

METODE EKSTRAKSI TERBAIK UNTUK MEMPEROLEH HASIL KUALITAS OIL BODIES TERTINGGI DARI BIJI DAN BUAH: TINJAUAN TEMATIK

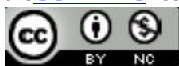
Jane Elnovreny¹, Hartika Samgryce Siagian², Labuan Nababan³, Lamtiur Sinambela⁴

¹Department of Industrial Engineering, Universitas Potensi Utama, Indonesia

²Department of Farmasi, Universitas Imelda, Indonesia

³Department of Informatic, Universitas Satya Terra Bhinneka, Indonesia

⁴Department of Software Engineering Technology, Politeknik Negeri Medan, Indonesia

Article Info	ABSTRACT
Keywords: Oil Bodies, Oleosome, Extraction, Seeds And Fruits, Yields	This review synthesizes research on extraction methods and maximum extraction yield and oil bodies from seeds and fruits from mechanical pressing or solvent extraction or enzymatic extraction to address variability in oil recovery efficiency and quality across plant matrices. The review aimed to evaluate mechanical, solvent, and enzymatic extraction methods; benchmark yield and quality; elucidate oil body roles; compare environmental impacts; and assess pretreatment effects. A systematic analysis of peer-reviewed studies employing conventional and emerging techniques, including ultrasound, microwave, and supercritical fluid extraction, was conducted. Enzymatic and ultrasound-assisted methods consistently achieved higher yields, often exceeding 60%, while preserving oil quality by maintaining low peroxide and acid values and enhancing bioactive compounds. Pretreatments disrupting seed microstructure and oil bodies synergistically improved extraction efficiency and oil stability. Green technologies demonstrated reduced solvent use and energy consumption, aligning with sustainability goals, though industrial scalability and economic feasibility require further validation. Integration of optimized pretreatment and extraction parameters enhanced process reproducibility and oil characteristics. Collectively, these findings underscore the potential of combined enzymatic and assisted extraction methods to maximize yield and quality while minimizing environmental impact. This synthesis informs future research and industrial application toward sustainable, efficient oil recovery from diverse seeds and fruits.
This is an open access article under the CC BY-NC license 	Corresponding Author: Jane Elnovreny Universitas Potensi Utama JL. KL. Yos Sudarso Km. 6,5 No. 3-A, Tanjung Mulia, Indonesia elnovreny311jane@gmail.com

INTRODUCTION

Penelitian mengenai metode ekstraksi dan hasil ekstraksi maksimum dari oil bodies pada biji dan buah telah menjadi bidang kajian yang penting karena implikasinya dalam industri makanan, farmasi, biofuel, dan kosmetik (Ayu, Aliwarga and Adisasmito, 2024) (Khalaf et al., 2023). Selama satu dekade terakhir, bidang ini telah berkembang dari teknik konvensional seperti pengepresan mekanik dan ekstraksi pelarut menuju teknologi hijau yang lebih canggih seperti ekstraksi enzimatis dalam air (Aqueous Enzymatic Extraction/AEE), ekstraksi berbantuan ultrasound, ekstraksi berbantuan microwave, dan ekstraksi fluida super kritis (Midhun et al., 2023) (Gaber et al., 2018). Perkembangan ini menjawab masalah lingkungan dan bertujuan untuk meningkatkan hasil dan kualitas minyak sambil mengurangi penggunaan pelarut dan konsumsi energi (Midhun et al., 2023) (Ameer et al., 2024) (Mushtaq et al., 2020). Misalnya, hasil dari pengepresan mekanik sangat bervariasi tergantung pada kadar air dan suhu biji, sementara ekstraksi pelarut sering menghasilkan hasil lebih tinggi namun menimbulkan masalah keamanan dan lingkungan (Khalaf et al., 2023). Meningkatnya

permintaan terhadap metode ekstraksi yang berkelanjutan dan efisien menekankan pentingnya optimalisasi proses ini dalam praktik (Ishak et al., n.d.) (Kaseke et al., 2021).

Meskipun penelitian telah dilakukan secara luas, tantangan masih tetap ada dalam memaksimalkan hasil ekstraksi minyak sekaligus menjaga kualitas dan kandungan senyawa bioaktif (Ofori et al., 2023) (Zhang et al., 2022). Kesenjangan pengetahuan terletak pada efisiensi komparatif dan penerapan pengepresan mekanik, ekstraksi pelarut, dan metode enzimatik pada berbagai jenis biji berminyak, termasuk biji-bijian dan buah-buahan dengan struktur oil bodies yang berbeda-beda (Lolli et al., 2023) (Bargale et al., 2000) (Ziming et al., 2024). Perdebatan masih berlangsung mengenai kompromi antara hasil ekstraksi, dampak lingkungan, dan kualitas minyak; sebagai contoh, ekstraksi pelarut menawarkan hasil tinggi tetapi dapat merusak senyawa yang sensitif, sedangkan metode enzimatik dan mekanik lebih ramah lingkungan namun kadang kurang efisien (Dimić et al., 2022) (Ofori et al., 2023). Selain itu, integrasi teknik praperlakuan seperti ultrasound atau microwave dengan ekstraksi enzimatik menunjukkan prospek yang menjanjikan, namun masih memerlukan optimalisasi lebih lanjut dan validasi pada skala industri (Amigh & Dinani, 2020) (Ahmad et al., 2024). Kegagalan untuk mengatasi kesenjangan ini akan membatasi skalabilitas dan keberlanjutan proses ekstraksi minyak (Ameer et al., 2024).

Kerangka konseptual dari tinjauan ini mendefinisikan konsep kunci mencakup oil bodies sebagai organel intraseluler yang menyimpan lipid di dalam biji-bijian dan buah-buahan; metode ekstraksi mencakup pengepresan mekanik, ekstraksi pelarut, dan teknik berbantuan enzim; serta hasil ekstraksi maksimum sebagai ukuran kuantitatif dari minyak yang diperoleh dalam kondisi yang telah dioptimalkan (Ziming et al., 2024). (Ayu, Aliwarga and Adisasmito, 2024) (Bargale et al., 2000). Hubungan antara konsep-konsep ini melibatkan bagaimana metode ekstraksi mengganggu struktur biji dan oil bodies untuk melepaskan minyak, yang dipengaruhi oleh praperlakuan dan parameter proses. Kerangka ini membimbing evaluasi sistematis terhadap efisiensi ekstraksi dan hasil kualitas minyak, sejalan dengan tujuan penelitian (Midhun et al., 2023).

Tujuan dari tinjauan tematik ini adalah untuk menganalisis secara kritis dan membandingkan metode ekstraksi—pengepresan mekanik, ekstraksi pelarut, dan ekstraksi enzimatik—dalam hal hasil minyak maksimum dan dampaknya terhadap integritas oil bodies dari biji-bijian dan buah-buahan. Tinjauan ini bertujuan untuk mensintesis kemajuan terbaru, mengidentifikasi kondisi optimal, dan menyoroti pendekatan yang berkelanjutan, sehingga mengisi kesenjangan pengetahuan yang ada dan memberikan informasi bagi penerapan industri di masa depan (Ayu, Aliwarga and Adisasmito, 2024) (Ameer et al., 2024). Nilai tambah dari studi ini terletak pada integrasi berbagai teknologi ekstraksi dan dampaknya terhadap hasil dan kualitas minyak, yang menyediakan sumber informasi komprehensif bagi para peneliti dan praktisi (Gaber et al., 2018) (Kaseke et al., 2021).

