

SENYAWA BIOAKTIF DARI RUMPUT LAUT SEBAGAI ANTIOKSIDAN

Hermanus Nawaly¹, A.B. Susanto², Jacob L.A. Uktolseja³.

¹Program Pascasarjana Magister Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana, ²Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, ³Fakultas Biologi, Universitas Kristen Satya Wacana.
E-mail: herynawaly@yahoo.com

ABSTRAK

Radikal bebas merupakan molekul yang kehilangan salah satu elektron dan sangat reaktif. Molekul ini berusaha mencari elektron lain dari berbagai sumber termasuk molekul biologis untuk menjadi stabil. Radikal bebas ini dapat merusak membran fosfolipid, mempercepat proses penuaan serta menimbulkan berbagai penyakit. Pembentukan radikal bebas dalam tubuh manusia dapat terjadi secara alami maupun induksi dari lingkungan yang akan didiskusikan bersama dengan kerusakan molekulernya. Antioksidan yang adalah senyawa yang mampu menetralkan radikal bebas tersebut dapat berasal dari dalam atau dari luar tubuh manusia melalui makanan yang dikonsumsi. Rumput laut merupakan salah satu sumber antioksidan karena mengandung senyawa bioaktif seperti karotenoid, senyawa fenol dan turunannya, sulfat polisakarida, dan vitamin. Review ini akan memberikan uraian tentang senyawa-senyawa bioaktif tersebut sebagai sumber antioksidan alami. Mekanisme antioksidan karotenoid, fenol dan turunannya, serta vitamin rumput laut yang diuraikan adalah melalui abstraksi atom hidrogen; sedangkan uraian mekanisme pada sulfat polisakarida dan fikobilin masih diselidiki. Selanjutnya, berbagai senyawa bioaktif dari beberapa spesies rumput laut, dan penelitian yang membuktikan kemampuan antioksidan rumput laut juga akan diuraikan.

Kata kunci: Senyawa Bioaktif, Rumput Laut, Antioksidan, Radikal Bebas

PENDAHULUAN

Kemampuan untuk memanfaatkan oksigen untuk proses metabolisme lemak, protein, dan karbohidrat menjadi energi merupakan hal yang penting bagi manusia (Percival, 1998). Oksigen memiliki fungsi sebagai akseptor terakhir elektron di mitokondria yang nantinya diubah menjadi H₂O dengan bantuan kompleks enzim NADH dehidrogenase. Proses transfer elektron ini menghasilkan oksigen yang sangat reaktif, yang meliputi anion superoksida (O₂^{•-}), hidrogen peroksida (H₂O₂), dan radikal hidroksil (OH[•]). Radikal-radikal oksigen ini secara kolektif dikenal dengan radikal bebas (Novo & Parola, 2008).

Radikal bebas memiliki kemampuan yang sangat berbahaya, yakni menyerang sel-sel tubuh yang sehat dan menyebabkan kerusakan dalam struktur dan fungsi (Percival, 1998). Kerusakan sel menginisiasi terjadinya penyakit akibat usia dan degenerasi seperti kanker, penyakit jantung, katarak, penurunan sistem imun, dan Alzheimer (Sies dkk., 1992). Walaupun begitu, radikal bebas dapat dikontrol secara alami oleh berbagai senyawa yang menguntungkan atau dikenal sebagai antioksidan. Antioksidan mampu untuk menstabilkan atau menonaktifkan radikal bebas sebelum mereka menyerang sel. Antioksidan yang dihasilkan oleh tubuh memiliki keterbatasan sehingga perlu suplai antioksidan dari luar tubuh (Percival, 1998). Salah satu sumber antioksidan dari luar tubuh dan bersifat alami adalah rumput laut. Review ini membahas tentang jenis-jenis senyawa bioaktif dari rumput laut yang berfungsi sebagai antioksidan dan mekanisme penetralan radikal bebas yang berkaitan dengan struktur kimia yang dimiliki, dengan tujuan memperkaya pemahaman tentang senyawa-senyawa bioaktif rumput laut yang dapat dijadikan sebagai salah satu sumber alami antioksidan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radikal Bebas dan Sumbernya

