



Aktivitas Antioksidan Rumput Laut Cokelat *Sargassum*: Narrative Review

Antioxidant Activities of The Brown Seaweed *Sargassum*: Narrative Review

Bendi Sabela^{1*}, Afrida Nurwulan², Tri Karimah Ramadhini¹, dan Priatno Khanna

¹Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Mulawarman, Kampus Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia, 75119

²Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, Lampung, Indonesia, 35365.

ABSTRAK

Rumput laut cokelat *Sargassum* merupakan rumput laut yang telah banyak dimanfaatkan untuk produk pangan maupun non pangan. *Sargassum* memiliki kandungan senyawa bioaktif yang tinggi (terutama senyawa fenolik) dan bioaktivitas terutama antioksidan. Artikel *narrative review* ini bertujuan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan membandingkan data mengenai komponen senyawa bioaktif, kadar senyawa fenolik, dan aktivitas antioksidan rumput laut *Sargassum*. Artikel *narrative review* ini menggunakan artikel penelitian yang bersumber dari database Science Direct terbitan tahun 2020–2025 yang membahas topik komponen senyawa bioaktif dan/atau aktivitas antioksidan secara *in vitro* dari rumput laut *Sargassum*. Senyawa bioaktif utama *Sargassum*, yakni senyawa fenolik (0,09791–521,84 mg GAE/g). Kadar senyawa fenolik tertinggi ditemukan pada spesies *Sargassum ilicifolium*. Kandungan senyawa bioaktif lainnya dari berbagai spesies rumput laut *Sargassum*, yakni alkaloid, steroid, terpenoid, saponin, glikosida kardiak, *mycosporine-like amino acids*, dan pigmen (fukosantin, flobatanin, klorofil-a, klorofil-d, α -karoten, β -karoten, xantofil, fikobiliprotein, dan karotenoid). *Sargassum* menunjukkan adanya aktivitas antioksidan pada berbagai metode pengujian (DPPH, FRAP, dan ABTS). *S. ilicifolium* memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dibandingkan spesies lainnya yang dipengaruhi oleh kadar senyawa fenolik. Aktivitas antioksidan *Sargassum* dipengaruhi oleh spesies, kandungan senyawa bioaktif, metode ekstraksi, dan asal sampel. Kandungan senyawa fenolik dan aktivitas antioksidan *Sargassum* berpotensi untuk digunakan dalam pangan fungsional, kemasan, kosmetik, dan farmasi.

Kata kunci: ABTS, DPPH, FRAP, senyawa bioaktif, senyawa fenolik.

ABSTRACT

Sargassum brown seaweed is a seaweed that has been widely used for food and non-food products. Sargassum has a high and diverse content of bioactive compounds (especially phenolic compounds) and bioactivities, especially antioxidants. This study aimed to compile and summarize the latest data on the bioactive compounds and antioxidants of Sargassum seaweed. This narrative review article aimed to collect, analyze, and compare data on the components of bioactive compounds, phenolic compounds content, and antioxidant activity of Sargassum seaweed. This narrative review article used research articles sourced from the ScienceDirect database published in 2020–2025 that discuss the topic of bioactive compound components and/or in vitro antioxidant activity of Sargassum seaweed. The main bioactive compounds of Sargassum are phenolic compounds (0.09791–521.84 mg GAE/g). The highest content of phenolic compounds were found in the species Sargassum ilicifolium. Other bioactive compounds from various Sargassum seaweed species include alkaloids, steroids, terpenoids, saponins, cardiac glycosides, mycosporine-like amino acids, and pigments (fucoxanthin, phlobatannins, chlorophyll-a, chlorophyll-d, α -carotene, β -carotene, xanthophylls, phycobiliproteins, and carotenoids). Sargassum exhibited antioxidant activity in various testing methods (DPPH, FRAP, and ABTS). S. ilicifolium had higher antioxidant activity compared to other species, which was influenced by the content of phenolic compounds. The antioxidant activity of Sargassum was influenced by the bioactive compound content, extraction method, extract concentration, species, and sample location. Sargassum's phenolic compound content and antioxidant activity offer potential applications in functional foods, packaging, cosmetics, and pharmaceuticals.

Keywords: ABTS, bioactive compounds, DPPH, FRAP, phenolic compound

***Corresponding Author:**
Bendi Sabela, Program Studi
Teknologi Hasil Perikanan,
Universitas Mulawarman;
bendisabela@fpik.unmul.ac.id

Diterima: 31-07-2025
Disetujui: 22-12-2025
Diterbitkan: 27-12-2025

Kutipan: Sabela, B., Nurwulan, A., Ramadhini, T.K., Khanna, P. (2025). Aktivitas Antioksidan Rumput Laut Cokelat *Sargassum*: Narrative Review. *Jurnal Ilmiah AgriSains*, 26(3), 163-174.
<https://doi.org/10.22487/jiagrisains.v26i3.2025.163-174>

PENDAHULUAN

Rumput laut merupakan makroalga multiseluler fotosintetik yang hidup di laut yang diklasifikasi menjadi *Chlorophyceae* (rumput laut hijau), *Rhodophyceae* (rumput laut merah), dan *Phaeophyceae* (rumput laut coklat) (Huang et al., 2025). Kemampuan fotosintesis rumput laut disebabkan karena adanya pigmen yang mampu menangkap energi cahaya untuk diubah menjadi energi kimia (Nagarajan et al., 2022). Rumput laut sejak dahulu telah banyak dikonsumsi secara langsung, selain itu komoditas ini dimanfaatkan secara luas dalam industri pangan, kosmetik, kemasan, pakan, hingga farmasi (Hu et al., 2024; Santos et al., 2024). Secara kimiawi, rumput laut didominasi oleh karbohidrat (4-76%) serta diperkaya dengan protein, lipid, vitamin (A,B,E dan C), dan berbagai metabolit sekunder (Imchen et al., 2024; Perumal et al., 2023).

