

Kandungan Fenol dan Aktivitas Antioksidan Makroalga Benthik *Caulerpa racemosa* (Forsskal) dari Teluk Hurun, Lampung

Phenol Content and Antioxidant Activity of Benthic Macroalga *Caulerpa racemosa* (Forsskal) from Hurun Bay, Lampung

Joko Santoso^{1*}, Diini Fitriani², dan Yusli Wardiatno³

¹Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor 16680

²Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan

Badan Riset Kelautan dan Perikanan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta 10260

³Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB, Bogor 16680

E-mail: joko2209@yahoo.com * Penulis untuk korespondensi

Abstract

Caulerpa racemosa is a green benthic macroalga that mainly grows in tropical regions which is expected to bask of strong ultraviolet radiation from sunlight. This circumstance can cause to increase levels of reactive radical species. To reduce and/or protect, organism like macroalga may change its metabolism and stimulate to produce some active compounds, therefore, tropical macroalgae are estimated possessing a large number of active compounds such as antioxidant. In this experiment, edible green benthic macroalga *Caulerpa racemosa* grown in different water condition were used. The content of total phenol and antioxidant activity of ethyl acetate extract were performed. Pearson correlation between waters condition and antioxidant activities *i.e.* total phenol and DPPH inhibition were also analyzed. *Caulerpa racemosa* grown in station 2, exposed in strong radiation from sunlight, had the highest content of total phenol and percentage of DPPH inhibition, with their values were 12.60% and 46.43% respectively. Sunlight intensity in waters had strong positive correlation to the total phenol content and reducing activity of DPPH, however, parameters of nitrate and ammonia had strong negative correlation.

Key words: Antioxidant, *Caulerpa racemosa*, DPPH, macroalga, phenol

Abstrak

Caulerpa racemosa adalah makroalga hijau benthik, terutama tumbuh di daerah tropis yang mendapat paparan kuat radiasi ultraviolet dari sinar matahari. Kondisi tersebut dapat menyebabkan meningkatnya jumlah senyawa reaktif radikal. Untuk mengurangi dan/atau melindungi diri, organisme seperti makroalga mengubah metabolismenya dan menstimulasi pembentukan beberapa senyawa aktif, sehingga makroalga tropis diduga mempunyai kandungan senyawa aktif seperti antioksidan. Dalam penelitian ini, makroalga hijau benthik *Caulerpa racemosa* yang tumbuh di kondisi perairan berbeda digunakan. Kandungan total fenol dan aktivitas antioksidan ekstrak etil asetat diuji. Korelasi Pearson antara kondisi perairan dan aktivitas antioksidan yaitu total fenol dan penghambatan DPPH juga dianalisis. *Caulerpa racemosa* yang tumbuh di stasiun 2, mendapat paparan radiasi kuat dari sinar matahari, mempunyai kandungan total fenol dan persen penghambatan DPPH tertinggi, dengan nilai berturut-turut 12,60% dan 46,43%. Intensitas sinar matahari perairan mempunyai korelasi positif kuat terhadap kandungan total fenol dan penurunan aktivitas DPPH, sedangkan parameter nitrat dan amonia mempunyai korelasi negatif kuat.

Kata kunci: Antioksidan, *Caulerpa racemosa*, DPPH, makroalga, fenol

Diterima: 08 Maret 2010, disetujui: 01 September 2010

Pendahuluan

Antioksidan secara umum didefinisikan sebagai senyawa yang dapat menunda atau

mencegah oksidasi lemak atau molekul lain dengan menghambat proses inisiasi atau propagasi reaksi rantai oksidatif (Rohman *et al.*, 2006; Nielsen dan Jacobsen, 2009).

Berdasarkan sumbernya, antioksidan dikelompokkan menjadi dua yaitu antioksidan endogen yang diproduksi tubuh dan antioksidan eksogen yang harus dipasok dari luar melalui asupan makanan (Wresdiyati *et al.*, 2004 dan 2005). Antioksidan yang dihasilkan tubuh berupa enzim seperti katalase, hidrogen peroksidase dan superoksida dismutase (Food dan Nutrition Board, 2000; Kumalaningsih, 2006; Je *et al.*, 2009); sedangkan antioksidan yang diperoleh dari asupan makanan dapat digolongkan menjadi antioksidan zat gizi (vitamin A, C, E, mineral Se) dan antioksidan non-gizi (senyawa fenol) (Papas, 1999; Kaur dan Kapoor, 2001; Marin *et al.*, 2004). Selain itu ada juga antioksidan sintetis yang sering digunakan dalam bahan pangan. Dua jenis antioksidan sintetis yang umum digunakan adalah *butylated hydroxyanisole* (BHA) dan *butylated hydroxytoluene* (BHT) (Winarno, 1997; Farag *et al.*, 1989).

