

Penerapan Teknologi Ekstraksi Oleoresin Jahe (*Zingiber Officinale*) Ramah Lingkungan dan Konvensional

Application of Environmentally Friendly and Conventional Ginger (Zingiber officinale) Oleoresin Extraction Technology

Nanda Aurelia Salsabila S

Teknik, Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia

* Penulis Korespondensi: nandaaurelia347@gmail.com

Article History:

Naskah Masuk: 30 September 2025;

Revisi: 21 Oktober 2025

Diterima: 08 November 2025;

Terbit: 10 November 2025.

Keywords: Bioactive Compounds;
Extraction Method; Extraction
Results; Ginger Oleoresin; Green
Extraction.

Abstract. Ginger waste, including peel and residue from herbal extract or beverage industries, still contains valuable bioactive compounds such as gingerol, shogaol, and zingerone. These compounds have significant potential as multifunctional bioactive ingredients in food, pharmaceutical, and cosmetic applications. This review aims to summarize and compare various extraction methods for ginger oleoresin from waste materials, including conventional techniques (maceration and Soxhlet) and advanced green extraction methods such as Ultrasound-Assisted Extraction (UAE), Microwave-Assisted Extraction (MAE), and Supercritical CO₂ Extraction (SC-CO₂). The findings indicate that modern extraction techniques offer higher yield, shorter processing time, and greater selectivity of active compounds compared to traditional methods. Process modifications, including enzymatic pretreatment and three-phase partitioning, have been shown to enhance oleoresin recovery and quality. Key challenges include the development of green solvents, optimization of process parameters, and preservation of bioactive stability. Further research is needed to establish efficient and sustainable extraction approaches suitable for natural product research.

Abstrak.

Limbah jahe, yang meliputi kulit dan ampas hasil pengolahan industri minuman maupun ekstrak herbal, masih mengandung senyawa bioaktif penting seperti gingerol, shogaol, dan zingerone. Senyawa-senyawa ini memiliki potensi besar sebagai bahan bioaktif multifungsi di bidang pangan, farmasi, dan kosmetika. Kajian ini bertujuan untuk meninjau berbagai metode ekstraksi oleoresin jahe dari limbah, meliputi teknik konvensional seperti maserasi dan Soxhlet, serta metode modern berbasis intensifikasi proses, yaitu Ultrasound-Assisted Extraction (UAE), Microwave-Assisted Extraction (MAE), dan Supercritical CO₂ Extraction (SC-CO₂). Hasil tinjauan menunjukkan bahwa metode modern memberikan efisiensi ekstraksi lebih tinggi, waktu proses lebih singkat, dan selektivitas senyawa yang lebih baik dibanding metode konvensional. Kombinasi dan modifikasi proses, seperti praperlakuan enzimatis dan three-phase partitioning, terbukti meningkatkan yield dan kualitas oleoresin. Tantangan utama yang diidentifikasi mencakup kebutuhan pengembangan pelarut hijau, optimasi kondisi operasi, serta stabilitas senyawa bioaktif. Penelitian lanjutan diperlukan untuk memperoleh metode yang efisien, berkelanjutan, dan sesuai untuk aplikasi penelitian berbasis bahan alam.

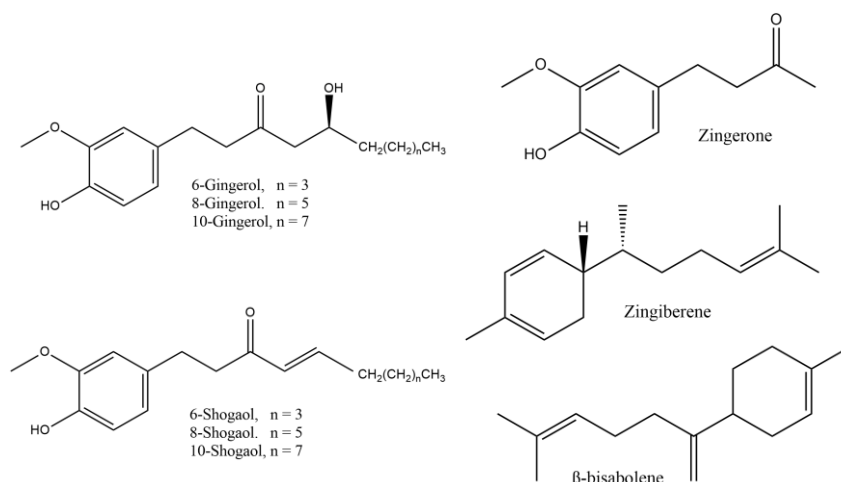
Kata kunci: Ekstraksi Hijau; Hasil Ekstraksi; Metode Ekstraksi; Oleoresin Jahe; Senyawa Bioaktif.

1. LATAR BELAKANG

Jahe (*Zingiber officinale* Roscoe) merupakan salah satu tanaman rempah yang banyak dibudidayakan di negara tropis seperti Indonesia, India, dan Tiongkok. Bagian rimpang dari jahe telah lama dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional maupun sebagai bumbu dapur. Jahe telah terbukti memiliki berbagai aktivitas farmakologis seperti antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, antikanker, neuroprotektif, dan kardioprotektif (Gamage et al., 2020). Tinjauan

sistematik menunjukkan bahwa konsumsi jahe efektif pada pengobatan mual akibat kemoterapi, *osteoarthritis*, serta *dismenore* (Li et al., 2019). Komposisi rimpang jahe mengandung minyak lemak (3-6%), protein (9%), karbohidrat (60-70%), serat kasar (3-8%), abu (8%), air (9-12%), dan minyak volatil (2-3%) (Mahboubi, 2019). Selain itu, jahe juga mengandung senyawa aktif yang bernilai tinggi, terutama dalam bentuk oleoresin (Uthirapathy et al., 2023).

Oleoresin jahe adalah campuran kompleks antara komponen volatil (minyak atsiri) dan non-volatil (senyawa fenolik seperti gingerol, shogaol, dan zingeron) (Temmante et al., 2025). Produk ini diperoleh melalui proses ekstraksi dari rimpang jahe segar maupun kering. Senyawa aktif utama dalam oleoresin jahe adalah gingerol (terutama 6-gingerol), yang merupakan senyawa fenolik bertanggung jawab atas rasa pedas khas jahe dan sejumlah aktivitas farmakologisnya (Darekar et al., 2023). Saat proses pengeringan atau pemanasan, gingerol dapat berubah menjadi shogaol, senyawa yang memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi lebih kuat (Semwal et al., 2015). Selain itu, terdapat juga zingeron, senyawa dengan aroma manis dan efek farmakologis yang baik (Chen et al., 2024).



Gambar 1. Struktur kimia senyawa bioaktif utama yang terdapat dalam jahe (*Zingiber officinale* Roscoe).

Potensi aplikasi oleoresin jahe cukup luas. Dalam industri pangan, oleoresin digunakan sebagai flavor alami berbasis minyak, memberikan cita rasa dan aroma yang stabil pada saus, snack, dan bumbu olahan (Shaukat et al., 2023). Dalam farmasi dan nutraceutical, gingerol dan shogaol digunakan sebagai bahan antikanker, antiinflamasi, antimikroba, dan antidiabetes dalam suplemen atau ekstrak terapeutik (Chen et al., 2024). Dalam kosmetik, sifat antioksidan dan antiinflamasi oleoresin jahe menjadikannya bahan ideal untuk skincare dan produk perawatan kulit (Ali et al., n.d.). Selain itu, dalam aromaterapi, zingerone dan senyawa volatil

lainnya digunakan untuk menciptakan blend aroma yang menenangkan sekaligus memberi manfaat terapeutik (Temmmante et al., 2025).

Namun kualitas oleoresin yang dihasilkan sangat bergantung pada metode ekstraksi. Metode konvensional seperti ekstraksi pelarut (etanol, metanol, aseton, etil asetat) atau distilasi uap memiliki kelemahan: konsumsi pelarut tinggi, risiko residu pelarut, lama waktu, dan degradasi senyawa sensitif panas seperti gingerol (Cárdenas-Toro et al., 2025). Metode ekstraksi bersuhu rendah seperti *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE), *Enzyme-Assisted Extraction* (EAE), dan pengeringan beku menghasilkan ekstrak lebih kaya gingerol dan total fenolik dibanding metode panas seperti microwave atau pelarut asam yang cenderung memproduksi lebih banyak shogaol (Dalsasso et al., 2022).