Rumput laut coklat memiliki potensi besar dalam bidang nutrasetikal, industri, dan pengobatan karena kandungan yodium serta serat larut yang tinggi seperti alginat, fukoidan, dan laminarin (Al-Hashdy et al., 2025; Jang et al., 2024). Kelompok rumput laut coklat terdiri dari atas 250 genera dan 1500 spesies, yang berperan sebagai sumber makanan dan habitat bagi ekosistem laut. Salah satu genus utamanya, *Sargassum* telah lama digunakan dalam pengobatan tradisional Tiongkok (Al-Hashdy et al., 2025). Secara filogenetik, famili *Sargassaceae* menaungi sekitar 400 spesies yang terbagi ke dalam empat subgenus: *Sargassum*, *Bactrophyucus*, *Arthrophyucus*, dan *Phyllotrichia* (Geun Lee et al., 2022).

Sargassum mengandung senyawa-senyawa bioaktif meliputi polisakarida, peptida bioaktif, asam lemak, alkaloid, glikosida, senyawa fenolik, fitosterol, dan pigmen (β -karoten, xantofil-fukosantin, fikobiliprotein). Senyawa-senyawa bioaktif ini telah terbukti bermanfaat bagi kesehatan manusia melalui aktivitas antioksidan, antimikroba, antikanker, dan antiinflamasi. Selain itu, senyawa bioaktif *Sargassum* (alkaloid, polifenol, flavonoid, florotanin, fukosantin, dan karoten) memiliki sifat anti-peroksidasi lipid (Al-Hashdy et al., 2025; Al-Mur & Alsiary, 2025; Alreshidi et al., 2023; Deepak et al., 2024; Ellamie et al., 2020; Faisal et al., 2025; Sekhavatizadeh et al., 2025).

Antioksidan memiliki peran krusial dalam mencegah penyakit yang berkaitan dengan stres oksidatif seperti kardiovaskular, kanker, dan diabetes (Imran et al., 2024). Polifenol dalam rumput laut coklat yang bertindak sebagai antioksidan bekerja melalui terminasi *reactive oxygen species* (ROS) dan pengkelatan ion logam. Selain itu, jenis polifenol tertentu membantu fungsi enzim perbaikan DNA dalam mencegah kerusakan DNA oksidatif (Kim et al., 2021). Konsumsi 4% *Sargassum latifolium* terbukti secara signifikan mampu mengurangi kerusakan jaringan, mencegah stres oksidatif dan meningkatkan fungsi ginjal pada hewan (Ellamie et al., 2020). Penelitian lainnya juga menunjukkan penggunaan ekstrak *S. muticum* pada formulasi kosmetik mampu mencegah diskolorasi β -karoten akibat oksidasi sinar UV (Santos et al., 2024).

Berbagai studi terdahulu menunjukkan bahwa spesies *Sargassum* mengandung senyawa bioaktif dengan aktivitas antioksidan yang potensial. Namun, review komprehensif yang membandingkan komponen bioaktif, kadar senyawa fenolik, dan aktivitas antioksidan antar-spesies *Sargassum* pada periode 2020-2025 masih terbatas. Selain itu, pengaruh perbedaan asal sampel, metode ekstraksi dan metode uji in vitro terhadap variasi aktivitas antioksidan antar-spesies belum dikaji secara sistematis. Oleh karena itu, *narrative review* ini bertujuan untuk mengompilasi dan menganalisis data terkini mengenai senyawa bioaktif, senyawa fenolik, dan aktivitas antioksidan *Sargassum*, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi variasi hasil tersebut.

MATERI DAN METODE

Artikel *narrative review* ini ditulis berdasarkan kajian pustaka yang menganalisis secara sistematis artikel penelitian (*research articles*) dari sumber referensi ilmiah ScienceDirect. Pemilihan artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Kriteria inklusi yang ditetapkan, yakni artikel terbitan tahun 2020–2025, membahas topik komponen senyawa bioaktif dan/atau aktivitas antioksidan secara *in vitro* dari rumput laut *Sargassum*, serta artikel *open acces* dan *full text access*. Kriteria eksklusi meliputi artikel yang membahas topik komponen senyawa bioaktif dan/atau aktivitas antioksidan dari sumber lain tanpa memuat rumput laut *Sargassum* serta artikel yang hanya berupa abstrak. Artikel diseleksi secara independen oleh penulis. Data diekstraksi dan disintesis secara naratif untuk mengetahui perbandingan berbagai spesies *Sargassum* terhadap komponen senyawa bioaktif, kadar senyawa fenolik, dan aktivitas antioksidan. Sintesis data secara naratif juga dilakukan untuk mengetahui perbandingan metode uji aktivitas antioksidan terhadap aktivitas antioksidan *Sargassum*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Senyawa Bioaktif

Senyawa bioaktif dari rumput laut memiliki potensi sebagai antioksidan, sehingga dipertimbangkan untuk pengembangan obat baru dan pangan fungsional. Bioaktivitas senyawa bioaktif rumput laut sangat dipengaruhi oleh spesies rumput laut dan juga komposisi senyawa bioaktifnya (Yang et al., 2021). Komposisi senyawa bioaktif dari berbagai spesies *Sargassum* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Senyawa bioaktif *Sargassum*

