berdasarkan rekomendasi *Forestry Research and Development Agency* (FORDA), budidaya *Gyrinops* sp. menggunakan

Fusarium sebagai agen inokulasi merupakan metode paling efektif. Pohon *Gyrinops* sp. tanpa inokulasi *Fusarium* tidak akan menghasilkan resin (Adi et al., 2021).

Teknik inokulasi yang digunakan dapat mempengaruhi keberhasilan produksi gaharu. Metode inokulasi terbagi menjadi dua kategori, yaitu konvensional dan modifikasi. Metode konvensional, yang dilakukan dengan memaku atau melukai batang pohon, relatif mudah dilakukan dengan biaya rendah, namun produktivitas yang dihasilkan cenderung lebih rendah dan membutuhkan waktu yang lama. Sebaliknya, metode modifikasi yang melibatkan penggunaan mikroorganisme cendawan atau jamur yang telah diisolasi, serta alat pembantu seperti bor, dapat meningkatkan produktivitas gaharu dengan waktu yang lebih cepat dibandingkan metode konvensional (Wahyuni et al., 2020).

Metode modifikasi inokulasi gaharu menggunakan jamur *Fusarium* dan *Aspergillus niger* berfokus pada pemanfaatan sifat antagonis jamur tersebut. *Aspergillus niger* dapat digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan jamur patogen seperti *Fusarium oxysporum* dengan cara menginkubasi kedua jamur dalam media yang sama, sehingga *A. niger* dapat menekan pertumbuhan *Fusarium* (Sarah et al., 2018). Kedua jenis jamur ini memiliki karakteristik yang mendukung proses pembentukan gaharu, karena mereka dapat merangsang respons pertahanan pohon, yang berujung pada produksi resin yang lebih tinggi. Dengan menggunakan metode modifikasi, proses inokulasi dapat dilakukan dengan lebih efisien dan efektif, dibandingkan dengan metode konvensional yang cenderung memakan waktu lama dan hasil yang tidak konsisten (Sembiring et al., 2021).

Perubahan warna pada kayu gaharu merupakan indikator penting dari infeksi dan kualitas resin yang dihasilkan. Menurut penelitian oleh Aulia (2022), perubahan warna kayu dapat diukur untuk menentukan tingkat keberhasilan inokulasi dan kualitas resin yang dihasilkan. Kayu yang terinfeksi oleh jamur endofit cenderung menunjukkan perubahan warna yang lebih gelap, yang menandakan bahwa proses pembentukan gaharu berjalan dengan baik dan menghasilkan resin berkualitas.

Jarak antar lubang inokulasi juga memainkan peran penting dalam proses inokulasi pohon gaharu. Penelitian oleh Irfandi et al. (2017) menunjukkan bahwa jarak 5x5 cm dan 10x10 cm terbukti menghasilkan infeksi yang lebih panjang dibandingkan dengan jarak yang lain. Hasil ini menunjukkan bahwa baik volume inokulan maupun jarak antar lubang inokulasi merupakan faktor yang dapat mempengaruhi efektivitas inokulasi jamur pada pohon gaharu, sehingga memberikan kontribusi penting bagi pengembangan teknik budidaya yang lebih efektif dan efisien dalam produksi gaharu berkualitas.

Kualitas gaharu sangat dipengaruhi oleh komposisi dan konsentrasi metabolit aromatik yang dihasilkan. Penelitian oleh Prasetyo et al. (2021) menunjukkan bahwa kualitas resin dapat meningkat jika inokulasi dilakukan dengan cara yang tepat, memperhatikan diameter batang, volume inokulan, dan faktor-faktor lainnya. Selain itu, faktor lingkungan, seperti kelembapan dan suhu, juga mempengaruhi keberhasilan inokulasi. Penelitian oleh Setiawan (2023) menunjukkan bahwa kondisi lingkungan yang optimal dapat meningkatkan laju pertumbuhan jamur dan respons tanaman terhadap inokulasi.

