E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Evaluasi Antioksidan Kulit Buah Jeruk (*Citrus*) Dengan Metode Uji DPPH, FRAP, ABTS, CUPRAC

Monica Suryani[1], Eva Diansari Marbun[2], Alfi Sapitri[3], Burma Michael Sipayung[4], Silvina Putri[5]
[1]Universitas Sari Mutiara, monicasuryani2@gmail.com
[2] Universitas Sari Mutiara, ephalg8@gmail.com
[3]Universitas Sari Mutiara, alfi.syahfitri@gmail.com
[4]Universitas Sari Mutiara, michaelsipayung007@gmail.com
[5]Universitas Sari Mutiara, silvinaputri83@gmail.com

Abstrak

Limbah kulit buah jeruk (Citrus spp.) merupakan sumber antioksidan alami yang berpotensi besar namun sering belum dimanfaatkan secara optimal. Artikel ini disusun sebagai mini review yang bertujuan merangkum dan membandingkan aktivitas antioksidan kulit berbagai jenis jeruk berdasarkan empat metode uji, yaitu DPPH, FRAP, ABTS, dan CUPRAC. Metode yang digunakan adalah studi literatur deskriptif kualitatif terhadap publikasi ilmiah nasional dan internasional tahun 2022–2026 yang diperoleh dari Google Scholar, Garuda, ScienceDirect, PubMed/PMC, DOAJ, dan ResearchGate. Hasil kajian menunjukkan bahwa nilai IC_{50} dan kapasitas reduksi bervariasi luas antarjenis jeruk dan antarmetode, dengan kategori aktivitas berkisar dari sangat kuat hingga sangat lemah. Kadar fenolik dan flavonoid, metode ekstraksi, jenis pelarut, serta spesies dan bagian kulit yang diuji menjadi faktor utama yang memengaruhi hasil pengujian. Metode DPPH lebih sensitif terhadap senyawa polar, sedangkan FRAP, ABTS, dan CUPRAC mampu menangkap kontribusi senyawa semipolar hingga lipofilik seperti monoterpena. Perbandingan antarmetode menegaskan bahwa penilaian aktivitas antioksidan kulit jeruk hanya dari satu metode berisiko memberikan gambaran yang tidak lengkap, sehingga pendekatan multimetode diperlukan untuk memperoleh profil antioksidan yang lebih komprehensif.

Kata Kunci: *ABTS, antioksidan, CUPRAC, DPPH, FRAP, kulit jeruk*

Abstract

Citrus peel waste represents a promising source of natural antioxidants that remains largely underutilized. This article is a mini review aiming to summarize and compare the antioxidant activity of various citrus peels based on four testing methods: DPPH, FRAP, ABTS, and CUPRAC. A descriptive qualitative literature study was conducted on national and international scientific publications from 2022–2026, retrieved from Google Scholar, Garuda, ScienceDirect, PubMed/PMC, DOAJ, and ResearchGate. The review shows that IC50 values and reducing capacities vary widely across citrus species and testing methods, ranging from very strong to very weak antioxidant categories. Total phenolic and flavonoid content, extraction method, solvent type, and the species and peel part tested are the main factors influencing the results. The DPPH method is more sensitive toward polar compounds, whereas FRAP, ABTS, and CUPRAC better capture the contribution of semipolar to lipophilic compounds such as monoterpenes. Cross-method comparison confirms that relying on a single assay risks providing an incomplete picture of citrus peel antioxidant activity, highlighting the need for a multi-method approach to obtain a more comprehensive antioxidant profile.

Keywords: *ABTS, antioxidant, citrus peel, CUPRAC, DPPH, FRAP*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Corresponding Author:
Eva Diansari Marbun
Universitas Sari Mutiara, ephalg8@gmail.com

PENDAHULUAN

Limbah kulit buah jeruk, termasuk varietas jeruk nipis, jeruk manis, jeruk sunkist, jeruk siam, hingga jeruk kalamansi, diketahui memiliki potensi sangat besar sebagai sumber antioksidan alami. Kulit jeruk sering kali tidak dimanfaatkan, padahal kulit jeruk memiliki banyak senyawa bioaktif yang sangat bermanfaat. Senyawa bioaktif ini antara lain flavonoid, asam fenolik, tanin, dan vitamin C. Menariknya, konsentrasi senyawa-senyawa ini justru lebih tinggi di kulit jeruk daripada di daging buah jeruknya (Shane et al., 2025). Meskipun sering dianggap sebagai limbah, kandungan senyawa aktif tersebut memberikan nilai ekonomi tinggi karena potensinya untuk dikembangkan menjadi produk kesehatan.

Radikal bebas merupakan molekul tidak stabil yang memiliki elektron tidak berpasangan, sehingga mudah bereaksi dengan komponen sel (Ngibad, 2023). Ketika jumlahnya berlebihan, radikal bebas dapat menimbulkan stres oksidatif yang merusak DNA, protein, dan membran sel. Kondisi ini berperan dalam proses penuaan dini, gangguan kesehatan, serta kerusakan kulit (Widiasriani et al., 2024). Dunia farmasi dan kosmetik sangat memperhatikan masalah ini karena dampaknya terhadap kesehatan dan penampilan. Oleh sebab itu, antioksidan alami seperti vitamin C, vitamin E, dan polifenol tumbuhan menjadi solusi penting untuk menetralkan radikal bebas dan melindungi sel dari kerusakan (Syamsu & Rachman, 2023).

Metode DPPH sangat sering dipilih untuk penelitian dikarenakan prosedur yang cepat dan sederhana. Teknik ini memungkinkan peneliti mengukur aktivitas antioksidan dengan akurasi yang baik (Christian, 2024). Selain itu, metode DPPH tidak memerlukan peralatan yang rumit sehingga mudah diaplikasikan di berbagai laboratorium. Biaya yang relatif murah juga menjadi alasan utama mengapa metode ini banyak digunakan dalam jurnal-jurnal ilmiah. Dengan keunggulan tersebut, DPPH menjadi salah satu metode standar dalam evaluasi aktivitas antioksidan (Syamsu & Rachman, 2023).

Sejumlah publikasi tahun 2022-2026 menunjukkan bahwa peneliti mulai mengombinasikan DPPH dengan metode lain yang mewakili mekanisme berbeda, yaitu FRAP dan CUPRAC yang berbasis reduksi ion logam (Fe^{3+} menjadi Fe^{2+}) pada FRAP; Cu^{2+} menjadi Cu^{+} pada CUPRAC) (Kanwal et al., 2024; Önder, 2023), serta ABTS yang mampu mengukur senyawa hidrofilik maupun lipofilik sekaligus. Karena setiap metode memiliki prinsip reaksi, sensitivitas terhadap kepolaran senyawa, dan interpretasi hasil yang berbeda, penilaian aktivitas antioksidan kulit jeruk hanya dari satu metode berisiko memberikan gambaran yang tidak lengkap (Huriyah et al., 2026). Atas dasar itu, artikel ini disusun sebagai mini review yang merangkum dan membandingkan hasil pengujian antioksidan kulit jeruk dari berbagai metode tersebut.

Potensi besar dari ekstrak kulit jeruk ini telah mendorong hilirisasi produk ke dalam berbagai sediaan kosmetik dan farmasi topikal, seperti gel, *lotion*, serum, hingga *face mist* (Arantika & Hidayati, 2024). Berbagai uji formulasinya menunjukkan stabilitas fisik yang baik serta karakteristik pH yang biokompatibel dengan kulit manusia, sehingga aman digunakan. Dengan pengolahan yang tepat, limbah ini dapat menjadi sumber senyawa alami yang bermanfaat bagi kesehatan. Ke depan, diperlukan penelitian

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

lanjutan untuk menguji keamanan, efektivitas klinis, serta formulasi produk yang tepat (Mulyadi, 2026).

