

Ekstraksi Flavonoid Dari Daun Kelor (*Moringa Oleifera*) Menggunakan Metode *Ultrasound Assisted Extraction* (UAE)

Mukhammad Irfan Yofi Setiawan, Nadira Aurelia, Nove Kartika Erliyanti*

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

*Koresponden email: nove.kartika.nke.tk@upnjatim.ac.id

Diterima: 2 Juli 2026

Disetujui: 07 Juli 2026

Abstract

Moringa oleifera leaves are a source of flavonoid compounds that have high antioxidant activity so they have the potential to be used as raw materials in the food, pharmaceutical, and health industries. This study aims to evaluate the effect of extraction time and the mole ratio of choline chloride and citric acid-based Natural Deep Eutectic Solvent (NADES) on extract yield, Total Flavonoid Content (TFC), and mass transfer characteristics in the flavonoid extraction process using the Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) method. The extraction time variations used were 10, 20, 30, 40, and 50 minutes, while the mole ratio of choline chloride to citric acid included 1:0.5, 1:0.75, 1:1, 1:1.25, and 1:1.5. The extract obtained was analyzed for its yield value, then the total flavonoid content was determined using the $AlCl_3$ method with a UV-Vis spectrophotometer at a wavelength of 437 nm. In addition, the volumetric mass transfer coefficient (kLa) was calculated to describe the extraction kinetics. The results showed that variations in extraction time and NADES solvent composition affected the yield, total flavonoid content, and mass transfer characteristics. The highest yield of 30.1333% was obtained at a mole ratio of 1:1 with an extraction time of 50 minutes. The highest equilibrium concentration (C_s) value was also produced by a mole ratio of 1:1, which indicates the solvent's ability to optimally dissolve flavonoids. Based on these results, a mole ratio of choline chloride and citric acid of 1:1 is the best condition for the extraction of moringa leaf flavonoids using the UAE method.

Keywords: *moringa leaves, flavonoids, ultrasound-assisted extraction, natural deep eutectic solvent, mass transfer coefficient*

Abstrak

Daun kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu sumber senyawa *flavonoid* yang memiliki aktivitas antioksidan tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri pangan, farmasi, dan kesehatan. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut *Natural Deep Eutectic Solvent* (NADES) berbasis kolin klorida dan asam sitrat terhadap rendemen ekstrak, *Total Flavonoid Content* (TFC), serta karakteristik perpindahan massa pada proses ekstraksi *flavonoid* menggunakan metode *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE). Variasi waktu ekstraksi yang digunakan adalah 10, 20, 30, 40, dan 50 menit, sedangkan rasio mol kolin klorida terhadap asam sitrat meliputi 1:0,5, 1:0,75, 1:1, 1:1,25, dan 1:1,5. Ekstrak yang diperoleh dianalisis nilai rendemennya, kemudian kadar *flavonoid* total ditentukan menggunakan metode $AlCl_3$ dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 437 nm. Selain itu, dilakukan perhitungan koefisien perpindahan massa volumetrik (kLa) untuk menggambarkan kinetika ekstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu ekstraksi dan komposisi pelarut NADES memengaruhi rendemen, kadar *flavonoid* total, serta karakteristik perpindahan massa. Rendemen tertinggi sebesar 30,1333% diperoleh pada rasio mol 1:1 dengan waktu ekstraksi 50 menit. Nilai konsentrasi kesetimbangan (C_s) tertinggi juga dihasilkan oleh rasio mol 1:1 yang menunjukkan kemampuan pelarut dalam melarutkan *flavonoid* paling optimal. Berdasarkan hasil tersebut, rasio mol kolin klorida dan asam sitrat sebesar 1:1 merupakan kondisi terbaik untuk ekstraksi *flavonoid* daun kelor menggunakan metode UAE.

Kata Kunci: *daun kelor, flavonoid, ultrasound-assisted extraction, natural deep eutectic solvent, koefisien perpindahan massa*

1. Pendahuluan

Daun kelor (*Moringa oleifera*) merupakan salah satu bagian tanaman yang banyak dimanfaatkan karena mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti polifenol, asam fenolat, flavonoid, alkaloid, glukosinolat, isothiosianat, tanin, dan saponin. Di antara berbagai senyawa tersebut, flavonoid utama yang terdapat pada daun kelor adalah myricetin, quercetin, dan kaempferol. Ketiga senyawa tersebut diketahui memiliki aktivitas antioksidan dan antiinflamasi yang tinggi sehingga berpotensi dikembangkan sebagai

bahan baku pada bidang pangan, farmasi, maupun kesehatan[1]. Keberhasilan proses isolasi flavonoid sangat dipengaruhi oleh metode ekstraksi yang digunakan. Metode konvensional seperti maserasi dan *soxhletasi* masih sering diterapkan karena prosedurnya sederhana. Namun, kedua metode tersebut memerlukan waktu ekstraksi yang relatif lama serta menghasilkan rendemen yang belum optimal[2]. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa ekstraksi daun kelor menggunakan metode maserasi dengan pelarut etanol pada suhu 30°C selama 24 jam menghasilkan *yield* sebesar 2,15%[3]. Penelitian lain menunjukkan bahwa maserasi menggunakan etanol 70% selama 24 jam pada suhu 25°C menghasilkan kadar flavonoid total sebesar $0,8445 \pm 4,1385\%$ b/b [4]. Selain itu, maserasi menggunakan etanol 70% selama 3×24 jam menghasilkan rendemen sebesar 26% pada daun kelor yang dikeringkan menggunakan oven bersuhu 40°C dan sebesar 22% pada daun yang dikeringkan secara alami[5]. Penelitian lainnya juga menyatakan bahwa proses maserasi selama 24 jam menghasilkan total flavonoid sebesar 90,8 mg QE/g ekstrak atau setara dengan $9,08 \pm 1,532\%$ [6].

Salah satu metode yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi adalah *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE). Metode ini memanfaatkan gelombang ultrasonik yang menghasilkan fenomena kavitasasi akustik berupa pembentukan dan pecahnya gelembung mikro di dalam pelarut. Peristiwa tersebut menghasilkan energi yang mampu merusak struktur dinding sel tanaman sehingga mempercepat penetrasi pelarut ke dalam jaringan bahan. Akibatnya, proses difusi senyawa bioaktif berlangsung lebih cepat dan perpindahan massa menjadi lebih efektif dibandingkan metode ekstraksi konvensional[7]. Efektivitas metode UAE telah dibuktikan dalam berbagai penelitian. Perbandingan antara metode maserasi, *soxhletasi*, *Microwave-Assisted Extraction* (MAE), dan UAE menunjukkan bahwa MAE menggunakan etanol pada daya 600 W selama 30 menit menghasilkan kadar flavonoid sebesar $22,12 \pm 0,61$ mg QE/g, sedangkan UAE menggunakan etanol pada suhu 30°C selama 10 menit menghasilkan kadar flavonoid sebesar $23,18 \pm 0,44$ mg QE/g. Hasil tersebut menunjukkan bahwa UAE mampu menghasilkan kadar flavonoid yang lebih tinggi dengan waktu proses yang jauh lebih singkat[8]. Penelitian lain juga menyatakan bahwa ekstraksi daun kelor menggunakan UAE pada suhu 30°C selama 30 menit dengan perbandingan bahan terhadap pelarut 1:10 (b/v) menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 35,89% [9].

