



Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran
<http://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/jrpp>
 Volume 8 Nomor 2, 2025
 P-2655-710X e-ISSN 2655-6022

Submitted : 29/03/2025
 Reviewed : 02/04/2025
 Accepted : 04/04/2025
 Published : 18/04/2025

Hijeria Tulnisa¹
 Aktsar Roskiana Ahmad²
 Hasnaeni³

OPTIMASI METODE EKSTRAKSI MASERASI DAN ULTRASOUND ASSISTED EXTRACTION (UAE) RIMPANG KUNYIT (*CURCUMA LONGA* *L.*) DAN AKTIVITAS ANTIOKSIDANNYA

Abstrak

Rimpang kunyit (*Curcuma longa L.*) adalah tumbuhan tropis yang banyak tumbuh di Benua Asia dan sering dimanfaatkan sebagai pewarna, pengharum makanan dan obat tradisional. Bagian yang paling banyak digunakan dari kunyit adalah rimpang. Kandungan rimpang kunyit terdiri senyawa alkaloid, flavonoid, tanin, kurkumin dan minyak atsiri. Kandungan kunyit digunakan sebagai obat tradisional yang berperan sebagai penambah nafsu makan, obat luka, gatal-gatal, antidiare, antibakteri, bahan kosmetik, dan antioksidan. Tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu ekstraksi pada ekstrak rimpang kunyit dengan menggunakan metode Ultrasound Assisted Extraction (UAE) terhadap aktivitas antioksidan dengan metode DPPH. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persen kadar flavonoid ekstrak rimpang kunyit 2,755% dengan metode maserasi dan 2,913% dengan metode UAE. Sedangkan persen kadar fenolik ekstrak rimpang kunyit 3,142% dengan metode maserasi dan 2,854% dengan metode UAE. Aktivitas antioksidan ekstrak rimpang kunyit dengan ekstraksi metode maserasi dan UAE berturut-turut sebesar 14,467 µg/mL dan 19,349 µg/mL tergolong kuat karena nilai IC₅₀ nya berada diantara 10 – 50 µg/mL. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Ekstraksi dengan metode maserasi menghasilkan kadar fenolik dan flavonoid total yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode UAE pada rimpang kunyit.

Kata Kunci: *Curcuma longa L.*, Antioksidan, Maserasi, Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

Abstract

Turmeric rhizome (*Curcuma longa L.*) is a tropical plant that grows abundantly in the Asian continent and is often used as a food coloring, fragrance and traditional medicine. The most widely used part of turmeric is the rhizome. The content of turmeric rhizome consists of alkaloid compounds, flavonoids, tannins, curcumin and essential oils. Turmeric content is used as a traditional medicine that acts as an appetite stimulant, wound medicine, itching, antidiarrhea, antibacterial, cosmetic ingredients, and antioxidants. The purpose of this study was to determine the effect of temperature and extraction time on turmeric rhizome extract using the Ultrasound Assisted Extraction (UAE) method on antioxidant activity with the DPPH method. The type of research used was laboratory experimental research. The results showed that the percentage of flavonoid content of turmeric rhizome extract was 2.755% with the maceration method and 2.913% with the UAE method. While the percentage of phenolic content of turmeric rhizome extract was 3.142% with the maceration method and 2.854% with the UAE method. The antioxidant activity of turmeric rhizome extract with maceration and UAE extraction methods was 14.467 µg/mL and 19.349 µg/mL, respectively, which is classified as strong because the IC₅₀ value is between 10 - 50 µg/mL. The results of the study can be concluded that extraction with the maceration method produces higher total phenolic and flavonoid levels compared to the UAE method in turmeric rhizomes.

Key words: *Curcuma longa L.*; Antioxidants; Maceration; Ultrasound Assisted Extraction (UAE).

¹ Mahasiswa Fakultas Farmasi, Universitas Muslim Indonesia

^{2,3} Dosen Fakultas Farmasi, Universitas Muslim Indonesia

email: hijeria.tulnisa@gmail.com, aktsar.roskiana@umi.ac.id, hasnaeni.hasnaeni@umi.ac.id

PENDAHULUAN

Rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) adalah tumbuhan tropis yang banyak tumbuh di Benua Asia dan sering dimanfaatkan sebagai pewarna, pengharum makanan dan obat tradisional. Bagian yang paling banyak digunakan dari kunyit adalah rimpang. Tanaman rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) saat ini mampu menjaga kesehatan secara alami. Tanaman ini efektif meningkatkan sistem cara kerja yang lebih optimal dan sebagai antibakteri terhadap kulit, selain itu juga memiliki peran sebagai antiradang, dan antioksidan. Kandungan rimpang kunyit terdiri senyawa alkaloid, flavonoid, tanin, kurkumin dan minyak atsiri. Kandungan kunyit digunakan sebagai obat tradisional yang berperan sebagai penambah nafsu makan, obat luka, gatal-gatal, antidiare, antibakteri, bahan kosmetik, dan antioksidan (Baizuroh, 2020).

Senyawa antioksidan yang sangat reaktif membantu menunda atau menghambat inisiasi dan penyebaran reaksi berantai pengoksidasi yang melibatkan proses metabolisme yang tidak terkendali dari spesies oksigen reaktif (ROS) dan spesies radikal bebas (Sopyan, 2022). Pengaruh lingkungan seperti sinar ultraviolet, asap rokok, polutan, suhu, nutrisi, dan gaya hidup yang tidak sehat dapat berkontribusi terhadap pembentukan radikal bebas dan Reactive Oxygen Species (ROS) (Ahmad & Malik, 2023). Radikal bebas atau disebut juga reactive oxygen species (ROS) adalah atom oksigen dimana pada orbit terluarnya memiliki elektron yang tidak berpasangan. Radikal bebas merupakan molekul yang liar, tidak stabil dan bersifat reaktif, sehingga molekul ini selalu mencari pasangan elektron dengan merebut elektron dari molekul lain (Sopyan 2022)2.

