



KAJIAN LITERATUR: POTENSI EKSTRAK TERONG UNGU (*SOLANUM MELONGENA* L.) SEBAGAI AGEN ANTIOKSIDAN TERHADAP STRES OKSIDATIF HEPAR PADA MENOPAUSE

*LITERATURE REVIEW: POTENTIAL OF PURPLE EGGPLANT (*SOLANUM MELONGENA* L.) EXTRACT AS AN ANTIOXIDANT AGENT AGAINST HEPATIC OXIDATIVE STRESS DURING MENOPAUSE*

Ida Ayu Made Ratna Dewi^{1*}, I Wayan Sugiritama², Ni Made Linawati³

Universitas Udayana, Indonesia

*Email Correspondence: ratnadewi@unud.ac.id

ABSTRAK

Menopause merupakan fase fisiologis yang ditandai oleh penurunan kadar estrogen dan berkontribusi terhadap peningkatan stres oksidatif akibat ketidakseimbangan antara produksi reactive oxygen species (ROS) dan sistem pertahanan antioksidan endogen. Kondisi tersebut dapat memicu kerusakan seluler pada berbagai organ, termasuk hepar, yang ditandai dengan peningkatan biomarker peroksidasi lipid seperti malondialdehyde (MDA) serta penurunan aktivitas enzim antioksidan, antara lain superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan glutathione peroxidase (GPx). Oleh karena itu, pemanfaatan antioksidan alami menjadi salah satu pendekatan potensial dalam mengurangi dampak stres oksidatif pada kondisi menopause. Terong ungu (*Solanum melongena* L.) diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif, terutama antosianin (nasunin), flavonoid, dan asam fenolat seperti chlorogenic acid yang memiliki aktivitas antioksidan dan hepatoprotektif. Tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi bioaktif ekstrak terong ungu sebagai kandidat intervensi alami terhadap stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Kajian dilakukan melalui penelusuran literatur ilmiah yang relevan mengenai menopause, stres oksidatif hepar, antioksidan alami, serta kandungan fitokimia *Solanum melongena*. Hasil kajian menunjukkan bahwa senyawa bioaktif dalam ekstrak terong ungu berpotensi menurunkan stres oksidatif melalui mekanisme penangkapan radikal bebas, penghambatan peroksidasi lipid, serta peningkatan aktivitas sistem antioksidan endogen. Efek tersebut ditandai dengan penurunan kadar MDA dan peningkatan aktivitas SOD, CAT, serta GPx. Selain aktivitas antioksidan langsung, senyawa fitokimia pada terong ungu juga berpotensi memodulasi jalur molekuler yang berperan dalam pertahanan sel terhadap stres oksidatif. Dengan demikian, ekstrak terong ungu berpotensi dikembangkan sebagai kandidat intervensi berbasis fitokimia alami untuk mendukung pencegahan stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Namun, penelitian lanjutan, khususnya uji klinis pada manusia, masih diperlukan untuk memastikan efektivitas dan keamanan penggunaannya.

Kata kunci: menopause, stres oksidatif, hepatoproteksi, antioksidan, *Solanum melongena*.

ABSTRACT

*Menopause is a physiological phase characterized by declining estrogen levels, contributing to increased oxidative stress resulting from an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and endogenous antioxidant defense systems. This condition can trigger cellular damage in various organs, including the liver, evidenced by elevated lipid peroxidation biomarkers—such as malondialdehyde (MDA)—and reduced activity of antioxidant enzymes, including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GPx). Consequently, the use of natural antioxidants represents a potential approach to mitigating the impact of oxidative stress during menopause. Purple eggplant (*Solanum melongena* L.) is known to contain various bioactive compounds—notably anthocyanins (nasunin), flavonoids, and phenolic acids like chlorogenic acid—that exhibit antioxidant and hepatoprotective activities. This literature review aims to evaluate the bioactive potential of purple eggplant extract as a candidate for natural intervention against hepatic oxidative stress in menopausal conditions. The study involved a review of relevant scientific literature concerning menopause, hepatic oxidative stress, natural antioxidants, and the phytochemical composition of *Solanum melongena*. The*



findings indicate that bioactive compounds in purple eggplant extract have the potential to reduce oxidative stress through mechanisms such as free radical scavenging, inhibition of lipid peroxidation, and enhancement of endogenous antioxidant system activity. These effects are characterized by decreased MDA levels and increased activities of SOD, CAT, and GPx. Beyond direct antioxidant activity, the phytochemicals in purple eggplant may also modulate molecular pathways involved in cellular defense against oxidative stress. Thus, purple eggplant extract holds promise as a natural, phytochemical-based intervention to help prevent hepatic oxidative stress during menopause. However, further research—particularly human clinical trials—is required to confirm its efficacy and safety.

Keywords: menopause, oxidative stress, hepatoprotection, antioxidant, *Solanum melongena*.

PENDAHULUAN

Menopause merupakan fase fisiologis alami dalam siklus kehidupan wanita yang ditandai dengan penghentian menstruasi secara permanen selama sedikitnya 12 bulan berturut-turut akibat penurunan fungsi ovarium dan berkurangnya cadangan folikel. Kondisi ini menyebabkan menurunnya produksi hormon steroid seks, terutama estrogen, khususnya 17 β -estradiol (E2), yang berperan penting dalam mempertahankan berbagai fungsi fisiologis tubuh di luar sistem reproduksi (Yang et al., 2025). Selain memengaruhi kesehatan reproduksi, penurunan kadar estrogen pada masa pascamenopause juga berkaitan dengan gangguan homeostasis metabolik, keseimbangan redoks seluler, fungsi mitokondria, serta regulasi inflamasi sistemik (Huang et al., 2025).

Salah satu konsekuensi biologis utama dari defisiensi estrogen adalah meningkatnya stres oksidatif akibat terganggunya keseimbangan antara produksi *reactive oxygen species* (ROS) dan kapasitas sistem pertahanan antioksidan endogen. Dalam kondisi fisiologis normal, estrogen memiliki efek protektif melalui regulasi ekspresi enzim antioksidan, pemeliharaan fungsi mitokondria, serta pengendalian homeostasis redoks seluler (Huang et al., 2025). Penurunan kadar estrogen dapat menyebabkan disfungsi mitokondria dan meningkatkan kebocoran elektron pada

rantai transpor elektron. Kondisi tersebut selanjutnya memicu pembentukan ROS secara berlebihan (P. Chen et al., 2024). Akumulasi ROS yang tidak terkontrol dapat menyebabkan stres oksidatif, yaitu kondisi ketidakseimbangan biokimia yang berkontribusi terhadap kerusakan lipid, protein, dan DNA, serta mempercepat disfungsi seluler (Andr et al., 2021).

