



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Kajian Pustaka : Antioksidan Alami dari *Ulva* spp. dan Implikasinya terhadap Perlindungan Seluler

*Literature Review: Natural Antioxidants from *Ulva* spp. and Their Implications for Cellular Protection*

Setyaning Pawestri¹, Elmia Kharisma Arsyi^{2*}

¹Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, 83115, email : setyaning_pawestri@unram.ac.id

²Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, 83115, email: elmiaarsyi1998@gmail.com

*Corresponding Author: Elmia Kharisma Arsyi, E-mail: elmiaarsyi1998@gmail.com

Artikel Review

Article History:

Received: 27 Jun, 2025

Revised: 05 Sept, 2025

Accepted: 15 Sept, 2025

Kata Kunci:

Ulva, spp;

Antioksidan;

Radikal Bebas;

Stres Oksidatif

Keywords:

Ulva spp;

Antioxidants;

Free radicals;

Oxidative stress

DOI: 10.56338/jks.v8i9.7920

ABSTRAK

Radikal bebas adalah zat berbahaya yang dapat merusak sel dan memicu berbagai penyakit. *Ulva* spp., jenis alga hijau yang banyak ditemukan di laut, mengandung senyawa alami seperti polifenol, flavonoid, karotenoid, vitamin, dan polisakarida ulvan yang berfungsi sebagai antioksidan. Senyawa-senyawa ini bekerja dengan cara menetralkan radikal bebas, mengikat logam pemicu stres oksidatif, serta membantu meningkatkan sistem pertahanan tubuh. Mekanisme perlindungan zat antioksidan terhadap stres oksidatif, mencakup aktivitas scavenging, kelasi logam, aktivasi jalur transduksi sinyal antioksidan (Nrf2-ARE, NF-κB), dan peningkatan ekspresi enzim pelindung seluler. Kajian literatur ini menyajikan informasi mengenai *Ulva* spp., kandungan senyawa antioksidan yang dimilikinya, serta mekanisme kerjanya dalam mendukung perlindungan seluler.

ABSTRACT

Free radicals are harmful substances that can damage cells and trigger various diseases. *Ulva* spp., a type of green algae commonly found in the ocean, contains natural compounds such as polyphenols, flavonoids, carotenoids, vitamins, and the polysaccharide ulvan, which act as antioxidants. These compounds work by neutralizing free radicals, binding metals that trigger oxidative stress, and helping to enhance the body's defense system. The protective mechanisms of antioxidant compounds against oxidative stress include scavenging activity, metal chelation, activation of antioxidant signal transduction pathways (Nrf2-ARE, NF-κB), and increased expression of cellular protective enzymes. This review provides information about *Ulva* spp., the antioxidant compounds it contains, and the mechanisms through which they support cellular protection.

PENDAHULUAN

Stres oksidatif sangat berpengaruh dalam patogenesis penyakit kronis seperti penyakit kardiovaskular, diabetes, penyakit neurodegeneratif, dan kanker. Paparan jangka panjang terhadap peningkatan kadar faktor pro-oksidan dapat menyebabkan kerusakan struktural pada tingkat DNA mitokondria, serta memicu perubahan fungsional beberapa enzim dan struktur seluler yang menyebabkan penyimpangan dalam ekspresi gen (Sharifi-Rad et al., 2020). Secara umum, stres oksidatif didefinisikan sebagai kondisi yang disebabkan oleh ketidakseimbangan antara produksi dan akumulasi spesies reaktif oksigen (ROS) di dalam sel dan jaringan, dengan kemampuan sistem biologis untuk mendetoksifikasi spesies reaktif tersebut. Ketika jumlah radikal bebas melebihi kapasitas kemampuan tubuh untuk menetralkannya dengan antioksidan, maka dapat memicu kerusakan oksidatif yang berdampak buruk bagi sel dan jaringan tubuh (Pizzino et al., 2017).

ROS, meskipun secara fisiologis memiliki peran penting dalam fungsi seluler seperti pensinyalan dan pertahanan imun, juga dapat menjadi agen perusak ketika produksinya meningkat secara berlebihan. ROS umumnya terbentuk sebagai produk sampingan dari metabolisme oksigen, tetapi faktor lingkungan seperti radiasi ultraviolet, polusi udara, logam berat, serta senyawa xenobiotik (misalnya obat-obatan sitotoksik) dapat memicu peningkatan produksinya secara signifikan, sehingga menciptakan kondisi stres oksidatif (Pizzino et al., 2017). Dalam kondisi normal, tubuh memiliki sistem antioksidan alami yang berfungsi menetralkan radikal bebas. Namun, ketika sistem ini tidak mampu mengimbangi kelebihan ROS, radikal bebas dapat memicu serangkaian reaksi berantai yang merugikan, seperti kerusakan membran sel, penghambatan aktivitas enzim esensial, gangguan pada proses seluler vital, penghambatan pembelahan sel yang normal, kerusakan DNA, serta gangguan dalam proses produksi energi (Birben et al., 2012) (Kurutas, 2015).

Fenomena ini mendorong peningkatan perhatian terhadap peran antioksidan dalam mencegah kerusakan oksidatif. Dalam beberapa tahun terakhir, meningkatnya kebutuhan akan antioksidan alami, khususnya dalam bidang biomedis, telah memicu minat yang luas terhadap eksplorasi senyawa bioaktif dengan aktivitas antioksidan tinggi (Mezghani et al., 2023). Alga kaya akan senyawa bioaktif lainnya, termasuk polisakarida, antioksidan, mineral, dan nutrisi penting seperti asam lemak, asam amino, dan vitamin, yang semuanya berpotensi digunakan sebagai bahan fungsional dalam berbagai aplikasi (Kumar et al., 2021). Aktivitas antioksidan pada alga tergolong tinggi dikarenakan kandungan komponen antioksidan nonenzimatis seperti senyawa polifenol (florotanin, bromofenol, flavonoid, terpenoid fenolik), asam aksorbat serta glutathione tereduksi (Farasat et al., 2014; Leandro et al., 2020).

Makroalga laut hijau dibudidayakan dan digunakan sebagai bahan makanan dan produk konsumsi di wilayah tropis (Sanger et al., 2023). Genus *Ulva* adalah alga hijau telah menjadi bagian kuliner dari negara Asia Tenggara dan juga dikenal dengan nama sinonimnya sebagai *Enteromorpha* (Farasat et al., 2014). *Ulva* spp. menjadi salah satu genus alga hijau yang banyak diteliti dikarenakan kandungan bioaktifnya. *Ulva* mengandung berbagai komponen antioksidan yang berasal dari komponen fenolik, flavonoid, ekstrak sulfat dari polisakarida (ulvan), vitamin C, vitamin E, hingga karotenoid (Li et al., 2023; Xu et al., 2023). Komponen organik terutama fenol dan flavonoid telah terbukti memiliki aktivitas antioksidan dan dapat menurunkan stres oksidatif dan peradangan (Anjali et al., 2019).