Adopsi metode ekstraksi yang tepat merupakan kunci untuk menghasilkan oleoresin jahe berkualitas tinggi, baik yang kaya akan gingerol untuk aplikasi nutraceutical maupun shogaol untuk efek antimikroba dan antikanker. Pemilihan metode yang sesuai dengan mempertimbangkan jenis limbah, suhu, pelarut, dan efisiensi energi akan memungkinkan perolehan senyawa bioaktif secara optimal dan berkelanjutan. Oleh karena itu, review ini bertujuan untuk mengulas secara menyeluruh potensi pemanfaatan limbah jahe sebagai sumber oleoresin berkualitas, menjelaskan kandungan bioaktif utama seperti gingerol, shogaol, dan zingerone beserta bioaktivitasnya, mengevaluasi berbagai metode ekstraksi baik konvensional maupun ramah lingkungan (*green Extraction*), serta meninjau aplikasi oleoresin di industri pangan, farmasi, kosmetik, dan aromaterapi. Melalui pemahaman yang komprehensif ini, limbah jahe diharapkan tidak lagi dipandang sebagai residu, melainkan sebagai bahan baku bernilai tinggi yang dapat mendorong inovasi dalam industri hijau dan mendukung keberlanjutan.

2. METODE KEGIATAN

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah kajian literatur kualitatif, yang berfokus pada analisis berbagai publikasi ilmiah terkait topik ekstraksi oleoresin dari limbah jahe serta aplikasinya di berbagai sektor industri.

Proses seleksi dilakukan dengan mempertimbangkan keberadaan informasi mengenai jenis limbah jahe, metode ekstraksi yang digunakan (konvensional maupun modern), serta data bioaktivitas dari senyawa utama seperti gingerol, shogaol, dan zingerone. Informasi yang terkumpul dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk mengidentifikasi tren, efektivitas, kelebihan, serta keterbatasan dari masing-masing metode ekstraksi. Hasil kajian disusun secara

sistematis untuk memberikan gambaran menyeluruh terkait strategi optimal dalam pemanfaatan limbah jahe menjadi bahan baku bioaktif bernilai tinggi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode Ekstraksi Oleoresin Jahe

Metode Konvensional Ekstraksi Oleoresin Jahe Konvensional

1. Maserasi

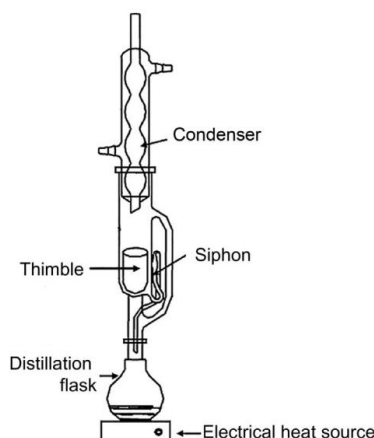
Maserasi merupakan salah satu metode ekstraksi padat-cair yang paling sederhana dan banyak digunakan, terutama untuk mengekstrak senyawa bernilai tinggi dari bahan alam termasuk limbah jahe. Teknik ini tergolong sederhana dan dapat dioperasikan dengan peralatan berbiaya rendah. Selain itu, maserasi fleksibel terhadap berbagai kondisi ekstraksi seperti jenis pelarut, suhu, dan lama perendaman. Hal ini menjadikannya pilihan menarik untuk aplikasi industri berskala kecil hingga menengah. Prinsip dasar dari maserasi adalah perendaman sampel dalam pelarut yang sesuai selama waktu tertentu, di mana pemilihan pelarut dilakukan berdasarkan polaritas senyawa target. Proses ini dapat ditingkatkan efisiensinya melalui penerapan pemanasan dan atau agitasi untuk mempercepat perpindahan massa senyawa dari sampel ke pelarut (Garcia-Vaquero et al., 2020).

Salah satu keuntungan utama maserasi adalah kemampuannya mengekstraksi senyawa yang sensitif terhadap panas, karena prosesnya bisa dilakukan pada suhu ruang (Garcia-Vaquero et al., 2020). Prinsip yang sama sangat aplikatif untuk mengekstraksi oleoresin dari limbah jahe, karena komponen aktifnya seperti gingerol dan shogaol bersifat sensitif terhadap panas dan dapat larut dalam pelarut alkohol. Meski efisien, kekurangan utama maserasi adalah waktu ekstraksi yang lama dan penggunaan volume pelarut yang besar (Hidayat & Patricia Wulandari, 2021). Namun maserasi tetap mampu menghasilkan ekstrak dengan aktivitas biologis yang signifikan, termasuk sifat antioksidan dan antibakteri. Ini memperlihatkan bahwa maserasi tetap memiliki nilai fungsional untuk ekstraksi oleoresin yang tidak hanya bernilai ekonomi, tetapi juga nutrisi (Thanigaivel et al., 2015). Secara keseluruhan, metode maserasi dalam konteks ekstraksi oleoresin dari limbah jahe dapat menjadi pilihan yang strategis dan berkelanjutan, terutama jika dikombinasikan dengan pendekatan modifikasi pelarut dan optimasi proses.

2. Ekstraksi Soxhlet

Soxhlet Extraction merupakan metode ekstraksi konvensional yang dirancang untuk mengekstrak senyawa dari bahan padat menggunakan pelarut organik secara berulang. Teknik

ini pertama kali diperkenalkan oleh Franz von Soxhlet pada tahun 1879 dan hingga kini masih digunakan luas (Raynie, 2019) dalam bidang kimia analitik, farmasi, dan pangan karena



Gambar 2. Ekstraksi Soxhlet (López-Bascón & Luque de Castro, 2020).

efisiensinya dalam mengekstrak senyawa lipofilik seperti minyak atsiri dan oleoresin. Metode ini dirancang untuk mengekstrak komponen target secara bertahap dan berulang, tanpa perlu mengganti pelarut secara terus-menerus. Prinsip dasarnya melibatkan penggunaan pelarut yang dipanaskan hingga menguap, lalu mengembun dan menetes pada sampel padat dalam alat Soxhlet (Swamy & Akhtar, 2019).

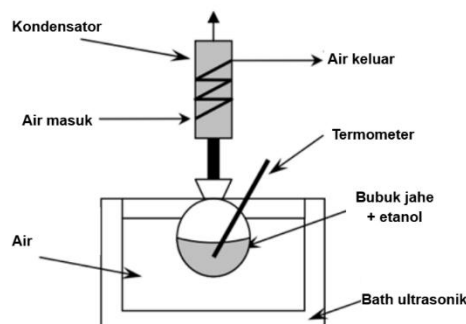
Cara kerja Soxhlet dimulai dengan memanaskan pelarut di dalam labu dasar, sehingga menghasilkan uap yang naik ke kondensor. Uap ini kemudian mengembun dan menetes ke dalam ruang ekstraksi yang berisi bahan sampel (biasanya dibungkus dalam kantong saringan atau *thimble*). Ketika volume pelarut dalam ruang ekstraksi mencapai titik tertentu, cairan tersebut secara otomatis disedot kembali ke labu melalui sifon. Proses ini terus berulang selama beberapa jam, memungkinkan pelarut segar untuk terus melarutkan senyawa target dalam sampel, menciptakan siklus ekstraksi yang efisien dan konsisten. Metode ini memberi keuntungan karena pelarut segar terus-menerus kontak dengan sampel, meningkatkan efisiensi ekstraksi, dan penggunaan pelarut lebih hemat karena terus didaur ulang (López-Bascón & Luque de Castro, 2020).

Metode Ekstraksi Lanjutan Oleoresin Jahe

1. UAE

Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) merupakan metode ekstraksi modern yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dalam rentang frekuensi 20–100 kHz untuk mempercepat pelepasan senyawa bioaktif dari bahan alam (Islam et al., 2023). Gelombang ini diaplikasikan ke dalam medium cair yang mengandung bahan tanaman dan pelarut, menghasilkan fenomena kavitasi akustik proses terbentuknya gelembung mikro yang mengalami siklus ekspansi dan

kolaps secara cepat. Ledakan gelembung tersebut menciptakan tekanan lokal tinggi dan gaya geser ekstrem yang mampu merusak struktur dinding sel tanaman (Gonzalez-Gonzalez et al., 2023), sehingga senyawa aktif seperti minyak atsiri, fenolik, flavonoid, dan oleoresin lebih mudah terlepas dan larut ke dalam pelarut.



Gambar 3. Gambaran skematis dari alat UAE (Dani Supardan et al., n.d.).

