

Metabolit *Sargassum* sp. sebagai Agen Antioksidan dan Fotoprotektif Radiasi Ultraviolet

Sri Sedjati*, Agus Trianto, Stefanie Jessica Henny Larasati, Alir Adn Haqqu

Departemen Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
E-mail: sedjati69@gmail.com

Abstract

Metabolite *Sargassum* sp. as Antioxidant and Ultraviolet Radiation Photoprotective Agent

Ultraviolet radiation (UVR) from sunlight can damage human skin. The formation of free radicals in skin tissue, sunburn, erythema, and skin tanning are effects that often occur due to exposure to high intensity. Sunscreen cosmetics are commonly used to protect human skin, some use seaweed extract in their formulations. This study was conducted to search for metabolites from *Sargassum* sp. which have activity as antioxidants and ultraviolet radiation (UVR) photoprotective. Graded maceration with hexane, ethyl acetate, and ethanol solvents was done to extract all metabolites according to their polarity. The content of pigments (chlorophyll & carotenoids), total phenolic content (TPC), antioxidant activity, and UVR photoprotective are determined by spectrophotometry. Antioxidant activity was analyzed based on the value of inhibition percentage (IC_{50}) against 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and UVR photoprotective was based on the value of sun protection factor (SPF), a percentage of erythema transmission (%Te), and pigmentation transmission (%Tp). The results of the research showed that of the three, hexane extract (H), ethyl acetate extract (Ea), and ethanol extract (Et) all contain carotenoids, but one of them, namely H, did not contain chlorophyll. The largest TPC was found in Et i.e. 15.79 mg of GAE/g. The highest antioxidant activity was achieved by H, followed by Ea with a slight difference in IC_{50} , respectively at 198.61 and 204.12 μ g/mL. The highest UVR photoprotective activity was achieved by Ea with an SPF value of 13,480, %Te 4,037, and %Tp 24,316 (at 200 μ g/mL). Ethyl acetate extract from *Sargassum* sp. has been tested as the best antioxidant and UVR photoprotective agent and can be used in sunscreen cosmetic formulations.

Keywords: chlorophyll, carotenoid, phenolic compound, sunscreen

Abstrak

Radiasi ultraviolet (UVR) yang bersumber dari cahaya matahari dapat memicu kerusakan kulit manusia. Terbentuknya radikal bebas dalam jaringan kulit, kulit terbakar, kulit memerah, maupun penggelapan kulit merupakan efek yang sering terjadi akibat paparan UVR dalam intensitas tinggi. Kosmetik tabir surya biasa digunakan untuk melindungi kulit manusia dan beberapa di antaranya menggunakan ekstrak rumput laut dalam formulasinya. Penelitian ini dilakukan untuk mencari metabolit dari *Sargassum* sp. yang memiliki aktivitas sebagai antioksidan dan fotoprotektif UVR. Maserasi bertingkat dengan pelarut heksana, etil asetat, dan etanol dilakukan untuk mengekstrak semua metabolit sesuai dengan polaritasnya. Kandungan pigmen (klorofil & karotenoid), fenolik total, aktivitas antioksidan, maupun fotoprotektif UVR ditentukan dengan metode spektrofotometri. Aktivitas antioksidan dianalisis berdasarkan nilai persentase inhibisi (IC_{50}) terhadap 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), sedangkan fotoprotektif UVR berdasarkan nilai *sun protection factor* (SPF), persentase transmisi eritema (%Te), dan transmisi pigmentasi (%Tp). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiganya, ekstrak heksana (H), ekstrak etil asetat (Ea), dan ekstrak etanol (Et) semuanya mengandung karotenoid, tetapi salah satunya, yaitu H tidak mengandung klorofil. Kandungan fenolik total paling besar terdapat pada Et, yaitu sebesar 15,79 mg GAE/g. Aktivitas antioksidan tertinggi dicapai oleh H, diikuti oleh Ea dengan sedikit perbedaan nilai IC_{50} , secara berurutan yaitu sebesar 198,61 dan 204,12 μ g/mL. Aktivitas fotoprotektif UVR paling tinggi dicapai oleh Ea, yaitu dengan nilai SPF sebesar 13,480, %Te 4,037, dan %Tp 24,316 (pada konsentrasi 200 μ g/mL). Ekstrak etil asetat dari *Sargassum* sp. teruji sebagai agen antioksidan dan fotoprotektif UVR terbaik dan bisa dimanfaatkan dalam formulasi kosmetik tabir surya.

Kata kunci : klorofil, karotenoid, senyawa fenolik, tabir surya

PENDAHULUAN

Kulit manusia di daerah tropis setiap saat terpapar cahaya matahari yang mengandung radiasi ultraviolet atau UV radiation (UVR). Paparan UVR merupakan faktor eksternal pemicu produksi *reactive oxygen species* (ROS). Terbentuknya radikal bebas ROS menyebabkan stres oksidatif yang selanjutnya dapat menyebabkan gangguan pada kulit (Berthon *et al.*, 2017; Ansary *et al.*, 2021). Selain itu, paparan UVR dalam intensitas tinggi juga merupakan sumber utama

penyebab kerusakan kulit, seperti penurunan kelembaban (kulit kering), inflamasi, penebalan epidermis kulit, kulit terbakar (*sunburn*), kulit memerah (eritema), dan menjadi gelap (*tanning*). Efek jangka panjang adalah penuaan dini dan yang lebih parah dapat menyebabkan kanker kulit (Alcantara *et al.*, 2020; Ansary *et al.*, 2021).

Berdasarkan panjang gelombang (λ), UVR terbagi menjadi tiga klasifikasi, yaitu UV-A (320-400 nm), UV-B (290-320 nm) dan UV-C (100-290 nm). Tingkat bahaya UVR tergantung dari energi radiasi yang dimilikinya. Radiasi yang paling berbahaya adalah UV-C, namun hampir seluruhnya diserap oleh lapisan ozon pada atmosfer. Sementara itu, radiasi UV-B dan UV-A sampai ke permukaan bumi dan selanjutnya mencapai permukaan kulit manusia. Persentase UV-A yang masuk ke bumi lebih banyak dibanding UV-B, namun UV-B lebih berperan sebagai penyebab eritema dan *sunburn*. Efek negatif UVR pada kulit yang bersifat akut (segera) adalah dalam bentuk eritema. Selain itu, paparan UV-A dan UV-B juga dapat merangsang produksi melamin (pigmen kulit) sehingga menimbulkan pigmentasi berlebih (Solano, 2020; Suryani, 2020; Isnaini *et al.*, 2022).

