

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gaharu (*Aquilaria* spp.) terkenal karena kayunya yang harum dan mengandung resin, dapat dibudidayakan di lokasi bekas tambang dengan memanfaatkan berbagai teknik untuk mempercepat perkembangan dan pertumbuhannya. Penelitian telah menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti gangguan lapisan tanah atas akibat aktivitas tambang (Valliere *et al.*, 2022), penggunaan inokulan mikroba untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan nutrisi tanah (Li *et al.*, 2023), dan peran amelioran dalam mempercepat pertumbuhan bibit pada media tanah pasca tambang (Yuwono *et al.*, 2021) dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, termasuk gaharu. Selain itu, jamur mikoriza arbuskular dan amelioran tanah telah terbukti meningkatkan pertumbuhan berbagai spesies tanaman di lahan pasca tambang (Bekti *et al.*, 2022).

Parameter lingkungan dan kimia tanah juga merupakan faktor penting yang mendukung pertumbuhan pohon penghasil gaharu (Yulizah *et al.*, 2022). Penelitian juga telah menunjukkan potensi tanaman penghasil gaharu tumbuh subur di lahan bekas tambang, khususnya batu kapur, dengan penyertaan jamur mikoriza arbuskular dan pupuk organik (Satria *et al.*, 2023). Selain itu, isolasi jamur endofit dari tanaman gaharu muda telah mengungkapkan sifat antimikroba yang berkontribusi pada produksi resin pada tanaman ini (Mochahari *et al.*, 2020).

Gaharu memiliki resin aromatik yang sangat berharga, dibedakan oleh kandungan metabolit sekundernya, memiliki aroma dan khasiat obatnya yang unik. Ketika tanaman gaharu terkena berbagai stresor, seperti kerusakan akibat petir, pemotongan, pembakaran, serangan serangga, atau invasi mikroba, mereka menghasilkan beragam metabolit sekunder sebagai mekanisme pertahanan (Lukman *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2021). Senyawa metabolit sekunder ini, termasuk seskuiterpen, flavonoid, tanin, alkaloid, dan steroid, terakumulasi dalam serat kayu tanaman *Aquilaria* dan *Gyrinops*, sehingga meningkatkan kualitas aromatik dan terapeutiknya (Batubara *et al.*, 2020).

Penelitian telah menunjukkan bahwa biosintesis dan akumulasi metabolit sekunder dalam gaharu dipicu oleh faktor stres seperti luka dan invasi jamur

(Begum *et al.*, 2024; Lv *et al.*, 2022). Pembentukan gaharu yang diinduksi melibatkan aktivasi respons pertahanan yang mengarah pada produksi senyawa seperti seskuiterpen, kromon, dan minyak esensial, yang berkontribusi pada profil kimia gaharu yang unik (Zhang *et al.*, 2022). Lebih jauh, keberadaan spesies jamur tertentu, seperti *Fusarium solani*, telah dikaitkan dengan induksi senyawa gaharu dalam jaringan tanaman (Faizal *et al.*, 2020, 2021).

Tanaman penghasil gaharu merupakan komoditas hasil hutan bukan kayu bernilai ekonomi tinggi yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan pada lahan marginal, termasuk lahan bekas tambang batubara (Rohmah *et al.*, 2020; Sitepu *et al.*, 2011). Pengembangan gaharu pada lahan pascatambang sejalan dengan kebijakan pemerintah terkait rehabilitasi lahan kritis, program perhutanan sosial, pengembangan agroforestry, serta peningkatan nilai tambah komoditas lokal (Sidiyasa, 2019; Roshetko *et al.*, 2018). Namun demikian, pemanfaatan gaharu tidak hanya berhenti pada budidaya, tetapi perlu didukung oleh teknologi hilirisasi seperti ekstraksi oleoresin yang efisien, ramah lingkungan, dan ekonomis agar mampu meningkatkan daya saing industri berbasis sumber daya lokal (Gao *et al.*, 2019).

Kegiatan pertambangan batubara di Indonesia, termasuk di wilayah Sumatera Barat seperti Sawahlunto, telah memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan namun juga meninggalkan permasalahan lingkungan berupa lahan bekas tambang yang kritis, tidak produktif, dan memerlukan upaya reklamasi berkelanjutan (Siregar *et al.*, 2020; Tripathi *et al.*, 2016). Pemerintah Indonesia melalui berbagai regulasi, seperti kewajiban reklamasi dan pascatambang dalam Undang-Undang Minerba serta peraturan turunan dari Kementerian ESDM dan KLHK, menekankan pentingnya pemulihan fungsi ekologis sekaligus pemanfaatan ekonomi lahan pascatambang secara berkelanjutan (Hardiansyah & Prayogo, 2019; Tordoff *et al.*, 2000). Dalam konteks tersebut, diperlukan inovasi teknologi dan model bisnis yang mampu mengintegrasikan aspek rehabilitasi lahan, peningkatan kesejahteraan masyarakat, dan efisiensi biaya produksi.