Selain metode ekstraksi, jenis pelarut turut menentukan keberhasilan proses ekstraksi flavonoid. *Natural Deep Eutectic Solvent* (NADES) merupakan pelarut ramah lingkungan yang tersusun atas *Hydrogen Bond Acceptor* (HBA) dan *Hydrogen Bond Donor* (HBD) dengan perbandingan tertentu sehingga membentuk sistem eutektik yang memiliki titik leleh rendah. Kombinasi kolin klorida sebagai HBA dan asam sitrat sebagai HBD merupakan salah satu formulasi NADES yang banyak digunakan karena memiliki toksisitas rendah, mudah terurai, serta mampu meningkatkan kelarutan senyawa fenolik melalui pembentukan ikatan hidrogen[10]. Penggunaan NADES juga terbukti mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi dibandingkan pelarut konvensional. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa ekstraksi menggunakan etanol 70% dengan metode UAE pada suhu 50°C selama 30 menit dan daya 420 W menghasilkan total flavonoid sebesar $23,09 \pm 1,47$ mg RT/g. Sementara itu, penggunaan NADES berbasis kolin klorida dan asam sitrat dengan rasio mol 1:1, suhu 60°C, waktu ekstraksi 30 menit, serta penambahan air sebanyak 40% (v/v) menghasilkan total flavonoid sebesar $51,45 \pm 0,64$ mg RT/g. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan lebih dari dua kali lipat dibandingkan penggunaan pelarut etanol[11].

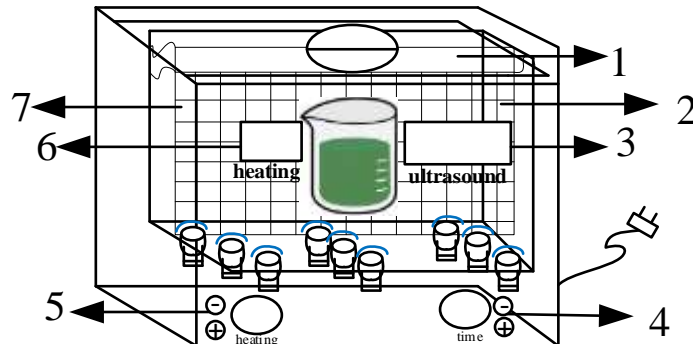
Berdasarkan berbagai hasil penelitian tersebut, kombinasi metode *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) dengan pelarut *Natural Deep Eutectic Solvent* (NADES) memiliki potensi untuk meningkatkan efektivitas ekstraksi flavonoid dari daun kelor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol NADES berbasis kolin klorida dan asam sitrat terhadap *yield* ekstrak, *Total Flavonoid Content* (TFC), serta karakteristik perpindahan massa ekstraksi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai kondisi ekstraksi yang paling efektif untuk memperoleh flavonoid daun kelor dengan kualitas yang optimal.

2. Metode Penelitian

Alat Bahan

Penelitian ini dilaksanakan selama tujuh bulan di Laboratorium Riset Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Bahan utama yang digunakan berupa daun kelor (*Moringa oleifera*) yang berasal dari Desa Kejapanan, Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Daun kelor dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 10 menit sebelum digunakan sebagai bahan ekstraksi. Bahan baku pendukung lainnya untuk proses ekstraksi adalah aquadest, kolin klorida ($((\text{CH}_3)_3\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{OH})+\text{Cl}^-$) (chemindo) dan asam sitrat ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$) (Merck). Sedangkan bahan baku untuk analisis nilai TFC meliputi Natrium asetat (CH_3COONa) 1 M (chemindo) dan aluminium

klorida (AlCl_3) 10% (chemindo), yang diperoleh dari CV Chemindo Multi Sentosa, Surabaya serta metanol (CH_3OH) dan kuersetin ($\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7$) (Sigma aldrich) yang diperoleh dari Sumber ilmiah persada, Surabaya. Proses ekstraksi dalam penelitian ini dilakukan menggunakan seperangkat alat *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) tipe *cleaning bath* yang disajikan pada **Gambar 1**. Peralatan pendukung yang digunakan yaitu rotary evaporator, timbangan analitik, kertas saring Beimu diameter 11 cm, spektrofotometer UV-Vis, piknometer dan *beaker glass*.



Gambar 1. Rangkaian Alat Ultrasound Assisted Extraction
Keterangan : (1) Tutup sonikator, (2) Badan sonikator, (3) Penunjuk waktu, (4) Pengatur waktu, (5) Penunjuk suhu, (6) Pengatur suhu, (7) Keranjang sampel

Prosedur

Penelitian dilakukan di Laboratorium Membran Teknik Kimia, UPN “Veteran” Jawa Timur. Prosedur penelitian dibagi menjadi 3 tahapan meliputi persiapan bahan baku, percobaan dan analisa.

1. Persiapan bahan baku

Daun kelor segar dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan debu dan kotoran yang menempel pada permukaannya. Selanjutnya daun dikeringkan menggunakan oven pada suhu 40°C selama 10 menit. Bahan yang telah kering kemudian diperkecil ukurannya menggunakan *crusher*, kemudian diayak hingga diperoleh ukuran partikel 60 *mesh*. Ukuran partikel yang seragam digunakan untuk meningkatkan luas permukaan kontak antara bahan dan pelarut selama proses ekstraksi.

2. Pembuatan pelarut NADES

Kolin klorida dan asam sitrat dengan perbandingan sesuai dengan variabel berubah dilarutkan menggunakan 50% aquadest dengan *magnetic stirrer* dan *hotplate* pada temperatur 40°C hingga tercampur homogen.

3. Tahap ekstraksi

Sebanyak 20 gram serbuk daun kelor dimasukkan ke dalam *beaker glass*, kemudian ditambahkan pelarut NADES dengan perbandingan bahan terhadap pelarut sebesar 1:10. Variasi rasio mol kolin klorida dan asam sitrat yang digunakan meliputi 1:0,5, 1:0,75, 1:1, 1:1,25, dan 1:1,5. Campuran tersebut diekstraksi menggunakan alat *Ultrasound-Assisted Extraction* tipe *cleaning bath* pada suhu 30°C dengan variasi waktu ekstraksi selama 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Setelah proses ekstraksi selesai, campuran dipisahkan menggunakan kertas saring Beimu berdiameter 11 cm sehingga diperoleh filtrat ekstrak daun kelor. Filtrat kemudian diuapkan menggunakan rotary evaporator pada suhu 45°C dengan tekanan operasi 35 sampai 80 mbar, ΔP sebesar 45 mbar, serta kecepatan putar 55 rpm selama 45 menit hingga diperoleh ekstrak kental. Ekstrak tersebut selanjutnya digunakan untuk analisis kuantitatif.