Penggunaan BHA dan BHT saat ini berangsur-angsur digantikan oleh antioksidan alami yang dinilai lebih aman, sehingga penelitian dalam pencarian sumber-sumber antioksidan alami banyak dilakukan. Sampai saat ini ada satu pemahaman bahwa antioksidan alami adalah senyawa fenolik yang terdapat pada seluruh bagian tanaman meliputi senyawa flavonoid, asam sinamat, kumarin, tokoferol, karotenoid, dan asam polifungsional organik (Shahidi dan Wanasundara, 1992).

Salah satu sumber antioksidan alami yang berpotensi untuk dikaji lebih dalam adalah rumput laut yang termasuk ke dalam kelompok makroalga benthik. Penelitian membuktikan bahwa rumput laut memproduksi senyawa antioksidan seperti pada jenis *Sargassum polycystum*, *Sargassum marginatum*, *Padina tetrastimatica*, *Turbinaria conoides* (Santoso *et al.*, 2004; Chandini *et al.*, 2008); *Ulva lactuca*, *Ulva reticulata* (Santoso *et al.*, 2004; Abd El-Baky *et al.*, 2009); *Porphyra* sp (Yoshiki *et al.*, 2009; Lopez-Lopez *et al.*, 2009); *Kappaphycus alvarezii* (Kumar *et al.*, 2008); *Undaria pinnatifida* (Je *et al.*, 2009); *Caulerpa sertularoides*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa lentilifera* (Santoso *et al.*, 2004; Santoso *et al.*, 2009; Santoso *et al.*, 2010). Senyawa antioksidan pada rumput laut termasuk golongan metabolit sekunder yaitu berbagai senyawa

kimiawi yang tidak secara nyata mempunyai fungsi primer dalam pertumbuhan sel tanaman, tetapi disintesis sebagai respons terhadap rangsangan dari luar dan seringkali memerankan fungsi pengaturan pada reaksi fisiologis dan metabolisme terhadap stres, serangan hama atau pengganggu (Brandt dan Molgaard, 2001; Benbrook, 2005).

Pada penelitian ini digunakan rumput laut *Caulerpa racemosa* dari kelompok alga hijau yang dimanfaatkan oleh sebagian penduduk lokal daerah pesisir di Indonesia sebagai sayuran (Kadi, 1996; Kadi, 2000). Belum adanya informasi tentang pengaruh lingkungan perairan terhadap kandungan dan aktivitas senyawa antioksidan *Caulerpa racemosa* khususnya yang tumbuh di perairan Indonesia, melatarbelakangi perlunya dilakukan penelitian. Penelitian bertujuan meneliti pengaruh kondisi lingkungan perairan terhadap kandungan senyawa fenol rumput laut *Caulerpa racemosa* dan menganalisis aktivitas antioksidan.

Metode Penelitian

Waktu dan Tempat

Penelitian dibagi menjadi dua tahap yaitu penelitian lapangan dan laboratorium. Penelitian dilakukan pada tanggal 28 April–12 Mei 2009 bertempat di Teluk Hurun, Lampung (Gambar 1) dengan tiga stasiun pengambilan sampel yaitu stasiun 1 (posisi 105° 14' 988" LS dan 05° 31' 360 " BT), stasiun 2 (posisi 105° 15' 657" LS dan 05° 31' 090" BT), dan stasiun 3 (posisi 105° 16'98" LS dan 05° 31'384" BT). Penetapan stasiun pengambilan sampel didasarkan pada perbedaan kondisi perairan seperti kedalaman, jarak dari bibir pantai, substrat tempat tumbuh, dan paparan sinar matahari yang diduga memengaruhi pembentukan senyawa antioksidan (Benbrook, 2005; Moore *et al.*, 2006).

Selama periode penelitian lapangan, dilakukan pengamatan kondisi lingkungan perairan ketiga stasiun secara *in situ* yaitu pengukuran suhu, salinitas, kecerahan, kecepatan arus, oksigen terlarut, intensitas cahaya, dan kedalaman. Selain itu juga dilakukan analisis kualitas air di laboratorium meliputi pH, nitrat, fosfat dan amonia.

Penelitian laboratorium diawali dengan pengamatan secara visual kondisi rumput laut di ketiga stasiun. Dilanjutkan dengan pengambilan sampel, pencucian, pengeringan dengan sinar matahari dan ekstraksi rumput laut serta evaluasi karakteristik antioksidan.

