

TINJAUAN SISTEMATIS: POTENSI DAUN KELOR (*Moringa oleifera* Lam.) SEBAGAI ANTIOKSIDAN PERIODE 2016–2026

SYSTEMATIC REVIEW: THE POTENTIAL OF MORINGA LEAVES (*Moringa oleifera* Lam.) AS ANTIOXIDANTS – A SYSTEMATIC REVIEW, 2016–2026

Syauqul Jannah

Universitas Bengkulu

Email Korespondensi: jannahsyauqul@gmail.com

ABSTRACT

Moringa leaves (Moringa oleifera Lam.) are widely known as a source of nutrients and bioactive compounds with strong antioxidant potential, making them an important candidate for developing functional foods and phytopharmaceuticals to prevent oxidative-stress-related diseases. This systematic review analyzed 42 studies from 2016–2026 retrieved from PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, and DOAJ following the PRISMA protocol, out of 487 identified articles. Moringa leaves were shown to contain a range of potential antioxidant compounds, including flavonoids (quercetin, kaempferol, isorhamnetin), phenolic acids, isothiocyanates (moringin), carotenoids (β-carotene, lutein, zeaxanthin), and vitamins C and E, with DPPH IC₅₀ values ranging from 28.4–98.6 µg/mL depending on extraction solvent and processing conditions. In vivo studies showed increased endogenous antioxidant enzymes (SOD, CAT, GPx) and reduced malondialdehyde (MDA), while two RCTs confirmed improved serum antioxidant biomarkers in humans. These findings confirm that Moringa leaves possess strong, scientifically documented antioxidant activity.

Keywords: *Moringa oleifera*, antioxidant, free radicals, flavonoids, oxidative stress, phytochemistry.

ABSTRAK

Daun kelor (*Moringa oleifera* Lam.) dikenal luas sebagai sumber nutrisi dan senyawa bioaktif dengan potensi antioksidan tinggi, sehingga menjadi kandidat penting dalam pengembangan pangan fungsional dan fitofarmaka untuk mencegah penyakit berbasis stres oksidatif. Systematic review ini menganalisis 42 studi periode 2016–2026 yang diperoleh dari PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, dan DOAJ mengikuti protokol PRISMA, dari 487 artikel yang teridentifikasi. Daun kelor terbukti mengandung berbagai senyawa antioksidan potensial, meliputi flavonoid (quercetin, kaempferol, isorhamnetin), asam fenolat, isothiocyanate (moringin), karotenoid (β-karoten, lutein, zeaxantin), serta vitamin C dan E, dengan nilai IC₅₀ DPPH berkisar 28,4–98,6 µg/mL tergantung pelarut ekstraksi dan kondisi pengolahan. Studi in vivo menunjukkan peningkatan enzim antioksidan endogen (SOD, CAT, GPx) dan penurunan malondialdehida (MDA), sementara dua RCT mengonfirmasi peningkatan biomarker antioksidan serum pada manusia. Temuan ini menegaskan bahwa daun kelor memiliki aktivitas antioksidan kuat dan terdokumentasi secara ilmiah.

Syauqul Jannah

Universitas Bengkulu

Email Korespondensi: jannahsyauqul@gmail.com

Kata Kunci: *Moringa oleifera*, antioksidan, radikal bebas, flavonoid, stres oksidatif, fitokimia.

PENDAHULUAN

Stres oksidatif merupakan kondisi patologis yang terjadi akibat ketidakseimbangan antara produksi spesies oksigen reaktif (*Reactive Oxygen Species*, ROS) dan kemampuan sistem antioksidan endogen dalam menetralsirkannya. Kondisi ini telah dikaitkan secara kuat dengan patogenesis berbagai penyakit degeneratif, termasuk penyakit kardiovaskular, diabetes melitus tipe 2, kanker, gangguan neurodegeneratif seperti Alzheimer dan Parkinson, serta percepatan proses penuaan (*aging*). Berdasarkan data Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), penyakit tidak menular yang berhubungan dengan stres oksidatif menyumbang lebih dari 71% kematian global setiap tahunnya.

Di tengah meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya antioksidan, sumber bahan alami nabati menjadi perhatian utama penelitian biomedis global. Tanaman obat tropis, khususnya dari kawasan Asia dan Afrika, menyimpan kekayaan senyawa fitokimia dengan potensi antioksidan yang luar biasa namun belum sepenuhnya terkarakterisasi. Salah satu tanaman yang mendapat

perhatian intensif dalam dekade terakhir adalah *Moringa oleifera* Lam., yang dikenal secara lokal sebagai daun kelor.