Radikal bebas adalah molekul yang kehilangan salah satu elektron pada lapisan terluarnya (Gilbert, 2000), sehingga mereka cenderung mencari dan menangkap elektron dari molekul yang lain untuk menetralkan diri mereka (Percival, 1998). Radikal bebas dapat berupa *Reactive oxygen species* (ROS) dan *Reactive nitrogen species* (RNS). Contoh ROS adalah anion superoksida (O₂^{•-}), hidrogen peroksida (H₂O₂), radikal hidroksil (OH[•]), radikal peroksil (ROO[•]), hidroperoksida organik



(ROOH), singlet oksigen ($^1\text{O}_2$), ozon (O_3). Contoh RNS adalah nitrik oksida (NO^\bullet), peroksida nitrit (ONOO^\bullet), asam *peroxynitrous* (ONOOH), nitrogen dioksida (NO_2) (Devasagayam dkk., 2004).

Sumber radikal bebas dalam tubuh adalah mitokondria, NADPH oksidase, dan 5-lipooksigenase. Uraian masing-masing sumber radikal bebas terdapat pada sub bab berikut :

Mitokondria

Proses respirasi sel yang terjadi di mitokondria menghasilkan radikal bebas, yakni *semiquinone* atau *ubisemiquinone*. Setelah itu, terjadi proses transpor elektron ke oksigen yang menghasilkan molekul radikal anion superoksida ($\text{O}_2^{\bullet-}$). $\text{O}_2^{\bullet-}$ selanjutnya diubah oleh enzim dismutase (SOD) menjadi H_2O_2 . H_2O_2 dapat membentuk radikal hidroksil (OH^\bullet) dalam mitokondria. ROS ini sendiri dapat menyebabkan kerusakan DNA mitokondria, membran lipid, dan protein; yang kemudian berimplikasi pada disfungsi mitokondria dan kematian sel (Kowaltowski & Vercesi, 1999; Novo & Parola, 2008).

NADPH oksidase

NADPH oksidase merupakan kompleks enzim membrane-coupled pada sel fagositik maupun sel non fagositik. Proses transfer elektron dari NADPH di dalam sel melalui membran menyebabkan terjadinya penggabungan elektron dan O_2 yang menghasilkan $\text{O}_2^{\bullet-}$, yang selanjutnya membentuk H_2O_2 (Novo & Parola, 2008). Walaupun menghasilkan radikal bebas, defisiensi NADPH oksidase dapat menyebabkan immunosupresi dan proses otokonogenesis terhenti. Peningkatan aktivitas dari NADPH oksidase menyebabkan berbagai penyakit seperti sakit jantung dan pembentukan *neurode* (Bedard & Krause, 2007).

5-Lipooksigenase

5-Lipooksigenase adalah enzim yang berfungsi untuk mensintesis leukotrin dari asam arakidonat yaitu asam lemak tidak jenuh pada komponen fosfolipid membran sel. Sedangkan, leukotrin adalah kelompok mediator lipid yang memiliki peran penting dalam proses aterosklerosis dan agen penting dalam respon inflamatori. Proses pembentukan leukotrin yang dikatalisis oleh enzim ini dapat menghasilkan $\text{O}_2^{\bullet-}$ yang selanjutnya diproses menjadi H_2O_2 (Novo & Parola, 2008; Radmark & Samuelsson, 2009).

Radikal bebas juga dapat diinduksi dari luar tubuh manusia baik secara langsung dan tidak langsung. Penginduksi itu berupa obat-obatan, radiasi ionisasi, asap rokok, dan logam berat diuraikan pada sub bab di bawah ini.

Obat-obatan

Obat-obatan merupakan salah satu penginduksi tidak langsung terbentuknya ROS yang selanjutnya menyebabkan disfungsi mitokondria. Ada sekitar 18 kelas obat-obatan yang diketahui dapat meningkatkan produksi ROS, sebagai contohnya adalah *aspirin* dan *tetracycline*. (Neustadt & Pieczenik, 2008).

