

Pendekatan ekstraksi hijau kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae* menggunakan *natural deep eutectic solvents*: tinjauan sistematis

Niko Utama¹ 

¹Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Indonesia

 nikoutama@student.ub.ac.id

 <https://doi.org/10.31603/bphr.v5i2.13650>

Abstrak

Kurkuminoid merupakan senyawa bioaktif utama dalam rimpang famili *Zingiberaceae*, terutama *Curcuma longa*, dengan aktivitas farmakologis penting seperti antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan antimutagenik. Metode ekstraksi konvensional masih mengandalkan pelarut organik toksik dan kurang ramah lingkungan, dengan keterbatasan selektivitas dan efisiensi. *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES), sebagai pelarut hijau berbasis komponen alami seperti kolin klorida, asam organik, gula, dan alkohol, menawarkan alternatif yang lebih berkelanjutan. Tinjauan sistematis ini mengevaluasi efektivitas NADES untuk ekstraksi kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae*, membandingkan kinerjanya dengan pelarut konvensional, serta menganalisis pengaruh metode ekstraksi. Literatur ditelusuri melalui PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar (2015–2025) dan 11 artikel terpilih dianalisis. Hasil menunjukkan kombinasi NADES dengan metode berbantuan energi seperti *microwave-assisted extraction* (MAE) dan *ultrasound-assisted extraction* (UAE) menghasilkan yield kurkuminoid tinggi, tertinggi mencapai 89,87 mg/g dengan NADES kolin klorida–asam sitrat. Formulasi NADES lokal, seperti sirup nipah dan cuka nipah, juga menunjukkan potensi tinggi. Kendala seperti viskositas NADES dan optimasi kondisi ekstraksi masih menjadi tantangan. Studi ini menyimpulkan bahwa NADES merupakan pelarut hijau yang prospektif untuk ekstraksi kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae*. Penggunaan NADES tidak hanya meningkatkan efisiensi dan selektivitas, tetapi juga mendukung pengembangan teknologi ekstraksi ramah lingkungan yang aplikatif di bidang pangan fungsional, kosmetik, dan farmasi.

Kata Kunci: Kurkuminoid; *Zingiberaceae*; Ekstraksi hijau; Pelarut eutektik alami; NADES.

Green extraction of curcuminoids from Zingiberaceae rhizomes using natural deep eutectic solvents: A systematic review

Abstract

Curcuminoids are the main bioactive compounds found in the rhizomes of the *Zingiberaceae* family, particularly *Curcuma longa*, and are known for their significant pharmacological activities such as antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and antimutagenic effects. Conventional extraction methods still rely heavily on toxic organic solvents that are environmentally unfriendly and limited in selectivity and efficiency. *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES), as green solvents composed of natural components such as choline chloride, organic acids, sugars, and alcohols, offer a more sustainable alternative. This systematic review evaluates the effectiveness of NADES for extracting curcuminoids from *Zingiberaceae* rhizomes, compares their performance with conventional solvents, and analyzes the influence of extraction methods. Literature was retrieved from PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar (2015–2025), and 11 eligible articles were included in the analysis. The results show that combining NADES with energy-assisted extraction methods such as *microwave-assisted extraction* (MAE) and *ultrasound-assisted extraction* (UAE) yields high curcuminoid concentrations, with the highest reported yield reaching 89.87 mg/g using a choline chloride–citric acid NADES. Locally sourced NADES formulations, such as nipa palm syrup and nipa vinegar, also demonstrated promising extraction performance. However, challenges remain regarding the high viscosity of NADES and the need for optimal extraction conditions. This study concludes that NADES are a prospective green solvent for extracting curcuminoids from *Zingiberaceae* rhizomes. The use of NADES not only improves extraction efficiency and selectivity but also supports the development of environmentally friendly extraction technologies applicable in functional food, cosmetics, and pharmaceutical industries.

Keywords: Curcuminoids; *Zingiberaceae*; Green extraction; Natural eutectic solvents; NADES

1. Pendahuluan

Famili *Zingiberaceae* mencakup sekitar 52 genus dan 1300 spesies tanaman herba aromatik termasuk tanaman penting seperti jahe (*Zingiber officinale*), kunyit (*Curcuma longa*), dan temulawak (*Curcuma*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

xanthorrhiza) (Argel-Pérez *et al.*, 2024). Rimpang tanaman kaya akan senyawa bioaktif, salah satunya adalah kurkuminoid, pigmen kuning alami yang terdiri atas kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin (Delgado *et al.*, 2021). Senyawa ini telah terbukti memiliki aktivitas farmakologis yang dikaitkan dengan keberadaan struktur kimia, dan keberadaan gugus hidroksil dan metoksi, khususnya sifat antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, antiangiogenik, dan antimutagenik (Jakubczyk *et al.*, 2020). Dengan potensi tersebut, kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae* menjanjikan pemanfaatan dalam sektor pangan fungsional, kosmetik alami, dan fitofarmaka.

Namun, metode ekstraksi kurkuminoid yang masih dominan menggunakan pelarut organik seperti etanol, metanol, kloroform, aseton, *n*-heksana, dan etil asetat menimbulkan kekhawatiran ekologis dan toksikologis (Martinović *et al.*, 2022). Sebagian besar pelarut tersebut bersifat mudah menguap, tidak ramah lingkungan, dan berisiko terhadap kesehatan manusia. Seiring berkembangnya kesadaran akan pentingnya prinsip berkelanjutan, muncul pendekatan *green extraction*, salah satunya dengan penggunaan *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES). NADES tersusun atas komponen alami seperti asam organik, gula, dan asam amino yang membentuk sistem eutektik melalui interaksi hidrogen, sehingga bersifat *biodegradable*, tidak toksik, ekonomis, dan ramah lingkungan (Zhou *et al.* 2018; Silva *et al.* 2020). Selain itu, NADES juga memiliki keunggulan dalam meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan selektivitas senyawa bioaktif seperti kurkuminoid, sehingga dapat menghasilkan yield yang lebih tinggi dan kemurnian senyawa yang lebih baik dibandingkan pelarut organik konvensional.