Manusia berupaya dengan berbagai cara untuk melindungi kulit, salah satunya dengan menggunakan kosmetik yang bisa melindungi kulit dari paparan UVR. Kosmetik sebagai pelindung kulit di antaranya berfungsi sebagai antioksidan maupun tabir surya (Skotarczak *et al.*, 2015). Tabir surya adalah bahan yang dioleskan ke permukaan kulit sebagai perlindungan terhadap bahaya UVR yang berasal dari cahaya matahari (Balakrishnapillai *et al.*, 2020). Aktivitas tabir surya dinyatakan dengan nilai *Sun Protection Factor* (SPF) yang ditentukan baik secara *in vivo* maupun *in vitro*. Pengukuran secara *in vivo* didefinisikan sebagai rasio energi UVR yang diperlukan untuk menghasilkan dosis eritema minimal (*minimal erythema dose*/MED) pada kulit yang dilindungi, dibandingkan dengan energi untuk memproduksi MED pada kulit yang tidak terlindungi. Metode tersebut telah dikembangkan secara *in vitro* dengan menggunakan spektrofotometri UV-Vis yang lebih sederhana, cepat, dan akurat (Mansur 1972; Naik, 2019).

Metabolit dari beberapa spesies rumput laut *Sargassum* sudah banyak diteliti, misalnya *S. polycystum*. Ekstraknya menunjukkan aktivitas antioksidan sekaligus juga mampu melindungi kulit dari paparan UVR. Aktivitas antioksidan ternyata berkorelasi positif dengan efek perlindungan terhadap UVR, sehingga ekstrak tersebut dapat dikembangkan sebagai bahan baku kosmetik perawatan kulit dan sebagai tabir surya (Sami *et al.*, 2021; Astika *et al.*, 2022). Rumput laut coklat termasuk *Sargassum* sp., banyak mengandung pigmen karotenoid dan klorofil yang juga memiliki aktivitas antioksidan dan fotoprotektif (Sinjal *et al.*, 2018; Sami *et al.*, 2021). Klorofil dalam *Sargassum* terdiri atas klorofil a dan c, seperti yang teridentifikasi pada *S. crassifolium*, serta karotenoid berupa fukosantin, violasantin, anterasantin, zeasantin dan β -karoten (Heriyanto *et al.*, 2017). Beberapa karotenoid lainnya seperti astasantin, kantasantin, lutein, dan β -kriptosantin ditemukan dalam ekstrak *S. polycystum* (Balasubramaniam *et al.*, 2020).

Secara keseluruhan, di dalam ekstrak *Sargassum* sp. terdapat beberapa golongan senyawa kimia selain pigmen, seperti alkaloid, terpenoid, steroid, flavonoid, fenolik, tanin, saponin (Riwanti & Izazih, 2019; Sukandar *et al.*, 2022; Putri *et al.*, 2023). Spesies *S. vachellianum* kaya senyawa fenolik yang memiliki efek perlindungan yang baik pada kulit berdasarkan kemampuan antioksidannya, efek pemutihan, kemampuan mempertahankan kelembaban, dan juga kemampuan menyerap radiasi UVR (Jesumani *et al.*, 2020). Senyawa golongan fenolik terdiri dari polifenol, asam fenolik, flavonoid, tanin, lignan, dan stilben, kesemuanya memiliki aktivitas sebagai antioksidan (Zhang *et al.*, 2022). Kandungan polifenol dan aktivitas antioksidan yang tinggi telah ditemukan pada ekstrak *S. vulgare* (Schneider *et al.*, 2020). Senyawa fenolik teridentifikasi dalam ekstrak *Sargassum* lainnya seperti *S. muticum*, *S. binderi*, *S. crassifolium*, *S. granuliferum*, *S. fluitans* (Erniati *et al.*, 2024), fenolik dan flavonoid dalam ekstrak *S. plagyophyllum* (Putri *et al.*, 2023), polifenol dan florotanin dalam ekstrak *S. polycystum* (Cahyaningrum *et al.*, 2016). Hasil penelitian terkait, kandungan fenolik dari ekstrak etanol *S. polycystum* sebesar 12,85 mg *gallic acid equivalent* (GAE)/g menghasilkan aktivitas antioksidan yang kuat dengan nilai *inhibition concentration* (IC)₅₀ sebesar 98,903 μ g/mL (< 100 μ g/mL) terhadap radikal bebas (Safitri *et al.*, 2021). Ekstrak metanol *Sargassum* sp. dengan

kandungan fenolik 57,97 mg GAE/g juga bersifat sebagai antioksidan kuat dengan IC_{50} sebesar 69,27 $\mu\text{g/mL}$ (Sedjati *et al.*, 2018). Potensi *Sargassum sp.* sebagai penghasil pigmen karotenoid, klorofil, dan senyawa fenolik menjadi dasar pemikiran untuk melakukan penelitian ini. Tujuannya adalah untuk menentukan aktivitas metabolit *Sargassum sp.* sebagai agen antioksidan dan fotoprotektif-UVR. Harapan selanjutnya adalah memanfaatkan ekstrak tersebut dalam formulasi kosmetik tabir surya.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian yang digunakan adalah sampel rumput laut *Sargassum sp.* (Gambar 1). Sampel diambil pada Februari 2023 dari kawasan Pantai Kolo, Desa Kolo, Kota Bima, Nusa Tenggara Barat. Bahan kimia teknis (heksana, etil asetat, etanol) digunakan selama proses ekstraksi, sedangkan untuk uji kimia digunakan bahan kimia pro analisis (p.a.). Bahan kimia p.a. terdiri dari radikal bebas sintetis 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), reagen Folin-Ciocalteu, asam galat (Sigma-Aldrich, USA), natrium karbonat, heksana, etil asetat, etanol (Merck, USA), kertas saring Whatman no. 40, serta plat kromatografi lapis tipis (KLT) dengan pelapis silika gel 60 F254 (Merck, USA).

Sargassum sp. basah dicuci dengan air tawar untuk menghilangkan kandungan garam dan dikering-anginkan (terlindung dari cahaya matahari) selama tujuh hari. Proses ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi bertingkat dimulai dari pelarut dengan tingkat polaritas terendah yaitu heksana, etil asetat, dan etanol. Perbandingan sampel dan pelarut adalah 1:10 (b/v) dengan proses maserasi selama 24 jam untuk masing-masing pelarut. Maserat dipisahkan dari residunya dengan cara penyaringan menggunakan kertas saring Whatman no. 40. Selanjutnya, maserat dipekatkan dengan rotavapour pada suhu 40°C sehingga diperoleh ekstrak heksana (H), ekstrak etil asetat (Ea), dan ekstrak etanol (Et). Rendeman ekstrak dihitung berdasarkan berat ekstrak terhadap berat awal sampel. Masing-masing ekstrak dilarutkan dalam etanol p.a. dengan konsentrasi 1000 $\mu\text{g/mL}$ sebagai larutan induk dalam vial gelap untuk analisis selanjutnya.

