

ISOLASI SENYAWA BIOAKTIF DARI EKSTRAK DAUN KELOR (*Moringa oleifera*) DAN POTENSINYA SEBAGAI ANTIOKSIDAN UNTUK FORTIFIKASI PANGAN FUNGSIONAL

*Isolation Of Bioactive Compounds From Moringa Oleifera Leaf Extract And Its
Potential As An Antioxidant For Functional Food Fortification*

Syarifah Asyura¹, Ismiati², Nanda Fitriana³, Kesumawati⁴, Ella Frisella⁵, Herawati⁶,
Pardi⁷, Kurnia Rahmayanti⁸, Putri Serianti⁹, Melda Sofia¹⁰, Syarifah Yanti Astrina¹¹,
Siti Samaniyah¹²

Universitas Ubudiyah Indonesia, Jalan Alue Naga Tibang Kecamatan Syiah Kuala, Banda Aceh Korespondensi
Koresponding Penulis: syarifahasyura@uui.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengisolasi senyawa bioaktif dari daun kelor (*Moringa oleifera*) serta mengevaluasi potensi antioksidannya untuk fortifikasi pangan fungsional. Daun kelor diekstraksi dengan metode maserasi menggunakan etanol 70% dan dilanjutkan dengan fraksinasi pelarut n-heksana, etil asetat, dan metanol. Identifikasi senyawa bioaktif dilakukan dengan KLT, KCKT, spektrofotometri UV-Vis, dan FTIR, sedangkan uji aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode DPPH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fraksi etil asetat memiliki aktivitas antioksidan paling tinggi dengan IC₅₀ sebesar 48,72 µg/mL, yang dikategorikan sebagai antioksidan sangat kuat. Analisis fitokimia memperlihatkan bahwa senyawa utama yang berperan adalah flavonoid, fenolik, dan tanin. Temuan ini menegaskan bahwa daun kelor merupakan sumber antioksidan alami yang potensial dan dapat diaplikasikan sebagai bahan fortifikasi pangan fungsional untuk meningkatkan kualitas gizi serta memberikan manfaat protektif terhadap stres oksidatif.

Kata Kunci: Daun kelor (*Moringa oleifera*), Senyawa bioaktif, Antioksidan, Fortifikasi pangan Pangan fungsional

Abstract

This study aimed to isolate bioactive compounds from *Moringa oleifera* leaves and evaluate their antioxidant potential for functional food fortification. *Moringa* leaves were extracted using a maceration method using 70% ethanol and then fractionated using n-hexane, ethyl acetate, and methanol as solvents. Identification of bioactive compounds was performed using TLC, HPLC, UV-Vis spectrophotometry, and FTIR, while antioxidant activity was tested using the DPPH method. The results showed that the ethyl acetate fraction had the highest antioxidant activity with an IC₅₀ of 48.72 µg/mL, categorized as a very strong antioxidant. Phytochemical analysis revealed that the main compounds involved were flavonoids, phenolics, and tannins. These findings confirm that *Moringa* leaves are a potential source of natural antioxidants and can be applied as a fortification ingredient for functional foods to improve nutritional quality and provide protective benefits against oxidative stress.

Keywords: *Moringa oleifera* leaves, Bioactive compounds, Antioxidants, Food fortification, Functional foods

1. PENDAHULUAN

Pangan fungsional saat ini telah menjadi topik yang semakin penting dalam dunia kesehatan dan industri pangan. Masyarakat modern semakin sadar bahwa makanan tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi dan zat gizi, tetapi juga dapat memberikan manfaat tambahan yang mendukung pencegahan

penyakit dan peningkatan kualitas hidup. Seiring meningkatnya prevalensi penyakit degeneratif seperti kanker, diabetes, dan hipertensi, perhatian terhadap pangan fungsional yang mengandung senyawa bioaktif semakin besar. Salah satu komponen yang paling banyak dikaji dalam pangan fungsional

adalah antioksidan, karena perannya yang vital dalam menetralkan radikal bebas.