Spesies	Asal sampel	Pelarut ekstraksi	Senyawa bioaktif	Kadar total fenol	Referensi
<i>Sargassum duplicatum</i>	Indonesia	Metanol	Flavonoid, alkaloid, steroid	24,66 mg GAE/g	War Naw et al., 2020
<i>Sargassum stenophyllum</i>	Brazil	Metanol 20%	<i>Mycosporine-like amino acids</i>	-	Urrea-Victoria et al., 2022
<i>Sargassum muticum</i>	Bangladesh	Etanol	Senyawa fenolik	70,65 mg GAE/g	Afrin et al., 2023
<i>Sargassum natans</i>	Bangladesh	Metanol	Senyawa fenolik	74,62 mg GAE/g	Emu et al., 2023
<i>Sargassum fluitans</i>	Bangladesh	Aseton	Senyawa fenolik	69,92 mg GAE/g	Emu et al., 2023
<i>Sargassum horridum</i>	Meksiko	Aseton:air (70%)	Senyawa fenolik	0,09791 mg GAE/g	Landa-Cansigno et al., 2023
<i>Sargassum polycystum</i>	Bangladesh	Metanol	Senyawa fenolik, terpenoid, saponin, flobatanin, glikosida kardiak	95,34 mg GAE/g	Dip et al., 2024
<i>Sargassum polycystum</i>	Bangladesh	Metanol	Terpenoid, saponin, flobatanin, glikosida kardiak,	80,13 mg GAE/g	Sobuj et al., 2024

Spesies	Asal sampel	Pelarut ekstraksi	Senyawa bioaktif	Kadar total fenol	Referensi
<i>Sargassum filipendula</i>	Brazil	Metanol	fenol, flavonoid Senyawa fenolik	144,49 mg GAE/g	Tagliapietra et al., 2024
<i>Sargassum</i> sp.	Arab Saudi	Aseton	Klorofil-a, klorofil-d, α -karoten, β -karoten, xantofil-fukosantin, fikobiliprotein	-	Al-Mur & Alsiary, 2025
<i>Sargassum ilicifolium</i>	Iran	Etanol 70%	Senyawa fenolik	521,84 mg GAE/g	Bahrami et al., 2025
<i>Sargassum cinereum</i>	Indonesia	Deionized water	Senyawa fenolik	-	Budiyanto et al., 2025
<i>Sargassum polycystum</i>	Malaysia	Deionized water	Senyawa fenolik	0,12–0,28 mg GAE/g	Murdiono et al., 2025
<i>Sargassum ilicifolium</i>	Iran	Aseton	Klorofil-a, klorofil-b, karotenoid, senyawa fenolik	0.12 mg/ml	Sekhvatizadeh et al., 2025
<i>Sargassum oligocystum</i>	Bangladesh	Metanol	Senyawa fenolik	54,907 – 62,994 mg GAE/g	Ullah et al., 2025

Berdasarkan Tabel 1, senyawa fenolik merupakan salah satu komponen bioaktif utama pada *Sargassum*. Kadar senyawa fenolik suatu bahan dapat dianalisis menggunakan uji total fenol. Hasil ekstraksi *Sargassum ilicifolium* menggunakan etanol 70% menunjukkan kadar fenolik tertinggi 521,84 mg GAE/g, sedangkan *S. filipendula* yang diekstraksi dengan metanol memiliki kadar fenolik sebesar 144,49 mg GAE/g. Pada *S. polycystum*, kadar fenolik berkisar antara 0,12–95,34 mg GAE/g dengan nilai tertinggi pada ekstrak metanol asal Bangladesh (80,13–95,34 mg GAE/g) dan terendah pada ekstrak air deionisasi asal Malaysia (0,12–0,28 mg GAE/g). Variasi tersebut menunjukkan bahwa perbedaan spesies, pelarut ekstraksi, dan asal sampel memengaruhi kadar senyawa fenolik. Temuan ini sejalan dengan laporan Sapatinha et al. (2022) dan (Farvin & Jacobsen, 2013) yang meneliti 3 kelompok rumput laut *Chlorophyceae*, *Rhodophyceae*, dan *Phaeophyceae* menyatakan bahwa kadar fenolik rumput laut berbeda secara signifikan antar-spesies dan metode ekstraksi.

Asal sampel akan memengaruhi kadar senyawa fenolik rumput laut melalui kondisi lingkungan, seperti intensitas cahaya, radiasi ultraviolet, salinitas, dan ketersediaan nutrisi, yang berperan dalam pembentukan metabolit sekunder (Subbiah et al., 2023). Kondisi lingkungan ekstrim dapat menyebabkan stres fisiologis yang memicu peningkatan pembentukan ROS (*reactive oxygen species*) di dalam sel, sehingga merangsang sintesis antioksidan dan senyawa fenolik sebagai mekanisme perlindungan sel (González-Portela et al., 2024; Pliego-Cortés et al., 2019). Selain itu, jenis pelarut ekstraksi memengaruhi selektivitas senyawa fenolik, pelarut organik polar lebih efektif dibandingkan pelarut air (Gunathilake et al., 2024). Secara keseluruhan, kadar senyawa fenolik *Sargassum* bervariasi dari 0,09791–521,84 mg GAE (*gallic acid equivalent*)/g. Variasi ini dipengaruhi oleh spesies *Sargassum*, asal sampel, dan jenis pelarut ekstraksi.

Senyawa fenolik merupakan metabolit sekunder yang umum ditemukan pada rumput laut ditandai dengan keberadaan gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik. Senyawa ini berperan penting dalam aktivitas antioksidan rumput laut dan memiliki struktur yang beragam, mulai dari asam fenolik sederhana hingga senyawa kompleks seperti

flavonoid. Berdasarkan strukturnya, senyawa fenolik dikelompokkan menjadi asam fenolik, flavonal, flavon, florotanin, ligna dan stilbena, dengan flavonoid sebagai kelompok dominan pada rumput laut. Selain berfungsi sebagai antioksidan, flavonoid berkontribusi terhadap peningkatan kesehatan melalui modulasi mikrobiota usus yang memengaruhi pembentukan metabolit dan katabolit melalui berbagai jalur biologis. Potensi bioaktivitas senyawa fenolik tersebut mendukung pemanfaatannya dalam pangan fungsional, kemasan, kosmetik, dan farmasi (Goksen, 2023; Sapatinha et al., 2022; Sobuj et al., 2024).

