



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 4 Tahun 2025 Page 12247-12260

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Limonene Extraction From Citrus Waste As An Eco-Friendly Solvent: Conventional And Non Conventional Techniques - A Review

Andreas Gangsar Bayu Waskito^{1✉}, Pande Made Nova Armita Sari²

Universitas Udayana

Email: waskitobayu42@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Limonen merupakan senyawa golongan terpenoid yang banyak ditemukan dalam limbah kulit jeruk yang dapat digunakan sebagai pelarut hijau karena sifatnya yang bersifat hidrofobik atau nonpolar untuk mengurangi penggunaan pelarut kimia yang berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau faktor yang mendukung proses ekstraksi limonen seperti metode ekstraksi, suhu, daya, lama waktu ekstraksi dan juga rasio pelarut. Artikel ini disusun berdasarkan literatur yang diperoleh dari Google Scholar dan Pubmed dengan menggunakan kata kunci "*limonene extraction*" dan "*citrus peel essential oil*". Artikel yang digunakan adalah artikel dengan rentang waktu 10 tahun yaitu dari 2015 hingga 2025 dengan kriteria inklusi berupa artikel berbahasa Indonesia atau Inggris yang menjelaskan metode ekstraksi limonen secara lengkap. Metode ekstraksi yang digunakan antara lain distilasi uap, hidrodistilasi, *Microwave Assisted Extraction* (MAE), *Ultrasound Assisted Extraction* (UAE), dan *Microwave Assisted Hydro Distillation* (MAHD). Metode MAHD merupakan metode yang menghasilkan kadar limonen tertinggi sebesar 98,416% dengan kondisi rasio sampel dan pelarut 1:3 dengan daya microwave 300 W selama 45 menit, Metode MAHD menjadi metode ekstraksi yang paling efektif karena waktu dan proses yang efisien, penggunaan pelarut yang ramah lingkungan dan hasil yang tinggi.

Kata Kunci: *Limonene Extraction, Pelarut Hijau, Citrus Peel Essential Oil*

Abstract

Limonene is a terpenoid compound found abundantly in orange peel waste that can be used as a green solvent due to its hydrophobic or nonpolar nature to reduce the use of chemical solvents that are harmful to the environment. This study aims to review factors that support the limonene extraction process such as extraction method, temperature, power, extraction time and also solvent ratio. This article is compiled based on literature obtained from Google Scholar and Pubmed using the keywords "limonene extraction" and "citrus peel essential oil". The articles used are articles with a time span of 10 years, namely from 2015 to 2025 with inclusion criteria in the form of articles in Indonesian or English that explain the limonene extraction method in full. The extraction methods used include steam distillation, hydrodistillation, Microwave Assisted Extraction (MAE), Ultrasound Assisted Extraction (UAE), and Microwave Assisted Hydro Distillation (MAHD). The MAHD method yielded the highest limonene content of 98.416% with a sample-to-solvent ratio of 1:3 and a microwave power of 300 W for 45 minutes. The MAHD method was the most effective extraction method due to its time and process efficiency, the use of environmentally friendly solvents, and high yields.

Keywords: *Limonene Extraction, Green Solvent, Citrus Peel Essential Oil*

PENDAHULUAN

Pelarut merupakan komponen penting dalam dunia perindustrian baik dalam industri kimia, industri farmasi, industri kosmetik dan juga industri pangan. Penggunaan pelarut pada industri ini, masih menggunakan pelarut yang berdasarkan hasil sintesis dari minyak bumi yang penggunaannya tidak ramah lingkungan. Pelarut yang digunakan masih bersifat toksik terlebih pada industri makanan dan industri kosmetik serta memiliki potensi merusak lingkungan apabila penggunaannya secara berlebihan. Penggunaan pelarut ini membuat ketergantungan dengan sumber daya fosil yang tidak terbarukan dan juga resiko keselamatan kerja akibat paparan dalam jangka waktu panjang serta keselamatan lingkungan akibat penggunaan dari pelarut yang digunakan pada masa sekarang. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan penggunaan pelarut ramah lingkungan yang meminimalisir penggunaan pelarut berbahaya, sehingga sejalan dengan prinsip *green chemistry* dan juga berasal dari sumber yang dapat diperbarui.