METODE

Artikel ini disusun sebagai mini review, bukan *narrative review* maupun *systematic review*. Pemilihan format ini didasarkan pada cakupan topik yang difokuskan secara spesifik pada satu objek kajian, yaitu aktivitas antioksidan kulit buah jeruk (*Citrus* spp.), serta pada jumlah dan jenis literatur yang digunakan. Berbeda dari *systematic review*, penelusuran pada mini review ini tidak mengikuti protokol Preferred Reporting Items for *Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) secara penuh, tidak diregistrasikan pada basis data protokol (misalnya PROSPERO), dan tidak disertai diagram alur seleksi artikel secara formal. Berbeda pula dari *narrative review* yang umumnya mencakup pustaka dalam jumlah besar dan cakupan tema yang luas, mini review ini membatasi diri pada literatur primer bertema spesifik dengan rentang waktu terbatas (2022-2026) dan disusun secara terstruktur menurut metode pengujian antioksidan yang digunakan.

Studi literatur merupakan metode deskriptif kualitatif yang digunakan untuk menyelidiki aktivitas antioksidan kulit buah jeruk yang diuji dengan metode *2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl* (DPPH), *Ferric Reducing Antioxidant Power* (FRAP), *2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)* (ABTS), dan *Cupric Reducing Antioxidant Capacity* (CUPRAC). Adapun sumber data yang digunakan adalah data sekunder berupa jurnal nasional dan internasional, prosiding, serta publikasi ilmiah lainnya yang relevan.

Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur pada basis data elektronik Google Scholar, Garuda, ScienceDirect, PubMed/PMC, DOAJ, dan ResearchGate. Kata kunci yang digunakan meliputi kombinasi "*citrus peel antioxidant*", "kulit buah jeruk dan antioksidan", "DPPH", "FRAP", "ABTS" dan "CUPRAC". Artikel yang dipilih dibatasi pada publikasi tahun 2022–2026, tersedia dalam bentuk teks lengkap atau abstrak terstruktur, membahas kulit buah jeruk, dan melaporkan data aktivitas antioksidan secara kuantitatif. Artikel yang duplikat, tidak relevan, tidak memiliki data yang jelas, atau berada di luar rentang tahun ditetapkan dikeluarkan dari proses seleksi.

Data yang dikumpulkan mencakup jenis kulit buah jeruk, metode pengujian antioksidan, nilai hasil pengujian, Faktor yang mempengaruhi nilai hasil pengujian, serta sumber pustaka. Keempat metode uji analisis berdasarkan prinsip reaksinya masing-masing sebagai berikut.

Metode DPPH

Metode DPPH berprinsip pada perubahan warna larutan DPPH dari ungu menjadi kuning setelah bereaksi dengan senyawa antioksidan melalui donor atom hidrogen. Pengukuran nilai IC50 menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang sekitar 517 nm. Perhitungan inhibisi menggunakan rumus:

$$\% \text{ Inhibisi} = [(\text{Akontrol} - \text{Asampel}) / \text{Akontrol}] \times 100\%$$

dengan Akontrol adalah nilai absorbansi larutan DPPH tanpa sampel dan Asampel adalah nilai absorbansi larutan DPPH setelah penambahan sampel. Semakin kecil nilai IC50, semakin tinggi aktivitas antioksidan sampel.

Metode FRAP

Metode FRAP mengukur kemampuan sampel mereduksi ion Fe^{3+} (kompleks TPTZ-Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang berwarna biru, dibaca pada panjang gelombang sekitar 593 nm dan dinyatakan sebagai mg *Trolox equivalent* (TE) per gram sampel.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Metode ABTS

Metode ABTS mengukur peredaman radikal kation ABTS•+ yang terbentuk dari reaksi ABTS dengan kalium persulfat, dibaca pada panjang gelombang sekitar 734 nm dan dinyatakan sebagai mg *Trolox equivalent* atau mg *ascorbic acid equivalent* (AAE) per gram sampel.

Metode CUPRAC

Metode CUPRAC mengukur reduksi ion Cu^{2+} menjadi Cu^{+} oleh senyawa antioksidan dengan pembentukan kompleks berwarna yang dibaca pada panjang gelombang sekitar 450 nm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Antioksidan dari Nilai IC50

Tabel 1. Klasifikasi Antioksidan dari Nilai IC50

Kategori	**Nilai IC50 (ppm atau *µ*g/mL))**
Sangat Kuat	< 50 ppm
Kuat	50-100 ppm
Sedang	101-150 ppm
Lemah	151-200 ppm
Sangat Lemah	>200 ppm

Pengkategorian antioksidan berdasarkan nilai IC50 akan dianalisis pada kulit jeruk dari jurnal yang dipilih. Semua sampel tersebut kemudian diberi bagan berdasarkan jenis tanaman, metode, hingga analisis. Sehingga, hasil bagan tersebut terdapat pada Tabel No. 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5.

Tabel 2. Nilai IC50 Untuk Kulit Jeruk dengan DPPH

No	**Jenis Tanaman**	**Metode**	**Analisis**	**Sumber**
1	Jeruk Manis (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)	Metode DPPH dengan spektrofotometer UV-Vis	Formula kombinasi terbaik adalah F2 (2:1) dengan nilai IC_{50} 71,01 µg/mg (kuat).	(Ulayya et al., 2025)
2	Jeruk Kalamansi *(Citrus microcarpa* Bunge)	Metode DPPH dengan spektrofotometer UV-Vis	Nilai IC_{50}: Ekstrak etanol = 57,49 ppm (kuat) Minyak atsiri = 35,74 ppm (sangat kuat)	(Pardilawati et al., 2024)
3	Lemon (*Citrus limon* L.)	Metode DPPH diukur dengan spektrofotometer UV-Vis.	Ekstrak kulit lemon memiliki nilai IC_{50} sebesar 16,46 ± 0,36 ppm (sangat kuat).	(Christian, 2024)
4	Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*)	Metode DPPH dan diukur dengan	Nilai IC50:	(Febrianti & Surya, 2023)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

		spektrofotometer UV-Vis (λ= 520 nm)	Ekstrak metanol kulit jeruk nipis sebesar 88,2346 µg/mL (kuat) dengan maserasi 3 × 24 jam.	
5	Jeruk Kunci (*Citrus x microcarpa* Bunge)	Destilasi uap air untuk minyak atsiri (kombinasi 40:60), uji antioksidan metode DPPH (λ=517 nm)	Nilai IC_{50}: Kombinasi 40:60 = 4,02 µg/mL (sangat kuat).	(Roanisca et al., 2025)
6	Jeruk Siam Kintamani (*Citrus nobilis*)	Metode DPPH menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 517 nm.	Pelarut Metanol = 136,17 ppm (sedang) Pelarut Etil Asetat = 1412,05 ppm (sangat lemah) Pelarut Heksana = 1736,71 ppm (sangat lemah)	(Nirmalasari et al., 2024)
7	Buah Jeruk Sunkist (*Citrus Sinensis* L.)	Metode DPPH menggunakan UV-Vis 517 nm	Nilai IC_{50}: Kulit jeruk sunkist muda 114,73 ppm (sedang), Kulit jeruk sunkist tua 54,32 ppm (kuat), Vitamin C 7,10 ppm (sangat kuat).	(Shane et al., 2025)

Hubungan Kadar Fenolik-Flavonoid dengan Aktivitas DPPH

Nilai IC_{50} DPPH pada kulit jeruk sangat dipengaruhi oleh kadar total fenolik dan flavonoid (Angelia et al., 2022). Dari data di atas, ekstrak kulit jeruk manis dan jeruk nipis yang memiliki kadar fenolik tertinggi juga menunjukkan IC_{50} paling rendah, yaitu 9,76 µg/mL dan 12,45 µg/mL (Angelia et al., 2022). Hal ini terjadi karena senyawa fenolik dan flavonoid memiliki gugus hidroksil yang berperan sebagai donor hidrogen kepada radikal DPPH. Proses donor H ini akan menstabilkan radikal DPPH sehingga perubahan warna dari ungu ke kuning lebih cepat terjadi. Korelasi negatif antara kadar fenolik dengan IC50 juga terlihat pada ekstrak kulit jeruk limau, di mana semakin tinggi kadar fenolik maka kemampuan peredaman radikal semakin kuat. Dengan demikian, kandungan metabolit sekunder menjadi indikator utama potensi antioksidan kulit jeruk pada uji DPPH.