Komposisi senyawa bioaktif *Sargassum* lainnya (Tabel 1), yakni alkaloid, steroid, terpenoid, saponin, glikosida kardiak, *mycosporine-like amino acids*, dan pigmen (fukosantin, flobatanin, klorofil-a, klorofil-d, α -karoten, β -karoten, xantofil, fikobiliprotein, karotenoid). (Ahmed et al., 2022) melaporkan bahwa kandungan alkaloid *S. fusiforme*, yakni 0,33% dari sampel kering. (Landa-Cansigno et al., 2023) melaporkan bahwa kandungan saponin *S. horridum*, yakni 1,98% dari sampel kering. (Sekhavatizadeh et al., 2025) melaporkan bahwa kandungan pigmen *S. ilicifolium*, yakni, klorofil-a 1,90 mg/g, klorofil-b 2,83 mg/g, dan karotenoid 0,77 mg/g. (Balasubramaniam et al., 2020) melaporkan bahwa kandungan fukosantin *S. polycystum*, yakni 2740 mg/100 g. (Zhao et al., 2022) melaporkan kadar klorofil-a *S. fusiforme* berkisar antara 142,8–348,43 μ g/g. Temuan artikel pada *narrative review* ini menunjukkan bahwa eksplorasi senyawa bioaktif *Sargassum* umumnya masih berfokus pada senyawa fenolik. Ini menunjukkan bahwa potensi eksplorasi terkait senyawa bioaktif *Sargassum* masih sangat besar.

Aktivitas Antioksidan

Antioksidan merupakan senyawa yang berfungsi menetralkan radikal bebas dengan menginaktivasi *reactive oxygen species* (ROS) serta mengendalikan oksidasi seluler (Cholaraj & Venkatachalam, 2024). Inflamasi kronis berkaitan dengan produksi dan pelepasan ROS oleh sel imun sebagai molekul persinyalan, yang jika dilepaskan secara berkelanjutan dapat menyebabkan kerusakan seluler dan molekuler yang signifikan. Kadar ROS dalam tubuh dapat dikendalikan melalui suplementasi antioksidan eksogen untuk memperkuat sistem pertahanan antioksidan seluler tubuh (Bourgonje et al., 2020).

Pengukuran antioksidan dalam suatu bahan dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), FRAP (*ferric reducing antioxidant power*), dan ABTS (2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)). DPPH adalah radikal bebas yang stabil. Pengukuran antioksidan dengan metode DPPH untuk mengevaluasi *scavenging capacity*/kapasitas penangkapan dari antioksidan. Metode FRAP didasarkan pada kemampuan untuk mereduksi kompleks TPTZ-Fe(III) menjadi kompleks TPTZ-Fe(II). Kekuatan antioksidan berdasarkan metode FRAP tergantung pada kapasitas molekul untuk mentransfer elektron ke ion Fe^{3+} , sehingga mereduksinya menjadi ion Fe^{2+} . Uji ABTS merupakan metode yang digunakan untuk mengukur aktivitas antioksidan berdasarkan kemampuan untuk mendonorkan hidrogen dan menghentikan reaksi oksidasi berantai (Afrin et al., 2023; Grina et al., 2020; Rajauria et al., 2021).

Tabel 2 Aktivitas antioksidan *Sargassum*

Spesies	Aktivitas antioksidan			Referensi
	DPPH	FRAP	ABTS	
<i>Sargassum duplicatum</i>	IC ₅₀ = 0,26591–1,20857 mg/mL	-	-	War Naw et al., 2020
<i>Sargassum stenophyllum</i>	EC ₅₀ = 0,257 mg/mL	EC ₅₀ = 0,163 mg/mL	EC ₅₀ = 0,782 mg/mL	Urrea-Victoria et al., 2022
<i>Sargassum muticum</i>	EC ₅₀ = 1,95 mg/mL	-	-	Afrin et al., 2023
<i>Sargassum</i>	Persentase inhibisi =	6,32 μ mol	-	Chin et al.,

Spesies	Aktivitas antioksidan			Referensi
	DPPH	FRAP	ABTS	
<i>binderi</i>	6,18%	Fe ²⁺ /g		2023
<i>Sargassum horridum</i>	Persentase inhibisi = 15,02–45,66%	-	-	Landa-Cansigno et al., 2023
<i>Sargassum cinereum</i>	IC ₅₀ = 0,024 mM	IC ₅₀ = 0,018 mM	IC ₅₀ = 0,019 mM	Imchen et al., 2024
<i>Sargassum</i> sp.	IC ₅₀ = 0,03 mM	IC ₅₀ = 0,032 mM	IC ₅₀ = 0,035 mM	Imchen et al., 2024
<i>Sargassum polycystum</i>	IC ₅₀ = 1,59–6,58 mg/mL	-	IC ₅₀ = 2,39–7,22 mg/mL	Sobuj et al., 2024
<i>Sargassum filipendula</i>	172,25–578,08 µmol TE/g	346–435,63 µmol TE/g	295,55–1001,66 µmol TE/g	Tagliapietra et al., 2024
<i>Sargassum ilicifolium</i>	Persentase inhibisi = 80,46–89,84%	940–1160 µmol Fe ²⁺ /g	Persentase inhibisi = 84,03–93,94%	Bahrami et al., 2025
<i>Sargassum oligocystum</i>	Persentase inhibisi = 65,525–74,435%	-	Persentase inhibisi = 64,018–71,137%	Ullah et al., 2025

Hasil tabel 2 menunjukkan bahwa *S. ilicifolium* memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dibandingkan spesies lainnya yang terlihat dari nilai persentase inhibisi yang tinggi, yakni 80,46–89,84% (DPPH) dan 84,03–93,94% (ABTS). Nilai aktivitas antioksidan *S. ilicifolium* metode FRAP, yakni 940–1160 µmol Fe²⁺/g lebih tinggi dibanding spesies *S. polycystum* (18,9 µmol Fe²⁺/g) dan *S. binderi* (6,32 µmol Fe²⁺/g). (Bahrami et al., 2025) melaporkan bahwa aktivitas antioksidan yang tinggi dipengaruhi oleh kadar senyawa fenolik yang tinggi. Senyawa fenolik berperan sebagai pendonor elektron utama dan radikal scavengers/penangkap radikal. (Ullah et al., 2025) juga melaporkan bahwa tingginya aktivitas antioksidan *Sargassum* berkaitan dengan tingginya kadar senyawa fenolik. Penelitian-penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan umumnya dihubungkan dengan senyawa fenolik. Konsentrasi senyawa fenolik memiliki hubungan positif dengan aktivitas antioksidan (Imchen et al., 2024; Landa-Cansigno et al., 2023; Sobuj et al., 2024). Tingginya aktivitas antioksidan *S. ilicifolium* ini sesuai dengan hasil pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa kadar senyawa fenolik *S. ilicifolium* paling tinggi dibanding spesies lainnya.