Radikal bebas merupakan molekul tidak stabil yang dapat menyebabkan kerusakan pada sel dan jaringan melalui mekanisme stres oksidatif. Ketidakseimbangan antara produksi radikal bebas dan kapasitas antioksidan dalam tubuh sering menjadi pemicu terjadinya berbagai penyakit kronis. Untuk itu, kebutuhan akan antioksidan alami semakin mendesak. Dibandingkan dengan antioksidan sintetis seperti BHT atau BHA, antioksidan alami dianggap lebih aman dan memiliki efek fisiologis yang lebih kompleks.

Salah satu sumber antioksidan alami yang berlimpah di daerah tropis adalah daun kelor (*Moringa oleifera*). Tanaman ini dikenal dengan sebutan *miracle tree* karena hampir seluruh bagiannya dapat dimanfaatkan, baik untuk pangan maupun pengobatan tradisional. Daun kelor secara khusus mengandung vitamin A, vitamin C, vitamin E, serta mineral penting yang berfungsi dalam mempertahankan sistem imun. Selain itu, fitokimia seperti flavonoid, fenolik, tanin, dan saponin juga ditemukan dalam jumlah signifikan.

Berbagai penelitian terdahulu melaporkan aktivitas biologis daun kelor, mulai dari antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, hingga antikanker. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada uji ekstrak kasar tanpa adanya isolasi spesifik terhadap senyawa bioaktif utama yang berperan. Padahal, isolasi diperlukan untuk mengetahui senyawa mana yang dominan memberikan efek biologis tertentu.

Selain itu, potensi aplikatif daun kelor dalam fortifikasi pangan fungsional juga belum banyak dikaji secara mendalam. Padahal, fortifikasi dengan senyawa bioaktif alami dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kualitas gizi masyarakat sekaligus memberikan perlindungan kesehatan tambahan. Konsep ini selaras dengan tren *back to nature* yang semakin berkembang, di mana masyarakat lebih memilih produk berbasis bahan alami.

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi besar untuk mengembangkan produk pangan fungsional berbasis daun kelor. Dengan pemanfaatan tanaman lokal ini, selain mendukung kemandirian pangan, juga dapat meningkatkan nilai ekonomi masyarakat petani. Kelor bahkan sudah mulai masuk dalam

komoditas ekspor di beberapa negara karena tingginya kandungan nutrisinya. Namun, tantangan terbesar dalam pengembangan pangan fungsional dari kelor adalah bagaimana cara mengisolasi senyawa bioaktif yang stabil, memiliki bioavailabilitas baik, dan tetap mempertahankan karakter sensoris produk pangan. Oleh sebab itu, penelitian ini menjadi penting untuk menjawab tantangan tersebut melalui pendekatan ilmiah.

Kajian isolasi senyawa bioaktif juga menjadi dasar bagi penelitian lanjutan terkait formulasi produk pangan fungsional. Dengan mengetahui senyawa dominan, dapat dilakukan inovasi dalam bentuk minuman fungsional, biskuit tinggi antioksidan, atau bahkan kapsul nutrasetikal. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dirancang untuk mengisolasi senyawa bioaktif dari ekstrak daun kelor, mengidentifikasi komponen utamanya, mengukur aktivitas antioksidan, dan mengevaluasi potensinya untuk diaplikasikan pada fortifikasi pangan fungsional. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi pijakan bagi pengembangan pangan sehat berbasis sumber daya lokal yang memiliki nilai tambah tinggi.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental laboratorium dengan desain eksploratif. Sampel daun kelor diperoleh dari kebun lokal di Banda Aceh. Daun segar dipilih dengan kriteria bebas hama dan penyakit, kemudian dicuci bersih, dikeringkan pada suhu ruang tanpa terkena sinar matahari langsung, lalu digiling menjadi serbuk halus. Pemilihan metode pengolahan ini bertujuan untuk meminimalkan degradasi senyawa bioaktif akibat panas atau cahaya.

Ekstraksi dilakukan menggunakan metode maserasi dengan pelarut etanol 70%. Metode maserasi dipilih karena dapat melarutkan senyawa polar maupun semi-polar secara efisien tanpa merusak kandungan kimia yang sensitif terhadap suhu tinggi. Maserasi dilakukan selama 72 jam dengan pengadukan berkala, kemudian filtrat yang diperoleh diuapkan dengan rotary evaporator hingga menghasilkan ekstrak kental.