Berdasarkan pertimbangan ini, penelitian ini pertama kali akan melakukan penyelidikan eksploratif terhadap tanaman gaharu yang tumbuh di bekas area penambangan batu bara di kota Sawahlunto, yang terletak di Provinsi Sumatera

Barat. Tanaman ini berumur sepuluh tahun dan belum mengalami penyuntikan, tetapi pemeriksaan fisik menunjukkan adanya resin, yang jika dibakar akan mengeluarkan aroma harum. Memvalidasi keberadaan aroma tersebut, dilakukan uji profil kandungan senyawa dominan pada resin yang diekstraksi dari pohon gaharu yang tumbuh di bekas area pertambangan.

Gaharu, yang dikenal dengan nilai ekonominya yang tinggi, memiliki bagian yang disebut gubal gaharu yang dapat diolah menjadi oleoresin gaharu. Proses pengolahan oleoresin gaharu melibatkan biaya ekstraksi di mana keuntungan usaha dapat bervariasi tergantung pada penjualan minyak dan hidrosol gaharu (Wahyuni & Yuliana, 2021). Oleoresin gaharu sendiri diperoleh melalui berbagai metode ekstraksi seperti pengempaan, hidrodestilasi, dan ekstraksi dengan pelarut, termasuk ekstraksi dengan pelarut etanol, methanol, aseton dan n-heksan secara maserasi (Luthfi & Jerry, 2021). Pemahaman tentang strategi pengembangan model bisnis dan analisis biaya produksi dalam pemilihan metode ekstraksi sangat penting untuk memahami potensi ekonomi dari oleoresin gaharu (Liunokas & Karwur, 2020).

Maserasi adalah teknik ekstraksi yang dilakukan dengan merendam bahan padat dalam pelarut tanpa memanaskannya, yang mengurangi risiko kerusakan senyawa bioaktif yang sensitif terhadap panas. Penggunaan metanol sebagai pelarut memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan pelarut lainnya. Metanol memiliki sifat semi polar, sehingga efektif dalam melarutkan senyawa organik polar seperti sesquiterpen dan kromon yang terdapat dalam oleoresin gaharu (Luthfi & Jerry, 2021). Keberhasilan maserasi dengan metanol didukung oleh hasil studi yang menunjukkan bahwa pelarut ini dapat meningkatkan hasil ekstraksi dibandingkan dengan penggunaan pelarut lain (Mulyadi *et al.*, 2023).

Metanol efektif dalam ekstraksi total sesquiterpen, 2-(2-phenylethyl)-4H-chromen-4 (chromon) dan senyawa aromatik (Zakaria *et al.*, 2020). Maserasi menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan hemat energi (Triesty & Mahfud, 2017). Studi menunjukkan bahwa metode maserasi memiliki efektivitas yang baik dalam mengekstraksi komponen aktif dari berbagai sumber tanaman, sehingga dapat diandalkan untuk menghasilkan ekstrak berkualitas tinggi dengan biaya yang lebih rendah (Pratama *et al.*, 2023). Dalam hal kualitas ekstrak,

penggunaan metanol dalam maserasi diyakini dapat menstabilkan senyawa bioaktif yang terlarut, menghasilkan produk akhir dengan profil senyawa yang lebih stabil dan konsisten. Hal ini sangat penting bagi industri yang memerlukan komposisi produk yang terstandarisasi dalam pengembangan kosmetik dan parfum (Susanti *et al.*, 2020).

Penelitian telah menunjukkan bahwa metode ekstraksi berbantu microwave dan ultrasonik memiliki keunggulan dalam efisiensi dan kecepatan ekstraksi senyawa aktif dari bahan baku tertentu. Metode ekstraksi berbantu ultrasonik, khususnya, telah terbukti efektif dalam ekstraksi senyawa aktif dengan optimal dan efisien. Selain itu, metode ekstraksi berbantu microwave juga telah digunakan dalam ekstraksi minyak atsiri dari bahan tumbuhan lain, menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi (Garcia-Vaquero *et al.*, 2021).