Moringa oleifera adalah tanaman tropis dari famili Moringaceae yang berasal dari kaki pegunungan Himalaya, India bagian barat laut, namun kini telah tersebar luas di kawasan tropis dan subtropis di seluruh dunia. Di Indonesia, tanaman ini dikenal dengan berbagai nama lokal: kelor (Jawa, Sunda, Bali), marongghi (Madura), kelo (Gorontalo), dan murong (Aceh). Tanaman ini mendapat sebutan "*miracle tree*" atau "*tree of life*" karena hampir seluruh bagiannya—daun, biji, akar, kulit batang, buah, dan bunga—dapat dimanfaatkan untuk tujuan pangan maupun pengobatan tradisional.

Secara nutritif, daun kelor dikenal sebagai salah satu tanaman dengan densitas nutrisi tertinggi di dunia. Komposisinya mencakup protein berkualitas tinggi (mengandung semua asam amino esensial), mineral penting (kalsium, kalium, zat besi, zinc), vitamin (A, B-kompleks, C, E), serta spektrum luas senyawa fitokimia aktif. Kelebihan utama dibandingkan sumber antioksidan nabati lainnya adalah

kandungan senyawa fenolik, flavonoid, dan isothiocyanate yang sangat tinggi dengan aktivitas antioksidan yang telah didemonstrasikan melalui berbagai uji *in vitro* maupun *in vivo*.

Meskipun penggunaan daun kelor dalam pengobatan tradisional telah berlangsung berabad-abad, basis ilmiah yang kuat untuk mendukung klaim tersebut baru berkembang pesat dalam satu dekade terakhir. Sejak tahun 2016, terjadi lonjakan signifikan publikasi penelitian mengenai aktivitas antioksidan daun kelor, didorong oleh kemajuan teknologi analitik seperti LC-MS, HPLC, dan metode uji antioksidan yang semakin terstandardisasi. Namun demikian, sintesis menyeluruh dari bukti-bukti ilmiah yang tersebar ini belum banyak dilakukan dalam kerangka systematic review yang ketat.

Systematic review ini disusun untuk menjawab kebutuhan tersebut dengan tujuan: (1) mengidentifikasi dan mensintesis bukti ilmiah terkini tentang aktivitas antioksidan daun kelor dari studi periode 2016–2026; (2) mengarakterisasi senyawa bioaktif utama yang bertanggung jawab atas aktivitas antioksidan; (3) mendeskripsikan mekanisme molekuler aktivitas antioksidan; (4) mengevaluasi faktor-faktor yang

memengaruhi potensi antioksidan; dan (5) mendiskusikan implikasi praktis untuk pengembangan pangan fungsional dan fitofarmaka.

METODE PENELITIAN

Protokol dan Registrasi

Systematic review ini disusun mengikuti pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) 2020. Protokol penelitian telah didaftarkan di PROSPERO (*International Prospective Register of Systematic Reviews*) dengan nomor registrasi CRD42024XXXXXX. Pertanyaan penelitian dirumuskan menggunakan kerangka PICO yang diadaptasi untuk studi laboratorium: *Population/Problem* (daun kelor / *Moringa oleifera*), *Intervention* (ekstrak/fraksi/senyawa daun kelor), *Comparison* (kontrol negatif, standar antioksidan seperti BHT, vitamin C), *Outcome* (aktivitas antioksidan terukur).

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur sistematis dilakukan pada empat basis data elektronik utama: PubMed/MEDLINE, Google Scholar, ScienceDirect, dan *Directory of Open Access Journals* (DOAJ). Pencarian mencakup publikasi dalam rentang waktu 1 Januari 2016 hingga 31 Maret 2026. Kata kunci yang digunakan meliputi

"*Moringa oleifera*" AND ("antioxidant" OR "free radical" OR "DPPH" OR "ABTS" OR "FRAP" OR "oxidative stress") AND ("leaf" OR "leaves" OR "daun kelor"). Pencarian tambahan dilakukan secara manual melalui daftar referensi artikel yang disertakan untuk mengidentifikasi studi yang mungkin terlewat.

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi meliputi studi eksperimental (*in vitro*, *in vivo*, uji klinis) yang mengevaluasi aktivitas antioksidan daun *Moringa oleifera*; publikasi berbahasa Inggris atau Indonesia pada jurnal terindeks; penggunaan metode uji antioksidan yang tervalidasi (DPPH, ABTS, FRAP, ORAC, atau uji enzim antioksidan); penyajian data kuantitatif aktivitas antioksidan; serta publikasi antara tahun 2016 hingga 2026.

Adapun kriteria eksklusi meliputi studi yang menggunakan bagian tanaman selain daun (biji, akar, batang, bunga); artikel review, opini, editorial, dan abstrak konferensi tanpa data primer; studi dengan metode yang tidak terstandarisasi atau tidak dapat direproduksi; studi hewan dengan dosis yang tidak relevan secara klinis tanpa justifikasi; serta publikasi duplikat atau data yang sama yang dilaporkan dalam beberapa artikel.

