

PENGARUH *PRETREATMENT* TERHADAP SIFAT FISIKOKIMIA GAHARU *NON-RESINOUS*
DAN POTENSINYA SEBAGAI NATURAL FRAGRANCE

L.M. Najwa* dan R. Dwiarto

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia,
Yogyakarta, Indonesia

*e-mail: 24923006@students.uii.ac.id

Article Received on: 25th February 2026

Revised on: 30th May 2026

Accepted on: 31st July 2026

ABSTRAK

Gaharu *non-resinous* memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku parfum alami jika diproses dengan teknik yang tepat. Penelitian ini menganalisis pengaruh berbagai metode *pretreatment* (fermentasi, *microwave*, dan ultrasonik) serta metode ekstraksi (hidrodistilasi dan maserasi) terhadap sifat fisikokimia, stabilitas, dan karakteristik aroma dari gaharu *non-resinous*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *pretreatment* fermentasi dan ultrasonik menghasilkan ekstrak dengan warna yang lebih pekat dan aroma kayu (*woody*) yang lebih kuat, sedangkan *pretreatment microwave* menghasilkan ekstrak dengan warna yang lebih terang dan profil aroma yang lebih lembut. *Pretreatment* ultrasonik meningkatkan rendemen ekstraksi sekitar 70%, dan hidrodistilasi selama 18 jam meningkatkan rendemen hidrosol hingga 80%. Analisis senyawa volatil berhasil mengidentifikasi komponen khas gaharu seperti agarospirol, eudesmol, dan epi- γ -eudesmol. Berdasarkan evaluasi sensorik, uji hedonik, dan analisis stabilitas aroma, metode maserasi etanol dengan *pretreatment microwave* 300 W serta hidrodistilasi selama 12–18 jam ditetapkan sebagai metode yang paling sesuai untuk memproduksi ekstrak gaharu *non-resinous* sebagai bahan dasar parfum alami.

Kata kunci: Gaharu *non-resinous*, Proses *pretreatment* & ekstraksi, Karakterisasi fisikokimia, Wewangian alami.

ABSTRACT

Non-resinous agarwood represents a promising raw material for natural perfume production when processed using appropriate *pretreatment* and extraction techniques. This study investigated the effects of different *pretreatment* methods (fermentation, microwave, and ultrasonic) and extraction methods (hydrodistillation and maceration) on the physicochemical properties, stability, and aroma characteristics of non-resinous agarwood extracts. The results demonstrated that fermentation and ultrasonic *pretreatments* produced darker extracts with stronger woody aromas, whereas microwave *pretreatment* generated lighter-colored extracts with milder aroma profiles. Ultrasonic *pretreatment* increased extraction yield by approximately 70%, while extending hydrodistillation time to 18 h increased hydrosol yield to 80%. Volatile compound analysis identified key agarwood constituents, including agarospirol, eudesmol, and epi- γ -eudesmol. Sensory, hedonic, and aroma stability evaluations indicated that ethanol maceration combined with 300 W microwave *pretreatment*, followed by 12–18 h hydrodistillation, provided the most suitable processing strategy for producing stable non-resinous agarwood extracts. These findings demonstrate the potential of non-resinous agarwood as a sustainable source of fragrance ingredients for natural perfume formulations.

Keywords: Non-resinous agarwood, *Pretreatment* & Extraction process, Physicochemical characterization, Natural fragrance.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah seperti pohon *Aquilaria* yang tersebar luas di Kalimantan, Sumatera, Papua, dan Sulawesi. Gaharu merupakan bentuk respons pertahanan fisiologis pohon *Aquilaria* terhadap cekaman biotik dan abiotik, yang dicirikan oleh akumulasi resin aromatik di dalam jaringan kayu yang rusak (Chen & Rao, 2022). Resin gaharu telah digunakan secara luas dan diakui sebagai bahan bernilai tinggi karena

profil aromatik yang khas serta perannya dalam berbagai aplikasi wewangian (Mohamed, 2016).

Pemanfaatan pohon *Aquilaria* saat ini masih berfokus pada gaharu yang mengandung resin, sementara gaharu *non-resinous* atau kayu sehat umumnya kurang dimanfaatkan atau bahkan dibuang. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa kayu gaharu *non-resinous* mengandung senyawa seskuiterpena dan seskuiterpenoid seperti kessane dan eudesmol, meskipun dengan konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan pada kayu gaharu

beresin (Hamdan *et al.*, 2024). Senyawa-senyawa ini berkontribusi pada karakteristik aroma pada gaharu yang mengindikasikan potensi ekstrak gaharu *non-resinous* sebagai bahan dasar parfum (Naziz *et al.*, 2019).

Senyawa seskuiterpen merupakan komponen utama yang bertanggung jawab terhadap karakter aroma khas gaharu dan menjadi dasar pemanfaatannya dalam industri parfum, dupa, dan produk wewangian premium. Profil aroma gaharu yang kompleks berasal dari kombinasi berbagai kelompok seskuiterpenoid yang memberikan karakter *woody*, *balsamic*, dan *sweet*, sehingga menjadikannya salah satu bahan baku alami bernilai tinggi dalam formulasi *fragrance* (Yang *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2024). Gaharu juga dikenal sebagai bahan utama pada parfum mewah karena kompleksitas aromanya yang sulit diduplikasi secara sintetis. Meningkatnya permintaan konsumen terhadap bahan baku wewangian alami turut mendorong eksplorasi sumber *fragrance* alternatif yang lebih berkelanjutan, termasuk pemanfaatan biomassa gaharu *non-resinous* yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal (Sharmeen *et al.*, 2021).