4. Uji flavonoid spektrofotometer Uv-Vis

Analisis kadar flavonoid total dilakukan menggunakan metode *kolorimetri* aluminium klorida (AlCl_3) dengan spektrofotometer UV-Vis. Larutan natrium asetat 1 M dibuat dengan melarutkan 8,2 gram natrium asetat ke dalam 100 mL aquadest. Larutan aluminium klorida 10% diperoleh dengan melarutkan 10 gram AlCl_3 ke dalam pelarut yang sesuai. Larutan standar kuersetin 100 ppm dibuat dengan melarutkan 10 mg kuersetin ke dalam 100 mL aquadest. Larutan blanko terdiri atas 2 mL metanol, 0,1 mL AlCl_3 10%, 0,1 mL natrium asetat, dan 2,8 mL aquades. Larutan standar dibuat menggunakan 2 mL larutan kuersetin 100 ppm dengan komposisi pereaksi yang sama. Seluruh larutan diinkubasi selama 40 menit pada suhu ruang dalam kondisi terlindung dari cahaya menggunakan aluminium foil, kemudian diukur pada panjang gelombang maksimum. Kurva kalibrasi dibuat menggunakan larutan standar kuersetin dengan konsentrasi 6, 10, 14,5, 19,5, dan 23,5 ppm. Masing-masing larutan direaksikan dengan aluminium klorida, natrium asetat, dan

akuades, kemudian diinkubasi selama 40 menit sebelum dilakukan pengukuran absorbansi pada panjang gelombang 437 nm.

Analisis kuantitatif

1. Yield

Persentase *yield* ditentukan dengan membandingkan berat ekstrak kental yang diperoleh setelah proses evaporasi terhadap berat awal simplisia daun kelor yang digunakan sebagai bahan baku. Berat awal bahan sebesar 20 gram, sedangkan berat ekstrak diperoleh setelah seluruh pelarut diuapkan menggunakan *rotary evaporator*. Persentase *yield* dihitung menggunakan Persamaan (1) [12]:

$$\% \text{ yield} = \left(\frac{W_2}{W_1} \right) \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

W1 = berat bahan awal (gr)

W2 = berat ekstrak (gr)

2. Total Flavonoid

Ekstrak kental yang diperoleh dilarutkan kembali menggunakan metanol hingga mencapai konsentrasi tertentu. Larutan sampel kemudian direaksikan dengan aluminium klorida, natrium asetat, dan akuades sehingga terbentuk kompleks berwarna kuning yang stabil. Setelah proses inkubasi selesai, absorbansi diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Nilai *Total Flavonoid Content* dihitung berdasarkan persamaan regresi dari kurva standar kuersetin dan dinyatakan sebagai mg Quercetin Equivalent (QE) per gram ekstrak sesuai Persamaan (2) dan Persamaan (3)[13]:

$$\text{Garis regresi linear (Y) = } ax + b \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

Y = Nilai absorpsi

X = konsentrasi (µg/ml)

a = intersep

b = slope

$$\text{Kandungan flavonoid total} = \frac{(x \times v \times fp)}{g} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

x : konsentrasi quercetin dari kurva standar (µg/mL)

fp: faktor pengenceran

v : volume ekstrak (mL)

g : berat ekstrak (mg)

3. Koefisien Massa Ekstraksi

Karakteristik perpindahan massa dianalisis menggunakan pendekatan koefisien perpindahan massa *volumetrik* (kLa). Perhitungan dilakukan berdasarkan perubahan konsentrasi zat terlarut selama proses ekstraksi padat-cair. Model matematis yang digunakan mengikuti Persamaan (4) hingga Persamaan (7), sehingga diperoleh nilai kLa dari hubungan linear antara $\ln\{C_s/(C_s - C_t)\}$ terhadap waktu ekstraksi [14]:

$$N = \frac{d(CV)}{dt} = K_{La} \cdot V_L (C - C_0) \dots \dots \dots (4)$$

Jika volume larutan (V) tetap, maka akan diperoleh persamaan:

$$K_{La} \cdot d_t = \frac{dC}{(C - C_0)} \dots \dots \dots (5)$$

$$K_{La} \cdot \int d_t = \int \frac{dC}{(C - C_0)} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan mengintegrasikan Persamaan (5) pada rentang waktu dari $t = 0$ hingga $t = t$ serta rentang konsentrasi dari $C_0 = 0$ sampai $C = C$, diperoleh hubungan matematis yang menggambarkan perubahan konsentrasi zat terlarut terhadap waktu selama proses ekstraksi, sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut :

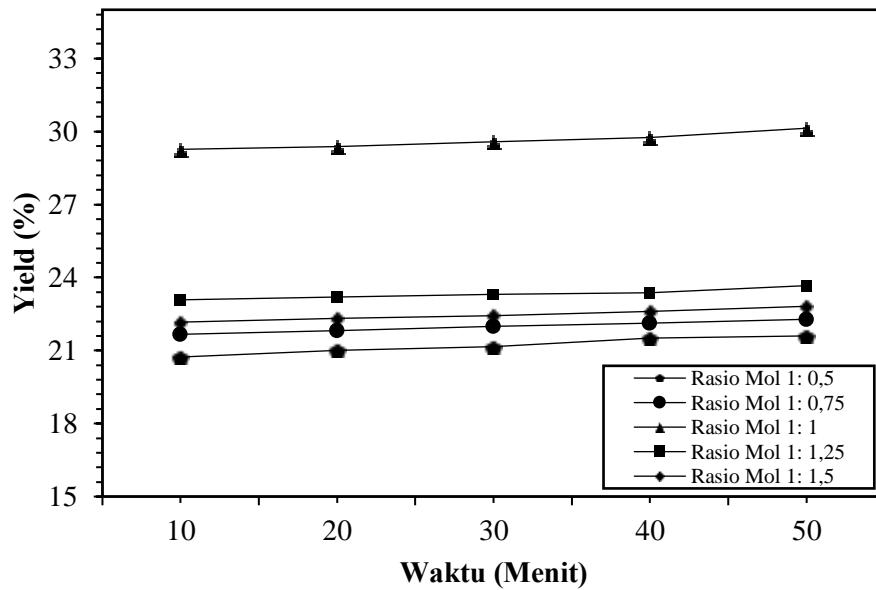
$$\ln \left(\frac{C}{(C - C_0)} \right) = K_{La} \cdot t \dots \dots \dots (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Waktu Ekstraksi Dan Rasio Mol Pelarut Terhadap Yield Ekstrak Daun Kelor