Stres oksidatif pada masa menopause memiliki implikasi patologis yang luas karena dapat memengaruhi berbagai organ, termasuk hepar. Sebagai organ utama yang berperan dalam metabolisme lipid, detoksifikasi xenobiotik, metabolisme hormon, dan regulasi homeostasis energi, hepar memiliki aktivitas metabolik dan fungsi mitokondria yang tinggi sehingga rentan mengalami kerusakan akibat akumulasi ROS (Allameh et al., 2023). Peningkatan ROS pada hepatosit dapat memicu peroksidasi lipid membran sel, mengganggu integritas struktural membran, menurunkan fungsi mitokondria, dan mengaktifasi respons inflamasi yang memperburuk cedera hepatoseluler (Dery et al., 2025).

Dalam konteks menopause, hepar menjadi organ target yang relevan karena defisiensi estrogen berkaitan dengan perubahan metabolisme lipid, resistensi insulin, peningkatan akumulasi lemak hepatis, serta meningkatnya risiko gangguan hati metabolik seperti *non-alcoholic fatty*



liver disease (NAFLD). Beberapa kajian menunjukkan bahwa wanita pascamenopause memiliki risiko lebih tinggi mengalami NAFLD dan progresi fibrosis hati, yang mengindikasikan bahwa penurunan estrogen berkontribusi terhadap meningkatnya kerentanan hepar terhadap kerusakan oksidatif dan inflamasi kronis (Zhao et al., 2023). Oleh karena itu, upaya untuk menekan stres oksidatif hepar pada kondisi menopause memiliki relevansi klinis dalam mendukung pencegahan komplikasi metabolik jangka panjang.

Berbagai parameter biokimia telah digunakan untuk mengevaluasi tingkat kerusakan oksidatif pada jaringan hepar. Salah satu biomarker yang paling umum digunakan adalah malondialdehyde (MDA), yang merupakan produk akhir dari peroksidasi lipid membran sel. Di sisi lain, aktivitas enzim antioksidan endogen seperti superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan glutathione peroxidase (GPx) sering digunakan untuk menggambarkan kapasitas pertahanan antioksidan seluler. Kombinasi parameter MDA, SOD, CAT, dan GPx banyak digunakan dalam penelitian stres oksidatif karena dapat merepresentasikan keseimbangan antara tingkat kerusakan oksidatif dan respons protektif endogen terhadap ROS (Id et al., 2022).

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengurangi dampak stres oksidatif pada menopause, termasuk terapi hormonal dan pemberian antioksidan. Hingga saat ini, *hormone replacement therapy* (HRT) masih menjadi salah satu pendekatan terapeutik dalam pengelolaan gejala menopause. Namun, penggunaannya dalam jangka panjang memerlukan pertimbangan yang cermat terkait keseimbangan manfaat dan risiko, terutama

pada kelompok pasien tertentu, karena dapat berkaitan dengan peningkatan risiko stroke dan kanker payudara pada penggunaan estrogen-progestin jangka panjang (Genazzani et al., 2021). Selain itu, penggunaan antioksidan sintetis juga menimbulkan perhatian terkait keamanan jangka panjang, terutama apabila digunakan secara berlebihan atau tidak tepat (Garg, 2024). Kondisi tersebut mendorong meningkatnya minat terhadap eksplorasi bahan alam sebagai sumber antioksidan yang lebih aman dan memiliki potensi manfaat biologis yang luas.

Salah satu bahan alam yang menarik untuk dikaji adalah terong ungu (*Solanum melongena* L.), yaitu tanaman pangan yang diketahui mengandung berbagai senyawa fitokimia bioaktif. Terong ungu mengandung senyawa fenolik, flavonoid, dan antosianin, dengan *chlorogenic acid* sebagai salah satu asam fenolat dominan. Selain itu, kulit terong ungu mengandung antosianin utama berupa nasunin yang berkontribusi terhadap warna ungu dan aktivitas antioksidan tanaman tersebut (Djouadi, 2025). Senyawa antosianin diketahui memiliki kemampuan dalam menangkap radikal bebas, menghambat peroksidasi lipid, meningkatkan kapasitas antioksidan, serta memodulasi stres oksidatif pada berbagai kondisi biologis (Dudek et al., 2022).

Meskipun berbagai penelitian telah melaporkan aktivitas antioksidan dan potensi hepatoprotektif *Solanum melongena*, bukti ilmiah yang secara khusus mengevaluasi hubungan antara ekstrak terong ungu, stres oksidatif hepar, dan kondisi menopause masih terbatas. Sebagian besar penelitian yang tersedia masih berfokus pada karakterisasi fitokimia, aktivitas antioksidan *in vitro*, atau model stres oksidatif umum. Sementara itu, kajian yang secara spesifik



mengintegrasikan defisiensi estrogen, kerusakan oksidatif hepar, dan potensi intervensi berbasis fitokimia dari terong ungu masih relatif sedikit dilakukan (Zhao et al., 2023). Kesenjangan tersebut menunjukkan adanya ruang penelitian yang relevan untuk dieksplorasi lebih lanjut.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tinjauan literatur ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif potensi ekstrak terong ungu sebagai kandidat intervensi antioksidan berbasis fitokimia alami dalam mendukung pencegahan stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Kajian ini secara khusus berfokus pada bukti eksperimental yang berkaitan dengan biomarker stres oksidatif hepar, termasuk MDA, SOD, CAT, dan GPx, serta mekanisme biologis yang mendasari aktivitas protektif senyawa bioaktif *Solanum melongena*. Dengan demikian, kajian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan strategi komplementer berbasis bahan alam untuk mendukung kesehatan metabolik wanita pascamenopause.

METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan *literature review* dengan penelusuran artikel ilmiah melalui database PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar. Literatur yang digunakan dibatasi pada publikasi dalam 10 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2016 hingga awal 2026. Penelusuran dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci "*Solanum melongena*", "eggplant", "nasunin", "anthocyanin", "oxidative stress", "antioxidant", "hepatic oxidative stress", "menopause", "postmenopause", "malondialdehyde", "superoxide dismutase", "catalase", dan "glutathione peroxidase"

dengan bantuan operator Boolean AND dan OR.

Hasil penelusuran literatur memperoleh 96 artikel yang relevan dengan topik penelitian. Setelah dilakukan proses seleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, diperoleh 29 artikel yang memenuhi syarat untuk dianalisis lebih lanjut dalam tinjauan literatur ini.

Kriteria inklusi meliputi artikel penelitian primer, baik *in vitro* maupun *in vivo*, yang membahas kandungan fitokimia atau aktivitas antioksidan *Solanum melongena*, biomarker stres oksidatif, serta relevansinya terhadap fungsi hepar atau kondisi menopause. Artikel yang dipilih tersedia dalam teks lengkap, menggunakan bahasa Inggris atau Indonesia, serta memiliki kesesuaian dengan fokus kajian. Sementara itu, kriteria eksklusi meliputi artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap, tidak relevan dengan topik penelitian, tidak membahas biomarker stres oksidatif maupun senyawa bioaktif terong ungu, serta artikel dengan kualitas metodologis yang tidak memadai.