Meskipun berbagai studi telah melaporkan efektivitas NADES dalam mengekstrak senyawa bioaktif, fokus utama penelitian sebelumnya lebih banyak diarahkan pada senyawa polifenol dan flavonoid dari daun atau buah. Hingga kini, masih terbatas kajian yang secara sistematis mengevaluasi penggunaan NADES untuk mengekstrak kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae*. Kesenjangan ini menjadi dasar penting untuk menyusun tinjauan yang lebih terfokus dan aplikatif, terutama dalam menilai performa NADES dibandingkan pelarut konvensional dari aspek efisiensi, stabilitas senyawa, dan keamanan aplikasi.

Oleh karena itu, artikel ini bertujuan menyusun tinjauan sistematis yang lebih terarah dan mendalam mengenai potensi serta efektivitas NADES sebagai pelarut hijau dalam ekstraksi kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae*. Tidak seperti kajian sebelumnya yang cenderung bersifat umum pada senyawa bioaktif secara luas, tinjauan ini memfokuskan analisis pada perbandingan performa NADES dengan pelarut konvensional secara spesifik, meliputi aspek efisiensi ekstraksi, kompatibilitas senyawa kurkuminoid, serta potensi pengembangan hilirisasi aplikatif di bidang pangan fungsional, kosmetik, dan farmasi. Dengan demikian, hasil kajian ini diharapkan dapat memperkaya landasan ilmiah dan membuka arah riset lanjutan terkait penerapan teknologi ekstraksi hijau yang berkelanjutan.

2. Metode

Tinjauan sistematis ini disusun berdasarkan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) dengan beberapa penyesuaian untuk kepentingan eksploratif dalam konteks ekstraksi senyawa alam. Metode ini mencakup empat tahap utama: identifikasi literatur, skrining awal, seleksi kelayakan, dan inklusi artikel akhir.

2.1. Strategi pencarian literatur

Pencarian artikel dilakukan secara sistematis pada tiga basis data utama, yaitu PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar, dengan rentang waktu publikasi antara tahun 2015 hingga 2025. Kata kunci pencarian dan database yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**

Tabel 1. Kata kunci pencarian dan database yang digunakan

No.	Database	Kata Kunci	Boolean Operator	Rentang Tahun	Bahasa
1	PubMed	“curcuminoid” AND “NADES” OR “natural deep eutectic solvent” AND “extraction” AND “Zingiberaceae”	AND, OR	2015-2025	Inggris
2	ScienceDirect	“curcuminoid extraction” AND “green solvent” OR “natural deep eutectic solvents” AND “turmeric” OR “Curcuma longa”	AND, OR	2015-2025	Inggris
3	Google Scholar	“NADES” AND “curcuminoid” AND “Zingiberaceae” AND “microwave-assisted extraction” OR “ultrasound-assisted extraction”	AND, OR	2015-2025	Inggris dan Indonesia

Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi: “*Natural Deep Eutectic Solvents*”, “*Zingiberaceae*”, “*curcuminoid*”, “*green extraction*”, “*bioactive compound extraction*”, dan kombinasi Boolean seperti “AND” dan “OR” digunakan untuk memperluas hasil pencarian. Seluruh pencarian dibatasi pada artikel berbahasa Inggris dan Indonesia yang tersedia dalam format *full-text*.

2.2. Kriteria inklusi dan eksklusi

Artikel yang diikuti dalam analisis ini harus memenuhi kriteria inklusi berikut:

- Merupakan studi primer berbasis laboratorium (eksperimental, in-vitro, atau in-silico) yang mengevaluasi penggunaan Natural Deep Eutectic Solvents (NADES) untuk ekstraksi senyawa bioaktif;
- Focus secara khusus pada kurkuminoid atau rimpang famili Zingiberaceae;
- Menyajikan data metode ekstraksi, jenis pelarut, kondisi proses, serta hasil kuantitatif (yield, efisiensi) yang dapat dianalisis secara deskriptif;
- dipublikasikan dalam jurnal bereputasi dan melalui proses peer-review.

Sementara itu, artikel akan dikecualikan jika:

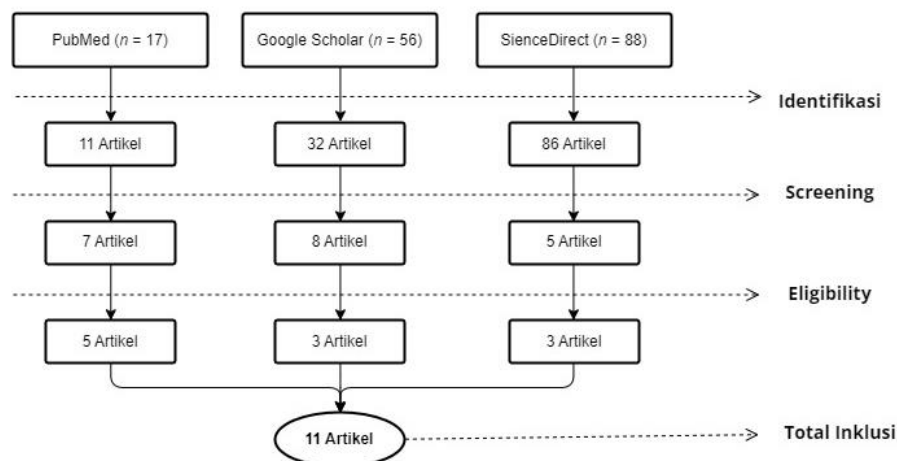
- tidak tersedia dalam teks lengkap,
- merupakan publikasi non-ilmiah atau grey literature,
- tidak relevan dengan fokus topik,
- menggunakan pelarut sintetik non-eutektik tanpa pembahasan NADES.

2.3. Proses Seleksi dan Ekstraksi Data

Proses seleksi dilakukan dalam dua tahap: pertama, skrining judul dan abstrak untuk memastikan kesesuaian awal dengan topik kajian. Artikel yang lolos tahap ini dilanjutkan ke tahap *eligibility*, yaitu evaluasi isi penuh untuk memeriksa secara detail kesesuaian dengan kriteria inklusi, kelengkapan data, relevansi isi, dan kualitas publikasi. Proses skrining dan ekstraksi data dilakukan secara mandiri oleh penulis, dengan prosedur peninjauan ulang (*double-check*) untuk meminimalkan potensi bias. Apabila ditemukan ketidakjelasan atau perbedaan interpretasi data, keputusan final ditentukan melalui diskusi dan konsensus dengan kolega sejawat atau pembimbing akademik.