Proses ekstraksi flavonoid dari daun *Moringa oleifera* menggunakan metode *Ultrasound-Assisted Extraction (UAE)* dengan pelarut *Natural Deep Eutectic Solvent (NADES)* menghasilkan nilai *yield* yang berbeda pada setiap kombinasi waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa kedua variabel memberikan pengaruh terhadap kemampuan pelarut dalam mengekstraksi senyawa

bioaktif dari jaringan daun kelor. Hubungan antara waktu ekstraksi, rasio mol pelarut, dan nilai *yield* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut terhadap *yield* ekstrak daun kelor

Berdasarkan Gambar 2, peningkatan waktu ekstraksi dari 10 hingga 50 menit meningkatkan *yield* ekstrak daun kelor dari 20,7333% menjadi 30,1333%. Meskipun demikian, peningkatan tersebut relatif kecil dibandingkan pengaruh rasio mol NADES. Seluruh nilai *yield* yang diperoleh telah memenuhi persyaratan Farmakope Herbal Indonesia, yaitu tidak kurang dari 9,2% [15]. Peningkatan *yield* pada awal ekstraksi dipengaruhi oleh prinsip kerja *Ultrasound-Assisted Extraction* (UAE) yang memanfaatkan fenomena kavitasi akustik. Gelombang ultrasonik menghasilkan gelembung mikroskopis yang tumbuh dan kemudian mengalami kolaps, sehingga menghasilkan tekanan dan suhu lokal yang tinggi [16]. Energi tersebut mampu merusak dinding sel tanaman, memperbesar luas kontak antara pelarut dan matriks, serta mempercepat difusi senyawa flavonoid ke dalam pelarut. Akibatnya, laju transfer massa meningkat sehingga proses ekstraksi menjadi lebih cepat dan efisien dibandingkan metode konvensional [17]. Peningkatan waktu ekstraksi dari menit ke 30 hingga menit ke 50 sebesar 29,5833%-30,1333% disebabkan karena semakin lama waktu ekstraksi, maka senyawa yang berdifusi ke dalam pelarut juga akan semakin banyak. Namun, pada rentang waktu tersebut, menit ke 30 hingga ke 50 peningkatan *yield* mulai melambat. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem ekstraksi telah mendekati kesetimbangan, sehingga perbedaan konsentrasi antara matriks dan pelarut semakin kecil dan laju perpindahan massa menurun [18]. Selain itu, paparan ultrasonik yang terlalu lama menyebabkan akumulasi energi panas (*local hotspots*) yang dapat memicu degradasi sebagian senyawa fitokimia sensitif terhadap panas [19]. Akan tetapi pada penelitian ini hingga waktu ekstraksi 50 menit masih dalam batas aman tanpa degradasi, sehingga kondisi ekstraksi masih tergolong optimum.

Rasio mol NADES kolin klorida: asam sitrat memberikan pengaruh yang lebih signifikan terhadap *yield* dibandingkan waktu ekstraksi. *Yield* tertinggi diperoleh pada rasio mol 1:1, yaitu sebesar 30,1333%, sedangkan *yield* terendah dihasilkan pada rasio mol NADES 1:0,5 yaitu sebesar 20,7333%. Pada rasio mol 1:1 terbentuk komposisi eutektik yang menghasilkan jaringan ikatan hidrogen paling stabil antara *Hydrogen Bond Acceptor* (HBA) kolin klorida dan *Hydrogen Bond Donor* (HBD) asam sitrat [20]. Kondisi tersebut menghasilkan pelarut dengan titik leleh rendah, polaritas yang sesuai, serta viskositas yang baik sehingga kemampuan melarutkan flavonoid meningkat. Selain itu, NADES pada rasio 1:1 juga memiliki kemampuan *wetting* yang baik sehingga penetrasi pelarut ke dalam jaringan daun menjadi lebih efektif dan mempercepat perpindahan massa [21]. Pada tren menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai *yield* pada rasio mol lebih dari 1:1, seperti 1:1,25 yaitu sebesar 23,0833%. Penurunan ini disebabkan adanya peningkatan jumlah asam sitrat yang menyebabkan terbentuknya ikatan hidrogen yang lebih rapat sehingga viskositas pelarut meningkat [22]. Viskositas yang tinggi menghambat penetrasi pelarut ke dalam matriks tanaman, menurunkan koefisien difusi, serta mengurangi efisiensi transfer massa [23]. Selain itu, viskositas yang tinggi juga meredam propagasi gelombang ultrasonik sehingga intensitas kavitasi berkurang. Akibatnya, kerusakan dinding sel dan pelepasan senyawa bioaktif menjadi kurang optimal. Sebaliknya, apabila

intensitas kavitasi terlalu tinggi, terbentuk gelembung berisi uap (*vapor-filled bubbles*) yang dapat meredam energi implosi dan meningkatkan risiko degradasi senyawa bioaktif [24]. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio mol NADES merupakan faktor yang lebih dominan dibandingkan waktu ekstraksi dalam meningkatkan *yield* ekstrak daun kelor. Nilai *yield* tertinggi diperoleh pada waktu ekstraksi 50 menit dengan rasio mol NADES 1:1, sebesar 30,1333%, karena memberikan kesetimbangan terbaik antara efisiensi kavitasi ultrasonik, transfer massa, dan sifat fisikokimia pelarut.

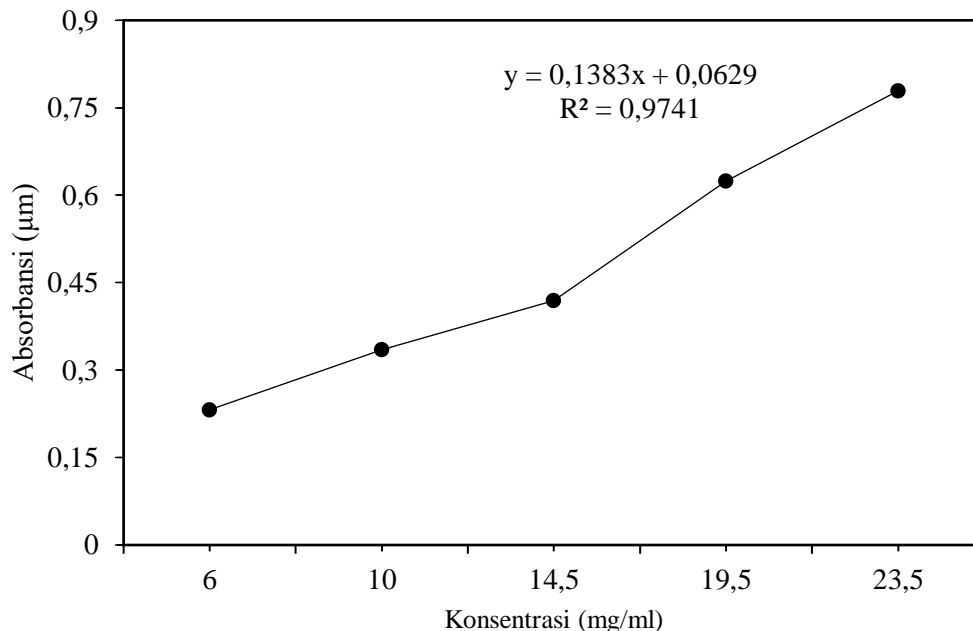
Pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut terhadap *Total Flavonoid Content* Ekstrak Daun Kelor serta Pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut terhadap *Total Flavonoid Content* Ekstrak Daun Kelor