METODE

Penyusunan naskah ini dilakukan dengan pendekatan review kajian pustaka. Langkah awal melibatkan penelusuran literatur ilmiah yang relevan melalui berbagai basis data, seperti PubMed, Wiley, ScienceDirect, Google Scholar, dan ResearchGate, dengan rentang publikasi antara tahun 2000 hingga 2025. Proses pencarian menggunakan sejumlah kata kunci utama, antara lain rumput laut, alga hijau, antioksidan, radikal bebas, stres oksidatif, dan mekanisme antioksidan. Selanjutnya, dilakukan evaluasi mendalam terhadap abstrak dan isi artikel. Artikel yang hanya memuat kata kunci, tetapi tidak relevan dengan topik utama akan dieliminasi dari proses analisis. Pada tahap akhir, seluruh artikel yang sesuai dianalisis dan disintesis, lalu hasilnya digabungkan ke dalam pembahasan guna memberikan

informasi mengenai kandungan senyawa antioksidan pada *Ulva* spp. dan mekanisme kerjanya untuk menghambat stres oksidatif atau perlindungan seluler.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Alga (Rumput Laut)

Alga (rumput laut) mencakup bermacam makroalga, memainkan peran penting dalam ekosistem laut, bertindak sebagai landasan penyediaan makanan, memfasilitasi reproduksi, dan menciptakan habitat bagi berbagai organisme laut (Soufi et al., 2024). Alga telah digunakan sejak zaman dahulu sebagai makanan, terutama di negara-negara Asia, sedangkan di negara-negara Barat, aplikasi utamanya adalah sebagai bahan pembentuk gel dan koloid untuk industri makanan, farmasi, dan kosmetik (Peñalver et al., 2020). Alga merupakan sumber daya hayati dengan lebih dari 10.000 spesies di seluruh dunia, hingga saat ini telah ditemukan 168.971 spesies alga ([http:// www. algae base. org](http://www.algaebase.org)) (Xu et al., 2023). Secara taksonomi alga diklasifikasikan menjadi tiga kelompok: merah (Rhodophyta), coklat (Ochrophyta), dan hijau (Chlorophyta). Alga hijau, yang disebut Chlorophyta, memiliki klorofil a dan b sebagai pigmen utamanya (Baghel et al., 2023).

Produksi alga global (hasil budidaya dan panen dari alam) meningkat lebih dari 60 kali lipat dari 0,56 juta ton (basah) pada tahun 1950 menjadi 35,82 juta ton pada tahun 2019; sebagian besar dari jumlah tersebut dihasilkan dari budidaya. Pada tahun 2019, produksi alga dunia (termasuk alga dan mikroalga) sebesar 35,8 juta ton disumbangkan oleh 54 negara/wilayah dengan 97% produksi berasal dari budidaya. Meskipun sebagian besar alga coklat dan alga merah hidup di perairan laut, mayoritas alga hijau dapat ditemukan di lingkungan air tawar (FAO, 2021).

Manfaat alga bagi kesehatan manusia dapat diperoleh baik secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung, alga dapat dikonsumsi dalam bentuk utuh atau diolah menjadi suplemen makanan dan obat alami. Sementara itu, manfaat tidak langsungnya terlihat dalam sektor pertanian, di mana alga digunakan sebagai pupuk alami untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman secara sehat tanpa kandungan bahan kimia yang biasanya terdapat dalam pupuk konvensional (Lomartire et al., 2021).

Alga merupakan salah satu makanan fungsional dan tanaman obat yang paling hebat karena polisakarida, protein, lipid, dan polifenol yang disintesis secara biologis. Polifenol, polisakarida, dan sterol, serta molekul bioaktif lainnya, merupakan zat-zat utama yang bertanggung jawab atas khasiat alga yang menyehatkan (Peñalver et al., 2020). Secara nutrisi, alga mengandung mineral seperti kalsium, zat besi, kalium, yodium, dan selenium serta vitamin (khususnya A, C, dan B-12). Alga juga merupakan satu-satunya sumber asam lemak rantai panjang omega-3 alami selain dari ikan. Alga juga memiliki kandungan serat makanan larut yang tinggi, dan beberapa di antaranya dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein (Diaz et al., 2023; Tang et al., 2016; Xu et al., 2023).

Alga dianggap sebagai sumber senyawa bioaktif (misalnya, antioksidan, antiperadangan, antitumor). Alga umumnya terpapar pada kondisi lingkungan yang keras dan terpapar stressor, sehingga alga memproduksi berbagai macam metabolit (xantofil, tokoferol, dan polisakarida) untuk melindungi diri dari faktor abiotik dan biotik, seperti herbivori dan agresinya mekanik laut (Farghali et al., 2023; Leandro et al., 2020). Kandungan dan keanekaragaman metabolit alga bergantung pada faktor abiotik dan biotik, seperti spesies, tahap kehidupan, ukuran, usia, status reproduksi, lokasi, kedalaman, pengayaan nutrisi, salinitas, paparan intensitas cahaya, radiasi ultraviolet, intensitas herbivori, dan waktu panen (Dominguez et al., 2013; Leandro et al., 2020; Peñalver et al., 2020). Hal ini dapat menyebabkan spesies yang sama dapat memiliki profil kimia yang berbeda di berbagai wilayah geografis (Kumar et al., 2021).

***Ulva* spp.**

Alga hijau, sebagai spesies alga makro yang paling melimpah, merupakan sumber daya hayati laut yang penting bagi manusia dan alam. Alga hijau merupakan sumber yang kaya akan beberapa asam amino, asam lemak, dan serat makanan, serta polisakarida, polifenol, pigmen, dan zat aktif lainnya, yang memiliki peran penting dalam berbagai proses biologis seperti aktivitas antioksidan, imunoregulasi, dan respons antiinflamasi (Xu et al., 2023). Struktur tubuh *Ulva* merupakan talus yang terdiri dari *holdfast*, *stipe*, dan *blade* yang secara fungsional berperan menyerupai akar, batang, dan daun pada tanaman tingkat tinggi seperti lamun (Pari et al., 2025). Alga hijau terutama ditemukan di zona pasang surut (FAO, 2021).

Klasifikasi *Ulva* spp. (Guiry, 2006)

Empire	:	Eukaryota
Kingdom	:	Plantae
Subkingdom	:	Viridiplantae
Infrakingdom	:	Chlorophyta infrakingdom
Phylum	:	Ulvophyceae
Class	:	Ulvophyceae
Order	:	Ulvaes
Family	:	Ulvaceae
Genus	:	Ulva

Beberapa species yang digolongkan sebagai alga hijau diantaranya adalah *Ulva*, *Enteromorpha*, *Chaetomorpha*, *Caulerpa*, *Codium*, dan *Monostroma* (Abirami & Kowsalya, 2011; Baghel et al., 2023; Xu et al., 2023). Genus *Ulva* termasuk yang paling banyak dieksplorasi dan diteliti. *Ulva* spp. seperti *Ulva lactuca*, *Ulva rigida*, *Ulva intestinalis*, dan *Ulva fasciata*, dikenal karena kandungan protein, lipid, mineral, dan vitaminnya yang tinggi, menjadikannya sumber nutrisi esensial bagi kesehatan manusia (Soufi et al., 2024). Minat terhadap *Ulva* sebagai makanan baru semakin meningkat di negara-negara barat. Meskipun komposisi kimia *Ulva* dari beberapa wilayah di dunia telah didokumentasikan, penelitian banyak yang difokuskan pada *Ulva lactuca* dan *Ulva pertusa*, spesies lain yang juga cukup banyak diteliti seperti *Ulva rigida*, *Ulva fasciata*, *Enteromorpha* sp., *Enteromorpha intestinalis*, *Enteromorpha compressa*, dan *Enteromorpha flexuosa* (Peña-Rodríguez et al., 2011). Gambar 1 menyajikan foto beberapa spesies yang masuk dalam genus *Ulva*.