Pola spektra masing-masing ekstrak *Sargassum sp.* dibuat menggunakan Spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu 1280) yang dilengkapi dengan aplikasi UVProbe 2.70. Masing-masing ekstrak dibuat dalam konsentrasi 200 $\mu\text{g/mL}$ dalam etanol. Pemindaian spektrum absorbansi cahaya UV dilakukan pada panjang gelombang (λ) 200-400 nm, sedangkan absorbansi cahaya tampak pada 400-750 nm. Pengukuran nilai absorbansi pada λ tertentu dilakukan sesuai formula yang diacu untuk menentukan kadar pigmen (klorofil a dan c, serta karotenoid total). Kadar klorofil a dan c dihitung menggunakan formula 1 dan 2 sesuai metode Ritchie (2008). Kadar karotenoid total (karoten+santofil) dihitung dengan formula 3 mengacu metode Nair *et al.* (2013). Kadar pigmen selanjutnya dikonversi dalam satuan mg/g ekstrak, di mana A =Absorbansi pada λ tertentu, V =Total volume larutan (L), dan W =Berat ekstrak terlarut (g).



Gambar 1. Rumput laut coklat *Sargassum sp.* dari Pantai Kolo, Bima

$$\text{Chl a (mg g}^{-1}\text{)} = [0,060(A632) - 4,522(A649) + 13,297(A665) - 1,745(A696)]xV/(1000xW) \quad (1)$$

$$\text{Chl c (mg g}^{-1}\text{)} = [28,459(A632) - 9,994(A649) - 1,934(A665) - 1,809(A696)]xV/(1000xW) \quad (2)$$

$$\text{Car total (c + x) (mg g}^{-1}\text{)} = [7,6(A480) - 1,49(A510)]xV/(1000xW) \quad (3)$$

Profil metabolit *Sargassum* sp. dikonfirmasi menggunakan metode kromatografi lapis tipis (KLT) dengan fase gerak heksana:etil asetat (7:3 v/v). Visualisasi menggunakan cahaya tampak dilakukan untuk melacak adanya pigmen berupa spot-spot berwarna, sedangkan visualisasi cahaya UV untuk melacak senyawa yang reaktif/mampu menyerap UVR berupa spot fluoresensi biru/ungu. Masing-masing spot dihitung nilai *Retardaction factor* (Rf) dengan cara membagi jarak yang dicapai spot dengan jarak yang dicapai oleh fase geraknya dari *baseline*.

Kadar fenolik total (*total phenolic content*/TPC) ditentukan berdasarkan metode Folin-Ciocateau (FC) merujuk dari penelitian Sedjati *et al.* (2017). Masing-masing ekstrak dilarutkan dalam etanol dengan konsentrasi 1000 µg/mL. Selanjutnya, 200 µL larutan ekstrak dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan 1 mL reagen FC (sudah diencerkan 10 x lipat dengan akuades). Setelah 5 menit dari proses pencampuran ditambahkan 2 mL natrium karbonat (Na₂CO₃ 7,5% w/v). Campuran dihomogenasi dan diinkubasi selama 120 menit pada suhu kamar. Absorbansi larutan diukur pada λ 765 nm dengan menggunakan spektrofotometer. Asam galat digunakan sebagai standar dan dibuat dalam seri konsentrasi 0, 5, 10, 20, 40, 80 µg/mL. Kurva kalibrasi dari larutan standar asam galat selanjutnya digunakan untuk menentukan TPC sampel menggunakan persamaan regresi dan dinyatakan dalam satuan mg *gallic acid equivalent* (GAE)/g ekstrak.

Aktivitas antioksidan ditentukan berdasarkan uji penghambatan atau *inhibition concentration* (IC) terhadap radikal bebas DPPH yang mengacu pada metode Safitri *et al.* (2021). Larutan DPPH 0,1 mM dalam pelarut etanol dipersiapkan sesaat sebelum uji DPPH dilakukan. Masing-masing ekstrak dibuat dalam seri konsentrasi 100, 150, 200, 250, 500 µg/mL menggunakan etanol. Sebanyak 1 mL dari setiap larutan sampel ditambah dengan 2 mL larutan DPPH 0,1 mM. Supaya tercampur rata dilakukan homogenasi dan selanjutnya diinkubasi pada suhu ruang (25°C) dalam kondisi gelap. Setelah 30 menit, absorbansi sampel dibaca pada λ 516 nm sesuai dengan absorbansi maksimal (puncak) dari larutan DPPH. Persentase penghambatan DPPH dihitung menggunakan formula 4, di mana Ab=Absorbansi blangko (kontrol) dan As =Absorbansi sampel. Aktivitas antioksidan dinyatakan dalam nilai IC₅₀ (konsentrasi yang mampu menghambat 50% radikal bebas) menggunakan persamaan regresi dari seri konsentrasi yang diuji.

$$\text{Persentase penghambatan (\%)} = \frac{A_b - A_s}{A_b} \times 100 \quad (4)$$

Aktivitas fotoprotektif-UV dari tiga jenis ekstrak *Sargassum* sp. dilakukan menggunakan metode spektrofotometri. Ekstrak dibuat dalam konsentrasi 200 µg/mL dalam pelarut etanol. Aktivitas dilihat berdasarkan profil nilai *sun protection faktor* (SPF), persentase transmisi eritema (%Te), dan transmisi pigmentasi (%Tp) (Eff *et al.*, 2018; Kusmita *et al.*, 2023). Sampel diukur absorbansinya setiap interval 5 nm pada λ yang dapat menyebabkan eritema (292,5-317,5 nm) dan yang dapat menyebabkan pigmentasi (322,5-372,5 nm). Nilai % Te dihitung menggunakan formula 5, sedangkan % Tp sesuai formula 6. Konversi nilai absorbansi (A) menjadi transmisi (T) dapat menggunakan rumus $A = -\log T$. Nilai fluk eritema dan pigmentasi dapat dilihat pada Tabel 1 (Barel *et al.*, 2001).

$$\% \text{ Te} = \frac{\Sigma \text{Transmisi eritema}}{\Sigma \text{Fluk eritema}} = \frac{\Sigma (T_x \text{Fe})}{\Sigma \text{Fe}} \quad (5)$$

$$\% \text{ Tp} = \frac{\Sigma \text{Transmisi pigmentasi}}{\Sigma \text{Fluk pigmentasi}} = \frac{\Sigma (T_x \text{Fp})}{\Sigma \text{Fp}} \quad (6)$$

Tabel 1. Nilai fluk eritema (Fe) dan pigmentasi (Fp) pada λ 292,5-372,5 nm (Barel et al., 2001)

Panjang gelombang (nm)	Fluk eritema (Fe)	Fluk pigmentasi (Fp)
290-295 (292,5)	0,1105	-
295-300 (297,5)	0,6720	-
300-305 (302,5)	1,0000	-
305-310 (307,5)	0,2008	-
310-315 (312,5)	0,1364	-
315-320 (317,5)	0,1125	-
320-325 (322,5)	-	0,1079
325-330 (327,5)	-	0,1020
330-335 (332,5)	-	0,0936
335-340 (337,5)	-	0,0798
340-345 (342,5)	-	0,0669
345-350 (347,5)	-	0,0570
350-355 (352,5)	-	0,0488
355-360 (357,5)	-	0,0456
360-365 (362,5)	-	0,0356
365-370 (367,5)	-	0,0310
370-375 (372,5)	-	0,0260