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) terbukti memiliki aktivitas antioksidan aktif dengan nilai IC₅₀ 50 mg/L. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa kurkumin murni memiliki aktivitas antioksidan yang kuat dengan nilai IC₅₀ sebesar 1,08±0,06 g/mL (Wahyuningtyas et al., 2017). Sebagai tambahan, hasil uji aktivitas antioksidan menunjukkan bahwa ekstrak etil asetat rimpang kunyit menghasilkan aktivitas antioksidan terbaik dengan IC₅₀ sebesar 20,42 ppm. Secara keseluruhan, aktivitas antioksidan sampel masih sangat jauh dibawah kontrol positif yaitu vitamin C (asam askorbat) yang memiliki nilai IC₅₀ sebesar 3,99 ppm (Septiana dan Simanjuntak, 2015). Kemampuan antioksidan yang tinggi dikarenakan kandungan senyawa golongan fenolik berupa kurkuminoid yang terdapat pada kunyit. Kurkuminoid terbagi menjadi tiga senyawa diantaranya adalah kurkumin (7,798%), demetoksikurkumin (4,115%) dan bisdemetoksikurkumin (2,277%) (Suprihatin et al., 2020).

Senyawa fenolik merupakan senyawa bahan alam yang cukup luas penggunaannya saat ini. Kemampuannya sebagai senyawa biologik aktif memberikan suatu peran yang besar terhadap kepentingan manusia. Salah satunya sebagai antioksidan untuk pencegahan dan pengobatan penyakit degeneratif, kanker, penuaan dini dan gangguan sistem imun tubuh. Menurut penelitian sebelumnya, mekanisme senyawa fenolik sebagai antioksidan yaitu mengurangi pembentukan radikal bebas oksigen dan memperkuat sistem pertahanan antioksidan. Rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dapat mengaktifkan enzim antioksidan, seperti katalase, guaiacol peroksidase, glutathion peroksidase dan superoksida dismutase (Gharge et al., 2021). Antioksidan memiliki peranan yang sangat penting dalam kesehatan tubuh, maka dari itu dibutuhkan radikal bebas yaitu antioksidan yang mampu menangkal radikal bebas sehingga mencegah terjadinya penyakit. Salah satu yang paling banyak sumber senyawa antioksidan yaitu flavonoid. Tumbuhan yang mengandung senyawa flavonoid biasanya mempunyai khasiat mengobati berbagai penyakit degeneratif seperti stroke, rematik, sakit jantung, dan kanker (Hasanah, 2023).

Proses ekstraksi yaitu pemisahan suatu zat dari campurannya dengan menggunakan sejumlah pelarut. Metode ekstraksi yang biasa digunakan beberapa tahun terakhir yaitu metode ekstraksi konvensional seperti maeserasi, soxhlet, dan hidrodistilasi yang menggunakan volume pelarut dalam jumlah besar dan memerlukan waktu ekstraksi yang lama. Untuk mengatasi kelemahan metode tersebut berbagai teknik ekstraksi baru telah diusulkan untuk ekstraksi senyawa bioaktif dari makanan, salah satunya metode Ultrasound Assisted Extraction (UAE) yang menggunakan lebih sedikit volume pelarut, memperpendek waktu ekstraksi, dan hemat energi. Dalam tinjauan literatur, penggunaan metode ultrasound semakin banyak diminati dibandingkan metode konvensional, karena memperpendek waktu ekstraksi (Bonfigli et al. 2017).

Penggunaan metode ultrasound sesuai untuk komponen bioaktif yang sensitif terhadap panas dengan proses pada suhu yang lebih rendah, dan efek mekanis ultrasound memberikan penetrasi pelarut yang lebih besar ke dalam bahan seluler, sehingga meningkatkan perpindahan massa sedangkan gangguan dinding sel biologis memudahkan pelepasan isinya. Oleh karena itu, metode ekstraksi dengan bantuan ultrasonik lebih efektif daripada metode konvensional karena memiliki dua keunggulan utama yaitu mengurangi waktu ekstraksi dan penggunaan volume pelarut (Jovanovic et al, 2017 dan He et al, 2016). Beberapa kelebihan lain metode UAE adalah dapat mengeluarkan ekstrak dari matriks tanpa merusak struktur ekstrak, penggunaan pada temperatur rendah dapat mengurangi kehilangan panas, dan mencegah hilangnya atau menguapnya senyawa yang memiliki titik didih rendah. Salah satu metode ekstraksi yang menggunakan gelombang ultrasonik disebut Ultrasonic Assisted Extraction atau sonikasi (Golmohamadi et al, 2014) .

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan penelitian tentang optimasi metode ekstraksi maserasi dan ultrasound assisted extraction (UAE) rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dan aktivitas antioksidannya.

FORMULASI PERMASALAHAN

Pembahasan yang dijabarkan dalam artikel ini dengan membahas 2 (dua) formulasi masalah, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh metode ekstraksi maserasi dan Ultrasound Assisted Extraction (UAE) ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) terhadap aktivitas antioksidan?
2. Bagaimana pengaruh metode ekstraksi maserasi dan Ultrasound Assisted Extraction (UAE) ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) pada penetapan kadar fenolik dan kadar flavonoid terhadap aktivitas antioksidan?

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen kuantitatif. Tahap penelitian yang akan dilakukan yaitu persiapan sampel, green extraction, pengujian fitokimia, ekstrak rimpang rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.).