2.4. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan pendekatan deskriptif-tematik dan disintesis secara naratif. Analisis dilakukan dengan mengelompokkan temuan berdasarkan jenis metode ekstraksi (konvensional, *microwave-assisted extraction*, *ultrasound-assisted extraction*), tipe NADES yang digunakan, serta membandingkan performa yield dan kestabilan kurkuminoid yang dihasilkan. Hasil dari berbagai studi dikompilasi, ditabulasi, dan dianalisis secara visual untuk mendukung interpretasi tren, efektivitas, serta tantangan implementasi. Diagram alir dan tabel perbandingan digunakan untuk memperjelas temuan dalam **Gambar 1**.



Gambar 1 Tahap seleksi artikel ekstraksi NADES kurkuminoid dari *Zingiberaceae*.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 2 merangkum karakteristik penelitian yang ditinjau, termasuk jenis rimpang Zingiberaceae, formulasi NADES yang digunakan, metode ekstraksi yang diterapkan, serta hasil kuantitatif berupa yield kurkuminoid. Data ini menjadi dasar untuk pembahasan perbandingan performa NADES dengan pelarut konvensional.

Tabel 2.Hasil pencarian data ekstraksi kurkuminoid dari rimpang zingiberaceae menggunakan pelarut eutektik dan non-eutektik

Jenis Rimpang	Metode + Jenis NADES*	Keunggulan	Keterbatasan	Yield Tertinggi	Studi Terkait
Kunyit (Curcuma longa)	MAE + Sukrosa;asam laktat;air (1:5:7)	Proses cepat (15-21 menit), suhu moderat, efisiensi tinggi' NADES food-grade, biodegradabel, polaritas sesuai kurkuminoid	Risiko degradasi pada suhu tinggi; potensi interferensi analitik; recovery akhir masih terbatas (pemurnian dari NADES hanya 37,5-41,1%)	32,00 mg/g	Doldolova et al. (2021)
Kunyit (Curcuma longa).	UAE + Kolin klorida;asam laktat (1:1 + 20% air)	Waktu ekstraksi lebih singkat (20 menit); suhu rendah; intensifikasi difusi; biaya lebih hemat; formulasi ramah lingkungan	Yield masih dibawah Soxhlet; recovery rendah ($\pm 42\%$); sensitive rasio & % air; perlu anti-solvent; rekayasa skala besar perlu optimasi	77,13 mg/g	Patil et al. (2021)
Kunyit (Curcuma longa)	Stirring (magnetic stirrer) + Gliserol:betaine: air (1:1:3)	20 formulasi NADES bervariasi;rasio HBA:HBD:air teruji; NADES ChCl/1,2-propanediol/water & glycerol/betaine/ water efektif turunkan viskositas & tingkatkan yield	Hanya stirring batch; yield masih moderat dibanding MAE/UAE; rasio air perlu control presisi; recovery final tidak dijelaskan	31,70 mg/g	Jovanović et al. (2025)
Kunyit (Curcuma longa)	scCO ₂ + NADES + mentol:asam laktat, (1:2)	Kombinasi scCO ₂ + NADES + (mentol:asam laktat) dalam satu tahap; rasio NADES tinggi turunkan polaritas & tingkatkan yield; mendukung tren green extraction	Yield masih di bawah MAE/UAE-NADES; butuh rasio bahan: NADES besar (1:20); recovery NADES & kurkuminoid perlu dioptimasi;	33,35 mg/g	Stasiłowicz-Krzemień et al. (2024)



			butuh tekanan & suhu tinggi		
Kunyit (Curcuma longa)	MAE + Sirup nipah:cuka nipah:air (1:5:5)	NADES berbasis sumber lokal; rasio sirup nipah:cuka nipah:air optimal (1:5:5); hybrid MAE mempersingkat waktu ekstraksi (51 detik)	Yield di bawah ChCl-NADES MAE/UAE; risiko variabilitas batch sirup nipah/cuka nipah; kandungan air tinggi potensi gangguan stabilitas NADES; recovery kurkuminoid belum jelas; skalabilitas perlu validasi	43,04 mg/g	Rodsamai et al. (2024)
Kunyit (Curcuma longa)	MAE + Kolin klorida:asam sitrat (1:1 + 30% air)	Yield sangat tinggi; waktu ekstraksi singkat (6 menit); energi dan biaya rendah; $1,53 \times 10^4$ kJ/kg; validasi optimasi parameter (power, rasio, stirring, soaking, SEM)	Recovery moderat (43%); butuh anti-solvent & pendinginan; belum diuji reuse NADES; sensitive kelebihan air (>30%)	89,87 mg/g	Patil et al. (2023)
Kunyit (Curcuma longa)	Vortex-Assisted Extraction (with stirring) + Asam sitrat : glukosa (1:1 15% air)	Tailor-made NADES viskositas terkontrol; stabilitas termal & simpan lebih baik dari EtOH/MeOH; recovery SPE sangat tinggi (>88%); validasi parameter proses detail	Yield moderat (21,18 mg/g); perlu recovery SPE sehingga tambah biaya; tidak ada uji skala industri; durasi ekstraksi relatif konvensional (30 menit)	bis-demethoxikurkumin (BDMC) sebesar 16,54 mg/g, demethoxikurkumin (DMC) 15,12 mg/g, dan kurkumin 21,18 mg/g	Liu et al. (2019)