Artikel yang memenuhi kriteria selanjutnya dianalisis secara naratif berdasarkan jenis senyawa bioaktif, model penelitian, biomarker stres oksidatif yang digunakan, serta relevansinya terhadap stres oksidatif hepar pada kondisi menopause.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gangguan Homeostasis Redoks pada Kondisi Menopause

Penurunan kadar estrogen selama transisi menopause merupakan salah satu faktor biologis penting yang berkontribusi terhadap terganggunya homeostasis redoks. Dalam kondisi fisiologis, estrogen berperan dalam mendukung sistem pertahanan antioksidan melalui regulasi aktivitas enzim



antioksidan, pemeliharaan fungsi mitokondria, serta pengendalian produksi *reactive oxygen species* (ROS). Ketika kadar estrogen menurun, kemampuan sel dalam mempertahankan keseimbangan antara pembentukan ROS dan kapasitas antioksidan endogen dapat melemah, sehingga meningkatkan kerentanan tubuh terhadap stres oksidatif (Yang et al., 2025).

Gangguan homeostasis redoks tersebut juga berkaitan dengan penurunan efisiensi sistem antioksidan enzimatik pada wanita pascamenopause. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa wanita pascamenopause cenderung mengalami perubahan status redoks yang ditandai dengan meningkatnya biomarker oksidatif dan menurunnya aktivitas enzim antioksidan dibandingkan wanita premenopause (Hameed et al., 2023). Kondisi tersebut mencerminkan terbentuknya lingkungan seluler yang lebih prooksidatif, yang dalam jangka panjang dapat berkontribusi terhadap peningkatan risiko gangguan metabolik dan penyakit degeneratif terkait usia (Genazzani et al., 2021). Dengan demikian, perubahan homeostasis redoks pada fase menopause dapat menjadi dasar biologis meningkatnya kerentanan berbagai organ terhadap kerusakan oksidatif, termasuk hepar.

Kerusakan Oksidatif Hepar dan Disfungsi Seluler pada Kondisi Menopause

Pada fase pascamenopause, stres oksidatif yang berlangsung secara kronis dapat memberikan dampak merugikan terhadap organ dengan aktivitas metabolik tinggi, termasuk hepar. Sebagai organ utama yang berperan dalam metabolisme lipid, detoksifikasi, dan regulasi homeostasis energi, hepar sangat bergantung pada fungsi mitokondria yang optimal untuk mempertahankan aktivitas seluler. Oleh

karena itu, gangguan keseimbangan redoks pada kondisi menopause dapat meningkatkan kerentanan hepatosit terhadap kerusakan oksidatif.

Peningkatan produksi *reactive oxygen species* (ROS) secara berlebihan menyebabkan hepatosit lebih rentan mengalami peroksidasi lipid pada membran sel. Proses tersebut dapat mengganggu integritas membran, menurunkan fungsi seluler, serta memperberat cedera oksidatif pada jaringan hepar. Salah satu biomarker yang umum digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan lipid akibat stres oksidatif adalah malondialdehyde (MDA), yang terbentuk sebagai produk akhir peroksidasi lipid membran (Lim et al., 2025).

Selain menyebabkan kerusakan lipid membran, akumulasi ROS juga dapat mengganggu struktur protein, merusak DNA, dan memperburuk disfungsi mitokondria. Dalam konteks penyakit hepar, disfungsi mitokondria merupakan mekanisme penting karena organel tersebut berperan dalam produksi energi, regulasi apoptosis, dan pengendalian homeostasis redoks hepatosit (P. Chen et al., 2024). Jika berlangsung secara terus-menerus, kerusakan oksidatif dapat memicu respons inflamasi dan perubahan histopatologis pada jaringan hepar, seperti degenerasi seluler, pembengkakan hepatosit, hingga nekrosis pada beberapa model cedera hati (Khaledi, 2023).

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan stres oksidatif pada menopause tidak hanya memengaruhi keseimbangan redoks secara sistemik, tetapi juga berkontribusi terhadap progresivitas kerusakan seluler pada hepar. Oleh karena itu, pengendalian stres oksidatif dan peningkatan sistem pertahanan antioksidan



menjadi aspek penting dalam upaya proteksi hepar pada kondisi pascamenopause.

Biomarker Kerusakan Oksidatif dan Pertahanan Antioksidan pada Hepar

Kerusakan oksidatif pada hepar dapat dievaluasi melalui berbagai biomarker yang mencerminkan tingkat peroksidasi lipid dan kapasitas sistem pertahanan antioksidan seluler. Dalam kondisi stres oksidatif, peningkatan produksi *reactive oxygen species* (ROS) menyebabkan ketidakseimbangan antara pembentukan oksidan dan kemampuan sistem antioksidan endogen dalam mempertahankan homeostasis redoks. Kondisi tersebut umumnya ditandai dengan peningkatan biomarker kerusakan oksidatif, seperti malondialdehyde (MDA), disertai penurunan aktivitas enzim antioksidan, termasuk superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan glutathione peroxidase (GPx) (Id et al., 2022; Jomova et al., 2024).

Malondialdehyde (MDA) merupakan salah satu biomarker utama yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat peroksidasi lipid pada jaringan hepar. Senyawa ini terbentuk sebagai produk akhir degradasi asam lemak tak jenuh akibat serangan ROS terhadap membran sel. Peningkatan kadar MDA mencerminkan terjadinya kerusakan oksidatif pada lipid membran hepatosit serta menurunnya integritas membran seluler. Dalam berbagai kondisi patologis yang berkaitan dengan stres oksidatif, peningkatan MDA sering dikaitkan dengan progresivitas cedera hepatoseluler dan gangguan fungsi hepar (Allameh et al., 2023; Lim et al., 2025).

Selain peningkatan biomarker kerusakan oksidatif, gangguan homeostasis redoks pada hepar juga ditandai dengan perubahan aktivitas sistem pertahanan antioksidan endogen. Superoxide dismutase

(SOD) merupakan lini pertahanan pertama terhadap ROS yang berperan dalam mengonversi radikal superoksida menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2). Penurunan aktivitas SOD menunjukkan melemahnya kemampuan sel dalam menetralkan radikal bebas pada tahap awal, sehingga dapat meningkatkan akumulasi ROS dan memperberat kerusakan oksidatif pada hepatosit (Id et al., 2022; Jomova et al., 2024).

Hidrogen peroksida yang terbentuk selanjutnya akan didetoksifikasi oleh catalase (CAT) dan glutathione peroxidase (GPx) menjadi molekul yang lebih stabil dan kurang toksik. Enzim CAT berperan dalam menguraikan H_2O_2 menjadi air dan oksigen, sedangkan GPx bekerja dengan mereduksi peroksida melalui bantuan glutathione. Aktivitas kedua enzim tersebut sangat penting dalam mempertahankan homeostasis redoks dan melindungi struktur seluler dari kerusakan oksidatif. Oleh karena itu, penurunan aktivitas CAT dan GPx mengindikasikan terganggunya kapasitas pertahanan antioksidan seluler serta meningkatnya kerentanan hepar terhadap cedera oksidatif (Jomova et al., 2024).