Limonen merupakan metabolit sekunder memiliki komponen organik ($C_{10}H_{16}$) dengan karakteristik berbentuk cairan tidak berwarna yang bersifat non polar dan termasuk dalam golongan terpenoid (Yara dan Arianti, 2023). Limonen merupakan minyak atsiri yang secara alami banyak ditemukan pada kulit buah jeruk dengan kandungan yang tinggi yaitu sekitar 68% sampai 98% dari total minyak atsiri pada kulit buah jeruk (Nirwana *et al.*, 2025). Limonen banyak digunakan dalam berbagai industri karena sifat dan manfaatnya yang beragam seperti penambah aroma dan rasa pada makanan, komponen pewangi alami dan juga

pelarut hijau (*green solvent*) yang penggunaannya ramah lingkungan (Daryono dkk., 2023). Penggunaan limonen sebagai pelarut sangat bermanfaat karena diambil dari limbah kulit jeruk sebagai bahan utama yang dapat mengurangi jumlah sampah organik dan juga memiliki nilai jual tinggi (Cahyati dkk., 2016). Permintaan global terhadap limonen mencapai USD 312,1 juta pada tahun 2022 dan diperkirakan tumbuh dengan laju 6,0% per tahun hingga 2030 (Nirwana *et al.*, 2025).

Penggunaan limonen sebagai pelarut karena sifat fisika kimia dari limonen yang bersifat nonpolar atau hidrofobik. Limonen merupakan senyawa hidrofobik yang memiliki nilai logP sebesar 4,8 yang memiliki sifat sangat larut dalam lemak dan hampir tidak larut dalam air, sehingga dapat dijadikan pelarut untuk senyawa non polar (El-Deen and Shimizu, 2019). Limonen memiliki titik didih sekitar 175°C-177°C, sehingga stabil dalam proses ekstraksi bersuhu tinggi menggunakan pelarut limonen. Limonen juga dapat dipulihkan kembali hingga 90% setelah limonen digunakan, dengan cara proses distilasi atau evaporasi, sehingga memiliki siklus yang panjang sebagai pelarut (Pagliaro *et al.*, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut diperlukan kajian literatur untuk mengumpulkan informasi mengenai penggunaan limonen sebagai pelarut alami. Kajian literatur ini bertujuan untuk mengetahui metode-metode yang digunakan untuk mengekstraksi limonen, serta hal yang mendukung saat proses ekstraksi seperti jumlah sampel, jenis pelarut dan juga suhu yang digunakan saat proses ekstraksi. Kajian literatur ini diharapkan dapat menjadi gambaran dan referensi untuk proses ekstraksi limonen sebagai pelarut hijau yang efektif dan ramah lingkungan serta pemanfaatan limbah organik sebagai sumber limonen.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan dari berbagai sumber Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena fokus utamanya adalah untuk menguji hipotesis mengenai pengaruh dua variabel independen, yaitu *service solvency* dan *kemandirian keuangan*, terhadap variabel dependen, yaitu *financial sustainability*. Menurut Sugiyono (2019), metode kuantitatif adalah metode penelitian yang digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian asosiatif, karena berupaya melihat sejauh mana hubungan atau pengaruh antara dua atau lebih variabel. Hal ini sejalan dengan pendapat Arikunto (2014), yang menyatakan bahwa

penelitian asosiatif bertujuan untuk mengetahui hubungan antar dua variabel atau lebih, apakah ada pengaruh atau tidak, serta bagaimana bentuk pengaruh tersebut.

Selain itu, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini bersifat eksplanatori karena tidak hanya menjelaskan hubungan antar variabel, tetapi juga mencari tahu sebab-akibat dari hubungan tersebut. Nazir (2014) menyatakan bahwa penelitian eksplanatori adalah penelitian yang bertujuan untuk menjelaskan kedudukan variabel-variabel yang diteliti serta hubungan kausal antara satu variabel dengan variabel lainnya. Dengan demikian, penelitian ini berusaha menjelaskan pengaruh service solvency dan kemandirian keuangan terhadap financial sustainability secara simultan maupun parsial.

Objek dalam penelitian ini adalah seluruh pemerintah provinsi yang berada di Pulau Sumatera, yang terdiri dari sepuluh provinsi: Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Kepulauan Riau, Jambi, Bengkulu, Sumatera Selatan, Kepulauan Bangka Belitung, dan Lampung. Keseluruhan populasi ini dijadikan sebagai sampel, sehingga teknik sampling yang digunakan adalah teknik sensus. Menurut Sutrisno Hadi (2010), sensus merupakan teknik pengambilan data di mana seluruh anggota populasi digunakan sebagai sampel. Hal ini dilakukan karena jumlah populasi yang relatif kecil dan seluruh data tersedia, sehingga dapat menghasilkan analisis yang lebih akurat dan menyeluruh.