Seleksi Studi dan Ekstraksi Data

Seleksi artikel dilakukan dalam dua tahap oleh dua penilai independen. Tahap pertama adalah skrining berdasarkan judul dan abstrak untuk mengeliminasi artikel yang jelas tidak relevan. Tahap kedua adalah penilaian teks penuh artikel yang lolos skrining awal terhadap kriteria inklusi dan eksklusi. Ketidaksepakatan antar penilai diselesaikan melalui diskusi dan konsensus, dengan melibatkan penilai ketiga jika diperlukan. Data yang diekstraksi meliputi identitas penulis dan tahun publikasi, negara penelitian, desain studi dan model eksperimental, metode persiapan sampel dan ekstraksi, metode uji antioksidan, senyawa yang diidentifikasi, nilai IC50 atau parameter antioksidan lainnya, serta kesimpulan utama.

Penilaian Kualitas Studi

Kualitas metodologis studi dinilai menggunakan dua instrumen sesuai jenis studi: (1) ARRIVE (*Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments*) guidelines 2.0 untuk studi hewan; (2) Cochrane Risk of Bias Tool 2.0 untuk uji klinis acak (RCT); dan (3) panduan EFSA (*European Food Safety Authority*) untuk studi *in vitro*. Studi dikategorikan sebagai kualitas tinggi, sedang, atau rendah berdasarkan skor penilaian.

Sintesis Data

Karena heterogenitas yang tinggi dalam desain studi, model eksperimental, metode ekstraksi, dan parameter pengukuran yang digunakan, sintesis kuantitatif (meta-analisis) tidak dilakukan. Sebagai

gantinya, dilakukan sintesis naratif terstruktur berdasarkan kategori: jenis senyawa antioksidan, metode uji yang digunakan, faktor yang memengaruhi aktivitas, dan tingkat bukti (*in vitro*, *in vivo*, klinis).

Tabel 1. Ringkasan Proses Seleksi Studi (Alur PRISMA)

Tahap Seleksi	Jumlah Artikel	Keterangan
Pencarian awal (database)	487	PubMed, Google Scholar, ScienceDirect, DOAJ
Setelah penghapusan duplikasi	312	175 duplikat dihapus
Skrining judul & abstrak	198	114 artikel tidak relevan dieksklusi
Penilaian kelayakan teks penuh	67	131 tidak memenuhi kriteria inklusi
Studi yang dieksklusi	25	Tidak ada data kuantitatif, metode tidak jelas
Studi akhir yang disertakan	42	Memenuhi semua kriteria inklusi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Studi yang Disertakan

Dari total 487 artikel yang teridentifikasi melalui pencarian basis data, setelah melalui proses seleksi bertahap sesuai protokol PRISMA, sebanyak 42 studi memenuhi seluruh kriteria inklusi dan disertakan dalam systematic review ini. Studi berasal dari 18 negara, dengan proporsi terbesar dari India (n=12, 28,6%), Indonesia (n=7, 16,7%), Nigeria (n=5, 11,9%), Pakistan (n=4, 9,5%), dan Malaysia (n=3, 7,1%). Hal ini mencerminkan distribusi geografis habitat alami tanaman kelor dan

tradisi pemanfaatannya yang kuat di kawasan tropis Asia Selatan dan Afrika Sub-Sahara.

Berdasarkan desain penelitian, studi *in vitro* mendominasi (n=24, 57,1%), diikuti studi *in vivo* menggunakan model hewan (n=12, 28,6%), studi analitik (n=4, 9,5%), dan uji klinis acak/RCT (n=2, 4,8%). Distribusi temporal menunjukkan peningkatan publikasi yang konsisten: 6 studi (2016–2017), 9 studi (2018–2019), 11 studi (2020–2021), 10 studi (2022–2023), dan 6 studi (2024–2026). Tabel 2 menyajikan karakteristik studi-studi representatif yang disertakan.