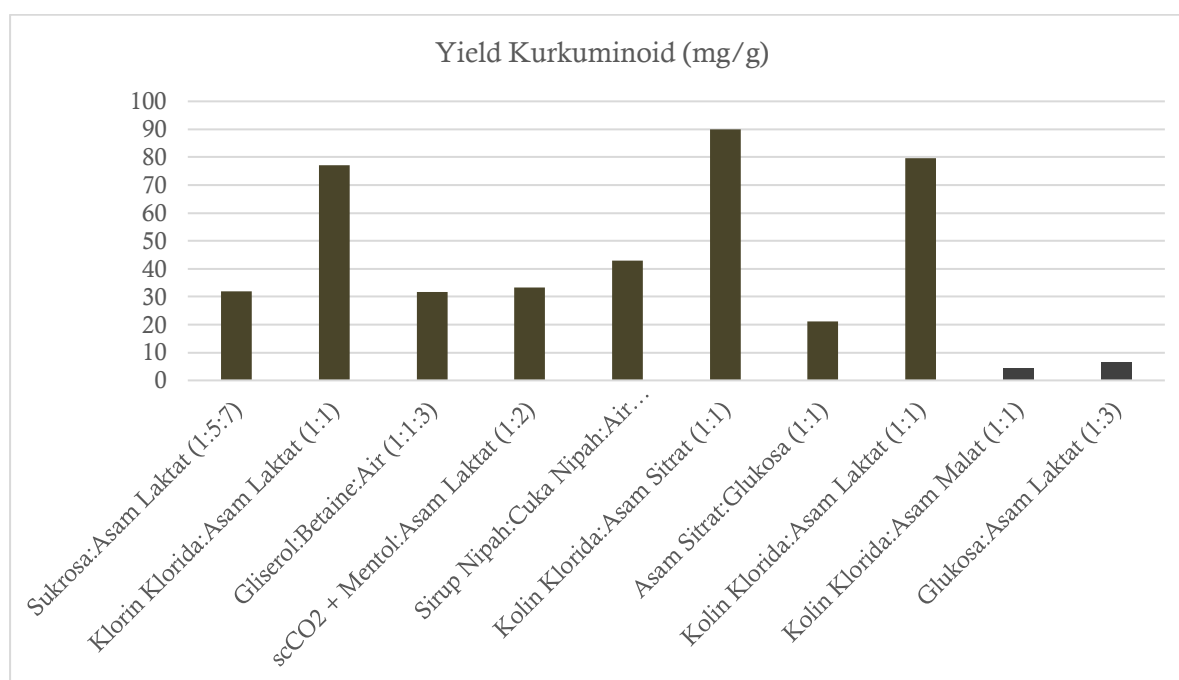
Kunyit (<i>Curcuma longa</i>)	UAE + Kolin klorida:asam laktat (1:1)	Optimasi valid (didukung kinetic Peleg's model); yield tinggi; waktu & suhu rendah, mendukung green process	Recovery kurkuminoid moderat (39%); solidifikasi gagal karena larut dalam NADES; tidak ada data bioaktivitas lanjut; skala lab belum ada uji biaya energi	79,64 mg/g	Rosarina et al. (2022)
Temu putih (<i>Curcuma aromatica</i>)	UAE + Asam laktat : (88 %): glukosa (5:1)	14 formulasi edible NADES diuji; potensi aktivitas bio multi target: antioksidan, anti- inflamasi seluler, hyaluronidase inhibition; IC50 anti-inflamasi lebih kuat dari kurkumin standar; aman untuk pangan & kosmetik RSM optimasi tiga parameter signifikan; komparasi dengan maserasi etanol, NADES- UAE lebih efisien; focus dual maker: kurkuminoid & xanthorrhizol; uji selektivitas sitotoksik: lebih toksik ke sel kanker (HeLa) daripada sel normal (HaCat)	Kandungan kurkuminoid rendah (74,05 µg/g); tidak dilaporkan yield kering/total mg/g bahan; tidak ada stabilitas & pemurnian lanjutan; korelasi bioaktivitas- marker lemah	74,05 µg/g	Sainakha m et al. (2023)
Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i>)	UAE + Kolin klorida : asam malat (1:1)	Spesifik selektif ke xanthorrhizol; DNA protection assay; validasi FTIR & NMR interaksi H- bonding; stabil di suhu rendah; optimasi RSM valid	Yield absolut lebih rendah; tidak ada uji stabilitas & pemurnian lanjut; uji molekuler terbatas; UAE batch skala lab	4,58 mg/g	Ariestanti et al. (2025)
Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i>)	UAE + Glukosa : asam laktat (1:3)	Viskositas tinggi menyebabkan mass transfer terbatas; tidak ada uji sitotoksik ke sel mamalia; stabilitas rendah suhu ruang; belum ada scale-up		6,64 mg/g	Simamora et al. (2024)

*Keterangan: MAE = Microwave-assisted Extraction, UAE = Ultrasound-assisted Extraction, scCO₂ = Supercritical CO₂.

Ekstraksi kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae* telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa dekade terakhir, terutama dengan munculnya pendekatan ekstraksi hijau menggunakan *Natural Deep Eutectic Solvents* (NADES). Berdasarkan hasil tinjauan terhadap 11 artikel yang dikaji, ditemukan bahwa pemilihan jenis NADES, metode ekstraksi, serta parameter kondisi operasional (seperti rasio pelarut/bahan, suhu, waktu) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi pemulihan kurkuminoid.

3.1 Jenis NADES dan Karakteristiknya

NADES merupakan sistem pelarut hijau berbasis bahan alami yang tersusun dari dua atau lebih komponen, yakni donor dan akseptor ikatan hidrogen, yang bila dicampurkan dalam perbandingan molar tertentu akan membentuk cairan eutektik dengan titik leleh yang jauh lebih rendah dari komponen penyusunnya (Petrochenko *et al.*, 2023). Sebagian besar studi yang ditinjau, NADES diformulasikan dengan kolin klorida sebagai akseptor ikatan hidrogen, yang dikombinasikan dengan donor seperti asam organik (misalnya asam sitrat, laktat, malat), gula (glukosa, sukrosa), atau alkohol. Data pengaruh perbedaan jenis NADES terhadap yield kurkuminoid disajikan pada [Gambar 1](#) [Gambar 2](#).