Penelitian ini menggunakan data sekunder, yaitu data yang telah tersedia dan diperoleh dari lembaga resmi seperti Badan Pemeriksa Keuangan (BPK), Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan (DJPK), dan Badan Pusat Statistik (BPS). Sekaran dan Bougie (2016) menyebutkan bahwa data sekunder merupakan data yang telah dikumpulkan dan didokumentasikan oleh pihak lain untuk tujuan yang berbeda, namun dapat digunakan kembali dalam penelitian. Data yang dikumpulkan berupa data laporan keuangan pemerintah daerah (LKPD), khususnya data belanja modal, pendapatan asli daerah (PAD), total pendapatan, dan jumlah penduduk, dalam periode tahun 2019 hingga 2023.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan metode dokumentasi, yakni dengan menghimpun data dan informasi melalui dokumen resmi pemerintah. Menurut Sugiyono (2017), dokumentasi merupakan teknik pengumpulan data yang dilakukan melalui pengkajian dokumen yang berisi informasi relevan dengan objek penelitian. Data yang diperoleh melalui dokumentasi ini kemudian dianalisis secara kuantitatif menggunakan perangkat lunak EViews 12 untuk mendapatkan hasil yang valid dan objektif.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode regresi data panel karena data yang digunakan memiliki karakteristik time series dan cross section secara bersamaan. Gujarati dan Porter (2013) menyatakan bahwa regresi data panel merupakan metode yang

menggabungkan dua jenis data, yaitu data deret waktu (time series) dan data lintas individu (cross section), yang dapat memberikan estimasi yang lebih efisien serta mengatasi berbagai permasalahan statistik seperti heteroskedastisitas dan autokorelasi. Sebelum melakukan regresi, dilakukan terlebih dahulu uji statistik deskriptif untuk melihat distribusi data masing-masing variabel. Kemudian dilakukan uji asumsi klasik seperti uji normalitas, multikolinearitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi untuk memastikan bahwa model regresi memenuhi kriteria BLUE (Best Linear Unbiased Estimator).

Selanjutnya dilakukan uji Chow dan uji Hausman untuk menentukan model regresi panel terbaik, apakah Common Effect Model, Fixed Effect Model, atau Random Effect Model yang paling sesuai dengan data. Setelah model terbaik ditentukan, dilakukan analisis regresi panel serta pengujian statistik t dan F untuk melihat pengaruh parsial dan simultan antara variabel independen terhadap variabel dependen. Uji t digunakan untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel independen secara individu terhadap financial sustainability, sedangkan uji F digunakan untuk mengetahui pengaruh secara simultan. Selain itu, koefisien determinasi (R-squared) juga dihitung untuk mengetahui seberapa besar proporsi variasi financial sustainability dapat dijelaskan oleh variabel service solvency dan kemandirian keuangan. Jika nilai R-squared tinggi, maka variabel-variabel independen dalam model memiliki kekuatan prediksi yang baik terhadap variabel dependen.

Dengan pendekatan yang sistematis dan penggunaan teori serta metode statistik yang tepat, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memahami faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan keuangan pemerintah provinsi di Pulau Sumatera, serta dapat menjadi acuan bagi pengambil kebijakan dalam merancang strategi fiskal yang berkelanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pencarian literatur yang telah dilakukan dari berbagai sumber, didapatkan 12 jurnal yang membahas mengenai metode ekstraksi limonen dari berbagai jenis jeruk. Dari jurnal-jurnal yang didapat beragam metode yang digunakan untuk mengekstraksi limonen seperti UAE (*Ultrasonic Assisted Extraction*), MAHD (*Microwave Assisted Hydro Distillation*), MAE (*Microwave Assisted Extraction*), distilasi uap dan juga hidrodistilasi.

UAE (*Ultrasonic Assisted Extraction*)

Metode UAE (*Ultrasonic Assisted Extraction*) merupakan metode ekstraksi non konvensional. Prinsip kerja dari metode UAE adalah adanya rambatan gelombang ultrasonik yang bergerak melewati medium pada saat terjadinya getaran dengan

pengadukan intens. Gelombang ultrasonik ini tidak dapat didengar oleh manusia karena memiliki frekuensi yang tinggi (>20 kHz) (Susiloningrum dan Sari, 2023).