Tinjauan ini menggunakan survei literatur yang komprehensif terhadap studi-studi yang telah ditinjau sejawat yang berfokus pada ekstraksi minyak dari berbagai biji dan buah-buahan, dengan penekanan pada metode mekanis, pelarut, dan enzimatik. Kriteria inklusi memprioritaskan studi yang melaporkan hasil ekstraksi, kualitas minyak, dan optimasi proses. Kerangka analisis mencakup penilaian komparatif terhadap efisiensi ekstraksi, sifat fisikokimia, dan dampak lingkungan. Temuan disusun secara tematik untuk menjelaskan keunggulan, keterbatasan, dan tren terkini dari masing-masing metode (Ayu, Aliwarga and Adisasmito, 2024) (Ameer et al., 2024).

Tujuan dari laporan ini adalah untuk meninjau penelitian-penelitian yang ada mengenai “metode ekstraksi dan hasil ekstraksi maksimum serta badan minyak pada biji dan buah, serta ekstraksi secara mekanis, dengan pelarut, atau secara enzimatik” guna memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai berbagai teknik yang digunakan dalam pemulihan minyak dari sumber nabati. Tinjauan ini penting karena optimalisasi metode ekstraksi secara langsung memengaruhi hasil minyak, kualitas, dan keberlanjutan, yang merupakan faktor penting bagi industri pangan, farmasi, kosmetik, dan biofuel. Dengan mensintesis pengetahuan terkini mengenai pendekatan ekstraksi mekanis, pelarut, dan enzimatik, laporan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekuatan dan

keterbatasan masing-masing metode, mengeksplorasi inovasi yang meningkatkan efisiensi ekstraksi, dan menyoroti peran badan minyak dalam biji dan buah. Tinjauan ini bertujuan untuk mengevaluasi metode ekstraksi mekanis, pelarut, dan enzimatik; tolok ukur hasil dan kualitas; menjelaskan peran badan minyak; membandingkan dampak lingkungan; dan menilai efek pra-perlakuan.

METHODS

Review jurnal ini dilakukan dengan mencari literatur berdasarkan pertanyaan penelitian tentang bagaimana metode ekstraksi mempengaruhi hasil reaksi maksimum oil bodies dari biji dan buah-buahan. Pencarian makalah kemudian dilakukan berdasarkan pertanyaan yang cocok, mengambil serangkaian makalah kandidat yang terfokus, menghasilkan penemuan 189 tulisan. Kemudian, pencarian lebih lanjut dilakukan berdasarkan rantai kutipan dengan memeriksa daftar referensi untuk menemukan penelitian sebelumnya, serta mengidentifikasi makalah baru yang mengutip setiap makalah inti, untuk mengungkap perdebatan yang muncul dan studi replikasi metodologis terbaru dan kemajuan. Dari proses ini, ditemukan 98 tulisan. Langkah terakhir adalah menilai dan menyaring 287 tulisan yang terkumpul, menilai peringkat relevansi, dan menemukan 61 tulisan yang sangat relevan. Pencarian bibliografi dilakukan secara menyeluruh dan sistematis, tanpa batasan waktu, melalui database ilmiah seperti PubMed, Google Scholar. Kami bekerja sama dengan pustakawan akademik, kombinasi istilah thesaurus dan kata kunci: "oil bodies," "extraction" "seed and fruits" dan variasi lainnya. Istilah-istilah ini digabungkan secara strategis menggunakan operator Boolean. Proses ini juga didukung oleh bantuan dari ChatGPT dan Answerthis.

RESULTS AND DISCUSSION

Bagian ini memetakan lanskap penelitian dari literatur yang membahas metode ekstraksi, hasil ekstraksi maksimum oil bodies, biji-bijian dan buah-buahan, serta teknik ekstraksi seperti pengepresan mekanis, ekstraksi pelarut, atau ekstraksi enzimatik. Kajian ini mencakup spektrum luas studi yang berfokus pada pemulihan minyak dari berbagai matriks nabati. Karya-karya yang ditinjau meliputi metode konvensional seperti pengepresan mekanis, ekstraksi dengan pelarut, dan ekstraksi enzimatik, serta teknologi ramah lingkungan yang sedang berkembang seperti ultrasonik, gelombang mikro (microwave), fluida super kritis, dan metode enzimatik berbasis air (aqueous enzymatic). Analisis komparatif dalam kajian ini menyoroti inovasi metodologis, optimasi parameter ekstraksi, serta peran perlakuan awal (pretreatment) dalam meningkatkan hasil dan kualitas minyak. Sintesis ini sangat penting untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian yang berkaitan dengan efisiensi ekstraksi, pengaruh oil bodies, integrasi pretreatment, pelestarian kualitas minyak, dan pertimbangan keberlanjutan dalam proses ekstraksi minyak.

Table 1. Karakteristik dari Penelitian Mencakup:

Study	Oil Extraction Yield	Oil Quality Parameters	Extraction Efficiency	Impact of Pretreatment	Environmental Sustainability
(Ayu, Aliwarga and Adisasmito, 2024)	20-31% mekanis, 8.44-22.82% pelarut	Nilai asam, peroksida, saponifikasi yang baik.	Pengepresan mekanis diikuti dengan ekstraksi pelarut	Kadar air dan suhu mempengaruhi hasil	Metode konvensional dengan penggunaan pelarut
(Gao et al., 2024)	Melalui ekstraksi enzimatik berair diperoleh hasil yang tinggi	Peningkatan mikronutrien dan stabilitas oksidatif	Kondisi ringan, tidak ada residu pelarut	Pemilihan enzim penting, dikombinasikan dengan ultrasound, microwave	Hijau, proses ramah lingkungan