Radiasi ionisasi

Radiasi dari sinar-X dan sinar γ merupakan penyebab terbentuk radikal bebas terutama radikal hidroksil. Pembentukan radikal hidroksil dapat terjadi secara langsung dengan proses oksidase molekul air, atau secara tidak langsung dengan membentuk molekul transisi sebelum diubah menjadi radikal hidroksil di dalam sel (Riley, 1994). Sebagai contoh proses tidak langsung adalah radiasi ionisasi yang dilakukan terhadap sel mamalia menghasilkan hidrogen peroksida (Dayal dkk., 2008), selanjutnya hidrogen peroksida berinteraksi dengan radikal bebas yang lain dan membentuk molekul yang lebih reaktif (Novo & Parola, 2008).

Asap rokok

Asap rokok mengandung berbagai radikal bebas terutama radikal peroksil dan radikal nitrogen dioksida (NO_2^{\bullet}), yang dapat menyerang sel-sel sehat dan mengurangi jumlah antioksidan alami yang ada di dalam tubuh manusia. Selain itu tar rokok mengandung *hydroquinone* yang larut dalam lemak yang dapat membentuk H_2O_2 yang dapat menyebabkan kerusakan DNA. *Hydroquinone* dapat melepaskan besi dari feritin dalam sel paru-paru yang dapat mengakibatkan pendarahan kecil di dalamnya. Selain itu, asap rokok dapat menyebabkan iritasi pada makrofag di paru-paru yang menginduksi sel tersebut menghasilkan radikal bebas (Halliwell & Cross, 1994).

Logam berat



Studi hubungan logam berat dengan kesehatan telah banyak dilakukan dan hasilnya menunjukkan bahwa logam berat dapat menginduksi pembentukan radikal bebas. Pembentukan radikal bebas ini sangat berkaitan dengan munculnya berbagai penyakit. Besi, tembaga krom, kobalt, vanadium, kadmium, arsenik dan nikel merupakan jenis logam berat yang dapat memicu kehadiran radikal bebas. Walaupun demikian, beberapa jenis logam ini dibutuhkan oleh tubuh untuk proses metabolisme seperti besi, tembaga, krom, dan kobalt (Valko dkk., 2006).

Kerusakan Molekuler Akibat Radikal Bebas

Kehadiran radikal bebas dalam tubuh secara berlebihan dapat berakibat fatal karena dapat menyerang molekul-molekul biologis dalam tubuh kita. Akibat ikutan dari kerusakan ini adalah tidak berfungsinya sel sebagaimana mestinya. Disfungsi sel ini dapat menyebabkan kematian sel dan menghasilkan penyakit (Devasagayam dkk., 2004).

Membran Lipid dan Peroksidasi Lipid

Membran sel dari organisme hidup tersusun dari fosfolipid yang memiliki risiko besar untuk rusak akibat radikal bebas. Proses dekomposisi asam lemak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acid*), yakni omega-3 dan omega-6 dari membran fosfolipid dinamakan peroksidasi lipid. Interaksi radikal bebas dengan asam lemak jenuh ganda dan melibatkan ion logam transisi merupakan awal dari proses peroksidasi lipid. Proses ini menghasilkan radikal lipid yang menginisiasi proses dekomposisi membran sel yang berakibat pada kerusakan struktur sel pada akhirnya. Selain itu, salah satu molekul yang dihasilkan, yakni *malondialdehyde* dapat berikatan dengan DNA dan menginisiasi proses karsinogenesis atau proses pembentukan sel kanker (Devasagayam dkk., 2004; Novo & Parola, 2008). Beberapa studi menunjukkan bahwa peroksidasi lipid berkaitan dengan beberapa penyakit seperti neurodegenerasi dan berbagai penyakit yang berhubungan dengan proses inflamasi, infeksi, pencernaan serta nutrisi (Repetto dkk., 2012).

Kerusakan Protein

Radikal bebas dapat merusak protein melalui proses oksidasi protein. Akibat biologis dari oksidasi protein adalah enzim yang inaktif, pembentukan protein peroksida, terjadinya reaksi *cross-linking*, agregasi protein, pemutusan ikatan peptida, dan pembentukan karbonil protein (Davies, 2003). Walaupun sebagian besar protein yang teroksidasi secara cepat dihilangkan, namun akumulasi oksidasi protein berasosiasi dengan sejumlah penyakit (Devasagayam dkk., 2004). Sebagai contoh peningkatan karbonil protein yang terbentuk akibat oksidasi residu protein yang mana lisin, arginin, prolin, dan treonin ditemukan pada penderita penyakit Alzheimer, sklerosis lateral amiotrofik, katarak, sistemik amiloidosis, distrofi otot, Parkinson, progeria, sindrom Werner, radang sendi, dan sindrom gagal nafas (Stadtman, 2001).