Ketersediaan *Ulva* spp. dapat diperoleh melalui dua metode utama, yakni panen alami dan budidaya. Panen alami dilakukan dengan mengumpulkan *Ulva* spp. yang tumbuh liar di wilayah pesisir, seperti sepanjang garis pantai, bebatuan, atau area hamparan alga (Putra et al., 2024). Secara tradisional, budidaya alga dilakukan sebagai aktivitas rumah tangga yang berorientasi pada pertanian. Namun, pada tahun 1947, pabrik pemanenan alga komersial pertama didirikan di wilayah barat Irlandia untuk menyediakan alga dalam jumlah besar bagi keperluan pakan ternak dan konsumsi pangan (Nakhate & van der Meer, 2021). Faktor lingkungan abiotik berperan krusial dalam pertumbuhan dan fisiologi *Ulva* spp., memengaruhi dinamika ekologi serta produktivitasnya di habitat laut. Aspek lingkungan seperti pH, suhu, kedalaman air, salinitas, dan ketersediaan nutrisi berkontribusi signifikan dalam menentukan keberhasilan populasi *Ulva*. Memahami bagaimana faktor-faktor ini berinteraksi dan memengaruhi respons *Ulva* spp. menjadi kunci dalam pengelolaan serta konservasi ekosistem pesisir secara efektif (Soufi et al., 2024).

(1) *Ulva rigida* C. Agardh 1823(2) *Ulva caespitosa* Withering 1776(3) *Ulva adspersa* Mertens ex Roth 1806(4) *Ulva intestinalis* Linnaeus 1753Gambar 1. Spesies-species *Ulva* spp.

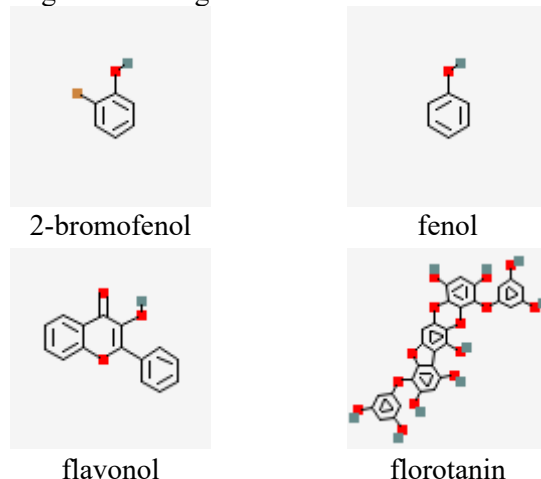
Sumber: (1) Guiry (2025a), (2) Guiry (2017), (3) Guiry (2011), (4) Guiry (2025b)

Ulva (sebelumnya dikenal sebagai *Enteromorpha*) menyimpan polisakarida cadangan dalam bentuk pati dengan kadar antara 1–4%. Selain itu, *Ulva* mengandung selulosa, baik yang larut maupun tidak larut dalam air, dengan proporsi 38–52%, yang berfungsi sebagai polisakarida struktural. Komponen utama dari polisakarida ini adalah *Ulvan*, yaitu heteropolisakarida tersulfat yang memperkuat dinding sel serta memberikan fleksibilitas, membantu *Ulva* bertahan dari pengeringan selama pasang surut. *Ulvan* sendiri dapat mencapai hingga 30% dari berat kering *Ulva* dan tersusun terutama dari asam sulfonat, l-rhamnosa tersulfat, xilosa, dan glukosa. Selain berperan dalam struktur sel, polisakarida ini dan oligosakaridanya diketahui memiliki berbagai manfaat biologis, termasuk sifat anti-virus, anti-tumor, anti-koagulan, anti-lipid, serta efek hepatoprotektif, imunostimulasi, anti-depresi, dan anti-ansiolitik (Dominguez & Loret, 2019; Pari et al., 2025; Sari-Chmayssem et al., 2019). Secara struktural, *Ulvan* memiliki tingkat kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan polisakarida alga lainnya. Hal ini disebabkan oleh keragaman komposisi monosakarida, variasi dalam ikatan glikosidik, serta beragam modifikasi gugus yang membentuk strukturnya (Li et al., 2023).

Komposisi kimia alga bergantung pada spesies, tempat budidaya, kondisi atmosfer, dan periode pemanenan (Peñalver et al., 2020). *Ulva intestinalis* memiliki kandungan protein antara 10,4 - 26%, karbohidrat antara 51,79 - 55,43%, kadar lipid yang bervariasi, serta kandungan abu sebesar 18,81 - 19,95% dari berat keringnya. Sementara itu, *Ulva fasciata* menunjukkan kandungan protein antara 13,13 - 27,09%, karbohidrat antara 30,82 - 65,19%, lipid antara 0,34 - 12,12%, dan abu antara 2,18 - 34,15%. *Ulva lactuca* mengandung protein antara 8,46 - 23,2%, karbohidrat antara 17,2 - 58,4%, lipid antara 0,19 - 4,05%, dan abu antara 11,2 - 30,9%. Selain itu, *Ulva rigida* memiliki kandungan protein antara 6,64 - 17,8%, karbohidrat antara 22 - 54,5%, lipid antara 0,09 - 12%, dan abu antara 24 - 30,1% (Soufi et al., 2024).

Antioksidan pada *Ulva* spp.

Alga hijau jenis *Ulva* spp. menjadi salah satu alga yang dieksplor kandungan antioksidannya. Keterkaitan *Ulva* spp. dengan antioksidan ada pada kekayaan komponen bioaktifnya yang mampu melindungi sel-sel dari kerusakan oksidatif yang disebabkan agen radikal bebas seperti *reactive oxygen species* (ROS). Makroalga ini memproduksi berbagai komponen antioksidan yang berasal dari komponen fenolik, flavonoid, ekstrak sulfat dari polisakarida (ulvan), vitamin C, vitamin E, hingga karotenoid (Li et al., 2023; Xu et al., 2023). Kandungan antioksidan utama pada alga adalah polifenol. Polifenol merupakan kelompok senyawa heterogen yang selanjutnya dikategorikan menjadi asam fenolik, flavonoid, stilbena, lignan, dan senyawa fenolik lainnya berdasarkan struktur kimianya. Proporsi terbesar senyawa fenolik yang ditemukan dalam rumput laut hijau adalah bromofenol, asam fenolik, dan flavonoid (Xu et al., 2023). Komponen bioaktif yang bersifat antioksidan membuat *Ulva* spp. mampu bertahan dari sinar UV, polusi, dan ketidakstabilan salinitas di habitat hidupnya, dimana faktor-faktor lingkungan ini dapat meningkatkan stress oksidatif pada *Ulva* spp. Oleh sebab itu, *Ulva* spp. memiliki potensi yang sangat baik sebagai sumber antioksidan alami.