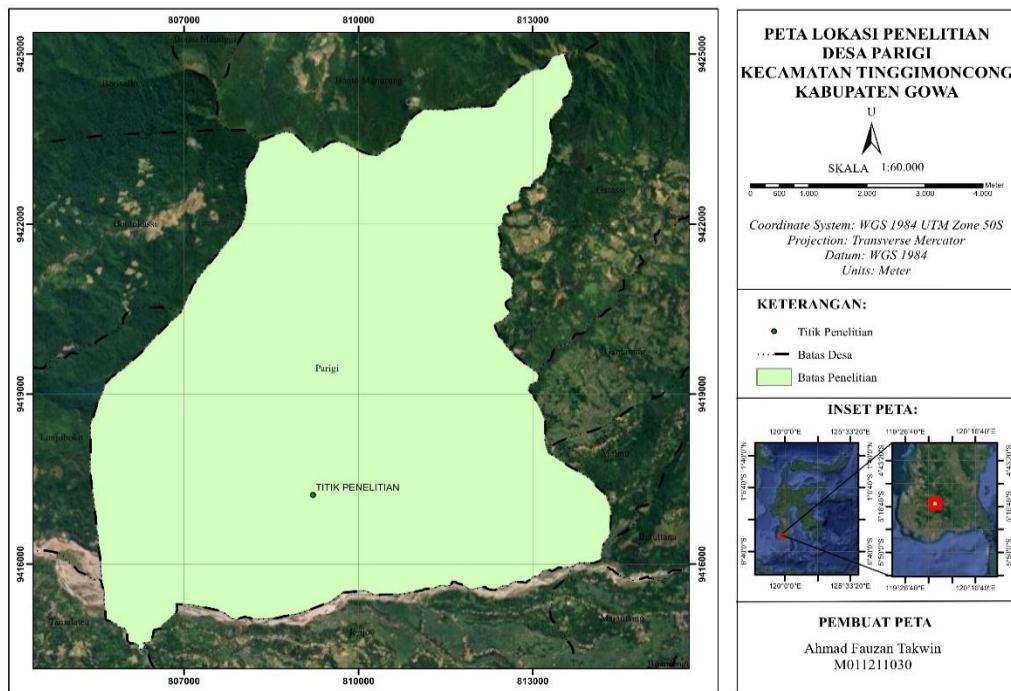
Pengembangan teknik inokulasi yang lebih efisien dan efektif sangat penting untuk industri gaharu yang berkelanjutan. Penelitian oleh Zulkarnain et al. (2022) menunjukkan bahwa inovasi dalam teknik inokulasi dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan industri gaharu. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami interaksi kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi produksi resin. Menurut survei oleh Mardiana (2023), penelitian ini dapat membantu mengembangkan strategi yang lebih baik untuk budidaya gaharu, guna mendukung produksi gaharu berkualitas tinggi secara berkelanjutan.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2024 - Februari 2025. Penelitian ini dilakukan di Desa Parigi, Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa. Desa Parigi terletak di Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara geografis, desa ini berada pada koordinat $5^{\circ}17'43''$ LS dan $119^{\circ}27'30''$ BT. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. ATM (alat tulis menulis) digunakan untuk mencatat hasil penelitian.
2. Bor listrik digunakan untuk membuat lubang inokulasi pada pohon.
3. Alat suntik (*sprit*) digunakan untuk memasukkan cairan inokulan ke dalam lubang inokulasi.
4. Sarung tangan dan masker berfungsi menjaga sterilitas saat proses inokulasi.
5. Pisau digunakan untuk membuat sayatan pada kulit pohon.
6. Kamera digunakan untuk mendokumentasikan proses dan hasil pengamatan.
7. Gelas ukur 1500 ml digunakan sebagai wadah untuk cairan inokulan gaharu.

8. Label dan spidol digunakan dalam mengidentifikasi sampel.
9. Pita meter digunakan untuk mengukur diameter pohon.
10. Haga meter digunakan untuk mengukur tinggi pohon.
11. Bender listrik digunakan untuk mencampurkan bahan inokulan gaharu cair.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Pohon *Gyrinops* sp. berfungsi sebagai objek penelitian yang akan diinokulasikan.
2. Inokulan BIG-R *Gold* 51 berfungsi sebagai sumber mikroorganisme yang memicu pembentukan gaharu.
3. Gula berfungsi sebagai sumber untuk pertumbuhan mikroba.
4. Pupuk NPK Mutiara 16 16 16, berfungsi sebagai sumber nutrisi tambahan.
5. Air galon berfungsi sebagai pelarut dan pengencer inokulan gaharu cair
6. Alkohol 70% berfungsi sebagai bahan sterilisasi alat.

2.3 Metode Pelaksanaan Penelitian

Metode pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap yaitu dengan melakukan survei awal di lokasi penelitian, persiapan alat dan bahan, melakukan rancangan penelitian, melakukan proses inokulasi pada pohon penghasil gaharu (*Gyrinops* sp.), serta melakukan pengamatan dari hasil yang didapatkan.