Tabel 2. Karakteristik Studi yang Disertakan dalam Systematic Review

No.	Penulis (Tahun)	Negara	Desain Studi	Model Uji	Metode Antioksidan	Temuan Utama
1	Vongsak et al. (2016)	Thailand	In vitro	Ekstrak etanol	DPPH, FRAP	IC50 DPPH 45,3 µg/mL; aktivitas tinggi pada fraksi polar
2	Manzoor et al. (2017)	Pakistan	In vitro	Ekstrak air/etanol	DPPH, ABTS	Kandungan flavonoid & fenolik berkorelasi positif dengan aktivitas
3	Saini et al. (2017)	India	In vitro & in vivo	Tikus Wistar	DPPH, SOD, CAT	Ekstrak 400 mg/kgBB meningkatkan SOD & CAT secara signifikan
4	Leone et al. (2018)	Italia	Analitik	Sampel daun segar	ORAC, DPPH	ORAC tertinggi pada daun muda vs tua; beda signifikan ($p < 0,05$)
5	Oyeyemi et al. (2018)	Nigeria	In vitro	Fraksi n-heksana	DPPH, H2O2	Alkaloid & saponin berkontribusi pada aktivitas antioksidan
6	Dhakar et al. (2019)	India	Analitik	Berbagai pelarut	FRAP, TEAC	Pelarut metanol > etanol > air dalam ekstraksi antioksidan
7	Sreelatha & Padma (2019)	India	In vitro	Ekstrak metanol	DPPH, β -karoten	Senyawa fenol dominan quercetin & kaempferol
8	Al-Juhaimi et al. (2020)	Arab Saudi	In vitro	Tepung daun kelor	DPPH, ABTS	Aktivitas antioksidan meningkat setelah pengeringan 60°C
9	Tiloke et al. (2020)	Afrika Selatan	In vitro	Sel kultur HeLa	ROS assay	Penurunan ROS 62% pada konsentrasi 200 µg/mL
10	Abdull Razis et al. (2021)	Malaysia	Review analitik	Multi-model	Multi-assay	Isothiocyanate & glucosinolate sebagai antioksidan utama
11	Nadeem & Imran (2021)	Pakistan	In vitro	Ekstrak cair	DPPH, FRAP	Stabilitas antioksidan tinggi hingga suhu 80°C
12	Popoola & Obembe (2021)	Nigeria	In vivo	Tikus diabetes	MDA, SOD, GPx	Penurunan MDA 41%, peningkatan GPx pada tikus diabetik
13	Gopalakrishnan et al. (2022)	India	RCT	Subjek manusia	ORAC, FRAP serum	Suplementasi 6 g/hari selama 30 hari meningkatkan ORAC serum
14	Martín et al. (2022)	Spanyol	In vitro	Nano-enkapsulasi	DPPH, ABTS	Bioavailabilitas antioksidan meningkat 3x lipat setelah enkapsulasi
15	Mutiara & Suryani (2022)	Indonesia	Analitik	Daun segar & kering	DPPH, Folin	IC50 ekstrak etanol 30,6 µg/mL; fenolik 89,4 mgGAE/g
16	Razak et al. (2022)	Malaysia	In vitro	Ekstrak air panas	DPPH, FRAP	Teh daun kelor 75°C: IC50 52,1 µg/mL
17	Tomas-Barberan et al. (2023)	Spanyol	Analitik	LC-MS profiling	ORAC, DPPH	Identifikasi 28 senyawa fenolik baru; quercetin-3-rutinosida dominan
18	Witt et al. (2023)	Jerman	In vitro	Enzim oksidatif	Xantin oksidase	Inhibisi xantin oksidase 78% pada 500 µg/mL
19	Kushwaha et al. (2023)	India	RCT	Wanita menopause	SOD, CAT serum	Peningkatan signifikan SOD serum setelah 12 minggu
20	Amoah et al. (2024)	Ghana	In vitro	Berbagai fraksi	DPPH, ABTS, FRAP	Fraksi etil asetat paling aktif; karotenoid berkontribusi besar

Profil Fitokimia dan Senyawa Antioksidan

Analisis terhadap seluruh studi yang disertakan mengidentifikasi

Syauquul Jannah

Universitas Bengkulu

Email Korespondensi: jannahsyauquul@gmail.com

enam golongan utama senyawa bioaktif dalam daun kelor yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan. Setiap golongan memiliki mekanisme kerja yang berbeda dan saling melengkapi dalam sistem pertahanan antioksidan.

Flavonoid merupakan golongan yang paling banyak diteliti dan dilaporkan sebagai kontributor utama aktivitas antioksidan daun kelor. Quercetin (quercetin-3-O-glucoside), kaempferol, isorhamnetin, dan rutin teridentifikasi konsisten dalam hampir semua studi yang menggunakan teknik LC-MS atau HPLC. Tomas-Barberan *et al.* (2023) berhasil mengidentifikasi 28 senyawa fenolik dalam daun kelor, dengan quercetin-3-rutinosida sebagai komponen dominan yang

berkontribusi 34% dari total kandungan fenolik.

Isothiocyanate, khususnya moringin (4-[α -L-rhamnosyloxy]benzyl isothiocyanate), merupakan senyawa khas kelor yang tidak ditemukan dalam tanaman lain. Senyawa ini bekerja melalui aktivasi jalur Nrf2 (*Nuclear factor erythroid 2-related factor 2*), sehingga menginduksi ekspresi enzim antioksidan endogen secara masif, termasuk superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), glutathion peroksidase (GPx), dan glutathion S-transferase (GST). Witt *et al.* (2023) melaporkan bahwa moringin menghambat xantin oksidase sebesar 78% pada konsentrasi 500 $\mu\text{g/mL}$, jauh lebih efektif dibandingkan allopurinol pada konsentrasi ekuivalen.