Sifat fisikokimia dan komposisi kimia dari gaharu sangat dipengaruhi oleh proses *pretreatment* serta kondisi ekstraksi (Arafat *et al.*, 2020). Proses *pretreatment* berperan dalam mengubah matriks lignoselulosa kayu untuk meningkatkan mobilitas pelarut pada proses ekstraksi sehingga diharapkan pelepasan senyawa volatil meningkat (Widoyanti, 2017). *Pretreatment* fermentasi menggunakan mikroorganisme seperti *Rhizopus* sp. dilaporkan dapat mempercepat degradasi lignin dan selulosa, yang memfasilitasi pelepasan senyawa seskuiterpen (Jabbar *et al.*, 2015; Fauziah *et al.*, 2022). Selain itu, *pretreatment* fisik yang meliputi pemanasan *microwave* dan *ultrasonic* juga memengaruhi efisiensi ekstraksi dan profil kimia ekstrak gaharu melalui mekanisme pemanasan dielektrik dan kavitasi (Ma *et al.*, 2025). Perubahan struktur matriks kayu akibat *pretreatment* berpotensi memengaruhi pelepasan senyawa volatil pembentuk aroma, khususnya seskuiterpenoid yang memiliki kontribusi besar terhadap kualitas *fragrance*. Dengan demikian, *pretreatment* tidak hanya menentukan rendemen ekstrak yang diperoleh, tetapi juga berpotensi mengubah komposisi kimia dan karakter aroma ekstrak gaharu *non-resinous* yang dihasilkan.

Teknik ekstraksi yang tepat dapat menentukan karakteristik ekstrak yang dihasilkan. Maserasi dan hidrodistilasi bekerja melalui mekanisme perpindahan massa dan panas yang berbeda, sehingga memengaruhi perolehan kembali

(*recovery*) senyawa volatil yang pada akhirnya memengaruhi parameter fisikokimia serta profil aroma (Syameera *et al.*, 2024). Analisis kromatografi gas spektrometri massa (GC–MS) secara umum digunakan untuk mengarakterisasi senyawa-senyawa volatil (Rubiyanto, 2017) yang berasal dari gaharu serta mengevaluasi aplikasinya untuk aplikasi wewangian (Zhang *et al.*, 2022).

Dalam industri parfum *modern*, kualitas bahan *fragrance* alami sangat ditentukan oleh komposisi senyawa volatil yang teridentifikasi melalui analisis GC–MS. Meskipun telah banyak studi mengenai resin gaharu, penelitian yang membahas efek kombinasi antara metode *pretreatment* dan metode ekstraksi terhadap sifat fisikokimia gaharu *non-resinous* masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada gaharu beresin, induksi pembentukan resin, atau identifikasi senyawa bioaktif pada gaharu komersial, sedangkan kajian mengenai pengaruh *pretreatment* terhadap pelepasan senyawa volatil dan karakteristik *fragrance* pada gaharu *non-resinous* masih jarang dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan guna menetapkan landasan kimia dan analitis yang efektif untuk memanfaatkan gaharu *non-resinous* asal Indonesia sebagai bahan baku yang bernilai tambah dan berkelanjutan untuk pemanfaatan di bidang wewangian.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kayu *Aquilaria microcarpa* Baill yang berasal dari Kalimantan, Indonesia, *Rhizopus oligosporus*, etanol (C₂H₆O), etil asetat (C₄H₈O₂), dan akuades (H₂O).

Peralatan

Peralatan yang digunakan mencakup *diskmill*, perangkat hidrodistilasi (yang terdiri dari *heating mantle*, labu alas bulat 500 mL, kondensor, termometer, dan labu penampung), autoklaf, peralatan gelas standar laboratorium, wadah maserasi, *rotary vacuum evaporator* (Eyela), timbangan analitik (Ohaus), polarimeter (Krüss P3000), refraktometer Abbe, dan sistem GC–MS (Shimadzu QP-2010 SE).

Cara Kerja

Persiapan Sampel dan Pretreatment

Sampel kayu *A. microcarpa* dibersihkan dan dicacah dengan *diskmill* (*chipped*). *Pretreatment* dilakukan melalui tiga metode berbeda. *Pretreatment* fermentasi dilakukan menggunakan *Rhizopus oligosporus* dengan rasio 1:10 (b/b) dan

diinkubasi pada suhu ruang selama 4 hari (Jabbar *et al.*, 2015). *Pretreatment microwave* dilakukan pada daya 300 W selama 3 menit dalam tiga siklus dengan rasio kayu terhadap air sebesar 1:10 (Kusuma *et al.*, 2019; Radzi & Kasim, 2020). *Pretreatment* ultrasonik dilakukan pada frekuensi 20 kHz dan suhu 25°C selama 3 × 3 menit (Defiza *et al.*, 2023).

Proses Ekstraksi

Maserasi dilakukan menggunakan etanol (98%, C₂H₆O) dan etil asetat (C₄H₈O₂) selama 2 × 24 jam dalam kondisi gelap, diikuti dengan penguapan pelarut pada suhu ±40°C. Hidrodistilasi dilakukan selama 6, 12, dan 18 jam menggunakan akuades (H₂O) untuk memperoleh fraksi volatil (Safitri *et al.*, 2019).

Analisis Fisikokimia

Hasil ekstrak dan hidrosol yang dihasilkan dievaluasi atribut sensoriknya (warna dan aroma) melalui pengamatan visual. Uji kelarutan dalam etanol dilakukan dengan melarutkan sejumlah ekstrak ke dalam etanol pada suhu ruang untuk mengamati kejernihan dan homogenitas larutan. Indeks bias (25°C) dan rotasi optik ditentukan menggunakan alat analitik standar. Identifikasi senyawa volatil dilakukan menggunakan GC-MS yang dilengkapi kolom Rtx-5MS (30 m × 0,25 mm) dengan gas pembawa helium dan pengaturan suhu oven terprogram. Rendemen ekstraksi dihitung berdasarkan persentase massa ekstrak dan volume hidrosol terhadap massa bahan baku awal.