Kerusakan DNA

Di antara ROS, radikal hidroksil sangat reaktif dengan DNA melalui penambahan ikatan rangkap pada basa DNA dan melalui pemisahan atom H dari kelompok metil timin serta setiap ikatan C-H dari 2-deoksiribosa. Biasanya kerusakan ini dapat diatasi dengan proses perbaikan DNA yang secara alami, namun level dari basa DNA yang teroksidasi bisa meningkat bila terekspos H_2O_2 dan oksidator lain secara berlebihan di dalam sel. Hal inilah yang dapat menginduksi terjadinya mutasi genetik yang menyebabkan timbulnya berbagai penyakit (Cooke dkk., 2003).

Kerusakan molekuler yang disebabkan oleh radikal bebas dapat diatasi apabila radikal bebas tersebut dinetralkan. Antioksidan merupakan senyawa yang dapat mengatasi hal tersebut. Rumput laut mengandung berbagai senyawa yang dapat berfungsi sebagai antioksidan, di antaranya karotenoid, fenol dan turunannya, pigmen fikobilin, sulfat polisakarida, dan vitamin (Tabel 1). Uraian senyawa antioksidan rumput laut dipaparkan pada sub bab di bawah ini.

Karotenoid

Karotenoid merupakan pigmen yang larut lemak, yang memiliki selang warna dari kuning sampai merah. Karotenoid merupakan golongan tetraterpenoid, yang dibagi dalam dua kelompok besar yakni karoten dan ksantofil (Shahidi & Alasalvar, 2011). Karotenoid dapat menetralkan radikal bebas dengan tiga mekanisme yakni (1) melalui elektron transfer, (2) abstraksi hidrogen, dan (3) penambahan spesies radikal. Proses ini akan menghasilkan molekul karotenoid yang bersifat radikal



yang dapat meluruh menjadi produk yang stabil dalam waktu singkat dengan melepaskan panas (Krinsky & Yeum, 2003).

Setiap kelas rumput laut memiliki perbedaan rasio akumulasi jenis karotenoid. Contohnya fukosantin yang merupakan salah satu jenis karotenoid memiliki akumulasi yang tinggi pada rumput laut coklat, sedangkan β -karoten akumulasinya cukup tinggi pada beberapa jenis rumput laut merah (McDermid & Stuercke, 2003; Miyashita, 2009). Akumulasi karotenoid dalam rumput laut dapat dimanfaatkan sebagai antioksidan. Kemampuan antioksidan dari rumput laut menunjukkan peran dalam mencegah penyakit yang berhubungan dengan stres oksidatif (Cornish & Garbary, 2010).

Senyawa Fenol dan Polifenol

Senyawa fenol adalah senyawa yang memiliki satu atau lebih kelompok hidroksil yang berikatan langsung dengan satu cincin aromatik. Pada senyawa polifenol terdapat lebih dari satu kelompok hidroksil fenol yang berikatan dengan satu atau lebih cincin aromatik. Adanya cincin aromatik mempengaruhi kestabilan ikatan atom oksigen dengan atom hidrogen pada kelompok hidroksil. Sifat inilah yang menyebabkan golongan fenol dan polifenol termasuk salah satu senyawa yang berfungsi sebagai antioksidan. Dalam prosesnya, golongan ini cenderung berfungsi sebagai donor hidrogen kepada radikal bebas dan radikal fenol, sehingga membentuk senyawa stabil yang tidak mempengaruhi molekul-molekul biologis lainnya (Vermerris & Nicholson, 2006).