Efek utama yang dimanfaatkan dalam UAE adalah efek termal dan mekanis. Energi ultrasonik yang diserap sebagian berubah menjadi panas, memfasilitasi ekstraksi, sementara getaran ultrasonik meningkatkan penetrasi pelarut dan perpindahan massa (NAKIB & AYTAÇ, 2024). Efektivitas metode ini sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti frekuensi, daya, durasi, suhu, jenis pelarut, serta rasio bahan terhadap pelarut. Frekuensi rendah (20–50 kHz) dan intensitas yang optimal penting untuk menghasilkan kavitas kuat tanpa merusak senyawa bioaktif (Buvaneshwaran et al., 2023).

Keunggulan utama UAE terletak pada efisiensi prosesnya dibandingkan metode konvensional seperti maserasi, perkolasi, dan Soxhlet, yang umumnya memerlukan waktu lama, konsumsi pelarut tinggi, serta paparan panas yang berpotensi merusak senyawa sensitif. Sebaliknya, UAE memungkinkan ekstraksi berlangsung dalam waktu singkat hanya dalam hitungan menit dengan penggunaan pelarut yang lebih sedikit, sehingga meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Selain itu, metode ini dapat dioperasikan pada suhu relatif rendah, menjadikannya ideal untuk mengekstrak senyawa bioaktif yang peka terhadap panas (NAKIB & AYTAÇ, 2024).

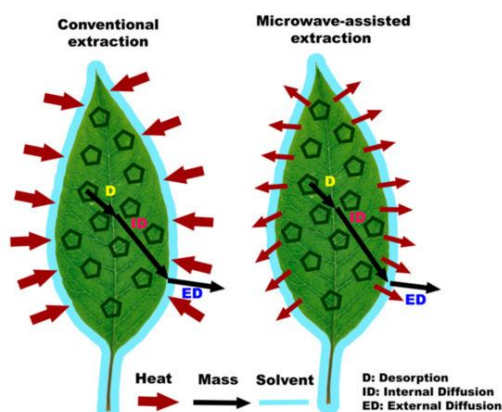
Pendekatan modern ini telah terbukti efektif dalam mengekstraksi oleoresin dari jahe (*Zingiber officinale*), berkat kemampuannya mempercepat pelepasan senyawa bioaktif secara efisien. Dengan menggunakan pelarut etanol pada frekuensi 42 kHz dan suhu 60°C, proses ekstraksi berlangsung lebih cepat dibandingkan metode Soxhlet. Hasil GC-MS menunjukkan bahwa komponen utama oleoresin yang dihasilkan adalah zingerone, dengan struktur sel yang rusak akibat gelombang ultrasonik, mempermudah pelepasan senyawa aktif (Dani Supardan et al., n.d.).

Efisiensi proses, waktu ekstraksi yang singkat, serta kemampuan mempertahankan senyawa aktif menjadikan UAE sebagai metode yang sangat relevan untuk ekstraksi oleoresin jahe. Penerapan teknik ini sejalan dengan prinsip green chemistry dan berpotensi mendukung pengembangan produk pangan serta farmasi berbasis bahan alam berkualitas tinggi.

2. MAE

Microwave-Assisted Extraction (MAE) merupakan salah satu teknik ekstraksi modern yang banyak digunakan dalam dekade terakhir untuk memperoleh senyawa bioaktif dari bahan alam. Prinsip dasar MAE adalah pemanfaatan gelombang mikro (umumnya pada frekuensi 2450 MHz) untuk memberikan energi langsung kepada molekul polar dan ion dalam pelarut maupun sampel (Lozano Pérez et al., 2024). Interaksi ini menghasilkan gesekan molekuler yang menimbulkan panas secara cepat dan merata. Tidak seperti pemanasan konvensional yang bergantung pada konduksi panas dari permukaan ke inti bahan, pemanasan dengan gelombang mikro berlangsung secara volumetrik, sehingga waktu ekstraksi dapat dipersingkat secara signifikan (Moret et al., 2019). Efek pemanasan cepat ini meningkatkan tekanan internal dalam sel tanaman, menyebabkan dinding sel pecah, dan senyawa target seperti gingerol dan shogaol dapat terlepas ke dalam pelarut dengan efisiensi tinggi (Zhang et al., 2025).

Secara umum, prinsip kerja MAE melibatkan tiga mekanisme utama: pemanasan volumetrik, peningkatan tekanan internal sel, dan difusi senyawa aktif ke pelarut. Kinerja MAE dipengaruhi oleh sejumlah parameter utama, seperti daya gelombang mikro, suhu, waktu ekstraksi, jenis dan volume pelarut, serta rasio bahan terhadap pelarut (Wang et al., 2025). Daya dan suhu tinggi dapat mempercepat ekstraksi tetapi berisiko merusak senyawa sensitif, sehingga perlu kondisi optimal. Etanol atau campurannya efektif sekaligus ramah lingkungan, sementara rasio bahan–pelarut harus seimbang agar efisien tanpa pemborosan (Zhang et al., 2025).



Gambar 4 Perbandingan mekanisme proses antara *Conventional Extraction* dan *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) (Lozano Pérez et al., 2024).

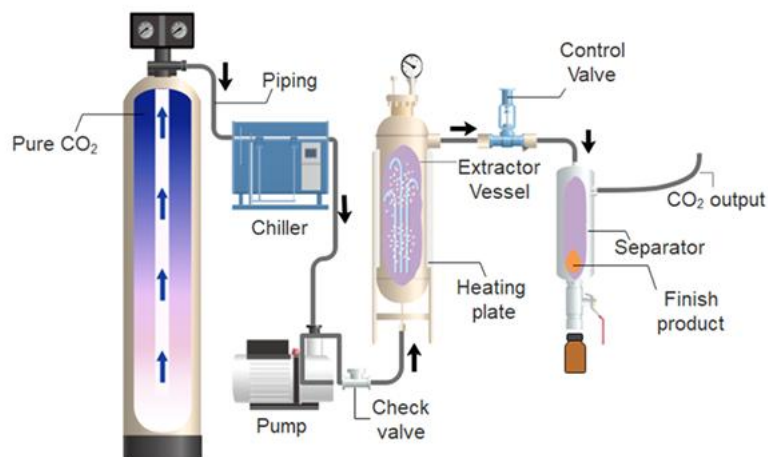
Metode MAE merupakan pendekatan inovatif dalam bidang ekstraksi senyawa bioaktif yang menawarkan efisiensi tinggi dibandingkan metode konvensional seperti maserasi dan Soxhlet. MAE memungkinkan reduksi waktu ekstraksi dari skala jam menjadi hanya beberapa menit, serta penurunan konsumsi pelarut hingga lebih dari 50% (Osorio-Tobón, 2020). Penelitian menunjukkan bahwa MAE mampu menghasilkan ekstrak dengan kandungan senyawa bioaktif yang lebih tinggi (Lozano Pérez et al., 2024).

Dalam aplikasi pada ekstraksi oleoresin jahe, MAE terbukti meningkatkan rendemen dan menjaga kestabilan senyawa aktif seperti gingerol dan shogaol (Teng et al., 2019). Ekstraksi menggunakan metode MAE mampu menghasilkan hingga $2,8 \pm 0,6$ mg/g dan $1,3 \pm 0,5$ mg/g dari jahe segar dengan etanol 70% sebagai pelarut (Teng et al., 2019). Dengan keunggulan tersebut, MAE memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam skala laboratorium maupun industri di bidang pangan, farmasi, dan kosmetik

3. SC-CO₂

Supercritical CO₂ Extraction adalah teknik ekstraksi yang memanfaatkan karbon dioksida dalam fase superkritis kondisi di mana CO₂ berada di atas titik kritisnya (31,1°C dan 7,38 MPa) (Tayebwa, 2025). Dalam fase ini, CO₂ menunjukkan sifat gabungan antara gas dan cairan, dengan difusivitas tinggi seperti gas dan densitas tinggi seperti cairan (Uwineza & Waśkiewicz, 2020). Sifat ini memungkinkan penetrasi yang efisien ke dalam matriks bahan serta pelarutan senyawa target secara selektif.

Keunggulan utama dari SC-CO₂ adalah kemampuannya mengekstrak senyawa sensitif terhadap panas tanpa meninggalkan residu pelarut. Selain itu, metode ini menawarkan fleksibilitas dalam mengatur suhu dan tekanan untuk menargetkan senyawa tertentu (Tayebwa, 2025). SC-CO₂ juga dianggap sebagai teknologi ramah lingkungan karena CO₂ dapat didaur ulang dan tidak bersifat toksik (Cárdenas-Toro et al., 2025).