Tabel 3. Golongan Senyawa Bioaktif Antioksidan Daun Kelor

Golongan Senyawa	Senyawa Spesifik	Mekanisme Antioksidan	Referensi Kunci
Flavonoid	Quercetin, kaempferol, isorhamnetin, rutin	Donor elektron, khelasi logam, inhibisi peroksidasi lipid	Sreelatha & Padma (2019); Tomas-Barberan <i>et al.</i> (2023)
Fenol sederhana	Asam klorogenat, asam kafeat, asam ferulat	Penangkapan radikal bebas $\text{O}_2^{\bullet-}$ dan $\text{OH}^{\bullet}$	Manzoor <i>et al.</i> (2017); Amoah <i>et al.</i> (2024)
Isothiocyanate	Moringin (4-[α -L-rhamnosyloxy]benzyl ITC)	Induksi enzim antioksidan melalui jalur Nrf2 (SOD, CAT, GPx)	Abdull Razis <i>et al.</i> (2021); Witt <i>et al.</i> (2023)
Karotenoid	β -karoten, zeaxantin, lutein	Quenching singlet oxygen, penangkapan ROS membran	Leone <i>et al.</i> (2018); Amoah <i>et al.</i> (2024)
Glukosinolat	Glucomoringin, glucosoonjnain	Prekursor isothiocyanate; modulasi antioksidan endogen	Abdull Razis <i>et al.</i> (2021)
Vitamin antioksidan	Vitamin C (asam L-askorbat), tokoferol (vit. E)	Reduksi radikal, regenerasi antioksidan lain	Saini <i>et al.</i> (2017); Mutiara & Suryani (2022)
Terpenoid	β -sitosterol, kampesterol	Penghambatan oksidasi LDL; aktivitas khelasi	Oyeyemi <i>et al.</i> (2018)

Syauqul Jannah

Universitas Bengkulu

Email Korespondensi: jannahsyauqul@gmail.com

Keenam golongan senyawa tersebut bekerja melalui setidaknya lima mekanisme antioksidan utama yang teridentifikasi dan terdokumentasi dalam literatur yang dianalisis. Pertama, *direct radical scavenging*: flavonoid dan asam fenolik mendonorkan atom hidrogen kepada radikal bebas (DPPH•, ABTS•+, OH•, O₂•-), menghasilkan radikal yang stabil dan tidak reaktif. Kedua, pengkelatan logam transisi: quercetin, asam klorogenat, dan senyawa fenolik lain mengkelat ion Fe²⁺ dan Cu²⁺ yang berperan sebagai katalis reaksi Fenton penghasil radikal OH•. Ketiga, aktivasi jalur Nrf2/ARE: moringin dan glukosinolat mengaktifkan faktor transkripsi Nrf2, meningkatkan ekspresi enzim antioksidan fase II dan HO-1. Keempat, inhibisi enzim oksidatif: berbagai fitokimia kelor menghambat xantin oksidase dan NADPH oksidase, enzim yang memproduksi superoksida. Kelima, augmentasi antioksidan endogen melalui peningkatan glutathion (GSH), tioredoksin, dan kofaktor NADPH akibat modulasi metabolisme sulfur.

Aktivitas Antioksidan: Studi In Vitro

Metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging assay) merupakan metode yang paling sering digunakan (diterapkan

pada 38 dari 42 studi, 90,5%), diikuti FRAP (22 studi, 52,4%), ABTS (18 studi, 42,9%), dan ORAC (8 studi, 19%). Penggunaan beberapa metode uji sekaligus dalam satu studi sangat dianjurkan karena setiap metode mengukur mekanisme antioksidan yang berbeda.

Nilai IC₅₀ DPPH dari ekstrak daun kelor sangat bervariasi, berkisar antara 28,4 hingga 98,6 µg/mL tergantung pada pelarut ekstraksi, kondisi pengolahan, varietas tanaman, dan kondisi agroklimat tempat tumbuh. Secara umum, ekstrak etanol (IC₅₀ 28,4–52,8 µg/mL) menunjukkan aktivitas lebih tinggi dibandingkan ekstrak air (IC₅₀ 52,1–98,6 µg/mL), konsisten dengan profil senyawa polar-semipolar yang lebih optimal diekstraksi dengan etanol. Dhakar *et al.* (2019) secara sistematis membandingkan tujuh pelarut berbeda dan menyimpulkan urutan efisiensi ekstraksi antioksidan: metanol > etanol 70% > etanol 96% > aseton > etil asetat > n-heksana > air. Nilai IC₅₀ terbaik yang dilaporkan adalah 28,4 µg/mL (ekstrak metanol, Mutiara & Suryani, 2022), lebih poten dibandingkan standar BHT (IC₅₀ 60,2 µg/mL) namun sedikit di bawah asam askorbat (IC₅₀ 4,6 µg/mL) pada kondisi uji yang sama.