Gbr 2. Struktur Senyawa Polifenol

Sumber : PubChem (2025)

Beragamnya senyawa bioaktif antioksidan yang dikandung *Ulva* spp. berkontribusi pada berbagai mekanisme kerja masing-masing senyawa dalam menjalankan fungsinya sebagai antioksidan. Aktivitas antioksidan dari *Ulva* sp. sangat erat kaitannya dengan kandungan fenolik dan flavonoid, dua komponen yang dikenal memiliki kemampuan yang baik dalam menangkali radikal bebas. Mekanisme *scavenging* menjadi jalur utama dari kerja senyawa ini, dimana komponen antioksidan akan mendonasikan atom elektron ataupun hidrogennya kepada radikal bebas, sehingga mengubahnya menjadi komponen *less-radical* ataupun *less-reactive*, sehingga mencegah terjadinya proses peroksidasi lemak dan kerusakan sel (Djoh et al. 2024; Esim et al. 2024; Sundari e Wijaya 2021). Selain mendonasikan elektron atau hidrogen, polifenol pada *Ulva* spp. dapat meningkatkan ekspresi enzim antioksidan endogenik seperti SOD, katalase, dan glutathione. Ekstrak *Ulva* sp. menunjukkan kemampuan dalam mengaktivasi jalur Nrf2-ARE, yang merupakan regulator utama respon antioksidan intraseluler. Aktivasi jalur ini menyebabkan peningkatan ekspresi enzim detoksifikasi fase II seperti NAD(P)H:quinone oxidoreductase 1 (NQO1), yang meningkatkan level glutathione dalam sel dan meningkatkan kapasitas antioksidan (Ratnayake et al., 2013; Wang et al., 2013).

Karotenoid seperti astaxanthin, β -karoten, fucoxanthin, dan lutein juga ditemukan dalam *Ulva* sp. dan memberikan efek antioksidan dengan menghilangkan *singlet oxygen* (oksigen yang sangat reaktif) dan radikal peroksida. Mekanisme ini melindungi membran sel dari kerusakan oksidatif. Selain itu, karotenoid juga menstabilkan radikal bebas dan berpotensi bersinergi dengan komponen

antioksidan lain seperti tokoferol dan fenolik. Asam fenolik turut berperan dalam meningkatkan pemanfaatan karotenoid di dalam sel beserta ekspresi transporter membran sel, sehingga meningkatkan bioavailabilitas dan efektivitas dalam menangkal radikal bebas dengan cara *scavenging* (Pan et al., 2021).

Komponen penting lainnya adalah Vitamin C dan E, khususnya α -tokoferol, bertindak sebagai antioksidan yang larut dalam lemak. α -tokoferol mengintervensi reaksi peroksidasi lemak dengan mendonasikan atom hidrogen ke susunan peroksil lemak, sementara vitamin C membantu meregenerasi vitamin E yang teroksidasi, memperpanjang perlindungan antioksidan (Farasat et al., 2014). *Ulva* spp. juga mengandung Ulvan yang merupakan ekstrak polisakarida yang berkontribusi tidak hanya dengan *scavenging* radikal bebas agar menjadi komponen *less-reactive*, tetapi juga dengan mengkelasi ion logam yang mengkatalisis pembentukan radikal bebas atau disebut reaksi Fenton. Selain itu, ulvan bekerja mempengaruhi ekspresi enzim yang berkaitan dengan sistem pertahanan antioksidan. Ulvan mampu meningkatkan aktivitas antioksidan dengan mengaktifkan enzim transkripsi, seperti *nf-kB*, AP-1, AP-2, Sp1 dan C/EBP, yang berperan dalam mengekspresikan enzim antioksidan (Forman, Davies, e Ursini 2014; Miao e St. Clair 2009). Penelitian oleh Berri et al. (2017) menyatakan ulvan dari *U. armoricana* menstimulasi reseptor TLR4 secara *in vitro*, yang selanjutnya mengaktifkan NF- κ B dan memicu peningkatan TNF- α yang merupakan sitokin yang dapat memodulasi ekspresi *superoxide dismutase* (SOD) (Miao & St. Clair, 2009).

Mekanisme Kerja Senyawa Antioksidan pada *Ulva* spp.

Radikal bebas merupakan komponen (atom, molekul, atau ion) yang tidak stabil karena memiliki satu atau lebih elektron yang tidak berpasangan. Mengingat kecenderungan elektron untuk berpasangan pada tingkat valensi, radikal bebas akan mencari pasangan elektron dari molekul lain guna mencapai kestabilan. Oleh sebab itu, Hal ini menjadikan radikal bebas memiliki sifat yang sangat reaktif. Radikal bebas memiliki bentuk yang beragam. Bentuk umum radikal bebas diantaranya *Reactive Oxygen Species* (ROS) seperti *superoxide anion* ($O_2^{\bullet-}$), *hydroxyl radical* ($OH^{\bullet}$), *alkoyl radical* ($RO^{\bullet}$), dan *peroxyl radical* ($ROO^{\bullet}$), *reactive nitrogen species* (RNS) seperti *nitric oxide* ($NO^{\bullet}$) dan *nitrogen dioxide* ($NO_2^{\bullet}$) (Phaniendra et al., 2015).

Secara umum, antioksidan berfungsi melindungi sistem biologis organisme dari kerusakan akibat stress oksidatif, yaitu kondisi di mana jumlah agen radikal bebas melebihi kapasitas agen antioksidan (Salas-Coronado et al., 2019). Mekanisme kerja utama antioksidan untuk menetralkan radikal adalah dengan mendonasikan elektron atau atom hidrogen, sehingga dapat memutus rantai reaksi yang dapat merusak DNA, protein, dan lemak (Lü et al., 2010; Salas-Coronado et al., 2019). Mekanisme utama ini mencakup *hydrogen atom transfer* (HAT) dan *single electron transfer* (SET), dan juga kelasi (*chelation*), yang berperan mengikat ion logam seperti besi. Tanpa proses kelasi, ion-ion ini akan mempercepat proses pembentukan radikal bebas (Salas-Coronado et al., 2019).