Jenis dan Sumber Data

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah eksperimen kuantitatif. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dimana penelitian akan melakukan eksperimen secara langsung dan pengolahan hasil penelitian.

Populasi dan Sampel

Rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) banyak tersebar di daerah Sulawesi Selatan dan mudah didapatkan di pasar tradisional. Sampel kunyit (*Curcuma longa* L.) diperoleh dari Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

Prosedur Penelitian

1. Preparasi Sampel

Sampel rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) diperoleh dari Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan.

2. Penyiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan disiapkan sesuai dengan kebutuhan penelitian yang akan dilaksanakan.

3. Pengolahan Simplisia

Sampel yang diperoleh sortasi basah untuk menghilangkan tanah dan pengotor lainnya yang masih menempel pada sampel perolehan. Sampel yang telah disortasi kemudian dikeringkan. Setelah kering sampel ditimbang dan dicatat berat keringnya kemudian diserbukkan setelah itu ditimbang kembali berat sampel serbuk yang diperoleh.

4. Maserasi

Rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) seberat 20 gram dimasukkan ke dalam wadah kemudian ditambahkan etanol 96% sebanyak 200 mL lalu diekstraksi dengan metode maserasi. Proses ini diulang sebanyak tiga kali sebelum pelarut dalam sampel diuapkan dengan Rotary Vacuum Evaporator hingga diperoleh ekstrak kental (Depkes RI, 2017) .

5. Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

Pembuatan ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) menggunakan metode Ultrasound Assisted Extraction (UAE) dengan menggunakan pelarut etanol. Serbuk kunyit (*Curcuma longa* L.) ditimbang 20-gram selanjutnya ditambahkan 200 mL selanjutnya ditambahkan pelarut etanol.

Proses ekstraksi dilakukan dengan ultrasonikasi (beberapa variasi waktu 5, 15 dan 30 menit) pada suhu 50 dan 60. Filtrat yang didapatkan, lalu disaring dengan kertas saring dan filtratnya diuapkan dengan Rotary Vacuum Evaporator dengan suhu 70°C sehingga diperoleh ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) (Kristina et al., 2022).

6. Identifikasi Kualitatif Senyawa Fitokimia (Abd. Malik, 2015)

a. Alkaloid

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) sebanyak 1 mL dipipet, dimasukkan ke dalam tabung reaksi, kemudian ditambahkan 0,1 mL asam klorida 2 N lalu diuji dengan pereaksi dragendorff. Hasil uji positif diperoleh jika terbentuk endapan merah dengan pereaksi dragendorff.

b. Flavonoid

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) dipipet 1 mL, lalu ditambahkan 6 tetes HCl pekat dan 0,1-gram bubuk magnesium, lalu dikocok perlahan, jika muncul warna merah, jingga, dan hijau, hal ini menunjukkan adanya senyawa flavonoid.

c. Saponin

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) sebanyak 1 mL dipipet, ditambahkan 0,1 mL air panas, kemudian dikocok selama 1 menit dan ditambahkan 0,1 mL HCl 2 N. Jika terbentuk busa menunjukkan positif mengandung senyawa saponin.

d. Tanin

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) sebanyak 1 mL dipipet, ditambahkan 0,5 mL larutan FeCl_3 1%. Jika terbentuk warna hijau kehitaman dan biru tua, berarti mengandung tanin.

e. Triterpenoid

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) dipipet 3 mL, ditambahkan 0,5 mL Lieberman-Burchard. Reaksi positif jika terbentuk cincin berwarna coklat kemerahan menunjukkan adanya terpenoid dan reaksi positif jika terbentuk cincin biru atau hijau menunjukkan adanya steroid.

f. Senyawa Fenol

Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) diambil sebanyak 1 mL kemudian masukkan dalam tabung reaksi dan ditambahkan 5 tetes FeCl_3 1% sehingga akan menghasilkan warna biru atau hijau kehitaman.

7. Identifikasi Kualitatif Senyawa Fenolik dan Flavonoid Menggunakan KLT

a. Senyawa Fenolik

Larutan ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) ditotolkan pada plat KLT dan dielusi dengan menggunakan pelarut n-butanol : asam asetat : air (4:1:5), kemudian diamati bercak pada lampu UV dan disemprot dengan reagen besi (III) klorida (FeCl_3). Positif mengandung fenol jika noda berwarna hijau, merah, ungu, biru, atau hitam yang kuat. (Ahmad et al, 2015) .

b. Senyawa Flavonoid

Identifikasi kadungan senyawa flavonoid ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) dilakukan dengan KLT menggunakan fase diam yaitu silika gel dan fase gerak n-heksan : aseton dengan perbandingan 7:3. Ekstrak kunyit (*Curcuma longa* L.) dilarutkan dengan pelarut etanol 96% kemudian ditotolkan pada lempeng KLT berukuran 7x1 cm dengan batas bawah 1 cm dan batas atas 0.5 cm, kemudian dielusi dan profil kromatogram diamati bercaknya pada sinar UV 254 nm dan UV 366 nm. Kemudian dilakukan uji pereaksi spesifik menggunakan pereaksi sitroborat. Bercak yang diperoleh diamati dan dihitung nilai R_f -nya (Malik et al, 2023) .

8. Pengujian Kadar Fenol (Abd. Malik, 2015)

Pertama-tama, dilakukan pembuatan pereaksi Na_2CO_3 7%. Dengan cara, ditimbang sebanyak 3,5 g Na_2CO_3 kemudian dilarutkan dengan aquabidestillata hingga 50 ml. Setelah itu dilakukan penetapan kadar fenol total dengan metode kolorimetri yang mengacu pada prosedur (Malik et al, 2015) dengan beberapa modifikasi dengan asam galat ekuivalen (GAE) sebagai standar. Pembuatan larutan standar asam galat 1000 ppm dilakukan dengan menimbang 10 mg asam galat dilarutkan dengan metanol p.a hingga volume 10 mL. Dari larutan tersebut dipipet 100, 200, 300, 400, 500 μL dan dicukupkan dengan metanol p.a hingga 10 mL, sehingga dihasilkan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm.