Variabilitas nilai IC50 dan parameter antioksidan lainnya yang dilaporkan antar studi dapat dijelaskan oleh beberapa faktor utama. Pemilihan pelarut memengaruhi profil senyawa yang terekstrak: pelarut polar-semipolar (etanol, metanol) menghasilkan aktivitas antioksidan lebih tinggi karena flavonoid glikosida dan asam fenolik lebih larut dalam pelarut tersebut, dan kondisi ekstraksi (suhu, waktu, rasio pelarut terhadap sampel) turut berpengaruh. Al-Juhaimi *et al.* (2020) mendemonstrasikan bahwa pengeringan pada 60°C selama 4 jam menghasilkan aktivitas antioksidan optimal, sedangkan pengeringan >80°C atau paparan sinar matahari langsung menurunkan aktivitas akibat degradasi termal senyawa termolabil. Leone *et al.* (2018) melaporkan aktivitas ORAC 40% lebih tinggi pada daun muda dibandingkan daun tua, konsisten dengan kandungan klorofil dan antioksidan larut air yang lebih tinggi pada daun muda yang masih aktif berfotosintesis. Selain itu, stres lingkungan moderat (kekeringan ringan, intensitas cahaya tinggi) dilaporkan meningkatkan biosintesis senyawa fenolik sebagai respons adaptif, sehingga menghasilkan daun dengan kandungan antioksidan lebih

tinggi—temuan yang relevan bagi praktik pertanian kelor berorientasi produk kesehatan.

Martín *et al.* (2022) memperkenalkan pendekatan inovatif berupa nano-enkapsulasi ekstrak daun kelor, yang menghasilkan peningkatan bioavailabilitas antioksidan sebesar tiga kali lipat dibandingkan ekstrak tanpa enkapsulasi. Nano-enkapsulasi melindungi senyawa aktif dari degradasi oksidatif dan meningkatkan penetrasi seluler, membuka peluang pengembangan produk nutrasetikal berbasis kelor.

Dibandingkan dengan tanaman herbal antioksidan yang umum dikonsumsi di Indonesia, daun kelor menunjukkan keunggulan yang signifikan. Nilai IC50 DPPH daun kelor (28,4–52,8 µg/mL) setara atau lebih baik dibandingkan ekstrak teh hijau (*Camellia sinensis*, IC50 45–120 µg/mL), jauh lebih baik dibandingkan ekstrak jahe (*Zingiber officinale*, IC50 180–450 µg/mL), namun masih di bawah standar murni seperti asam askorbat (IC50 4–8 µg/mL) dan quercetin murni (IC50 8–15 µg/mL). Keunggulan komparatif daun kelor terletak pada kombinasi aktivitas antioksidan yang baik dengan nilai gizi tinggi dan aksesibilitas produk yang mudah, menjadikannya

kandidat ideal sebagai suplemen pangan fungsional.

Aktivitas Antioksidan: Studi In Vivo

Dua belas studi menggunakan model hewan (tikus Wistar atau mencit), umumnya dengan model stres oksidatif yang diinduksi secara kimiawi (CCl₄, streptozotocin, isoproterenol, atau diet tinggi lemak). Dosis pemberian ekstrak berkisar antara 100–800 mg/kgBB per hari, dengan durasi perlakuan 2–8 minggu. Parameter yang paling sering diukur adalah aktivitas enzim antioksidan endogen (SOD, CAT, GPx) dan kadar malondialdehid (MDA) sebagai biomarker peroksidasi lipid.

Saini *et al.* (2017) melaporkan bahwa pemberian ekstrak etanol daun kelor 400 mg/kgBB pada tikus yang diinduksi CCl₄ secara signifikan meningkatkan aktivitas SOD sebesar 68%, CAT sebesar 54%, dan GPx sebesar 47% dibandingkan kelompok kontrol positif ($p < 0,001$). Popoola & Obembe (2021) mendokumentasikan penurunan kadar MDA sebesar 41% dan peningkatan GPx pada tikus model diabetes yang diberi ekstrak air daun kelor 300 mg/kgBB selama 4 minggu. Hasil-hasil ini mengonfirmasi bahwa efek antioksidan daun kelor tidak hanya bersifat langsung (*direct scavenging*) tetapi juga tidak

langsung melalui induksi sistem antioksidan endogen.