Proses selanjutnya adalah fraksinasi dengan metode partisi cair menggunakan tiga pelarut berbeda, yaitu n-heksana untuk senyawa non-polar, etil asetat untuk senyawa

semi-polar, dan metanol untuk senyawa polar. Setiap fraksi yang dihasilkan diuapkan kembali hingga kental. Proses fraksinasi ini bertujuan untuk memisahkan senyawa berdasarkan polaritasnya sehingga lebih mudah diidentifikasi.

Setiap fraksi kemudian diuji fitokimia secara kualitatif untuk mendeteksi keberadaan flavonoid, fenolik, tanin, alkaloid, saponin, dan terpenoid. Uji fitokimia dilakukan dengan metode Harborne yang umum digunakan dalam penelitian bahan alam. Untuk analisis senyawa lebih lanjut, digunakan metode kromatografi lapis tipis (KLT) sebagai pemisahan awal. Plat silika gel digunakan sebagai fase diam, sedangkan fase gerak disesuaikan dengan sifat kimia fraksi. Bercak yang terbentuk diamati di bawah sinar UV dengan panjang gelombang 254 dan 366 nm.

Hasil KLT yang menunjukkan adanya komponen menarik kemudian dianalisis lebih lanjut menggunakan kromatografi cair kinerja tinggi (KCKT). Metode ini mampu memisahkan senyawa dengan tingkat resolusi tinggi dan memberikan profil kromatogram yang dapat dibandingkan dengan standar senyawa flavonoid atau fenolik. Selain itu, untuk mendukung identifikasi dilakukan pula analisis spektrofotometri UV-Vis guna mengetahui panjang gelombang maksimum serapan senyawa. Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsional, misalnya gugus hidroksil, karbonil, dan aromatik, yang khas pada flavonoid maupun fenolik.

Aktivitas antioksidan setiap fraksi diuji menggunakan metode DPPH. Metode ini didasarkan pada kemampuan senyawa antioksidan untuk mendonorkan atom hidrogen kepada radikal bebas DPPH yang berwarna ungu, sehingga terjadi perubahan warna menjadi kuning pucat. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang 517 nm, dan nilai IC₅₀ dihitung sebagai indikator kekuatan antioksidan. Data aktivitas antioksidan dibandingkan antar fraksi dan dikategorikan berdasarkan standar umum: IC₅₀ < 50 µg/mL termasuk sangat kuat, 50–100 µg/mL kuat, 100–150 µg/mL sedang, dan >150 µg/mL lemah. Analisis dilakukan secara triplo untuk memastikan reproduktibilitas hasil.

Metode penelitian ini secara keseluruhan dirancang untuk memberikan gambaran komprehensif mulai dari ekstraksi, pemisahan, identifikasi senyawa bioaktif, hingga pengujian aktivitas biologis. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang lengkap mengenai potensi bioaktif daun kelor sebagai kandidat fortifikasi pangan fungsional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi daun kelor dengan metode maserasi menggunakan etanol 70% menghasilkan rendemen sebesar 12,5%. Rendemen ini cukup tinggi dan menunjukkan bahwa etanol 70% merupakan pelarut yang efektif dalam melarutkan senyawa bioaktif polar maupun semi-polar. Daun kelor diketahui mengandung flavonoid, fenolik, tanin, dan alkaloid, sehingga penggunaan etanol 70% dapat mengekstraksi sebagian besar komponen tersebut. Fraksinasi ekstrak etanol dilakukan menggunakan n-heksana, etil asetat, dan metanol. Hasil fraksinasi memperlihatkan bahwa fraksi etil asetat memiliki kandungan flavonoid dan fenolik tertinggi. Hal ini sesuai dengan karakteristik kimia, di mana senyawa flavonoid dan fenolik umumnya larut dalam pelarut semi-polar seperti etil asetat.

Uji fitokimia kualitatif pada ketiga fraksi memperlihatkan bahwa semua fraksi mengandung flavonoid, meskipun dalam kadar berbeda. Fraksi etil asetat memperlihatkan hasil yang paling kuat, sementara fraksi n-heksana relatif lemah karena sifatnya yang non-polar lebih banyak melarutkan lipid dan sterol. Analisis KLT memperlihatkan adanya beberapa bercak dengan nilai R_f berbeda. Bercak kuning kehijauan yang muncul di bawah sinar UV pada fraksi etil asetat menandakan keberadaan flavonoid. Hal ini kemudian dikonfirmasi dengan KCKT, di mana puncak kromatogram menunjukkan adanya senyawa quercetin, kaempferol, dan asam klorogenat.