Tabel 2. Nilai EE x I pada panjang gelombang (λ) 290-320 nm (Sayre et al., 1979)

Panjang gelombang (nm)	290	295	300	305	310	315	320
EE x I	0,0150	0,0817	0,2874	0,3278	0,1864	0,0839	0,0180

Keterangan: EE=efek eritema dari radiasi; I=intensitas radiasi

Aktivitas *sun protection factor* (SPF) ditentukan sesuai formula 7 mengacu ke persamaan Mansur (Mansur et al., 1986), di mana CF=Faktor koreksi (=10), EE=Efek eritema dari radiasi cahaya, I=Intensitas radiasi cahaya, dan Abs=Absorbansi pada λ tertentu. Pembacaan absorbansi dilakukan setiap interval 5 nm pada λ 290-320 nm. Nilai EE x I bersifat konstan seperti tercantum pada Tabel 2 (Sayre et al., 1979).

$$SPF = CF + \sum_{290}^{320} EE(\lambda) \times I(\lambda) \times Abs(\lambda) \tag{7}$$

Data yang diperoleh diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* versi 17 sesuai formula yang sudah ditentukan dalam metode penelitian. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

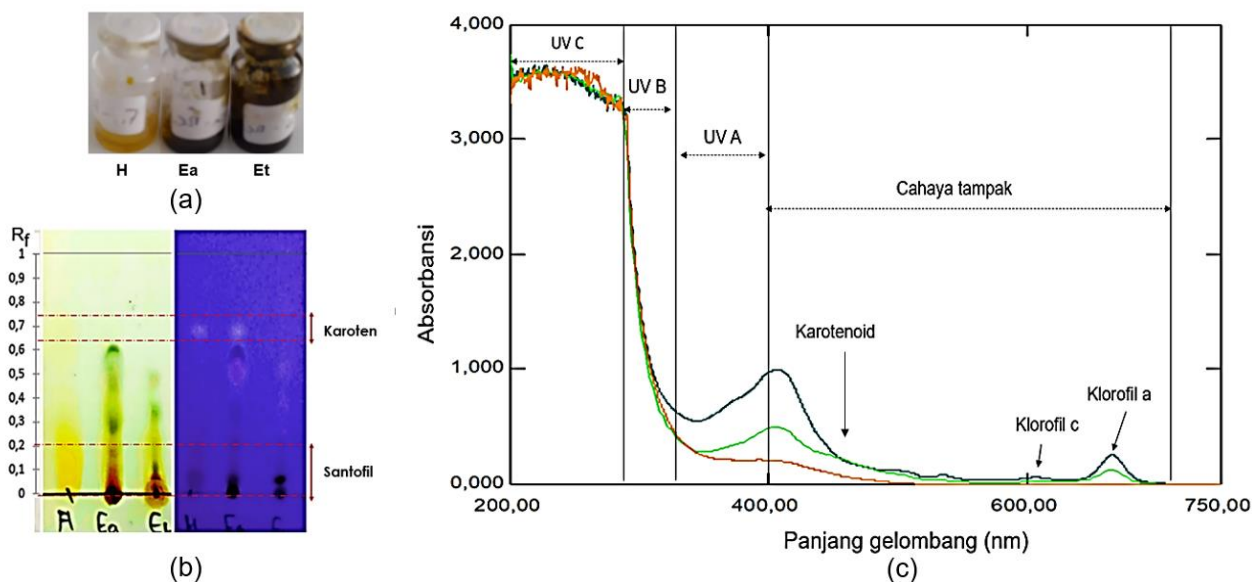
Ekstrak *Sargassum* sp. yang diperoleh menghasilkan rendemen yang bervariasi dengan warna yang berbeda seperti terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 2a. Warna ekstrak berkaitan dengan kandungan pigmen yang terdapat di dalamnya. Kandungan pigmen dalam masing-masing ekstrak dapat dilihat dari profil KLT (Gambar 2b) dan pola spektrum pada daerah cahaya tampak (400-750 nm) (Gambar 2c). Ekstrak heksana yang berwarna kuning hanya terdiri dari karotenoid, tidak mengandung klorofil. Berdasarkan profil KLT, karotenoid yang diekstrak dari *Sargassum* sp. didominasi oleh santofil dan sedikit karoten. Santofil merupakan karotenoid polar, sehingga spot kuningnya memiliki nilai R_f relatif kecil karena memiliki interaksi kuat dengan fase diam KLT (silika) yang polar, sebaliknya karoten memiliki R_f besar karena sifat non polarinya. Ekstrak etil asetat terlihat

berwarna hijau cerah dan paling banyak mengandung pigmen yang tercermin dari jumlah spot di KLT dan puncak absorbansi di spektrumnya. Komponen pigmennya terdiri dari klorofil a, c, dan karotenoid. Ekstrak etanol tampak berwarna hijau seperti ekstrak etil asetat, hanya lebih gelap. Pigmen penyusunnya sama, tetapi kadarnya berbeda. Klorofil yang ditemukan pada *Sargassum* adalah klorofil a dan c, seperti yang diidentifikasi oleh Heriyanto *et al.* (2017) dalam *S. crassifolium*. Hasil ini sesuai dengan penelitian Merdekawati *et al.* (2018) bahwa *Sargassum* mengandung klorofil a (puncak 664 nm), feofitin a (puncak 663 nm), dan turunan klorofil lainnya, serta fukosantin (puncak 445 nm) dan santofil lainnya (puncak 438, 440, 446, 462, 463 nm).

Karoten adalah golongan karotenoid nonpolar, sedangkan santofil (termasuk fukosantin) adalah polar karena terdapat gugus fungsi hidroksil dalam struktur kimianya. Seperti terlihat pada Gambar 2b, spot warna kuning banyak berada di bagian bawah plat KLT. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar senyawanya adalah golongan santofil. Spot kuning pekat (orange) yang diduga karena konsentrasinya tinggi adalah fukosantin. Hanya sedikit spot kuning dan samar di bagian atas diduga sebagai golongan karoten. Fukosantin adalah karotenoid utama yang diproduksi oleh *Sargassum*, seperti pernyataan Balasubramaniam *et al.* (2020) bahwa dalam ekstrak *S. polycystum* terdapat fukosantin dengan konsentrasi yang paling tinggi di antara santofil lainnya, dan β -karoten. Hasil penelitian lainnya menurut Heriyanto *et al.* (2017), di dalam ekstrak *S. crassifolium* terdapat fukosantin, violasantin, anterasantin, zeasantin, dan β karoten. Melalui penelitian Noviendri *et al.* (2023) juga teridentifikasi adanya fukosantin dan β -karoten dalam ekstrak *Sargassum* sp.