(Sanket al., 2024)	et	56.54— enzimatik, 85.71% pemanasan	64.18% hingga dengan ohmik	Mempertahankan sifat fisika-kimia	Pemanasan ohmik meningkatkan efisiensi ekstraksi enzimatis	Medan listrik, suhu, pH yang dioptimalkan	Proses enzimatis hemat energi
(Midhun al., 2023)	et	Meningkatkan dengan perawatan baru	hasil pra-perawatan yang ditingkatkan	Senyawa bioaktif dan kualitas minyak yang ditingkatkan	Perlakuan awal mengurangi waktu ekstraksi	Perlakuan awal gabungan lebih efektif	Mengurangi penggunaan pelarut dan energi
(Lorenzo, 2023)		Hasil dengan ultrasonografi/gelombang mikro	variabel bantuan dan indeks oksidasi	Peningkatan sifat antioksidan dan indeks oksidasi	Ekstraksi lebih cepat, tergantung parameter	Ultrasonografi dan microwave meningkatkan hasil dan kualitas	Alternatif ramah lingkungan
(Braga et al., 2024)		Hasil tertinggi dengan press + Soxhlet	24,22%	Aktivitas antioksidan ditingkatkan dengan ultrasound	Pengepresan dibantu dengan ultrasound meningkatkan ekstraksi	Metode non-pemanasan mempertahankan asam tak jenuh	Ultrasonografi mengurangi peroksida dan keasaman
(Gök et al., 2024)		Ultrasonografi maks 26,31%, microwave 22,01%		Sebanding dengan ekstraksi pelarut heksana	Ultrasonografi lebih unggul daripada microwave dalam efisiensi	Rasio dan suhu cair/padat yang dioptimalkan	Fokus kimia hijau
(Qin et al., 2024)		Gabungan ekstraksi enzimatis superkritis berair	CO ₂ dan	Indeks fisikokimia yang sebanding dengan minyak komersial	Proses dua langkah memaksimalkan hasil	Optimalisasi rasio enzim penting	Ekstraksi hijau dengan CO ₂ superkritis
(Lolli et al., 2023)		10-33% dari ekstraksi pelarut enzimatis	minyak ekstraksi enzimatis	Asam lemak tak jenuh tinggi, nilai gizi yang baik	Ekstraksi enzimatis satu pot efisien	Proteolisis meningkatkan ekstraksi pelarut	Ekstraksi berkelanjutan dari produk sampingan buah
(Khalaf al., 2023)	et	Hasil tertinggi dengan screw press pada 150-250° C	biooil dengan	Sifat fisik dan kimia yang cocok untuk biofuel	Kecepatan dan suhu motor dioptimalkan	Pengepresan mekanis ditingkatkan dengan pemanasan awal	Produksi biofuel dengan pengepresan mekanis
(Dimić et al., 2022)		Hasil tertinggi ekstraksi super kritis	2,5-13%, dengan cairan	Kaya akan asam lemak tak jenuh ganda dan tocopherols	Parameter SFE dioptimalkan untuk hasil	Ukuran partikel dan tekanan mempengaruhi ekstraksi	SFE menawarkan potensi antioksidan yang lebih baik
(Amiti et al., 2024)		Ulasan: variabel dari biji	hasil dari biji	Fokus asam lemak pada	Perbandingan metode	Penekanan pada komposisi dan	Keberlanjutan melalui

	buah	tocopherol, aktivitas antioksidan	konvensional dan inovatif	ekstraksi kernel	valorisasi limbah
(Amigh & Dinani, 2020)	Peningkatan hasil dengan ekstraksi enzimatis berbantuan ultrasound	Peningkatan kandungan fenolik dan kualitas minyak	Perlakuan awal memasak meningkatkan efisiensi ekstraksi	Waktu memasak dan rasio pelarut dioptimalkan	Metode perlakuan awal dan ekstraksi gabungan
(Gasparini et al., 2023)	Hasil 17-19%, ultrasound sebanding dengan cairan superkritik	Kaya antioksidan, fenolik, dan amygdalin rendah	Ultrasound lebih cepat dan efisien	Ekstraksi dengan bantuan ultrasound dioptimalkan	Ultrasound sebagai alternatif hijau
(Massa et al., 2021)	12,32-21,76% ekstraksi etanol berbantuan ultrasound	Tocopherols and asam lemak tak jenuh ganda tinggi	Ultrasonografi meningkatkan hasil ekstraksi	Ultrasonografi dan transesterifikasi enzimatis	Peningkatan kualitas minyak dan kandungan bioaktif
(Li & Cai, 2021)	Hasil 16,48% dengan ekstraksi enzimatis berbantuan ultrasound	Kaya akan bahan aktif, kualitas lebih baik	Optimalisasi ortogonal parameter enzimatis	Waktu hidrolisis enzimatis dan suhu kritis	Metode enzimatis ramah lingkungan
(Ahmad et al., 2024)	Peningkatan hasil dengan ekstraksi enzimatis berbantuan ultrasound	Manfaat nutrisi dipertahankan	Efek sinergis ultrasound dan enzim	Ultrasound meningkatkan aktivitas enzim	Teknik ekstraksi hijau yang muncul
(Goula et al., 2018)	15,33 g/100g biji kering, 81% pemulihan minyak	Peningkatan aktivitas antioksidan dan kualitas minyak	Ultrasound mengurangi waktu ekstraksi secara signifikan	Perawatan enzimatis dengan selulase dan Peclyve V	Metode enzimatis berbantuan ramah lingkungan
(Han et al., 2018)	Ekstraksi enzimatis berbantuan ultrasound yang efisien	Kualitas dan aktivitas antioksidan yang lebih baik daripada pelarut	Waktu dan suhu ultrasound yang dioptimalkan	Ultrasound meningkatkan sifat antioksidan	Minyak fungsional dengan manfaat antioksidan
(Li et al., 2014)	Hasil 81,74% dengan selulase dan perlakuan awal ultrasound	Sifat fisikakimia yang sebanding	Perlakuan awal Ultrasonic meningkatkan ekstraksi enzimatis	Jenis enzim dan parameter ultrasound dioptimalkan	Proses ekstraksi ringan dan efisien
(Haibo, 2009)	73,56% enzimatis, 86,13% dengan ultrasound	Peningkatan efisiensi ekstraksi dengan ultrasound	Kondisi hidrolisis dan ultrasound yang dioptimalkan	Iradiasi ultrasound meningkatkan hasil	Metode ekstraksi hijau dan efisien

(Li et al., 2013)	Hasil 62,13% dari biji campuran ekstraksi enzimatis berair	Profil asam lemak seimbang tercapai	Desain campuran mengoptimalkan hasil dan komposisi	Proporsi biji penting untuk keseimbangan asam lemak	Ekstraksi biji campuran berkelanjutan
(Zadeh et al., 2022)	SFE dioptimalkan untuk kandungan bioaktif yang lebih tinggi daripada pelarut	Aktivitas antioksidan dan fenolik yang lebih tinggi	Metodologi permukaan respons untuk parameter SFE	SFE mempertahankan senyawa bioaktif lebih baik	Ekstraksi superkritis yang hijau dan efisien
(Lu et al., 2022)	Asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi dengan ekstraksi enzimatis pelarut ultrasound	Senyawa bioaktif dan aktivitas antioksidan yang unggul	Ekstraksi enzimatis berbantuan Ultrasound merusak dinding sel	Peningkatan stabilitas termal dan kualitas minyak	Metode ekstraksi hijau yang menjanjikan
(Gaber et al., 2018)	Metode konvensional dan canggih meningkatkan hasil minyak canola	Metode baru meningkatkan hasil dan kualitas	Ultrasound dan microwave sebagai intervensi pemrosesan	Kesiapan industri dibahas	Alternatif yang lebih aman dan ramah lingkungan
(Ofori et al., 2023)	Ekstraksi Soxhlet menghasilkan 27,75%, mekanis 5,42%	Perbedaan signifikan dalam nilai peroksida dan yodium	Soxhlet unggul dalam pemulihan minyak	Metode ekstraksi berdampak pada sifat minyak	Pertimbangan untuk penggunaan makanan dan kosmetik
(Ishak al., n.d.)	Hasil 33,9% hingga dengan SFE, dengan pelarut ultrasound	PUFA tinggi dan kandungan antioksidan	Metode alternatif meningkatkan hasil dan kualitas nutrisi	SFE dengan aseton meningkatkan polifenol	Mengatasi kerentanan oksidasi
(Wilfred al., 2010)	48,6% expeller manual, 67,59% ekstraksi pelarut	Minyak yang ditekan lebih stabil selama penyimpanan	Kadar air dan suhu mengoptimalkan hasil	Pengepresan mekanis ditingkatkan oleh kadar air biji	Potensi komersial di sektor makanan dan non-makanan
(Piasecka et al., 2024)	Ekstraksi dengan bantuan ultrasound-menghasilkan minyak dengan stabilitas oksidatif tinggi	Sifat termal dan profil asam lemak dipertahankan	Ultrasound dan medan listrik berdenyut meningkatkan stabilitas	Metode ekstraksi mempengaruhi ketahanan oksidasi	Ramah lingkungan dan efisien
(Zhang et al., 2022)	Hasil dengan Soxhlet tertinggi	Perbedaan signifikan dalam senyawa volatil	Soxhlet menghasilkan aktivitas antioksidan tertinggi	Metode ekstraksi mempengaruhi profil rasa	Soxhlet menguntungkan untuk minyak muskmelon