Pengaruh Metode Ekstraksi terhadap Aktivitas Antioksidan DPPH

Metode ekstraksi memegang peranan penting dalam menentukan besarnya aktivitas antioksidan yang terukur dengan DPPH. Pada file, metode *Ultrasonic-Assisted Extraction* (UAE) dan refluks dengan pelarut etanol menghasilkan ekstrak dengan IC_{50} lebih rendah dibanding maserasi biasa. Hal ini karena gelombang ultrasonik pada UAE mampu memecah dinding sel kulit jeruk sehingga senyawa antioksidan seperti flavonoid dan asam askorbat lebih banyak terlepas ke dalam pelarut (Mahirah et al., 2026). Selain itu penggunaan pelarut etanol 70-96% juga efektif menarik senyawa semi-polar. Namun jika energi ultrasonik terlalu tinggi atau waktu ekstraksi terlalu lama dapat menyebabkan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

degradasi senyawa fenolik, sehingga aktivitas antioksidan justru menurun. Oleh karena itu optimasi waktu, suhu, dan jenis pelarut sangat diperlukan agar hasil uji DPPH maksimal (Tampubolon et al., 2023).

Peran Jenis Spesies dan Bagian Kulit terhadap Hasil DPPH

Perbedaan spesies jeruk menyebabkan variasi aktivitas antioksidan DPPH pada bagian kulit. Berdasarkan data di file, *Citrus sinensis* dan *Citrus aurantifolia* memiliki aktivitas "sangat kuat" dengan IC50 < 15 µg/mL, sementara *Citrus microcarpa* dan *Citrus amblycarpa* berada pada kategori "kuat" dengan IC50 18-57 ppm (Nirmalasari et al., 2024). Perbedaan ini disebabkan oleh komposisi kimia tiap spesies. Kulit jeruk manis dan nipis kaya akan hesperidin, naringin, dan vitamin C yang merupakan antioksidan kuat. Sedangkan kulit jeruk kalamansi dan limau lebih banyak mengandung minyak atsiri seperti limonene yang aktivitasnya terhadap DPPH lebih rendah karena DPPH bersifat lebih selektif terhadap antioksidan polar. Selain spesies, umur buah dan kondisi lingkungan tumbuh juga mempengaruhi akumulasi senyawa antioksidan di kulit. Dengan demikian, pemilihan jenis jeruk yang tepat menentukan potensi kulit sebagai sumber antioksidan alami (Nirmalasari et al., 2024).

Tabel 3. Nilai IC50 Untuk Kulit Jeruk dengan FRAP

No	Jenis Tanaman	Metode	Analisis	Sumber
1	Jeruk Thompson Navel/Ibadan Sweet (*Citrus sinensis* Thompson Navel)	Metode FRAP dengan Spektrofotometer 700 nm	Ekstrak etanol: 7,98 ± 0,55 mg/100 g. Ekstrak heksana: 1,45 ± 0,04 mg/100 g.	(Ogo et al., 2024)
2	Jeruk Washington Navel (*Citrus sinensis* Washington Navel)	Metode FRAP dengan Spektrofotometer 700 nm	Ekstrak etanol: 0,83 ± 0,02 mg/100 g. Ekstrak heksana: 1,15 ± 0,01 mg/100 g.	
3	Jeruk manis Valencia (*Citrus sinensis* Valencia)	Metode FRAP dengan Spektrofotometer 700 nm	Ekstrak etanol: 0,90 ± 0,02 mg/100 g. Ekstrak heksana 0,94 ± 0,02 mg/100 g.	
4	Pomelo (*Citrus maxima*)	Metode FRAP dengan spektrofotometer 593 nm mengukur kapasitas reduksi (electron-donating capacity) sampel.	Minyak Atsiri Kulit Pomelo (*Citrus maxima*): 105 ± 3,8 µmol TE/g sampel Limonene Murni (*dl-limonene*): 32,7 ± 2,0 µmol TE/g sampel Trolox (Standar Pembanding): 1000 ± 25,0 µmol TE/g sampel Asam Askorbat / Vit. C (Standar Pembanding): 1125,4 ± 30,2 µmol TE/g sampel	(Kaewkaen, 2026)
5	Jeruk sambal (*Citrus amblycarpa*)	Metode FRAP yang menggunakan	Nilai Antioksidan:	(Kusumawati et al., 2025)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

		spektrofotometer pada panjang gelombang 593 nm.	Fraksi Etil Asetat (KLE): 84,13 ± 6,79% pada konsentrasi 20.000 ppm Fraksi Metanol (KLM): 58% pada konsentrasi 20.000 ppm. Fraksi n-Heksana (KLH): 51% pada konsentrasi 20.000 ppm Fraksi Air / *Aqueous* (KLA): 7,98 ± 0,06% pada konsentrasi 20.000 ppm.	
6	Jeruk manis (*Citrus sinensis* L.)	Metode FRAP yang menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 593 nm.	Akuades-Metanol (50%): 30 Menit: 10,15 ± 0,3 mg TE/g 45 Menit: 11,9 ± 0,36 mg TE/g 60 Menit: 13,6 ± 0,4 mg TE/g Akuades-Etanol (50%): 30 Menit: 8,75 ± 0,2 mg TE/g 45 Menit: 9,1 ± 0,3 mg TE/g 60 Menit: 10,9 ± 0,4 mg TE/g Air (Water): 30 Menit: 7,5 ± 0,2 mg TE/g 45 Menit: 9,05 ± 0,2 mg TE/g 60 Menit: 10,1 ± 0,2 mg TE/g Rata-rata Waktu penggabungan Pelarut: 30 Menit: 8,8 ± 0,25 mg TE/g 45 Menit: 10,0 ± 0,3 mg TE/g 60 Menit: 11,5 ± 0,4 mg TE/g	(Ashraf et al., 2024)
7.	Lemon (*Citrus limon*)	Metode FRAP yang menggunakan spektrofotometer 620 nm	Nilai FRAP tertinggi: 128 ± 33 µmol AAE/g pada kondisi optimal dengan teknik stirring,	(Chatzimitakos et al., 2023)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

			pelarut etanol 75%, waktu 120 menit, suhu 20 °C	

Pengujian aktivitas antioksidan menggunakan metode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) mengukur kemampuan suatu sampel untuk mereduksi kompleks besi(III)-tripyridyltriazine [Fe(III)-TPTZ] menjadi kompleks besi(II) [Fe(II)-TPTZ] yang berwarna biru intensif pada media asam (pH 3,6). Faktor asal geografis dan kondisi agroklimat tempat tumbuhan dibudidayakan secara langsung menentukan akumulasi senyawa pereduksi seperti monoterpena, flavonoid, dan asam fenolat (Gallego-Narbón et al., 2024). Pada penelitian minyak atsiri kulit jeruk bali (Citrus maxima) kultivar Prachinburi yang dipanen pada kematangan komersial (160 hari setelah pembentukan buah), diperoleh kapasitas pereduksian FRAP sebesar 98,6 μmol Fe^{2+}/g sampel atau setara dengan 105,3 μmol TE/g sampel (Abirami et al., 2014). Pemanenan pada ukuran lingkar buah lebih dari 25 cm memastikan akumulasi senyawa volatil pada bagian flavedo berada pada tingkat optimal untuk menyumbangkan elektron.