Gambar 2 Hubungan komposisi donor-akseptor NADES dengan rata-rata yield kurkuminoid (data diadaptasi dari [Tabel 2](#))

Kolin klorida merupakan salah satu komponen NADES yang paling banyak diteliti karena ketersediaannya yang tinggi, tidak toksik, mudah terurai secara hayati, dan memiliki sifat fisikokimia menyerupai cairan ionik, sehingga menunjukkan kelarutan yang baik terhadap senyawa polar dan semi-polar, termasuk senyawa fenolik dan kurkuminoid (Koutsoukos *et al.*, 2019). Efektivitas kolin klorida dalam mengekstraksi kurkuminoid telah dibuktikan dalam berbagai studi. Liu *et al.* (2019) dan Patil *et al.* (2023) melaporkan bahwa kombinasi kolin klorida dan asam sitrat dalam rasio molar 1:1 memberikan hasil yang signifikan dalam mengekstraksi kurkuminoid dari *Curcuma longa*. Efektivitas ini diduga kuat berasal dari keseimbangan polaritas antara pelarut dan senyawa target, serta kemampuan sistem untuk membentuk ikatan hidrogen yang stabil dengan gugus fenolik kurkuminoid, sehingga meningkatkan kelarutan dan stabilitas senyawa selama proses ekstraksi (Sakurai *et al.*, 2024).

Selain asam organik, gula juga menjadi donor populer dalam formulasi NADES karena sifatnya yang ramah lingkungan dan kemampuan membentuk jaringan ikatan hidrogen yang kuat. Namun, NADES berbasis gula cenderung memiliki viskositas tinggi, yang dapat menurunkan efisiensi ekstraksi jika tidak dikombinasikan dengan metode berbantuan energi seperti UAE atau MAE (Coscarella *et al.*, 2024). Oleh karena itu, pemilihan komponen NADES harus mempertimbangkan keseimbangan antara selektivitas pelarut, viskositas, dan kompatibilitas dengan metode ekstraksi yang digunakan.

Menariknya, pendekatan inovatif telah dilaporkan oleh [Rodsamai et al. \(2024\)](#), yang mengeksplorasi NADES berbasis bahan lokal, yakni sirup nipah dan cuka nipah, sebagai donor dan akseptor. Formulasi tersebut menunjukkan kinerja ekstraksi kurkuminoid yang tinggi (43,04 mg/g), serta memberikan nilai tambah dari aspek keberlanjutan. Pemanfaatan bahan lokal berkontribusi pada pengurangan biaya dan ketergantungan terhadap bahan impor, sekaligus mendukung penerapan ekonomi sirkular melalui pengolahan limbah pertanian bernilai rendah menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi. Pendekatan ini memiliki relevansi penting untuk dikembangkan di Indonesia, mengingat potensi biodiversitas dan agroindustri tropis yang belum sepenuhnya dimanfaatkan dalam pengembangan pelarut hijau berbasis NADES.

Dengan demikian, keberhasilan ekstraksi kurkuminoid sangat dipengaruhi oleh desain komposisi NADES, yang tidak hanya menentukan kompatibilitas kimia dengan senyawa target, tetapi juga memengaruhi aspek teknis proses ekstraksi seperti kelarutan, stabilitas senyawa, dan viskositas pelarut. Tren penggunaan bahan lokal untuk formulasi NADES juga membuka peluang besar untuk pengembangan teknologi ekstraksi hijau yang berkelanjutan, kontekstual, dan berbasis potensi lokal. Untuk menjelaskan hubungan antara variasi donor dan akseptor NADES dengan rata-rata yield kurkuminoid, Gambar 2 disusun berdasarkan data Tabel 2 dengan membandingkan komposisi NADES dan hasil ekstraksi yang diperoleh, sehingga dapat dinilai korelasi antara jenis donor-akseptor yang digunakan dan efisiensi ekstraksi.

3.2 Metode Ekstraksi dan Pengaruhnya terhadap Yield

Tinjauan terhadap 11 artikel menunjukkan bahwa metode ekstraksi yang digunakan untuk mengekstrak kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae* meliputi empat teknik utama, yaitu MAE, UAE, *stirring/vortex-assisted extraction*, serta scCO_2 yang dikombinasikan dengan NADES sebagai *co-solvent*. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan keterbatasan yang memengaruhi efisiensi proses dan yield kurkuminoid yang dihasilkan.

Diantara semua metode tersebut, MAE menunjukkan performa paling unggul dalam hal efisiensi ekstraksi dan yield. Studi oleh [Patil et al. \(2023\)](#) mencatat yield kurkuminoid tertinggi, yakni sebesar 89,87 mg/g, menggunakan kombinasi NADES berbasis kolin klorida dan asam sitrat. Efektivitas MAE berasal dari mekanisme pemanasan volumetrik gelombang mikro, yang memungkinkan pelarut menembus jaringan tanaman dengan cepat, mengganggu dinding sel, dan mempercepat pelepasan senyawa aktif ([Chemat et al. 2012](#); [Alejandra et al. 2024](#)). Selain itu, MAE beroperasi dalam waktu sangat singkat dan pada suhu yang relatif moderat, sehingga mampu meminimalkan degradasi termal senyawa sensitif seperti kurkuminoid ([Ko et al., 2021](#)). Contohnya, [Rodsamai et al. \(2024\)](#) melaporkan yield sebesar 43,04 mg/g hanya dalam waktu 51 detik, menunjukkan efisiensi tinggi bahkan pada skala waktu ekstraksi yang sangat pendek.

UAE juga terbukti menjadi metode yang efektif, terutama dalam aplikasi NADES yang memiliki viskositas tinggi, seperti NADES berbasis gula (glukosa atau sukrosa). Gelombang ultrasonik dalam UAE menciptakan efek kavitasi, menghasilkan gelembung mikro yang meledak dan menyebabkan gangguan fisik pada dinding sel, sehingga mempercepat difusi pelarut dan pelepasan senyawa target ([Zabot et al. 2021](#)). [Patil et al. \(2021\)](#) menunjukkan bahwa UAE dapat menghasilkan yield kurkuminoid kompetitif, meskipun tidak setinggi MAE, namun tetap unggul dibandingkan metode konvensional.

Sementara itu, metode *stirring* dan *vortex-assisted extraction* menawarkan pendekatan yang lebih sederhana dan hemat energi. Metode ini banyak digunakan dalam studi awal atau skala laboratorium karena tidak memerlukan peralatan khusus. Namun, keterbatasan agitasi mekanis membuat metode ini kurang efektif dalam mengekstrak senyawa dari matriks padat yang kompleks seperti rimpang kunyit, terutama jika dikombinasikan dengan NADES yang cenderung memiliki viskositas tinggi. Studi oleh [Liu et al. \(2019\)](#) dan [Jovanović et al. \(2025\)](#) menunjukkan bahwa yield kurkuminoid dengan metode ini berkisar antara 21–31 mg/g, tergolong moderat dan membutuhkan waktu ekstraksi yang lebih lama.