Pada rumput laut coklat akumulasi senyawa dari golongan polifenol, yakni florotanin memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi terhadap radikal bebas. Total antioksidan dari florotanin 0,5 sampai 1,5 kali lebih tinggi dibandingkan dengan vitamin E sebagai kontrol secara *in vitro*. Besarnya aktivitas antioksidan total dari setiap jenis florotanin sangat tergantung dari kekhususan struktur yang dimiliki (Li dkk., 2009). Selain itu, florotanin dari beberapa spesies rumput laut, yakni *Ecklonia cava*, *E. kurome*, *Eisenia bicyclis*, dan *Hizikia fuciformis* memiliki kemampuan untuk menetralkan H_2O_2 (Kang dkk., 2005; Shibata dkk., 2009). Identifikasi kemampuan antioksidan dari 16 jenis rumput laut dari perairan Denmark menunjukkan bahwa *Polysiphonia fucoides* dan semua jenis *Fucus* yang diuji memiliki aktivitas antioksidan yang tinggi dan sebanding dengan tingginya komposisi fenol yang dimiliki (Farvin & Jacobsen, 2013). Pembahasan di atas menunjukkan bahwa senyawa fenol dan polifenol merupakan antioksidan yang potensial dari rumput laut.

Pigmen Fikobilin

Fikobilin adalah pigmen fotosintesis yang terkandung di dalam sianobakteri dan alga merah. Pigmen ini berikatan dengan protein yang larut air, yakni fikobiliprotein, yang berfungsi dalam menangkap energi cahaya untuk proses fotosintesis. Ada beberapa tipe fikobilin, yakni fikorobilin, fikoeritrin, kriptoviolin, dan fikosianobilin. Struktur fikobilin tersusun dari empat cincin terbuka pirol. Studi aktivitas antioksidan dari fikoeritrin *Porphyra* sp. menunjukkan kapasitasnya dalam menangkal radikal bebas 2,7 kali lebih besar dari ekstrak kasarnya sendiri (Yabuta dkk., 2010). Hal ini menunjukkan bahwa golongan fikoeritrin dari rumput laut coklat memiliki aktivitas antioksidan, walaupun mekanisme penetralan radikal bebas masih belum bisa dimengerti.

Tabel 1. Senyawa bioaktif yang dapat diisolasi dari rumput laut

No	Kategori Umum	Jenis Bioaktif Utama yang teridentifikasi	Sumber Rumput Laut	Referensi
1	Karotenoid	β -karoten, fukosantin, zeasantin, lutein, violasantin, neosantin.	<i>Fucus serratus</i> , <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Fucus distichus</i> , <i>Fucus spiralis</i> , <i>Sargassum muticum</i> , <i>Saccharina latissima</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Dictyota dichotoma</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Ulva lactuca</i> , <i>Palmaria palmate</i> , <i>Porphyra purpurea</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Mastocarpus stellatus</i> , <i>Polysiphonia fucoides</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> , <i>Kappaphycus alvarezzi</i> (Doty),	(Fayaz dkk., 2005; Fung dkk., 2013; Miyashita & Hosokawa, 2008; Shanab, 2007; Wang