Faktor teknis kedua yang menentukan besaran nilai FRAP adalah keterbatasan kelarutan dan sifat fisiko-kimia senyawa lipofilik dalam media reaksi berair. Reagen FRAP dibuat dengan mencampurkan buffer asetat pH 3,6, larutan TPTZ dalam HCl 40 mM, dan larutan FeCl3·6H2O dalam fase air (Farah Fauziah et al., 2023). Karena molekul monoterpena seperti d-limonene bersifat sangat hidrofobik dan tidak memiliki gugus hidroksil fenolik bebas, kemampuannya untuk menyumbangkan elektron secara langsung kepada kompleks Fe(III)-TPTZ dalam media berair sangat terbatas. Hal ini terbukti dari pengujian d-limonene murni yang hanya mencatatkan nilai FRAP sebesar 28,4 μmol Fe^{2+}/g sampel (32,7 μmol TE/g). Keterbatasan interaksi antara fase hidrofobik minyak dengan reagen polar menyebabkan nilai daya pereduksi besi tampak sedang (moderate) jika dibandingkan dengan antioksidan fenolik hidrofilik (Tsotsou et al., 2026).

Interaksi sinergis dalam matriks ekstratan utuh dibanding senyawa tunggal serta pemilihan standar pembanding (*reference standards*) turut memegang peranan krusial dalam pembacaan nilai FRAP. Pengujian sampel minyak atsiri utuh menghasilkan nilai FRAP (98,6 μmol Fe^{2+}/g) yang jauh lebih tinggi daripada d-limonene murni (28,4 μmol Fe^{2+}/g). Hal ini mengindikasikan bahwa konstituen minor volatil seperti γ-terpinene, myrcene, dan linalool bertindak secara kooperatif meningkatkan transfer elektron (Saleem et al., 2023). Ketika dibandingkan dengan standar hidrofilik murni seperti asam askorbat (1125,4 μmol TE/g) dan Trolox (1000,0 μmol TE/g), nilai pereduksian matriks minyak atsiri terlihat relatif rendah (Pirnia et al., 2022). Hal ini disebabkan oleh mekanisme asam askorbat yang mengalami pelepasan dua elektron secara langsung pada oksidasi asam dehidroaskorbat, sedangkan senyawa lipofilik memerlukan waktu reaksi dan homogenisasi pelarut yang lebih kompleks.

Selain itu, kontrol kondisi operasional seperti waktu inkubasi dan koreksi absorbansi latar belakang (*background absorbance*) sangat mempengaruhi presisi nilai FRAP. Pemantauan pembentukan warna biru kompleks Fe(II)-TPTZ dilakukan pada panjang gelombang 593 nm setelah inkubasi tepat 10 menit pada suhu 37 °C. Pada minyak atsiri, penggunaan reagen blanko dan sampel blanko tanpa reagen FRAP wajib dilakukan untuk mengeliminasi keruhan (*turbidity*) atau warna intrinsik sampel volatil dalam larutan metanol (Ogo et al., 2024). Tanpa koreksi absorbansi latar belakang yang ketat, interferensi optik dari mikro-tetesan minyak dalam media asam dapat memicu kelebihan estimasi (*overestimation*) pada perhitungan ekuivalensi Fe^{2+} (Kurniasari et al., 2022)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Tabel 4. Nilai IC50 Untuk Kulit Jeruk dengan ABTS

No	Jenis Tanaman	Metode	Analisis	Sumber
1	Jeruk Pomelo (*Citrus maxima*)	Uji peredaman radikal ABTS (ABTS *radical scavenging assay*)	Nilai IC50: Minyak Atsiri Kulit Jeruk Bali: 4,87 ± 0,06 mg/ml Nilai IC50 Standar Rutin (Kontrol Positif): 6,98 ± 0,26 µL/mL	(Chutvirasakul et al., 2025)
2	Jeruk manis (*Citrus sinensis* L.)	Metode ABTS	Metanol 50%= 7,4 µmol TE/g. Etanol 50%= 6,8 µmol TE/g. Air: 5,7 µmol TE/g.	(Ashraf et al., 2024)
3	Jeruk Mandarin Guangxi (*Citrus reticulata*)	Menggunakan metode UA-ATPE dengan pengujian aktivitas antioksidan melalui metode ABTS, superoksida, dan hidroksil.	Nilai IC50: 277 ± 5,7 µg/mL	(Lin et al., 2025)
4	Pomelo Shatian Meizhou ((*Citrus maxima*)	Menggunakan metode UA-ATPE dengan pengujian aktivitas antioksidan melalui metode ABTS, superoksida, dan hidroksil.	Nilai IC50: 287 ± 7,3 µg/mL.	
5	Lemon Sichuan (*Citrus limon*)	Ekstraksi menggunakan metode UA-ATPE, kemudian diuji aktivitas antioksidannya dengan metode ABTS, superoksida, dan hidroksil.	Nilai IC50: 285 ± 6,5 µg/mL	
6	Jeruk Navel Gannan Jiangxi (*Citrus sinensis*)	Menggunakan metode UA-ATPE dan diuji dengan metode antioksidan ABTS, superoksida, dan hidroksil.	Nilai IC50: 305 ± 8,2 µg/mL	
7	Jeruk Nipis (*Citrus aurantifolia*)	Metode ABTS	Vitamin C: IC50 ABTS = 3,12 ± 0,26 µg/mL Minyak Atsiri (CaEO): IC50 ABTS = 1,52 ± 0,09 mg/mL	(Quoc & Phuong, 2025)

Metode pengujian ABTS sangat sensitif terhadap variasi wilayah geografis dan jenis metabolit sekunder karena didasarkan pada peredaman kation radikal $ABTS^{+\bullet}$ yang

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

dapat bereaksi dengan senyawa hidrofilik maupun lipofilik. Minyak atsiri kulit jeruk nipis (*Citrus aurantifolia*) asal Provinsi Long An, Vietnam menunjukkan aktivitas penghambatan radikal ABTS yang sangat kuat dengan nilai IC_{50} sebesar 1,52 mg/mL (Fadhlillah et al., 2024). Sebaliknya, sampel minyak atsiri jeruk nipis dari Aljazair mencatatkan nilai IC_{50} ABTS yang jauh lebih tinggi (kurang aktif), yaitu sebesar 53,6 mg/mL. Tingginya kapasitas peredaman radikal pada sampel asal Long An membuktikan bahwa iklim tropis dan kondisi tanah delta Mékong memicu sintesis kombinasi monoterpena seperti D-limonene (69,99%), α-pinene (13,08%), dan β-pinene (10,28%) yang sangat responsif terhadap radikal ABTS (Di Lorenzo et al., 2026).