Setelah itu, dilakukan pengukuran larutan standar asam galat dengan cara, untuk masing-masing konsentrasi ditambahkan 0,4 mL reagen Folin-Ciocalteu dikocok dan dibiarkan 4-8 menit, ditambahkan 4,0 mL larutan Na_2CO_3 7% kocok hingga homogen, ditambahkan aquabidestillata hingga 10 mL dan didiamkan selama 2 jam pada suhu ruangan. Diukur absorbansi pada panjang gelombang maksimum 777 nm, dibuat kurva kalibrasi hubungan antara konsentrasi asam galat ($\mu\text{g/mL}$) dengan absorbansi.

Kemudian, dilakukan pembuatan larutan ekstrak sampel dengan menimbang 10 mg sampel dilarutkan dengan 10 mL metanol p.a. Setelah itu, dilakukan penetapan fenol total dengan cara, masing-masing dipipet sebanyak 1 mL larutan ekstrak rimpang kunyit kemudian sampel ditambahkan dengan 0,4 mL reagen Folin-Ciocalteu dikocok dan dibiarkan 4-8 menit, tambahkan 4,0 mL larutan Na_2CO_3 7% kocok hingga homogen. Tambahkan aquabidestillata hingga 10 mL dan diamkan selama 2 jam pada suhu ruangan. Ukur serapan pada panjang gelombang serapan maksimum 777 nm. Lakukan 3 kali pengulangan sehingga kadar fenol yang diperoleh hasilnya didapat sebagai mg ekuivalen asam galat/g ekstrak.

9. Pengujian Kadar Flavonoid (Ahmad, R. A 2015)

Pembuatan larutan standar kuersetin dibuat dengan cara, sebanyak 10 mg kuersetin ditimbang dan dilarutkan dalam 10 ml metanol p.a untuk 1000 ppm. Dari larutan tersebut dipipet 100, 200, 300, 400, 500 μL dan dicukupkan dengan metanol p.a hingga 10 mL, sehingga dihasilkan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm. Dari masing-masing konsentrasi larutan standar kuersetin ditambahkan 3 mL metanol, 0,2 mL AlCl_3 10%, 0,2 mL kalium asetat 1 M, dan dicukupkan dengan aquadestilata sampai 10 mL. Setelah itu didiamkan selama 30 menit pada suhu kamar dan ukur absorbansinya pada spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 432 nm.

Penetapan kadar flavonoid total dalam ekstrak dengan cara, ditimbang 10 mg ekstrak metanol rimpang kunyit dilarutkan dalam 10 mL metanol. Diambil 1 mL, ditambahkan 0,2 mL AlCl_3 10%, tambahkan 0,2 mL kalium asetat, dan dicukupkan dengan aquadestilata sampai 10 mL, simpan 30 menit pada tempat gelap dengan suasana suhu kamar, absorbansinya di ukur pada spektrofotometri UV-Vis dengan panjang gelombang 432 nm.

10. Aktivitas Antioksidan Metode DPPH (Maesaroh et al, 2018)

a. Pembuatan Larutan DPPH

Larutan DPPH dibuat dengan cara menimbang DPPH sebanyak 3 mg, dilarutkan dengan sedikit metanol p.a kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL, lalu dicukupkan volumenya dengan metanol p.a hingga tanda batas.

b. Pembuatan Larutan Standar Kuersetin

Larutan seri standar dibuat dengan menggunakan kuersetin 10 mg kemudian dimasukkan dalam labu ukur 10 ml, lalu ditambahkan metanol p.a sampai tanda batas dan kocok sampai homogen, sehingga konsentrasi kuersetin menjadi 1000 ppm. Seri konsentrasi dibuat dengan cara mengambil 100, 200, 300, 400, 500 μL dan dicukupkan dengan metanol p.a hingga 5 mL, sehingga dihasilkan konsentrasi 1, 2, 3, 4 dan 5 ppm.

c. Pengukuran Aktivitas Antioksidan Standar Kuersetin

Larutan standar kuersetin pada masing-masing konsentrasi dipipet sebanyak 2 ml kemudian ditambahkan 2 ml larutan DPPH. Selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang dan ruang gelap selama 30 menit. Langkah terakhir dilakukan uji larutan kontrol kuersetin menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 515 nm.

d. Pembuatan Larutan Uji Sampel

Ekstrak 10 mg dimasukkan ke dalam labu ukur 10 mL, lalu ditambahkan metanol p.a sampai tanda batas dan di kocok sampai homogen, hingga didapatkan konsentrasi larutan induk 1000 ppm. Larutan induk dibuat 5 seri konsentrasi dengan cara mengambil 100, 200, 300, 400, 500 μL sampel, dimasukkan kedalam labu ukur 5 mL, dan dicukupkan dengan metanol p.a.

e. Pengujian Aktivitas Antioksidan Sampel

Setiap konsentrasi larutan uji dipipet 2 mL dimasukkan ke dalam vial selanjutnya ditambahkan larutan DPPH sebanyak 2 mL dan dihomogenkan. Campuran larutan uji dan DPPH diinkubasi di ruangan yang gelap terhindar dari cahaya selama 30 menit. Selanjutnya absorbansinya diukur dengan menggunakan instrumen spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 515 nm. Kemudian dilakukan analisis data dengan menggunakan

analisis dengan membuat kurva hubungan antara persen hambatan dengan konsentrasi. Data aktivitas antioksidan penangkap radikal bebas DPPH dapat dapat dihitung dengan rumus : $(\text{Abs.blanko}-\text{Abs.sampel})/(\text{Abs.Blanko})$

Nilai IC50 dihitung pada saat nilai % peredaman sebesar 50% dengan menggunakan persamaan : $\text{IC}_{50} = ((50-b)/a)$

Keterangan : y= Absorbansi sampel; a= Titik potong kurva pada sumbu y (intercept); b= Kemiringan kurva (slope); dan x= Konsentrasi sampel (IC50).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Tabel 5.1 Hasil Penetapan Kadar Flavonoid (Kuersetin) Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.)