(Samaram et al., 2013)	Hasil dengan ekstraksi ultrasound dan pelarut	76,1-79,1% ekstraksi dan	Profil asam lemak konsisten lintas metode	Ultrasound mempengaruhi profil triasilgliserol	Ekstraksi dengan bantuanUltrasoundefisien	Kualitas sebanding dengan metode konvensional
(Martinez et al.,2018)	Maks kenari, minyak dengan press	84,5% 71,9% hasil almond screw-	Parameter kualitas memenuhi standar Codex	Kadar air dan ukuran cetakan mengoptimalkan hasil	Pengepresan mekanis skala industri	Minyak murni berkualitas tinggi diproduksi
(Li et al., 2017)	Hasil dengan enzimatis berbantuan ultrasound	31,34% ekstraksi berair	Asam linolenat fenolik yang lebih tinggi	Ultrasound dan ekstraksi enzimatis dioptimalkan	Stabilitas oksidatif lebih baik daripada pelarut atau cold press	Peningkatan aktivitas antioksidan
(Zhao et al.,2014)	Hasil dengan cold press untuk camelina dan canola	84,1-88,2% cold press	Pengaruh kecil frekuensi dan suhu terhadap kualitas	Frekuensi rotasi sekrup mempengaruhi pemulihan	Cold press efisien untuk bahan baku bahan bakar bio-jet	Ekstraksi bahan baku biofuel berkelanjutan
(Min, 2014)	Hasil dengan ekstraksi enzimatis berbantuan ultrasound	88,3% ekstraksi berair	Kandungan oryzanol ditingkatkan	Dosis enzim dan daya ultrasound yang dioptimalkan	Enzim majemuk dan ultrasound meningkatkan hasil	Ekstraksi minyak dedak padi ramah lingkungan
(Abdullah &Koc, 2013)	Ultrasonication meningkatkan kinetika ekstraksi minyak		Peningkatan koefisien perpindahan massa	Waktu ultrasonikasi dan rasio pelarut dioptimalkan	Ultrasonografi meningkatkan laju ekstraksi	Berguna untuk industri makanan dan biofuel
(Ameer et al., 2024).	Pelarut hijau dikombinasikan dengan metode ramah lingkungan meningkatkan hasil		Mengurangi beban kimia dan emisi	Ultrasound, microwave, medan listrik berdenyut dieksplorasi	Pelarut hijau mengurangi dampak lingkungan	Teknologi ekstraksi berkelanjutan
(Ghorbanzadeh& Rezaei,2017)	Hasil dengan ekstraksi berair	19,3% ekstraksi	Asam lemak tak jenuh dan aktivitas antioksidan yang lebih tinggi	Waktu ekstraksi, suhu, pH dioptimalkan	Ekstraksi berair menghasilkan lebih rendah dari heksana tetapi lebih baik dari pengepresan dingin	Ekstraksi berair ramah lingkungan
(Čulina et al.,2024)	Ekstraksi menghasilkan molekul bioaktif yang lebih tinggi daripada Soxhlet	SC-CO ₂ bioaktif	Aktivitas antioksidan yang lebih tinggi dalam minyak SC CO ₂	Ekstraksi dengan bantuan Ultrasound dioptimalkan untuk kue	Profil lemak yang bergantung pada varietas	Ekstraksi hijau dengan pengawetan bioaktif

(Qing al.,n.d.)	et	Hasil 28,8% ekstraksi subkritis	tertinggi dengan butana	Nilai asam peroksida terendah	dan	Ekstraksi butana subkritis unggul	Metode ekstraksi mempengaruhi aktivitas antioksidan	Metode ideal untuk minyak biji elderberry
(Tambunan etal., 2012)		Hasil ekstraksi mekanis meningkat dengan menghancurkan dan memanaskan	Suhu maks 60° C untuk ekstraksi mekanis			Suhu yang lebih tinggi meningkatkan hasil tetapi mempengaruhi kualitas oli	Parameter ekstraksi mekanis dioptimalkan	Data yang berguna untuk desain peralatan
(Kaviani &Tomovska, 2015)		Efisiensi ekstraksi bervariasi: panas 41%, ram press 70%, enzim 58,87%	Waktu ekstraksi air dan berbeda menurut metode			Metode industri dan laboratorium dibandingkan	Ekstraksi enzim efektif tetapi bervariasi	Metode yang beragam untuk ekstraksi minyak wijen
(Ishak al.,2015)	et	Ekstraksi heksana superkritis menghasilkan 67,2-81,2%	Distribusi FAMES konsisten di seluruh metode			Hasil peningkatan tekanan dan suhu	Ekstraksi superkritis lebih unggul Soxhlet dan mekanis	Ekstraksi minyak berkualitas tinggi
(Bargale al.,2000)	et	Hidrolisis enzimatis meningkatkan pelarut dan ekstraksi mekanis	Hingga minyak ditekan serpihan diolah enzim	88% yang dari meningkatkan yang		Perlakuan awal enzimatis meningkatkan pengepresan mekanis	Protease dan selulase efektif	Layak untuk operasi batch kecil
(Danlami al.,2014)	et	Teknik ekstraksi baru mengurangi waktu dan penggunaan pelarut	Ekstraksi cairan superkritis ditekan			Microwave, ultrasound, ekstraksi cairan bertekanan dibandingkan	Metode lanjutan meningkatkan hasil dan kualitas	Potensi adopsi industri
(Ziming al., 2024)	et	Oil bodies yang diekstraksi dengan air, larutan, metode yang dibantu enzim	Stabilitas dinilai secara fisik, kimia, biologis			Metode ekstraksi tergantung pada sumber tanaman	Oil bodies menawarkan sifat pengemulsi	Hotspot penelitian untuk industri makanan
(Passos al.,2009)	et	Perlakuan awal enzimatis meningkatkan hasil minyak biji anggur sebesar 44%	Tekanan ekstraksi mempengaruhi hasil dan penggunaan pelarut			Perlakuan awal enzimatis memperbesar rasio sel yang rusak	Ekstraksi CO ₂ superkritis dioptimalkan	Efisiensi ekstraksi yang ditingkatkan
(Kaseke al.,2021)	et	Perawatan awal biji meningkatkan hasil dan kualitas minyak	Peningkatan senyawa bioaktif dan sifat antioksidan			Microwave, pencernaan enzimatis, ultrasonikasi efektif	Perawatan awal mengurangi penggunaan pelarut dan energi	Manfaat kesehatan dan lingkungan