Analisis Stabilitas Aroma dan Uji Noda

Stabilitas aroma dievaluasi dengan menilai daya tahan wangi pada kertas uji selama 240 menit pada suhu ruang berdasarkan perubahan intensitas aroma secara bertahap (Teixeira *et al.*, 2019). Uji noda dilakukan dengan mengaplikasikan tiga ekstrak dengan aroma paling stabil pada kertas tisu dan *sniff paper*, kemudian dilakukan inspeksi visual terhadap noda yang terbentuk segera setelah aplikasi dan setelah mengering.

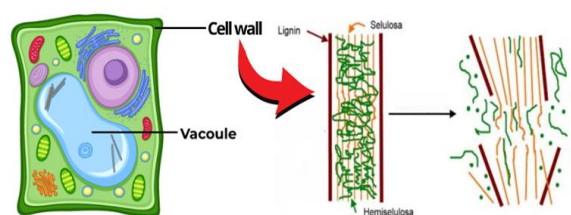
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan bahan parfum berbasis bahan alami (*natural fragrance*) menjadi tren dalam industri parfum modern. Pada penelitian ini, sampel yang digunakan berupa kayu gaharu asal Kalimantan dengan spesies *Aquilaria macrocarpa* Baill. (berdasarkan uji determinasi). Sampel dipilih dari bagian *non-resinous* yang ditandai tidak adanya zona gelap atau guratan resin.

Proses Pretreatment

Proses *pretreatment* merupakan tahap awal sebelum ekstraksi dan karakterisasi sampel.

Pengecilan ukuran dilakukan untuk meningkatkan luas permukaan kontak dan porositas sampel sehingga mempercepat difusi pelarut ke dalam matriks kayu dan meningkatkan efisiensi ekstraksi senyawa volatil (Naziz *et al.*, 2019). Selanjutnya, dilakukan *pretreatment* fermentasi *in vitro* menggunakan *Rhizopus oligosporus*, pemanasan *microwave* dan ultrasonik dengan tujuan untuk mendisrupsi matriks lignoselulosa melalui mekanisme yang berbeda untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat fisikokimia dan stabilitasnya sebagai bahan baku *natural fragrance*.



Gambar 1. Skema disrupsi matriks lignoselulosa melalui *pretreatment*.

Fermentasi dilakukan secara aerob pada kondisi lembab suhu kamar menggunakan *Rhizopus oligosporus* yang mampu mendegradasi komponen lignoselulosa pada kayu. Jamur ini menghasilkan enzim selulase, protease, xilanase, lipase, lakase, dan fosfatase selama proses degradasi (Hemati *et al.*, 2022). Selulosa pada kayu gaharu merupakan polisakarida yang tersusun atas unit glukosa. Berdasarkan Hidayat *et al.* (2024), reaksi fermentasi pada substrat yang mengandung glukosa dapat dituliskan sebagai:



Aktivitas enzimatik tersebut memutus ikatan kimia dalam polimer dinding sel, melonggarkan struktur kayu, serta meningkatkan pengayaan senyawa seskuiterpena secara selektif yang selanjutnya dikonfirmasi melalui analisis GC-MS (Hamdan *et al.*, 2024; Fauziah *et al.*, 2022).

Pretreatment microwave bekerja melalui pemanasan volumetrik akibat interaksi gelombang elektromagnetik dengan molekul bermomen dipol. Pemanasan volumetrik menyebabkan peningkatan suhu dan tekanan di dalam vakuola sel. Air yang terdapat di dalam sel menyerap gelombang mikro, mengembang, dan menekan dinding vakuola. Tekanan internal yang meningkat menyebabkan dinding sel meregang, melemah, dan akhirnya pecah. Ketika dinding sel pecah, struktur jaringan menjadi lebih berpori dan jalur keluarnya minyak atsiri menjadi lebih terbuka.

Gelombang elektromagnetik *microwave* diketahui mampu menembus bahan hingga mencapai bagian dalam sel dan menyebabkan ruptur

dinding sel sehingga senyawa volatil dalam kayu gaharu dapat keluar lebih mudah (Radzi & Kasim, 2020). Daya 300 Watt dipilih untuk menjaga keseimbangan antara efektivitas disrupsi matriks dan stabilitas termal senyawa volatil dalam sampel. Daya yang terlalu tinggi berisiko menyebabkan degradasi atau perubahan struktur kimia pada senyawa-senyawa aromatik sedangkan daya yang terlalu rendah dapat menyebabkan senyawa aromatik tidak terekstrak secara optimal (Kusuma *et al.*, 2019).

Ultrasonik diterapkan sebagai *pretreatment* pada matriks lignoselulosa yang bersifat padat karena proses ini mampu mendisrupsi matriks kayu melalui mekanisme kavitasi dengan cekaman termal yang rendah, sehingga integritas aroma lebih terjaga dan menghasilkan komposisi volatil yang lebih seimbang.



Gambar 2. Ilustrasi metode ultrasonik

Proses sonikasi dilakukan pada frekuensi 20 kHz karena pada kondisi ini proses kavitasi berlangsung optimal, ditandai dengan pembentukan pertumbuhan, dan kolaps gelembung kavitasi yang menghasilkan mikrojet serta gelombang kejut berenergi tinggi. Energi mekanik lokal tersebut menyebabkan disrupsi struktur dinding sel kayu, meningkatkan luas permukaan spesifik, serta memperpendek hambatan difusi sehingga perpindahan massa senyawa volatil ke dalam pelarut berlangsung lebih efisien (Ma *et al.*, 2025).

Suhu sistem dikontrol pada 25°C untuk menjaga stabilitas termal dan mencegah volatilitas berlebih komponen aroma, mengingat konversi energi akustik dapat meningkatkan temperatur medium. Durasi sonikasi 3 x 3 menit dipilih karena memberikan tingkat disrupsi mikrostruktur yang memadai tanpa memicu oksidasi atau degradasi senyawa akibat paparan energi ultrasonik yang berlebihan (Defiza *et al.*, 2023).

Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi gaharu *non-resinous* dipengaruhi oleh metode ekstraksi dan jenis pelarut yang digunakan. Pada penelitian ini, digunakan metode maserasi dan hidrodestilasi karena metode tersebut umum digunakan dalam ekstraksi bahan alam untuk aplikasi wewangian.

Maserasi dilakukan selama 2×24 jam menggunakan etanol dan etil asetat, mengacu pada penelitian Salwa *et al.* (2022) yang melaporkan bahwa maserasi 48 jam menghasilkan rendemen gaharu tertinggi. Waktu perendaman yang terlalu singkat dihindari karena berpotensi membatasi gradien konsentrasi dan menghambat tercapainya kesetimbangan ekstraksi, sehingga perolehan senyawa target menjadi suboptimal. Berdasarkan prinsip *like dissolves like*, etanol sebagai pelarut polar memfasilitasi pelarutan senyawa polar, sedangkan etil asetat yang bersifat semipolar efektif mengekstraksi komponen dengan polaritas menengah (Ulita *et al.*, 2023). Kedua pelarut berdifusi menembus matriks dinding sel tumbuhan dan melarutkan konstituen kimia intraseluler hingga tercapai kesetimbangan konsentrasi antara fase internal dan eksternal, sesuai mekanisme difusi molekuler (Jabbar *et al.*, 2015).



Gambar 3. Hasil Ekstraksi Gaharu *Non-resinous*

Pemilihan etanol dan etil asetat juga mempertimbangkan aplikasi akhir sebagai bahan baku parfum. Mengingat banyak komponen parfum sintetis berbasis turunan petroleum yang berkaitan dengan senyawa benzena dan aldehida, penggunaan pelarut yang aman bagi kulit penting untuk menghasilkan sediaan parfum dengan risiko toksikologis yang lebih rendah (Ma *et al.*, 2025).

Tabel 1. Rendemen Ekstrak Gaharu *Non-resinous*

Pelarut	Metode <i>Pretreatment</i>	Massa Ekstrak (g)	Rendemen (%)
Etanol	Tanpa <i>pretreatment</i>	0,1044	0,5220
	Fermentasi	0,1497	0,7485
	Microwave (300 W)	0,1676	0,8380
	Ultrasonik (3x3 menit)	0,1911	0,9555
Etil asetat	Tanpa <i>pretreatment</i>	0,1345	0,6725
	Fermentasi	0,1653	0,8264
	Microwave (300 W)	0,1748	0,8740
	Ultrasonik (3x3 menit)	0,2328	1,1640

Sampel tanpa *pretreatment* menunjukkan rendemen terendah (0,5220% untuk etanol dan

0,6725% untuk etil asetat) karena terbatasnya difusi melalui matriks lignoselulosa yang masih utuh. Semua *pretreatment* terbukti meningkatkan rendemen, dengan *pretreatment* ultrasonik menghasilkan nilai tertinggi (0,9555% dan 1,1640%), diikuti oleh *microwave* (0,8380–0,8740%), dan fermentasi (0,7485–0,8264%). Hal ini mencerminkan peningkatan derajat disrupsi struktural pada sampel (Fauziah *et al.*, 2022; Etil asetat memberikan nilai rendemen yang lebih tinggi daripada etanol, yang mengonfirmasi dominasi senyawa aromatik semi-polar hingga non-polar, terutama golongan seskuiterpena, pada gaharu *non-resinous* (Kusuma *et al.*, 2019).

Destilasi pada penelitian ini berperan sebagai tahap isolasi senyawa volatil melalui mekanisme hidroddestilasi yang memanfaatkan perbedaan titik didih dan proses ko-distilasi dengan uap air (Safitri *et.al.*, 2019). Pemanasan kontinu memungkinkan air bertindak sebagai media transfer panas sekaligus *carrier* yang memfasilitasi pelepasan komponen aroma dari matriks lignoselulosa. Penetrasi uap air ke dalam jaringan kayu menyebabkan pelunakan struktur dan peningkatan porositas, sehingga hambatan difusi menurun dan senyawa volatil lebih mudah terangkut ke fase gas untuk kemudian dikondensasikan menjadi hidrosol.

Tabel 2. Rendemen Hidrosol Gaharu *Non-resinous*

Waktu Distilasi (jam)	Vol. Air (mL)	Vol. Hidrosol (mL)	Rendemen (%)	Rerata Rendemen (%)
6	200	128	64,0	65,17
6	200	133	66,5	
6	200	130	65,0	
12	200	145	72,5	72,33
12	200	147	73,5	
12	200	142	71,0	
18	200	159	79,5	80,17
18	200	162	81,0	
18	200	160	80,0	

Variasi durasi destilasi menunjukkan adanya pelepasan senyawa secara bertahap sesuai volatilitas dan kekuatan interaksi dengan matriks. Pada waktu lebih singkat, fraksi dengan titik didih rendah terdestilasi terlebih dahulu, sedangkan pemanasan hingga 12–18 jam memungkinkan ekstraksi komponen yang lebih berat atau terikat lebih kuat, sehingga meningkatkan rendemen dan kompleksitas komposisi aroma. Namun, paparan panas yang terlalu lama berpotensi menyebabkan degradasi termal maupun perubahan komposisi relatif senyawa volatil, sehingga diperlukan optimasi

waktu untuk memperoleh keseimbangan antara rendemen dan stabilitas kimia (Safitri *et al.*, 2019).