Bahan dan Alat

Jenis pelarut yang digunakan dalam ekstraksi senyawa antioksidan *Caulerpa racemosa* yang berasal dari ketiga stasiun penelitian adalah etil asetat. Bahan-bahan kimia untuk analisis kualitas air (kandungan nitrat, fosfat dan amonia) adalah sodium arsenat, brucine, asam sulfat, ammonium molibdat, fenol, dan sodium nitroposida. Bahan-bahan kimia untuk analisis kandungan total fenol meliputi natrium hidroksida, bromat bromida, asam klorida pekat, kalium iodida dan amilum. Bahan-bahan kimia untuk uji aktivitas antioksidan dengan metode DPPH adalah *1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl* (DPPH), asam askorbat sebagai kontrol positif, buffer asetat dan metanol *pro-analysis* sebagai pelarut. Bahan-bahan kimia tersebut diperoleh dari Merck Darmstadt Germany; Sigma Chemical Corp. St Louis, MO USA; dan Wako Pure Chemical Industries Ltd. Osaka Japan.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi refraktometer, *stopwath*, *DO-meter*, termometer, *lux-meter*, neraca

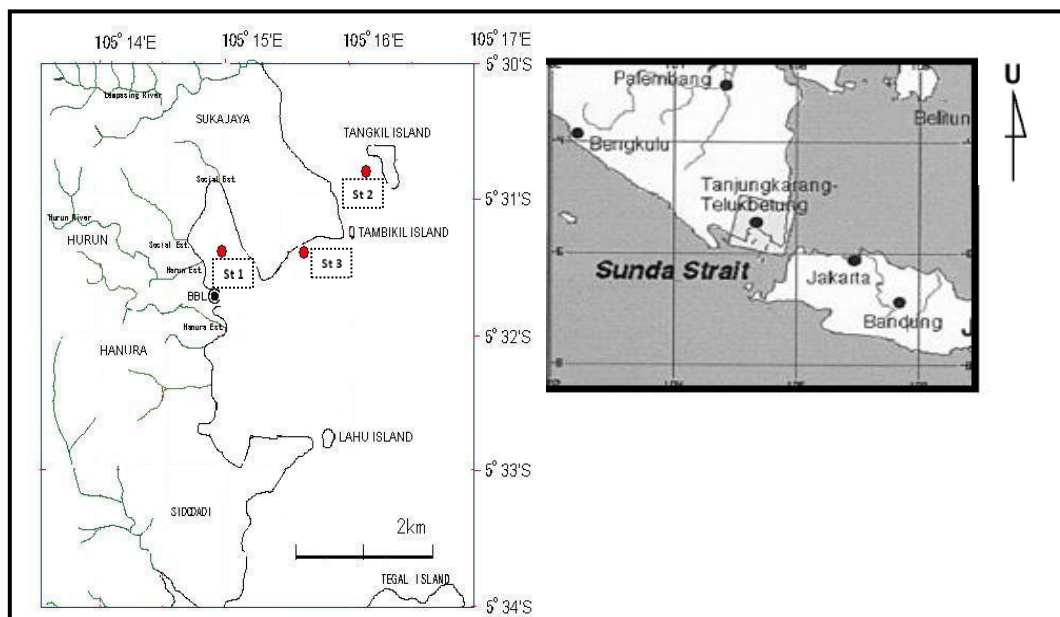
analitik, *blender*, cawan mortar, cawan porselen, sonikator, sentrifuse, *magnetic stirrer*, *hot plate*, kertas saring kasar, kertas saring Whatman no. 42, botol ekstrak sampel 15 ml dan 60 ml, botol vial 75 ml, peralatan gelas, inkubator, *vaccum rotary evaporator*, *waterbath*, *micropipette* dan spektrofotometer *UV-Visible* (UV-Vis) Hitachi U-2800.

Pengamatan Rumput Laut Segar

Pengamatan rumput laut segar dilakukan secara visual dengan melihat kesegaran, warna thallus dan bentuk buah, serta rangkaian thallus. Selain itu juga diukur panjang thallus (*frond*) dan pengamatan habitat tempat tumbuhnya rumput laut (Kadi, 1996; Kadi, 2000).

Preparasi Rumput Laut Kering

Preparasi rumput laut kering diawali dengan pembersihan dan pencucian rumput laut segar menggunakan air laut untuk menghilangkan berbagai macam benda asing seperti batu-batuan, lumpur, dan rumput laut jenis lainnya. Selanjutnya diperkecil ukurannya dan dikeringkan di bawah sinar matahari hingga kering. Rumput laut kering, dihaluskan dengan *blender* dan disimpan dalam wadah gelas tertutup (Santoso et al., 2009; Santoso et al., 2010).



Gambar 1. Lokasi stasiun pengambilan sampel di Teluk Hurun Lampung.

Ekstraksi Rumput Laut

Ekstraksi yang dilakukan adalah ekstraksi tunggal, menggunakan pelarut etil asetat. Prosedur ekstraksi mengacu pada metode Santoso *et al.*, (2004) dengan modifikasi. Sampel kering ditimbang sebanyak 2 g, ditambahkan pelarut etil asetat sebanyak 20 ml dan dilakukan sonikasi selama 5 menit. Dilakukan penambahan pelarut sebanyak 25 ml, dimaserasi selama 24 jam pada suhu ruang dengan *magnetic stirer* dan tahap terakhir adalah sonikasi kedua selama 5 menit. Selanjutnya, dilakukan sentrifugasi selama 10 menit pada 6000 rpm dan 4°C, difiltrasi menggunakan kertas saring Whatman nomor 42. Filtrat yang dihasilkan dievaporasi dengan *vaccum rotary evaporator* pada suhu 40°C sampai ekstrak menjadi pasta. Ekstrak kasar yang diperoleh dilakukan analisis kandungan total fenol dan uji aktivitas antioksidan menggunakan metode *1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl* (DPPH).