Secara biologis, perubahan biomarker oksidatif dan antioksidan tersebut saling berkaitan dalam mencerminkan progresivitas kerusakan hepar. Peningkatan kadar MDA yang disertai penurunan aktivitas SOD, CAT, dan GPx menunjukkan terjadinya ketidakseimbangan antara pembentukan oksidan dan kemampuan sistem antioksidan dalam mempertahankan homeostasis redoks. Kondisi tersebut tidak hanya mencerminkan gangguan biokimiawi pada tingkat seluler, tetapi juga berkaitan dengan aktivasi inflamasi, disfungsi mitokondria, serta progresivitas cedera hepatoseluler pada



kondisi stres oksidatif kronis (Chen et al., 2024; Allameh et al., 2023).

Temuan klinis turut mendukung hubungan antara menopause dan peningkatan stres oksidatif. Perempuan pascamenopause dilaporkan memiliki kadar biomarker stres oksidatif yang lebih tinggi dibandingkan perempuan usia reproduktif, disertai penurunan kapasitas sistem antioksidan endogen (Bourgonje et al., 2020; Hameed et al., 2023; Leanza et al., 2023). Dengan demikian, perubahan biomarker oksidatif pada kondisi menopause menunjukkan bahwa stres oksidatif berperan penting dalam meningkatkan kerentanan hepar terhadap kerusakan seluler dan gangguan fungsi jaringan secara progresif.

Kandungan Fitokimia dan Potensi Antioksidan Terong Ungu (*Solanum melongena* L.)

Terong ungu (*Solanum melongena* L.) merupakan salah satu tanaman pangan yang memiliki nilai fungsional karena kandungan senyawa bioaktifnya, terutama kelompok fenolik, flavonoid, dan antosianin. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kapasitas antioksidan terong berkaitan erat dengan kandungan polifenol dan antosianin, terutama pada varietas berwarna ungu dan hitam. Varietas tersebut dilaporkan memiliki kandungan fenolik dan kapasitas antioksidan yang lebih tinggi dibandingkan varietas putih. Analisis pada berbagai varietas terong juga menunjukkan bahwa polifenol dan antosianin merupakan kontributor utama terhadap aktivitas penangkap radikal bebas pada buah terong (Šilarov et al., 2019).

Secara biokimia, polifenol merupakan kelompok metabolit sekunder tanaman yang memiliki gugus hidroksil pada struktur aromatiknya, sehingga mampu berperan sebagai donor elektron atau atom hidrogen

dalam menetralkan radikal bebas. Kelompok senyawa ini diketahui memiliki aktivitas biologis yang luas, termasuk antioksidan, antiinflamasi, antimikroba, dan sitoprotektif (Rathod et al., 2023). Mekanisme protektif polifenol tidak hanya berlangsung melalui penangkapan radikal bebas secara langsung, tetapi juga melalui regulasi jalur persinyalan seluler. Beberapa senyawa alami diketahui dapat memodulasi jalur Nrf2/ARE yang berperan dalam meningkatkan ekspresi enzim antioksidan endogen, serta menekan aktivasi NF- κ B yang terlibat dalam respons inflamasi seluler (Krajka-Kuźniak, 2021).

Di antara kelompok polifenol, flavonoid merupakan subkelompok penting yang berkontribusi terhadap aktivitas antioksidan tanaman. Flavonoid memiliki struktur dasar C6–C3–C6 dan diklasifikasikan ke dalam beberapa kelompok, antara lain flavon, flavonol, flavanon, isoflavon, dan antosianin. Efektivitas flavonoid sebagai antioksidan dipengaruhi oleh konfigurasi molekulernya, terutama jumlah dan posisi gugus hidroksil serta keberadaan ikatan rangkap pada struktur cincin karbon. Melalui mekanisme donor elektron atau atom hidrogen, flavonoid dapat membantu menekan pembentukan radikal bebas dan menghambat proses peroksidasi lipid pada membran sel (S. Chen et al., 2023; Hassanpour & Doroudi, 2023).

Secara spesifik, antosianin merupakan komponen utama yang memberikan warna ungu pada kulit terong. Salah satu antosianin yang paling banyak dikaji adalah nasunin, yaitu turunan delphinidin yang terutama ditemukan pada kulit terong ungu. Nasunin diketahui memiliki aktivitas antioksidan yang kuat, termasuk kemampuan menangkap radikal superoksida dan melindungi jaringan dari peroksidasi lipid (Florio et al., 2021). Kajian terbaru juga menegaskan bahwa



nasunin merupakan senyawa bioaktif penting pada *Solanum melongena* yang memiliki potensi kesehatan sebagai antioksidan dan komponen fungsional dalam pengembangan pangan berbasis fitokimia alami (Alighadri et al., 2023).

Dengan berbagai kandungan fitokimia tersebut, *Solanum melongena* berpotensi memberikan efek protektif terhadap kerusakan oksidatif melalui mekanisme penangkapan radikal bebas, penghambatan peroksidasi lipid, serta modulasi sistem pertahanan antioksidan seluler. Potensi ini menjadi dasar biologis penting dalam pengembangan ekstrak terong ungu sebagai kandidat intervensi alami terhadap stres oksidatif hepar pada kondisi menopause.

5. Mekanisme Hepatoprotektif Ekstrak Terong Ungu terhadap Stres Oksidatif Hepar

Ekstrak terong ungu (*Solanum melongena* L.) berpotensi memberikan efek hepatoprotektif melalui berbagai mekanisme antioksidan dan sitoprotektif pada tingkat seluler. Potensi tersebut terutama berkaitan dengan kandungan senyawa bioaktifnya, seperti polifenol, flavonoid, dan antosianin, yang diketahui mampu menekan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) serta mengurangi kerusakan oksidatif pada jaringan hepar (Rathod et al., 2023; Hassanpour & Doroudi, 2023).

Polifenol merupakan kelompok metabolit sekunder tanaman yang memiliki gugus hidroksil pada struktur aromatikanya sehingga mampu bertindak sebagai donor elektron atau atom hidrogen dalam menetralkan radikal bebas. Selain bekerja melalui mekanisme penangkapan ROS secara langsung, polifenol juga diketahui dapat memodulasi jalur persinyalan seluler yang berkaitan dengan stres oksidatif dan inflamasi. Aktivasi jalur *nuclear factor erythroid 2-related factor 2/antioxidant*

response element (Nrf2/ARE) berperan dalam meningkatkan ekspresi enzim antioksidan endogen, sedangkan penghambatan jalur *nuclear factor-kappa B* (NF- κ B) dapat membantu menekan respons inflamasi yang memperberat cedera hepatoseluler (Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska, 2021).