Hidroddestilasi menghasilkan efisiensi ekstraksi tertinggi, dengan rerata rendemen yang meningkat dari 65,17% pada 6 jam menjadi 72,33% pada 12 jam dan 80,17% pada 18 jam (Tabel 2). Tren ini mencerminkan pelepasan senyawa volatil secara bertahap yang didorong oleh perpindahan panas dan massa berbantuan uap, yang disertai dengan pembengkakan dinding sel dan ekspansi pori yang memfasilitasi pelepasan senyawa dengan volatilitas yang lebih rendah (Baser & Buchbauer, 2015). Namun, durasi distilasi yang lebih lama cenderung meningkatkan kuantitas ekstrak daripada diversitas komposisinya, serta berpotensi memicu degradasi termal ringan pada senyawa aroma yang peka terhadap panas (Safitri *et al.*, 2019).

Analisis Fisikokimia

Variasi warna dan aroma ekstrak menunjukkan adanya perbedaan komposisi kimia yang dihasilkan dari metode *pretreatment* dan ekstraksi yang diterapkan. Ekstrak dengan warna yang lebih pekat umumnya mencerminkan proporsi senyawa aromatik teroksidasi atau konstituen dengan berat molekul tinggi yang lebih besar, yang biasanya dikaitkan dengan atribut sensorik *woody* (kayu) dan *smoky* (Hamdan *et al.*, 2024; Wibowo *et al.*, 2015).

Kelarutan dalam etanol digunakan sebagai indikator kompatibilitas dengan formulasi parfum berbasis alkohol. Ekstrak yang diperoleh melalui maserasi dan hidroddestilasi menunjukkan kelarutan yang baik dalam etanol, yang menunjukkan dominasi senyawa volatil dan semi-volatil dengan polaritas rendah hingga sedang yang sesuai untuk aplikasi wewangian. Pengukuran indeks bias dan rotasi optik memberikan informasi fisikokimia tambahan terkait kemurnian relatif dan keberadaan senyawa kiral, khususnya alkohol seskuiterpen (Zhang *et al.*, 2022).

Berdasarkan analisis GC–MS variasi metode *pretreatment* dan metode ekstraksi gaharu *non-resinous* menghasilkan perbedaan profil fitokimia yang mencerminkan perbedaan mekanisme perpindahan massa dan stabilitas termal senyawa dalam matriks lignoselulosa. Standar minyak gaharu mengandung senyawa dengan dominasi golongan seskuiterpena dan turunannya dengan komponen utama aromadendrene (13,45%), benzylacetone (12,26%), dan 4-phenyl-2-butanone (10,53%), serta keberadaan agarospirol (4,82%), α -eudesmol (4,82%), dan 10-epi- γ -eudesmol (2,58%).

Tabel 3. Analisis Fisikokimia Ekstrak dan Hidrosol Gaharu *Non-resinous*

Metode Ekstraksi	<i>Pretreatment</i> / Kondisi	Warna	Deskripsi Aroma	Indeks Bias	Kelarutan dalam Etanol	Rotasi Optik
Maserasi Etanol	Tanpa <i>pretreatment</i>	Kuning-jingga muda	Woody lembut, rempah	1,370	Larut	Tidak terdeteksi
	<i>Microwave</i>	Kuning-cokelat muda	Woody lembut, rempah, manis	1,364	Larut	Tidak terdeteksi
	Ultrasonik	Jingga pekat	Woody lembut, agak asam	1,432	Larut	-0,05
	Fermentasi	Jingga pekat	Woody lembut, dominan asam	1,370	Larut	Tidak terdeteksi
Maserasi Etil Asetat	Tanpa <i>pretreatment</i>	Jingga kecokelatan	Woody	1,369	Larut	Tidak terdeteksi
	<i>Microwave</i>	Cokelat pekat	Woody	1,372	Larut	Tidak terdeteksi
	Ultrasonik	Cokelat pekat	Woody lembut	1,423	Larut	2,5
	Fermentasi	Cokelat pekat, terdapat sedimen	Dominan asam	1,423	Larut	Tidak terdeteksi
Hidro-distilasi	6 jam	Bening	Woody segar, bersih	1,321	Larut	0,3
	12 jam	Kuning pucat	Woody, kurang manis	1,327	Larut	-0,1
	18 jam	Kuning muda	Woody, agak asam	1,328	Larut	-0,3

Tabel 4. Komposisi Senyawa Volatil Ekstrak dan Hidrosol Gaharu *Non-resinous*

Senyawa	RT	Minyak Gaharu	% Area										Hidrodistilasi		
			Maserasi		Fermentasi		Microwave		Ultrasonik						
			EtOH	EtOAc	EtOH	EtOAc	EtOH	EtOAc	EtOH	EtOAc	EtOH	EtOAc	6h	12h	18h
Agarospirrol	15,45	4,82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,18	21,63	
α -Eudesmol	14,58	4,82	-	-	-	1,24	-	-	-	-	-	-	-	-	
10-epi- γ -eudesmol	14,29	2,58	-	-	-	1,77	-	-	-	0,75	-	-	-	-	
trans-Caryophyllene	16,21	0,66	-	1,77	-	-	-	-	-	-	-	-	3,92	1,15	
4-Phenyl-2-butanone	9,49	10,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,83	-	-	
Caryophyllene oxide	12,52	1,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Aromadendrene	15,58	13,45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1-Limonene	2,73	-	-	-	-	-	0,61	0,11	1,07	-	-	-	-	-	
Benzylacetone	9,49	12,26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,83	
Methyl palmitate	12,09	-	7,49	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-	
Bis(2-ethylhexyl) adipate	16,43	-	2,04	16,43	-	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	

Ekstraksi maserasi menggunakan etanol (EtOH) dan etil asetat (EtOAc) lebih selektif terhadap komponen non-volatil hingga semi-volatil seperti methyl palmitate (7,49% pada EtOH) dan bis(2-ethylhexyl) adipate (16,43% pada EtOAc). Profil ini menunjukkan kecenderungan pelarut mengekstraksi ester asam lemak dan fraksi lipofilik berat. Senyawa seperti agarospirol dan eudesmol terdeteksi dalam jumlah rendah akibat keterbatasan difusi tanpa dukungan energi termal (Hamdan *et al.*, 2024).