2.3.1 Survei Awal

Survei awal penelitian teknik inokulasi gaharu di Desa Parigi, Kecamatan Tinggimoncong, Kabupaten Gowa bertujuan untuk memahami kondisi lingkungan dan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan serta produksi gaharu. Lokasi ini dipilih karena memiliki kondisi geografis dan iklim yang mendukung budidaya gaharu. Desa Parigi terletak di ketinggian yang bervariasi, dengan curah hujan yang cukup, serta tanah yang subur sehingga ideal untuk dilakukan penelitian teknik inokulasi gaharu.

2.3.2 Rancangan Penelitian

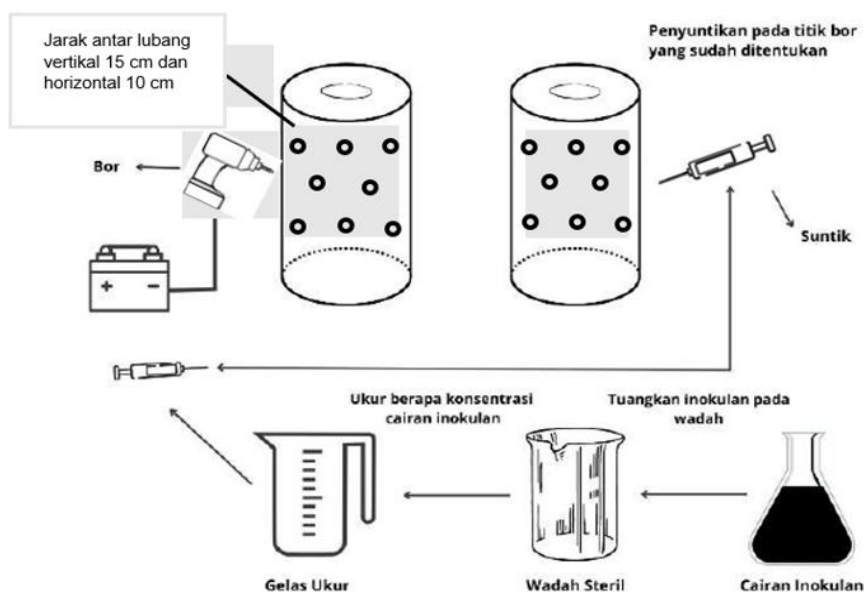
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri atas 5 perlakuan dan 3 kali ulangan. Data luas infeksi yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA), dan hasil analisis varians yang menunjukkan beda nyata, dilakukan uji lanjut dengan uji Tukey atau yang biasa dikenal dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ). Rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Penelitian

Perlakuan	Diameter (cm)
D1	10,19
D2	12,42
D3	13,06
D4	17,52
D5	18,15

2.3.3 Proses Inokulasi Pada Tanaman Gaharu (*Gyrinops* sp.)

Inokulasi dilakukan pada tanaman gaharu yang memiliki diameter batang 10 cm hingga 18 cm. Batang tanaman di bor dengan kedalaman $\frac{1}{3}$ (2-3 cm) dari diameter pohon, pelubangan paling bawah dilakukan dengan tinggi lebih dari 30 cm dari permukaan tanah. Pelubangan dilakukan secara melingkar dengan jarak horizontal 10 cm dan jarak vertikal 15 cm. Satu pohon terdapat beberapa lubang inokulasi sesuai dengan tinggi batang pohon yang bisa diinokulasi. Pembuatan lubang inokulasi dilakukan dengan mengebor batang pohon pada sudut kemiringan 30 derajat. Ilustrasi proses inokulasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Proses Inokulasi

2.3.4 Proses Pengamatan

Pengamatan hasil inokulasi dilakukan dengan mengukur luas infeksi, mengamati perubahan warna pada area inokulasi, serta mencatat persentase keberhasilan infeksi (%) setiap bulan selama periode tiga bulan. Pada bulan pertama, pengamatan dilakukan pada 5 pohon dengan variasi diameter antara 10 cm hingga 18 cm, yang diambil dari total 15 pohon yang diinokulasi. Kelima pohon tersebut dipilih karena memiliki diameter yang mewakili pohon lainnya. Satu pohon, terdapat tiga lubang yang disayat untuk diamati perubahan yang terjadi, dimana satu lubang yang disayat terletak pada ketinggian teratas batang pohon (105 cm di atas permukaan tanah), satu lubang dibagian tengah batang pohon (60 cm di atas permukaan tanah, dan satu lubang diketinggian terendah batang pohon (30 cm di atas permukaan tanah). Jumlah sampel pohon dan lubang yang dibuka hanya sebagian pada bulan pertama untuk mencegah kerusakan pada hasil inokulasi di lubang yang telah disuntikkan.