Gambar 5. Diagram alir proses ekstraksi karbon dioksida superkritis
(Kamaruddin et al., 2023).

Secara umum, proses ini melibatkan kompresi CO₂ hingga fase superkritis, pengaliran CO₂ melalui bahan baku, pemisahan ekstrak dari CO₂, dan daur ulang gas yang telah digunakan. Karena sifatnya yang non-polar, SC-CO₂ sangat efektif untuk mengekstrak senyawa lipofilik seperti oleoresin. Metode ini banyak digunakan dalam industri makanan, farmasi, dan kosmetik karena efisiensinya, kemurnian hasil ekstrak, serta minimnya residu pelarut berbahaya (Uwineza & Waśkiewicz, 2020).

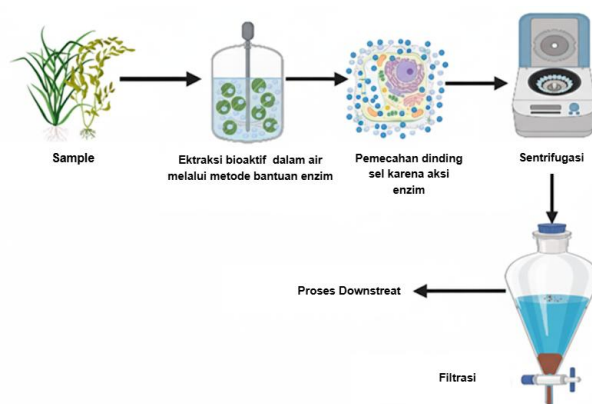
Dalam ekstraksi oleoresin dari jahe (*Zingiber officinale*), SC-CO₂ terbukti lebih unggul dibandingkan metode konvensional seperti Soxhlet. Ekstraksi oleoresin dari jahe menggunakan SC-CO₂ pada 50°C dan 250 bar menghasilkan Yield sebesar 25,99 mg/g bahan kering, dengan kandungan 6-gingerol mencapai 254,71 mg/g ekstrak (Cárdenas-Toro et al., 2025). Selain itu, ekstrak tersebut menunjukkan aktivitas antioksidan tinggi dan stabilitas penyimpanan hingga 180 hari.

Dengan efisiensi tinggi, selektivitas senyawa, dan karakteristik ramah lingkungan, SC-CO₂ menjadi metode yang sangat menjanjikan untuk ekstraksi oleoresin jahe, baik dalam skala laboratorium maupun industri. Metode ini tidak hanya menghasilkan ekstrak berkualitas tinggi, tetapi juga mendukung prinsip green chemistry yang semakin penting dalam pengembangan produk pangan dan farmasi berbasis bahan alam.

4. EAE

Enzyme-Assisted Extraction (EAE) adalah teknik ekstraksi modern yang memanfaatkan enzim hidrolitik seperti selulase, pektinase, amilase, dan protease. Enzim ini digunakan untuk memecah struktur kompleks dinding sel tanaman, menghancurkan komponen seperti selulosa, hemiselulosa, pektin, lignin, dan protein, serta melebarkan lapisan dinding sel tumbuhan

(Lubek-Nguyen et al., 2022). Akibatnya, senyawa bioaktif seperti fenolik, flavonoid, dan oleoresin dapat dilepaskan dengan lebih mudah. Teknik ini membuat ekstraksi senyawa aktif dari tanaman menjadi lebih efisien dan selektif



Gambar 6. Skematik proses Enzyme-Assisted Extraction (Maled et al., 2024).

Proses EAE berlangsung pada suhu rendah (25–60 °C) dan pH netral hingga sedikit asam, sehingga cocok untuk senyawa yang sensitif terhadap panas dan pelarut organik. Teknik ini dikenal ramah lingkungan karena mengurangi penggunaan pelarut kimia dan energi, serta mempertahankan aktivitas biologis senyawa hasil ekstraksi. Proses dimulai dengan perlakuan enzim terhadap bahan tanaman, di mana enzim bekerja secara spesifik untuk menghancurkan komponen struktural dinding sel. Penghancuran ini menyebabkan pelepasan senyawa bioaktif yang sebelumnya terperangkap dalam matriks sel. Setelah perlakuan enzimatik, pelarut ditambahkan untuk mengekstraksi senyawa yang telah tersedia, dengan efisiensi yang lebih tinggi karena struktur sel telah terbuka. Efektivitas ekstraksi dipengaruhi oleh jenis dan kombinasi enzim, durasi pretreatment, kondisi pH dan suhu, rasio substrat-pelarut, serta sistem pelarut yang digunakan (Maled et al., 2024).

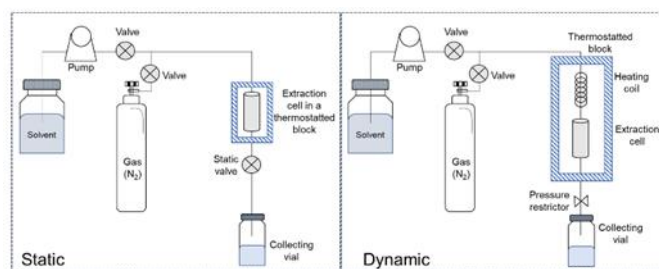
Dalam konteks ekstraksi oleoresin dari jahe (*Zingiber officinale*), EAE telah menunjukkan potensi yang menjanjikan. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa perlakuan enzimatik menggunakan α -amylase dan viscozyme sebelum ekstraksi dengan pelarut menghasilkan peningkatan Yield oleoresin hingga 20% dan kandungan 6-gingerol sebesar 12,2%, dibandingkan kontrol tanpa enzim yang hanya menghasilkan 15% oleoresin dan 6,4% gingerol (Nagendra chari et al., 2013).

Limbah jahe (seperti kulit atau ampas) memiliki matriks sel yang keras dan kaya polisakarida, sehingga pretreatment dengan enzim secara selektif dapat membuka struktur tersebut dan meningkatkan ekstraksi oleoresin dari limbah. Secara keseluruhan, EAE adalah teknik yang menjanjikan dalam mengoptimalkan ekstraksi oleoresin jahe, khususnya dari

limbah produktif, karena dapat secara selektif meningkatkan Yield gingerol dan oleoresin semua sambil tetap menjaga stabilitas bioaktif dalam konteks operasional dan keberlanjutan.

5. PLE

Metode Pressurized Liquid Extraction (PLE), yang juga dikenal sebagai Accelerated Solvent Extraction (ASE), merupakan metode modern yang memanfaatkan pelarut cair pada suhu dan tekanan tinggi—namun tetap di bawah titik kritis pelarut—untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi dari matriks padat atau semi-padat (Barik et al., 2024). Dalam kondisi tersebut, pelarut mengalami penurunan viskositas dan tegangan antarmuka, peningkatan difusivitas, serta kelarutan senyawa target yang lebih baik (Barp et al., 2023). Efek ini mempercepat laju transfer massa dan memungkinkan proses ekstraksi berlangsung lebih cepat serta hemat pelarut dibandingkan metode konvensional seperti Soxhlet atau maserasi. Metode ini juga mendukung persiapan sampel untuk analisis lanjutan menggunakan kromatografi gas atau cair, sehingga menjadi pilihan unggul dalam ekstraksi senyawa bioaktif dari berbagai jenis sampel (Barik et al., 2024).



Gambar 7 Skema konfigurasi sistem PLE untuk prosedur statis dan dinamis (Barp et al., 2023).

Proses PLE dapat dijalankan dalam dua mode utama, yaitu statis dan dinamis. Mode statis melibatkan perendaman pelarut dan sampel dalam kondisi tetap selama waktu tertentu, sedangkan mode dinamis menggunakan aliran pelarut yang terus-menerus melalui sampel (Alvarez-Rivera et al., 2020). Prinsip kerja metode ini didasarkan pada peningkatan suhu (umumnya 75–200 °C) dan tekanan (biasanya 35–200 bar) yang bertujuan untuk menurunkan viskositas dan tegangan permukaan pelarut, serta meningkatkan solubilitas senyawa target (Barp et al., 2023). Dengan kondisi tersebut, pelarut menjadi lebih efisien dalam mengekstrak analit dari matriks sampel.