Tabel 3. Rendemen ekstrak *Sargassum* sp. menggunakan maserasi bertingkat

Jenis sampel	Rendemen (%)	Warna ekstrak
Ekstrak heksana	0,184	kuning
Ekstrak etil asetat	0,375	Hijau cerah
Ekstrak etanol	1,720	Hijau gelap



Gambar 2. Karakteristik metabolit *Sargassum* sp. : (a) Warna ekstrak; (b) Profil KLT menggunakan fase gerak heksana:etil asetat (7:3 v/v) dengan visualisasi cahaya tampak (kiri) dan UV 365 nm (kanan); (c) Profil absorbansi ekstrak dalam etanol (200 µg/mL) terhadap cahaya UV (200-400 nm) dan cahaya tampak (400-750 nm) (Keterangan: H/— :ekstrak heksana, Ea/— :ekstrak etil asetat, Et/— :ekstrak etanol)

Kadar pigmen dan fenolik total (TPC) dari masing-masing ekstrak tercantum pada Tabel 4, sedangkan aktivitas antioksidannya pada Tabel 5. Kadar klorofil (a+c) dan karotenoid total tertinggi dicapai oleh ekstrak etil asetat, secara berurutan sebesar 15,15 dan 4,57 mg/g, sedangkan TPC tertinggi terdapat dalam ekstrak etanol sebesar 15,79 mg GAE/g. Ekstrak heksana hanya mengandung karotenoid dan TPC-nya relatif kecil, namun ternyata memiliki aktivitas antioksidan terbesar dengan nilai IC_{50} sebesar 195,67 $\mu\text{g/mL}$. Ekstrak etil asetat memiliki nilai IC_{50} sedikit lebih besar, yaitu pada 204,12 $\mu\text{g/mL}$. Hasil ini sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya. Rumput laut merupakan salah satu alga laut yang memiliki sumber antioksidan karena mengandung senyawa bioaktif seperti karotenoid, senyawa fenolik dan turunannya (Sami *et al.*, 2021). Karotenoid dalam rumput laut didominasi oleh fukosantin, sedangkan β -karoten hanya ditemukan dalam jumlah kecil. Semakin tinggi kadar karotenoid, semakin besar aktivitas antioksidannya (Noviendri *et al.*, 2023).

Kandungan TPC dari marga *Sargassum* telah banyak diteliti, di antaranya *S. dentifolium* oleh Helal *et al.* (2023). Beberapa senyawa fenolik teridentifikasi pada ekstrak metanolnya, yaitu asam galat, naringenin, rutin, asam siringat, asam kafeat, asam elagat, metil galat, dan asam kumarat. Senyawa fenolik punya peranan kuat dalam menangkal radikal bebas sehingga efektif sebagai antioksidan. Hal yang sama diungkapkan pula oleh de Los Reyes Arguelles & Sapin (2020) dari spesies yang berbeda, yaitu *S. siliquosum*. Kadar fenolik yang terkandung berkorelasi positif dengan peningkatan aktivitas antioksidan dari ekstraknya. Namun, pada hasil penelitian ini terjadi sebaliknya. Ekstrak etanol mengandung TPC tertinggi, tetapi aktivitas antioksidannya paling lemah karena memiliki nilai IC_{50} yang paling tinggi, yaitu 332,38 $\mu\text{g/mL}$. Hal ini diduga karena peranan senyawa fenolik kurang kuat dibandingkan dengan pigmen yang terdapat dalam ekstraknya. Hasil serupa diungkapkan oleh Sukandar *et al.* (2022), *S. cinereum* memiliki kandungan senyawa fenolik yang beragam pada jenis ekstrak yang berbeda. Ekstrak heksana mengandung sedikit fenolik, sedangkan ekstrak etil asetat dan metanol relatif lebih banyak, secara berurutan memiliki aktivitas antioksidan dengan nilai IC_{50} sebesar 194,797, 129,682, dan 400,535 $\mu\text{g/mL}$. Ekstrak etil asetat paling kuat aktivitas antioksidannya, karena polaritas pelarut tersebut paling kuat sebagai pengekstrak pigmen (Tabel 4).

Beberapa kosmetik komersial telah dianalisis kadar total fenoliknya, ternyata bahan fungsional tersebut dapat berperan dalam aktivitas antioksidan dan juga sebagai agen pemutih kulit (anti-tirosinase) (Mapoung *et al.*, 2021). Fenolik juga dapat merangsang produksi kolagen dalam fibroblas (jaringan kulit) dan memiliki efek anti-inflamasi di bawah kondisi stres oksidatif. Aplikasi topikal ekstrak yang mengandung senyawa fenolik dapat mencegah kerusakan kulit. Hasil ini menunjukkan bahwa senyawa fenolik dapat berguna untuk mendukung fungsi fibroblas, mempercepat penyembuhan luka, dan melindungi dari *photoaging* yang diinduksi oleh UVR. Senyawa fenolik adalah kandidat yang baik dalam formulasi kosmetik untuk menghilangkan penyebab kerusakan kulit, termasuk luka, penuaan, dan bertindak sebagai agen perawatan kulit (Merecz-Sadowska *et al.*, 2021).

Senyawa fenolik dan karotenoid diketahui punya peranan sebagai pelindung terhadap UVR (Sinjal *et al.*, 2018; Sami *et al.*, 2021). Beberapa kelompok senyawa mempunyai karakteristik absorbansi pada daerah UV (A, B, C), seperti golongan diena (rangkap dua) terkonjugasi, triena, α, β -unsaturated aldehida dan keton (Lagesson *et al.*, 2000). Profil ekstrak *Sargassum* sp. sebagai pelindung UVR dapat dilihat pada pola spektrum pada Gambar 2c, absorbansi tertinggi dicapai oleh ekstrak etil asetat, baik pada daerah UV-A maupun UV-B. Banyaknya senyawa yang mampu mengabsorpsi UVR terlihat dari profil KLT (Gambar 2b) berupa fluoresensi spot yang tampak biru atau ungu. Spot terbanyak terlihat pada ekstrak etil asetat. Beberapa spot tersebut diduga merupakan senyawa golongan klorofil, karotenoid dan fenolik. Ketiganya adalah termasuk golongan diena terkonjugasi. Berdasarkan struktur kimianya, klorofil memiliki ikatan rangkap dua pada struktur pirolnya, karotenoid pada kerangka dasar hidrokarbonnya, dan fenolik pada cincin benzenanya. Berbeda dengan fenolik, klorofil dan karotenoid (golongan pigmen) bisa menyerap baik radiasi UVR maupun cahaya tampak seperti terlihat dalam Gambar 2c. Berdasarkan pernyataan Alexander *et al.* (2023), karakteristik puncak absorbansi dari spektrum UVR bisa digunakan untuk mengidentifikasi adanya fenol, alkana, alkohol sekunder, amina aromatik, maupun asam karboksilat.

Tabel 4. Kadar pigmen dan fenolik total dari ekstrak *Sargassum* sp.