Life Cycle Costing (LCC) merupakan metode penting yang digunakan untuk mengevaluasi semua biaya yang terkait dengan produk atau proses dari awal hingga akhir hidupnya. Penerapan LCC dapat memberikan wawasan yang mendalam mengenai biaya jangka panjang serta mempertimbangkan dampak lingkungan dari kegiatan ekstraksi tersebut. Metode ini bukan hanya mengevaluasi biaya langsung, tetapi juga mempertimbangkan biaya eksternal dan sisa umur dari suatu produk atau sistem (Holka & Bieńkowski, 2020; Pelletier, 2015).

Metode ini sangat relevan dalam konteks ekstraksi, karena seringkali terdapat biaya tersembunyi yang tidak tercermin dalam perhitungan awal, seperti biaya pemulihan lingkungan dan pengelolaan limbah (Canaj *et al.*, 2021). Dengan mengintegrasikan pendekatan LCC, pelaku industri dapat membuat keputusan yang lebih informasi mengenai investasi dalam metode produksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Huang *et al.*, 2017).

Penetapan biaya siklus hidup atau LCC sangat penting dalam mengevaluasi total biaya yang terkait dengan ekstraksi minyak, termasuk oleoresin gaharu. Penelitian LCC mempertimbangkan biaya yang dikeluarkan selama proses ekstraksi, mulai dari desain hingga pengoperasian dan pemeliharaan, sehingga memberikan evaluasi ekonomi yang komprehensif (Sadliwala & Gogate, 2022). Mengintegrasikan LCC dengan perhitungan nilai tambah menawarkan pendekatan holistik untuk menilai dampak ekonomi dari proses ekstraksi minyak (Omran *et al.*,

2021). Pendekatan gabungan ini memungkinkan adanya pemahaman komprehensif tentang biaya proses produksi minyak. Selain itu, analisis biaya siklus hidup (LCC) telah diterapkan di berbagai industri, seperti produksi biodiesel, untuk memperkirakan biaya produksi dan menilai kelayakan ekonomi (Liu *et al.*, 2024).

Pendekatan LCC pada penelitian ini yaitu *cradle to gate*. analisis LCC ini mencakup seluruh aktivitas yang terjadi sejak proses pengadaan bahan baku hingga proses pengolahan yang menghasilkan produk akhir berupa oleoresin gaharu. Tahapan yang dianalisis meliputi proses pengumpulan bahan baku gaharu dari sumbernya, proses transportasi bahan baku menuju lokasi pengolahan, serta proses ekstraksi hingga diperoleh produk oleoresin. Setiap tahapan tersebut menghasilkan komponen biaya yang berbeda, sehingga diperlukan identifikasi dan klasifikasi biaya secara sistematis (Liu *et al.*, 2024).

Analisis LCC dilakukan dengan cara menghitung total biaya dari seluruh tahapan yang termasuk dalam sistem batas (*system boundary*) penelitian. Sistem batas yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada tahap *cradle to gate*, sehingga biaya yang dihitung hanya mencakup aktivitas dari tahap pengadaan bahan baku hingga produk oleoresin dihasilkan, tanpa memasukkan biaya distribusi, penggunaan produk, maupun tahap akhir siklus hidup produk. dengan pendekatan ini, penelitian dapat memberikan gambaran mengenai struktur biaya produksi oleoresin gaharu secara lebih rinci dan mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi biaya terbesar (Huang *et al.*, 2017).

LCC menjadi relevan dalam penelitian ini karena pemerintah saat ini mendorong penggunaan metode analisis biaya yang mempertimbangkan seluruh siklus hidup produksi, termasuk biaya lingkungan, sosial, dan operasional (Swarr *et al.*, 2011; Woodward, 1997). Pendekatan ini sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan, ekonomi hijau, serta kebijakan industri berbasis nilai tambah yang diusung dalam RPJMN dan strategi hilirisasi sumber daya alam (Guinee *et al.*, 2011; Hannouf & Assefa, 2017). Dengan menggunakan LCC pada proses ekstraksi oleoresin gaharu dari lahan bekas tambang, penelitian ini dapat memberikan rekomendasi kebijakan terkait teknologi ekstraksi yang paling efisien, skema usaha yang berkelanjutan bagi masyarakat sekitar tambang, serta

pengelolaan lahan pascatambang yang produktif secara ekonomi dan ramah lingkungan.

Penelitian mengenai eksplorasi ekstraksi oleoresin gaharu dari tanaman gaharu yang dibudidayakan pada lahan bekas tambang batu bara memiliki keterkaitan yang kuat dengan konsep pertanian berkelanjutan karena memanfaatkan lahan terdegradasi melalui kegiatan revegetasi yang bernilai ekonomi tinggi. Pemanfaatan lahan pascatambang untuk budidaya gaharu tidak hanya berkontribusi pada rehabilitasi ekosistem melalui peningkatan tutupan vegetasi, perbaikan struktur tanah, dan peningkatan keanekaragaman hayati, tetapi juga memberikan peluang ekonomi bagi masyarakat melalui pemanfaatan produk bernilai tambah seperti oleoresin.