Di antara kelompok polifenol, flavonoid merupakan komponen penting yang berkontribusi terhadap kapasitas antioksidan terong ungu. Aktivitas biologis flavonoid dipengaruhi oleh struktur kimianya, terutama jumlah dan posisi gugus hidroksil serta keberadaan ikatan rangkap pada kerangka karbonnya. Melalui mekanisme donor elektron, flavonoid dapat membantu menetralkan ROS dan menghambat proses peroksidasi lipid pada membran sel (Chen et al., 2023; Hassanpour & Doroudi, 2023).

Salah satu komponen antosianin utama pada kulit terong ungu adalah nasunin, yaitu turunan delphinidin yang diketahui memiliki aktivitas antioksidan kuat. Nasunin dilaporkan mampu menangkap radikal superoksida dan melindungi membran sel dari kerusakan akibat peroksidasi lipid. Aktivitas tersebut menjadi penting dalam konteks jaringan hepar karena hepatosit merupakan sel dengan aktivitas metabolik tinggi yang rentan mengalami akumulasi ROS dan kerusakan oksidatif (Ryandi et al., 2022; Alighadri et al., 2023).

Selain berperan sebagai penangkap radikal bebas, senyawa flavonoid dan antosianin juga berpotensi memperkuat sistem pertahanan antioksidan endogen melalui peningkatan aktivitas enzim seperti superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan glutathione peroxidase (GPx). Peningkatan aktivitas enzim-enzim tersebut penting dalam menjaga homeostasis redoks



seluler dan mencegah akumulasi ROS yang dapat memperburuk kerusakan hepatosit (Jomova et al., 2024; Id et al., 2022).

Beberapa bukti eksperimental juga mendukung potensi hepatoprotektif ekstrak terong ungu. Penelitian Darma et al. (2025) menunjukkan bahwa ekstrak etanol kulit terong pada tikus yang diinduksi aflatoksin B1 mampu menurunkan kadar malondialdehyde (MDA) dan 4-hydroxynonenal (4-HNE), serta meningkatkan aktivitas superoxide dismutase (SOD). Dosis 600 mg/kg berat badan dilaporkan memberikan hasil paling optimal dalam menekan indikator peroksidasi lipid dan memperbaiki sistem pertahanan antioksidan endogen. Temuan tersebut menunjukkan bahwa ekstrak kulit terong ungu tidak hanya memiliki aktivitas antioksidan *in vitro*, tetapi juga berpotensi memberikan efek protektif secara *in vivo* terhadap cedera oksidatif hepar (Darma et al., 2025).

Secara biologis, penghambatan peroksidasi lipid merupakan salah satu mekanisme penting dalam proteksi hepar terhadap stres oksidatif. Proses peroksidasi lipid menghasilkan senyawa reaktif seperti MDA dan 4-HNE yang dapat mengganggu integritas membran hepatosit serta memperberat kerusakan seluler. Oleh karena itu, penurunan kadar MDA setelah pemberian senyawa antioksidan dapat dipahami sebagai indikator berkurangnya

degradasi lipid membran dan membaiknya keseimbangan redoks seluler (Machado et al., 2023; Allameh et al., 2023).

Dalam konteks menopause, peningkatan stres oksidatif akibat penurunan estrogen berkaitan dengan melemahnya kapasitas antioksidan endogen dan meningkatnya kerentanan jaringan terhadap kerusakan oksidatif. Beberapa penelitian melaporkan bahwa perempuan pascamenopause mengalami peningkatan biomarker stres oksidatif dan penurunan sistem pertahanan antioksidan dibandingkan perempuan usia reproduktif (Bourgonje et al., 2020; Hameed et al., 2023; Leanza et al., 2023). Oleh karena itu, keberadaan senyawa bioaktif pada terong ungu berpotensi mendukung proteksi hepar melalui mekanisme penangkapan ROS, penghambatan peroksidasi lipid, peningkatan aktivitas antioksidan endogen, serta modulasi jalur molekuler yang berkaitan dengan homeostasis redoks dan inflamasi seluler.

Dengan demikian, ekstrak terong ungu dapat diposisikan sebagai kandidat antioksidan alami yang berpotensi membantu mitigasi stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Namun, sebagian besar bukti yang tersedia masih berasal dari studi praklinis dan kajian mekanistik, sehingga penelitian lanjutan, khususnya uji klinis pada manusia, masih diperlukan untuk memastikan efektivitas, keamanan, dan relevansi klinisnya.

Sintesis Bukti Eksperimental dan Mekanisme Hepatoprotektif Ekstrak Terong Ungu

Tabel 1. Sintesis Bukti Eksperimental dan Mekanistik Potensi Hepatoprotektif *Solanum melongena* L.

No.	Peneliti	Model/Konteks	Parameter Utama	Temuan Kunci	Relevansi terhadap Penelitian
1	Darma et al. (2025)	Tikus yang diinduksi aflatoksin B1	MDA, 4-HNE, SOD, DPPH, ABTS	Ekstrak etanol kulit terong menurunkan kadar MDA dan 4-HNE serta	Memberikan bukti langsung bahwa ekstrak kulit terong



No.	Peneliti	Model/Konteks	Parameter Utama	Temuan Kunci	Relevansi terhadap Penelitian
				meningkatkan aktivitas SOD; dosis 600 mg/kg berat badan menunjukkan efek paling optimal	berpotensi menekan stres oksidatif pada model cedera hepar
2	Cordiano et al. (2023)	Kajian biomarker stres oksidatif	MDA	MDA dijelaskan sebagai biomarker penting dalam peroksidasi lipid dan kerusakan oksidatif membran sel	Mendukung penggunaan MDA sebagai indikator kerusakan oksidatif hepar
3	Machado et al. (2023)	Kajian polifenol pada penyakit hepar	ROS, stres oksidatif, cedera hepar	Polifenol berpotensi menekan stres oksidatif dan memperbaiki kerusakan hepar melalui aktivitas antioksidan	Menguatkan dasar biologis efek hepatoprotektif senyawa fenolik
4	Liao et al. (2024)	Kajian flavonoid pada penyakit hepar	Jalur hepatoprotektif flavonoid	Flavonoid memiliki aktivitas antioksidan, antiinflamasi, dan regulasi jalur molekuler yang berkaitan dengan proteksi hepar	Mendukung peran flavonoid sebagai komponen bioaktif protektif
5	Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska (2021)	Kajian senyawa alami	Nrf2, NF-κB	Senyawa alami dapat mengaktivasi Nrf2 dan menekan NF-κB	Mendukung mekanisme molekuler antioksidan dan antiinflamasi
6	Alighadri et al. (2024)	Kajian nasunin pada terong	Nasunin, antioksidan, manfaat kesehatan	Nasunin dijelaskan sebagai senyawa utama pada terong yang memiliki aktivitas antioksidan	Mendukung potensi kulit terong sebagai sumber fitokimia fungsional
7	Bourgonje et al. (2020)	Studi klinis perempuan pascamenopause	Stres oksidatif sistemik	Perempuan pascamenopause menunjukkan peningkatan stres oksidatif sistemik	Mendukung hubungan biologis antara menopause dan stres oksidatif
8	Leanza et al. (2023)	Studi klinis pascamenopause dengan/tanpa obesitas	MDA, total hidropersida	Stres oksidatif meningkat pada perempuan pascamenopause, terutama pada kondisi obesitas	Menguatkan konteks klinis bahwa pascamenopause berkaitan dengan peningkatan stres oksidatif