Tabel 1. Hasil Review Metode UAE (*Ultrasonic Assisted Extraction*)

Metode	Preparasi	Instrumen	Hasil	Pustaka
Ultrasonic Assited Extraction (UAE)	Kulit jeruk dan etanol 96% dengan perbandingan 1:15 pada suhu $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 40 menit, dengan frekuensi 37 kHz.	GC-FID (Shimadzu GC-2014, Japan), kolom Rtx-Wax (30 m \times 0.32 mm \times 0.25 μm), gas pembawa Hidrogen dengan laju alir 2 mL/menit. Suhu injektor 230°C detektor 250°C . Suhu oven 100°C - 250°C dengan laju kenaikan $16^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.	Jumlah limonen yang terkandung 130.5 mg/g.	Nirwana <i>et al.</i> , 2025.
Ultrasonic Assited Extraction (UAE)	30 gram kulit jeruk dan 150 mL etanol 96% selama 15 menit .	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 22,09%	Susilo dkk., 2016

Berdasarkan Tabel 1 hasil ekstraksi limonen menggunakan metode UAE dipengaruhi oleh lama waktu ekstraksi dan juga frekuensi yang digunakan dalam proses ekstraksi. Penelitian yang dilakukan oleh Nirwana *et al* (2025) menggunakan kulit jeruk dan etanol dengan penggunaan rasio 1:15 diekstraksi pada suhu $30\pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 40 menit menghasilkan limonen sebesar 130,5 mg/g. Penelitian oleh Susilo dkk (2016) menggunakan 30 gram kulit jeruk dan 150 mL etanol 96% selama 15 menit menghasilkan limonen sebesar 22,09%. Waktu ekstraksi yang optimal dan juga frekuensi yang optimal dapat meningkatkan pelapasan limonen. Sebaliknya penggunaan waktu yang terlalu minim dapat menyebabkan pelepasan limonen belum maksimal. Penggunaan rasio pelarut juga penting dalam proses ekstraksi limonen karena pada penelitian yang menggunakan pelarut dengan perbandingan 1:15 menghasilkan limonen lebih besar dibandingkan penelitian yang menggunakan rasio pelarut 1:5. Volume pelarut yang optimal dapat menjangkau seluruh bagian sampel sehingga proses ekstraksi berjalan dengan baik dan maksimal (Susanti dkk., 2021).

MAHD (*Microwave Assisted Hydro Distilation*)

Metode *Microwave Assisted Hydro Distilation* merupakan metode ekstraksi non konvensional dengan prinsip penyulingan air secara cepat dengan memanfaatkan gelombang mikro. Metode ekstraksi ini memiliki keunggulan diantara metode ekstraksi yang lain karena menggunakan pelarut yang rendah dan lama waktu ekstraksi singkat serta

pemanfaatan gelombang mikro sebagai sumber energi yang ramah lingkungan (Tanrisannah dkk., 2023).

Tabel 2. Hasil Review Metode MAHD (*Microwave Assisted Hydro Distillation*)

Metode	Preparasi	Instrumen	Hasil	Pustaka
Microwave Assisted Hydro Distillation (MAHD)	150 g Jeruk bali dengan 450 mL air dengan daya 600 W sebanyak 20 siklus.	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 93,99% dari 0,810g/mL.	Megawati dan Murniyawati, 2015.
Microwave Assisted Hydro Distillation (MAHD)	200 g Citrus grandis L. dan air dengan perbandingan 1:3 v/b dengan daya 500 W selama 60 menit.	GC-MS (GC Agilent 6890N), kolom HP5-MS, gas pembawa Helium dengan laju alir 1 mL/menit. Suhu injektor 250°C, Suhu oven 50°C-250°C dengan laju kenaikan 2°C, 5°C, 10°C /menit.	Jumlah limonen yang terkandung 97,637% dari 4,75 mL/g.	Tran <i>et al.</i> , 2020.
Microwave Assisted Hydro Distillation (MAHD)	200 g Citrus sinesis dan air dengan perbandingan 1:3 v/b dengan daya 300 W selama 45 menit.	GC-MS (GC Agilent 6890N), kolom HP5-MS, gas pembawa Helium dengan laju alir 1 mL/menit. Suhu injektor 250°C, Suhu oven 50°C-300°C dengan laju kenaikan 2°C, 5°C, 10°C /menit.	Jumlah limonen yang terkandung 98,416%.	Toan <i>et al.</i> , 2020

Berdasarkan tabel 2, hasil ekstraksi dipengaruhi oleh daya microwave dan juga lama waktu pemanasan. Daya microwave merupakan kekuatan dari energi panas yang diberikan selama proses ekstraksi. Semakin besar daya yang digunakan dalam proses ekstraksi maka semakin cepat juga energi panas yang dihantarkan untuk membuat dinding sel pecah dan pelepasan limonen (Mustam *et al.*, 2023). Penelitian dengan daya 600 W oleh Megawati dan Murniyawati (2015) menghasilkan limonen sebesar 93,99%, sedangkan daya 500 W yang dilakukan oleh Tran *et al.* (2020) menghasilkan limonen sebesar 97,637%, dan daya 300 W pada penelitian yang dilakukan Toan *et al.* (2020) memberikan hasil tertinggi sebesar 98,416%.