Metode Ekstraksi	Replikasi	Absorban	Kadar Total	% Kadar
Maserasi	1	2.847	27.615	2.755
	2	2.833	27.481	
UAE	1	3.008	29.153	2.913
	2	3.004	29.115	
MAE	1	2.582	25.084	2.483
	2	2.529	24.578	

Tabel 5.2 Hasil Penetapan Kadar Fenolik (Asam Galat) Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.)

Metode Ekstraksi	Replikasi	Absorban	Kadar Total	% Kadar
Maserasi	1	2.277	31.413	3.142
	2	2.278	31.427	
UAE	1	2.046	28.089	2.854
	2	2.108	28.981	
MAE	1	1.55	20.953	2.090
	2	1.542	20.837	

Tabel 5.3 Hasil Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.) Dengan Metode Ekstraksi Maserasi

Konsentrasi (ppm) mas	Abs Sampel	Abs DPPH	%Inhibisi	IC ₅₀
10	0.59	0.99	40.404	14.467
20	0.512	0.99	48.283	
30	0.415	0.99	58.081	
40	0.315	0.99	68.182	
50	0.251	0.99	74.646	

Tabel 5.4 Hasil Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.) Dengan Metode Ekstraksi Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

Konsentrasi (ppm)	Abs Sampel	Abs DPPH	% Inhibisi	IC ₅₀
10	0.578	0.875	33.943	19.349
20	0.502	0.875	42.629	
30	0.422	0.875	51.771	
40	0.35	0.875	60.000	
50	0.285	0.875	67.429	

Tabel 5.5 Hasil Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma longa* L.) Dengan Metode Ekstraksi Microwave Assisted Extraction (MAE)

Konsentrasi (ppm) mae	Abs Sampel	Abs DPPH	%Inhibisi	IC ₅₀
10	0.587	0.875	32.914	14.391
20	0.512	0.875	41.486	
30	0.442	0.875	49.486	
40	0.373	0.875	57.371	
50	0.332	0.875	62.057	

Pembahasan

Ekstraksi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode maserasi, Ultrasound Assisted Extraction (UAE) dan Microwave Assisted Extraction (MAE). Ekstraksi adalah proses pemisahan zat yang dilakukan dengan memanfaatkan perbedaan kelarutan zat tersebut dalam dua cairan yang tidak dapat saling melarutkan, biasanya air dan pelarut organik. Salah satu metode ekstraksi yang paling sering digunakan adalah metode maserasi. Maserasi adalah salah satu metode ekstraksi yang umum dilakukan, di mana serbuk tanaman dicampur dengan pelarut yang sesuai dan ditempatkan dalam wadah tertutup pada suhu kamar. Meskipun efektif, metode ini memiliki beberapa kelemahan, seperti memerlukan waktu yang lama, penggunaan pelarut dalam jumlah besar, dan potensi hilangnya beberapa senyawa. Selain itu, beberapa senyawa mungkin sulit untuk diekstraksi pada suhu kamar. Namun, maserasi juga memiliki keuntungan, yaitu dapat menghindari kerusakan pada senyawa tanaman yang sensitif terhadap panas (Badaring et al, 2020). Selain maserasi, metode ekstraksi lainnya juga ada non-konvensional yaitu Ultrasonic-Assisted Extraction merupakan metode ekstraksi dengan bantuan ultrasonic. Metode UAE memiliki berbagai keuntungan dibandingkan maserasi, seperti mempercepat penetrasi cairan ke dalam dinding sel, meningkatkan laju perpindahan massa, menghasilkan ekstraksi yang lebih tinggi, serta memerlukan suhu rendah, volume pelarut lebih sedikit, dan waktu yang lebih singkat. Jika metode UAE digunakan dalam waktu yang lama, suhu larutan cenderung naik, yang dapat mempercepat oksidasi antioksidan dan mengurangi kualitas ekstrak yang dihasilkan.⁴⁹ Selain UAE, ada juga ekstraksi dengan gelombang mikro yakni Microwave Assisted Extraction (MAE), Prinsip kerja metode MAE melibatkan pemanasan yang dihasilkan oleh radiasi gelombang mikro, yang menguapkan air dalam sel sampel. Hal ini menyebabkan tekanan di dalam sel meningkat, sehingga sel membengkak dan akhirnya pecah. Kerusakan pada dinding sel ini mempermudah senyawa target untuk terlepas dan diekstraksi. Beberapa keunggulan MAE meliputi waktu proses yang lebih cepat, penggunaan pelarut yang lebih minimal, biaya yang lebih hemat, serta efisiensi ekstraksi yang lebih tinggi.