Beberapa agen antioksidan yang dikenal luas antara lain vitamin C, vitamin E, dan senyawa fenolik. Mereka bekerja dengan mendonasikan elektron atau atom hidrogen ke radikal bebas untuk mencegah reaksi lanjutan yang merusak. Selain itu, antioksidan enzimatik, seperti *superoxide dismutase* (SOD), katalase, glutathione peroxidase memiliki peran penting dalam katalisis pemecahan *reactive oxygen species* (ROS) agar menjadi bentuk yang lebih stabil dan tidak menyebabkan stress oksidatif di dalam sel (Elsayed Azab et al., 2019; Lü et al., 2010). Selain menyeimbangkan secara langsung, antioksidan juga menunjukkan kemampuan modulasi ekspresi gen-gen penghasil agen oksidan seperti ROS, sehingga dikatakan juga memiliki kemampuan secara tidak langsung dalam mengurangi stres oksidatif (Hunyadi, 2019). Setiap jenis antioksidan memiliki mekanisme dan target yang spesifik, serta berfungsi melindungi berbagai jenis sel. Sinergi antar mekanisme ini dijabarkan dalam Tabel 1, sedangkan komponen bioaktif antioksidan *Ulva* spp. beserta mekanisme kerjanya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Tipe-tipe Antioksidan, Mekanisme Kerja, dan Contoh Senyawa

Tipe Antioksidan	Mekanisme Kerja	Contoh Senyawa Antioksidan	Keterangan
Primer (memutus rantai reaksi)	Scavenging secara langsung dengan mendonasikan atom elektron ataupun hidrogen, sehingga menghentikan rantai reaksi oksidasi.	Fenolik (contoh: BHT), Vitamin E (α -tocopherol), amina aromatik sekunder	Menghindari propagasi/perbanyakan radikal bebas, terutama di membran lemak (Françoise et al., 2014; Laitonjam, 2012)
Sekunder (Pencegahan)	Merubah peroxida (ROOH) menjadi komponen non-radikal, kemudian kelasi ion pada logam untuk mencegah pembentukan radikal bebas, ataupun bekerja menghambat enzim yang dapat menyebabkan oksidasi.	Golongan Fosfat, <i>Thiosynergists</i> , Selenium, Katalase, Glutathione peroxidase	Sering digunakan bersamaan dengan antioksidan primer untuk memberikan efek sinergis. Antioksidan yang bekerja secara langsung (Françoise et al., 2014; Laitonjam, 2012)
<i>Radical Scavengers</i>	Menetralisir berbagai radikal bebas (Contoh: ROO ⁻ , R ⁻ , OH ⁻) dengan cara donasi elektron ataupun memecah molekul radikal bebas.	Vitamin C, Glutathione, Polifenol	Vitamin C juga dapat berperan sebagai agen oksidasi jika terdapat atom logam transisi (Françoise et al., 2014; Laitonjam, 2012)
<i>Metal Chelators</i>	Mengikat logam transisi (besi, tembaga) untuk mencegah proses katalisasi pembentukan radikal bebas, yang disebut dengan reaksi Fenton.	Flavonoid, Fitat, beberapa protein	Mengurangi pembentukan radikal hidroksil dari reaksi Fenton yang sangat radikal (Françoise et al., 2014)
Antioksidan berbasis enzim	Katalisasi pemecahan reactive oxygen species (ROS) menjadi komponen yang lebih aman dan tidak mudah bereaksi (stabil)	Superoxide dismutase (SOD), Katalase, Glutathione peroxidase	Berperan penting sebagai antioksidan endogen (yang dihasilkan tubuh); sangat efektif dalam melindungi sel-sel dari kerusakan oksidatif (Françoise et al., 2014)
Antioksidan multifungsi	Terdiri dari antioksidan primer dan sekunder, bekerja dengan beberapa mekanisme.	Hidroksilamina, beberapa antioksidan sintesis	Memiliki kemampuan melindungi yang lebih luas dengan mekanisme scavenging dan dekomposisi susunan peroksida (Laitonjam, 2012)

Tabel 2. Komponen-komponen bioaktif antioksidan pada *Ulva* sp. dan Mekanisme Kerjanya

Komponen antioksidan	Mekanisme dan karakteristik komponen	Jenis <i>Ulva</i>
Sulfated Polysaccharides (Ulvan)	<i>Scavenging</i> radikal bebas (hydroxyl, superoxide) dengan donasi elektron; kelasi ion logam untuk menghambat pembentukan radikal bebas (reaksi Fenton); mengaktifkan enzim transkripsi (Nrf2, NF-kB, AP-1, AP-2, Sp1, C/EBP) untuk ekspresi enzim antioksidan. Kandungan sulfat yang tinggi dan berat molekul ulvan yang rendah meningkatkan kemampuan <i>scavenging</i> (Ouahabi et al., 2024; Pradhan et al., 2023; Sundari & Wijaya, 2021)	<i>Ulva lactuca</i> (Hussein et al., 2015; Prasedya et al., 2019; Sathivel et al., 2014; Yang et al., 2021), <i>Ulva pertusa</i> (Li et al., 2018; Qi et al., 2005; Qi & Sun, 2015), <i>Ulva fasciata</i> (Barakat et al., 2022; Rizk, Aly, et al., 2016; Rizk, El-sheerbiny, et al., 2016), <i>Ulva linza</i> (Zhang et al., 2011), <i>Ulva armoricana</i> (Berri et al., 2017; Wei et al., 2014), <i>Ulva stenophylloides</i> (Contreras-Porcia et al., 2024)
Polifenol	Menetralkan ROS dengan mendonasikan atom hidrogen ataupun elektron; meningkatkan ekspresi antioksidan endogenik (SOD, katalase, glutathione); Mengurangi peroksidasi lemak dengan cara menurunkan level malonaldehyde (Michalak et al., 2022; Pradhan et al., 2023; Sundari & Wijaya, 2021)	<i>Ulva lactuca</i> (Ouahabi et al., 2024; Prasedya et al., 2019), <i>Ulva rigida</i> (Mezghani et al., 2013; Perron & Brumaghim, 2009)
Vitamin C (Asam Askorbat)	<i>Scavenging</i> radikal secara langsung; regenerasi vitamin E yang teroksidasi; bekerja secara sinergisme dengan antioksidan yang lain (Khan et al., 2024; Sundari & Wijaya, 2021)	<i>Ulva rigida</i> (Yildiz et al., 2012), <i>Ulva flexuosa</i> (McDermid & Stuercke, 2003), <i>Ulva lactuca</i> (Yunita et al., 2018)
Vitamin E (α-Tocopherol)	Memutus rantai peroksidasi lemak dengan mendonasikan atom hidrogen ke radikal peroksida; Vitamin E sebanyak 308.54 mg/100g <i>Ulva</i> mampu melindungi membrane sel dari kerusakan oksidatif (Michalak et al., 2022; Sundari & Wijaya, 2021)	<i>Ulva Lactuca</i> (Hassan et al., 2011; Sathivel et al., 2008), <i>Ulva rigida</i> (Yildiz et al., 2012)
Karotenoid	Menetralkan oksigen singlet dan radikal peroksil; mencegah kerusakan foto-oksidatif (Eismann et al., 2020)	<i>Ulva</i> sp. <i>Ulva</i> sp. (Eismann et al. 2020) <i>Ulva rigida</i> (Ak & Türker, 2018), <i>Ulva fasciata</i> ; <i>Ulva Lactuca</i> ; <i>Ulva prolifera</i> (Bhat et al., 2021; Osuna-Ruiz et al., 2019; Pappou et al., 2022)