Efektivitas ekstraksi sangat dipengaruhi oleh pengaturan parameter operasional yang tepat. Faktor-faktor penting yang berperan meliputi suhu, tekanan, waktu ekstraksi, jenis pelarut, rasio pelarut terhadap sampel, ukuran partikel, waktu statik, jumlah siklus statik, dan volume bilasan. Dalam praktiknya, peningkatan suhu dapat mempercepat desorpsi dan difusi,

sementara tekanan berfungsi menjaga pelarut tetap dalam fase cair serta membantu penetrasi ke dalam matriks. Pemilihan pelarut yang aman seperti etanol atau air panas bertekanan menjadikan PLE sebagai metode yang sejalan dengan prinsip green chemistry (Alvarez-Rivera et al., 2020).

Metode ekstraksi berbasis tekanan dan suhu tinggi menunjukkan efektivitas tinggi dalam mengekstrak oleoresin jahe (*Zingiber officinale*), terutama fraksi minyak atsiri dan senyawa fenolat seperti gingerol dan shogaol (Sulejmanović et al., 2025). Studi menunjukkan bahwa PLE menghasilkan kandungan 6-gingerol dan 6-shogaol lebih tinggi dibandingkan metode konvensional seperti Soxhlet, serta lebih cepat dan hemat pelarut (Hu et al., 2011). Dengan keunggulan dalam efisiensi waktu, konsumsi pelarut yang rendah, dan kemampuan menghasilkan ekstrak berkualitas tinggi, PLE menjadi alternatif menarik untuk ekstraksi oleoresin jahe, terutama dalam skala industri yang menuntut proses cepat dan berkelanjutan.

Perbandingan Efisiensi Metode Ekstraksi

Berdasarkan data yang telah disajikan dalam Tabel 1 dan 2, terlihat perbedaan signifikan dalam efisiensi ekstraksi oleoresin jahe antara berbagai metode yang digunakan. Untuk memberikan gambaran komprehensif tentang karakteristik masing-masing metode ekstraksi, evaluasi menyeluruh tidak hanya melibatkan parameter Yield dan kemurnian, tetapi juga mempertimbangkan aspek praktis operasional seperti kondisi umum, kelebihan, dan kelemahan setiap metode.

Teknik maserasi sebagai pendekatan ekstraksi paling sederhana menghasilkan Yield oleoresin terendah sebesar 6,26% dengan kandungan gingerol yang juga relatif rendah (Syarif et al., 2024). Kesederhanaan operasi dan biaya rendah menjadi daya tarik utama metode ini, namun waktu ekstraksi yang sangat panjang hingga 72 jam dan efisiensi rendah merupakan keterbatasan signifikan (Hidayat & Patricia Wulandari, 2021). Soxhlet sebagai metode konvensional yang lebih maju menunjukkan peningkatan performa dibandingkan maserasi biasa. Keunggulan Soxhlet terletak pada kemampuannya memungkinkan kontak kontinu antara pelarut segar dan sampel sehingga menghasilkan Yield lebih tinggi daripada maserasi. Namun, metode ini membutuhkan pelarut dalam jumlah besar dan potensi degradasi termal akibat paparan suhu tinggi dalam waktu yang lama.

Ultrasound-Assisted Extraction menunjukkan efisiensi yang baik dengan Yield oleoresin 21,29% pada kondisi optimum (Syarif et al., 2024). Laju ekstraksi oleoresin jahe dapat meningkat hingga 1,75 kali lebih cepat dibandingkan ekstraksi soxhlet, dengan waktu ekstraksi yang hanya memerlukan 15-60 menit. Kandungan gingerol yang diperoleh melalui UAE juga menunjukkan nilai yang signifikan, dengan [6]-gingerol mencapai 0,6982% dan δ -shogaol

0,262% (Varakumar et al., 2017). Kondisi operasi yang optimal umumnya berada pada suhu moderat 30–60°C, yang menguntungkan untuk preservasi senyawa termolabil (Said et al., 2015).

Dalam hal kecepatan proses, MAE mengungguli teknologi lainnya dengan durasi ekstraksi kurang dari 30 menit. Yield oleoresin yang dihasilkan MAE berkisar 1,58–6,0% tergantung kondisi operasi, dengan kandungan [6]-gingerol yang dapat mencapai 2,8 mg/g dan [6]-shogaol 1,3 mg/g (Teng et al., 2019; Zhang et al., 2025). Walaupun nilai Yield ini tampak lebih rendah dibandingkan UAE pada kondisi tertentu, MAE memiliki kelebihan dalam efisiensi energi dan distribusi panas yang lebih merata. Pemanasan gelombang mikro pada frekuensi 2450 MHz mampu memanaskan pelarut dan matriks sampel secara simultan dari dalam, mengurangi risiko degradasi senyawa bioaktif. Tantangan implementasi skala besar tetap menjadi perhatian untuk UAE maupun MAE. UAE memerlukan optimasi ketat untuk scaling-up, sementara MAE berisiko menyebabkan degradasi termal untuk senyawa sensitif jika parameter operasi tidak dikontrol tepat. Kedua metode masih memerlukan pelarut organik dalam jumlah cukup signifikan, meski lebih hemat dibandingkan metode konvensional.

Tabel 1. Perbandingan beberapa metode ekstraksi berdasarkan kondisi operasi, kelebihan, dan kelemahannya.

Metode	Kondisi Umum	Kelebihan	Kelemahan
Maserasi	Perendaman serbuk jahe dalam pelarut pada suhu ruang atau sedikit dipanaskan; waktu lama (24–72 jam)	Sederhana, biaya rendah, tidak butuh alat khusus	Waktu lama, pelarut banyak, efisiensi rendah
Soxhlet	Sirkulasi pelarut panas secara kontinu; suhu mendekati titik didih pelarut; 4–8 jam	Ekstraksi kontinu, hasil lebih tinggi dari maserasi	Konsumsi pelarut tinggi, degradasi termal mungkin terjadi
UAE	Gelombang <i>ultrasonic</i> (20–40 kHz) → kavitasi → pecah dinding sel; suhu moderat (30–60 °C); waktu 15–60 menit	Cepat, hemat pelarut, suhu rendah (minim degradasi)	Tidak cocok untuk skala besar tanpa optimasi
MAE	Gelombang mikro (2450 MHz) memanaskan pelarut dan matriks; suhu 60–120 °C; waktu <30 menit	Sangat cepat, efisiensi tinggi, hemat pelarut	Risiko degradasi termal, tidak cocok untuk senyawa sensitif
SC-CO ₂	Tekanan tinggi (100–300 atm); suhu 40–80 °C; CO ₂ + co-solvent (etanol)	Ramah lingkungan, selektivitas tinggi, bebas residu pelarut	Biaya tinggi, kontrol proses kompleks

EAE	Hidrolisis dinding sel dengan enzim (selulase, pektinase, protease); kondisi moderat (pH 4–6, suhu 30–55 °C, waktu 1–6 jam)	Selektif, ramah lingkungan, suhu rendah	Biaya enzim, kondisi pH/suhu harus dikontrol ketat
PLE	Pelarut cair pada suhu tinggi (75–200 °C) & tekanan 35–200 bar agar tetap cair; waktu 5–20 menit per siklus	Cepat, efisien, cocok untuk ekstraksi berkelanjutan	Peralatan mahal, optimasi parameter krusial

Salah satu representasi teknologi green extraction paling maju adalah ekstraksi superkritis CO₂ dengan Yield oleoresin 8,15% dan kandungan gingerol 0,758% (Cárdenas-Toro et al., 2025). Tingkat kemurnian oleoresin dapat mencapai 96,15% [53], menunjukkan keunggulan dalam kualitas produk. Kondisi optimal yang umum digunakan adalah tekanan 9–10 MPa dan suhu 10–20°C untuk ekstraksi, serta tekanan 8–10 MPa dan suhu 35–45°C untuk tahap pemisahan. CO₂ superkritis aman, dapat didaur ulang, dan mampu menembus matriks tanaman secara optimal, namun biaya dan kompleksitas proses membatasi penerapannya di skala kecil-menengah.

EAE merepresentasikan pendekatan bioteknologi dalam ekstraksi oleoresin. Selektivitas enzim memungkinkan degradasi terarah pada komponen struktural sel tanpa merusak senyawa target, sehingga menghasilkan oleoresin dengan kualitas yang baik. Yield hingga 20% dengan kandungan gingerol 12,2% telah dilaporkan dalam penelitian tertentu (Nagendra chari et al., 2013), sedangkan modifikasi dengan Three Phase Partitioning (TPP) menghasilkan yield 6,9% dengan gingerol 0,909% dan 6-shogaol 0,275% (Varakumar et al., 2017). Metode ini unggul karena kondisi ekstraksi yang ramah lingkungan dan relatif terkendali, meski keterbatasan utamanya terletak pada biaya enzim yang tinggi serta kebutuhan kontrol pH dan suhu yang ketat.