Penentuan kadar flavonoid total dilakukan dengan metode kolorimetri, yang melibatkan penambahan reagen seperti aluminium klorida (AlCl₃) dan natrium asetat. AlCl₃ berfungsi untuk memicu reaksi dengan flavonoid, membentuk kompleks antara gugus hidroksil dan keton yang berdekatan, atau antar gugus hidroksil yang terhubung. Reagen yang digunakan dalam prosedur ini adalah AlCl₃ dan kalium asetat. AlCl₃ berreaksi dengan senyawa flavonoid, membentuk kompleks antara gugus keton di posisi C4 dan gugus OH di posisi C3 atau C5 pada flavon atau flavonol, yang menghasilkan senyawa berwarna kuning stabil. Quersetin dipilih sebagai standar untuk mengukur kadar flavonoid karena quersetin adalah flavonoid tipe flavonol yang memiliki gugus keton di C-4 dan gugus hidroksil pada C-3 dan C-5 yang berdekatan (Sari, 2017).

Dari kurva kalibrasi kuersetin sebagai standar flavonoid diperoleh persamaan garis linear $y = 0,1047x - 0,0443$ dan koefisien (r^2) yakni 0,9983 hasil ini mengindikasikan adanya hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi. Nilai (r^2) yang mendekati satu mengonfirmasi bahwa persamaan regresi tersebut bersifat linier. Absorbansi sampel yang diperoleh kemudian digunakan dalam persamaan garis lurus untuk menentukan kadar total flavonoid. Penetapan kadar flavonoid ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dilakukan dengan cara 2x replikasi dan dapat dilihat pada tabel 5.1. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh % kadar flavonoid ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) 2,755% dengan

metode maserasi sedangkan ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dengan metode UAE diperoleh 2,913% dan dengan metode MAE diperoleh 2,483%.

Adapun kadar fenolik total dapat ditentukan dengan metode Folin-Ciocalteu, yang memanfaatkan reduksi fosfomolibdat-fosfotungstat oleh senyawa fenolik yang memiliki struktur aromatik. Proses ini menghasilkan kompleks berwarna biru yang berasal dari molibdenum tungsten. Reaksi ini hanya dapat terjadi dalam medium basa, sehingga diperlukan penambahan natrium karbonat untuk menciptakan kondisi basa yang diperlukan. Dalam kondisi basa, senyawa fenolik akan terdisosiasi menjadi ion fenolat. Asam galat digunakan sebagai standar karena senyawa ini stabil dan termasuk dalam kelompok asam hidroxibenzoat, yang merupakan jenis asam fenolik sederhana.

Dari kurva kalibrasi asam galat sebagai standar fenolik diperoleh persamaan garis linear $y = 0,0695x + 0,0938$ dan koefisien (r^2) yakni 0,9971 hasil ini mengindikasikan adanya hubungan linier antara konsentrasi dan absorbansi. Nilai (r^2) yang mendekati satu mengonfirmasi bahwa persamaan regresi tersebut bersifat linier. Absorbansi sampel yang diperoleh kemudian digunakan dalam persamaan garis lurus untuk menentukan kadar total fenolik. Penetapan kadar fenolik ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dilakukan dengan cara 2x replikasi dan dapat dilihat pada tabel 5.2. Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh % kadar fenolik ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) 3,142% dengan metode maserasi sedangkan ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dengan metode UAE diperoleh 2,854% dan dengan metode MAE diperoleh 2,090%.

Dari hasil % kadar fenolik ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) yang diperoleh tersebut, terlihat bahwa ekstrak yang diperoleh dari metode ekstraksi maserasi lebih besar dibandingkan dengan metode UAE dan MAE. Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk waktu ekstraksi yang lebih lama pada metode maserasi, yang memungkinkan pelarut untuk lebih efektif mengekstraksi senyawa fenolik dan flavonoid dari sel-sel rimpang kunyit. Metode maserasi, meskipun memerlukan waktu yang lebih lama, memungkinkan senyawa-senyawa aktif untuk larut secara lebih lengkap karena proses difusi yang berlangsung perlahan. Selain itu, sifat pelarut yang digunakan dalam maserasi mungkin lebih cocok untuk melarutkan senyawa fenolik, sehingga menghasilkan ekstrak dengan konsentrasi senyawa tersebut lebih tinggi. Meskipun metode UAE dan MAE dapat mempercepat proses ekstraksi dan mengurangi waktu serta penggunaan pelarut, faktor seperti suhu yang lebih tinggi pada MAE atau energi ultrasonik pada UAE dapat menyebabkan degradasi sebagian senyawa fenolik dan flavonoid, yang mungkin menjelaskan kadar yang lebih rendah pada kedua metode ini. Senyawa fenolik dan flavonoid, yang dikenal memiliki sifat antioksidan yang kuat, sangat sensitif terhadap kondisi ekstraksi yang melibatkan suhu atau radiasi tinggi, sehingga bisa terjadi penurunan kandungan senyawa aktif akibat oksidasi atau perubahan struktural.⁵⁷

Di sisi lain, dari hasil % kadar flavonoid ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) yang diperoleh tersebut terlihat bahwa ekstrak yang diperoleh dari metode ekstraksi UAE lebih besar dibanding maserasi dan MAE. Hal tersebut kemungkinan karena kemampuan UAE dalam meningkatkan efisiensi ekstraksi melalui getaran ultrasonik yang membantu membuka sel tanaman, waktu ekstraksi yang lebih singkat, suhu yang lebih rendah, dan peningkatan distribusi energi. Faktor-faktor tersebut memungkinkan lebih banyak flavonoid terlepas ke dalam pelarut, menghasilkan ekstrak dengan kadar flavonoid yang lebih tinggi.⁴⁹

Senyawa fenolik dan flavonoid yang terkandung dalam ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) merupakan hasil metabolit sekunder yang berpotensi sebagai sumber bahan baku obat yang bersifat sebagai antioksidan.