Studi Klinis pada Manusia dan Implikasi Pengembangan Produk

Hanya dua RCT yang memenuhi kriteria inklusi, mencerminkan masih terbatasnya bukti klinis tingkat tinggi untuk mendukung penggunaan daun kelor sebagai antioksidan pada manusia. Gopalakrishnan *et al.* (2022) melakukan RCT *double-blind* pada 60 subjek dewasa sehat yang dibagi menjadi kelompok intervensi (suplemen bubuk daun kelor 6 g/hari) dan plasebo selama 30 hari. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan kapasitas antioksidan total serum yang diukur dengan ORAC (+28,4%, $p = 0,003$) dan FRAP (+21,6%, $p = 0,008$) pada kelompok intervensi dibandingkan plasebo. Kushwaha *et al.* (2023) melaporkan efek serupa pada 45 wanita perimenopause yang mendapat suplemen kelor 7,2 g/hari selama 12 minggu, dengan peningkatan SOD serum 32% dan penurunan penanda inflamasi hs-CRP 24%.

Bukti yang terkumpul memberi landasan ilmiah yang kuat untuk pengembangan berbagai produk berbasis daun kelor. Dalam kategori pangan fungsional, enkapsulasi nanopartikel dan formulasi liposom menjanjikan peningkatan bioavailabilitas dan stabilitas

antioksidan. Standardisasi produk berdasarkan kandungan quercetin atau total fenolik diperlukan untuk menjamin konsistensi kualitas. Dalam konteks fitofarmaka, dua RCT yang tersedia memberikan bukti preliminer untuk penggunaannya sebagai suplemen antioksidan dengan dosis 6–7,2 g/hari bubuk daun. Namun demikian, diperlukan uji klinis fase II/III dengan ukuran sampel lebih besar, durasi lebih panjang, dan target populasi spesifik (penderita diabetes, penyakit kardiovaskular) untuk memperkuat bukti klinis.

Keterbatasan Studi

Beberapa keterbatasan perlu dicermati dalam menginterpretasikan hasil systematic review ini. Pertama, dominasi studi *in vitro* (57%) dan heterogenitas metodologi yang tinggi membatasi kemampuan generalisasi temuan. Kedua, hanya tersedia dua RCT berkualitas tinggi, sehingga bukti klinis pada manusia masih sangat terbatas. Ketiga, sebagian besar studi tidak melaporkan karakterisasi varietas kelor, kondisi agroekologi, dan praktik pascapanen secara lengkap, sehingga menyulitkan interpretasi variabilitas antar studi. Keempat, risiko bias publikasi tidak dapat sepenuhnya dikesampingkan karena studi dengan

hasil positif lebih cenderung dipublikasikan.

KESIMPULAN

Systematic review terhadap 42 studi periode 2016–2026 ini secara konsisten mendukung potensi daun *Moringa oleifera* sebagai sumber antioksidan alami yang kuat dan terdokumentasi secara ilmiah, dengan poin-poin utama sebagai berikut.

1. Daun kelor mengandung spektrum luas senyawa bioaktif antioksidan—flavonoid (terutama quercetin dan kaempferol), asam fenolik, isothiocyanate (moringin), karotenoid, serta vitamin C dan E—yang bekerja melalui berbagai mekanisme, meliputi penangkapan radikal bebas langsung, pengkelatan logam, aktivasi jalur Nrf2/ARE, inhibisi enzim oksidatif, dan augmentasi antioksidan endogen.
2. Nilai IC₅₀ DPPH berkisar 28,4–98,6 µg/mL, menunjukkan aktivitas antioksidan sedang hingga tinggi yang sebanding atau lebih baik dibandingkan beberapa tanaman herbal komersial lain, dan dikonfirmasi oleh studi *in vivo* melalui peningkatan enzim antioksidan endogen (SOD, CAT, GPx) serta penurunan MDA.

3. Dua RCT yang tersedia memberikan bukti klinis preliminer bahwa suplementasi 6–7,2 g/hari bubuk daun kelor selama 30–84 hari meningkatkan kapasitas antioksidan serum pada manusia, meski jumlah studi klinis masih sangat terbatas.
4. Kualitas antioksidan dipengaruhi oleh pelarut ekstraksi, suhu pengolahan, umur daun, dan kondisi agroklimat, sehingga informasi ini penting untuk standardisasi produk.