Berdasarkan sintesis berbagai penelitian terdahulu, ekstrak terong ungu (*Solanum melongena* L.) menunjukkan potensi dalam mitigasi stres oksidatif hepar melalui beberapa mekanisme biologis yang saling berkaitan. Senyawa bioaktif utama, seperti polifenol, flavonoid, dan nasunin, diketahui berperan dalam menetralkan *reactive oxygen species* (ROS) secara langsung sehingga dapat menekan proses peroksidasi lipid pada membran hepatosit (Machado et al., 2023; Liao et al., 2024). Efek tersebut ditunjukkan melalui penurunan biomarker oksidatif, seperti malondialdehyde (MDA) dan 4-hydroxynonenal (4-HNE), pada berbagai model cedera oksidatif hepar (Darma et al., 2025).

Secara biologis, penghambatan peroksidasi lipid merupakan salah satu mekanisme penting dalam proteksi hepar terhadap kerusakan oksidatif. Proses peroksidasi lipid menghasilkan senyawa reaktif seperti MDA dan 4-HNE yang dapat mengganggu integritas membran hepatosit dan memperberat kerusakan seluler. Oleh karena itu, penurunan kadar MDA setelah pemberian senyawa antioksidan dapat dipahami sebagai indikator berkurangnya degradasi lipid membran dan membaiknya homeostasis redoks seluler (Cordiano et al., 2023; Allameh et al., 2023).

Selain bekerja melalui mekanisme penangkapan radikal bebas secara langsung, senyawa fitokimia pada terong ungu juga berpotensi meningkatkan sistem pertahanan antioksidan endogen. Aktivasi jalur *nuclear factor erythroid 2-related factor 2/antioxidant response element* (Nrf2/ARE) diketahui berperan dalam meningkatkan ekspresi enzim antioksidan, seperti superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), glutathione peroxidase (GPx), dan

heme oxygenase-1 (HO-1), sehingga membantu mempertahankan homeostasis redoks seluler (Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska, 2021). Peningkatan aktivitas SOD, CAT, dan GPx menunjukkan membaiknya kapasitas pertahanan antioksidan hepatosit terhadap akumulasi ROS yang berlebihan (Jomova et al., 2024; Id et al., 2022).

Di antara berbagai senyawa bioaktif tersebut, nasunin merupakan salah satu antosianin utama pada kulit terong ungu yang diketahui memiliki aktivitas antioksidan kuat. Nasunin dilaporkan mampu menangkap radikal superoksida dan melindungi membran sel dari kerusakan akibat peroksidasi lipid (Florio et al., 2021). Kajian terbaru juga menegaskan bahwa nasunin merupakan komponen fitokimia penting pada *Solanum melongena* yang memiliki potensi kesehatan sebagai antioksidan alami dan komponen fungsional dalam pengembangan pangan berbasis fitokimia (Alighadri et al., 2024).

Selain jalur antioksidan, beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa polifenol dan flavonoid dapat menekan aktivasi jalur *nuclear factor-kappa B* (NF- κ B), yaitu faktor transkripsi yang berperan dalam regulasi respons inflamasi. Penghambatan jalur NF- κ B berpotensi mengurangi produksi mediator proinflamasi yang berkontribusi terhadap progresivitas cedera hepatoseluler akibat stres oksidatif kronis (Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska, 2021). Dengan demikian, efek protektif ekstrak terong ungu tidak hanya berkaitan dengan aktivitas antioksidan langsung, tetapi juga melibatkan modulasi jalur molekuler yang berperan dalam regulasi inflamasi dan pertahanan seluler.

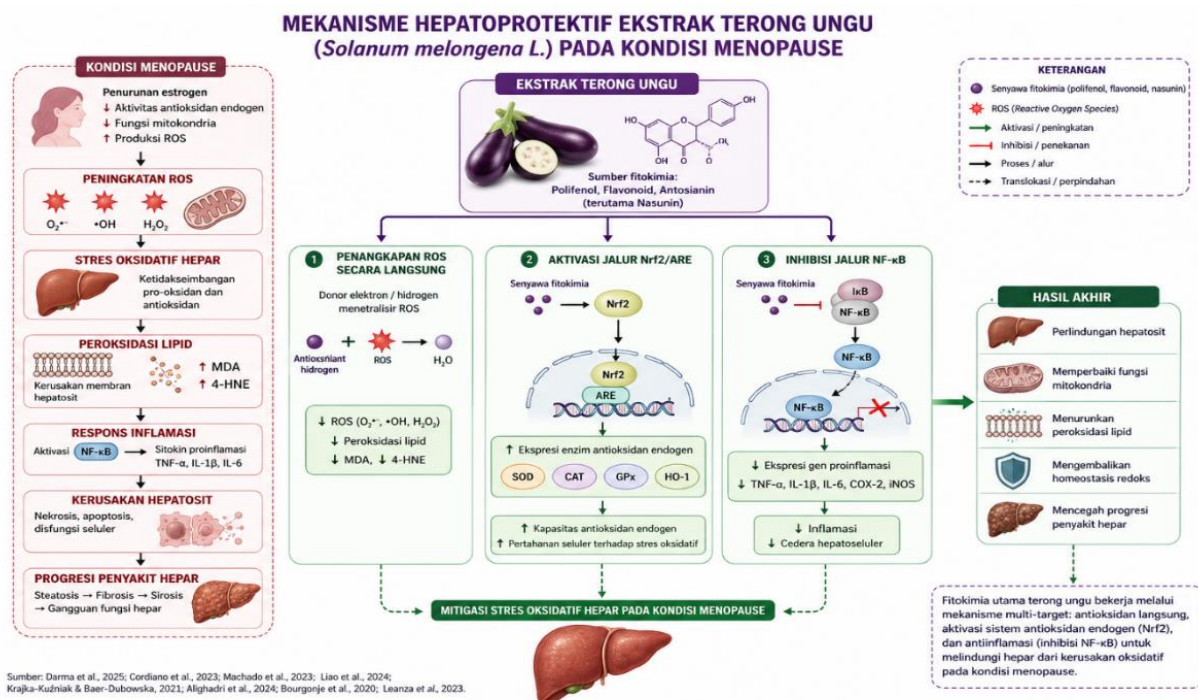


Dalam konteks menopause, peningkatan stres oksidatif akibat penurunan estrogen berkaitan dengan melemahnya kapasitas antioksidan endogen dan meningkatnya kerentanan jaringan terhadap kerusakan oksidatif. Perempuan pascamenopause dilaporkan memiliki kadar biomarker stres oksidatif yang lebih tinggi dibandingkan perempuan usia reproduktif, disertai penurunan sistem pertahanan antioksidan seluler (Bourgonje et al., 2020; Hameed et al., 2023; Leanza et al., 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa stres oksidatif pada menopause dapat berkontribusi terhadap progresivitas kerusakan hepar apabila tidak dikendalikan secara optimal.