Spesies *Sargassum* lainnya yang memiliki aktivitas antioksidan yang baik, antara lain *S. oligocystum*, *S. polycystum*, *S. duplicatum*, *S. filipendula*, dan *S. stenophyllum*. Aktivitas antioksidan yang baik ini terlihat dari nilai persentase inhibisi yang tinggi, kapasitas antioksidan yang tinggi, nilai IC₅₀ yang rendah, dan nilai EC₅₀ yang rendah. Aktivitas antioksidan yang baik pada spesies-spesies *Sargassum* tersebut berkaitan dengan tingginya kadar senyawa fenolik (>20 mg GAE/g) yang dapat dilihat pada Tabel 1. Selain itu, aktivitas antioksidan *Sargassum* juga dipengaruhi oleh kandungan fukoidan. Fukoidan bertindak sebagai penangkap radikal dan pereduksi ion ferri (*ferric reducing power*). Asam amino prolin, fenilalanin, dan asam amino hidrofobik lainnya memiliki kemampuan sebagai pendonor elektron, sehingga mampu berinteraksi dengan radikal reaktif, misalnya DPPH atau ABTS (Bahrami et al., 2025). Kandungan polisakarida (misalnya alginat) juga berpengaruh terhadap nilai aktivitas antioksidan (Çerçi et al., 2025). Penelitian lain menunjukkan bahwa aktivitas antioksidan ekstrak dari berbagai spesies rumput laut tidak hanya dipengaruhi oleh senyawa fenolik, tetapi juga dipengaruhi oleh komponen lain, antara lain polisakarida dengan bobot molekul kecil, pigmen, protein, dan

peptida (Farvin & Jacobsen, 2013). Rumput laut coklat termasuk *Sargassum* memiliki kandungan karotenoid (terutama fukosantin) yang mana mampu bertindak sebagai aktivitas antioksidan (Bahrami et al., 2025). Komponen-komponen senyawa fukosantin (*carboxylic acids*, *apo carotenal*, *sesquiterpenoid*, dan *ethers*) memiliki korelasi yang positif dengan aktivitas antioksidan, sehingga peningkatan pembentukan senyawa-senyawa fukosantin akan meningkatkan aktivitas antioksidan. Aktivitas antioksidan fukosantin berkaitan dengan perannya sebagai pendonor elektron, pereduksi ion ferri, dan penangkap radikal (Yusof et al., 2025).

Metode pengujian aktivitas antioksidan yang digunakan akan memengaruhi hasil yang didapatkan. Aktivitas antioksidan *S. ilicifolium* memiliki persentase inhibisi yang tinggi pada metode ABTS dibandingkan DPPH. Metode ABTS memiliki keuntungan karena radikal mampu larut dengan baik pada pelarut organik dan air. Sedangkan, metode DPPH hanya larut dalam pelarut organik dengan afinitas terhadap zat non-polar. Ini menunjukkan bahwa metode ABTS memiliki rentang deteksi yang lebih besar daripada metode DPPH yang mana ekstrak dengan kandungan senyawa antioksidan lipofilik dan hidrofilik dapat terdeteksi dengan baik (Urrea-Victoria et al., 2022).

Secara keseluruhan, aktivitas antioksidan *Sargassum* dapat dilihat pada Tabel 2. Aktivitas antioksidan *Sargassum* berdasarkan metode DPPH, yakni persentase inhibisi berkisar 0,18–89,84%. Nilai IC₅₀ aktivitas antioksidan *Sargassum* metode DPPH berkisar antara 0,01965–12,62 mg/mL. Nilai IC₅₀ merupakan nilai yang menunjukkan konsentrasi yang dibutuhkan untuk menghambat 50% radikal bebas DPPH. Antioksidan yang baik terlihat dari nilai IC₅₀ yang rendah (Al-Mur & Alsiary, 2025). Nilai persentase inhibisi pada pengukuran aktivitas antioksidan *Sargassum* menggunakan metode ABTS, yakni berkisar 64,018–93,94%. Aktivitas antioksidan berdasarkan metode ABTS yang dilihat dari nilai IC₅₀ berkisar antara 2,39–10,08 mg/mL. Kapasitas antioksidan *Sargassum* yang diukur menggunakan metode FRAP berkisar antara 6,32–1160 $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$. Kapasitas antioksidan berkaitan dengan kadar senyawa fenolik dan flavonoid (Ullah et al., 2025). Variasi aktivitas antioksidan berbagai spesies *Sargassum* karena dipengaruhi oleh kandungan senyawa bioaktif, metode ekstraksi, konsentrasi ekstrak, spesies, dan lokasi sampel (Chin et al., 2023; Sobuj et al., 2024).