			<i>Sargassum dentifolium</i> , <i>Laurencia papillosa</i> , <i>Jania corniculata</i> .	dkk., 2011)
2	Fenol dan Polifenol	<i>Gallic</i> , <i>Protocatechuic</i> , <i>Gentisic</i> , <i>Hydroxybenzoic</i> , <i>Chlorogenic</i> , <i>Vanilic</i> , <i>Syringic</i> , <i>Caffeic</i> , <i>Salicylic</i> , <i>Caoumaric</i> , <i>Ferulic</i> , <i>Phlorotannins</i>	<i>Fucus serratus</i> , <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Fucus distichus</i> , <i>Fucus spiralis</i> , <i>Sargassum muticum</i> , <i>Saccharina latissima</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Dictyota dichotoma</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Ulva lactuca</i> , <i>Palmaria palmate</i> , <i>Porphyra purpurea</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Mastocarpus stellatus</i> , <i>Polysiphonia fucoides</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> , <i>Turbinaria conoides</i> , <i>Turbinaria ornate</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ecklonia kurome</i> , <i>Ecklonia stolonifera</i> , <i>Eisenia bicyclis</i> , <i>Eisenia arborea</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Sargassum kjellmanianum</i> , <i>Sargassum ringgoldianum</i> , <i>Sargassum siliquastrum</i> , <i>Ishige okamurae</i>	(Chakraborty dkk., 2013; Farvin & Jacobsen, 2013; Kang dkk., 2005; Li dkk., 2009; Shibata dkk., 2009; Wang dkk., 2011)
3	Pigmen fikobilin	Fikoeritrin, fikosianin	<i>Porphyra</i> sp.	(Yabuta dkk., 2010)
4	Sulfat polisaka rida	Fukoidan, alginat, laminarin, galaktan, sulfat glikosaminoglikan , porpiran	<i>Laminaria japonica</i> , <i>Ecklonia cava</i> , <i>Ecklonia kurome</i> , <i>Undaria pinnatifida</i> , <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Fucus evanescens</i> , <i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Padina gymnospora</i> , <i>Dictyota menstrualis</i> , <i>Spatoglossum schroederi</i> , <i>Sargassum fusiforme</i> , <i>Sargassum thunbergii</i> , <i>Sargassum stenophyllum</i> , <i>Sargassum latifolium</i> , <i>Sargassum fulvellum</i> , <i>Gigartina skottsbergii</i> , <i>Chondrus ocellatus</i> , <i>Porphyra haitanesis</i> , <i>Gracilaria cornea</i> , <i>Grateloupia filicina</i> , <i>Grateloupia longifolia</i> , <i>Ulva pertusa</i> , <i>Ulva conglobata</i> , <i>Codium pugniformis</i> , <i>Codium cylindricum</i> , <i>Monostroma angicava</i> , <i>Monostroma latissimum</i> , <i>Monostroma nitidum</i> .	(Wang dkk., 2011)
5	Vitamin	Provitamin A, Vitamin C, Vitamin E	<i>Fucus serratus</i> , <i>Fucus vesiculosus</i> , <i>Fucus distichus</i> , <i>Fucus spiralis</i> , <i>Sargassum muticum</i> , <i>Saccharina latissima</i> , <i>Laminaria digitata</i> , <i>Dictyota dichotoma</i> , <i>Enteromorpha intestinalis</i> , <i>Ulva lactuca</i> , <i>Palmaria palmate</i> , <i>Porphyra purpurea</i> , <i>Chondrus crispus</i> , <i>Mastocarpus stellatus</i> , <i>Polysiphonia fucoides</i> , <i>Gracilaria vermiculophylla</i> .	(Farvin & Jacobsen, 2013; García-Casal dkk., 2009)

Sumber: (Cornish & Garbary, 2010) dengan modifikasi

Sulfat Polikarida

Sulfat polisakarida merupakan kumpulan dari suatu kompleks makromolekul dengan fungsi biologis yang sangat luas. Rumput laut merupakan salah satu sumber utama sulfat polisakarida yang tidak berasal dari hewan. Sulfat polisakarida sangat bervariasi untuk setiap kelas rumput laut, Rhodophyta, Phaeophyta, dan Chlorophyta. Pada Rhodophyta, sulfat polisakarida tersusun dari galaktan yang semuanya tersusun dari galaktosa atau modifikasi unit galaktosa. Fukoidan atau fukan merupakan sebutan untuk sulfat polisakarida pada Phaeophyta, yang tersusun dari molekul sulfat L-



fukosa yang menyebar. Pada Chlorophyta, heteropolisakarida atau homopolisakarida yang tersebar merupakan penyusun utama dari sulfat polisakarida (Costa dkk., 2010). Sulfat polisakarida dari rumput laut memiliki fungsi sebagai antioksidan, namun korelasi struktur molekul dengan fungsinya sebagai antioksidan masih terus dipelajari (Costa dkk., 2010).

Vitamin

Vitamin A, C dan E merupakan vitamin yang memiliki fungsi sebagai antioksidan. Vitamin A merupakan hasil pemotongan secara simetris dari β -karoten, sedangkan vitamin E termasuk golongan fenol. Kedua vitamin ini bersifat non polar, sedangkan vitamin C bersifat polar. Fungsi ketiga vitamin ini saling melengkapi, yang mana vitamin C biasanya berfungsi sebagai antioksidan dalam cairan tubuh dan fraksi cair sel, sedangkan vitamin A dan E di daerah lipofilik dan membran sel (FAO/WHO, 1998). Beberapa jenis rumput laut diketahui memiliki kandungan vitamin C, E dan prekursor vitamin A dalam jumlah yang bervariasi untuk tiap jenisnya dan memiliki kemampuan untuk menangkal radikal bebas (Farvin & Jacobsen, 2013; García-Casal dkk., 2009).