Pendekatan yang lebih inovatif muncul dalam studi oleh [Stasiłowicz-Krzemień et al. \(2024\)](#), yang mengeksplorasi integrasi supercritical CO_2 (scCO_2) dengan NADES sebagai *co-solvent*. Teknik ini menggabungkan pelarut hijau superkritis CO_2 dengan NADES untuk mengekstrak kurkuminoid secara simultan. Dengan menggunakan kondisi ekstraksi pada 6500 PSI dan suhu 80 °C, studi ini berhasil memperoleh yield kurkuminoid sebesar 33,35 mg/g. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuan CO_2 dalam fase superkritis untuk menembus matriks tanaman secara efisien, sementara NADES meningkatkan selektivitas terhadap kurkuminoid. Selain efisiensinya, CO_2 bersifat non-toksik, mudah dieliminasi dari sistem, dan tidak meninggalkan residu dalam produk akhir ([Zhou et al. 2023](#); [Zhang et al., 2016](#)). Namun, tantangan utama dari pendekatan ini adalah kebutuhan terhadap peralatan bertekanan tinggi dan kontrol proses yang presisi, yang dapat membatasi aplikasinya di industri kecil-menengah.

Secara umum, hasil tinjauan ini menunjukkan bahwa pemilihan metode ekstraksi yang tepat sangat bergantung pada sifat fisik pelarut NADES, target senyawa, serta skala aplikasi. MAE unggul dalam kecepatan dan efisiensi, UAE efektif untuk sistem viskos, *stirring/vortex* cocok untuk eksplorasi awal, sementara scCO_2 -NADES menjanjikan sinergi teknologi mutakhir dengan prinsip keberlanjutan.

3.3 Pengaruh Kondisi Operasional

Kondisi operasional seperti suhu, waktu, dan rasio pelarut terhadap bahan memainkan peran krusial dalam menentukan efisiensi ekstraksi kurkuminoid. Tinjauan terhadap sebelas studi menunjukkan bahwa suhu ekstraksi yang digunakan bervariasi antara 30 hingga 80 °C. Suhu yang lebih tinggi umumnya mempercepat proses difusi pelarut ke dalam jaringan tanaman dan meningkatkan kelarutan senyawa bioaktif, termasuk kurkuminoid. Namun, peningkatan suhu yang tidak terkontrol dapat menyebabkan degradasi termal kurkuminoid, terutama dalam sistem pelarut dengan daya hantar panas tinggi seperti etanol atau air (Rosarina *et al.*, 2022).

Metode ekstraksi berbasis MAE dan scCO₂ secara khas menggunakan suhu tinggi, namun dikombinasikan dengan durasi ekstraksi yang sangat singkat, sehingga degradasi senyawa aktif dapat diminimalisir. MAE, misalnya, mampu menghasilkan kurkuminoid dalam waktu kurang dari satu menit dengan yield tinggi, sebagaimana dilaporkan oleh (Rodsamai *et al.*, 2024). Dalam konteks scCO₂, meskipun suhu mencapai 80 °C, tekanan tinggi dan lingkungan non-polar CO₂ mampu menjaga stabilitas kurkuminoid selama proses berlangsung.

Dari segi rasio pelarut terhadap bahan, sebagian besar studi menggunakan rasio antara 1:10 hingga 1:20 (v/w). Rasio pelarut yang lebih tinggi cenderung memberikan hasil yang lebih baik karena menyediakan volume pelarut yang cukup untuk melarutkan senyawa target secara maksimal. Namun demikian, peningkatan rasio pelarut juga perlu dipertimbangkan secara ekonomis dan ekologis, terutama dalam skala industri. Oleh karena itu, optimasi rasio menjadi penting agar efisiensi ekstraksi tetap tinggi tanpa meningkatkan konsumsi pelarut secara berlebihan.

Durasi ekstraksi juga menunjukkan variabilitas yang tinggi, mulai dari 30 detik (Rodsamai *et al.*, 2024) hingga 60 menit (Rosarina *et al.*, 2022). Variasi ini sangat dipengaruhi oleh metode ekstraksi yang digunakan. Pada metode UAE, waktu ekstraksi yang lebih panjang diperlukan untuk memberikan efek kavitasi optimal, yang meningkatkan permeabilitas membran sel dan memfasilitasi pelepasan senyawa aktif. Sebaliknya, MAE dan scCO₂ menunjukkan bahwa durasi yang singkat sudah cukup untuk mencapai efisiensi ekstraksi yang tinggi, berkat kemampuan metode tersebut dalam mempercepat pemanasan internal dan meningkatkan tekanan lokal di dalam jaringan tanaman.

Menurut Zhang *et al.* (2016), scCO₂ memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan metode konvensional berbasis pelarut organik, termasuk kecepatan ekstraksi yang lebih tinggi, hasil yang lebih besar, dan minimnya degradasi senyawa bioaktif. Selain itu, sifat superkritis CO₂ yang unik memungkinkan penetrasi mendalam ke dalam matriks tanaman serta pelarutan selektif terhadap senyawa lipofilik seperti kurkuminoid. Lebih lanjut, Zhou *et al.* (2023) menekankan bahwa suhu dan tekanan kritis CO₂ yang relatif rendah (31,1 °C dan 73,8 bar) menjadikannya ideal untuk mengekstrak senyawa yang sensitif terhadap panas, disamping mempertahankan struktur kimia alaminya. Keunggulan lain dari penggunaan CO₂ adalah kemudahannya untuk dihilangkan dari ekstrak akhir hanya dengan menurunkan tekanan, sehingga menghasilkan produk yang bebas residu dan lebih aman untuk aplikasi pangan dan farmasi.

Dengan demikian, pengaturan kondisi operasional yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam ekstraksi kurkuminoid menggunakan NADES. Pendekatan integratif yang mempertimbangkan suhu, waktu, dan rasio pelarut secara sinergis tidak hanya menentukan efisiensi proses, tetapi juga berdampak langsung pada kualitas ekstrak akhir.