(Mushtaq al., 2020).	et	Ekstraksi dengan bantuan ultrasound hijau dan efisien	Mengurangi penggunaan pelarut dan konsumsi energi	Parameter ekstraksi mempengaruhi hasil	Ultrasound dikombinasikan dengan ekstraksi enzimatis	Potensi komersial untuk ekstraksi minyak
(Nogueira etal., 2022)		Ultrasound meningkatkan hasil ekstraksi enzimatis berair	Ultrasound sebagai perawatan awal atau selama ekstraksi	Peningkatan pemulihan lipid dari buah dan biji berminyak	Kesenjangan dalam penelitian tentang matriks minyak	Teknologi bersih yang layak secara ekonomi
(Fang al.,n.d.)	et	Hasil dengan ekstraksi enzimatis biji kiwi	27,17% Rasio cair-padat faktor paling berpengaruh	Parameter ekstraksi dioptimalkan dengan desain regresi	pH enzimolisis dan dosis enzim kritis	Model prediktif yang akurat dikembangkan
(Daud al.,2022)	et	Metode ekstraksi konvensional dan modern dibandingkan	Waktu, suhu, tekanan mempengaruhi hasil dan kualitas	Metode microwave dan superkritis meningkatkan hasil	Seleksi penting untuk pelestarian kualitas	Penekanan pada ekstraksi berkelanjutan
(YAO, n.d.)		Hasil minyak biji kiwi: mekanis, pelarut, SFE	20% 26,9% 28,3% Nilai asam lebih tinggi dalam ekstraksi mekanis	Ekstraksi CO ₂ superkritis optimal	Sifat fisikokimia serupa lintas metode	SFE lebih disukai untuk kualitas
(Zhen-sheng etal., n.d.)		Hasil minyak bibit kedelai tertinggi dengan Soxhlet, terendah dengan SFE	Waktu ekstraksi terpendek dengan ultrasound	Sifat fisikokimia dianalisis	Metode keseluruhan terbaik SFE	Efisiensi dan kualitas seimbang
(Anwar al.,n.d.)	et	Ekstraksi enzimatis berbantuan microwave meningkatkan hasil minyak jagung	Sifat fisikokimia yang sebanding dengan ekstraksi heksana	Peningkatan stabilitas oksidatif	Perawatan enzimatis microwave efektif	Kualitas minyak yang ditingkatkan
(CHENG al.,n.d.)	et	59,02% hasil minyak bebas ekstraksi enzimatis berair	Faktor pemuatan enzim paling berpengaruh	Metodologi permukaan respons dioptimalkan	Perlakuan panas membantu ekstraksi	Parameter yang dioptimalkan yang andal
(Mrabet al.,n.d.)	et	71-80% pemulihan minyak dengan perlakuan awal hidrotermal ultrasound	Perlakuan awal meningkatkan pemulihan minyak	Waktu dan suhu sonikasi dioptimalkan	Perlakuan hidrotermal mempengaruhi stabilitas	Proses ramah lingkungan

Hasil Ekstraksi Minyak:

Lebih dari 40 penelitian melaporkan hasil minyak kuantitatif, dengan metode berbantuan enzimatik dan ultrasound sering mencapai hasil melebihi 60%, sementara pengepresan mekanis biasanya menghasilkan persentase yang lebih rendah yakni 20-40% (Ayu et al., 2024); (Li et al., 2014) (Sanken et al., 2024). Ekstraksi cairan super kritis (SFE) dan metode ekstraksi pelarut umumnya memberikan hasil yang tinggi, kadang-kadang melebihi 80%, terutama bila dikombinasikan dengan perlakuan awal enzimatik (Dimić et al., 2022; Ishak et al., 2015; Passos et al., 2009). Teknik pra-perawatan seperti ultrasound, microwave, dan hidrolisis enzimatik secara signifikan meningkatkan pemulihan minyak dibandingkan dengan metode konvensional (Midhun et al., 2023; Gök et al., 2024; Goula et al., 2018).

Parameter Kualitas Minyak:

Beberapa studi menemukan bahwa metode ekstraksi enzimatik dan ekstraksi dengan bantuan ultrasonik mampu mempertahankan atau bahkan meningkatkan kualitas minyak, termasuk nilai peroksida dan asam yang lebih rendah serta kandungan antioksidan yang lebih tinggi (Gao et al., 2024; Lu et al., 2022; Li et al., 2017). Profil asam lemak umumnya konsisten di seluruh metode ekstraksi, dengan variasi kecil pada senyawa bioaktif dan fenolik yang cenderung lebih tinggi pada teknik ekstraksi hijau yang ramah lingkungan (Gaspurin et al., 2023); (Samaran et al., 2013) (Qing et al., t.t.). Pengepresan mekanis terkadang menghasilkan nilai asam yang lebih tinggi dan aktivitas antioksidan yang lebih rendah dibandingkan dengan metode ekstraksi pelarut atau enzimatik (Ayu et al., 2024; Ofori et al., 2023).

Efisiensi Ekstraksi:

Ekstraksi yang dibantu dengan gelombang ultrasonik dan gelombang mikro mampu mengurangi waktu ekstraksi dan konsumsi pelarut, sehingga meningkatkan efisiensi proses (Lorenzo, 2023); (Gaspurin et al., 2023) (Min, 2014). Pemanasan ohmik yang dikombinasikan dengan ekstraksi enzimatik juga terbukti meningkatkan hasil ekstraksi dan tetap mempertahankan kualitas minyak (Sanket et al., 2024). Sementara itu, ekstraksi Soxhlet, meskipun menghasilkan pemulihan minyak yang tinggi, memerlukan waktu ekstraksi yang lebih lama dan penggunaan pelarut yang lebih banyak (Zhang et al., 2022).

Dampak Pretreatment (Perlakuan awal):

Perlakuan awal atau pretreatment seperti hidrolisis enzimatik, ultrasonografi, gelombang mikro, dan perlakuan hidrotermal meningkatkan pelepasan minyak dengan merusak dinding sel dan oil bodies (Midhun et al., 2023) (Amigh & Dinani, 2020) (Ziming et al., 2024). Metode perlakuan awal gabungan seringkali menghasilkan efek sinergis, yang meningkatkan rendemen dan kualitas minyak (Amigh & Dinani, 2020) (Lu dkk, 2022). Pemilihan enzim dan optimasi parameter perlakuan awal sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi ekstraksi (Gao dkk, 2024) (Qin dkk, 2023).