KESIMPULAN

Ulva spp. merupakan salah satu sumber daya laut yang menjanjikan sebagai agen antioksidan alami dengan mekanisme kerja yang kompleks dan multi-level. Kandungan senyawa bioaktif seperti polifenol, flavonoid, karotenoid, vitamin C dan E, serta ulvan menunjukkan kontribusi penting dalam

menetralkan radikal bebas, menghambat pembentukan reaktif oksigen, dan meningkatkan ekspresi enzim antioksidan seperti SOD, katalase, dan glutathione. Aktivitas antioksidan ini berjalan melalui berbagai jalur, termasuk *hydrogen atom transfer* (HAT), *single electron transfer* (SET), kelasi ion logam, serta aktivasi jalur sinyal seluler seperti Nrf2-ARE dan NF- κ B. Kajian ini menegaskan bahwa senyawa bioaktif *Ulva spp.* memiliki aktivitas antioksidan yang dapat menjadi kandidat sebagai agen protektif terhadap stres oksidatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Abirami, R. G., & Kowsalya, S. (2011). Nutrient and nutraceutical potentials of seaweed biomass *Ulva lactuca* and *Kappaphycus alvarezii*. In *Journal of Agricultural Science and Technology* (Vol. 5, Issue 1). <https://www.researchgate.net/publication/288267856>
- Ak, İ., & Türker, G. (2018). Antioxidant Activity of Five Seaweed Extracts. *New Knowledge Journal of Science*, 7(2), 149-155.
- Anjali, K. P., Sangeetha, B. M., Devi, G., Raghunathan, R., & Dutta, S. (2019). Bioprospecting of seaweeds (*Ulva lactuca* and *Stoechospermum marginatum*): The compound characterization and functional applications in medicine-a comparative study. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111622>
- Barakat, K. M., Ismail, M. M., Abou El Hassayeb, H. E., El Sersy, N. A., & Elshobary, M. E. (2022). Chemical characterization and biological activities of ulvan extracted from *Ulva fasciata* (Chlorophyta). *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 33(4), 829–841. <https://doi.org/10.1007/s12210-022-01103-7>
- Baghel, R. S., Choudhary, B., Pandey, S., Pathak, P. K., Patel, M. K., & Mishra, A. (2023). Rehashing Our Insight of Seaweeds as a Potential Source of Foods, Nutraceuticals, and Pharmaceuticals. In *Foods* (Vol. 12, Issue 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods12193642>
- Bhat, I., Haripriya, G., Jogi, N., & Mamatha, B. S. (2021). Carotenoid composition of locally found seaweeds of Dakshina Kannada district in India. *Algal Research*, 53, 102154. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102154>
- Berri, M., Olivier, M., Holbert, S., Dupont, J., Demais, H., Goff, M., & Nyvall Collen, P. (2017). Ulvan from *Ulva armoricana* (Chlorophyta) activates the PI3K/Akt signalling pathway via TLR4 to induce intestinal cytokine production. *Algal Research*, 28, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.10.008>
- Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5(1), 9–19. <https://doi.org/10.1097/WOX.0b013e3182439613>
- Diaz, C. J., Douglas, K. J., Kang, K., Kolarik, A. L., Malinowski, R., Torres-Tiji, Y., Molino, J. V., Badary, A., & Mayfield, S. P. (2023). Developing algae as a sustainable food source. In *Frontiers in Nutrition* (Vol. 9). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1029841>
- Djoh, E. F. K., Meiyasa, F., Ndahawali, S., & Tarigan, N. (2024). Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activity of *Ulva reticulata* seaweed extracted with different solvents. *Biodiversitas*,

25(9), 2943–2949. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250914>

Dominguez, H., & Loret, E. P. (2019). *Ulva lactuca*, A Source of Troubles and Potential Riches. In *Marine Drugs* (Vol. 17, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/md17060357>.

Domínguez, H. Algae as a source of biologically active ingredients for the formulation of functional foods and nutraceuticals. In *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*; Domínguez, H., Ed.; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2013; pp. 1–19. ISBN 9780857095121.

Eismann, A. I., Perpetuo Reis, R., Ferreira da Silva, A., & Negrão Cavalcanti, D. (2020). *Ulva* spp. carotenoids: Responses to environmental conditions. *Algal Research*, 48, 101916. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101916>

Elsayed Azab, A., A Adwas, Almokhtar, Ibrahim Elsayed, A. S., A Adwas, A., Ibrahim Elsayed, Ata Sedik, & Quwaydir, F. A. (2019). Oxidative stress and antioxidant mechanisms in human body. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 6(1), 43–47. <https://doi.org/10.15406/jabb.2019.06.00173>

Esim, N., Dawar, P., Arslan, N. P., Orak, T., Doymus, M., Azad, F., Ortucu, S., Albayrak, S., & Taskin, M. (2024). Natural metabolites with antioxidant activity from micro-and macro-algae. Em *Food Bioscience* (Vol. 62). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105089>

FAO, F. and A. O. of the U. (2021). Global seaweeds and microalgae production, 1950 – 2019. *Food and Agricultural Organization of the United Nations*, June, 172. <https://www.fao.org/fishery/en/publications/280709>

Farasat, M., Khavari-Nejad, R. A., Nabavi, S. M. B., & Namjooyan, F. (2014). Antioxidant activity, total phenolics and flavonoid contents of some edible green seaweeds from northern coasts of the Persian gulf. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13(1), 163–170.

Farghali, M., Mohamed, I. M. A., Osman, A. I., & Rooney, D. W. (2023). Seaweed for climate mitigation, wastewater treatment, bioenergy, bioplastic, biochar, food, pharmaceuticals, and cosmetics: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 21, Issue 1, pp. 97–152). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01520-y>

Forman, H. J., Davies, K. J. A., & Ursini, F. (2014). How do nutritional antioxidants really work: Nucleophilic tone and para-hormesis versus free radical scavenging in vivo. Em *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 66, p. 24–35). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2013.05.045>

Françoise, L. D., Holger, T., Marie-Laurence, A., David, D., & Joël, B. (2014). Oxidative stress regulation in lichens and its relevance for survival in coastal habitats. *Advances in Botanical Research*, 71, 467–503. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408062-1.00016-0>

Guiry, M. D. (2006). *Ulva lactuca* f. *rigida* De Toni :: *AlgaeBase*.