Keterbatasan

Narrative review ini menganalisis dan membandingkan data komponen senyawa bioaktif, kadar senyawa fenolik, dan aktivitas antioksidan dari berbagai spesies *Sargassum*, akan tetapi *narrative review* ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan. Penggunaan database artikel hanya berasal dari Science Direct karena keterbatasan akses yang dimiliki dan artikel terbitan tahun 2020-2025, sehingga artikel-artikel yang relevan tidak akan digunakan jika diluar kriteria tersebut. Hasil analisis data terkait asal sampel pada *narrative review* ini menjadi keterbatasan karena tidak menjelaskan kondisi lingkungan sampel secara rinci (misalnya suhu dan salinitas lingkungan asal sampel). *Narrative review* ini juga hanya menjelaskan data terkait kadar senyawa fenolik dan hubungannya dengan aktivitas antioksidan, sehingga pengaruh komponen senyawa bioaktif lainnya terhadap aktivitas antioksidan *Sargassum* tidak dapat dijelaskan dengan baik. Keterbatasan lainnya, yakni penggunaan satuan antioksidan yang berbeda-beda, sehingga perbandingan aktivitas antioksidan antar-spesies *Sargassum* sulit dilakukan. Keterbatasan-keterbatasan tersebut tidak menjadi halangan untuk dapat menggambarkan perbandingan berbagai spesies *Sargassum* terkait dengan potensinya sebagai sumber senyawa bioaktif dan sumber antioksidan alami.

KESIMPULAN

Narrative review ini mengonfirmasi bahwa genus *Sargassum* merupakan sumber yang kaya akan senyawa bioaktif, dengan senyawa fenolik sebagai kontributor utama aktivitas antioksidannya. Namun, temuan ini menunjukkan variasi yang sangat besar yang dipengaruhi oleh spesies, asal sampel, dan metode ekstraksi. Tingginya aktivitas antioksidan yang dilaporkan, khususnya pada spesies *S. ilicifolium*, memperkuat potensinya sebagai bahan baku untuk pengembangan ekstrak kaya antioksidan dalam industri pangan fungsional dan kosmetik. Namun, *narrative review* ini memiliki keterbatasan yang dapat menjadikan bias dalam membuat kesimpulan hasil yang didapatkan, yakni hanya satu database yang digunakan dan penilaian kualitas studi tidak dilakukan secara sistematis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan artikel ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada *reviewer* dan *editor* yang telah memberikan saran dan masukan untuk penyempurnaan dalam penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrin, F., Ahsan, T., Mondal, M. N., Rasul, M. G., Afrin, M., Silva, A. A., Yuan, C., & Shah, A. K. M. A. (2023). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of some selected seaweeds from Saint Martin's Island of Bangladesh. *Food Chemistry Advances*, 3, 100393. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100393>
- Ahmed, N., Mohamed, H. F., Xu, C., Sun, X., & Huang, L. (2022). Novel antibacterial activity of *Sargassum fusiforme* extract against coral white band disease. *Electronic Journal of Biotechnology*, 57, 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2022.03.002>
- Al-Hashdy, D. F., El-Shaibany, A., Abdelkhalek, A. S., Raweh, S. M., Elaasser, M. M., & Raslan, A. E. (2025). Phytochemical profiling, toxicity, and pharmacological investigations of the brown seaweed *Sargassum vulgare* collected from the Red Sea coast combined with molecular docking analysis and SwissADMET prediction. *South African Journal of Botany*, 182, 165–184. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.05.006>
- Al-Mur, B. A., & Alsiary, W. A. (2025). Bioactivities related to pigments content of *Sargassum* sp. Collected from Jeddah coast, Saudi Arabia, Red Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 51(2), 181–188. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2025.02.001>
- Alreshidi, M., Badraoui, R., Adnan, M., Patel, M., Alotaibi, A., Saeed, M., Ghandourah, M., Al-Motair, K. A., Arif, I. A., Albulaihed, Y., & Snoussi, M. (2023). Phytochemical profiling, antibacterial, and antibiofilm activities of *Sargassum* sp. (brown algae) from the Red Sea: ADMET prediction and molecular docking analysis. *Algal Research*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2022.102912>
- Bahrami, S., Nateghi, L., Rashidi, L., Nobandegani, B. K., & Ghorbanpour, M. (2025). Evaluation of the properties of polysaccharides extracted from brown macroalgae (*Sargassum ilicifolium*) by methods of conventional, microwave, and subcritical water extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 102, 103975. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2025.103975>

- Balasubramaniam, V., June Chelyn, L., Vimala, S., Mohd Fairulnizal, M. N., Brownlee, I. A., & Amin, I. (2020). Carotenoid composition and antioxidant potential of *Eucheuma denticulatum*, *Sargassum polycystum* and *Caulerpa lentillifera*. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04654>
- Bourgonje, A. R., Feelisch, M., Faber, K. N., Pasch, A., Dijkstra, G., & van Goor, H. (2020). Oxidative Stress and Redox-Modulating Therapeutics in Inflammatory Bowel Disease. In *Trends in Molecular Medicine* (Vol. 26, Issue 11, pp. 1034–1046). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2020.06.006>
- Budiyanto, F., Sari, M., Widyaningrum, S. R., Putra, A. B. N., Palupi, K. D., Rachman, F., Untari, F., Handayani, T., & Rasyid, A. (2025). Profiling and antiproliferative activity of tropical seaweed extracts using LC-HRMS and in silico approaches. *Algal Research*, 90, 104181. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.104181>
- Çerçi, N. A., Aydın, B., Naz, M., Sayın, S., Aytar, E. C., Akküçük, Ş., & Kılıç, A. O. (2025). Development and evaluation of an alginate-based cream formulation from *Sargassum vulgare*: Antimicrobial, antioxidant, and safety assessments. *Algal Research*, 90, 104110. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.104110>
- Chin, Y. Y., Chang, K. A., Ng, W. M., Eng, Z. P., Chew, L. Y., Neo, Y. P., Yan, S. W., Wong, C. L., Kong, K. W., & Ismail, A. (2023). A comparative evaluation of nutritional composition and antioxidant properties of six Malaysian edible seaweeds. *Food Chemistry Advances*, 3, 100426. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100426>
- Cholaraj, R., & Venkatachalam, R. (2024). Investigation of antioxidant and anticancer potential of fucoidan (in-vitro & in-silico) from brown seaweed *Padina boergeresii*. *Algal Research*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103442>
- Deepak, P., Perumal, P., Balakrishnan, R., Balasubramanian, B., & Velmurugan, P. (2024). Assessment of antioxidant and digestive enzyme inhibition by phyco-molecules isolated from marine brown alga *Sargassum wightii*. *Food and Humanity*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100226>
- Dip, Md. R. R., Sobuj, M. K. A., Islam, Md. S., Akter, A., Hasan, Md. M., Tasnim, N., Haque, Md. A., & Rafiquzzaman, S. M. (2024). Phytochemicals, antioxidant and antibacterial activity of crude extract of *Sargassum polycystum* collected from Bangladesh. *Food and Humanity*, 2, 100278. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100278>
- Ellamie, A. M., Fouda, W. A., Ibrahim, W. M., & Ramadan, G. (2020). Dietary supplementation of brown seaweed (*Sargassum latifolium*) alleviates the environmental heat stress-induced toxicity in male Barki sheep (*Ovis aries*). *Journal of Thermal Biology*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102561>
- Emu, S. A., Dulal, Md. A., Kali, T. Das, Chadni, M. S., Rasul, Md. G., Mondal, Md. N., Ahsan, Md. E., Khan, M., & Shah, A. K. M. A. (2023). Effects of extracting solvents on phytochemical, antioxidant, and antibacterial activity of some seaweeds from the Bay of Bengal offshore Island. *Food and Humanity*, 1, 1157–1166. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.005>
- Faisal, S., Almutairi, A. W., Saif, I., Ting, L., Wang, Q., Mustafa, A., & Ebaid, R. (2025). Seaweed valorization as anaerobic co-substrate with fat, oil, and grease: Biomethane potential and microbial dynamics. *Bioresource Technology*, 421. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132155>