Analisis Parameter Fisika dan Kimia Perairan

Pengukuran suhu dan salinitas masing-masing dilakukan dengan TM 6801B digital termometer dan portabel refraktometer FG 211. Pengukuran kecerahan dilakukan dengan *sechidish*. Kecepatan arus diukur dengan menggunakan alat pengukur arus dari kayu yang berbentuk silang dan *stopwacth*. Pengukuran oksigen terlarut dilakukan dengan *Ion Catch SLC DO-meter*. Pengukuran intensitas cahaya dengan LUX/FC *Light-meter* DL-204. Pengukuran pH dilakukan dengan mengacu metode elektrometri (APHA, 1998), nitrat dengan metode brucine (APHA, 1998), fosfat dan amonia dengan metode spektrofotometri (Byod, 1979; APHA 1998).

Analisis Kandungan Total Fenol

Kandungan total fenol diukur secara kolorimetri (AOAC, 1995) yaitu mereaksikan sampel dengan natrium hidroksida, bromat bromida, asam klorida pekat, kalium iodida dan amilum sebagai indikator. Selanjutnya, dilakukan titrasi menggunakan sodium tiosulfat sampai sampel berubah warna menjadi bening. Total fenol dihitung dengan rumus:

$$\text{Total Fenol (\%)} = \frac{(a - b) \times N \text{ tiosulfat} \times (\text{BM fenol}/6) \times 1000}{0,1 \times \text{berat sampel (g)}} \times 100\%$$

Keterangan :

a = volume titrasi larutan tiosulfat dalam sampel (ml)

b = volume titrasi larutan tiosulfat dalam blanko (ml)

6 = jumlah atom brom yang digunakan dalam proses bromisasi

Uji Aktivitas Antioksidan dengan Metode DPPH

Aktivitas antioksidan diukur berdasarkan kemampuan penghambatan radikal bebas *1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl* (DPPH), Molyneux (2004) dengan modifikasi. Sebanyak 45 µL ekstrak rumput laut dicampur dengan 1,50 mL buffer asetat 0,10 M pH 7; ditambah dengan 2,905 ml metanol dan 150 µL DPPH yang memiliki konsentrasi 1 mg/mL. Larutan dikocok dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 20 menit dalam kondisi gelap. Asam askorbat (1-16 mg/mL) digunakan sebagai kontrol positif. Absorbansi yang dihasilkan diukur menggunakan spektrofotometer *UV-Visible* pada panjang gelombang 517 nm. Aktivitas penangkapan terhadap radikal bebas ditetapkan sebagai persentase penghambatan dihitung berdasarkan persamaan:

$$\text{Penghambatan (\%)} = \frac{AB - AS}{AB} \times 100\%$$

Keterangan:

AB = absorbansi blanko

AS = absorbansi larutan substrat atau sampel

Analisis Data

Data dianalisis dengan analisis ragam, faktor tunggal yaitu lokasi pengambilan sampel (stasiun) dengan menggunakan uji lanjut Duncan. Hasil analisis parameter fisika kimia air yang menunjukkan beda nyata antarstasiun dikorelasikan dengan dua parameter yaitu total fenol dan aktivitas antioksidan, menggunakan uji korelasi Pearson (Steel dan Torrie, 1980). Analisis ragam dan uji Duncan dilakukan dengan menggunakan *software* SPSS 13, sedangkan analisis korelasi Pearson dilakukan dengan Microsoft Office Excel 2007.

Hasil dan Pembahasan

Parameter Fisika Kimia Perairan

Hasil pengukuran kualitas fisika dan kimia perairan selama periode 28 April–12 Mei 2009 di ketiga stasiun penelitian tertera pada Tabel 1.

Parameter kecepatan arus, cahaya, nitrat, amonia dan oksigen terlarut dipengaruhi oleh lokasi pengamatan; sedangkan parameter suhu, salinitas, pH dan fosfat tidak dipengaruhi oleh lokasi pengamatan.

Komposisi dan distribusi dari jenis alga laut berhubungan dengan kemampuan dari tiap-tiap jenis dalam mentoleransi kondisi lingkungan juga berhubungan dengan variasi pasang surut (Huckle *et al.*, 2000). Nilai rata-rata kecepatan arus pada stasiun 3 lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun lainnya terkait dengan lokasi stasiun 3 yang sejajar dengan pantai. Pada saat pasang, arus di lokasi diindikasikan sebagai arus momentum yang dipantulkan sejajar garis pantai di sekitar daerah *breaker line* (dekat stasiun 3), yang kemudian dibelokkan oleh arus massa air teluk dalam, yang hendak keluar teluk melalui ambang utara (Muchtar, 2005).