Pada proses fermentasi, terdeteksinya α -eudesmol (1,24%) dan 10-epi- γ -eudesmol (1,77%) pada fraksi etil asetat menunjukkan terjadinya biotransformasi enzimatis prekursor seskuiterpena menjadi bentuk teroksigenasi yang lebih stabil dan lebih mudah larut dalam pelarut semi-polar. *Pretreatment microwave* menghasilkan pelepasan komponen volatil dalam jumlah terbatas sedangkan pada *pretreatment* ultrasonik meningkatkan kadar limonene (hingga 1,07%) melalui mekanisme kavitasi yang mempercepat perpindahan massa senyawa bermassa molekul rendah.

Pada proses hidrostilasi semakin lama durasi pemanasan meningkatkan kadar seskuiterpena teroksigenasi. Kadar agarospirol meningkat dari 6,18% (12 jam) menjadi 21,63% (18 jam), menunjukkan bahwa pemanasan berkepanjangan memfasilitasi pelepasan optimal fraksi resin sekaligus memungkinkan transformasi termal prekursor hidrokarbon (Safitri *et al.*, 2019).

Peran *Pretreatment* dalam Pembentukan Profil Aroma Gaharu *Non-resinous*

Pemanfaatan bahan alami sebagai sumber *fragrance* tidak hanya ditentukan oleh rendemen ekstrak yang dihasilkan tetapi oleh kemampuan bahan tersebut menghasilkan profil aroma yang khas, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan formulasi parfum. Dalam penelitian ini, *pretreatment* berperan sebagai tahap pengondisian bahan baku yang memengaruhi pelepasan senyawa volatil dari matriks lignoselulosa gaharu *non-resinous*, sehingga berdampak pada karakteristik aroma yang dihasilkan. Perbedaan profil kimia yang teramati menunjukkan bahwa *pretreatment* tidak sekadar meningkatkan efisiensi ekstraksi tetapi juga memodulasi komposisi senyawa pembentuk aroma yang berkontribusi terhadap kualitas *fragrance*.

Analisis GC-MS menunjukkan keberadaan beberapa senyawa yang dikenal sebagai komponen penting aroma gaharu, seperti agarospirol, α -eudesmol, 10-epi- γ -eudesmol, trans-caryophyllene, dan limonene. Senyawa-senyawa tersebut termasuk dalam kelompok seskuiterpena dan seskuiterpenoid

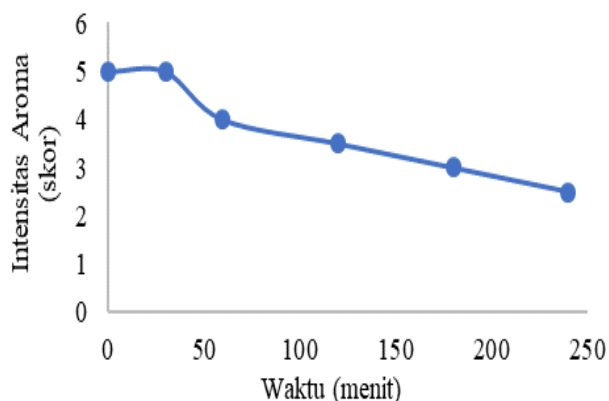
yang banyak berkontribusi terhadap karakter aroma woody, balsamic, sweet, resinous, dan sedikit spicy yang menjadi ciri khas gaharu serta banyak digunakan dalam industri parfum premium (Naziz *et al.*, 2019; Mohamed, 2016). Kehadiran senyawa-senyawa tersebut pada ekstrak gaharu *non-resinous* menunjukkan bahwa bagian kayu ini masih menyimpan potensi sebagai sumber bahan baku *fragrance* alami.

Pretreatment juga memengaruhi keseimbangan relatif antara komponen aroma ringan dan komponen kimiawi. Keberadaan limonene pada beberapa perlakuan mengindikasikan kontribusi aroma segar sebagai *top note*, sedangkan senyawa seskuiterpenoid teroksigenasi seperti agarospirol dan eudesmol berpotensi berperan sebagai *middle note* hingga *base note* yang memberikan kesan woody dan meningkatkan persistensi aroma. Dalam formulasi parfum, kombinasi berbagai kelompok senyawa volatil tersebut sangat penting karena menentukan kompleksitas, kedalaman, dan ketahanan aroma selama penggunaan (Sharmeen *et al.*, 2021).

Hasil pengujian fisikokimia menunjukkan bahwa seluruh ekstrak memiliki kelarutan yang baik dalam etanol, yang merupakan pelarut utama dalam formulasi parfum berbasis alkohol. Nilai indeks bias yang berada pada rentang karakteristik minyak atsiri menunjukkan bahwa ekstrak yang dihasilkan memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya sebagai bahan *fragrance*. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *pretreatment* berfungsi sebagai strategi untuk meningkatkan aksesibilitas senyawa pembentuk aroma pada kayu gaharu *non-resinous* dan memperbaiki karakteristik ekstrak yang relevan untuk aplikasi wewangian. Oleh karena itu, peran *pretreatment* dalam penelitian ini tidak hanya berkaitan dengan peningkatan rendemen atau perubahan profil kimia semata, tetapi juga dalam mengoptimalkan potensi gaharu *non-resinous* sebagai sumber *natural fragrance* yang bernilai tambah dan berkelanjutan.