Jenis sampel	Kadar pigmen(mg/g ekstrak)			*Kadar fenolik total (mg GAE/g ekstrak)
	Klorofil a	Klorofil c (all forms)	Karotenoid total (karoten+xantofil)	
Ekstrak heksana	Td	Td	1,28±0,07	2,76±0,22
Ekstrak etil asetat	14,90±0,04	0,25±0,04	4,57±0,05	4,62±0,28
Ekstrak etanol	6,95±0,07	0,11±0,01	4,36±0,02	15,79±0,80

Keterangan: *Kurva standar asam galat: $y = 0,006x + 0,117$; $R^2 = 0,994$; Data merupakan rerata±SD (n=3); Td=Tidak ditemukan

Tabel 5. Aktivitas antioksidan ekstrak *Sargassum* sp. terhadap radikal DPPH

Jenis sampel	Aktifitas antioksidan		
	Konsentrasi ekstrak (µg/mL)	Inhibisi terhadap DPPH (%)	IC ₅₀ (µg/mL)
Ekstrak heksana	100	45,65±0,58	$y = 0,027x + 44,717$ $R^2 = 0,889$
	150	48,29±1,46	
	200	51,67±0,83	195,67
	250	52,78±0,97	
	500	57,15±1,32	
Ekstrak etil asetat	100	43,97±0,95	$y = 0,075x + 34,691$ $R^2 = 0,969$
	150	46,99±0,61	
	200	48,84±0,22	204,12
	250	50,15±0,34	
	500	73,51±1,29	
Ekstrak etanol	100	28,12±0,73	$y = 0,123x + 9,117$ $R^2 = 0,911$
	150	29,20±0,59	
	200	29,30±0,79	332,38
	250	31,96±0,15	
	500	74,33±1,51	

Keterangan: Data merupakan rerata±SD (n=3)

Tabel 6. Aktivitas fotoprotektif ultraviolet ekstrak *Sargassum* sp.

Jenis sampel	Aktivitas fotoprotektif terhadap UV-A (320-400 nm) dan UV-B (290-320 nm)		
	*Sun Protection Factor (SPF)	**Persentase transmisi eritema (%Te)	***Persentase transmisi pigmentasi (%Tp)
Ekstrak heksana	13,002	4,673	46,147
Ekstrak etil asetat	13,480	4,037	24,316
Ekstrak etanol	12,093	5,933	44,331

Keterangan: *SPF ditentukan terhadap UV-B; **%Te ditentukan terhadap UV-B; ***%Tp ditentukan terhadap UV-A; Aktivitas fotoprotektif ditentukan pada konsentrasi 200 µg/mL

Nilai SPF didefinisikan sebagai rasio dosis UVR yang menginduksi eritema pada kulit yang dilindungi tabir surya dengan dosis UVR yang menginduksi eritema pada kulit yang tidak terlindungi. Tabir surya dengan SPF 15, 30 dan 60 (di Eropa berlabel 50+) secara berurutan mampu mengabsorpsi 93,3%, 96,7% dan 98,3% radiasi UVR yang bersifat eritemogenik (Reinau et al., 2015). Penelitian tentang aktivitas fotoprotektif UVR telah dilakukan pada *Sargassum* sp. dari perairan Pameungpeuk,

Garut. Ekstrak etanolnya menghasilkan nilai SPF sebesar 33,2 pada konsentrasi 16 mg/mL (16.000 µg/mL) (Dharmawan *et al.*, 2023). Ekstrak etil asetat *Sargassum* sp. dari Pulau Poteran, Madura menghasilkan nilai SPF 32,63 pada 1.100 µg/mL (Kasitowati *et al.*, 2021). Analisis potensi ekstrak sebagai agen fotoprotektif UVR ditentukan berdasar nilai SPF, %Te, dan %Tp. Nilai SPF dan %Te menunjukkan efektifitas ekstrak sebagai pelindung terhadap UV-B, sedangkan %Tp sebagai pelindung terhadap UV-A. Ekstrak etil asetat *Sargassum* sp. dari Pantai Kolo, Bima menghasilkan potensi terbaik sebagai pelindung/fotoprotektif UVR. Hasil yang diperoleh tertulis pada Tabel 6, nilai SPF sebesar 13,480, %Te 4,037, dan %Tp 24,316 diperoleh pada konsentrasi yang relatif kecil, yaitu hanya 200 µg/mL. Profil kemampuan absorbansi ekstrak etil asetat terhadap UVR menunjukkan hasil tertinggi seperti terlihat dalam Gambar 2c. Jika nilai absorbansi semakin tinggi, maka semakin kecil UVR yang ditransmisikan. Transmisi UVR tersebut berpotensi meradiasi kulit. Semakin kecil persentase UVR yang menembus kulit sebagai penyebab eritema (%Te) dan pigmentasi (%Tp), maka semakin besar aktivitas fotoprotektif UVR-nya. Aktivitas fotoprotektif ekstrak *Sargassum* yang diteliti saat ini berbeda dan lebih kuat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Hal ini diduga karena perbedaan spesies, lokasi pengambilan sampel, metode ekstraksi, maupun jenis pelarutnya.

Rumput laut adalah keluarga alga yang sudah banyak diteliti dan diketahui banyak menghasilkan metabolit sekunder sebagai produk alami dengan beragam aktivitas biologis. Rumput laut hidup di daerah pantai dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Pengaruh peningkatan suhu perairan dan radiasi UV memicu peningkatan produksi pigmen klorofil (a, b, c, d), karotenoid (fukosantin, β karoten, lutein, violasantin), fikobiliprotein (fikoeritin, fikosianin), dan senyawa fenolik (Ashkenazi *et al.*, 2022; Sáez *et al.*, 2023). Rumput laut mampu beradaptasi dengan cara mensintesis metabolit sekunder sebagai respon terhadap tekanan lingkungan di habitatnya. Metabolit tersebut dapat berupa senyawa-senyawa yang mampu menangkal radiasi cahaya matahari, termasuk UVR, serta radikal bebas. Karotenoid menunjukkan aktivitas antioksidan yang tinggi serta memiliki kemampuan perlindungan terhadap cahaya matahari. Secara spesifik, karotenoid mampu melindungi dari cahaya UV-B dengan kategori proteksi ekstra dan dapat berperan sebagai *sunblock* terhadap UV-A (Kusmita *et al.*, 2023). Tabir surya alami menjadi lebih penting daripada yang sintetis karena efek sampingnya yang lebih sedikit, perlindungan yang lebih besar, dan mudah didapat ketersediaannya. Berbagai macam produk alami yang berasal dari alga telah menunjukkan aktivitas fotoprotektif potensial. Senyawa alami termasuk flavonoid, polifenol, tanin, karotenoid, saponin, triterpenoid, dan *essensial/volatil oil* telah menunjukkan nilai SPF yang tinggi, selain sifat anti-inflamasi dan antioksidannya (Ashkenazi *et al.*, 2022). Berdasarkan hasil penelitian ini, ekstrak etil asetat *Sargassum* sp. paling baik potensinya sebagai agen fotoprotektif UVR sekaligus memiliki aktifitas antioksidan yang baik. Selanjutnya, ekstrak tersebut dapat dikembangkan menjadi bahan alami alternatif dalam formulasi tabir surya.