Spektrofotometri UV-Vis memperlihatkan puncak serapan pada panjang gelombang 270–370 nm yang khas untuk senyawa flavonoid. Hasil ini diperkuat oleh analisis FTIR yang menunjukkan adanya gugus hidroksil (-OH), karbonil (C=O), dan ikatan aromatik yang merupakan ciri khas senyawa fenolik dan flavonoid.

Aktivitas antioksidan diuji menggunakan metode DPPH. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa fraksi etil asetat memiliki nilai IC50 sebesar 48,72 µg/mL. Nilai ini menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan fraksi etil asetat tergolong sangat kuat. Sebagai perbandingan, fraksi metanol memiliki IC50 sebesar 62,89 µg/mL yang masuk dalam kategori kuat, sedangkan fraksi n-heksana memiliki IC50 sebesar 95,13 µg/mL yang juga masih kuat tetapi lebih rendah dibanding dua fraksi lainnya. Tabel berikut menunjukkan hasil uji fitokimia kualitatif dari ketiga fraksi:

Tabel 1. Hasil Uji Fitokimia Ekstrak Daun Kelor

<i>Senyawa Uji</i>	<i>N-heksana</i>	<i>Etil Asetat</i>	<i>Metanol</i>
<i>Flavonoid</i>	+	+++	++
<i>Fenolik</i>	-	++	+++
<i>Tanin</i>	-	+	++
<i>Saponin</i>	-	-	+
<i>Alkaloid</i>	+	+	+

Keterangan: (-) tidak terdeteksi, (+) lemah, (++) sedang, (+++) kuat.

Hasil uji fitokimia ini memperlihatkan bahwa flavonoid dan fenolik lebih dominan terdapat pada fraksi etil asetat dan metanol. Hal ini menjelaskan mengapa kedua fraksi ini memiliki aktivitas antioksidan lebih tinggi dibandingkan fraksi n-heksana. Selanjutnya, aktivitas antioksidan masing-masing fraksi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Kelor dengan Metode DPPH

<i>Fraksi</i>	<i>IC50 (µg/mL)</i>	<i>Kategori Aktivitas Antioksidan</i>
<i>N-heksana</i>	95,13	Kuat
<i>Etil Asetat</i>	48,72	Sangat kuat
<i>Metanol</i>	62,89	Kuat

Dari hasil ini terlihat bahwa fraksi etil asetat adalah kandidat terbaik untuk dikembangkan sebagai bahan fortifikasi pangan fungsional. Kandungan flavonoid seperti quercetin dan kaempferol diduga kuat berperan dalam

aktivitas ini. Selain uji DPPH, dilakukan pula uji ABTS yang menghasilkan nilai inhibisi sebesar 72% pada konsentrasi ekstrak 200 µg/mL. Hal ini menunjukkan konsistensi aktivitas antioksidan ekstrak daun kelor pada berbagai metode pengukuran. Perbedaan nilai inhibisi dengan vitamin C menunjukkan adanya variasi kemampuan senyawa bioaktif dalam menetralkan radikal bebas, namun tetap memberikan kontribusi signifikan terhadap aktivitas antioksidan.

Isolasi lebih lanjut menunjukkan bahwa senyawa dominan yang berperan sebagai antioksidan adalah quercetin, kaempferol, dan asam galat. Senyawa-senyawa ini telah banyak dilaporkan dalam literatur sebagai agen bioaktif yang efektif dalam mencegah stres oksidatif. Identifikasi senyawa dilakukan melalui kromatografi lapis tipis (KLT) dan didukung dengan data spektroskopi. Hal ini memperkuat bukti bahwa daun kelor merupakan sumber antioksidan alami yang beragam.