Rumput laut merupakan organisme yang memperoleh makanan melalui aliran air yang melewatinya. Gerakan air atau arus yang cukup akan menghindari terkumpulnya kotoran pada thallus, membantu pengudaraan (oksigen terlarut), dan mencegah adanya fluktuasi yang besar terhadap salinitas dan suhu air (Puja *et al.*, 2001).

Nilai kecepatan arus yang tinggi pada stasiun 2 juga menyebabkan nilai oksigen terlarut lebih tinggi dibandingkan dengan stasiun 1 dan 3. Kisaran rata-rata nilai oksigen terlarut 5,07–6,00 mg/mL mengindikasikan bahwa lokasi mengalami pencemaran ringan, terkait dengan adanya aktivitas *mariculture* yaitu budidaya ikan, kerang mutiara dan tambak udang. Lee *et al.*, (1978) mengelompokkan nilai oksigen terlarut antara 4,50–6,50 mg/L ke dalam perairan tercemar ringan, dan bila lebih dari 6,50 mg/L tergolong perairan yang tidak tercemar yang berarti masih alami.

Intensitas cahaya rata-rata tertinggi didapat pada stasiun 2, diikuti stasiun 3 dan 1. Tingginya intensitas cahaya matahari menurut Reyes dan Zevallos (2003) adalah salah satu pemicu stres yang dapat meningkatkan biosintesis kandungan senyawa fenol pada jaringan tanaman.

Kandungan nitrat, amonia, dan fosfat di stasiun 1 relatif lebih tinggi dibandingkan stasiun 2 dan 3. Tingginya nilai ini diduga terkait

dengan adanya aktivitas *mariculture* di sekitar lokasi di antaranya tambak udang, budidaya kerang mutiara, budidaya kerapu dan ikan lainnya.

Kondisi Fisik *Caulerpa racemosa*

Benbrook (2005) menyatakan bahwa kesehatan tanaman merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kandungan antioksidan tanaman, karena itu evaluasi terhadap kondisi fisik *Caulerpa racemosa* penting dilakukan. Perbandingan kondisi fisik *Caulerpa racemosa* (Tabel 2).

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pertumbuhan *Caulerpa racemosa* terbaik berturut-turut adalah pada stasiun 1, stasiun 2 dan stasiun 3. Hal berkaitan dengan tingginya kandungan nitrat, amonia dan fosfat di stasiun 1 sebagai akibat adanya aktivitas *mariculture* di sekitar lokasi. Davis *et al.*, (1997) menyatakan bahwa tingkat nitrogen yang tersedia dalam jumlah tinggi, menyebabkan tanaman cenderung tumbuh cepat dan memiliki ukuran besar.

Kandungan Total Fenol

Senyawa fenol merupakan senyawa yang banyak terdapat pada tanaman dan jenisnya sangat banyak. Beberapa di antaranya sudah diketahui struktur kimianya. Sebagian besar senyawa fenol dapat diidentifikasi dengan menggunakan sinar UV. Semua senyawa fenol memiliki gugus aromatik yang menyerap kuat pada spektrum sinar UV (Harborne, 1984). Gambar 2 menunjukkan bahwa kandungan total fenol ekstrak etil asetat rumput laut kering *Caulerpa racemosa* dipengaruhi secara nyata oleh lokasi pengambilan sampel. *Caulerpa racemosa* yang tumbuh di stasiun 2 mempunyai kandungan total fenol tertinggi yaitu 12,60% dan berbeda nyata dengan yang tumbuh di stasiun 1 (2,20%) dan 3 (3,10%).

Akumulasi senyawa fenol pada jaringan tanaman dapat disebabkan oleh berbagai stress abiotik seperti intensitas cahaya (Reyes dan Zevallos, 2003). Beberapa senyawa fenol yang berhasil diidentifikasi dari rumput laut marga *Caulerpa* yang tumbuh di perairan Indonesia dan Jepang adalah kelompok katekin terdiri dari galo-katekin, epi-katekin dan katekin-galat (Santoso *et al.*, 2002; Yoshie *et al.*, 2000).

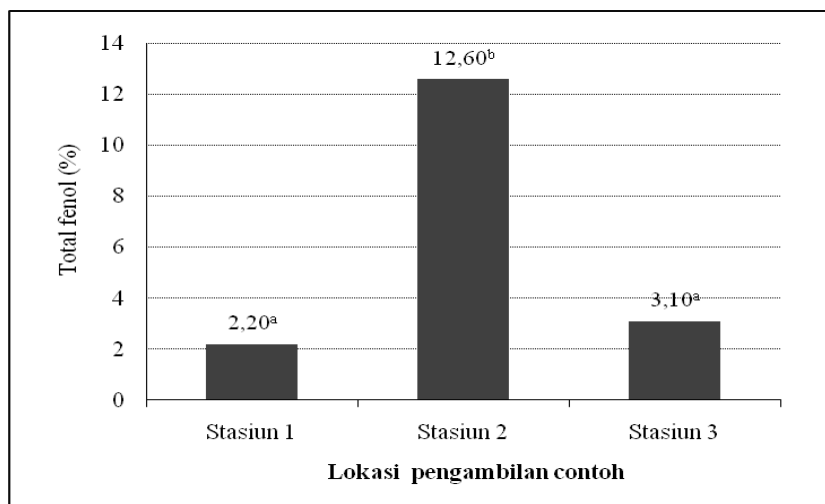
Tabel 1. Nilai parameter fisika kimia perairan.