Pengamatan ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas teknik inokulasi dan menentukan diameter pohon yang paling optimal dalam proses inokulasi. Data luas infeksi yang diperoleh dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) serta uji tukey

atau uji Beda Nyata Jujur (BNJ) untuk menentukan perbedaan signifikan antara perlakuan yang diberikan. Hasil pengamatan ini penting untuk meningkatkan metode inokulasi gaharu di masa depan.

2.4 Prosedur Kerja

Adapun prosedur kerja dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Melakukan pemilihan tanaman atau pohon gaharu yang akan diinokulasi dengan diameter 10 cm sampai 18 cm.
2. Melakukan penandaan pada bagian batang pohon yang akan dibuat lubang inokulasi yang dimulai dengan ketinggian 30 cm di atas permukaan tanah.
3. Melakukan sterilisasi alat dan media yang akan digunakan seperti bor listrik, pisau, jarum inokulasi, alat suntik dan sebagainya.
4. Melakukan pembuatan lubang inokulasi pada batang pohon gaharu menggunakan bor dengan kedalaman $\frac{1}{3}$ (2-3 cm) dari diameter pohon.
5. Melakukan sterilisasi lubang inokulasi dengan cara penyemprotan lubang menggunakan alkohol.
6. Melakukan inokulasi patogen dengan memasukkan inokulum patogen ke dalam lubang yang telah dibuat dengan jarak horizontal 10 cm dan vertikal 15 cm.
7. Melakukan penutupan lubang inokulasi dengan plastisin yang dilapisi plastik untuk mencegah kontaminasi eksternal dan menjaga kelembapan.
8. Melakukan pengamatan lubang hasil inokulasi satu kali dalam satu bulan selama periode 3 bulan dengan mengamati perubahan yang terjadi.
9. Melakukan analisis terhadap persentase keberhasilan infeksi, perubahan karakteristik warna dan luas jaringan terinfeksi.

2.5 Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data primer. Data primer didapatkan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran secara langsung di lapangan, adapun hal-hal yang diamati meliputi persentase keberhasilan infeksi (%), warna jaringan terinfeksi dan luas jaringan terinfeksi.

2.6 Variabel Pengamatan

Adapun variabel pengamatan yang akan diukur dan diamati pada penelitian ini terdiri atas 3 variabel, diantaranya yaitu persentase keberhasilan infeksi (%), warna jaringan terinfeksi serta luas jaringan terinfeksi akibat patogen.

1. Persentase Keberhasilan Infeksi

Persentase keberhasilan infeksi merupakan variabel yang mencatat persentase pohon yang menunjukkan tanda-tanda infeksi setelah inokulasi patogen. Pengamatan dilakukan secara berkala, mencakup identifikasi awal kondisi pohon dan inokulasi patogen, pencatatan gejala infeksi seperti perubahan warna dan luas infeksi pada bagian yang diinokulasi dengan rentang nilai persentase yang telah ditetapkan. Kriteria infeksi digunakan untuk menentukan apakah sebuah pohon dianggap terinfeksi, dan

data ini dianalisis untuk memahami pola infeksi, tingkat penyebaran, dan efektivitas metode inokulasi yang digunakan.

2. Warna Jaringan Terinfeksi

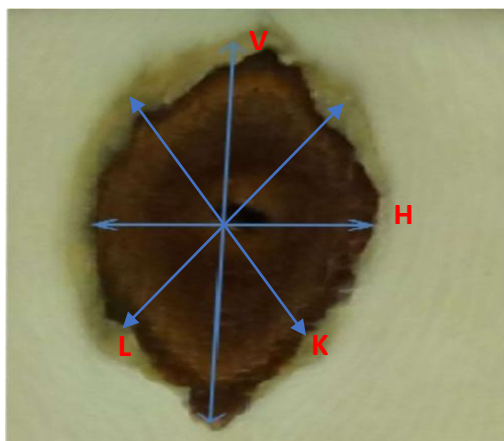
Pengamatan perubahan warna dilakukan 3 bulan setelah inokulasi (hsi). Pengamatan ini dilakukan secara langsung di lapangan kemudian diuji lebih lanjut menggunakan aplikasi *Color Picker Tools* untuk menentukan tingkat perubahan warna yang dihasilkan. Kemudian, dilakukan skoring terhadap tingkat perubahan warna hasil inokulasi yang dibedakan dalam kriteria: putih, putih kecokelatan, cokelat, cokelat kehitaman, hitam dan hitam pekat (Putri, 2007) seperti yang tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai (Score) Warna Infeksi