Penilaian aktivitas antioksidan menggunakan metode DPPH. Metode ini bekerja dengan cara bahwa saat larutan DPPH berinteraksi dengan antioksidan, senyawa antioksidan akan memberikan atom hidrogen kepada DPPH. Akibatnya, penyerapan radikal bebas terjadi, yang menyebabkan elektron menjadi berpasangan, sehingga konsentrasi DPPH menurun (Eko, 2021).⁴⁴ Parameter kekuatan sampel pada uji DPPH ditentukan oleh nilai IC₅₀ yang dihitung berdasarkan persentase inhibisi. Persentase inhibisi menggambarkan kemampuan suatu senyawa untuk menghalangi aktivitas radikal bebas yang bergantung pada konsentrasi sampel. Nilai IC₅₀ sendiri adalah indikator umum yang digunakan untuk menilai hasil uji DPPH, dimana semakin rendah nilai IC₅₀, semakin tinggi pula potensi antioksidan dari sampel tersebut. Menurut

Phongpaichit et al., (2007) dalam penelitian yang dikutip oleh Syarif et al. (2016), suatu senyawa dianggap sebagai antiradikal bebas yang sangat kuat jika memiliki nilai IC₅₀ <10 µg/mL, kuat jika IC₅₀ berada antara 10 – 50 µg/mL, sedang jika nilai IC₅₀ berkisar antara 50 – 100 µg/mL, lemah jika IC₅₀ berada antara 100 – 250 µg/mL, dan tidak aktif jika IC₅₀ >250 µg/mL (Syarif et al, 2016).⁴⁶

Aktivitas antioksidan ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dengan ekstraksi metode maserasi, UAE dan MAE berturut-turut sebesar 14,467 µg/mL, 19,349 µg/mL, dan 14,391 µg/mL tergolong kuat karena nilai IC₅₀ nya berada diantara 10 – 50 µg/mL.

Meskipun kadar flavonoid dan fenolik yang lebih tinggi dapat berkontribusi pada aktivitas antioksidan yang lebih baik, hal ini tidak selalu linier. Dalam hal ini, ekstrak dengan kadar fenolik tertinggi (maserasi) tidak selalu menghasilkan aktivitas antioksidan yang tertinggi. Aktivitas antioksidan yang lebih tinggi pada ekstrak maserasi (IC₅₀ = 14,467 µg/mL) dibandingkan dengan UAE (IC₅₀ = 19,349 µg/mL) dapat disebabkan oleh faktor lain, seperti jenis senyawa fenolik dan flavonoid yang terkandung, struktur molekul, atau interaksi antar senyawa dalam ekstrak tersebut. Hasil aktivitas antioksidan pada ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) yang tergolong kuat pada penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Pratiwi dan Wardaniati (2022) yang juga mendapatkan nilai IC₅₀ dari ekstrak etanol rimpang kunyit berada diantara 10 – 50 µg/mL yang tergolong kuat, tepatnya 15,93 µg/mL yang dimana memiliki korelasi antara kadar fenolik total dengan aktivitas antioksidan walaupun korelasi yang didapatkan lemah.

SIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa : 1). Diperoleh % kadar flavonoid ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) 2,755% dengan metode maserasi, 2,913% dengan metode UAE dan 2,483% dengan metode MAE. Sedangkan % kadar fenolik ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) 3,142% dengan metode maserasi, 2,854% dengan metode UAE dan 2,090% dengan metode MAE. 2). Aktivitas antioksidan ekstrak rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) dengan ekstraksi metode maserasi, UAE dan MAE berturut-turut sebesar 14,467 µg/mL, 19,349 µg/mL, dan 14,391 µg/mL tergolong kuat karena nilai IC₅₀ nya berada diantara 10 – 50 µg/mL. 3). Ekstraksi dengan metode maserasi menghasilkan kadar fenolik dan flavonoid total yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode UAE dan MAE pada rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.). Meskipun metode UAE dan MAE lebih efisien dalam hal waktu dan penggunaan pelarut, metode maserasi terbukti lebih optimal dalam mempertahankan kandungan senyawa fenolik dan flavonoid, yang berkontribusi pada aktivitas antioksidan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, maserasi dapat dipertimbangkan sebagai metode yang lebih efektif untuk ekstraksi senyawa bioaktif dari rimpang kunyit, meskipun dengan waktu ekstraksi yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. R., Juwita, J., & Ratulangi, S. A. D. (2015). Penetapan kadar fenolik dan flavonoid total ekstrak metanol buah dan daun patikala (*Etlingera elatior* (Jack) RM SM). *Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(1), 1.
- Aulia Kaffi, N. U. R. U. L., Malik, A., & Amaliah Dahlia, A. (2023). Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Flavonoid Daun Dengan (*Dillenia Serrata* Thunb.) (Doctoral Dissertation, Universitas Muslim Indonesia).
- Badaring, D. R., Sari, S. P. M., Nurhabiba, S., Wulan, W., & Lembang, S. A. R. (2020). Uji ekstrak daun maja (*Aegle marmelos* L.) terhadap pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*. *Indonesian Journal of Fundamental Sciences*, 6(1), 16.
- Badriyah, L. (2024). Pengaruh Perbedaan Suhu Maserasi Terhadap Prosentase Rendemen Ekstrak Temu Kunci (*Boesenbergia rotunda* L.). *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan Dan Analisisnya*, 51-60.
- Bonfigli, M., Godoy, E., Reinheimer, M. A., & Scenna, N. J. (2017). Comparison between conventional and ultrasound-assisted techniques for extraction of anthocyanins from grape pomace. *Experimental results and mathematical modeling. Journal of food engineering*, 207, 56-72.
- Cardona, M. I., Toro, R. M., Costa, G. M., Ospina, L. F., Castellanos, L., Ramos, F. A., & Aragón, D. M. (2017). Influence of extraction process on antioxidant activity and rutin