Dengan demikian, berbagai bukti eksperimental dan mekanistik menunjukkan

bahwa ekstrak terong ungu memiliki potensi sebagai kandidat intervensi antioksidan berbasis fitokimia alami dalam mitigasi stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Namun, sebagian besar bukti yang tersedia masih berasal dari studi praklinis dan kajian mekanistik, sehingga penelitian lanjutan, khususnya uji klinis pada manusia, masih diperlukan untuk memastikan efektivitas, keamanan, dan relevansi klinis penggunaannya.

Untuk mempermudah pemahaman mengenai mekanisme hepatoprotektif ekstrak terong ungu terhadap stres oksidatif hepar pada kondisi menopause, hubungan antar jalur biologis dapat diringkas pada Gambar 1.



Sumber: Disusun berdasarkan Darma et al. (2025), Machado et al. (2023), Liao et al. (2024), dan Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska (2021).

Gambar 1 menunjukkan bahwa ekstrak terong ungu (*Solanum melongena* L.) berpotensi memberikan efek protektif melalui beberapa jalur biologis yang saling berkaitan.

Jalur antioksidan langsung berperan dalam menekan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) dan produk peroksidasi lipid, sedangkan aktivasi jalur *nuclear factor*



erythroid 2-related factor 2/antioxidant response element (Nrf2/ARE) mendukung peningkatan sistem pertahanan antioksidan endogen. Pada saat yang sama, penghambatan jalur *nuclear factor-kappa B* (NF-κB) berpotensi menekan respons inflamasi yang memperberat kerusakan jaringan hepar (Krajka-Kuźniak & Baer-Dubowska, 2021; Machado et al., 2023). Dengan demikian, ketiga jalur tersebut secara sinergis dapat berkontribusi terhadap perlindungan membran hepatosit, penurunan degenerasi seluler, dan pencegahan nekrosis jaringan hepar.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan peran polifenol, flavonoid, dan nasunin dalam menekan stres oksidatif, kajian yang secara spesifik menghubungkan ekstrak terong ungu dengan parameter biokimia, aktivitas enzim antioksidan endogen, dan perubahan histopatologis hepar masih relatif terbatas. Sebagian besar bukti yang tersedia masih berasal dari studi *in vitro*, model hewan coba, atau kajian mekanistik terhadap senyawa bioaktif secara umum (Darma et al., 2025; Alighadri et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian yang mengintegrasikan pengukuran MDA, 4-HNE, SOD, CAT, GPx, serta gambaran histopatologi hepar menjadi penting untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme hepatoprotektif ekstrak terong ungu. Pendekatan tersebut tidak hanya memperkuat dasar biologis penggunaan terong ungu sebagai kandidat antioksidan alami, tetapi juga membantu menjelaskan hubungan antara perubahan biokimia dan perbaikan struktur jaringan hepar.

Potensi Pengembangan dan Keterbatasan Penelitian

Berdasarkan berbagai bukti eksperimental dan mekanistik, ekstrak terong

ungu (*Solanum melongena* L.) menunjukkan potensi sebagai kandidat intervensi antioksidan berbasis fitokimia alami dalam mitigasi stres oksidatif hepar pada kondisi menopause. Kandungan polifenol, flavonoid, dan antosianin, khususnya nasunin, memberikan dasar biologis yang mendukung aktivitas hepatoprotektif melalui mekanisme antioksidan dan antiinflamasi.

Namun demikian, sebagian besar penelitian yang tersedia masih terbatas pada studi *in vitro*, model hewan coba, dan kajian mekanistik, sehingga relevansi klinisnya pada manusia masih memerlukan konfirmasi lebih lanjut. Selain itu, variasi kandungan fitokimia antar varietas terong, metode ekstraksi, serta belum adanya standarisasi dosis juga menjadi tantangan dalam pengembangan aplikasi klinisnya.

Oleh karena itu, penelitian lanjutan, khususnya uji klinis pada perempuan pascamenopause, diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas, keamanan, bioavailabilitas, dan dosis optimal ekstrak terong ungu sebagai kandidat intervensi komplementer dalam pencegahan stres oksidatif hepar.

KESIMPULAN

Ekstrak terong ungu (*Solanum melongena* L.) menunjukkan potensi sebagai kandidat hepatoprotektif berbasis fitokimia alami melalui kandungan polifenol, flavonoid, antosianin, dan nasunin yang berperan dalam mitigasi stres oksidatif. Mekanisme protektif tersebut melibatkan penangkapan *reactive oxygen species* (ROS), penghambatan peroksidasi lipid, penurunan biomarker oksidatif seperti malondialdehyde (MDA) dan 4-hydroxynonenal (4-HNE), serta peningkatan sistem pertahanan antioksidan endogen, termasuk superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), dan glutathione



peroxidase (GPx). Selain itu, modulasi jalur *nuclear factor erythroid 2-related factor 2/antioxidant response element* (Nrf2/ARE) dan *nuclear factor-kappa B* (NF-κB) menunjukkan bahwa efek protektif ekstrak terong ungu tidak hanya berlangsung pada tingkat biokimia, tetapi juga melibatkan regulasi jalur molekuler yang berkaitan dengan homeostasis redoks, inflamasi, dan viabilitas seluler.

Secara keseluruhan, sintesis berbagai penelitian terdahulu mendukung bahwa ekstrak terong ungu memiliki potensi dalam memitigasi cedera hepar akibat stres oksidatif pada kondisi menopause. Namun, bukti ilmiah yang tersedia masih didominasi oleh studi praklinis dan kajian mekanistik, sehingga penelitian lanjutan, khususnya uji klinis pada manusia, masih diperlukan untuk mengonfirmasi efektivitas, keamanan, bioavailabilitas, dosis optimal, dan relevansi klinis penggunaannya. Dengan demikian, ekstrak terong ungu berpotensi dikembangkan sebagai kandidat nutrasetika dan strategi komplementer berbasis bahan alam dalam mendukung pencegahan kerusakan oksidatif hepar pada perempuan pascamenopause.