Penelitian ini memungkinkan evaluasi efisiensi ekonomi dari berbagai metode ekstraksi secara komprehensif sepanjang siklus produksi, sehingga dapat mengidentifikasi teknologi ekstraksi yang paling efisien secara ekonomi sekaligus meminimalkan penggunaan energi, bahan kimia, dan limbah proses. Dengan demikian, integrasi pemanfaatan lahan pascatambang, pengolahan sumber daya hayati bernilai tinggi, serta analisis biaya siklus hidup menjadi strategi penting dalam mendukung sistem agroindustri yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan (Hardiansyah & Prayogo, 2019; Tordoff *et al.*, 2000)

1.2 Rumusan Masalah

Gaharu yang dihasilkan dari tanaman yang tumbuh pada lahan bekas tambang batu bara menunjukkan indikasi pembentukan gubal yang cukup baik. Hal ini dapat diamati melalui beberapa ciri fisik seperti daun yang mulai rontok, ranting yang mudah patah, batang pohon yang mengalami keretakan, serta munculnya aroma khas gaharu yang harum. Ciri-ciri tersebut merupakan indikator terjadinya proses pembentukan resin pada jaringan kayu gaharu akibat respon fisiologis tanaman terhadap stres atau infeksi tertentu. Meskipun demikian, hingga saat ini belum banyak informasi ilmiah yang menjelaskan profil senyawa kimia dominan yang terkandung dalam gaharu yang berasal dari lahan pascatambang tersebut, khususnya kelompok senyawa seskuiterpenoid yang diketahui berperan penting dalam menentukan kualitas dan aroma khas gaharu. Identifikasi komposisi senyawa ini menjadi penting untuk mengetahui potensi kualitas gaharu dari lahan bekas

tambang serta peluang pemanfaatannya sebagai bahan baku produk bernilai tinggi seperti oleoresin dan minyak atsiri (Chen et al., 2012; Naef, 2011).

Sebagian besar petani gaharu saat ini masih menjual produk dalam bentuk gubal mentah tanpa melakukan proses pengolahan lebih lanjut seperti ekstraksi oleoresin. Kondisi ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan teknologi ekstraksi yang dimiliki oleh petani sehingga belum mampu menentukan metode ekstraksi yang efektif dan efisien. Selama ini proses ekstraksi yang dilakukan masih menggunakan metode konvensional yang sederhana, sehingga menghasilkan rendemen oleoresin yang relatif rendah serta memerlukan waktu proses yang lama dan biaya produksi yang tinggi. Beberapa penelitian melaporkan bahwa pelaku usaha kecil dan petani gaharu masih banyak menggunakan teknik produksi tradisional seperti perlukaan mekanis dan penyulingan sederhana dalam pengolahan gaharu. Metode tersebut terbukti kurang optimal dalam mengekstraksi senyawa resin aktif yang terdapat dalam kayu gaharu. Studi mengenai penyulingan minyak gaharu skala rumah tangga di Indonesia menunjukkan bahwa rendemen minyak atau oleoresin yang dihasilkan melalui metode konvensional umumnya hanya berkisar antara 0,05–0,10 %, bahkan pada beberapa kasus hanya mencapai sekitar 0,07 % dari total bahan baku yang diolah. Rendemen yang rendah ini menunjukkan bahwa teknologi ekstraksi yang digunakan masih belum efisien, sehingga berdampak pada rendahnya produktivitas serta nilai ekonomi produk gaharu yang dihasilkan dibandingkan dengan penggunaan metode ekstraksi modern yang lebih terkontrol dan efisien (Barden et al., 2000; Turjaman et al., 2016).

Inovasi teknologi ekstraksi yang mampu meningkatkan rendemen oleoresin gaharu serta menekan biaya produksi sangat diperlukan. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah penerapan metode ekstraksi berbantuan teknologi seperti microwave-assisted extraction, ultrasonic-assisted extraction, maupun kombinasi keduanya yang diketahui mampu mempercepat proses difusi senyawa aktif dari matriks bahan serta meningkatkan efisiensi ekstraksi. Selain aspek teknis ekstraksi, analisis ekonomi juga menjadi faktor penting dalam menentukan kelayakan penerapan teknologi tersebut di tingkat petani maupun industri kecil. Pendekatan *Life Cycle Costing* (LCC) dapat digunakan untuk mengevaluasi seluruh

komponen biaya yang timbul sepanjang siklus proses ekstraksi, mulai dari biaya peralatan, biaya operasional, energi, hingga biaya pemeliharaan.