- https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=100507.
- Guiry, G.M. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2025a). 27 January 2025. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 26 June 2025
- Guiry, G.M. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2025b). 27 January 2025. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 26 June 2025.
- Guiry, M.D. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2025). 06 February 2017. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 26 June 2025
- Guiry, M.D. in Guiry, M.D. & Guiry, G.M. (2025). 11 October 2011. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 26 June 2025
- Hunyadi, A. (2019). The mechanism(s) of action of antioxidants: From scavenging reactive oxygen/nitrogen species to redox signaling and the generation of bioactive secondary metabolites. *Em Medicinal Research Reviews* (Vol. 39, Número 6, p. 2505–2533). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/med.21592>
- Hussein, U. K., Mahmoud, H. M., Farrag, A. G., & Bishayee, A. (2015). Chemoprevention of Diethylnitrosamine-Initiated and Phenobarbital-Promoted Hepatocarcinogenesis in Rats by Sulfated Polysaccharides and Aqueous Extract of *Ulva lactuca*. *Integrative Cancer Therapies*, 14(6), 525–545. <https://doi.org/10.1177/1534735415590157>
- Khan, N., Sudhakar, K., & Mamat, R. (2024). Eco-friendly nutrient from ocean: Exploring *Ulva* seaweed potential as a sustainable food source. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17, 101239. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101239>
- Kumar, Y., Tarafdar, A., & Badgajar, P. C. (2021). Seaweed as a Source of Natural Antioxidants: Therapeutic Activity and Food Applications. *Journal of Food Quality*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5753391>
- Laitonjam, W. S. (2012). Chapter 9 - Natural Antioxidants (NAO) of Plants Acting as Scavengers of Free Radicals. Em Atta-ur-Rahman (Org.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 37, p. 259–275). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59514-0.00009-2>
- Leandro, A., Monteiro, P., Pacheco, D., Figueirinha, A., Gonçalves, A. M. M., Jorge, G., & Pereira, L. (2020). Seaweed Phenolics: From Extraction to Applications. *Marine Drugs*, 18(8), 1–47.
- Li, W., Wang, K., Jiang, N., Liu, X., Wan, M., Chang, X., Liu, D., Qi, H., & Liu, S. (2018). Antioxidant and antihyperlipidemic activities of purified polysaccharides from *Ulva pertusa*. *Journal of Applied Phycology*, 30(4), 2619–2627. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1475-5>
- Li, C., Tang, T., Du, Y., Jiang, L., Yao, Z., Ning, L., & Zhu, B. (2023). *Ulvan* and *Ulva*

- oligosaccharides: a systematic review of structure, preparation, biological activities and applications. In *Bioresources and Bioprocessing* (Vol. 10, Issue 1). Springer. <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00690-z>
- Lü, J. M., Lin, P. H., Yao, Q., & Chen, C. (2010). Chemical and molecular mechanisms of antioxidants: Experimental approaches and model systems. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 14(4), 840–860. <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x>
- Lomartire, S., Marques, J. C., & Gonçalves, A. M. M. (2021). An overview to the health benefits of seaweeds consumption. In *Marine Drugs* (Vol. 19, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/md19060341>
- McDermid, K. J., & Stuercke, B. (2003). Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 15(6), 513–524. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000004345.31686.7f>
- Mezghani, S., Bourguiba, I., Hfaiedh, I., & Amri, M. (2013). Antioxidant Potential of *Ulva rigida* Extracts: Protection of HeLa Cells Against H₂O₂ Cytotoxicity. *The Biological Bulletin*, 225(1), 1–7. <https://doi.org/10.1086/BBLv225n1p1>
- Miao, L., & St. Clair, D. K. (2009). Regulation of superoxide dismutase genes: Implications in disease. Em *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 47, Número 4, p. 344–356). <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2009.05.018>
- Michalak, I., Tiwari, R., Dhawan, M., Alagawany, M., Farag, M. R., Sharun, K., Emran, T. Bin, & Dhama, K. (2022). Antioxidant effects of seaweeds and their active compounds on animal health and production—a review. Em *Veterinary Quarterly* (Vol. 42, Número 1, p. 48–67). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/01652176.2022.2061744>
- Nakhate, P., & van der Meer, Y. (2021). A systematic review on seaweed functionality: A sustainable bio-based material. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/su13116174>
- Osuna-Ruiz, I., Nieves-Soto, M., Manzano-Sarabia, M. M., Hernández-Garibay, E., Lizardi-Mendoza, J., Burgos-Hernández, A., & Hurtado-Oliva, M. Á. (2019). Gross chemical composition, fatty acids, sterols, and pigments in tropical seaweed species off Sinaloa, Mexico. *Ciencias Marinas*, 45(3), 101–120. <https://doi.org/10.7773/cm.v45i3.2974>
- Ouahabi, S., Daoudi, N. E., Loukili, E. H., Asmae, H., Merzouki, M., Bnouham, M., Challioui, A., Hammouti, B., Fauconnier, M. L., Rhazi, L., Ayerdi Gotor, A., Depeint, F., & Ramdani, M. (2024). Investigation into the Phytochemical Composition, Antioxidant Properties, and In-Vitro Anti-Diabetic Efficacy of *Ulva lactuca* Extracts. *Marine Drugs*, 22(6). <https://doi.org/10.3390/md22060240>
- Pan, Y., Deng, Z.-Y., Chen, X., Zhang, B., Fan, Y., & Li, H. (2021). Synergistic antioxidant effects of phenolic acids and carotenes on H₂O₂-induced H9c2 cells: Role of cell membrane transporters. *Food Chemistry*, 341, 128000. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128000>
- Pappou, S., Dardavila, M. M., Savvidou, M. G., Louli, V., Magoulas, K., & Voutsas, E. (2022). Extraction of Bioactive Compounds from *Ulva lactuca*. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(4).

<https://doi.org/10.3390/app12042117>

Perron, N. R., & Brumaghim, J. L. (2009). A Review of the Antioxidant Mechanisms of Polyphenol Compounds Related to Iron Binding. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 53(2), 75–100. <https://doi.org/10.1007/s12013-009-9043-x>

Phaniendra, A., Jestadi, D. B., & Periyasamy, L. (2015). Free Radicals: Properties, Sources, Targets, and Their Implication in Various Diseases. Em *Indian Journal of Clinical Biochemistry* (Vol. 30, Número 1, p. 11–26). Springer India. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>

Pradhan, B., Bhuyan, P. P., & Ki, J. S. (2023). Immunomodulatory, Antioxidant, Anticancer, and Pharmacokinetic Activity of Ulvan, a Seaweed-Derived Sulfated Polysaccharide: An Updated Comprehensive Review. Em *Marine Drugs* (Vol. 21, Número 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/md21050300>

Prasedya, E. S., Martyasari, N. W. R., Apriani, R., Mayshara, S., Fanani, R. A., & Sunarpi, H. (2019). Antioxidant activity of *Ulva lactuca* L. from different coastal locations of Lombok Island, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2199. <https://doi.org/10.1063/1.5141281>

Pari, R. F., Uju, U., Hardiningtyas, S. D., Ramadhan, W., Wakabayashi, R., Goto, M., & Kamiya, N. (2025). *Ulva* Seaweed-Derived Ulvan: A Promising Marine Polysaccharide as a Sustainable Resource for Biomaterial Design. *Marine Drugs*, 23(2), 1–29. <https://doi.org/10.3390/md23020056>

Peña-Rodríguez, A., Mawhinney, T. P., Ricque-Marie, D., & Cruz-Suárez, L. E. (2011). Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. *Food Chemistry*, 129(2), 491–498. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.104>

Peñalver, R., Lorenzo, J. M., Ros, G., Amarowicz, R., Pateiro, M., & Nieto, G. (2020). Seaweeds as a functional ingredient for a healthy diet. In *Marine Drugs* (Vol. 18, Issue 6). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/md18060301>

Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative Stress: Harms and Benefits for Human Health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>

PubChem. 2025. 3-Hydroxyflavone. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/11349#section=Information-Sources>. Accessed 26 June 2025.

_____. 2025. Phlorofuocufuroeckol B. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/15984097>. Accessed 26 June 2025.