Stabilitas Aroma dan Uji Noda

Intensitas aroma ekstrak dan hidrosol gaharu *non-resinous* pada fase awal aplikasi (0–30 menit) menunjukkan skor maksimum 5 (sangat kuat) dikarenakan pelepasan cepat komponen *top note* yang difasilitasi oleh volatilitas tinggi etanol sebagai pelarut utama. Tekanan uap etanol yang tinggi mempercepat transpor molekul aroma bermassa molekul rendah ke fase udara, sehingga menghasilkan impresi olfaktori awal yang kuat dan segera terdeteksi (Teixeira *et al.*, 2019).



Gambar 4. Penurunan Intensitas Aroma Ekstrak dan Hidrosol Gaharu *Non-resinous*

Seiring waktu, intensitas menurun bertahap menjadi kategori sedang kuat (skor 3) pada menit ke-180 dan berada pada rentang lemah hingga sedang kuat (skor 2–3) pada menit ke-240. Pola ini menunjukkan kinetika evaporasi yang terkontrol dan menunjukkan stabilitas pelepasan aroma.

Uji noda dilakukan untuk menilai potensi terbentuknya noda setelah diaplikasikan pada media dengan daya serap berbeda, yaitu paper strip dan

tisu pada kondisi awal aplikasi dan setelah 240 menit pada tiga ekstrak dengan intensitas aroma paling stabil. Ekstrak A (maserasi etanol dengan *pretreatment microwave* 300 W), B (hidrodestilasi 12 jam), dan C (hidrodestilasi 18 jam) tidak menunjukkan noda permanen setelah mengering. Area basah yang terlihat pada awal aplikasi berasal dari etanol sebagai pelarut utama dan menghilang setelah penguapan tanpa meninggalkan residu berwarna.

Tidak terbentuknya noda menunjukkan kesesuaian antara pelarut, fiksatif, dan ekstrak gaharu, serta rendahnya kandungan senyawa non-volatil berat seperti resin kasar atau pigmen yang berpotensi mengendap pada permukaan. Pada tissue, area serapan awal tampak lebih luas dibandingkan paper strip karena porositas lebih tinggi, namun setelah 240 menit tidak teramati perubahan warna. Hal ini menunjukkan bahwa komponen aromatik menguap bertahap tanpa meninggalkan endapan. Hasil tersebut memenuhi parameter mutu fisik parfum yang mensyaratkan tidak adanya noda pada permukaan aplikasi (Teixeira *et al.*, 2019).



Keterangan:

A = *Microwave* etanol 300 W

B = Hidrodestilasi 12 jam

C = Hidrodestilasi 18 jam

Gambar 5. Hasil uji noda pada (i) paper strip dan (ii) tissu *fresh apply* dan setelah 240 menit.

SIMPULAN

Kayu *Aquilaria microcarpa non-resinous* memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku natural fragrance melalui kombinasi *pretreatment* dan metode ekstraksi yang tepat. *Pretreatment* terbukti memengaruhi karakteristik fisikokimia ekstrak, komposisi senyawa volatil, serta profil aroma yang dihasilkan melalui perubahan aksesibilitas senyawa aromatik dalam

matriks lignoselulosa kayu. Sementara itu, metode ekstraksi menentukan jenis dan proporsi senyawa volatil yang berhasil diperoleh, termasuk seskuiterpena dan seskuiterpenoid khas gaharu yang berkontribusi terhadap karakter aroma woody, balsamic, dan resinous. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan rendemen ekstrak tidak selalu mencerminkan kualitas aroma yang dihasilkan, sehingga potensi bahan fragrance lebih ditentukan oleh komposisi senyawa volatil dan