KESIMPULAN

Ekstrak etil asetat dari *Sargassum* sp. berpotensi sebagai agen antioksidan dengan nilai IC₅₀ sebesar 204,12 µg/mL, serta sebagai fotoprotektif UVR dengan nilai SPF mencapai 13,480 (pada konsentrasi 200 µg/mL). Ekstrak etil asetat pada konsentrasi tersebut mampu menyerap UVR, sehingga transmisi UV-B penyebab eritema hanya 4,037% (%Te), sedangkan transmisi UV-A penyebab pigmentasi masih lebih tinggi yaitu 24,316% (%Tp). Aktivitas antioksidan dan fotoprotektif UVR didukung oleh kandungan metabolitnya, yaitu klorofil a (14,90 mg/g), klorofil c (0,25 mg/g), karotenoid total (4,57 mg/g), dan fenolik total (4,62 mg GAE/g).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. M. Munawilrul Umam atas bantuannya dalam proses pengambilan *Sargassum* sp. Publikasi ini merupakan bagian dari penelitian hibah yang dibiayai oleh dana hibah selain APBN DPA SUKPA Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro dengan nomor kontrak 62/UN7.F10/PP/II/2024.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcantara, G.P., Esposito, A.C.C., Olivatti, T.O.F., Yoshida, M.M., & Miot, H.A. (2020). Evaluation of ex vivo melanogenic response to UVB, UVA, and visible light in facial melasma and unaffected adjacent skin. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 95(6), 684–690. doi: 10.1016/j.abd.2020.02.015.
- Alexander, H.J., Rosy, B. A., Blessy, R., Besant, S. A., Sheeja, V.C., & Rani, G.J. (2023). Secondary metabolite profiling of pharmacologically active compounds from *Sansevieria cylindrica* Bojer Ex Hook. using UV, FTIR and HPLC analysis. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 14(2), 2540-2547. doi: 10.47750/pnr.2023.14.S02.299.
- Ansary, T. M., Hossain, M. R., Kamiya, K., Komine, M., & Ohtsuki, M. (2021). Inflammatory molecules associated with ultraviolet radiation-mediated skin aging. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8), 3974. doi: 10.3390/ijms22083974.
- Ashkenazi, D.Y., Figueroa, F.L., Korbee, N., García-Sánchez, M., Vega, J., Ben-Valid, S., Paz, G., Salomon, E., Israel, Á., & Abelson, A. (2022). Enhancing bioproducts in seaweeds via sustainable aquaculture: Antioxidant and sun-protection compounds. *Marine Drugs*, 20(12), 767. doi: 10.3390/md20120767.
- Astika, A., Ilhamdy, A.F., & Putri, R.M.S. (2022). Karakterisasi beberapa rumput laut dari perairan Natuna sebagai sediaan kosmetik. *Marine*, 05(02), 77–84.
- Balakrishnapillai, P., Soman, A., Johnson, J., Narayanan, P.S., & John, A.P. (2020). Plants and phytoconstituents having sunscreen activity. *World Journal of Current Medical and Pharmaceutical Research*, 02(01), 14–20. doi: 10.37022/wjcmpr.2020.02019.
- 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), e04654. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04654.
- Barel, A.O., Paye, M., & Maibach, H. I. (Eds.). (2014). *Handbook of cosmetic science and technology*. CRC press.
- Berthon, J. Y., Nachat-Kappes, R., Bey, M., Cadoret, J. P., Renimel, I., & Filaire, E. (2017). Marine algae an attractive source to skin care. *Free Radical Research*, 51(6), 555–567. doi: 10.1080/10715762.2017.1355550.
- Cahyaningrum, K., Husni, A., & Budhiyanti, S. A. (2016). Aktivitas antioksidan ekstrak rumput laut coklat (*Sargassum polycystum*). *Argitech*, 36(2), 137–144.
- de Los Reyes Arguelles, E., & Sapin, A.B. (2020). Bioactive properties of *Sargassum siliquosum* J. Agardh (Fucales, Ochrophyta) and its potential as source of skin-lightening active ingredient for cosmetic application. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 10(7), 51–58. doi: 10.7324/JAPS.2020.10707.
- Dharmawan, D., Putriana, N.A., & Anggraeni, S.R. (2023). Kandungan total fenolik dan nilai sun protection factor ekstrak *Sargassum* sp. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(1), 126–134. doi: 10.14710/jkt.v26i1.15934.
- Eff, A.R.Y., Pertiwi, R.D., Rakhmawati, I., & Utami, T.P. (2018). In-vitro and in-vivo sunscreen activity of active compounds isolated from fruits of *Phaleria marcocarpha* (Scheff.) boerl. *Journal of Young Pharmacists*, 10(2), s106–s110. doi: 10.5530/jyp.2018.2s.21.
- Erniati, E., Syahrial, S., Erlangga, E., Imanullah, I., & Andika, Y. (2024). Total phenolic content and antioxidant activity of seaweed *Sargassum* in Simeulue Water, Aceh. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(3), 186–196. doi: 10.17844/jphpi.v27i3.46981.
- Helal, M.A., El-Gamal, A.D., Elhela, A.A., & El-Belely, E.F. (2023). Biochemical composition and bioactivity of the crude extract of *Sargassum dentifolium* (Turner) C. Agardh, of Western Coast of the Red Sea, Hurghada, Egypt. *Biomass Conversion and Biorefinery*, p.1-20. doi: 10.1007/s13399-023-04721-9.
- Heriyanto, Juliadiningsy, A.D., Shioi, Y., Limantara, L., & Brotosudarmo, T.H.P. (2017). Analysis of pigment composition of brown seaweeds collected from Panjang Island, Central Java, Indonesia. *Philippine Journal of Science*, 146(3), 323–330.
- Isnaini, I., Oktavianti, I.K., & Suhartono, E. (2022). The Effect of long exposure of UV radiation on erythema and melanin index. *Berkala Kedokteran*, 18(1), 117. doi: 10.20527/jbk.v18i1.11829.