- content in *Physalis peruviana* calyces extract. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(6), 164-168.
- Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., ... & Prieto, M. A. (2021). Benefits and drawbacks of ultrasound-assisted extraction for the recovery of bioactive compounds from marine algae. *International journal of environmental research and public health*, 18(17), 9153.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 540-560.
- Dewantara, L. A. R., Ananto, A. D., & Andayani, Y. (2021). Penetapan kadar fenolik total ekstrak kacang panjang (*Vigna unguiculata*) dengan metode spektrofotometri UV-Visible. *Lambung Farmasi: Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 2(1), 13-19.
- Gharge, S., Hiremath, S. I., Kagawad, P., Jivaje, K., Palled, M. S., & Suryawanshi, S. S. (2021). *Curcuma zedoaria* Rosc (*Zingiberaceae*): a review on its chemical, pharmacological and biological activities. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 7, 1-9.
- Golmohamadi, A., Möller, G., Powers, J., & Nindo, C. (2013). Effect of ultrasound frequency on antioxidant activity, total phenolic and anthocyanin content of red raspberry puree. *Ultrasonics sonochemistry*, 20(5), 1316-1323.
- González-Centeno, M. R., Comas-Serra, F., Femenia, A., Rosselló, C., & Simal, S. (2015). Effect of power ultrasound application on aqueous extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from grape pomace (*Vitis vinifera* L.): Experimental kinetics and modeling. *Ultrasonics sonochemistry*, 22, 506-514.
- Handayani, S., Najib, A., & Wati, N. P. (2018). Uji aktivitas antioksidan ekstrak daun daruju (*Acanthus ilicifolius* L.) dengan metode peredaman radikal bebas 1, 1-Diphenyl-2-Picrylhidrazil (Dpph). *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 5(2), 299-308.
- Hasanah, N., Dahlia, A. A., & Handayani, V. (2023). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Kedondong Laut (*Nothopanax fruticosum* (L.) Miq) Dengan Metode Peredaman Radikal Bebas DPPH. *Makassar Natural Product Journal (MNPJ)*, 10-17.
- Hasdar, M. (2021). Ekstraksi Beras Hitam Sirampog Berbantu Gelombang Mikro (Microwave Assisted Extraction (Mae)). *Jurnal Pengolahan Pangan*, 6(2), 49-53.
- Humairoh Ratu Ayu, H. R. A., Suryono Suryono, S. R., & Jatmiko Endro Suseno, J. E. S. (2020). Rancang Bangun Sistem Ultrasound Assisted Extraction (UAE) dengan Otomasi Pengaturan Suhu dan Volume Pelarut. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 10(01), 56-64.
- Isnawati, A. P., Retnaningsih, A., & Nofita, N. (2018). Perbandingan teknik ekstraksi maserasi dengan infusa pada pengujian aktivitas daya hambat daun sirih hijau (*Piper betle* L.) terhadap *Escherichia coli*. *Jurnal Farmasi Malahayati*, 1(1), 19-24.
- Kristina, C. V. M., Yusrini, N. A., & Yusa, N. M. (2022). Pengaruh Waktu Ekstraksi Dengan Menggunakan Metode Ultrasonic Assisted Extraction (UAE) Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Duwet (*Syzygium cumini*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 11(1), 13-21.
- Maesaroh, K., Kurnia, D., & Al Anshori, J. (2018). Perbandingan metode uji aktivitas antioksidan DPPH, FRAP dan FIC terhadap asam askorbat, asam galat dan kuersetin. *Chimica et natura acta*, 6(2), 93-100.
- Rodriguez Garcia, S. L., & Raghavan, V. (2022). Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(23), 6446-6466.
- Roskiana Ahmad, A. (2023). Antioxidant activity of *Passiflora edulis* (passion fruit) seed extracts obtained from maceration and ultrasonic assisted extraction method. *FITOFARMAKA: Jurnal Ilmiah Farmasi*, 13(1), 77-81.
- Sagita, N. D., Sopyan, I., & Hadisaputri, Y. E. (2022). Kunir Putih (*Curcuma zedoaria* Rocs.): Formulasi, Kandungan Kimia dan Aktivitas Biologi. *Majalah Farmasetika*, 7(3), 189.
- Suprihatin, T., Rahayu, S., Rifa'i, M., & Widyarti, S. (2020). Senyawa pada serbuk rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) yang berpotensi sebagai antioksidan. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 5(1), 35-42.

- Suprihatin, T., Rahayu, S., Rifa'i, M., & Widyarti, S. (2020). Senyawa pada serbuk rimpang kunyit (*Curcuma longa* L.) yang berpotensi sebagai antioksidan. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 5(1), 35-42.
- Syarif, R. A., Muhajir, M., Ahmad, A. R., & Malik, A. (2015). Identifikasi Golongan Senyawa Antioksidan dengan Menggunakan Metode Peredaman Radikal Dpph Ekstrak Etanol Daun *Cordia Myxa* L. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 2(1).
- Ulum, M., Sari, F. N., Amini, H. W., & Sudrajat, H. (2022). Extraction Method of Ultrasound-Assisted Extraction (UAE) of Robusta Coffee Skin Waste using 96% Ethanol Solution in Tanah Wulan Village, Maesan District, Bondowoso Regency. *Journal of Biobased Chemicals*, 2(2), 78-89.
- Wahyuningtyas, S. E. P., Permana, D. G. M., & Wiadnyani, A. A. I. S. (2017). Pengaruh jenis pelarut terhadap kandungan senyawa kurkumin dan aktivitas antioksidan ekstrak kunyit (*Curcuma domestica* Val.). *Jurnal ITEPA Vol*, 6(2).
- Wen, C., Zhang, J., Zhang, H., Dzah, C. S., Zandile, M., Duan, Y., ... & Luo, X. (2018). Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops—A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 48, 538-549.