Kombinasi suhu tinggi (75–200°C) dan tekanan tinggi (hingga 200 bar) pada PLE bertujuan mempertahankan pelarut dalam fase cair di atas titik didihnya. Peningkatan kelarutan senyawa target dan percepatan perpindahan massa memungkinkan penyelesaian ekstraksi dalam 5–20 menit per siklus. Yield oleoresin mencapai 36,48% dengan kandungan gingerol 2,01% dan 6-shogaol 0,08% (Hu et al., 2011), angka yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata EAE dalam hal Yield meski kandungan gingerol relatif lebih rendah. Fleksibilitas dalam penggunaan pelarut polar maupun non-polar menjadi nilai tambah PLE, dengan kemungkinan pelaksanaan berulang menggunakan beberapa siklus ekstraksi. Investasi peralatan yang tinggi dan kebutuhan optimasi parameter proses yang sesuai karakteristik sampel masih menjadi tantangan utama implementasi PLE.

Modifikasi dan kombinasi metode ekstraksi terbukti meningkatkan efisiensi dan kualitas oleoresin jahe. Pada maserasi dengan pretreatment etanol–isopropanol (2:1) selama 150 menit pada 45°C, Yield naik signifikan menjadi 15% dibanding maserasi standar 6,26% (Samuel et al., 2023). Pretreatment enzimatis yang dikombinasikan dengan Three Phase Partitioning (TPP) juga menghasilkan rendemen hingga 69 g/kg (Varakumar et al., 2017). Enzim bekerja mendegradasi dinding sel, sementara TPP berperan sebagai tahap purifikasi dan konsentrasi, sehingga memberikan oleoresin dengan kualitas lebih tinggi.

Fenomena sinergis terlihat pada SC-CO₂ yang dipadukan dengan pretreatment ultrasonik, menghasilkan Yield 8,15% dengan kandungan gingerol lebih tinggi dibanding SC-CO₂ konvensional (Said et al., 2015). Ultrasound menciptakan microcracks yang mempermudah penetrasi CO₂ superkritis, sedangkan kondisi superkritis meningkatkan selektivitas produk. Preservasi senyawa bioaktif tetap terjaga dengan baik, seperti terlihat pada UAE-TPP dimana δ -shogaol tetap terjaga hingga 0,262% (Varakumar et al., 2017), menunjukkan preservasi senyawa bioaktif yang baik. Dengan demikian, kombinasi pretreatment dan teknologi pemisahan lanjutan seperti TPP mampu meningkatkan baik rendemen maupun kualitas ekstrak, sekaligus mengurangi kebutuhan tahap pemurnian tambahan.

Tabel 2. Kondisi operasi dan hasil (yield) oleoresin jahe menggunakan berbagai metode ekstraksi.

Metode	Kondisi Operasi	Yield Oleoresin (%)	Referensi
Maserasi	70% etanol (1: 7.5), suhu ruang, 3 hari	Yield: 6.26%; Zingiberol	(Syarif et al., 2024)
	Dilakukan <i>pretreatment</i> dengan Etanol:isopropanol (2:1); suhu 45°C; selama 150 menit; kemudian didiamkan selama 24 jam	Yield: 15%; α -zingiberena: 13,38%	(Samuel et al., 2023)
Soxhlet	Metanol, suhu 65°C, selama 8 jam	Yield: 5.2%; [6]-,[8]-,[10]- Gingerol: 0,546%; 6-Shogaol: 0,209%	(Varakumar et al., 2017)
	99% Metanol, suhu 64°C, selama 6 jam	Yield: 7,3%	(Said et al., 2015)
	150 mL etanol; suhu 85°C; selama 8 jam	Yield: 9,63%; [6]-,[8]-,[10]- Gingerol: 1,87%; 6-Shogaol: 0,309%	(Hu et al., 2011)
SC-CO ₂	pada tekanan 25 MPa; suhu 35°C	Yield: 8.15%	(Said et al., 2015)

Kombinasi dengan metode <i>Ultrasound – Assisted</i> sebagai <i>pretreatment</i>			
	pada tekanan 250 bar; suhu 50°C; selama 360 menit	<i>Yield</i> : 2,6%; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 0,758%; [6]-, [8]-, [10]- Shogaol: 0,249%	(Cárdenas-Toro et al., 2025)
	Pada tekanan 20 MPa; suhu 45°C; laju alir CO ₂ 12 g/menit	<i>Yield</i> : 6,47%	(Ahmadi et al., 2025)
	Pada tekanan 175 bar; suhu 40°C; laju alir CO ₂ 30 g/menit	<i>Yield</i> : 5,95%	[53]
UAE	70% etanol, 50°C, 2 jam, rasio 1:7.5	<i>Yield</i> : 21.29%; Zingiberol; 6-Gingerol; 6-Shogaol	(Syarif et al., 2024)
	20 kHz, 36 W, <i>duty cycle</i> 40%; selama 5-20 menit; dimodifikasi dengan <i>Three Phase Partitioning</i>	<i>Yield</i> : 6,4 %; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 0,919%; 6-Shogaol: 0,262%	(Varakumar et al., 2017)
	99% Metanol, suhu 40°C, selama 60 menit; Frekuensi 40 kHz; maks 100 W	<i>Yield</i> : 7,4%	(Said et al., 2015)
	50 mL etanol; suhu 25-30°C; pada 40 kHz selama 60 menit	<i>Yield</i> : 8,16%; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 1,55%; 6-Shogaol: 0,007%	(Hu et al., 2011)
MAE	70% etanol, pada 180 watt, selama 10 menit	<i>Yield</i> : 6-Gingerol: 2.8 mg/g; 6-Shogaol: 1,3 mg/g; antioksidan 87%	(Teng et al., 2019)
	60% etanol (1: 55), pada 800 watt, suhu 60°C selama 5 menit	<i>Yield</i> : 2,03%; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 15,03 mg/L; 6-Shogaol: 3,47 mg/L	(Zhang et al., 2025)
	Dimodifikasi dengan <i>ultrasonic</i> tekanan tinggi	<i>Yield</i> : 4,52%; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 16,62 mg/L; 6-Shogaol: 4,32 mg/L	(Zhang et al., 2025)
	60% etanol (1: 55), pada 800 watt, frekuensi 25 kHz; tekanan 2 MPa; suhu 100°C selama 5 menit		
	87% etanol (20mL: 0,431g), pada 800 watt, suhu 100°C selama 5 menit	<i>Yield</i> : 1.58%; [6]-, [8]-, [10]- Gingerol: 0.865%; [6]-, [8]-, [10]- Shogaol: 0.717%	(Gonzalez-Gonzalez et al., 2023)
EAE	Konsentrasi enzim α -amilase $\pm 0.5\%$ ml/w; pH 4,5-5; inkubasi 50 ± 2 °C selama 30–120 menit;	<i>Yield</i> : 20%; Gingerol: 12,2%%	(Nagendra chari et al., 2013)

	Konsentrasi enzim $\pm 0.5\%$ v/v, inkubasi 50 ± 4 °C selama 4 jam; dimodifikasi dengan <i>Three Phase Partitioning</i>	<i>Yield</i> : 6,9 %; [6]-, [8]-, [10]-Gingerol: 0,909%; 6-Shogaol: 0,275%	(Varakumar et al., 2017)
PLE	70% bioethanol pada 1500 psi; suhu 100°C; selama 20 menit	<i>Yield</i> : 36,48%; [6]-, [8]-, [10]-Gingerol: 2,01%; 6-Shogaol: 0,08%	(Hu et al., 2011)
	Subcritical water; suhu 130°C; selama 25 menit	6-gingerol: 0.068%; 6-Shogaol: 0.003%	(Ko et al., 2019)
	<i>hot compressed water</i> (HCW); suhu 130-170°C selama 20-30 menit; tekanan 3,5 MPa.	6-gingerol: 0.174 %; 6-Shogaol: 0.061%	(Md Sarip et al., 2014)

Tantangan dan Arah Riset Selanjutnya

Penerapan metode green extraction pada ekstraksi oleoresin jahe menghadapi sejumlah tantangan ilmiah. Meskipun metode seperti UAE, MAE, dan supercritical CO₂ terbukti efisien, optimasi kondisi proses masih menjadi isu utama. Parameter seperti suhu, tekanan, waktu, serta rasio pelarut harus dikendalikan secara tepat untuk mendapatkan hasil yang konsisten. Selain itu, variasi komposisi kimia pada jahe dari berbagai varietas, lokasi tanam, maupun kondisi pascapanen dapat memengaruhi hasil ekstraksi, sehingga standardisasi protokol ekstraksi menjadi tantangan tersendiri.