_____. 2025. Phenol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/996>. Accessed 26 June 2025.

_____. 2025. 2-Bromophenol. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7244>. Accessed 26 June 2025.

Putra, N. R., Fajriah, S., Qomariyah, L., Dewi, A. S., Rizkiyah, D. N., Irianto, I., Rusmin, D., Melati, M., Trisnawati, N. W., Darwati, I., & Arya, N. N. (2024). Exploring the potential of *Ulva Lactuca*:

- Emerging extraction methods, bioactive compounds, and health applications – A perspective review. In *South African Journal of Chemical Engineering* (Vol. 47, pp. 233–245). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.11.017>
- Qi, H., & Sun, Y. (2015). Antioxidant activity of high sulfate content derivative of ulvan in hyperlipidemic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, 76, 326–329. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.03.006>
- Qi, H., Zhang, Q., Zhao, T., Chen, R., Zhang, H., Niu, X., & Li, Z. (2005). Antioxidant activity of different sulfate content derivatives of polysaccharide extracted from *Ulva pertusa* (Chlorophyta) in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, 37(4), 195–199. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2005.10.008>
- Ratnayake, R., Liu, Y., Paul, V. J., & Luesch, H. (2013). Cultivated sea lettuce is a multiorgan protector from oxidative and inflammatory stress by enhancing the endogenous antioxidant defense system. *Cancer Prevention Research*, 6(9), 989–999. <https://doi.org/10.1158/1940-6207.CAPR-13-0014>
- Rizk, M. Z., Aly, H. F., Matloub, A. A., & Fouad, G. I. (2016). The anti-hypercholesterolemic effect of ulvan polysaccharide extracted from the green alga *Ulva fasciata* on aged hypercholesterolemic rats. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9 (3), 165-176.
- Rizk, M. Z., El-sherbiny, M., Borai, I. H., Ezz, M. K., Aly, H. F., Matloub, A. A., El-razik Farrag, A., & Fouad, G. I. (2016). Sulphated polysaccharides (sps) from the green alga *ulva fasciata* extract modulates liver and kidney function in high fat diet-induced hypercholesterolemic rats. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Science*, 8(6), 43-55.
- Salas-Coronado, R., Santos-Sánchez, N. F., Hernández-Carlos, B., & Villanueva-Cañongo, C. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. Em E. Shalaby (Org.), *Antioxidants*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>
- Sathivel, A., Balavinayagamani, Hanumantha Rao, B. R., & Devaki, T. (2014). Sulfated polysaccharide isolated from *Ulva lactuca* attenuates D-galactosamine induced DNA fragmentation and necrosis during liver damage in rats. *Pharmaceutical Biology*, 52(4), 498–505. <https://doi.org/10.3109/13880209.2013.846915>
- Sathivel, A., Raghavendran, H. R. B., Srinivasan, P., & Devaki, T. (2008). Anti-peroxidative and anti-hyperlipidemic nature of *Ulva lactuca* crude polysaccharide on d-Galactosamine induced hepatitis in rats. *Food and Chemical Toxicology*, 46(10), 3262–3267. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.07.016>
- Sundari, L. P. R., & Wijaya, P. A. W. (2021). Sea lettuce (*Ulva lactuca*) as a source of dietary antioxidant. Em *Tropical Journal of Natural Product Research* (Vol. 5, Número 4, p. 603–608). Faculty of Pharmacy, University of Benin. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v5i4.1>
- Sanger, G., Wonggo, D., Taher, N., Dotulong, V., Setiawan, A. A., Permatasari, H. K., Maulana, S., Nurkolis, F., Tsopmo, A., & Kim, B. (2023). Green seaweed *Caulerpa racemosa* - Chemical constituents, cytotoxicity in breast cancer cells and molecular docking simulation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12(April), 100621. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100621>
- Sari-Chmayssem, N., Taha, S., Mawlawi, H., Guégan, J. P., Jeftić, J., & Benvegnu, T. (2019). Extracted ulvans from green algae *Ulva linza* of Lebanese origin and amphiphilic derivatives: evaluation of their physico-chemical and rheological properties. *Journal of Applied Phycology*, 31(3), 1931–1946. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1668-y>
- Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., Rajkovic, J., Tsouh Fokou, P. V., Azzini, E., Peluso, I., Prakash Mishra, A., Nigam, M., El Rayess, Y., Beyrouthy, M. El, Polito, L., Iriti, M., Martins, N., Martorell, M., Docea, A. O., ... Sharifi-Rad,

- J. (2020). Lifestyle, Oxidative Stress, and Antioxidants: Back and Forth in the Pathophysiology of Chronic Diseases. *Frontiers in Physiology*, 11(July), 1–21. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00694>
- Soufi, J., El Hammoudani, Y., Haboubi, K., Hanafi, I., & Dimane, F. (2024). *Ulva* spp (*Ulva intestinalis*, *U. fasciata*, *U. lactuca*, and *U. rigida*) composition and abiotic environmental factors. *BIO Web of Conferences*, 109. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410901012>
- Tang, Y.-Q., Mahmood, K., Shehzadi, R., & Ashraf, M. F. (2016). *Ulva Lactuca and Its Polysaccharides: Food and Biomedical Aspects*. 6(1). www.iiste.org
- Wang, R., Paul, V. J., & Luesch, H. (2013). Seaweed extracts and unsaturated fatty acid constituents from the green alga *Ulva lactuca* as activators of the cytoprotective Nrf2-ARE pathway. *Free Radical Biology and Medicine*, 57, 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2012.12.019>
- Wei, J., Wang, S., Liu, G., Pei, D., Liu, Y., Liu, Y., & Di, D. (2014). Polysaccharides from *Enteromorpha prolifera* enhance the immunity of normal mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 64, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.11.013>
- Xu, J., Liao, W., Liu, Y., Guo, Y., Jiang, S., & Zhao, C. (2023). An overview on the nutritional and bioactive components of green seaweeds. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00132-5>
- Yang, Q., Jiang, Y., Fu, S., Shen, Z., Zong, W., Xia, Z., Zhan, Z., & Jiang, X. (2021). Protective effects of *ulva lactuca* polysaccharide extract on oxidative stress and kidney injury induced by D-galactose in mice. *Marine Drugs*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/md19100539>
- Yildiz, G., Celikler, S., Vatan, O., & Dere, S. (2012). Determination of the anti-oxidative capacity and bioactive compounds in green seaweed *Ulva rigida* C. Agardh. *International Journal of Food Properties*, 15(6), 1182–1189. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.517341>
- Yunita, N., Wrasati, L. P., & Suhendra, L. (2018). Karakteristik senyawa bioaktif ekstrak selada laut (*Ulva lactuca* L.) pada konsentrasi pelarut etanol dan lama ekstraksi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, 6, 189. <https://doi.org/10.24843/JRMA.2018.v06.i03.p01>
- Zhang, Z., Wang, X., Yu, S., Yin, L., Zhao, M., & Han, Z. (2011). Synthesized oversulfated and acetylated derivatives of polysaccharide extracted from *Enteromorpha linza* and their potential antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 49(5), 1012–1015. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.08.023>