Parameter	Satuan	Lokasi Pengamatan		
		Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
Suhu	°C	31,05 ^a	30,98 ^a	31,15 ^a
Salinitas	PSU	32,25 ^a	32,25 ^a	31,50 ^a
Arus	m/detik	0,10 ^a	0,15 ^{ab}	0,22 ^b
Intensitas cahaya	Lux	397 ^a	516 ^c	425 ^b
pH	-	8,11 ^a	8,12 ^a	8,10 ^a
Nitrat	mg/l	0,28 ^b	0,03 ^a	0,29 ^b
Amonia	mg/l	0,32 ^b	0,28 ^a	0,29 ^a
Fosfat	mg/l	0,096 ^a	0,093 ^a	0,094 ^a
Oksigen terlarut	mg/l	5,74 ^b	6,00 ^b	5,07 ^a

Keterangan: Angka-angka pada tabel merupakan nilai rata-rata pada kondisi pasang dan surut. Angka-angka pada baris yang sama dan diikuti dengan huruf *superscripts* berbeda (a, b, c) menunjukkan beda nyata ($p < 0,05$).

Tabel 2. Kondisi fisik *Caulerpa racemosa*.

Parameter	Lokasi Pengamatan		
	Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
1. Kesegaran thallus	segar	segar	layu
2. Warna buah	hijau terang	hijau terang	hijau tua
3. Bentuk buah	didominasi bentuk bel	didominasi bentuk bel	didominasi bentuk bel
4. Rangkaian thallus	secara bebas ditutupi oleh buah yang terangkai tidak beraturan dengan jumlah buah rata-rata > 10	secara bebas ditutupi oleh buah yang terangkai tidak beraturan dengan jumlah buah rata-rata \geq 10	secara bebas ditutupi oleh buah yang terangkai tidak beraturan dengan jumlah buah rata-rata < 10
5. Panjang thallus (<i>frond</i>)	8 cm	8 cm	6 cm
6. Habitat	tumbuh di tali dengan kedalaman 1–2 m	tumbuh di tali dengan kedalaman 1–2 m	tumbuh pada substrat liat-pasir- rubble dan karang mati dengan kedalaman 5–10 m



Gambar 2. Kandungan total fenol ekstrak rumput laut *Caulerpa racemosa*.

Keterangan: Angka-angka pada histogram yang diikuti huruf *superscripts* berbeda (a,b) menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$).

Berdasarkan uji korelasi antara parameter kualitas air dan total fenol, diketahui bahwa variabel amonia dan nitrat memiliki korelasi negatif; sedangkan cahaya, arus dan oksigen terlarut memiliki korelasi positif (Tabel 3). Cahaya memiliki korelasi yang sangat kuat dengan total fenol, tetapi parameter nitrat, amonia dan oksigen terlarut memiliki korelasi yang lemah dan arus memiliki korelasi sangat lemah. Ada hubungan yang jelas antara tingkat cekaman pada tumbuhan dan produksi metabolit sekunder, termasuk fenol dan senyawa antioksidan lain (Benbrook, 2005).

Tingginya kandungan total fenol di stasiun 2 berdasarkan hasil pengamatan terhadap parameter habitatnya didukung oleh 3 faktor yaitu: cahaya matahari, keberadaan herbivor, kondisi atau kesehatan tanaman. Menurut Reyes dan Zevallos (2003) cahaya matahari adalah salah satu bentuk pemicu *stress* yang dapat meningkatkan biosintesis kandungan senyawa fenol pada jaringan tanaman. Keberadaan herbivora sebagai salah satu faktor yang menyebabkan tingginya kandungan total fenol. Dixon dan Paiva (1995) melaporkan bahwa banyak senyawa fenilpropanoid terbentuk sebagai respons atas luka atau pemangsa hewan herbivora. Selama periode pengamatan di stasiun 2 dijumpai binatang herbivora yaitu penyu antara 2–3 ekor. Luka akibat pemangsa mendorong pembentukan asam klorogenik, alkil ferulat esters dan ikatan ester fenolik yang dapat berfungsi sebagai senyawa pertahanan (Dixon dan Paiva, 1995). Faktor lain yang diduga berkaitan dengan tingginya kandungan total fenol di stasiun 2 adalah kondisi fisik atau kesehatan tanaman. Hal ini disebabkan oleh tanaman yang sehat dapat melakukan metabolisme dengan baik termasuk melakukan biosintesis senyawa fenol (Riechert dan Dawes, 1986; Shahidi dan Wanasundara, 1992; Shiu dan Lee, 2005).