Waktu yang digunakan dalam mengekstraksi juga sangat berpengaruh karena jika waktu yang digunakan terlalu singkat maka pelepasan limonen belum maksimal. Waktu yang terlalu lama juga dapat menyebabkan degradasi akibat paparan panas berlebih. Penelitian Megawati dan Murniyawati menggunakan (2015) menggunakan 20 siklus gelombang mikro menghasilkan limonen sebesar 93,99%, Tran et al (2020) menggunakan waktu ekstraksi selama 60 menit menghasilkan limonen sebesar 97,637%, dan Toan et al (2020) selama 45 menit menghasilkan limonen sebesar 98,416%. Hasil terbaik diperoleh dengan waktu sedang (45 menit), Daya yang tinggi dan waktu lama ekstraksi yang tinggi dapat menyebabkan senyawa terdegradasi akibat *overheat*, sehingga diperlukan daya dan waktu yang optimal untuk mengekstraksi limonen seperti pada penelitian Toan et al (2020). MAE (*Microwave Assisted Extraction*)

Metode *Microwave Assisted Extraction* adalah metode ekstraksi non konvensional yang memanfaatkan radiasi gelombang mikro untuk mempercepat proses pengambilan zat aktif dari simplisia karena gelombang mikro dapat masuk ke dalam dinding sel dan membuat molekul air dan lemak dalam sel bergetar dan panas dengan cepat, sehingga lama waktu proses ekstraksi tidak memakan waktu yang lama (Putri dkk., 2021).

Tabel 3. Hasil Review Metode MAE (*Microwave Assisted Extraction*)

Metode	Preparasi	Instrumen	Hasil	Pustaka
Microwave Assisted Extraction (MAE)	100 g Jeruk lemon dengan air Suhu 45°C selama 2 jam dengan daya 399 W	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 34,512%.	Cindiya dkk., 2023.
Microwave Assisted Extraction (MAE)	300 g Jeruk lemon dengan air selama 2 menit waktu pretreatment dengan daya 300 W	GC-MS Agilent 6890 N	Jumlah limonen yang terkandung 27,501%.	Daryono dkk., 2023.

Berdasarkan tabel 3 hasil ekstraksi dipengaruhi oleh daya microwave, jumlah sampel dan juga lama proses ekstraksi. Pada penelitian yang dilakukan oleh Megawati dan Murniyawati (2015) menggunakan daya gelombang mikro sebesar 399 W dengan jumlah sampel sebanyak 100 g selama 2 jam efektif menghasilkan limonen yaitu sebesar 34,512%, dibandingkan penelitian oleh Daryono dkk (2023) yang menggunakan daya 300 W dengan jumlah sampel sebanyak 300 g dan juga waktu *pretreatment* selama 2 menit yang hanya menghasilkan limonen sebesar 27,501%. Daya yang digunakan pada metode MAE berfungsi

untuk menggetarkan molekul air di dalam sampel sehingga menghasilkan panas yang membuat air menguap dan limonen dapat keluar dengan mudah. Jumlah sampel juga berpengaruh terhadap kadar limonen yang dihasilkan. Jika jumlah sampel yang digunakan terlalu sedikit dan menggunakan daya yang cukup besar, sampel akan *overheating*, sehingga senyawa aktif dapat rusak atau terdegradasi karena pemanasan berlebih. Sebaliknya jika jumlah sampel yang digunakan besar dan penggunaan daya yang terlalu kecil akan menyebabkan senyawa aktif tidak terkstraksi dengan sempurna karena penyebaran panas yang tidak merata (Attard *et al.*, 2014).

Destilasi Uap

Metode destilasi uap merupakan metode ekstraksi konvensional yang memanfaatkan uap air. Uap air akan masuk kedalam sel-sel dari simplisia dan membuat sel-sel tersebut pecah, sehingga senyawa aktif dari simplisia dapat keluar. Setelah senyawa aktif dari simplisia keluar, senyawa akan ikut naik bersama uap air dan dapat terkumpul (Suardhika dkk., 2018).