Teknologi ekstraksi yang diterapkan pada bahan alam merupakan faktor penentu kedua yang memengaruhi nilai aktivitas antioksidan pada pengujian ABTS. Ekstraksi minyak atsiri limbah kulit jeruk bali (*Citrus maxima*) dapat dilakukan menggunakan metode ramah lingkungan tanpa pelarut berbasis gelombang mikro (*Solvent-Free Microwave Extraction*/SFME) (Xie et al., 2025). Metode SFME beroperasi tanpa penambahan air atau pelarut kimia pada tekanan atmosfer dengan konsumsi energi 336,0 kJ per 100 gram bahan, menghasilkan rendemen 1,2% (w/w) dengan kemurnian *d-limonene* mencapai 95% (Susanti et al., 2025). Ekstrak hasil SFME tersebut menghasilkan nilai IC_{50} ABTS sebesar 4,87 mg/mL. Penggunaan radiasi gelombang mikro tanpa pelarut mampu membebaskan senyawa aktif dari rongga kelenjar minyak secara cepat tanpa memicu degradasi termal berlebih yang dapat merusak situs aktif penangkap radikal.

Faktor mekanistis pengujian ABTS yang melibatkan pembentukan kation radikal $ABTS^{+\bullet}$ melalui reaksi ABTS 7 mM dan kalium persulfat 2,45 mM selama 16 jam dalam ruang gelap sangat dipengaruhi oleh homogenitas pelarut dan keterjangkauan sterik. Berbeda dengan radikal DPPH yang stereospesifik dan mengalami kendala sterik pada molekul monoterpena, radikal $ABTS^{+\bullet}$ beroperasi melalui mekanisme transfer elektron tunggal (*Single Electron Transfer*/SET) yang lebih cepat. Hal ini menjelaskan mengapa minyak atsiri jeruk nipis dapat memiliki nilai IC_{50} DPPH yang relatif sedang (13,99 mg/mL), namun memberikan nilai IC_{50} ABTS yang sangat kuat (1,52 mg/mL). Penggunaan pelarut kosolven seperti etanol memastikan dispersi emulsi minyak berjalan optimal sehingga transfer elektron ke kation radikal berjalan efisien pada panjang gelombang 734 nm (Cano et al., 2023).

Penetapan standar pembanding murni seperti vitamin C (asam askorbat) menentukan skala evaluasi kuantitatif dari aktivitas antioksidan. Pada pengujian sampel minyak atsiri, Vitamin C digunakan sebagai kontrol positif dan mencatatkan nilai IC_{50} ABTS sebesar 3,12 μg/Ml (Wu et al., 2024). Meskipun nilai IC_{50} minyak atsiri alami berada pada orde miligram per mililiter (1,52 mg/mL) sedangkan kontrol murni berada pada orde mikrogram per mililiter, efisiensi penangkapan radikal ABTS dari campuran minyak utuh tetap dikategori tinggi untuk matriks non-fenolik (Negi et al., 2024). Hal ini menegaskan bahwa tingkat kemurnian dan konsentrasi gugus fungsi donor elektron dalam sampel sangat mempengaruhi hasil kuantifikasi relatif terhadap standar baku.

Tabel 5. Nilai IC50 Untuk Kulit Jeruk dengan CUPRAC

No	Jenis Tanaman	Metode	Analisis	Sumber
1	Jeruk purut (*Citrus hystrix* D. C).	Metode CUPRAC (*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) menggunakan reagen neokuproin (2,9-dimetil-1,10-	Minyak atsiri kulit jeruk purut = 23,4182 ppm (Sangat Kuat).	(Latifah et al., 2023)

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

		fenantrolina) pada suasana pH netral 7,0, yang diukur pada panjang gelombang 450 nm.		
2	Jeruk Thompson Navel/Ibadan Sweet (*Citrus sinensis* Thompson Navel)	Metode CUPRAC (*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) pada suasana pH netral 7,0.	Ekstrak etanol: 0,43 ± 0,10 mg/100 g. Ekstrak heksana: 2,04 ± 0,06 mg/100 g	(Ogo et al., 2024)
3	Jeruk Washington Navel (*Citrus sinensis* Washington Navel)	Metode CUPRAC (*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) pada suasana pH netral 7,0.	Ekstrak etanol: 0,83 ± 0,02 mg/100 g. Ekstrak heksana 1,15 ± 0,01 mg/100 g.	
4	Jeruk manis Valencia (*Citrus sinensis* Valencia)	Metode CUPRAC (*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) pada suasana pH netral 7,0.	Ekstrak etanol 0,90 ± 0,02 mg/100 g. Ekstrak heksana 0,94 ± 0,02 mg/100 g.	
5	Rodriguan lime (*Citrus aurantifolia* Swingle)	Metode CUPRAC mengukur kapasitas reduksi zat antioksidan berdasarkan mekanisme *Single-Electron Transfer* (SET) menggunakan spektrofotometer pada 450 nm.	0 71 ±0 20[a] mg TE/g ekstrak	(Cloete et al., 2025)
6	Mauritian Pamplemousses (*Citrus x maxima*)	Metode CUPRAC mengukur kapasitas reduksi zat antioksidan berdasarkan mekanisme *Single-Electron Transfer* (SET) menggunakan spektrofotometer pada 450 nm.	0 50 ±0 04[a] mg TE/g ekstrak	
7	Rodriguan Grapefruit (*Citrus x paradisi*)	Metode CUPRAC mengukur kapasitas reduksi zat antioksidan berdasarkan mekanisme *Single-Electron Transfer* (SET) menggunakan spektrofotometer pada 450 nm.	0 59 ±0 11[a] mg TE/g ekstrak	

Metode CUPRAC (*Cupric Reducing Antioxidant Capacity*) mengukur daya pereduksi antioksidan berdasarkan kemampuannya mereduksi kation tembaga (II) menjadi tembaga (I) dalam kompleks dengan reagen neokuproin (2,9-dimetil-1,10-fenantrolina), membentuk kompleks berwarna kuning-oranye $[Cu(I)\text{-neokuproin}]^{+}$ yang diukur pada panjang gelombang 450 nm (Latifah et al., 2023). Faktor geografis, varietas

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

tanaman, serta kondisi fisiologis pemanenan menjadi variabel utama yang mempengaruhi kapasitas CUPRAC. Pada matriks kulit buah jeruk seperti jeruk bali (*Citrus maxima*) dan jeruk nipis, akumulasi senyawa terpenoid dan polifenol volatil pada bagian outer flavedo sangat dipengaruhi oleh paparan sinar matahari dan nutrisi tanah. Kelimpahan senyawa mono- dan seskuiterpena yang terakumulasi selama proses pematangan buah menentukan ketersediaan elektron yang dapat didonasikan kepada kation Cu (II).

Kelebihan utama metode CUPRAC dibandingkan metode pereduksian logam lainnya (seperti FRAP) terletak pada kondisi pH reaksi yang mendekati kondisi fisiologis tubuh (pH netral 7,0 menggunakan bufer amonium asetat). Pada pH 7,0, potensi redoks kompleks Cu (II)/ Cu (I)-neokuproin berada pada tingkat yang menguntungkan untuk mereduksi berbagai jenis antioksidan tanpa memicu auto-oksidasi senyawa fenolik yang sering terjadi pada media basa. Selain itu, penggunaan pelarut organik seperti etanol atau metanol dalam sistem reaksi CUPRAC memberikan fleksibilitas yang sangat tinggi untuk melarutkan antioksidan hidrofilik maupun lipofilik secara bersamaan. Sifat lipofilitas minyak atsiri yang kaya akan d-limonene dan pinene terlarut sempurna dalam medium CUPRAC, sehingga interaksi antara molekul antioksidan dan kation tembaga (II) berjalan lebih konstan.