Keberlanjutan Lingkungan:

Metode ekstraksi ramah lingkungan, termasuk ekstraksi enzimatik berbasis air, ekstraksi dengan bantuan ultrasonik, dan ekstraksi menggunakan CO₂ superkritis, menunjukkan dampak lingkungan yang lebih rendah dengan meminimalkan penggunaan pelarut dan konsumsi energi (Gao et al., 2024) (Ameer et al., 2024) (Mushtaq et al., 2020). Sebaliknya, ekstraksi pelarut konvensional menimbulkan kekhawatiran terhadap lingkungan dan keselamatan karena penggunaan pelarut organik (Ayu et al., 2024) (Ofori et al., 2023). Teknologi-teknologi baru yang sedang berkembang menawarkan alternatif yang menjanjikan dengan menyeimbangkan antara kelayakan ekonomi dan jejak ekologis (Gaber et al., 2018); (Kaseke et al., 2021).

Sekumpulan penelitian mengenai metode ekstraksi minyak dari biji-bijian dan buah-buahan menunjukkan adanya evolusi yang jelas dari teknik konvensional seperti pengepresan mekanis dan ekstraksi pelarut menuju teknologi yang lebih maju dan ramah lingkungan, seperti ekstraksi enzimatis, bantuan gelombang ultrasonik, gelombang mikro, serta ekstraksi dengan fluida superkritis. Pengepresan mekanis, meskipun sederhana dan hemat biaya, sering kali menghasilkan perolehan minyak yang lebih rendah dan dapat berdampak negatif terhadap kualitas minyak, seperti meningkatnya kandungan asam lemak bebas dan terjadinya oksidasi. Ekstraksi dengan pelarut mampu menghasilkan hasil yang lebih tinggi, namun menimbulkan kekhawatiran terkait dampak lingkungan dan keselamatan akibat penggunaan pelarut organik. Sebaliknya, ekstraksi enzimatis—terutama jika dikombinasikan dengan gelombang ultrasonik atau pemanasan ohmik—secara signifikan meningkatkan hasil minyak dengan cara menghancurkan dinding sel biji dan oil bodies secara efektif, sehingga memfasilitasi pelepasan minyak tanpa mengorbankan kualitasnya. Metode ramah lingkungan ini juga unggul dalam mempertahankan senyawa bioaktif seperti tocopherols dan fenolik, yang berkontribusi terhadap peningkatan kapasitas antioksidan dan stabilitas oksidatif.

Oil bodies dan struktur mikro biji-bijian serta buah-buahan memainkan peran penting dalam memengaruhi efisiensi ekstraksi dan kualitas minyak. Hidrolisis enzimatis secara spesifik menargetkan struktur-struktur ini untuk meruntuhkan penghalang pelepasan minyak, sementara metode perlakuan awal seperti ultrasonik, gelombang mikro, dan pemrosesan hidrotermal secara sinergis memperkuat efek tersebut. Namun, meskipun telah terjadi kemajuan dalam memahami peran mekanistik dari oil bodies, keterkaitan secara rinci antara karakteristik fisikokimia oil bodies dengan hasil ekstraksi masih belum banyak diteliti. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian dasar yang lebih mendalam di masa mendatang.

Metode perlakuan awal secara konsisten muncul sebagai faktor penting dalam mengoptimalkan kinerja ekstraksi. Pendekatan kombinasi yang memadukan pencernaan enzimatis dengan teknik fisik seperti gelombang ultrasonik atau iradiasi gelombang mikro mampu mengurangi waktu ekstraksi, meningkatkan hasil, dan memperbaiki kualitas minyak dengan cara mempertahankan senyawa bioaktif yang sensitif serta mengurangi penggunaan pelarut. Alat optimasi statistik seperti Respon Surface Methodology (RSM) telah berperan penting dalam menyempurnakan proses-proses ini. Namun, upaya standarisasi antar studi masih terbatas karena adanya variasi dalam jenis biji yang digunakan, parameter proses, serta protokol analisis yang diterapkan.

Pertimbangan lingkungan dan ekonomi semakin mendorong inovasi menuju teknologi hijau yang terukur. Ekstraksi enzimatis berbasis air dengan bantuan ultrasonik dan ekstraksi menggunakan CO₂ superkritis merupakan contoh pendekatan yang mampu meminimalkan penggunaan pelarut, konsumsi energi, serta jejak lingkungan, sambil tetap mempertahankan atau bahkan meningkatkan efisiensi ekstraksi dan kualitas minyak. Namun demikian, adopsi secara luas di tingkat industri masih terhambat oleh berbagai tantangan, termasuk biaya enzim yang tinggi, kompleksitas proses, dan terbatasnya validasi pada skala percontohan. Penilaian daur hidup (life-cycle assessment) serta analisis biaya-manfaat yang komprehensif masih jarang dilakukan, sehingga menunjukkan perlunya studi terintegrasi yang membahas efektivitas teknologi sekaligus indikator keberlanjutan secara menyeluruh.

CONCLUSION

Literatur secara keseluruhan mendukung potensi unggul dari metode ekstraksi enzimatis dan ekstraksi berbantuan, terutama ketika dikombinasikan dengan perlakuan awal (pretreatment) inovatif, untuk memaksimalkan hasil dan kualitas minyak dari berbagai matriks tanaman. Pendekatan ini selaras dengan meningkatnya permintaan untuk produksi minyak nabati yang berkelanjutan dan berkualitas tinggi. Penelitian di masa depan sebaiknya difokuskan pada penjelasan peran oil bodies dalam dinamika ekstraksi, standarisasi proses optimasi dan metodologi analisis, serta pengembangan

penerapan teknologi ekstraksi hijau yang ramah lingkungan melalui studi kelayakan ekonomi dan lingkungan.