Analisis kadar flavonoid ekstrak NADES daun kelor dari Desa Kejapanan, Kabupaten Pasuruan, dilakukan menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Hasil pengukuran menunjukkan panjang gelombang maksimum kuersetin pada 437 nm. Selanjutnya, kurva kalibrasi standar kuersetin dibuat berdasarkan hubungan antara konsentrasi standar dan nilai absorbansi yang diperoleh, seperti ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Absorbansi Pada Larutan Standar Kuersetin

Konsentrasi (mg/ml)	Absorbansi (y)
6	0,232
10	0,335
14,5	0,419
19,5	0,624
23,5	0,779
Rata - Rata	0,477

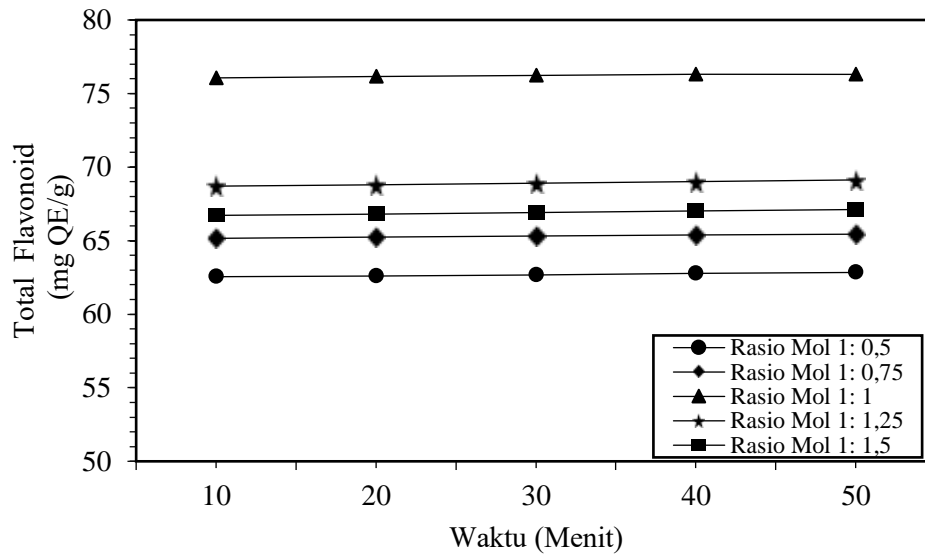
Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan spektrofotometri UV-Vis, diperoleh kurva kalibrasi kuersetin disajikan pada **Gambar 3** berikut:



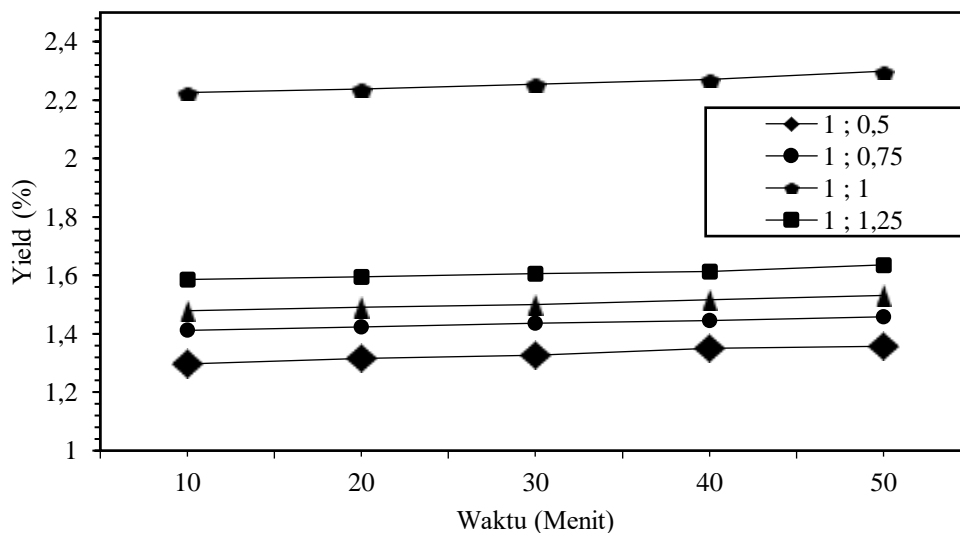
Gambar 3. Kurva Kalibrasi Larutan Baku Kuersetin

Kurva baku kuersetin yang digunakan pada analisis *Total Flavonoid Content (TFC)* menghasilkan persamaan regresi $y = 0,1383x + 0,0629$ dengan nilai R^2 sebesar 0,9741. Nilai koefisien determinasi tersebut menunjukkan hubungan linear yang baik antara konsentrasi dan absorbansi sehingga persamaan regresi dapat digunakan untuk menentukan kadar flavonoid pada sampel ekstrak [25]. Pengukuran absorbansi dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 437 nm yang merupakan panjang gelombang optimum kuersetin [13]. Nilai *Total Flavonoid Content (TFC)* pada setiap

perlakuan dihitung berdasarkan persamaan regresi tersebut. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa perubahan waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut *Natural Deep Eutectic Solvent (NADES)* memberikan pengaruh terhadap kadar flavonoid yang diperoleh. Data *Total Flavonoid Content (TFC)* disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Pengaruh waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut terhadap *Total Flavonoid Content* Ekstrak Daun Kelor



Gambar 5. Pengaruh Waktu Ekstraksi Dan Rasio Mol Pelarut Terhadap *Yield Flavonoid* Daun Kelor

Berdasarkan **Gambar 4** nilai *Total Flavonoid Content (TFC)* cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu ekstraksi dari 10 hingga 40 menit, kemudian sedikit menurun pada 50 menit. Pada rasio mol NADES 1:1, TFC meningkat dari 76,0623 mg QE/g menjadi 76,3094 mg QE/g pada 40 menit, kemudian turun menjadi 76,2973 mg QE/g pada 50 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu ekstraksi memberikan pengaruh, namun peningkatannya relatif kecil dibandingkan pengaruh rasio mol NADES. Peningkatan ini terjadi karena semakin lamanya waktu ekstraksi memungkinkan interaksi antara matriks daun kelor dan pelarut DES berlangsung lebih optimal. Sehingga, proses difusi dan pelarutan senyawa flavonoid ke dalam pelarut meningkat sehingga menghasilkan nilai TFC yang lebih tinggi[16]. Penurunan TFC pada menit ke 50 disebabkan karena terbentuknya *local hotspot* dan radikal bebas selama proses kavitasi yang dapat mengoksidasi flavonoid sehingga nilai TFC yang dihasilkan menurun[26]. Pengaruh rasio mol NADES terhadap TFC jauh lebih dominan dibandingkan waktu ekstraksi. Nilai TFC tertinggi diperoleh pada rasio mol 1:1 sebesar 76,3094 mg QE/g, sedangkan rasio 1:0,5 hanya menghasilkan 62,5488–62,8362 mg QE/g. Rasio 1:1 menghasilkan jaringan ikatan hidrogen yang optimum antara kolin klorida (HBA) dan asam sitrat (HBD) sehingga menghasilkan polaritas dan konstanta dielektrik yang sesuai dengan sifat flavonoid. Kondisi ini meningkatkan kelarutan flavonoid melalui pembentukan ikatan hidrogen antara pelarut dan gugus hidroksil flavonoid[27]. Sebaliknya, pada rasio 1:1,25 dan 1:1,5, TFC