Evaluasi keberlanjutan metode green extraction juga masih terbatas. Studi berbasis life cycle assessment (LCA) diperlukan untuk menilai sejauh mana teknologi ini benar-benar ramah lingkungan dalam seluruh tahapan proses. Pendekatan ini penting agar penelitian green extraction tidak hanya berfokus pada yield, tetapi juga pada aspek keberlanjutan secara menyeluruh.

Tantangan lain adalah isolasi dan pemurnian senyawa bioaktif utama seperti gingerol, shogaol, dan zingerone dari oleoresin jahe. Metode konvensional seperti kromatografi kolom memerlukan waktu lama dan pelarut dalam jumlah besar, sehingga kurang efisien. Sementara itu, teknologi pemisahan modern seperti preparative HPLC atau high-speed counter-current chromatography (HSCCC) menawarkan selektivitas tinggi, namun masih jarang diterapkan secara luas dalam penelitian oleoresin jahe.

Selain itu, stabilitas senyawa bioaktif juga menjadi perhatian. Gingerol, misalnya, mudah terdegradasi menjadi shogaol pada kondisi suhu tinggi atau pH ekstrem. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan metode purifikasi yang mampu menjaga integritas molekul sekaligus menghasilkan senyawa murni dengan tingkat kemurnian tinggi untuk aplikasi farmasi maupun pangan fungsional.

Integrasi beberapa metode ekstraksi menunjukkan prospek menarik untuk meningkatkan hasil dan kualitas oleoresin. Kombinasi pretreatment enzimatis dengan UAE atau MAE, misalnya, telah terbukti dapat meningkatkan rendemen sekaligus mempertahankan kandungan senyawa bioaktif. Meski demikian, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami interaksi antar-metode serta potensi degradasi senyawa pada tahap transisi proses.

Selain integrasi teknik ekstraksi, pengembangan sistem kontrol berbasis monitoring real-time di level penelitian dapat membantu memahami dinamika proses ekstraksi dengan lebih baik. Pendekatan ini berpotensi mempercepat optimasi kondisi operasi, sekaligus menghasilkan data yang lebih akurat dan dapat direplikasi.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Oleoresin jahe memiliki potensi besar sebagai bahan bioaktif multifungsi dengan spektrum aplikasi yang luas. Senyawa utama seperti gingerol, shogaol, dan zingerone menunjukkan berbagai aktivitas biologis, termasuk antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, hingga antikanker. Potensi ini menjadikan oleoresin jahe sebagai kandidat penting untuk pengembangan produk nutraceutical, pharmaceutical, dan functional food. Aplikasinya pun sangat beragam. Dalam industri pangan, oleoresin berfungsi sebagai pengawet alami sekaligus penambah cita rasa. Pada industri kosmetik, oleoresin dimanfaatkan karena sifat anti-aging dan perlindungan kulit, sementara dalam bidang farmasi digunakan untuk pengembangan obat herbal dan suplemen kesehatan. Limbah jahe masih mengandung senyawa bioaktif dalam jumlah signifikan. Kulit jahe maupun ampas hasil pengolahan dapat diekstraksi kembali untuk memperoleh oleoresin dengan rendemen yang cukup tinggi, sehingga berpotensi sebagai sumber bahan baku alternatif. Pemanfaatan limbah ini sejalan dengan konsep ekonomi sirkular dan sistem produksi zero waste, di mana limbah tidak hanya berkurang tetapi juga dapat diubah menjadi produk bernilai tambah. Metode ekstraksi modern seperti UAE, MAE, dan SC-CO₂ terbukti lebih efisien dibanding metode konvensional. UAE mampu menghasilkan yield tinggi dalam waktu singkat, MAE unggul dari segi kecepatan proses, sedangkan SC-CO₂ menghasilkan produk dengan tingkat kemurnian tinggi dan ramah lingkungan. Metode lain seperti enzyme-assisted extraction juga menunjukkan selektivitas yang baik dengan hasil yang menjanjikan. Kombinasi atau modifikasi metode ekstraksi bahkan memberikan efek sinergis yang lebih baik. Misalnya, praperlakuan enzimatis yang dikombinasikan dengan three phase partitioning dapat meningkatkan rendemen, sementara integrasi ultrasound dengan SC-CO₂ menunjukkan peluang untuk optimasi lanjutan. Riset ke depan perlu difokuskan pada optimasi proses yang sesuai dengan karakteristik spesifik limbah jahe, termasuk standarisasi protokol

untuk berbagai jenis limbah. Isolasi senyawa spesifik seperti gingerol murni juga memerlukan pengembangan metode pemisahan yang lebih efisien dan hemat biaya. Selain itu, penelitian terkait stabilitas, bioavailabilitas, dan validasi aktivitas biologis melalui uji klinis masih sangat diperlukan. Untuk skala industri, pendekatan multidisipliner yang melibatkan aspek teknologi, ekonomi, dan lingkungan akan menjadi kunci. Integrasi metode hybrid dan sistem kontrol otomatis diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sekaligus menjaga keberlanjutan proses produksi. Transformasi limbah jahe menjadi oleoresin bernilai tinggi dapat menjadi strategi pendekatan saling menguntungkan bagi industri. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi beban lingkungan, tetapi juga meningkatkan nilai tambah dan profitabilitas rantai pasok jahe secara keseluruhan.

DAFTAR REFERENSI

- Ahmadi, S., Pardis Kian, S., & Moghaddas, M. (2025). Response surface methodology applied to the supercritical carbon dioxide extraction of *Zingiber officinale* oleoresin. *International Journal of New Chemistry*, 2025(5), 972–994. <http://www.ijnrc.ir/>
- Ali, K., Flare, A., & Flinn, G. (2024). An overview of the traditional and modern applications of ginger. *JHSciRes*, 10(1), 10–16. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13254798>
- Alvarez-Rivera, G., Bueno, M., Ballesteros-Vivas, D., Mendiola, J. A., & Ibañez, E. (2020). Pressurized liquid extraction. In *Liquid-phase extraction* (pp. 375–398). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00013-X>
- Barik, R., Sugunan, S., & Shafri, M. A. B. M. (2024). Pressurized liquid extraction for the isolation of bioactive compounds (pp. 275–298). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3601-5_12
- Barp, L., Višnjevec, A. M., & Moret, S. (2023). Pressurized liquid extraction: A powerful tool to implement extraction and purification of food contaminants. *Foods*, 12(10), 2017. <https://doi.org/10.3390/foods12102017>
- Buvaneshwaran, M., Radhakrishnan, M., & Natarajan, V. (2023). Influence of ultrasound-assisted extraction techniques on the valorization of agro-based industrial organic waste: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 46(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14012>
- Cárdenas-Toro, F. P., Meza-Coaquira, J. H., Gonzalez-Gonzalez, M., Carrera, C., & Fernández Barbero, G. (2025). Supercritical CO₂ extraction of oleoresin from Peruvian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Extraction yield, polyphenol content, antioxidant capacity, chemical analysis and storage stability. *Molecules*, 30(5), 1013. <https://doi.org/10.3390/molecules30051013>
- Chen, M., Lin, E., Xiao, R., Li, Z., Liu, B., & Wang, J. (2024). Structural characteristic, strong antioxidant, and anti-gastric cancer investigations on an oleoresin from ginger (*Zingiber officinale* var. *roscoe*). *Foods*, 13(10), 1498. <https://doi.org/10.3390/foods13101498>
- Dalsasso, R. R., Valencia, G. A., & Monteiro, A. R. (2022). Impact of drying and extraction processes on the recovery of gingerols and shogaols, the main bioactive compounds of