3.4 Yield Kurkuminoid dan Efektivitas Pelarut

Hasil yield kurkuminoid sangat bervariasi, dari yang terendah 4,58 mg/g (Ariestanti *et al.*, 2025), hingga yang tertinggi 89,87 mg/g (Patil *et al.*, 2023). Perbedaan ini sangat dipengaruhi oleh: (1) Spesies tanaman yang digunakan: *Curcuma longa* memiliki kandungan kurkuminoid lebih tinggi dibanding *Curcuma xanthorrhiza* atau *Curcuma aromatica*. (2) Jenis NADES: NADES dengan gugus asam (sitrat atau laktat) cenderung meningkatkan solubilitas dan stabilitas kurkuminoid dibanding NADES berbasis gula atau alkohol (Silva *et al.*, 2020). (3) Metode ekstraksi: MAE unggul secara signifikan karena efek pemanasan cepat dan efisien.

Perbandingan dengan pelarut konvensional juga menunjukkan bahwa NADES mampu menghasilkan yield kurkuminoid yang lebih tinggi dan lebih stabil, disamping menghindari risiko toksisitas dan limbah pelarut organik. Sebagai contoh, yield kurkuminoid dengan 80% metanol atau etanol berkisar antara 22,95–26,42 mg/g (Stasiłowicz-Krzemień *et al.*, 2024), lebih rendah dibandingkan NADES-MAE (43–89 mg/g).

Namun demikian, tinjauan ini masih memiliki keterbatasan karena hanya mengulas data yang tersedia pada studi literatur yang terpublikasi, sehingga belum mencakup data percobaan skala pilot atau komersial serta belum menganalisis aspek ekonomi dan potensi penerapan industri secara mendalam.

4. Kesimpulan

Tinjauan sistematis ini menegaskan bahwa penggunaan NADES merupakan pendekatan yang menjanjikan dalam meningkatkan efisiensi, selektivitas, dan keberlanjutan proses ekstraksi kurkuminoid dari rimpang *Zingiberaceae*. Hasil kajian menunjukkan bahwa formulasi NADES berbasis kolin klorida dengan asam organik seperti asam sitrat dan asam laktat secara konsisten menghasilkan yield yang tinggi, terutama ketika dikombinasikan dengan metode ekstraksi berbantuan energi seperti MAE dan UAE. Temuan ini menunjukkan bahwa desain komposisi NADES yang tepat, disertai pemilihan metode ekstraksi yang sesuai, dapat mengatasi keterbatasan pelarut organik konvensional dan menghasilkan ekstrak yang lebih efisien serta ramah lingkungan. Selain itu, pemanfaatan bahan lokal untuk formulasi NADES, seperti sirup dan cuka nipah, membuka peluang besar untuk pengembangan pelarut hijau berbasis sumber daya hayati tropis. Secara keseluruhan, studi ini berkontribusi pada penguatan landasan ilmiah dan praktis dalam pengembangan teknologi ekstraksi hijau berbasis NADES untuk aplikasi di bidang pangan fungsional, kosmetik alami, dan fitofarmaka. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengeksplorasi stabilitas senyawa dalam NADES, potensi toksisitas residu, serta validasi pada skala industri

5. Referensi

- Alejandra Sophia Lozano, P., Sophia, A., 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 the Strengths and Weaknesses. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/jmmp8030121>
- Argel-Pérez, S., Gañán-Rojo, P., Cuartas-Marulanda, D., Gómez-Hoyos, C., Velázquez-Cock, J., Vélez-Acosta, L., Zuluaga, R., & Serpa-Guerra, A. (2024). Characterization of a Novel Starch Isolated from the Rhizome of Colombian Turmeric (*Curcuma longa* L.) Cultivars. *Foods*, 13(1). <https://doi.org/10.3390/foods13010007>
- Ariestanti, D. M., Mun'im, A., Hartrianti, P., Nadia, B., Chriscensia, E., Rattu, S. A., Fadhila, R., Harianto, A., Simamora, A., Ramadon, D., James, R. J., Saputri, F. C., Kato, M., & Puteri, M. U. (2025). Ultrasonic-assisted extraction (UAE) of Javanese turmeric rhizomes using natural deep eutectic solvents (NADES): Screening, optimization, and in vitro cytotoxicity evaluation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 114(February), 107271. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107271>
- Chemat, F., Vian, M. A., & Cravotto, G. (2012). Green extraction of natural products: Concept and principles. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 13, Issue 7). <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Coscarella, M., Nardi, M., Alipieva, K., Bonacci, S., Popova, M., Procopio, A., Scarpelli, R., & Simeonov, S. (2024). Alternative Assisted Extraction Methods of Phenolic Compounds Using NaDESs. In *Antioxidants* (Vol. 13, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/antiox13010062>
- Delgado, Y., Cassé, C., Ferrer-Acosta, Y., Suárez-Arroyo, I. J., Rodríguez-Zayas, J., Torres, A., Torres-Martínez, Z., Pérez, D., González, M. J., Velázquez-Aponte, R. A., Andino, J., Correa-Rodríguez, C., Franco, J. C., Milán, W., Rosario, G., Velázquez, E., Vega, J., Colón, J., & Batista, C. (2021). Biomedical effects of the phytonutrients turmeric, garlic, cinnamon, graviola, and oregano: A comprehensive review. In *Applied Sciences* (Switzerland) (Vol. 11, Issue 18). <https://doi.org/10.3390/app11188477>
- Doldolova, K., Bener, M., Lalikoğlu, M., Aşçı, Y. S., Arat, R., & Apak, R. (2021). Optimization and modeling of microwave-assisted extraction of curcumin and antioxidant compounds from turmeric by using natural deep eutectic solvents. *Food Chemistry*, 353. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129337>
- Jakubczyk, K., Drużga, A., Katarzyna, J., & Skonieczna-żydecka, K. (2020). Antioxidant potential of curcumin—a meta-analysis of randomized clinical trials. *Antioxidants*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/antiox9111092>
- Jovanović, J., Jović, M., Trifković, J., Smiljanić, K., Gašić, U., Krstić Ristivojević, M., & Ristivojević, P. (2025). Green Extraction of Bioactives from *Curcuma longa* Using Natural Deep Eutectic Solvents: Unlocking Antioxidative, Antimicrobial, Antidiabetic, and Skin Depigmentation Potentials. *Plants*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/plants14020163>
- Ko, J. A., Ryu, Y. B., Lee, W. S., Ameer, K., & Kim, Y. M. (2021). Optimization of microwave-assisted