Tabel 4. Hasil Review Metode Destilasi Uap

Metode	Preparasi	Instrumen	Hasil	Pustaka
Distilasi Uap	7,45 kg kulit jeruk bali dengan suhu 98°C selama 4 jam	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 41,98%.	Sari dkk., 2016.
Distilasi Uap	5 kg kulit jeruk siam dengan suhu 100°C selama 5 jam	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 95,48%.	Pradita dan Wahyuni, 2023.
Distilasi Uap	2,7 kg kulit jeruk purut dengan suhu 100°C selama 4 jam	GC-MS (Shimadzu (QP 2010S)), kolom kapiler DB-1, gas pembawa Helium dengan laju alir 3 mL/menit. Suhu injektor 300°C suhu detector 320°C, Suhu oven 50°C-260°C dengan laju kenaikan 5°C/menit.	Jumlah limonen yang terkandung 12,59%.	Warsito dkk., 2017.

Distilasi Uap	2,66 kg kulit jeruk nipis dengan suhu 98°C selama 4 jam	GC-MS	Jumlah limonen yang terkandung 26,04%.	Wilbaldus dkk., 2016
---------------	---	-------	--	----------------------

Berdasarkan hasil pada tabel 4, hasil ekstraksi limonen sangat dipengaruhi oleh jenis jeruk yang dipakai. Pada penelitian oleh Pradita dan Wahyuni (2023) menggunakan jeruk siam mendapatkan hasil tertinggi yaitu sebesar 95,48%. Sampel jeruk purut yang digunakan oleh penelitian Warsito dkk, (2017) menghasilkan limonen sebesar 12,59%. Perbedaan hasil limonen dari sampel yang digunakan disebabkan oleh variasi alami kandungan minyak atsiri yang ada pada tiap jeruk serta perbedaan struktur dinding sel dari masing-masing sampel. Suhu dan juga lama waktu ekstraksi juga mempengaruhi kadar limonen yang didapat. Penelitian yang dilakukan oleh Pradita dan Wahyuni (2023) menggunakan suhu 100°C dan lama waktu 5 jam menghasilkan persentase limonen lebih banyak yaitu 95,48% dibandingkan penelitian oleh Wilbaldus dkk (2016) yang menggunakan suhu 98°C dengan lama waktu ekstraksi selama 4 jam sebesar 26,04%.

Hydrodistilasi

Metode hidrodistilasi merupakan metode ekstraksi konvensional yang memanfaatkan tekanan uap dari air sebagai media penghantar panas untuk mengeluarkan dan menguapkan minyak dari simplisia yang diekstraksi. Metode ini dapat membuat minyak atsiri yang titik didihnya diatas 100°C dapat menguap lebih cepat dari titik didih aslinya karena adanya tekanan uap yang membantu proses penguapan (Fakhira dkk., 2023).

Tabel 5. Hasil Review Metode Hidrodistilasi

Metode	Preparasi	Instrumen	Hasil	Pustaka
Hydrodistilasi	100 g kulit jeruk nipis dengan 2 L air.	GC-MS, kolom HP5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) dan CarbowaxePEG (60 m × 0.2 mm × 0.25 µm), gas pembawa Hidrogen dengan laju alir 1 mL/menit. Suhu injektor 250°C detektor 250°C. Suhu oven 80°C-250°C dengan laju kenaikan 2°C/menit.	Jumlah limonen yang terkandung 77,39%.	Galmohammadi <i>et al.</i> , 2018
Hydrodistilasi	Kulit jeruk nipis selama 8 jam	GC-MS, kolom DB 35MS (35 m × 0.25 mm × 0.25 µm). Suhu injektor 250°C	Jumlah limonen yang	Aripin <i>et al.</i> , 2015.

detektor 250°C. Suhu oven	terkandung
50°C-250°C dengan laju	38,94%.
kenaikan 3,5°C/menit.	

Berdasarkan tabel 5 hasil ekstraksi limonen dengan metode hidrodistilasi dipengaruhi oleh jumlah sampel dan lama proses ekstraksi. Penelitian yang dilakukan oleh Galmohammadi *et al* (2018), menggunakan 100 g kulit jeruk dengan 2 liter air yang tidak dijelaskan lama waktu ekstraksi, menghasilkan limonen sebesar 77,39%. Penelitian oleh Aripin dkk (2015) yang menggunakan kulit jeruk nipis sebagai sampel dengan lama waktu ekstraksi selama 8 jam hanya menghasilkan limonen sebesar 38,94%. Penggunaan waktu ekstraksi lama tidak selalu menghasilkan kadar limonen yang lebih tinggi karena dipengaruhi oleh paparan panas yang terlalu lama sehingga adanya kemungkinan degradasi senyawa aktif. Jumlah sampel juga berpengaruh karena penggunaan sampel yang terlalu banyak tanpa perbandingan yang tepat dengan volume air yang cukup, akan menyebabkan pemanasan yang tidak merata sehingga proses ekstraksi tidak sempurna (Daryono dkk., 2023).