Aktivitas Antioksidan Ekstrak *Caulerpa racemosa* Berdasarkan Penangkapan Radikal Bebas DPPH

Radikal bebas merupakan molekul yang sangat reaktif dan tidak stabil karena mempunyai satu elektron atau lebih yang tidak berpasangan. Radikal bebas bereaksi dengan cara mengambil elektron molekul lain yang bersifat stabil,

sehingga akan terbentuk radikal bebas baru. Reaksi ini akan terus berulang dan akan membentuk sebuah rantai yang mengakibatkan rusaknya membran sel dan komponen lainnya seperti protein dan DNA (Kaur dan Kapoor, 2001). Penghentian reaksi radikal bebas, diperlukan adanya antioksidan. Berdasarkan cara reaksinya Kaur dan Kapoor (2001); Moure *et al.*, (2001); Wang *et al.*, (2009) mendefinisikan antioksidan sebagai komponen yang dapat menghentikan reaksi radikal bebas pada proses oksidasi dengan cara memberikan elektron atau atom hidrogen pada senyawa yang mengandung radikal bebas.

Senyawa *1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl* (DPPH) adalah radikal bebas yang bersifat stabil dan beraktivitas dengan cara mendelokalisi elektron bebas pada suatu molekul, sehingga molekul tersebut tidak reaktif sebagaimana radikal bebas yang lain (Molyneux, 2004). Senyawa antioksidan akan bereaksi dengan radikal DPPH melalui donasi atom hidrogen (Chen *et al.*, 2008; Sharma dan Bhat, 2009).

Gambar 3 terlihat bahwa ekstrak *Caulerpa racemosa* stasiun 2 mempunyai persentase penghambatan tertinggi (46,43%) dan berbeda nyata dengan stasiun 3 (36,97%) dan 1 (20,76%). Terdapat korelasi positif antara kandungan total fenol dan aktivitas penghambatan radikal bebas DPPH. Hasil penelitian sejalan dengan yang telah dilakukan oleh Santoso *et al.*, (2009) dan Santoso *et al.*, (2010) menunjukkan bahwa kandungan total fenol ekstrak etil asetat *Caulerpa racemosa* dan *Caulerpa lentilifera* dalam kondisi segar dan kering berbanding lurus dengan aktivitas antioksidan.

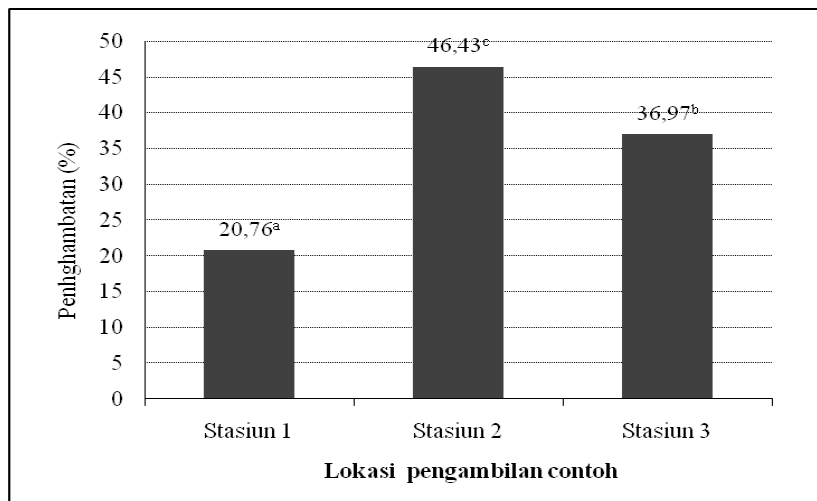
Uji korelasi antara parameter kualitas air dan aktivitas antioksidan yang dinyatakan dalam persen penghambatan radikal bebas DPPH (Tabel 4). Parameter cahaya mempunyai korelasi positif sangat kuat (94%) terhadap persen penghambatan radikal bebas DPPH, sedangkan parameter nitrat dan amonia mempunyai korelasi negatif kuat dengan nilai berturut-turut 82% dan 72%. Parameter arus mempunyai korelasi lemah (48%) dan oksigen terlarut korelasinya sangat lemah, dengan persen korelasi hanya 17%.