- green method for enhanced solubilization of water-soluble curcuminoids prepared using steviol glycosides. *Foods*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112803>
- Koutsoukos, S., Tsiaka, T., Tzani, A., Zoumpoulakis, P., & Detsi, A. (2019). Choline chloride and tartaric acid, a Natural Deep Eutectic Solvent for the efficient extraction of phenolic and carotenoid compounds. *Journal of Cleaner Production*, 241. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118384>
- Liu, Y., Li, J., Fu, R., Zhang, L., Wang, D., & Wang, S. (2019). Enhanced extraction of natural pigments from *Curcuma longa* L. using natural deep eutectic solvents. *Industrial Crops and Products*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111620>
- Martinović, M., Krgović, N., Nešić, I., Žugić, A., & Tadić, V. M. (2022). Conventional vs. Green Extraction Using Natural Deep Eutectic Solvents—Differences in the Composition of Soluble Unbound Phenolic Compounds and Antioxidant Activity. *Antioxidants*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/antiox11112295>
- Patil, S. S., Pathak, A., & Rathod, V. K. (2021). Optimization and kinetic study of ultrasound assisted deep eutectic solvent based extraction: A greener route for extraction of curcuminoids from *Curcuma longa*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105267>
- Patil, S. S., & Rathod, V. K. (2023). Extraction and purification of curcuminoids from *Curcuma longa* using microwave assisted deep eutectic solvent based system and cost estimation. *Process Biochemistry*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.11.010>
- Petrochenko, A. A., Orlova, A., Frolova, N., Serebryakov, E. B., Soboleva, A., Flisyuk, E. V., Frolov, A., & Shikov, A. N. (2023). Natural Deep Eutectic Solvents for the Extraction of Triterpene Saponins from *Aralia elata* var. *mandshurica* (Rupr. & Maxim.) J. Wen. *Molecules*, 28(8). <https://doi.org/10.3390/molecules28083614>
- Rodsamai, T., Chaijan, M., Nisoa, M., Donlao, N., Rawdkuen, S., Chunglok, W., Cheong, L. Z., & Panpipat, W. (2024). Improved Curcumin Recovery and In Vitro Biological Activity of Turmeric Extracts Using Nipa Palm Syrup– and Nipa Palm Vinegar–Based Natural Deep Eutectic Solvent (NADES) Hybridized with Microwave-Assisted Extraction. *Food and Bioprocess Technology*, 17(7). <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03253-4>
- Rosarina, D., Narawangsa, D. R., Chandra, N. S. R., Sari, E., & Hermansyah, H. (2022). Optimization of Ultrasonic—Assisted Extraction (UAE) Method Using Natural Deep Eutectic Solvent (NADES) to Increase Curcuminoid Yield from *Curcuma longa* L., *Curcuma xanthorrhiza*, and *Curcuma mangga* Val. *Molecules*, 27(18). <https://doi.org/10.3390/molecules27186080>
- Sainakhm, M., Jantrawut, P., Kiattisin, K., Chittasupho, C., & Singh, S. (2023). Potential of green extraction using edible deep eutectic solvents on the bioactivities from *Curcuma aromatica* rhizome extracts for food application. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100868>
- Sakurai, Y. C. N., Pires, I. V., Ferreira, N. R., Moreira, S. G. C., Silva, L. H. M. da, & Rodrigues, A. M. da C. (2024). Preparation and Characterization of Natural Deep Eutectic Solvents (NADESs): Application in the Extraction of Phenolic Compounds from Araza Pulp (*Eugenia stipitata*). *Foods*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/foods13131983>
- Silva, D. T. da, Pauletto, R., Cavalheiro, S. da S., Bochi, V. C., Rodrigues, E., Weber, J., Silva, C. de B. da, Morisso, F. D. P., Barcia, M. T., & Emanuelli, T. (2020). Natural deep eutectic solvents as a biocompatible tool for the extraction of blueberry anthocyanins. *Journal of Food Composition and Analysis*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103470>
- Simamora, A., Timotius, K. H., Setiawan, H., Saputri, F. A., Putri, C. R., Aryani, D., Ningrum, R. A., & Mun'im, A. (2024). Ultrasonic-Assisted Extraction of Xanthorrhizol from *Curcuma xanthorrhiza* Roxb. Rhizomes by Natural Deep Eutectic Solvents: Optimization, Antioxidant Activity, and Toxicity Profiles. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 29(9). <https://doi.org/10.3390/molecules29092093>
- Stasiłowicz-Krzemień, A., Wójcik, J., Gościński, A., Szymański, M., Szulc, P., Górecki, K., & Cielecka-Piontek, J. (2024). Natural Deep Eutectic Solvents Combined with Supercritical Carbon Dioxide for the Extraction of Curcuminoids from Turmeric. *Pharmaceuticals*, 17(12). <https://doi.org/10.3390/ph17121596>
- Zabot, G. L., Viganó, J., & Silva, E. K. (2021). Low-frequency ultrasound coupled with high-pressure

- technologies: Impact of hybridized techniques on the recovery of phytochemical compounds. In *Molecules* (Vol. 26, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/molecules26175117>
- Zhang, J., Zhou, X., & Fu, M. (2016). Integrated utilization of red radish seeds for the efficient production of seed oil and sulforaphene. *Food Chemistry*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.051>
- Zhou, P., Wang, X., Liu, P., Huang, J., Wang, C., Pan, M., & Kuang, Z. (2018). Enhanced phenolic compounds extraction from *Morus alba* L. leaves by deep eutectic solvents combined with ultrasonic-assisted extraction. *Industrial Crops and Products*, 120. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.071>
- Zhou, W., Li, J., Wang, X., Liu, L., Li, Y., Song, R., Zhang, M., & Li, X. (2023). Research Progress on Extraction, Separation, and Purification Methods of Plant Essential Oils. In *Separations* (Vol. 10, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/separations10120596>
-