Berdasarkan metode-metode yang sudah dijelaskan, metode yang paling efektif dalam mengekstraksi limonen adalah MAHD (*Microwave Assisted Hydro Distillation*). Hal yang menyebabkan metode ini paling efektif adalah persentase limonen tertinggi dari metode-metode lainnya yaitu 93,99%-98,416%. Metode MAHD yang paling optimal adalah dengan kondisi perbandingan sampel dan pelarut 1:3 yang menggunakan daya 300 W serta waktu ekstraksi yang relatif singkat yaitu 45 menit. Penggunaan daya yang tidak terlalu tinggi dan juga waktu yang tidak terlalu lama ini membuat proses ekstraksi berjalan dengan baik karena tidak adanya paparan panas yang lama sehingga senyawa limonen tidak rusak karena paparan tersebut. Penggunaan rasio sampel dan pelarut 1:3 digunakan karena air dapat merata ke seluruh bagian sampel sehingga seluruh bagian jeruk dapat merasakan panas yang sama. Metode MAHD juga metode yang ramah lingkungan karena tidak menggunakan pelarut kimia berbahaya karena hanya menggunakan air.

SIMPULAN

Limonen berpotensi sebagai pelarut alami yang ramah lingkungan, karena sifat hidrofobik atau nonpolar dari limonen. Limonen juga stabil pada suhu ekstrem karena memiliki titik didih antara 175°C-177°C serta berasal dari bahan alami kulit jeruk yang ketersediaannya yang melimpah. Metode ekstraksi yang paling optimal adalah MAHD (*Microwave-Assisted Hydro Distillation*) karena dapat menghasilkan kadar limonen tertinggi dibandingkan metode lainnya hingga 98%. Kondisi MAHD yang dibutuhkan untuk

mencapai konsentrasi limonen yang tinggi adalah rasio sampel dan pelarut 1:3 dengan daya microwave 300 W selama 45 menit, yang menjadikan metode ini paling optimal untuk metode ekstraksi limonen sebagai pelarut hijau yang terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. (2014). *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik* (Edisi Revisi). Jakarta: Rineka Cipta.
- Aripin, D., Julaeha, E., Dardjan, M., & Cahyanto, A. (2015). Chemical composition of Citrus spp. and oral antimicrobial effect of Citrus spp. peels essential oils against *Streptococcus mutans*. *Padjadjaran Journal of Dentistry*, 27(1), 1–11.
- Attard, T. M., Watterson, B., Budarin, V. L., Clark, J. H., & Hunt, A. J. (2014). Microwave assisted extraction as an important technology for valorising orange waste. *New Journal of Chemistry*, 38(6), 2278–2283.
- Cahyati, S., Kurniasih, Y., & Khery, Y. (2016). Efisiensi isolasi minyak atsiri dari kulit jeruk dengan metode destilasi air-uap ditinjau dari perbandingan bahan baku dan pelarut yang digunakan. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 4(2), 103–110.
- Cindiya, A. N. O., Islami, N., & Muyassaroh. (2023). Ekstraksi kulit jeruk lemon (*Citrus limon*) dengan variasi perlakuan bahan dan daya menggunakan metode microwave assisted extraction (MAE). *ATMOSPHERE*, 4(2), 21–26.
- Daryono, E. D., Anggorowati, D. A., Verdina, F. P., & Laily, V. N. (2023). Ekstraksi minyak atsiri kulit jeruk lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. f.) dengan pretreatment microwave dan distilasi air-uap. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 12(2), 116–123.
- El-Deen, A. K., & Shimizu, K. (2019). Application of d-limonene as a bio-based solvent in low density-dispersive liquid-liquid microextraction of acidic drugs from aqueous samples. *Analytical Sciences*, 35(12), 1385–1391.
- Fakhira, Q. R., Nurjanah, S., & Rosalinda, S. (2023). Karakteristik dan komposisi minyak atsiri kulit jeruk nipis pada berbagai lama waktu penyulingan menggunakan metode hidrodistilasi. *Teknotan J. Ind. Teknol. Pertan*, 17(3), 217–226.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2013). *Basic Econometrics* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Golmohammadi, M., Borghei, A., Zenouzi, A., Ashrafi, N., & Taherzadeh, M. J. (2018). Optimization of essential oil extraction from orange peels using steam explosion. *Helijon*, 4(11), 1–18.
- Megawati, & Murniyawati, F. (2015). Microwave assisted hydrodistillation untuk ekstraksi minyak atsiri dari kulit jeruk Bali sebagai lilin aromaterapi. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(1), 14–20.