- ginger. *Food Research International*, 154, 111043. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111043>
- Darekar, S. U., Nagrale, S. N., Babar, V. B., & Pondkule, A. (2023). Review on ginger: Chemical constituents and biological effects. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 12(6), 267–271. <https://doi.org/10.22271/phyto.2023.v12.i6c.14792>
- Gamage, K., Dissanayake, C., Angoda, W., Waliwita, L. C., & Liyanage, R. P. (2020). A review on medicinal uses of *Zingiber officinale* (ginger). *International Journal of Health Sciences and Research*, 10(6), 1–8. www.ijhsr.org
- Garcia-Vaquero, M., Rajauria, G., & Tiwari, B. (2020). Conventional extraction techniques: Solvent extraction. In *Sustainable seaweed technologies* (pp. 171–189). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817943-7.00006-8>
- Gonzalez-Gonzalez, M., Yerena-Prieto, B. J., Carrera, C., Vázquez-Espinosa, M., González-de-Peredo, A. V., García-Alvarado, M. Á., Palma, M., Rodríguez-Jimenes, G. del C., & Barbero, G. F. (2023). Optimization of an ultrasound-assisted extraction method for the extraction of gingerols and shogaols from ginger (*Zingiber officinale*). *Agronomy*, 13(7), 1787. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071787>
- Hidayat, R., & Wulandari, P. (2021). Methods of extraction: Maceration, percolation, and decoction. *Eureka Herba Indonesia*, 2(1), 73–79. <https://doi.org/10.37275/ehi.v2i1.15>
- Hu, J., Guo, Z., Glasius, M., Kristensen, K., Xiao, L., & Xu, X. (2011). Pressurized liquid extraction of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) with bioethanol: An efficient and sustainable approach. *Journal of Chromatography A*, 1218(34), 5765–5773. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.06.088>
- Islam, M., Malakar, S., Rao, M. V., Kumar, N., & Sahu, J. K. (2023). Recent advancement in ultrasound-assisted novel technologies for the extraction of bioactive compounds from herbal plants: A review. *Food Science and Biotechnology*, 32(13), 1763–1782. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01346-6>
- Ko, M. J., Nam, H. H., & Chung, M. S. (2019). Conversion of 6-gingerol to 6-shogaol in ginger (*Zingiber officinale*) pulp and peel during subcritical water extraction. *Food Chemistry*, 270, 149–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.078>
- Li, H., Liu, Y., Luo, D., Ma, Y., Zhang, J., Li, M., Yao, L., Shi, X., Liu, X., & Yang, K. (2019). Ginger for health care: An overview of systematic reviews. *Complementary Therapies in Medicine*, 45, 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.06.002>
- López-Bascón, M. A., & Luque de Castro, M. D. (2020). Soxhlet extraction. In *Liquid-phase extraction* (pp. 327–354). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816911-7.00011-6>
- Lozano Pérez, A. S., Lozada Castro, J. J., & Guerrero Fajardo, C. A. (2024). Application of microwave energy to biomass: A comprehensive review of microwave-assisted technologies, optimization parameters, and strengths and weaknesses. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(3), 121. <https://doi.org/10.3390/jmmp8030121>
- Łubek-Nguyen, A., Ziemichód, W., & Olech, M. (2022). Application of enzyme-assisted extraction for the recovery of natural bioactive compounds for nutraceutical and pharmaceutical applications. *Applied Sciences*, 12(7), 3232. <https://doi.org/10.3390/app12073232>

- Mahboubi, M. (2019). *Zingiber officinale* Rosc. essential oil: A review on its composition and bioactivity. *Clinical Phytoscience*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>
- Maled, S. B., Bhat, A. R., Hegde, S., Sivamani, Y., Muthuraman, A., & Elayaperumal, S. (2024). Enzyme-assisted extraction (pp. 173–200). https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3601-5_8
- Md Sarip, M. S., Morad, N. A., Mohamad Ali, N. A., Mohd Yusof, Y. A., & Che Yunus, M. A. (2014). The kinetics of extraction of the medicinal ginger bioactive compounds using hot compressed water. *Separation and Purification Technology*, 124, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.01.008>
- Moret, S., Conchione, C., Srbinovska, A., & Lucci, P. (2019). Microwave-based technique for fast and reliable extraction of organic contaminants from food, with a special focus on hydrocarbon contaminants. *Foods*, 8(10), 503. <https://doi.org/10.3390/foods8100503>
- Nagendra Chari, K. L., Manasa, D., Srinivas, P., & Sowbhagya, H. B. (2013). Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Food Chemistry*, 139(1–4), 509–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.099>
- Nakib, M. E., & Aytac, S. (2024). Ultrasonic-assisted extraction (UAE) of bioactive compounds: Mechanisms, benefits, applications, and synergistic approaches. In *Molecular Biology and Genetics* (Vol. 11).
- Osorio-Tobón, J. F. (2020). Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4299–4315. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2>
- Raynie, D. (2019). Looking at the past to understand the future: Soxhlet extraction.
- Said, P. P., Arya, O. P., Pradhan, R. C., Singh, R. S., & Rai, B. N. (2015). Separation of oleoresin from ginger rhizome powder using green processing technologies. *Journal of Food Process Engineering*, 38(2), 107–114. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12127>
- Samuel, A., Musa, A. E., Senchi, B. Z., Itodo, S. D., & Kamba, I. N. (2023). Extraction and characterization of oleoresin from ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) rhizomes using blends of monohydric alcohols. *Chemistry Research Journal*, 8(3), 76–80.
- Semwal, R. B., Semwal, D. K., Combrinck, S., & Viljoen, A. M. (2015). Gingerols and shogaols: Important nutraceutical principles from ginger. *Phytochemistry*, 117, 554–568. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.07.012>
- Shaukat, M. N., Nazir, A., & Fallico, B. (2023). Ginger bioactives: A comprehensive review of health benefits and potential food applications. *Antioxidants*, 12(11), 2015. <https://doi.org/10.3390/antiox12112015>
- Sulejmanović, M., Rojo, S. R., Mourtzinou, I., Kyriakoudi, A., Nastić, N., Travičić, V., & Vidović, S. (2025). Green and innovative pressurized liquid extraction as a tool for ginger (*Zingiber officinale*) herbal dust bioactive compounds recovery. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 46, 102083. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.102083>
- Supardan, M. D., Fuadi, A., Nurul Alam, P., Arpi, N., & Dani, M. (2011). Solvent extraction of ginger oleoresin using ultrasound. *Makara Journal of Science*, 15(2). <https://doi.org/10.7454/mss.v15i2.1066>
- Swamy, M. K., & Akhtar, M. S. (2019). *Natural bio-active compounds*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7205-6>

- Syarif, R. A., Faradiba, F., Alyanti, T. K., & Savitri, T. A. (2024). GC-MS analysis of ginger rhizome with various extraction methods. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 11(3), 107–114. <https://doi.org/10.33096/jffi.v11i1.1184>
- Tayebwa, A. (2025). *Dye extraction from waste textile using supercritical carbon dioxide (ScCO₂) technology*.
- Temmante, K., Chaachouay, N., Benkhniue, O., & Azeroual, A. (2025). Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe, Zingiberaceae). In *Comprehensive guide to hallucinogenic plants* (pp. 394–410). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003460336-49>
- Teng, H., Seuseu, K. T., Lee, W.-Y., & Chen, L. (2019). Comparing the effects of microwave radiation on 6-gingerol and 6-shogaol from ginger rhizomes (*Zingiber officinale* Rosc). *PLOS ONE*, 14(6), e0214893. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214893>
- Thanigaivel, S., Vidhya Hindu, S., Vijayakumar, S., Mukherjee, A., Chandrasekaran, N., & Thomas, J. (2015). Differential solvent extraction of two seaweeds and their efficacy in controlling *Aeromonas salmonicida* infection in *Oreochromis mossambicus*: A novel therapeutic approach. *Aquaculture*, 443, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.010>
- Uthirapathy, S., Ahamad, J., & Naim, M. J. (2023). Oleoresins containing food spices. In *Analysis of food spices* (pp. 29–48). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003279792-4>
- Uwineza, P. A., & Waśkiewicz, A. (2020). Recent advances in supercritical fluid extraction of natural bioactive compounds from natural plant materials. *Molecules*, 25(17), 3847. <https://doi.org/10.3390/molecules25173847>
- Varakumar, S., Umesh, K. V., & Singhal, R. S. (2017). Enhanced extraction of oleoresin from ginger (*Zingiber officinale*) rhizome powder using enzyme-assisted three-phase partitioning. *Food Chemistry*, 216, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.180>
- Wang, N., Zhu, H., Wang, M., Zhao, S., Sun, G., & Li, Z. (2025). Recent advancements in microwave-assisted extraction of flavonoids: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 18(3), 2083–2100. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03574-y>
- Zhang, Y., Yang, S., Li, W., Li, X., Lai, X., Li, X., Xiong, W., & Zhang, B. (2025). Optimized high-pressure ultrasonic-microwave-assisted extraction of gingerol from ginger: Process design and performance evaluation. *Processes*, 13(7), 2149. <https://doi.org/10.3390/pr13072149>