Karakteristik kinetika reaksi dan struktur kimia metabolit sekunder juga memegang peranan penting dalam menentukan besaran nilai CUPRAC (Nur et al., 2022). Berbeda dengan reaksi FRAP yang berlangsung pada pH asam (3,6) dan lambat bereaksi dengan beberapa jenis antioksidan, reaksi CUPRAC berlangsung lebih cepat dan fleksibel terhadap berbagai struktur molekul. Senyawa fenolik, flavonoid, serta monoterpena bersinergi dalam mentransfer elektron tunggal kepada kompleks tembaga (II). Sampel utuh yang mengandung campuran matriks kompleks seperti minyak atsiri kulit jeruk bali yang menggabungkan d-limonene dengan konstituen minor volatil mampu memberikan nilai ekuivalensi daya pereduksi tembaga yang lebih tinggi dibandingkan senyawa murni tunggal. Kehadiran berbagai komponen minor tersebut mencegah terjadinya kejenuhan reaksi tunggal melalui mekanisme penyumbangan elektron multijalur.

Terakhir, korelasi dan perbandingan antara nilai CUPRAC dengan standar referensi seperti Trolox (dinyatakan dalam *Trolox Equivalent Antioxidant Capacity*/TEAC) atau asam askorbat menjadi tolok ukur keandalan metode ini. Karena kompleks Cu (I)-neokuproin memiliki koefisien ekstingsi molar yang tinggi dan stabil terhadap udara serta cahaya, pengujian CUPRAC menghasilkan absorbansi yang linier terhadap peningkatan konsentrasi antioksidan. Standar hidrofilik seperti Trolox atau asam askorbat mereduksi Cu (II) dengan stoikiometri reaksi yang sangat terprediksi. Ketika disandingkan dengan hasil pengujian pada metode ABTS atau FRAP, metode CUPRAC sering kali memberikan estimasi kapasitas antioksidan total yang lebih realistis bagi ekstrak lipofilik dan minyak atsiri karena mengeliminasi efek interferensi keasaman media dan keterbatasan kelarutan pelarut polar murni (Multescu et al., 2022).

SIMPULAN

Berdasarkan empat metode uji DPPH, FRAP, ABTS, dan CUPRAC, kajian terhadap literatur tahun 2022–2026 menunjukkan bahwa nilai IC50 dan kapasitas reduksi kulit jeruk bervariasi luas antarjenis maupun antarmetode. Pada metode DPPH, kategori aktivitas terentang dari sangat kuat (mis. kulit lemon dengan IC50 16,46 ppm dan minyak atsiri jeruk kalamansi 35,74 ppm) hingga sangat lemah (mis. ekstrak pelarut heksana jeruk Siam Kintamani dengan IC50 1736,71 ppm), sementara metode FRAP, ABTS, dan CUPRAC menunjukkan pola variasi nilai yang serupa lebarnya antarjenis, antarpelarut, dan antarkondisi ekstraksi. Variasi ini sejalan dengan temuan

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

pada bagian hasil dan pembahasan yang menunjukkan bahwa kadar total fenolik dan flavonoid, metode dan waktu ekstraksi, kepolaran jenis pelarut, serta spesies dan bagian kulit jeruk yang diuji merupakan faktor utama yang memengaruhi besarnya aktivitas antioksidan yang terukur.

Perbandingan dari keempat metode uji menegaskan bahwa masing-masing memiliki prinsip reaksi dan sensitivitas kepolaran yang berbeda, sebagaimana diuraikan pada bagian pembahasan. Metode DPPH terbukti sangat sensitif dalam mengukur senyawa polar yang kaya akan fenolik, namun kurang maksimal untuk senyawa lipofilik. Sebaliknya, metode FRAP, ABTS, dan CUPRAC mampu menangkap kontribusi daya antioksidan dari senyawa semipolar hingga lipofilik seperti monoterpena (misalnya d-limonene), sebagaimana ditunjukkan oleh nilai FRAP minyak atsiri utuh yang jauh lebih tinggi dibandingkan d-limonene murni akibat efek interaksi sinergis dalam matriks ekstrak utuh. Pemilihan standar pembanding (Trolox maupun asam askorbat) serta teknologi ekstraksi yang diterapkan turut memengaruhi nilai yang dilaporkan pada pengujian FRAP dan ABTS. Metode CUPRAC secara khusus memberikan keuntungan tambahan karena beroperasi pada pH netral (fisiologis) dan mampu melarutkan antioksidan hidrofilik maupun lipofilik secara bersamaan, sehingga memberikan estimasi kapasitas antioksidan yang lebih realistis untuk matriks kompleks seperti ekstrak kulit jeruk.

Dengan demikian, luas dan konsistennya variasi nilai antarjenis jeruk, antarkondisi ekstraksi, serta antarmetode uji menegaskan bahwa penilaian potensi antioksidan kulit jeruk tidak dapat hanya bergantung pada satu metode pengujian tunggal. Pendekatan multimetode—sebagaimana yang diterapkan dalam mini review ini—diperlukan untuk memperoleh profil antioksidan kulit jeruk yang lebih komprehensif dan akurat, sekaligus menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan pemanfaatan limbah kulit jeruk sebagai sumber antioksidan alami untuk aplikasi pangan, kosmetik, dan farmasi topikal.

Rekomendasi pendekatan multimetode didukung oleh variasi nilai antioksidan yang signifikan pada masing-masing pengujian: pada metode DPPH yang sensitif terhadap senyawa polar, sinkronisasi terlihat dari tingginya aktivitas penangkal radikal pada ekstrak polar, seperti minyak atsiri Jeruk Kunci kombinasi 40:60 dengan IC50 4,02 µg/mL dan ekstrak kulit lemon sebesar 16,46 ppm (kategori sangat kuat), berbanding terbalik dengan ekstrak nonpolar heksana Jeruk Siam Kintamani yang sangat lemah (1736,71 ppm); pada metode FRAP yang menangkap daya antioksidan senyawa lipofilik, data menunjukkan efek sinergis matriks ekstrak utuh, misalnya minyak atsiri utuh kulit Pomelo dengan nilai FRAP 105 µmol TE/g, jauh lebih tinggi dibandingkan senyawa murninya (d-limonene) yang hanya 32,7 µmol TE/g; pada metode ABTS yang mengukur senyawa hidrofilik maupun lipofilik, sinkronisasi dibuktikan oleh sensitivitasnya terhadap variasi geografis, di mana minyak atsiri Jeruk Nipis asal Vietnam memiliki aktivitas sangat kuat (IC50 1,52 mg/mL) dibandingkan sampel serupa dari Aljazair (53,6 mg/mL); dan pada metode CUPRAC yang beroperasi pada pH netral, hasil yang signifikan terlihat pada aktivitas sangat kuat minyak atsiri Jeruk Purut (23,4182 ppm) serta pada kapasitas ekstrak etanol (0,43 mg/100 g) maupun heksana (2,04 mg/100 g) dari Jeruk Thompson Navel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sari Mutiara atas dukungan fasilitas dan akses pustaka yang diberikan selama penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing, Ibu Eva Diansari Marbun, Ibu Alfi Safitri, dan Ibu Monika Suryani, atas bimbingan, arahan, dan masukan yang telah diberikan selama proses penyusunan jurnal review ini. Ucapan terima kasih juga kepada rekan-

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

rekan penulis atas masukan, diskusi, serta bantuan yang diberikan selama proses penelitian dan penulisan naskah, sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga jurnal ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi referensi untuk pengembangan ilmu pengetahuan

DAFTAR PUSTAKA

Abirami, A., Nagarani, G., & Siddhuraju, P. (2014). In vitro antioxidant, anti-diabetic, cholinesterase and tyrosinase inhibitory potential of fresh juice from Citrus hystrix and C. maxima fruits. *Food Science and Human Wellness*, *3*(1), 16–25. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2014.02.001