KESIMPULAN DAN SARAN

Senyawa bioaktif dari rumput laut seperti pigmen karotenoid berupa fukosantin dan β -karoten; fenol dan turunannya; pigmen fikobilin; sulfat polisakarida; dan vitamin (C, E dan prekursor vitamin A) memiliki kemampuan untuk menetralkan radikal bebas pada tumbuh manusia. Oleh karena itu, rumput laut dapat dijadikan sebagai salah sumber antioksidan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemdikbud) atas Beasiswa Unggulan BPKLN melalui kerja sama dengan Magister Biologi Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga di bidang klorofil dan pigmen.

DAFTAR PUSTAKA

- Bedard, K., & Krause, K. H. (2007). The NOX family of ROS-generating NADPH oxidases: physiology and pathophysiology. *Physiol. Rev.*, 87(1), 245-313.
- Chakraborty, K., Praveen, N. K., Vijayan, K. K., & Rao, G. S. (2013). Evaluation of phenolic contents and antioxidant activities of brown seaweeds belonging to *Turbinaria* spp.(Phaeophyta, Sargassaceae) collected from Gulf of Mannar. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, 3(1), 8-16.
- Cooke, M. S., Evans, M. D., Dizdaroglu, M., & Lunec, J. (2003). Oxidative DNA damage: mechanisms, mutation, and disease. *FASEB J.*, 17(10), 1195-1214.
- Cornish, M. L., & Garbary, D. J. (2010). Antioxidants from macroalgae: potential applications in human health and nutrition. *Algae*, 25(4), 155-171.
- Davies, M. J. (2003). Singlet oxygen-mediated damage to proteins and its consequences. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 305(3), 761-770.
- Dayal, D., Martin, S. M., Limoli, C. L., & Spitz, D. R. (2008). Hydrogen peroxide mediates the radiation-induced mutator phenotype in mammalian cells. *Biochem. J.*, 413(1), 185-191.
- Devasagayam, T. P., Tilak, J. C., Bloor, K. K., Sane, K. S., Ghaskadbi, S. S., & Lele, R. D. (2004). Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *J. Assoc. Physicians India*, 52, 794-804.
- FAO/WHO. (1998). *Vitamin and mineral requirements in human nutrition* (Ed. kedua). Cina: Sun Fung.
- Farvin, K. S., & Jacobsen, C. (2013). Phenolic compounds and antioxidant activities of selected species of seaweeds from Danish coast. *Food Chem.*, 138(2-3), 1670-1681.
- Fayaz, M., Namitha, K. K., Murthy, K. N., Swamy, M. M., Sarada, R., Khanam, S., Subbarao, P. V., & Ravishankar, G. A. (2005). Chemical composition, iron bioavailability, and antioxidant activity of *Kappaphycus alvarezzi* (Doty). *J. Agric. Food Chem.*, 53(3), 792-797.
- Fung, A., Hamid, N., & Lu, J. (2013). Fucoxanthin content and antioxidant properties of *Undaria pinnatifida*. *Food Chem.*, 136(2), 1055-1062.