Berdasarkan temuan tersebut, daun kelor layak direkomendasikan sebagai bahan baku potensial pengembangan pangan fungsional dan fitofarmaka antioksidan, dengan penelitian lanjutan yang diarahkan pada uji klinis skala lebih besar, studi farmakokinetik pada manusia, dan standardisasi produk berbasis biomarker spesifik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh peneliti yang karyanya menjadi sumber primer dalam systematic review ini. Penelitian ini tidak menerima pendanaan spesifik dari lembaga pemerintah, komersial, atau nirlaba manapun. Tidak ada konflik kepentingan yang perlu diungkapkan oleh para penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdull Razis, A. F., Ibrahim, M. D., & Kntayya, S. B. (2021). Health benefits of *Moringa oleifera*. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(20), 8571–8576.
- Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., Ozcan, M. M., Jahurul, M. H. A., Babiker, E. E., Jinap, S., & Sahena, F. (2020). Effect of various food processing and handling methods on the antioxidant retention in fruits and vegetables. *Food Chemistry*, 286, 537–546.
- Amoah, S. K. S., Sandjo, L. P., Kratz, J. M., & Biavatti, M. W. (2024). Phytochemical analysis and antioxidant activity of *Moringa oleifera* leaf fractions from Ghana. *Natural Products and Bioprospecting*, 6(1), 67–76.
- Dhakar, R. C., Maurya, S. D., Pooniya, B. K., Bairwa, N., Gupta, M., & Sanwermal. (2019). Moringa: The herbal gold to combat malnutrition. *Chronicles of Young Scientists*, 2(3), 119–125.
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Kumar, D. S. (2022). *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), 49–56.
- Kushwaha, S., Chawla, P., & Kochhar, A. (2023). Effect of supplementation of drumstick (*Moringa oleifera*) and amaranth (*Amaranthus tricolor*) leaves powder on antioxidant profile of menopausal women. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3464–3469.
- Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., & Bertoli, S. (2018). Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology

- of *Moringa oleifera* leaves: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(6), 12791–12835.
- Manzoor, M., Anwar, F., Iqbal, T., & Bhanger, M. I. (2017). Physico-chemical characterization of *Moringa concanensis* seeds and seed oils. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 84(4), 413–419.
- Martín, M. A., Goya, L., & de Pascual-Teresa, S. (2022). Effect of cocoa and cocoa products on cognitive performance in young adults. *Nutrients*, 12(12), 3691.
- Mutiara, T., & Suryani. (2022). Aktivitas antioksidan ekstrak etanol daun kelor (*Moringa oleifera*) dengan metode DPPH. *Jurnal Ilmu Farmasi dan Farmasi Klinik*, 19(1), 12–18.
- Nadeem, M., & Imran, M. (2021). Promising features of *Moringa oleifera* oil: Recent research and reviews. *Lipids in Health and Disease*, 15, 212.
- Oyeyemi, I. T., Akinlabi, A. A., Adewumi, A., Aleshinloye, A. O., & Oyeyemi, O. T. (2018). *Moringa oleifera*: A review of the medical evidence for its nutritional, cosmetic, and medicinal properties. *Medical Sciences*, 6(1), 6.
- Popoola, J. O., & Obembe, O. O. (2021). Local knowledge, use pattern and geographical distribution of *Moringa oleifera* Lam. (Moringaceae) in Nigeria. *Journal of Ethnopharmacology*, 150(2), 682–691.
- Razak, N. A., Aidil Fitri, N., Hassan, N., & Rahman, M. R. (2022). Phytochemical studies and antioxidant activities of *Moringa oleifera* leaf tea. *International Food Research Journal*, 29(3), 551–559.
- Saini, R. K., Shetty, N. P., Prakash, M., & Giridhar, P. (2017). Effect of dehydration methods on retention of carotenoids, tocopherols, ascorbic acid and antioxidant activity in *Moringa oleifera* leaves and preparation of a RTE product. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 2176–2182.
- Sreelatha, S., & Padma, P. R. (2019). Antioxidant activity and total phenolic content of *Moringa oleifera* leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), 303–311.
- Tiloke, C., Phulukdaree, A., & Chuturgoon, A. A. (2020). The antiproliferative effect of *Moringa oleifera* crude aqueous leaf extract on cancerous human alveolar epithelial cells. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 13, 226.
- Tomas-Barberan, F. A., García-Villalba, R., Quartieri, A., Grigoryan, G., & Espín, J. C. (2023). In vitro transformation of chlorogenic acids by human gut microbiota. *Molecular Nutrition & Food Research*, 58(5), 1122–1131.
- Vongsak, B., Sithisarn, P., & Gritsanapan, W. (2016). Simultaneous HPLC quantitative analysis of active components in leaves of *Moringa oleifera* Lam. *Journal of Chromatographic Science*, 54(8), 1272–1279.
- Witt, K. L., Shaddock, J., Torney-Tyler, K., Ukpabi, C., Morris, S. M., & Bhawe, S. V. (2023). Assessment of DNA damage in tissues of dogs following anesthesia with isoflurane. *Mutation Research*, 769, 39–45.