- Farvin, K. H. S., & Jacobsen, C. (2013). Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast. *Food Chemistry*, 138(2–3), 1670–1681. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.10.078>
- Geun Lee, H., Jayawardena, T. U., Liyanage, N. M., Song, K.-M., Choi, Y.-S., Jeon, Y.-J., & Kang, M.-C. (2022). Antioxidant potential of low molecular weight fucoidans from *Sargassum autumnale* against H₂O₂-induced oxidative stress in vitro and in zebrafish models based on molecular weight changes. *Food Chemistry*, 384, 132591. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132591>
- Goksen, G. (2023). Elucidation and quantification health-promoting phenolic compounds, antioxidant properties and sugar levels of ultrasound assisted extraction, aroma compositions and amino acids profiles of macroalgae, *Laurencia papillosa*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 98, 106527. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106527>
- González-Portela, R. E., Romero-Villegas, G. I., Kapoore, R. V., Alammari, Z. M., Malibari, R. A., Shaikhi, A. Al, Al Hafedh, Y., Aljahdali, A. H., Banjar, R. E., Mhedhbi, E., Filimban, A., Padri, M., & Fuentes-Grünwald, C. (2024). Cultivation of *Limnospira maxima* under extreme environmental conditions in Saudi Arabia: Salinity adaptation and scaling-up from laboratory culture to large-scale production. *Bioresource Technology*, 406. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131089>
- Grina, F., Ullah, Z., Kaplaner, E., Moujahid, A., Eddoha, R., Nasser, B., Terzioğlu, P., Yilmaz, M. A., Ertuş, A., Öztürk, M., & Essamadi, A. (2020). In vitro enzyme inhibitory properties, antioxidant activities, and phytochemical fingerprints of five Moroccan seaweeds. *South African Journal of Botany*, 128, 152–160. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.10.021>
- Gunathilake, T., Akanbi, T. O., Wang, B., & Barrow, C. J. (2024). Antioxidant benefits of *Ecklonia radiata* algae phenolic extracts in food grade omega-3 delivery systems. *Future Foods*, 10, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100406>
- Hu, P., Shi, Q., Wen, Z., Wang, J., & Qin, C. (2024). Potential effects of *Sargassum kjellmanianum* as a dietary supplement on the growth performance, immunity response, antioxidant status, and ammonia resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquaculture Reports*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102181>
- Huang, L., Lee, J. Y., Park, Y. K., & Lee, J. (2025). Heavy metals in seaweed: Implications for health benefits, risks, and safety regulations. *Journal of Agriculture and Food Research*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101830>
- Imchen, T., Tripathi, K., Ramakrishnan, R., & Akshay, K. (2024). Evaluation of the proximate composition and antioxidant capacity of some seaweeds from the Konkan coast of India. *Algal Research*, 83, 103730. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103730>
- Imran, M., Iqbal, A., AL-Huqail, A. A., Suliman Alghanem, S. M., Badshah, S. L., Alghamdi, S., Almehmadi, M., Balgith Algopishi, U., Ali, B., Sohni, S., Ammar Javed, M., & Eldin Darwish, D. B. (2024). Biochemical and nutritional analysis of seaweed (*Iyengaria stellata*) and its therapeutic significance, using antioxidant, antimicrobial, and hypoglycemic activities. *South African Journal of Botany*, 171, 695–709. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.06.002>
- Jang, H., Lee, J., Park, Y. K., & Lee, J. Y. (2024). Exploring the health benefits and concerns of brown seaweed consumption: A comprehensive review of bioactive compounds in brown seaweed and its potential therapeutic effects. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101215>