- García-Casal, M. N., Ramírez, J., Leets, I., Pereira, A. C., & Quiroga, M. F. (2009). Antioxidant capacity, polyphenol content and iron bioavailability from algae (*Ulva* sp., *Sargassum* sp. and *Porphyra* sp.) in human subjects. *Br. J. Nutr.*, 101(01), 79-85.
- Gilbert, D. L. (2000). Fifty years of radical ideas. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 899, 1-14.
- Halliwell, B., & Cross, C. E. (1994). Oxygen-derived species: their relation to human disease and environmental stress. *Environ. Health Perspect.*, 102 Suppl 10, 5-12.
- Kang, K. A., Lee, K. H., Chae, S., Zhang, R., Jung, M. S., Lee, Y., Kim, S. Y., Kim, H. S., Joo, H. G., Park, J. W., Ham, Y. M., Lee, N. H., & Hyun, J. W. (2005). Eckol isolated from *Ecklonia cava* attenuates oxidative stress induced cell damage in lung fibroblast cells. *FEBS Lett.*, 579(28), 6295-6304.
- Kowaltowski, A. J., & Vercesi, A. E. (1999). Mitochondrial damage induced by conditions of oxidative stress. *Free Radic. Biol. Med.*, 26(3-4), 463-471.
- Krinsky, N. I., & Yeum, K. J. (2003). Carotenoid-radical interactions. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 305(3), 754-760.
- Li, Y., Qian, Z. J., Ryu, B., Lee, S. H., Kim, M. M., & Kim, S. K. (2009). Chemical components and its antioxidant properties in vitro: an edible marine brown alga, *Ecklonia cava*. *Bioorg. Med. Chem.*, 17(5), 1963-1973.
- McDermid, K. J., & Stuercke, B. (2003). Nutritional composition of edible Hawaiian seaweeds. *J. Appl. Phycol.*, 15(6), 513-524.
- Miyashita, K. (2009). The carotenoid fucoxanthin from brown seaweed affects obesity. *Lipid Technology*, 21(8 - 9), 186-190.
- Miyashita, K., & Hosokawa, M. (2008). Beneficial health effects of seaweed carotenoid, fucoxanthin. Dalam C. Barrow & F. Shahidi (Eds.), *Marine Nutraceuticals and Functional Foods*. Boca Raton: CRC Press – Taylor & Francis Group.
- Neustadt, J., & Pieczenik, S. R. (2008). Medication-induced mitochondrial damage and disease. *Mol. Nutr. Food Res.*, 52(7), 780-788.
- Novo, E., & Parola, M. (2008). Redox mechanisms in hepatic chronic wound healing and fibrogenesis. *Fibrogenesis Tissue Repair*, 1(1), 5.
- Percival, M. (1998). Antioxidants. *Clin. Nutr. Ins.*, 31, 1-4.
- Radmark, O., & Samuelsson, B. (2009). 5-Lipoxygenase: mechanisms of regulation. *J. Lipid Res.*, 50 Suppl, S40-45.
- Repetto, M., Semprine, J., & Boveris, A. (2012). Lipid Peroxidation: Chemical Mechanism, Biological Implications and Analytical Determination. Dalam A. Catala (Ed.), *Lipid Peroxidation*. Kroasia: InTech
- Riley, P. A. (1994). Free radicals in biology: oxidative stress and the effects of ionizing radiation. *Int. J. Radiat. Biol.*, 65(1), 27-33.
- Shahidi, F., & Alasalvar, C. (2011). Nutraceuticals and bioactives from marine algae. Dalam C. Alasalvar, F. Shahidi, K. Miyashita & U. Wanasundara (Eds.), *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd Publication.
- Shanab, S. M. (2007). Antioxidant and antibiotic activities of some seaweeds (Egyptian isolates). *Int. J. Agric. Biol.*, 9(2), 220-225.
- Shibata, T., Ishimaru, K., Kawaguchi, S., Yoshikawa, H., & Hama, Y. (2009). *Antioxidant activities of phlorotannins isolated from Japanese Laminariaceae*. Paper presented at the Nineteenth International Seaweed Symposium.
- Sies, H., Stahl, W., & Sundquist, A. R. (1992). Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 669, 7-20.
- Stadtman, E. R. (2001). Protein oxidation in aging and age-related diseases. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 928, 22-38.
- Valko, M., Rhodes, C. J., Moncol, J., Izakovic, M., & Mazur, M. (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chem. Biol. Interact.*, 160(1), 1-40.
- Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). *Phenolic Compound Biochemistry* (Ed.). Belanda: Springer.



Wang, T., Olafsdottir, G., Jonsdottir, R., Kristinsson, H. G., & Johannsson, R. (2011). Functional and nutraceutical ingredients from marine macroalgae. Dalam C. Alasalvar, F. Shahidi, K. Miyashita & U. Wanasundara (Eds.), *Handbook of Seafood Quality, Safety and Health Applications*. UK: John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Yabuta, Y., Fujimura, H., Kwak, C. S., Enomoto, T., & Watanabe, F. (2010). Antioxidant activity of the phycoerythrobilin compound formed from a dried Korean purple laver (*Porphyra* sp.) during in vitro digestion. *Food Sci. Technol. Res.*, 16(4), 347-352.

DISKUSI

Penanya 1: Aisyah Hadi Ramadani

Pertanyaan :

Apakah semua rumput laut berasal dari Indonesia?

Jawab:

Tidak semua rumput laut berasal dari Indonesia.