REFERENCE

- Abdullah, M., & Koc, A. B. (2013). Kinetics of ultrasound-assisted oil extraction from black seed (*nigella sativa*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 37 (5), 814-823. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4549.2012.00704.X>
- Ahmad, S. A., Asfaq, ..., Bhat, M. I., & Nasir, G. (2024). Ultrasound-assisted enzymatic extraction of oil. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91154-2.00005-5>
- Ameer, K., Kim, Y., Murtaza, M. A., Nasir, M. A., Khan, F. A., Khan, M. A., Mueen-ud- Din, G., Mahmood, S., & Abid, M. (2024). Extraction of oil from oilseeds. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819516-1.00014-4>
- Amigh, S., & Dinani, S. T. (2020). Combination of ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction and cooking pretreatment for date seed oil recovery. *Heat and Mass Transfer*, 56 (8), 2345-2354. <https://doi.org/10.1007/S00231-020-02865-2>
- Amiti, B., Lisichkov, K., Kuvendžiev, S., Atkovska, K., Jashari, A., & Reka, A. A. (2024). Extraction of oils from fruit kernels with conventional and innovative methods: A review. *Technologica Acta*, 17 (1), 25-37. <https://doi.org/10.51558/2232-7568.2023.17.1.25>
- Anwar, F., Yaqoub, A., Shahid, S. A., & Manzoor, M. (n.d.). Effect of microwave-assisted enzymatic aqueous extraction on the quality attributes of maize (*zea mays l.*) seed oil. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2013.14365>
- Ayu, L. R., Aliwarga, L., & Adisasmito, S. (2024). Mechanical and solvent extraction of moringa oleifera seeds for vegetable oil. *Key Engineering Materials*, 989 null, 99-107. <https://doi.org/10.4028/p-byr9lq>
- Bargale, P. C., Sosulski, K., & Sosulski, F. W. (2000). Enzymatic hydrolysis of soybean for solvent and mechanical oil extraction. *Journal of Food Process Engineering*, 23 (4), 321-327. <https://doi.org/10.1111/J.1745-4530.2000.TB00518.X>
- Braga, L. P., Amorim, K. A., Goulart, G. A. S., Asquiere, E. R., & Damiani, C. (2024). Effect of different extraction methods on yield and quality of araticum (*annona crassiflora mart.*) seed oil. *Food Science and Technology*, 44 null, . <https://doi.org/10.5327/fst.00176>
- CHENG, X., ZHANG, X., SUN, R., LIU, Q., LIU, X., & LI, S. (n.d.). Optimizing techniques of perilla seed oil by aqueous enzymatic extraction assisted with heat treatment. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2016.02.037>
- Čulina, P., Balbino, S., Jokić, S., Dragović-Uzelac, V., & Pedisić, S. (2024). Efficiency of supercritical co₂ and ultrasound-assisted extraction techniques for isolation of bioactive molecules from sea buckthorn (*elaegnus rhamnoides (l.) a. Nelson*) berry oils and cakes. *Processes*null, . <https://doi.org/10.3390/pr12040698>
- Danlami, J. M., Arsad, A., Zaini, M. A. A., & Sulaiman, H. (2014). A comparative study of various oil extraction techniques from plants. *Reviews in Chemical Engineering*, 30 (6), 605-626. <https://doi.org/10.1515/REVCE-2013-0038>
- Daud, N. M., Putra, N. R., Jamaludin, R., Norodin, N. S. M., Sarkawi, N. S., Hamzah, M. H. S., Nasir, H. M., Zaidel, D. N. A., Yunus, M. A. C., & Salleh, L. M. (2022). Valorisation of plant seed as natural bioactive compounds by various extraction methods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 119 null, 201-214. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.010>
- Dimić, I. D., Pavlić, B., Rakita, S., Kljakić, A. C., Zeković, Z., & Teslic, N. (2022). Isolation of cherry seed oil using conventional techniques and supercritical fluid extraction. *Foods*, 12 (1), 11-11. <https://doi.org/10.3390/foods12010011>
- Fang, F., Kaiyang, X., Zhongyin, L., & Ying, C. (n.d.). Optimization of aqueous enzymatic extraction of kiwi-fruit seed oil by quadratic regression orthogonal design.

- <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0174.2013.01.011>
- Gaber, M. A. F. M., Gaber, M. A. F. M., Tujillo, F. J., Mansour, M. P., & Juliano, P. (2018). Improving oil extraction from canola seeds by conventional and advanced methods. *Food Engineering Reviews*, 10 (4), 198-210. <https://doi.org/10.1007/S12393-018-9182-1>
- Gao, Y., Ding, Z., Liu, Y., & Xu, Y. (2024). Aqueous enzymatic extraction: A green, environmentally friendly and sustainable oil extraction technology. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104315>
- Gasparini, A., Ferrentino, G., Angeli, L., Morozova, K., Zatelli, D., & Scampicchio, M. (2023). Ultrasound assisted extraction of oils from apple seeds: A comparative study with supercritical fluid and conventional solvent extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86 null, 103370-103370. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103370>
- Ghorbanzadeh, R., & Rezaei, K. (2017). Optimization of an aqueous extraction process for pomegranate seed oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 94 (12), 1491-1501. <https://doi.org/10.1007/S11746-017-3045-4>
- Gök, A., Uyar, H., & Demir, Ö. (2024). Pomegranate seed oil extraction by cold pressing, microwave and ultrasound treatments. *Biomass Conversion and Biorefinery* null, . <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05611-4>
- Goula, A. M., Papatheodorou, A., Karasavva, S., & Kaderides, K. (2018). Ultrasound- assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. *Waste and Biomass Valorization*, 9 (1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/S12649-016-9740-9>
- Haibo, W. (2009). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of soybean oil. *China Oils and Fats* null, .
- Han, C., Liu, Q., Jing, Y., Di, W., Zhao, Y., Zhang, H., & Jiang, L. (2018). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of corn germ oil: Analysis of quality and antioxidant activity. *Journal of Oleo Science*, 67 (6), 745-754. <https://doi.org/10.5650/JOS.ESS17241>
- Ishak, I., Coorey, R., Ghani, M. A., Chin, P. T., Saari, N., & Hussain, N. (n.d.). Effects of different extraction methods on yield, polyunsaturated fatty acids, antioxidants, and stability improvement of chia seed oil: A review. <https://doi.org/10.47836/pjtas.48.1.13>
- Ishak, M. A. M., Hussain, H., Ismail, K. N., Nawawi, W. I., Ab, G. Z., & Ani, A. Y. (2015). Extraction of oil from jatropha curcas l. Seed and kernel at supercritical hexane via high-temperature high-pressure batch wise reactor system. *Applied Mechanics and Materials* null, 1102-1106. <https://doi.org/10.4028/WWW.SCIENTIFIC.NET/AMM.754-755.1102>
- Junaid, P. M., Dar, A. H., Dash, K. K., Ghosh, T., Shams, R., Khan, S. A., Singh, A., Pandey, V. K., Nayik, G. A., & Raj, G. V. B. (2022). Advances in seed oil extraction using ultrasound assisted technology: A comprehensive review. *Journal of Food Process Engineering*, 46 (6), . <https://doi.org/10.1111/jfpe.14192>
- Kaseke, T., Opara, U. L., & Fawole, O. A. (2021). Novel seeds pretreatment techniques: Effect on oil quality and antioxidant properties: A review. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 58 (12), 4451-4464. <https://doi.org/10.1007/S13197-021-04981-1>
- Kaviani, M., & Tomovska, J. (2015). Comparing different extraction methods of sesame oil.
- Khalaf, M. K., Abdel-Fadeel, W. A., Hashish, H. A., Wapet, D. E. M., Mahmoud, M. M., Elhady, S. A. A., & Esmail, M. F. (2023). Experimental investigation of different extraction methods for producing biofuel from jatropha seeds and castor seeds. *International Journal of Energy Research*, 2023 null, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2023/1780536>
- Li, H., Zhang, Z., He, D., Xia, Y., Liu, Q., & Li, X. (2017). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla seeds and determination of its physicochemical properties, fatty acid composition and antioxidant activity. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.5634985>
- Li, Q., & Cai, Z. (2021). Optimization and quality analysis of different extraction methods of palm seed oil. *Complexity*, 2021 null, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2021/9925974>
- Li, Y., Zhang, Y., Wang, M., Jiang, L., & Xiaonan, S. (2013). Simplex-centroid mixture design