Angelia, A., Putri, G. R., Shabrina, A., & Ekawati, N. (2022). Formulasi Sediaan Spray Gel Ekstrak Kulit Jeruk Manis (Citrus Sinensis L.) sebagai Anti-Aging. *Generics: Journal of Research in Pharmacy*, *2*(1), 44–53. https://doi.org/10.14710/genres.v2i1.13213

Arantika, J., & Hidayati, H. (2024). Pengaruh Perbedaan Konsentrasi Ekstrak Etanol Kulit Jeruk Siam (Citrus nobilis var. microcarpa) terhadap Uji Stabilitas Fisik dan Kelembaban Kulit pada Sediaan Lotion. *Majalah Farmasetika*, *9*(2), 153. https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v9i2.50967

Ashraf, H., Iahtisham-Ul-Haq, Butt, M. S., Nayik, G. A., Ramniwas, S., Damto, T., Ali Alharbi, S., & Ansari, M. J. (2024). Phytochemical and antioxidant profile of citrus peel extracts in relation to different extraction parameters. *International Journal of Food Properties*, *27*(1), 286–299. https://doi.org/10.1080/10942912.2024.2304274

Cano, A., Maestre, A. B., Hernández-Ruiz, J., & Arnao, M. B. (2023). ABTS/TAC Methodology: Main Milestones and Recent Applications. In *Processes* (Vol. 11, Number 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/pr11010185

Chatzimitakos, T., Athanasiadis, V., Kotsou, K., Bozinou, E., & Lalas, S. I. (2023). Response Surface Optimization for the Enhancement of the Extraction of Bioactive Compounds from Citrus limon Peel. *Antioxidants*, *12*(8). https://doi.org/10.3390/antiox12081605

Christian, Y. E. (2024). SKRINING FITOKIMIA DAN UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN METODE PEREDAMAN RADIKAL BEBAS DPPH PADA EKSTRAK KULIT LEMON (CITRUS LIMON L.) 1 Yulius Evan Christian. In *Pharmamedica Journal)* (Vol. 9, Number 2).

Chutvirasakul, B., Riangnam, T., Kunkamphon, W., & Ramakul, P. (2025). Extraction of d-limonene from pomelo (Citrus maxima) peel waste using solvent-free microwave process and antioxidant activity analysis. *Science, Engineering and Health Studies*, *19*. https://doi.org/10.69598/sehs.19.25040008

Cloete, L., Venter, A., Emmambux, M. N., Ramful-Baboolall, D., Ramasawmy, B., Neetoo, S. H., Picot-Allain, C., & Duodu, K. G. (2025). Bioprospecting the Rodriguan Lime (Citrus aurantifolia Swingle) as a Novel Source of Antioxidants and Antimicrobials for Food Application. *International Journal of Food Science*, *2025*(1), 1–12. https://doi.org/10.1155/ijfo/9985071

Di Lorenzo, R., Neri, I., Raimondo, R., Di Matteo, D., Irace, C., Ferraro, M. G., Verrillo, M., Ponticorvo, T., Di Serio, T., Laneri, S., & Grumetto, L. (2026). Upcycling lemon peel waste into sustainable bioactive ingredients: chemical characterization and efficacy assessment. *Analyst* , *151*(12), 3489–3500. https://doi.org/10.1039/d6an00048g

Fadhlillah, F. M., Miranti, M., Wibowo, D. P., & Purkon, D. B. (2024). Determination of

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Phenolic and Flavonoid Total Levels and Antioxidant Activity of Ethanol, Ethyl Acetate, and n-Hexane Extracts of Citrus reticulata Blanco Fruit Peel by DPPH and ABTS Methods. *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)*, *10*(2). https://doi.org/10.22487/j24428744.2024.v10.i2.16399

Farah Fauziah, V., Nurhasanah, D., Putra Pratama, N., Yani Yogyakarta, A., Siliwangi, J., & Barat, R. (2023). Peredaman Radikal Bebas Ekstrak Etanol Daun Rosella (Hibiscus sabdariffa L) Dengan Metode Frap (Ferric Reducing Antioxidant Power). In *JOURNAL OF PHARMACEUTICAL ISSN* (Vol. 1, Number 1). https://ejournal.unjaya.ac.id/index.php/jop/

Febrianti, D., & Surya, A. (2023). Antioxidant Activity Test of Methanol Extract of Lime Peel (Citrus aurantifolia) with DPPH Method (1,1-difenil-2-pikrilhidrail) Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol Kulit Buah Jeruk Nipis (Citrus aurantifolia) Dengan Metode DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrail). *Jurnal Ilmu Kesehatan Abdurrab*, *1*(1), 16–22.

Gallego-Narbón, A., Narbona, E., Coca-de-la-Iglesia, M., & Valcárcel, V. (2024). Geography and associated bioclimatic factors differentially affect leaf phenolics in three ivy species (Hedera L.) across the Iberian Peninsula. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, *65*, 125822. https://doi.org/10.1016/J.PPEES.2024.125822

Huriyah, S. B., Nugraha, S., Lestari, S., & Harvinda, Y. (2026). Antioxidant Activity Identification of Crude Extract of <i>Halimeda</i> sp. From the Seribu Islands Using Different Testing Methods (DPPH, CUPRAC, and FRAP). *Journal of Fish Health*, *6*(3), 348–354. https://doi.org/10.29303/jfh.v6i3.10801

Kaewkaen, P. (2026). Volatile-Driven Antioxidant Activity of Pomelo Peel Essential Oil: Bridging Chemical Composition and Cellular Redox Modulation. *Biochemistry Research International*, *2026*(1). https://doi.org/10.1155/bri/7715893

Kanwal, S., Ahmad, S., Yasmin Begum, M., Siddiqua, A., Rao, H., Ghalloo, B. A., Shahzad, M. N., Ahmad, I., & Khan, K. ur R. (2024). Chemical Profiling, in-vitro biological evaluation and molecular docking studies of Ruellia tweediana: An unexplored plant. *Saudi Pharmaceutical Journal*, *32*(2). https://doi.org/10.1016/j.jsps.2023.101939

Kurniasari, Y., Khasanah, K., Yunita, V., Alawiyah, L., & Wijayanti, P. (2022). Aktivitas Antioksidan Ekstrak Serbuk Bekatul Menggunakan Metode DPPH, ABTS, dan FRAP. In *Jurnal Ilmu Farmasi* (Vol. 13, Number 2).

Kusumawati, I. G. A. W., Yogeswara, I. B. A., & Wasito, H. (2025). Metabolite profiling and antioxidant activity of peel extract from Citrus amblycarpa. *Biodiversitas*, *26*(6), 2601–2610. https://doi.org/10.13057/biodiv/d260605

Latifah, F., Taufiq, H., & Fitriyana, N. M. (2023). Uji Antioksidan dan Karakterisasi Minyak Atsiri dari Kulit Jeruk Purut (Citrus hystrix D. C). *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, *8*(1), 46–62. https://doi.org/10.20961/jpscr.v8i1.67396

Lin, S., Hu, J., He, H., Yu, Y., Zhou, Z., & Zhou, L. (2025). Metabolomic profiling, antioxidant activity, and skin cell viability of citrus peel flavonoids extracted via ultrasonic-assisted aqueous two-phase system. *PLOS ONE*, *20*(12 December), 1–22. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0336325

Mahirah, N., Bangar, R. I., & Lubis, A. A. (2026). Evaluasi Potensi Antioksidan Ekstrak Bertingkat Daun Andaliman (Zanthoxylum Acanthopodium Dc.) Berdasarkan Metode Dpph. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, *7*(1), 1908–1921. https://doi.org/10.31004/jkt.v7i1.54644

Multescu, M., Marinas, I. C., Susman, I. E., & Belc, N. (2022). *Industry as a Potential*

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Source of Antioxidants. 1–20.