menurun karena kelebihan asam sitrat meningkatkan viskositas NADES. Viskositas yang tinggi menghambat penetrasi pelarut ke dalam jaringan daun, menurunkan koefisien difusi, serta meredam propagasi gelombang ultrasonik sehingga intensitas kavitasi dan efisiensi transfer massa berkurang [28]. Dengan demikian, komposisi pelarut menjadi faktor utama yang menentukan efektivitas ekstraksi flavonoid. Nilai kadar flavonoid pada penelitian ini berkisar 6,255 hingga 7,631%. Hampir seluruh perlakuan telah memenuhi persyaratan Farmakope Herbal Indonesia, yaitu kadar flavonoid total tidak kurang dari 6,30% [15]. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi asam sitrat yang terlalu rendah belum mampu menghasilkan kemampuan pelarutan flavonoid secara optimal.

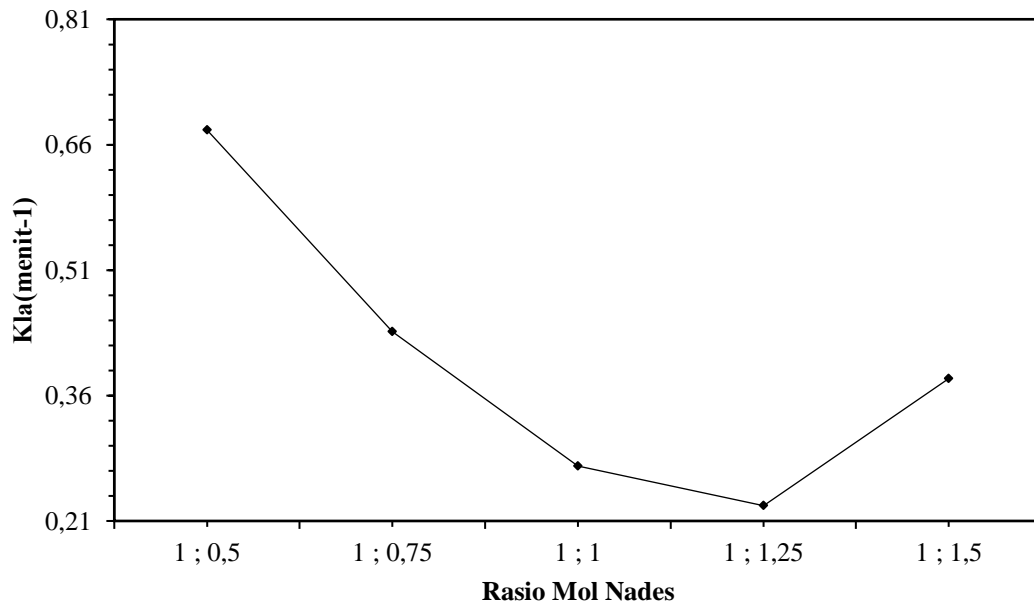
Berdasarkan **Gambar 5** diketahui bahwa *yield flavonoid* tertinggi diperoleh pada rasio mol NADES 1:1 dan waktu ekstraksi 40 menit sebesar 2,2702%. Peningkatan *yield flavonoid* terhadap waktu relatif kecil, ditunjukkan oleh selisih hanya 0,0441% antara menit ke 10 hingga ke 40 pada rasio 1:1. Hal ini menunjukkan bahwa proses ekstraksi telah mendekati kesetimbangan pada waktu yang relatif singkat sehingga laju transfer massa semakin lama akan semakin menurun [18]. Pengaruh rasio mol NADES terhadap *yield flavonoid* jauh lebih besar dibandingkan waktu ekstraksi. Setelah tercapai kesetimbangan antara pelarut dan matriks, penambahan waktu tidak lagi memberikan peningkatan *yield* yang signifikan [29]. Mekanisme ekstraksi menggunakan metode UAE dipengaruhi oleh fenomena kavitasi akustik. Gelombang ultrasonik yang dirambatkan melalui medium cair memicu pembentukan dan kolapsnya gelembung mikro secara instan, menghasilkan gelombang kejut dan pancaran mikro berkecepatan tinggi yang membentur dinding sel sehingga mempercepat pelepasan dan difusi senyawa flavonoid ke dalam pelarut [30]. Efek kavitasi tersebut juga menyebabkan kerusakan struktur sel dengan pengurangan ukuran material, sehingga memfasilitasi penetrasi pelarut ke dalam jaringan tanaman dan meningkatkan jumlah senyawa bioaktif yang dapat terekstraksi [31].

Kombinasi rasio mol yang seimbang antara gugus *hydrogen bond acceptor* (HBA) dari kolin klorida dan gugus *hydrogen bond donor* (HBD) dari asam sitrat membentuk jaringan ikatan hidrogen yang stabil sehingga meningkatkan kelarutan flavonoid dalam pelarut NADES [32]. Penurunan nilai *yield flavonoid* pada rasio mol 1:1,5 dengan nilai *yield* sebesar 1,4789% dikarenakan pelarut dengan viskositas terlalu tinggi cenderung meredam propagasi gelombang ultrasonik sehingga mengurangi intensitas kavitasi yang sampai ke permukaan sel. Pada rasio 1:0,5 dan waktu 10 menit merupakan hasil yang sangat rendah dibandingkan nilai *yield flavonoid* di kondisi lainnya yaitu sebesar 1,2968%. Rendahnya nilai *yield flavonoid* pada kondisi tersebut dikarenakan oleh viskositas yang terlalu rendah, dimana hal tersebut dapat menurunkan kapasitas ikatan hidrogen yang dibutuhkan untuk menstabilkan flavonoid hasil ekstraksi.

Pengaruh Rasio Mol Nades Kolin Klorida dengan Asam Sitrat Terhadap Koefisien Massa Ekstraksi Daun kelor

Pengaruh rasio mol pelarut NADES terhadap parameter koefisien massa ekstraksi daun kelor (*Moringa oleifera*) dikaji melalui pendekatan koefisien perpindahan massa volumetrik (KLa) dengan variasi rasio mol pelarut NADES kolin klorida dengan asam sitrat dan waktu ekstraksi menggunakan metode *Ultrasonic-Assisted Extraction* (UAE) disajikan pada **Gambar 6**.