Hasil analisis tersebut dapat menjadi dasar dalam menentukan metode ekstraksi yang paling efisien, ekonomis, serta berpotensi meningkatkan nilai ekonomi komoditas gaharu di tingkat petani (Blank & Tarquin, 2018; Dhillon, 2010). Berdasarkan uraian tersebut, maka beberapa permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Apa saja kandungan senyawa dominan yang terdapat pada gaharu yang berasal dari lahan bekas tambang batu bara.
2. Apakah terdapat pengaruh perbedaan metode maserasi berbantu microwave, maserasi berbantu ultrasonik, dan kombinasi keduanya terhadap rendemen, waktu ekstraksi, serta kualitas oleoresin gaharu yang dihasilkan.
3. Berapa besar biaya yang diperlukan dalam proses ekstraksi oleoresin gaharu jika dianalisis menggunakan pendekatan *Life Cycle Costing* (LCC).

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis secara komprehensif profil senyawa dominan oleoresin gaharu yang berasal dari lokasi bekas tambang dan non tambang menggunakan metode maserasi suhu ruang, guna mengidentifikasi perbedaan karakteristik kimia dan kualitas produk yang dihasilkan.
2. Mengevaluasi dan membandingkan secara sistematis kinerja berbagai metode ekstraksi (maserasi konvensional, maserasi berbantu microwave, maserasi berbantu ultrasonik, serta kombinasi) dalam menghasilkan oleoresin gaharu, berdasarkan parameter rendemen, komposisi senyawa, efisiensi energi, dan waktu proses.
3. Merancang dan mengembangkan model optimasi metode ekstraksi terbaik dengan pendekatan *Life Cycle Costing* (LCC), melalui integrasi aspek biaya siklus hidup, efisiensi proses, dan kualitas produk, sehingga diperoleh metode ekstraksi yang paling optimal secara teknis dan ekonomis.

1.4 Manfaat Penelitian

Memberikan rekomendasi kepada pemerintah dalam pengembangan budidaya gaharu di lokasi bekas tambang dan mendukung hilirisasi gaharu menjadi produk turunan gaharu salah satunya oleoresin, serta sebagai acuan kepada dunia industri gaharu dalam memilih metode ekstraksi oleoresin gaharu yang lebih efektif menghasilkan rendemen yang tinggi dan biaya yang murah.

1.5 Kebaruan Penelitian (*Novelty*)

Penelitian ekstraksi oleoresin gaharu sudah dilakukan oleh peneliti sebelumnya seperti melakukan ekstraksi dengan maserasi suhu ruang menggunakan pelarut metanol yang dapat meningkatkan jumlah kandungan sesquiterpen pada oleoresin gaharu, kemudian penelitian ekstraksi gaharu dengan menggunakan metode microwave dan ultrasonik juga sudah dikembangkan oleh beberapa peneliti sebelumnya yang menunjukkan peningkatan hasil rendemen oleoresin gaharu. Berdasarkan perjalanan penelitian ekstraksi oleoresin gaharu tersebut maka kebaruan pada penelitian ini yaitu melakukan kombinasi ekstraksi microwave dan ultrasonik untuk memaksimalkan rendemen oleoresin gaharu serta meningkatkan kandungan sesquiterpen yang menjadi kandungan utama dari oleoresin gaharu.

Penelitian ekstraksi oleoresin ini juga dilakukan dengan pendekatan *Life Cycle Costing* (LCC) yang merupakan kebaruan penelitian, hal ini disebabkan belum adanya penelitian sebelumnya yang melakukan penelitian metode ekstraksi pada oleoresin gaharu dengan pendekatan LCC. Tujuan dari pendekatan LCC pada penelitian ini yaitu untuk menentukan metode ekstraksi yang tepat dalam pandangan ekonomi dan pengembangannya dalam skala industri pertanian.

Penelitian ini memberikan kontribusi pada ilmu pertanian dalam pengembangan teknologi pengolahan hasil hutan bukan kayu (HHBK), khususnya komoditas gaharu yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah mengenai metode ekstraksi yang paling efisien tidak hanya dari segi hasil rendemen dan kualitas senyawa bioaktif, tetapi juga dari perspektif efisiensi biaya produksi dan keberlanjutan ekonomi. khususnya dalam meningkatkan nilai tambah produk hasil hutan serta mendorong pemanfaatan sumber daya alam secara lebih optimal dan berkelanjutan.