- Jesumani, V., Du, H., Pei, P., Aslam, M., & Huang, N. (2020). Comparative study on skin protection activity of polyphenol-rich extract and polysaccharide-rich extract from *Sargassum vachellianum*. *PLoS ONE*, 15(1), 1–17. doi: 10.1371/journal.pone.0227308.
- Kasitowati, R.D., Huda, M.M., Asmara, R., Aliviyanti, D., Iranawati, F., Panjaitan, M.A.P., Pratiwi, D.C., & Arsad, S. (2021). Identifikasi potensi fotoprotektif ekstrak rumput laut cokelat *Sargassum* sp. dengan variasi pelarut terhadap paparan sinar ultraviolet secara in vitro. *Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 17(1), 7–14.
- Kusmita, L., Edi, A.N.P., Franyoto, Y.D., Mutmainah, M., Haryanti, S., & Nurcahyanti, A.D.R. (2023). Sun protection and antibacterial activities of carotenoids from the soft coral *Sinularia* sp. symbiotic bacteria from Panjang Island, North Java Sea. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 31(8), 101680. doi: 10.1016/j.jsps.2023.06.013.
- Mansur, J.S., Breder, M.N., Mansur, M.C., & Azulay, R.D. (1986) Determination of sun protection factor by spectrophotometry. *Anais Brasileiros de Dermatologia*, 61, 121-124.
- Mapoung, S., Semmarath, W., Arjsri, P., Umsumarng, S., Srisawad, K., Thippraphan, P., Yodkeeree, S., & Limtrakul, P. (2021). Determination of phenolic content, antioxidant activity, and tyrosinase inhibitory effects of functional cosmetic creams available on the Thailand market. *Plants*, 10(7), 1383. doi: 10.3390/plants10071383.
- Merdekawati, W., Limantara, L., & Susanto, A.B. (2018). The content and pigment composition of *Sargassum crassifolium* J. agardh on several drying treatments. p.1-6. doi: 10.31227/osf.io/j5reh.
- Merecz-Sadowska, A., Sitarek, P., Kucharska, E., Kowalczyk, T., Zajdel, K., Cegliński, T., & Zajdel, R. (2021). Antioxidant properties of plant-derived phenolic compounds and their effect on skin fibroblast cells. *Antioxidants*, 10(5), 1–24. doi: 10.3390/antiox10050726.
- Naik, S. N. (2019). Estimation and comparison of hydro- alcoholic and water extract for sun protection factor activity from naturally available resources. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 21(1), 1-20. doi: 10.19080/ijesnr.2019.21.556052.
- Putri, F. E., Diharmi, A., & Karnila, R. (2023). Identifikasi senyawa metabolit sekunder pada rumput laut coklat (*Sargassum plagyophyllum*) dengan metode fraksinasi. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia*, 15(1), 40–46. doi: 10.17969/jtipi.v15i1.23318.
- Reinau, D., Osterwalder, U., Stockfleth, E., & Surber, C. (2015). The meaning and implication of sun protection factor. *British Journal of Dermatology*, 173(5), 1345. doi: 10.1111/bjd.14015.
- Rincón-Valencia, S., Mejía-Giraldo, J.C., & Puertas-Mejía, M.Á. (2022). Algae metabolites as an alternative in prevention and treatment of skin problems associated with solar radiation and conventional photo-protection. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 58, e201046. doi: 10.1590/s2175-97902022e201046.
- Ritchie, R.J. (2008). Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls a, b, c, and d and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. *Photosynthetica*, 46(1), 115–126. doi: 10.1007/s11099-008-0019-7.
- Riwanti, P., & Izazih, F. (2019). Skrining fitokimia ekstrak etanol 96% *Sargassum polycystum* dan profile dengan spektrofotometri infrared. *Acta Holistica Farmaciana*, 2(1), 34–41.
- Sáez, C.A., Troncoso, M., Navarrete, C., Rodríguez-Rojas, F., Navarro, N., Trabal, A., Lavergne, C., Pardo, D., Brown, M.T., Gómez, I., Figueroa, F. L., & Celis-Plá, P.S.M. (2023). Photoprotective responses of three intertidal Antarctic macroalgae to short-term temperature stress. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1–15. doi: 10.3389/fmars.2023.1223853.
- Safitri, I., Warsidah, W., Sofiana, M. S. J., Kushadiwijayanto, A.A., & Sumarni, T.N. (2021). Total phenolic content, antioxidant and antibacterial activities of *Sargassum polycystum* of ethanol extract from waters of Kabung Island. *Berkala Sainstek*, 9(3), 139. doi: 10.19184/bst.v9i3.27199
- Sayre, R.M., Agin, P.P., Levee, G.J., & Marlowe, E. (1979). Comparison of in vivo and in vitro testing of suncreening formulas. *Photochem. Photobiol.*, 29, 559-566.
- Sami, F.J., Soekanto, N.H., Firdaus, & Latip, J. (2021). Bioactivity profile of three types of seaweed as an antioxidant, uv-protection as sunscreen, and their correlation activity. *Food Research*, 5(1), 441–447. doi: 10.26656/fr.2017.5(1).389.
- Schneider, G., Figueroa, F.L., Vega, J., Chaves, P., Álvarez-Gómez, F., Korbee, N., & Bonomi-Barufi, J. (2020). Photoprotection properties of marine photosynthetic organisms grown in high ultraviolet

- exposure areas: Cosmeceutical applications. *Algal Research*, 49, 101956. doi: 10.1016/j.algal.2020.101956.
- Sedjati, S., Suryono, S., Santosa, A., Supriyantini, E., & Ridlo, A. (2017). Aktivitas antioksidan dan kandungan senyawa fenolik makroalga coklat *Sargassum* sp.. *Jurnal Kelautan Tropis*, 20(2), 124-130. doi: 10.14710/jkt.v20i2.1737.
- Sedjati, S., Supriyantini, E., Ridlo, A., Soenardjo, N., & Santi, V.Y. (2018). Kandungan pigmen, total fenolik dan aktivitas antioksidan *Sargassum* sp. *Jurnal Kelautan Tropis*, 21(2), 137-144. doi: 10.14710/jkt.v21i2.3329.
- Sinjal, C.A., Rompas, R.M., Sumilat, D.A., & Suryanto, E. (2018). Antioxidant and photoprotective activity of brown seaweed from North Sulawesi Coast. *International Journal of ChemTech Research*, 11(06), 121–133. doi: 10.20902/IJCTR.2018.110617.
- Skotarczak, K., Osmola-Mańkowska, A., Lodyga, M., Polańska, A., Mazur, M., & Adamski, Z. (2015). Photoprotection: Facts and controversies. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19(1), 98–112.
- Solano, F. (2020). Photoprotection and skin pigmentation: Melanin-related molecules and some other new agents obtained from natural sources. *Molecules*, 25(7), 1–18. doi: 10.3390/molecules 25071537.
- Sudhakar, M.P., Ananthalakshmi, & Nair, B.B. (2013). Extraction, purification and study on antioxidant properties of fucoxanthin from brown seaweeds. *Journal of Chemical & Pharmaceutical Research*, 5(7), 169–175.
- Sukandar, T.K., Sinaga, I., & Santikawati, S. (2022). Fraksi aktif rumput laut cokelat (*Sargassum cinereum*) sebagai antioksidan dan antibakteri. *Jurnal Penelitian Terapan Perikanan Dan Kelautan*, 4(2), 66–74.
- Suryani, A. (2020). Faktor-faktor yang memengaruhi pigmentasi manusia. *Cermin Dunia Kedokteran*, 47(11), 682. doi: 10.55175/cdk.v47i11.1195.
- Zhang, Y., Cai, P., Cheng, G., & Zhang, Y. (2022). A Brief Review of Phenolic Compounds Identified from Plants: Their Extraction, Analysis, and Biological Activity. *Natural Product Communications*, 17(1), 1934578X211069721. doi: 10.1177/1934578X211069721.