Berdasarkan **Gambar 6** konsentrasi flavonoid (C_t) pada seluruh rasio mol NADES meningkat seiring bertambahnya waktu ekstraksi 10–50 menit. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan massa flavonoid dari matriks daun kelor ke pelarut dikendalikan oleh perbedaan konsentrasi (*driving force*), di mana laju ekstraksi akan menurun ketika sistem mendekati kondisi jenuh. Nilai KLa diperoleh dari slope regresi linear hubungan $\ln\{C_s/(C_s-C_t)\}$ terhadap waktu, dengan C_s sebagai konsentrasi kesetimbangan dan C_t sebagai konsentrasi flavonoid pada waktu t . Rasio mol NADES kolin klorida:asam sitrat 1:1 menghasilkan nilai C_s tertinggi sebesar 30,1333 g/L, menunjukkan kapasitas pelarut yang paling baik dalam melarutkan flavonoid daun kelor [9]. Hubungan linier $\ln\{C_s/(C_s-C_t)\}$ terhadap waktu menunjukkan bahwa model perpindahan massa yang digunakan mampu menggambarkan kinetika ekstraksi padat-cair dengan baik [14]. Hasil analisis menunjukkan bahwa rasio 1:0,5 menghasilkan nilai KLa tertinggi, sedangkan rasio 1:1 menghasilkan nilai C_s tertinggi. Kondisi ini menunjukkan perbedaan antara aspek kinetika ekstraksi (kecepatan perpindahan massa) dan aspek termodinamika ekstraksi (kapasitas kelarutan). Pada rasio 1:0,5, perpindahan massa berlangsung lebih cepat tetapi kapasitas pelarut lebih rendah, sedangkan pada rasio 1:1 laju perpindahan massa lebih lambat namun pelarut mampu melarutkan flavonoid dalam jumlah lebih besar sebelum mencapai kejenuhan [33].



Gambar 6. Pengaruh Rasio Mol Nades Kolin Klorida dengan Asam Sitrat Terhadap Koefisien Massa Ekstraksi Daun kelor

Metode UAE berperan penting dalam meningkatkan nilai KLa melalui pembentukan gelembung kavitasi yang mempercepat difusi senyawa aktif, mengurangi hambatan difusi, dan mempercepat tercapainya kesetimbangan ekstraksi[34]. Penurunan KLa dari rasio 1:0,75 hingga 1:1,25 disebabkan peningkatan proporsi asam sitrat yang menaikkan viskositas NADES sehingga menurunkan koefisien difusi flavonoid. Meskipun demikian, UAE tetap mampu mempertahankan efisiensi ekstraksi melalui efek kavitasi yang mengurangi hambatan perpindahan massa[3]. Pada rasio mol 1:1,5, nilai KLa kembali meningkat menjadi 0,3806 menit⁻¹. Kondisi ini diduga terjadi akibat perubahan struktur jaringan ikatan hidrogen yang menurunkan viskositas relatif dibandingkan rasio 1:1,25, sehingga mobilitas molekul dan koefisien difusi meningkat [35]. Secara keseluruhan, rasio 1:0,5 menghasilkan laju perpindahan massa tertinggi (KLa = 0,6776 menit⁻¹), sedangkan rasio 1:1 menghasilkan kapasitas kelarutan tertinggi (Cs = 30,1333 g/L). Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi optimum kinetika dan termodinamika ekstraksi tidak selalu terjadi pada rasio mol yang sama. Kelebihan HBD pada rasio 1:1,5 juga dapat mengubah karakteristik fisik NADES, termasuk viskositas dan kemampuan solvasi, yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi ekstraksi [36].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, variasi waktu ekstraksi dan rasio mol pelarut NADES kolin klorida dengan asam sitrat dengan menggunakan metode ekstraksi berbasis *Ultrasound Assisted Extraction* (UAE) berpengaruh terhadap *yield* ekstrak, kadar flavonoid total, dan parameter perpindahan massa ekstraksi daun kelor. *Yield* tertinggi diperoleh pada rasio mol 1:1 dengan waktu ekstraksi 50 menit sebesar 30,1333%, sedangkan nilai *Total Flavonoid Content* (TFC) tertinggi sebesar 76,3094 mg QE/g diperoleh pada rasio mol 1:1 dengan waktu ekstraksi 40 menit. Hasil perhitungan koefisien perpindahan massa juga menunjukkan bahwa rasio mol NADES kolin klorida:asam sitrat 1:1 menghasilkan nilai konsentrasi kesetimbangan (Cs) tertinggi sebesar 30,1333%, yang menunjukkan kapasitas pelarutan flavonoid paling optimal pada kondisi tersebut.

5. Referensi

- [1] P. S. Munu, G. Puspita, and R. D. Supu, "The Effect Of Solvent Type On Flavonoid Levels Of Moringa Leaf Extract (Moringa Oleifera L .)," *Journal of Health, Technology and Science (JHTS)* 4.4 (2023): 45-55..
- [2] C. Bitwell, S. Sen, and C. Luke, "A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants," *Sci. African*, vol. 19, no. March, p. e01585, 2023, doi: 10.1016/j.sciaf.2023.e01585.
- [3] A. Prasetyaningrum, B. Jos, R. Ratnawati, N. Rokhati, T. Riyanto, and G. R. Prinanda, "Sequential Microwave-Ultrasound Assisted Extraction of Flavonoid from Moringa oleifera: Product