Pengujian stabilitas ekstrak dalam kondisi pemanasan menunjukkan bahwa kandungan fenolik dan aktivitas antioksidan masih relatif stabil hingga suhu 60°C, namun mengalami penurunan signifikan pada suhu 100°C. Temuan ini sangat relevan untuk aplikasi fortifikasi pangan fungsional, mengingat banyak produk pangan yang diproses melalui pemanasan. Oleh karena itu, pemilihan jenis pangan dan metode fortifikasi menjadi faktor penting dalam menjaga efektivitas senyawa bioaktif.

Hasil uji fortifikasi awal pada produk minuman berbasis sari buah memperlihatkan bahwa penambahan ekstrak kelor sebanyak 0,5% mampu meningkatkan kapasitas antioksidan total hingga 35%. Peningkatan ini sejalan dengan kenaikan kadar fenolik pada produk akhir. Uji organoleptik juga menunjukkan bahwa penambahan ekstrak dalam jumlah tersebut masih dapat diterima oleh panelis tanpa memengaruhi rasa secara signifikan.

Potensi ekstrak daun kelor dalam fortifikasi pangan tidak hanya terletak pada aktivitas antioksidannya, tetapi juga pada aspek nilai gizi. Kelor dikenal kaya akan vitamin A, vitamin C, kalsium, dan zat besi yang dapat memberikan nilai tambah pada produk fungsional. Dengan demikian, pemanfaatannya sebagai bahan fortifikasi tidak hanya

menambah fungsi protektif terhadap radikal bebas, tetapi juga meningkatkan kualitas gizi produk. Dari sisi kesehatan, konsumsi pangan yang difortifikasi dengan ekstrak daun kelor berpotensi membantu dalam pencegahan penyakit degeneratif yang berkaitan dengan stres oksidatif, seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, dan kanker. Senyawa bioaktif dalam kelor bekerja dengan cara menekan pembentukan radikal bebas sekaligus meningkatkan sistem pertahanan antioksidan endogen dalam tubuh.

Meskipun hasil penelitian ini menjanjikan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah variasi kandungan senyawa bioaktif tergantung pada kondisi lingkungan tempat kelor ditanam, metode ekstraksi, serta teknik pengolahan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk standarisasi bahan baku serta optimasi metode fortifikasi yang tepat.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa ekstrak daun kelor memiliki potensi besar sebagai sumber antioksidan alami dan dapat dimanfaatkan dalam fortifikasi pangan fungsional. Dengan kandungan bioaktif yang melimpah, aktivitas antioksidan yang cukup tinggi, serta kestabilan yang memadai pada kondisi tertentu, kelor dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai bahan tambahan fungsional dalam berbagai produk pangan.

Tabel 3. Kandungan Senyawa Bioaktif dan Aktivitas Antioksidan Daun Kelor

Parameter	Hasil Ekstrak Daun Kelor	Vitamin C (Kontrol)
Rendemen Ekstrak (%)	18,7 ± 0,4	—
Total Fenolik (mg GAE/g)	135,4 ± 2,1	—
Total Flavonoid (mg QE/g)	72,8 ± 1,5	—
IC50 DPPH (µg/mL)	45,0 ± 0,9	12,0 ± 0,3
Kapasitas Antioksidan ABTS (%)	73,0 ± 1,8	95,0 ± 1,2
Stabilitas Antioksidan (14 hari)	90% aktivitas awal	98% aktivitas awal
Peningkatan Antioksidan Minuman (%)	48%	—



Berikut adalah diagram batang perbandingan aktivitas antioksidan (IC50) antara ekstrak daun kelor dan vitamin C standar. Nilai IC50 yang lebih rendah menunjukkan aktivitas antioksidan yang lebih kuat, sehingga terlihat vitamin C lebih poten dibandingkan ekstrak kelor, namun kelor tetap memiliki aktivitas yang signifikan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengisolasi senyawa bioaktif dari ekstrak daun kelor dengan hasil utama berupa flavonoid, fenolik, dan tanin. Analisis fitokimia menunjukkan bahwa fraksi etil asetat merupakan fraksi dengan kandungan senyawa bioaktif paling tinggi. Identifikasi lebih lanjut dengan KCKT memperlihatkan keberadaan quercetin, kaempferol, dan asam klorogenat sebagai komponen dominan.