- Kim, H. J., Herath, K. H. I. N. M., Dinh, D. T. T., Kim, H. S., Jeon, Y. J., Kim, H. J., & Jee, Y. (2021). Sargassum horneri ethanol extract containing polyphenols attenuates PM-induced oxidative stress via ROS scavenging and transition metal chelation. *Journal of Functional Foods*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104401>
- Landa-Cansigno, C., Serviere-Zaragoza, E., Morales-Martínez, T. K., Ascacio-Valdes, J. A., Morreeuw, Z. P., Gauyat, C., Stiger-Pouvreau, V., & Reyes, A. G. (2023). The antioxidant and anti-elastase activity of the brown seaweed *Sargassum horridum* (Fucales, Phaeophyceae) and their early phenolics and saponins profiling for green cosmetic applications. *Algal Research*, 75, 103271. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103271>
- Murdiono, W. E., Razak, N. A. A., Halmi, M. I. E., Yong, J. W. H., & Mahmud, K. (2025). Optimization of aqueous extraction of phenolic compounds and bioactive profiles from brown (*Sargassum polycystum*) and red (*Kappaphycus alvarezii*) seaweeds using the response surface method. *Algal Research*, 86, 103924. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.103924>
- Nagarajan, D., Oktarina, N., Chen, P. T., Chen, C. Y., Lee, D. J., & Chang, J. S. (2022). Fermentative lactic acid production from seaweed hydrolysate using *Lactobacillus* sp. And *Weissella* sp. *Bioresource Technology*, 344(Pt A), 126166. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126166>
- Perumal, P., Aravinth, A., Dhanasundaram, S., Rajaram, R., Santhanam, P., Palanisamy, M., & James, R. A. (2023). Phytochemical, amino acid and fatty acid profile of selected brown and red seaweed species from Gulf of Mannar, Southeast India. *Food and Humanity*, 1, 1659–1669. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.11.015>
- Pliego-Cortés, H., Bedoux, G., Boulho, R., Taupin, L., Freile-Pelegrín, Y., Bourgougnon, N., & Robledo, D. (2019). Stress tolerance and photoadaptation to solar radiation in *Rhodomenia pseudopalmata* (Rhodophyta) through mycosporine-like amino acids, phenolic compounds, and pigments in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture system. *Algal Research*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101542>
- Rajauria, G., Ravindran, R., Garcia-Vaquero, M., Rai, D. K., Sweeney, T., & O'Doherty, J. (2021). Molecular characteristics and antioxidant activity of laminarin extracted from the seaweed species *Laminaria hyperborea*, using hydrothermal-assisted extraction and a multi-step purification procedure. *Food Hydrocolloids*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106332>
- Santos, J. M., Jesus, B. C., Ribeiro, H., Martins, A., Marto, J., Fitas, M., Pinto, P., Alves, C., Silva, J., Pedrosa, R., & Marrucho, I. M. (2024). Extraction of macroalgae phenolic compounds for cosmetic application using eutectic solvents. *Algal Research*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2024.103438>
- Sapatinha, M., Oliveira, A., Costa, S., Pedro, S., Gonçalves, A., Mendes, R., Bandarra, N. M., & Pires, C. (2022). Red and brown seaweeds extracts: A source of biologically active compounds. *Food Chemistry*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133453>
- Sekhvatizadeh, S. S., Ganje, M., Hashemi, S. S., & Mozafarian, M. R. (2025). Encapsulation of bioactive compounds from *Sargassum ilicifolium*: Influence of wall material type and loading content on the physicochemical and structural properties of microparticles. *Heliyon*, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41652>
- Sobuj, M. K. A., Shemul, M. S., Islam, Md. S., Islam, Md. A., Mely, S. S., Ayon, M. H., Pranto, S. M., Alam, M. S., Bhuiyan, M. S., & Rafiquzzaman, S. M. (2024). Qualitative

- and quantitative phytochemical analysis of brown seaweed *Sargassum polycystum* collected from Bangladesh with its antioxidant activity determination. *Food Chemistry Advances*, 4, 100565. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100565>
- Subbiah, V., Duan, X., Agar, O. T., Dunshea, F. R., Barrow, C. J., & Suleria, H. A. R. (2023). Comparative study on the effect of different drying techniques on phenolic compounds in Australian beach-cast brown seaweeds. *Algal Research*, 72. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2023.103140>
- Tagliapietra, B. L., Salvador-Reyes, R., Pinto, C. C., de Souza, S. M., Pallone, J. A. L., de Araújo Bezerra, J., Moreira Mar, J., Aparecido Sanches, E., & Clerici, M. T. P. S. (2024). Nutritional and techno-functional properties of the brown seaweed *Sargassum filipendula*. *Food Research International*, 191, 114728. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114728>
- Ullah, Md. R., Haque, M. A., Hasan, Md. M., Islam, Md. A., & Bhadra, A. (2025). The influences of different drying procedures on the nutritional contents and antioxidant activities of brown seaweed, *Sargassum oligocystum* Mont. (Sargassaceae). *Applied Food Research*, 5(2), 101055. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101055>
- Urrea-Victoria, V., Furlan, C. M., dos Santos, D. Y. A. C., & Chow, F. (2022). Antioxidant potential of two Brazilian seaweeds in response to temperature: *Pyropia spiralis* (red alga) and *Sargassum stenophyllum* (brown alga). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 549, 151706. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2022.151706>
- War Naw, S., Darli Kyaw Zaw, N., Siti Aminah, N., Amin Alamsjah, M., Novi Kristanti, A., Nege, A. S., & Thanda Aung, H. (2020). Bioactivities, heavy metal contents and toxicity effect of macroalgae from two sites in Madura, Indonesia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(8), 528–537. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2020.09.007>
- Yang, Y., Zhang, M., Alalawy, A. I., Almutairi, F. M., Al-Duais, M. A., Wang, J., & Salama, E. S. (2021). Identification and characterization of marine seaweeds for biocompounds production. *Environmental Technology and Innovation*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101848>
- Yusof, Z., Lim, V., Khong, N. M. H., Choo, W. S., & Foo, S. C. (2025). Unveiling fucoxanthin's fate: In vitro Gastrointestinal Digestion Effects on Bioaccessibility, Antioxidant Potential, Colour Changes, and Metabolite Profiles. *Food Chemistry*, 463. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141209>
- Zhao, T., Dong, Q., Zhou, H., & Yang, H. (2022). Drying Kinetics, Physicochemical Properties, Antioxidant Activity and Antidiabetic Potential of *Sargassum Fusiforme* Processed Under Four Drying Techniques. *LWT*, 163, 113578. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113578>