- Characteristic , Antioxidant and Antibacterial Activity,” vol. 22, no. 2, pp. 303–316, 2022, doi: 10.22146/ijc.65252.
- [4] Liwar, Roland, and Marce Inggriha Taku Bessi. "Perbandingan Kadar Flavonoid Total Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera* L.) Berdasarkan Perbedaan Cara Pengeringan." *FarmasiKoe* 5.2 (2022): 13-21.
- [5] Pertiwi, Adinda Putri. "Pengaruh Metode Pengeringan Ekstrak Daun Kelor (*Moringa oleifera* Lam) Terhadap Aktivitas Antioksidan." *Jurnal Penelitian Farmasi Dan Herbal* 5.2 (2023): 57-69.
- [6] Pujiastuti, Yunita Ali. "Perbandingan Kadar Flavonoid Dari Ekstrak Daun Kelor Dan Daun Kenikir Dengan Spektrofotometri UV-VIS." *Pharmacia* 2.1 (2024): 1-7.
- [7] Shen, Lipeng, et al. "A comprehensive review of ultrasonic assisted extraction (UAE) for bioactive components: Principles, advantages, equipment, and combined technologies." *Ultrasonics Sonochemistry* 101 (2023): 106646.
- [8] A. Thangaiyah, S. Gunalan, and P. Velu, "Heliyon Augmenting phyto-chemical and phyto-mineral profiling of moringa leaf extract : A contrastive study of solid-liquid extraction methodologies," *Heliyon*, vol. 10, no. 24, p. e40909, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40909.
- [9] V. Rifkia and R. Revina, "Pengaruh Variasi Bahan : Pelarut dan Lama Ekstraksi Ultrasonik dari Ekstrak Daun Kelor terhadap Rendemen dan Kadar Total Fenol Artikel Penelitian," vol. 15, pp. 94–100, 2023.
- [10] M. Hakimin, R. Yusof, and C. Gan, "Synthesis of citric acid monohydrate-choline chloride based deep eutectic solvents (DES) and characterization of their physicochemical properties," vol. 288, 2019, doi: 10.1016/j.molliq.2019.111081.
- [11] Z. Wang, Y. Tian, M. Yang, Y. Wang, and L. Tao, "Extraction of phenolic compounds from *Moringa oleifera* Lam . leaves with ultrasonic-assisted deep eutectic solvents," no. August, 2024, doi: 10.3389/fnut.2024.1405128.
- [12] A. F. M. N. Sadat, M. Hasan, S. Islam, and D. Sharma, "Validation Of Aqueous Ultrasound Assisted Extraction Method By Using Fresh Leaves Of *Moringa Oleifera* With Conventional Extraction Method .," no. 10, pp. 1–7, 2021.
- [13] Yulia, Yulia, Muhammad Idris, and Rahmadina Rahmadina. "Skrining Fitokimia dan Penentuan Kadar Flavonoid Daun Kelor (*Moringa oleifera* L.) Desa Dolok Sinumbah dan Raja Maligas Kecamatan Hutabayu Raja." *Klorofil: Jurnal Ilmu Biologi dan Terapan* 6.1 (2022): 49-5.
- [14] Wahyusi, Kindriari Nurma, Rifky Zulindah Astari, and Novia Dwi Irmawati. "Koefisien Perpindahan Massa Ekstraksi Flavonoid Dari Buah Pare Dengan Pelarut Etanol." *Jurnal Teknik Kimia* 14.2 (2020): 40-44.
- [15] Silalahi, Marina. "Potensi Tumbuhan Obat Dan Obat, Tradisional Dalam Menjaga Kesehatan Masyarakat." *Jurnal Dinamika Pendidikan (JDP)* 5.1 (2012): 43-51.
- [16] Chemat, Farid, et al. "Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review." *Ultrasonics sonochemistry* 34 (2017): 540-560.
- [17] K. Kumar, S. Srivastav, and V. Singh, "Ultrasonics - Sonochemistry Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products : A review," *Ultrason. - Sonochemistry*, vol. 70, no. September 2020, p. 105325, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.
- [18] Fang, Xinsheng, et al. "Optimization of ultrasonic-assisted simultaneous extraction of three active compounds from the fruits of *Forsythia suspensa* and comparison with conventional extraction methods." *Molecules* 23.9 (2018): 2115.
- [19] Fanali, Chiara, et al. "Choline chloride–lactic acid-based NADES as an extraction medium in a response surface methodology-optimized method for the extraction of phenolic compounds from hazelnut skin." *Molecules* 26.9 (2021): 2652.
- [20] Demesa, Abayneh Getachew, et al. "Overview and toxicity assessment of ultrasound-assisted extraction of natural ingredients from plants." *Foods* 13.19 (2024): 3066.
- [21] Siddiqui, Shahida Anusha, et al. "Factors affecting the extraction of (poly) phenols from natural resources using deep eutectic solvents combined with ultrasound-assisted extraction." *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 55.1 (2025): 139-160.
- [22] Cichowska-Kopczyńska, Iwona, Bartosz Nowosielski, and Dorota Warمیńska. "Deep eutectic solvents: properties and applications in CO₂ separation." *Molecules* 28.14 (2023): 5293.
- [23] A. S. Review, "Green Extraction Techniques of Bioactive Compounds : A State-of-the-Art Review," 2023.

- [24] Mehta, Nitin, et al. "Ultrasound-assisted extraction and the encapsulation of bioactive components for food applications." *Foods* 11.19 (2022): 2973.
- [25] Susanty, Susanty, Sri Anastasia Yudistirani, and Muhammad Bahrul Islam. "Metode Ekstraksi Untuk Perolehan Kandungan Flavonoid Tertinggi Dari Ekstrak Daun Kelor (*Moringa Oleifera* Lam)." *Jurnal Konversi* 8.2 (2019): 6-6.
- [26] Li, Wen, et al. "Research progress on extraction and detection technologies of flavonoid compounds in foods." *Foods* 13.4 (2024): 628.
- [27] A. Ali *et al.*, "Elucidating the Structure, Dynamics, and Interaction of a Choline Chloride and Citric Acid Based Eutectic System by Spectroscopic and Molecular Modeling Investigations," 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c04570.
- [28] X. Fu, D. Wang, T. Belwal, Y. Xu, L. Li, and Z. Luo, "Sonication-synergistic natural deep eutectic solvent as a green and efficient approach for extraction of phenolic compounds from peels of *Carya cathayensis* Sarg.," vol. 355, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129577.
- [29] C. Vita, M. Kristina, and N. M. Yusa, "Pengaruh Waktu Ekstraksi Dengan Menggunakan Metode Ultrasonic Assisted Extraction (UAE) Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Duwet," vol. 11, no. 1, pp. 13–21, 2022.
- [30] Cui, Qi, et al. "Synergistic coupling of ultrasonic cavitation with tailored deep eutectic solvent systems for intensified extraction of *Scutellaria Radix* flavonoids: Modelling and optimization by genetic algorithm." *Ultrasonics Sonochemistry* 119 (2025): 107386.
- [31] K. Ratananikom, "Ultrasonic-Assisted Extraction of Phenolic Compounds, Flavonoids, and Antioxidants from Dill (*Anethum graveolens* L.)," vol. 2022, 2022.
- [32] Marliza, Hesti, et al. "Pengujian aktivitas antimikroba ekstrak daun kersen (*Muntingia calabura* L.) menggunakan pelarut nades (Natural Deep Eutectic Solvents) dengan metode disc diffusion." *Arfak Chem: Chemistry Education Journal* 8.1 (2025): 737-747.
- [33] P. Hobbi, O. V. Okoro, C. Delporte, H. Alimoradi, and D. Podstawczyk, "Kinetic modelling of the solid – liquid extraction process of polyphenolic compounds from apple pomace: influence of solvent composition and temperature," *Bioresour. Bioprocess.*, 2021, doi: 10.1186/s40643-021-00465-4.
- [34] Dasgupta, Sumita. "A comprehensive review of conventional and non-conventional solvent extraction techniques." *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* (2023).
- [35] F. Yang, Q. Zheng, H. Tan, and X. Wang, "Insight into the role of hydrogen bond donor in deep eutectic solvents," vol. 399, no. December 2023, 2024.
- [36] Puspita, Fitria, et al. "Aplikasi Natural Deep Eutectic Solvent (NADES) sebagai Green Solvent pada Ekstraksi Kafein dan Katekin dari Limbah Kulit Kopi." *Pharmaceutical and Biomedical Sciences Journal (PBSJ)* 5.1 (2023): 35-42.