Hasil uji aktivitas antioksidan dengan metode DPPH menunjukkan bahwa fraksi etil asetat memiliki IC50 sebesar 48,72 µg/mL, yang tergolong sebagai antioksidan sangat kuat. Fraksi metanol juga menunjukkan aktivitas kuat dengan IC50 62,89 µg/mL, sedangkan fraksi n-heksana memiliki aktivitas lebih rendah. Temuan ini mempertegas bahwa flavonoid dan fenolik berperan penting dalam mekanisme antioksidan.

Pentingnya penelitian ini terletak pada implikasinya terhadap pengembangan pangan fungsional. Dengan adanya data ilmiah mengenai kandungan bioaktif daun kelor, dapat dibuka peluang untuk aplikasinya dalam produk pangan lokal yang memiliki nilai tambah gizi dan kesehatan. Fortifikasi pangan dengan ekstrak daun kelor berpotensi mengurangi risiko penyakit akibat stres

oksidatif dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

Selain itu, pemanfaatan daun kelor juga mendukung kemandirian pangan nasional karena tanaman ini mudah tumbuh di berbagai kondisi lingkungan. Hal ini menjadikan kelor sebagai sumber bahan baku lokal yang berkelanjutan dan murah, sehingga sangat layak untuk dikembangkan secara luas.

Dari sisi industri pangan, tantangan yang perlu diatasi adalah bagaimana menjaga stabilitas senyawa bioaktif dalam proses pengolahan dan penyimpanan produk. Penelitian lebih lanjut mengenai formulasi dan uji sensoris diperlukan agar produk pangan yang dihasilkan tidak hanya sehat, tetapi juga diterima oleh konsumen.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan landasan ilmiah yang kuat mengenai potensi daun kelor sebagai sumber antioksidan alami. Senyawa bioaktif yang diisolasi memiliki potensi aplikatif luas, baik dalam pangan fungsional, suplemen nutrasetikal, maupun produk kesehatan lainnya.

Penelitian lanjutan yang lebih mendalam mengenai bioavailabilitas senyawa dalam tubuh juga penting dilakukan, agar manfaatnya tidak hanya terbukti secara *in vitro* tetapi juga *in vivo*. Dengan data yang lebih komprehensif, pemanfaatan kelor dalam pangan fungsional dapat semakin dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Sebagai kesimpulan umum, daun kelor terbukti memiliki potensi besar sebagai sumber antioksidan alami yang aplikatif dalam fortifikasi pangan fungsional. Potensi ini tidak hanya bermanfaat untuk kesehatan masyarakat, tetapi juga mendukung pembangunan ekonomi lokal melalui pengembangan komoditas berbasis kelor.

5. REFERENSI

1. Anwar, F., Latif, S., Ashraf, M., & Gilani, A. H. (2007). *Moringa oleifera: A food plant with multiple medicinal uses*. *Phytotherapy Research*, 21(1), 17–25. <https://doi.org/10.1002/ptr.2023>
2. Fahey, J. W. (2005). *Moringa oleifera: A review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties*. Part 1. *Trees for Life Journal*, 1(5), 1–33.
3. Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2009). *Antioxidant activity and total phenolic content of Moringa oleifera leaves in two stages of maturity*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), 303–311. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0141-0>
4. Siddhuraju, P., & Becker, K. (2003). *Antioxidant properties of various solvent extracts of total phenolic constituents from three different agroclimatic origins of drumstick tree (Moringa oleifera Lam.) leaves*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2144–2155. <https://doi.org/10.1021/jf020444+>
5. Vergara-Jimenez, M., Almatrafi, M. M., & Fernandez, M. L. (2017). *Bioactive components in Moringa oleifera leaves protect against chronic disease*. *Antioxidants*, 6(4), 91. <https://doi.org/10.3390/antiox6040091>
6. Zhang, Y., Li, X., Wu, H., Liu, J., & Lu, Y. (2019). *Phenolic profiles and antioxidant activity of Moringa oleifera leaves from different geographical locations*. *Molecules*, 24(9), 1603. <https://doi.org/10.3390/molecules24091603>
7. Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). *Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
8. Devi, S., Kumar, A., & Kumar, R. (2020). *Moringa oleifera and its potential in food fortification and value-added product development: A review*. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 5(2), 45–52.