Mulyadi, J. (2026, February 13). *Dari Limbah Dapur ke Sumber Kesehatan: Kulit Jeruk Nipis Ternyata Kaya Senyawa Berkhasiat*. Https://Fk.Ung.Ac.Id/Home/Berita/Dari-Limbah-Dapur-Ke-Sumber-Kesehatan-Kulit-Jeruk-Nipis-Ternyata-Kaya-Senyawa-Berkhasiat.

Negi, T., Kumar, A., Gangwar, A., Sharma, S. K., Dutta, A., Shahi, N. C., Phrakash Om, & Dubey, S. (2024). Comparative Study of antioxidant potential offresh peel from different citrus species. *Pantnagar Journal of Research*, *22(1)*, 1–11.

Ngibad, K. (2023). AKTIVITAS ANTIOKSIDAN, KADAR FENOLIK, DAN KADAR FLAVONOIDTOTAL DAUN JATI CINA (Senna alexandrina). *Lantanida Journal*, *11(1)*, 24–35.

Nirmalasari, N. K. D. A., Permatananda, P. A. N. K., Udiyani, D. P. C., Aryastuti, A. A. S. A., & Dewi, E. S. (2024). AKTIVITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK LIMBAH KULIT JERUK SIAMKINTAMANI (Citrus nobilis) DENGAN PELARUT POLAR, SEMIPOLAR,DAN NONPOLAR. *Jurnal Ners Universitas Pahlawan*, *8(1)*, 210–215.

Nur, S., Aswad, M., Yulianty, R., Burhan, A., Patabang, W. J. D., Fadri, A., & Nursamsiar, N. (2022). Profil Aktivitas Antioksidan dari Ekstrak Buah Kersen (Muntingia calabura L.) dengan Metode TAC dan CUPRAC. *JPSCR: Journal of Pharmaceutical Science and Clinical Research*, *7*(1), 79. https://doi.org/10.20961/jpscr.v7i1.56653

Ogo, O., Hembafan, N., Amokaha, R., Jeremiah, O., & Inalegwu, B. (2024). Characterization and antioxidant activity of peel extracts from three varieties of *citrus sinensis*. *Heliyon*, *10*(7), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28456

Önder, D. (2023). Variation in antioxidant capacity, antioxidant activity and mineral composition during flower development of oil-bearing rose (Rosa damascena Mill.). *Scientific Reports*, *13*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-44461-4

Pardilawati, C. Y., Afriyani, & Ramdini, D. A. (2024). *UJI ANTIOKSIDAN EKSTRAK ETANOL DAN MINYAK ATSIRI KULIT BUAH JERUK KALAMANSI (Citrus microcarpa Bunge) Citra*. *14(2)*, 62–69.

Pirnia, M., Shirani, K., Tabatabaee Yazdi, F., Moratazavi, S. A., & Mohebbi, M. (2022). Characterization of antioxidant active biopolymer bilayer film based on gelatin-frankincense incorporated with ascorbic acid and Hyssopus officinalis essential oil. *Food Chemistry: X*, *14*. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100300

Quoc, L. P. T., & Phuong, L. B. B. (2025). Essential Oil from Lime Peel (Citrus aurantifolia) Grown in Long an Province, Vietnam: Chemical Composition and Biological Activities. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, *12*(2), 99–106. https://doi.org/10.18596/jotcsa.1623631

Roanisca, O., Ropalia, dan, Studi Kimia, P., Bangka Belitung, U., Studi Agroteknologi, P., Bangka Belitung Balunijuk, U., Merawang, K., Bangka, K., & Kepulauan Bangka Belitung, P. (2025). *Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat*.

Saleem, M., Durani, A. I., Asari, A., Ahmed, M., Ahmad, M., Yousaf, N., & Muddassar, M. (2023). Investigation of antioxidant and antibacterial effects of citrus fruits peels extracts using different extracting agents: Phytochemical analysis with in silico studies. *Heliyon*, *9*(4). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15433

Shane, P., Simbolon, M., & Siregar, R. M. (2025). UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK KULIT JERUK SUNKIST MUDA DAN TUA DENGAN METODE DPPH. *Sosial Dan Bisnis*, *3*(7), 204–212.

E-ISSN : 2962-9713
P-ISSN : 2963-928X

Susanti, Y., Ayu Qurota A'yun, Syafaatullah, A. Q., Melinda Aprilia, & Dwi Danang Armadani. (2025). Solvent-Free Microwave Extraction: Analisis Fitokimia Minyak Atsiri Daun Ruku-Ruku (Ocimum tenuiflorum, L.) dan Aktivitas Antibakteri terhadap Escherichia coli. *Jurnal Teknik Kimia USU*, *14*(2), 10–18. https://doi.org/10.32734/jtk.v14i2.20768

Syamsu, R. F., & Rachman, M. E. (2023). UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN ETANOL BUAH TIN (Ficus carica) DENGAN METODE DPPH DAN FRAP (Antioxidant Activity Test of Figs (Ficus carica) Using DPPH and FRAP Methods). *As-Syifaa Jurnal Farmasi*, *15(1)*(1), 79–86.

Tampubolon, L., Fachriyah, E., Ngadiwiyana, Ismiyarto, & Purboswatiningrum. (2023). Penentuan kandungan total fl avonoid dan fenolik dan aktivitas antioksidan ekstrak daun jambu biji Determination of fl avonoids and phenolics total and antioxidant activity contained in extract guava leaves. *Jurnal Penelitian Saintek*, *28*(1), 41–49.

Tsotsou, G. E., Petraki, G., & Chourda, F. (2026). Measuring antioxidant capacity directly in emulsions: A new paper-based FRAP assay and comparison with its DPPH counterpart☆. *MethodsX*, *16*. https://doi.org/10.1016/j.mex.2026.103897

Ulayya, N., Karima, N., Saputri, M., Natalia Siahaan, D., & Hasanah, F. (2025). EVALUASI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN KOMBINASI EKSTRAKETANOL KULIT BUAH JERUK MANIS (Citrus sinensis (L.)Osbeck) DAN AMPAS WORTEL (Daucus carota L.)DALAM SEDIAAN SERUM. *JAMBURA JOURNAL OF HEALTH SCIENCE AND RESEARCH*, 304–315. https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjhsr/index

Widiasriani, I. A. P., Udayani, N. N. W., Triansyah, G. A. P., Dewi, N. P. E. M. K., Wulandari, N. L. W. E., & Prabandari, A. A. S. S. (2024). Artikel Review: Peran Antioksidan Flavonoid dalam Menghambat Radikal Bebas. *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, *6(2)*(2), 188–197. https://doi.org/10.37311/jsscr.v6i2.27055

Wu, Z., Zhong, A., Shen, P., Zhu, J., Li, L., Xia, G., & Zang, H. (2024). Chemical constituents, antioxidant and antibacterial activities of essential oil from the flowering aerial parts of Heracleum moellendorffii Hance. *Cogent Food and Agriculture*, *10*(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2325198

Xie, Y., Zhang, L., Wu, W., Xie, J., Gao, B., Xiao, Y., & Zhu, D. (2025). Sustainable and green extraction of citrus peel essential oil using intermittent solvent-free microwave technology. *Bioresources and Bioprocessing*, *12*(1). https://doi.org/10.1186/s40643-025-00885-6