- applied to the aqueous enzymatic extraction of fatty acid-balanced oil from mixed seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90 (3), 349-357. <https://doi.org/10.1007/S11746-012-2180-1>
- Li, Y., Zhang, Y., Xiaonan, S., Yana, Z., Hongxia, F., & Jiang, L. (2014). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from perilla (*perilla frutescens* L.) seeds. *Cyta-journal of Food*, 12 (1), 16-21. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.782070>
- Lolli, V., Viscusi, P., Bonzanini, F., Conte, A., Fuso, A., Larocca, S., Leni, G., & Caligiani, A. (2023). Oil and protein extraction from fruit seed and kernel by-products using a one pot enzymatic-assisted mild extraction. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100819>
- Lorenzo, J. M. (2023). Oxidative stability, quality, and bioactive compounds of oils obtained by ultrasound and microwave-assisted oil extraction. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2219452>
- Lu, X., Du, H., Liu, Y., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2022). Effect of ultrasound-assisted solvent enzymatic extraction on fatty acid profiles, physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of *elaegnus mollis* oil. *Foods*, 11 (3), 359-359. <https://doi.org/10.3390/foods11030359>
- Martinez, M. L., Bordón, M. G., Bodoira, R. M., Penci, M. C., Ribotta, P. D., & Maestri, D. (2018). Walnut and almond oil screw-press extraction at industrial scale: Effects of process parameters on oil yield and quality. *Grasas Y Aceites*, 68 (4), . <https://doi.org/10.3989/GYA.0554171>
- Massa, T. B., Iwassa, I. J., Stevanato, N., Garcia, V. A. D. S., & Silva, C. D. (2021). Passion fruit seed oil: Extraction and subsequent transesterification reaction. *Grasas Y Aceites*, 72 (2), . <https://doi.org/10.3989/GYA.0442201>
- Midhun, J., Stephi, D., Selvi, K. M., Kameshwari, Y., Swatika, S. K., & Sunil, C. (2023). Effect of emerging pretreatment methods on extraction and quality of edible oils: A review. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.10.018>
- Min, W. (2014). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of rice bran oil. *China Oils and Fats*, .
- Mrabet, A., Rodríguez-Gutiérrez, G., Guillén-Bejarano, R., Rodríguez-Arcos, R., Sindic, M., & Jiménez-Araujo, A. (n.d.). Optimization of date seed oil extraction using the assistance of hydrothermal and ultrasound technologies.
- Mushtaq, A., Roobab, U., Denoya, G. I., Denoya, G. I., Inam-Ur-Raheem, M., Gullón, B., Lorenzo, J. M., Barba, F. J., Zeng, X., Wali, A., & Aadil, R. M. (2020). Advances in green processing of seed oils using ultrasound-assisted extraction: A review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44 (10), . <https://doi.org/10.1111/JFPP.14740>
- Nogueira, L. F. R., Fortunato, G., Lovis, K. L., & Feltes, M. M. C. (2022). Enzymatic aqueous extraction with ultrasound: A prospective overview on the state of the art. *Research, Society and Development*, 11 (8), e20711830670-e20711830670. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i8.30670>
- Ofori, H., Bart-Plange, A., Addo, A., & Dzisi, K. (2023). Impact of different oil extraction techniques on the physicochemical properties of *adansonia digitata* seed. *International journal of food sciencenull*, . <https://doi.org/10.1155/2023/6233461>
- Passos, C. P., Silva, R., Silva, F. A. D., Coimbra, M. A., & Silva, C. M. (2009). Enhancement of the supercritical fluid extraction of grape seed oil by using enzymatically pre-treated seed. *Journal of Supercritical Fluids*, 48 (3), 225-229. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2008.11.001>
- Piasecka, I., Ostrowska-Ligeza, E., Wiktor, A., & Górska, A. (2024). Ultrasound and pulsed electric field treatment effect on the thermal properties, oxidative stability and fatty acid profile of oils extracted from berry seeds. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetrynull*, . <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13230-4>
- Qin, H., Hu, Y., Cheng, D., Li, F., Han, X., & Sun, J. (2023). Optimization of an aqueous enzymatic method and supercritical carbon dioxide extraction for *paeonia suffruticosa* andr. *Seed oil*

- production using response surface methodology (rsm). *Agronomy*, 13 (2), 555-555. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020555>
- Qing, X., Hong-jin, Z., Long, D., Wen-xin, Z., Jun, W., Xin-liang, Z., Peng, G., & Hong- meng, Z. (n.d.). Effects of extraction methods on the quality of elderberry seed oil. <https://doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90013>
- Samaram, S., Mirhosseini, H., Tan, C. P., & Ghazali, H. M. (2013). Ultrasound-assisted extraction (uae) and solvent extraction of papaya seed oil: Yield, fatty acid composition and triacylglycerol profile.. *Molecules*, 18 (10), 12474-12487. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES181012474>
- Sanket, S., Sharma, P., Mani, I., Nain, L., & Satheesh, N. (2024). Optimization of ohmic parameters in enzyme assisted aqueous extraction for better physico-chemical properties of the black cumin seed oil. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117892>
- Tambunan, A. H., J.P.Situmorang, Silip, J. J., A.Joelianingsih, & Araki, T. (2012). Yieldand physicochemical properties of mechanically extracted crude jatropha curcas l oil. *Biomass & Bioenergy*, 43 null, 12-17. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMBIOE.2012.04.004>
- Wilfred, S., Adubofuor, J., & Oldham, J. H. (2010). Optimum conditions for expression of oil from allanblackia floribunda seeds and assessing the quality and stability of pressed and solvent extracted oil. *African Journal of Food Science*, 4 (9), 563-570. <https://doi.org/10.5897/AJFS.9000215>
- WU, H., QIN, M., LIN, D., & JIANG, L. (n.d.). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of soybean oil. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.03.009>
- YAO, M. (n.d.). Comparison of the three extracting methods for kiwi fruit seed oil. <https://doi.org/10.3321/j.issn:1002-6630.2006.10.055>
- Yusuf, A. J. (2018). A review of methods used for seed oil extraction. *International journal of science and research*, 7 (12), 233-238. <https://doi.org/10.21275/1121804>
- Zadeh, J. H., Özdikicierler, O., & Pazir, F. (2022). A comparative study on response surface optimization of supercritical fluid extraction parameters to obtain portulaca oleracea seed oil with higher bioactive content and antioxidant activity than solvent extraction. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 125 (2), 2200136-2200136. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202200136>
- Zhang, H., Yuan, Y., Zhu, X. Q., Xu, R., Shen, H., Zhang, Q., & Ge, X. (2022). The effect of different extraction methods on extraction yield, physicochemical properties, and volatile compounds from field muskmelon seed oil. *Foods*, 11 (5), 721-721. <https://doi.org/10.3390/foods11050721>
- Zhao, X., Wei, L., Julson, J., & Huang, Y. (2014). Investigated cold press oil extraction from non-edible oilseeds for future bio-jet fuels production. *Journal ofSustainable Bioenergy Systems*, 04 (4), 199-214. <https://doi.org/10.4236/JSBS.2014.44019>
- Zhen-sheng, Z., Chun-yi, W., & Zhen-ning, F. (n.d.). Comparison of three extraction methods of soybean germ oil. <https://doi.org/10.3321/j.issn:1003- 7969.2007.04.002>
- Ziming, S., Yu, P., Chenqiang, Q., Rao, F., Mo, L., Yuanying, N., & Xin, W. (n.d.). Research progress in extraction and stability evaluation of plant oil bodies. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-20231009-052>