- Nazir, M. (2014). *Metode Penelitian* (Edisi Revisi). Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Nirwana, W. O. C., Dewi, L. K., Larasati, C., Anggraini, O., & Hapsari, S. (2025). Optimization of d-limonene and phenolic compounds extraction from local Indonesian orange peel using ultrasound-assisted extraction. *Jurnal Rekayasa Proses*, 18(3), 220–227.
- Pagliari, M., Fabiano-Tixier, A. S., & Ciriminna, R. (2023). Limonene as a natural product extraction solvent. *Green Chemistry*, 25(16), 6108–6119.
- Putri, N. M., Wiraningtyas, A., & Mutmainah, P. A. (2021). Perbandingan metode ekstraksi senyawa aktif daun kelor (*Moringa oleifera*): metode maserasi dan microwave-assisted extraction (MAE). *Dalton: Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*, 4(2), 25–33.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research Methods for Business: A Skill-Building Approach* (7th ed.). United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Sari, A. J., Jayuska, A., & Harlia. (2016). Aktivitas antirayap minyak atsiri kulit buah jeruk Bali (*Citrus maxima* (Burm.) Merr.) terhadap rayap *Coptotermes* sp. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(1), 8–16.
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2019). *Statistik untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Suardhika, I. M., Pratama, I. P. A. A., Budiarta, P. B. P. P., Partayanti, L. P. I., & Paramita, N. L. P. V. (2018). Perbandingan pengaruh lama pengeringan terhadap rendemen minyak atsiri kulit jeruk manis (*Citrus sinensis*) dengan destilasi uap dan identifikasi linalool dengan KLT-spektrofotodensitometri. *Jurnal Farmasi Udayana*, 7(2), 77–83.
- Sutrisno Hadi. (2010). *Metodologi Research*. Yogyakarta: Andi.
- Susanti, F. N. N., & Rizkuloh, L. R. (2021). Pengaruh variasi waktu sonikasi terhadap kadar flavonoid total ekstrak metanol umbi gadung (*Dioscorea hispida* Dennst.). *Prosiding Seminar Nasional Farmasi UAD 2021*, 1–10.
- Susilo, B., Sumarlan, S. H., Wibisono, Y., & Pusputasari, N. (2016). Pengaruh pretreatment dan lama waktu ekstraksi terhadap karakteristik ekstrak kulit jeruk purut (*Citrus hystrix* DC) menggunakan ultrasonic assisted extraction (UAE). *Journal of Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 4(3), 230–241.
- Susiloningrum, D., & Sari, D. E. M. (2023). Optimasi suhu UAE (Ultrasonik Assisted Extraction) terhadap nilai sun protection factor (SPF) ekstrak rimpang bangle (*Zingiber purpureum* Roxb) sebagai kandidat bahan aktif tabir surya. *Cendekia Journal of Pharmacy*, 7(1), 58–66.
- Tanrisannah, T., Febryanti, A., & Chadijah, S. (2023). Ekstraksi minyak daun kemangi (*Ocimum basilicum* L.) menggunakan metode microwave assisted hydrodistillation. *Journal of*

Tropical Agricultural Engineering and Biosystems-Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem, 11(3), 296–304.

Wardhani, D. K., & Payamta. (2020). Kemandirian daerah dan efisiensi fiskal. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 20(2), 93–104.

Wibaldus, A. J., & Ardiningsih, P. (2016). Bioaktivitas minyak atsiri kulit buah jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) terhadap rayap tanah (*Coptotermes* sp.). *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 5(1), 44–51.

Warsito, W., Noorhamdani, N., Sukardi, S., & Suratmo, S. (2017). Aktivitas antioksidan dan antimikroba minyak jeruk purut (*Citrus hystrix* Dc.) dan komponen utamanya. *Journal of Environmental Engineering and Sustainable Technology*, 4(1), 13–18.

Yara, K. N. A., & Arianti, V. (2023). Analisis kadar limonen pada ekstrak etanol jeruk kingkit (*Triphasia trifolia* Dc) dengan spektrofotometri UV-VIS. *Jurnal Mahasiswa Ilmu Kesehatan*, 1(3), 151–162.