karakteristik aromanya. Kelarutan yang baik dalam etanol, stabilitas aroma selama pengamatan, serta tidak terbentuknya noda pada media aplikasi menunjukkan bahwa ekstrak gaharu *non-resinous* memiliki karakteristik yang mendukung penggunaannya dalam formulasi parfum berbasis alkohol. Dengan demikian, *pretreatment* dan metode ekstraksi berperan penting dalam mengoptimalkan profil aroma gaharu *non-resinous* dan meningkatkan nilai tambahnya sebagai sumber bahan baku parfum alami yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Essential Oil Research Excellent* (EORE), *Center of Essential Oil Studies* (CEOS), Laboratorium Terpadu dan Laboratorium Riset Kimia Universitas Islam Indonesia, atas dukungannya dalam memfasilitasi preparasi sampel, proses ekstraksi, dan pengukuran analitis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arafat, Y., Altemimi, A., Ibrahim, S. A., & Badwaik, L. S. 2020. Valorization of sweet lime peel by solvent-free microwave extraction enhanced with ultrasound *pretreatment*. *Molecules*, 25(18): 4072. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25184072>
- Baser, K. H. C., & Buchbauer, G. 2015. *Handbook of essential oils: Science, technology, and applications* (2nd ed.). CRC Press. Boca Raton. 83-11
- Chen, S. T., & Rao, Y. K. 2022. An overview of agarwood, phytochemical constituents, pharmacological activities, and analyses. *Traditional Medicine*, 3(1): 8–18. DOI : <https://doi.org/10.35702/Trad.10008>
- Defiza, A. A. Z., Supandi, & Aldrat, H. 2023. Pengaruh *pretreatment* microwave terhadap rendemen dan profil kimiawi minyak gaharu *Aquilaria* sp. *Jurnal Farmasi Higea*, 15(2): 114–123. <https://www.jurnalfarmasihigea.org/index.php/higea/article/view/555>
- Fauziah, D. R., Satria, A. W., & Yuniarti, R. 2022. Kinetics study of agarwood oil extraction using fermentation. *Jurnal Integrasi Proses*, 11(2): 34–39. https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jip/article/download/14640/9999?cf_chl tk=c0zugKbAG0ON1B8P2c8tZpsuz.eDnnHi8y.mDgaNHag-1780122542-1.0.1.1-rwnZyO_AqqxWvDx0rFUpEIUkhK9ZZefxw1EpeTvqv.Q
- Guenther, E. 1987. *The essential oils* (Vol. 1). Krieger Publishing. Florida.
- Hamdan, M. M. S., Huq, M. A. K. M., Che Mohd, C. M. A. B., Shaarani, S. H. N. B., Lee, S. Y., Anuwar, H., & Tajuddin, S. N. 2024. Microscopy and chemical composition of healthy and resinous wood from the agarwood-producing species, *Aquilaria beccariana*. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 14(1), 1-10. <https://doi.org/10.33263/BRIAC141.013>
- Hemati, A., Nazari, M., Asgari Lajayer, B., Smith, D. L., dan Astatkie, T. 2022. Lignocellulosics in Plant Cell Wall and Their Potential Biological Degradation. *Folia Microbiol*, 67, 671-681. <https://doi.org/10.1007/s12223-022-00974-5>
- Hidayat, H., Septyana, N. H., Adeko, R., Febriani, D. R., dan Setyawati, A. 2024. Identifikasi Senyawa Kimia Bakteri Asam Laktat (BAL) Dari Limbah Umbi Porang (*Amorphophallus muelleri* Blume) Sebagai Probiotik. *EKSAKTA: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Analisis Data*, 5(2):154-161. <https://doi.org/10.20885/EKSAKTA.vol5.iss2.a rt5>
- Jabbar, A., Jayuska, A., & Burhanuddin. 2015. Pengaruh fermentasi *Rhizopus* sp. terhadap senyawa seskuiterpena pada kayu gaharu *Aquilaria malaccensis*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 4(2): 89–94. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/11863/11070>
- Kusuma, H. S., Putri, D. K. Y., Triesty, I., & Mahfud, M. 2019. Comparison of Microwave hydrodistillation versus solvent-free microwave extraction of agarwood oil. *Chiang Mai Journal of Science*, 46(4): 741–755. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/C MJS/10990629.pdf>
- Ma, S., Chen, Y., Yan, T., Qin, J., & Li, G. 2025. Ultrasound-laccase pre-treatment enhances agarwood essential oil extraction and bioactivity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 295: 139654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139654>
- Mohamed, R. 2016. *Agarwood: Science behind the fragrance*. Springer. Singapore. 149-167
- Naziz, P. S., Das, R., & Sen, S. 2019. The scent of stress: Evidence from the unique fragrance of agarwood. *Frontiers in Plant Science*, 10: 840. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00840>
- Radzi, N. C., & Kasim, F. A. 2020. Effect of microwave *pretreatment* on gaharu essential oil. *Indonesian Journal of Chemistry*, 20(4): 960–966. DOI: <https://doi.org/10.22146/ijc.43191>

- Rubiyanto, D. 2017. *Metode kromatografi: Prinsip dasar, praktikum, dan pendekatan pembelajaran kromatografi*. Deepublish. Yogyakarta. 28-35.
- Safitri, A., Rihayat, T., & Sariadi. 2019. Pengaruh waktu perendaman dan waktu operasi terhadap rendemen minyak atsiri gaharu. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 3(1): A338–A339. <https://ejurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/1701/1462>
- Salwa, A., Nuringtyas, T. R., Hidayati, L., & Wijayanti, N. 2022. Aktivitas immunomodulator ekstrak daun gaharu *Gyrinops versteegii* (Gilg.) Domke terhadap sel makrofag mencit (*Mus musculus* L.) secara in vitro. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati Berita Biologi LIPI*, 20(1): 101-109. https://karya.brin.go.id/id/eprint/13738/1/Jurnal_Assyafiya%20Salwa_Fakultas%20Biologi%20Universitas%20Gadjah%20Mada_2022.pdf
- Sharmeen, J. B., Mahomoodally, F. M., Zengin, G., & Maggi, F. (2021). Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. *Molecules*, 26(3), 666. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26030666>
- Syameera, N. A., Kaewdaungdee, S., Tajuddin, S. N., Tanee, T., Sudmoon, R., Chaveerach, A., & Lee, S. Y. 2024. Effects of heat treatment on the chemical composition, antioxidant activity, and toxicity of agarwood oil. *Journal of King Saud University Science*, 36(4): 103141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103141>
- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Serrano, C., Matos, O., Neng, N. R., & Nogueira, J. M. F. 2019. Chemical composition and sensory relevance of natural fragrance materials. *Industrial Crops and Products*, 133: 163–172. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6089>
- Wibowo, D. P., Rustamsyah, A., & Kurniawan, Y. 2015. Karakterisasi dan aktivitas repelen minyak atsiri (*Cymbopogon nardus* L.), akar wangi (*Vetiveria zizanoides* L.), nilam (*Pogostemon cablin*), cengkeh (*Syzygium aromaticum*) asal Kabupaten Garut terhadap nyamuk *Aedes aegypti* betina. *Makara Sains*, 2(1): 1–6. <https://media.neliti.com/media/publications/99254-ID-none.pdf>
- Widoyanti, P. I. 2017. Perbedaan struktur anatomi tumbuhan penghasil gaharu *Aquilaria malaccensis* dan *Gyrinops versteegii*. *Ekologia*, 17(1): 1–6. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/ekologia/article/view/808/691>
- Zhang, P., Li, X., Cui, Z., & Xu, D. 2022. Morphological, physiological, biochemical and molecular analyses reveal wounding-induced agarwood formation mechanism in two types of *Aquilaria sinensis* (Lour.) Spreng. *Industrial Crops and Products*, 178: 114603. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114603>
- Zhang, X., Wang, L. X., Hao, R., Huang, J. J., Zargar, M., Chen, M. X., Zhu, F. Y., & Dai, H. F. (2024). Sesquiterpenoids in Agarwood: Biosynthesis, Microbial Induction, and Pharmacological Activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 72(42), 23039–23052. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c06383>