DAFTAR PUSTAKA

- Allameh, A., Niayesh-mehr, R., Aliarab, A., Sebastiani, G., & Pantopoulos, K. (2023). Oxidative Stress in Liver Pathophysiology and Disease. 1–23.
- Andr, C., Manuel, P., & Plou, F. J. (2021). The Chemistry of Reactive Oxygen Species (ROS) Revisited : Outlining Their Role in Biological Macromolecules (DNA , Lipids and Proteins) and Induced Pathologies.
- Aslani, M. R., Saadat, S., & Boskabady, M. H. (2024). Comprehensive and updated review on anti-oxidant effects of *Nigella sativa* and its constituent , thymoquinone , in various disorders. (9).
- Bourgonje, A. R., Abdulle, A. E., Al-rawas, A. M., & Al-maqbali, M. (2020). Systemic Oxidative Stress Is Increased in Postmenopausal Women and Independently Associates with Homocysteine Levels.
- Chen, P., Yao, L., Yuan, M., Wang, Z., Zhang, Q., Jiang, Y., & Li, L. (2024). ScienceDirect Mitochondrial dysfunction : A promising therapeutic target for liver diseases. *Genes & Diseases*, 11(3), 101115. <https://doi.org/10.1016/j.gendis.2023.101115>
- Chen, S., Wang, X., Cheng, Y., Gao, H., & Chen, X. (2023). A Review of Classification , Biosynthesis , Biological Activities and Potential Applications of Flavonoids. 1–27
- Darma, G. C., Ginting, C. N., Yuliansyah, J., & Hasya, M. N. (2025). International Jurnal Islamic Education , and Multictluralism AFLATOXIN-B1-INDUCED RATS. 7(1).
- Dery, K. J., Chiu, R., Kasargod, A., & Kupiec-weglinski, J. W. (2025). Feedback Loops Shape Oxidative and Immune Interactions in Hepatic Ischemia – Reperfusion Injury.
- Djouadi, A. (2025). Antioxidant Activity of Different Phenolic- - R ich Fractions Obtained From Peels of Turkish Dark Purple Eggplant. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70521>
- Dudek, A., Spiegel, M., & Strugała-danak, P. (2022). Analytical and Theoretical Studies of Antioxidant Properties of Chosen Anthocyanins ; A Structure-Dependent Relationships.
- Florio, F. E., Gattolin, S., Toppino, L., Bassolino, L., Fibiani, M., Scalzo, R.



- Lo, & Rotino, G. L. (2021). A SmelAAT Acyltransferase Variant Causes a Major Difference in Eggplant (*Solanum melongena* L .) Peel Anthocyanin Composition.
- Garg, S. (2024). Synthetic Antioxidants. 4, 150–154.
- Genazzani, A. R., Monteleone, P., Giannini, A., & Simoncini, T. (2021). Hormone therapy in the postmenopausal years : considering benefits and risks in clinical practice. 27(6), 1115–1150. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmab026>
- Hameed, H., Qadir, A., Hussain, T., Inayat, A., Baloch, N. S., & Ijaz, A. (2023). Correlation between Estrogen Metabolites and Antioxidant Defense Systems in Premenopausal and Postmenopausal Women . A Clinical Study. 17(11), 274–279.
- Hassanpour, S. H., & Doroudi, A. (2023). Review of the antioxidant potential of flavonoids as a subgroup of polyphenols and partial substitute for synthetic antioxidants. 13(4), 354–376.
- Huang, X., Hui, C., Fei, P., Jing, Y., & Li, P. (2025). The Role of Estrogen in Mitochondrial Disease. Cellular and Molecular Neurobiology, 45(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10571-025-01592-8>
- Id, H. H., Id, H. D., Ayd, M., & Id, C. D. (2022). Determination of some Antioxidant Activities (Superoxide Dismutase , Catalase , Reduced Glutathione) and Oxidative Stress Level (Malondialdehyde Acid) in Cirrhotic Liver Patients. 8(November), 506–514. <https://doi.org/10.19127/mbsjohs.1108726>
- Jomova, K., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., Kuca, K., & Valko, M. (2024). Several lines of antioxidant defense against oxidative stress : antioxidant enzymes , nanomaterials with multiple enzyme - mimicking activities , and low - molecular - weight antioxidants. In Archives of Toxicology (Vol. 98, Number 5). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03696-4>
- Khaledi, M. (2023). Carvacrol Exerts Anti - Inflammatory , Anti - Oxidative Stress and Hepatoprotective Effects Against Diclofenac - Induced Liver Injury in Male Rats. <https://doi.org/10.4103/ijpvm.ijpvm>
- Krajka-ku, V. (2021). Modulation of Nrf2 and NF- κ B Signaling Pathways by Naturally Occurring Compounds in Relation to Cancer Prevention and Therapy . Are Combinations Better Than Single Compounds ?
- Leanza, G., Conte, C., Cannata, F., Isgr, C., Piccoli, A., Stollo, R., Quattrocchi, C. C., Papalia, R., Denaro, V., Maccarrone, M., Napoli, N., & Sardanelli, A. M. (2023). Oxidative Stress in Postmenopausal Women with or without Obesity. (Cvd).
- Lim, S., Hwang, J. Y., Moon, K. M., Jeong, H. H., Seo, J., Kim, H., & Lee, B. (2025). Hepatoprotective Effect of Meroterpenoid- Rich Fraction from the Ethanolic Extract of *Sargassum sarratifolium* on tert -Butyl Hydroperoxide-Induced Mice. 35.
- Machado, I. F., Miranda, R. G., Dorta, D. J., Rolo, A. P., & Palmeira, C. M. (2023). Targeting Oxidative Stress with Polyphenols to Fight Liver Diseases.



- Rathod, N. B., Elabed, N., Punia, S., Ozogul, F., & Kim, S. (2023). Recent Developments in Polyphenol Applications on Human Health: A Review with Current Knowledge. 1–30.
- Ryandi, A., Yuliawati, K. M., & Kodir, R. A. (2022). Penelusuran Pustaka Potensi Aktivitas Antioksidan Buah Terong (*Solanum melongena* L .). 162–169.
- Šilarov, P., Boulekbache-makhlouf, L., & Pellati, F. (2019). Monitoring of Chlorogenic Acid and Antioxidant Capacity of *Solanum melongena* L . (Eggplant) under Di ff erent Heat and Storage Treatments. 1–11.
- Tina AlighadriMahnaz TabibiazarMaryam MohammadiAli Jahanban-Esfahlan*Ryszard Amarowicz*. (2023). Nasunin, an Amazing Chemical Constituent in Eggplants (*Solanum melongena* L.): A Review of Its Major Properties and Health-Promoting Effects. *ACS Food Science & Technology*, 4(1), 16–35. <https://doi.org/doi/10.1021/acsfoodscitech.3c00582>
- Yang, J. L., Hodara, E., Sriprasert, I., Shoupe, D., & Stanczyk, F. Z. (2025). Estrogen deficiency in the menopause and the role of hormone therapy: integrating the findings of basic science research with clinical trials. 31(10), 926–939. <https://doi.org/10.1097/GME.00000000000002407>.Estrogen
- Zhao, C., Shi, J., Shang, D., & Guo, M. (2023). Protective effect of phytoestrogens on nonalcoholic fatty liver disease in postmenopausal women. (August), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1237845>