No	Warna Infeksi	Score
1.	Putih	0
2.	Putih Kecokelatan	1
3.	Cokelat	2
4.	Cokelat Kehitaman	3
5.	Hitam	4
6.	Hitam Pekat	5

3. Luas Jaringan Terinfeksi

Pengukuran luas infeksi dilakukan satu kali dalam satu bulan selama periode 3 bulan setelah inokulasi, tepatnya di sekitar titik pengeboran. Luas infeksi diukur dengan mencari rata-rata diameter terlebih dahulu dengan cara $(\theta) = (V \text{ cm} + H \text{ cm} + K \text{ cm} + L \text{ cm})/4$, kemudian menghitung luas infeksi dengan menggunakan rumus πr^2 . Cara mengukur rata-rata diameter penyebaran infeksi dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



(b)

Gambar 3. Cara Mengukur Rata-Rata Luas Penyebaran Infeksi: (a) Ilustrasi Pengukuran Luas Infeksi Berbagai Arah, (b) Hasil Pengamatan Lubang Inokulasi pada Pohon Gaharu

Pengukuran jarak penyebaran infeksi dilakukan dengan mengukur dari berbagai arah pada bagian jaringan xilem. Hasil pengukuran tersebut kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh rata-rata diameter luar infeksi yang dihasilkan oleh reaksi inokulan. Rata-rata diameter ini selanjutnya digunakan untuk menghitung luas infeksi dengan menggunakan rumus lingkaran, karena pada umumnya penyebaran infeksi membentuk pola yang hampir menyerupai lingkaran (Iskandar & Suhendra, 2023).

2.7 Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Data hasil pengamatan diolah secara statistik dengan menggunakan *software Microsoft Excel* dan *software SPSS*, kemudian hasil analisis varians yang menunjukkan beda nyata diuji lebih lanjut dengan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) atau Uji Tukey. Model dari percobaan Rancangan Acak Lengkap adalah (Mardiana, 2023):

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

$i=1,2,3,4,5 \quad j=1,2,3$

Keterangan:

Y_{ijk} : Nilai pengamatan dari perlakuan ke-i dan ulangan ke-j

μ : Nilai tengah populasi (rata-rata yang sesungguhnya)

τ_i : Pengaruh perlakuan ke-i

ϵ_{ij} : Pengaruh galat dari ulangan ke-j yang memperoleh perlakuan ke-i

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan rumus sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing perlakuan maka dilakukan uji lanjutan uji tukey atau uji beda nyata jujur (BNJ), dengan rumus yaitu (Zaura et al., 2023):

$$HSD = q_{a(p,v)} \times \sqrt{\frac{KTGalat}{r}}$$

Keterangan:

p : Jumlah perlakuan

v : Derajat bebas galat

r : Jumlah ulangan

KTG: Kuadrat tengah galat

$q_{a(p,v)}$: Nilai tabel studentized range statistic

2. Mengukur diameter pohon dengan cara mengukur keliling pohon yang dikonversi ke diameter dengan rumus:

$$\text{Diameter} = k/\pi$$

Keterangan:

k : Keliling pohon (cm)

π : 3,14

3. Menghitung tinggi total dengan menggunakan rumus :

$$TTot = (\tan \alpha_{ttot} \times jp) + tp$$

Keterangan:

α_{ttot} : Sudut tinggi total pohon menggunakan *abney level*

jp : Jarak pengamat ke pohon (10 m)

tp : Tinggi pengamat (sampai mata)

4. Menghitung tinggi bebas cabang dengan menggunakan rumus :

$$Tbc = (\tan \alpha_{tbc} \times jp) + tp$$

Keterangan:

α_{tbc} : Sudut tinggi bebas cabang pohon menggunakan *abney level*

jp : Jarak pengamat ke pohon (10 m)

tp : Tinggi pengamat (sampai mata)

5. Menghitung luas bidang dasar dengan menggunakan rumus :

$$LBDS = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Keterangan:

π : 3,14

D : Diameter

6. Menghitung volume dengan menggunakan rumus :

$$V = \frac{1}{4} \pi \times D^2 \times T \times f$$

Keterangan:

T : Tinggi pohon

F : Faktor bentuk

7. Menghitung persentase keberhasilan infeksi dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Kusumaningsih et al., 2022) :

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{N} \times 100\%$$

$$\%keberhasilan\ infeksi = \frac{K+W+L}{3}$$

Keterangan:

$\sum_{i=1}^n xi$: Jumlah lubang yang terinfeksi

N : Jumlah sampel lubang yang ada

K, W, L : Persentasi Keberhasilan, Perubahan Warna, Luas Infeksi