Hipotesis yang dibuat oleh para ahli patologi, fisiologi dan entomologi tanaman dan dibuktikan dengan hasil penelitian; bahwa

keberadaan, jumlah dan aktivitas senyawa antioksidan sebagai metabolit sekunder tanaman yang tinggi diproduksi sebagai respons terhadap stress biotik dan abiotik serta tingkat produksinya merupakan fungsi genetik, lingkungan pertumbuhan dan kesehatan tanaman (Benbrook, 2005). Hubungan antara cahaya matahari dan aktivitas antioksidan hasil penelitian sesuai dengan pernyataan Shiu dan Lee (2005) bahwa paparan sinar ultraviolet-B yang berasal dari matahari memicu terbentuknya radikal bebas. Keberadaan radikal bebas, dilawan oleh makhluk hidup termasuk makroalga dengan membangun sistem pertahanan antioksidan alami secara endogen dalam bentuk enzim. Hasil penelitian yang dilakukan Aguilerra *et al.*, (2002) dalam Shiu dan Lee (2005) membuktikan bahwa

stress oksidatif pada makroalga di Laut Artik berkorelasi positif dengan aktivitas enzim superoksida dismutase, hidrogen peroksidase, dan katalase yang termasuk dalam antioksidan endogen.

Adanya korelasi negatif kuat antara kandungan nitrat dan amonia dengan persen penghambatan radikal bebas DPPH terkait dengan dibutuhkannya nitrogen dalam fungsi primer tanaman, yaitu untuk pertumbuhan bukan untuk memproduksi metabolit sekunder. Davis *et al.*, (2004) menyatakan bahwa tingkat nitrogen yang tersedia dalam jumlah tinggi, menyebabkan tanaman cenderung tumbuh cepat dan memiliki ukuran besar, tetapi konsentrasi polifenol dan beberapa vitamin rendah. Fenomena tersebut dikenal sebagai *dilution effect*.



Gambar 3. Histogram penghambatan ekstrak rumput laut *Caulerpa racemosa* terhadap radikal bebas DPPH.

Keterangan: Angka-angka pada histogram yang diikuti huruf *superscripts* berbeda (a,b) menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$).

Tabel 3. Hubungan antara parameter fisik kimia perairan dan total fenol.

Hubungan Antarparameter	Korelasi Pearson (r)
1. Cahaya dengan total fenol	0,98
2. Kecepatan arus dengan total fenol	0,01
3. Amonia dengan total fenol	-0,51
4. Nitrat dengan total fenol	-0,42
5. Oksigen terlarut dengan total fenol	0,51

Tabel 4. Hubungan antara parameter fisik kimia perairan dengan penghambatan radikal bebas DPPH.

Hubungan Antarparameter	Korelasi Pearson (r)
1. Cahaya dengan penghambatan radikal bebas DPPH	0,94
2. Kecepatan arus dengan penghambatan radikal bebas DPPH	0,48
3. Amonia dengan penghambatan radikal bebas DPPH	-0,72
4. Nitrat dengan penghambatan radikal bebas DPPH	-0,82
5. Oksigen terlarut dengan penghambatan radikal bebas DPPH	0,17

Simpulan dan Saran

Simpulan

Kandungan total fenol *Caulerpa racemosa* dan aktivitas penghambatan radikal bebas DPPH dipengaruhi oleh kondisi lingkungan perairan tempat tumbuhnya. Faktor intensitas cahaya matahari berkorelasi positif kuat dengan kandungan total fenol dan penghambatan radikal bebas DPPH, sedangkan kandungan nitrat dan amonia berkorelasi negatif.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut yaitu penapisan, pemurnian dan identifikasi senyawa fenol yang terdapat pada makroalga benthik *Caulerpa racemosa*, serta uji aktivitas antioksidan secara *in vivo* dengan menggunakan kultur jaringan sebagai model seperti Caco-2 cell.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Windhika Priyatmoko atas bantuannya dalam pengambilan data *in situ*. Balai Besar Pengembangan Budidaya Laut Lampung atas fasilitas laboratorium dalam analisis kualitas air dan fasilitas penginapan selama penelitian lapangan.

Daftar Pustaka

- Abd El-Baky, H.H., El-Baz, F.K. dan El-Baroty, G.S. 2009. Natural Preservative Ingredient from Marine Alga *Ulva lactuca* L. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 44: 1688–1695.
- American Public Health Association, American Waterwork Association and Water Pollution Control Federation (APHA). 1998. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 20th ed.* American Public Health Association, Washington DC.
- Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. *Official Methods Of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists.* Association of Official Analytical Chemistry, Maryland.
- Benbrook, C.M. 2005. *Elevating Antioxidant Levels in Food through Organic Farming and Food Processing.* Organic Center State of Science, New York.
- Brandt, K. dan Molgaard, J.P. 2001. Organic Agriculture: Does It Enhance or Reduce the Nutritional Value of Plant Foods? *J. Sci. Food Agric.*, 81: 924–931.
- Byod, C.E. 1979. *Water Quality in Warm Water Fish ponds.* Auburn University Agricultural Experiment Station, Alabama.
- Chandini, S.K., Ganesan, P. dan Bhaskar, N. 2008. In Vitro Antioxidant Activities of Three Selected Brown Seaweeds of India. *Food Chem.*, 107: 707–713.
- Chen, Y., Cai, L., Zhao, C., Xu, H.C., Cao, C.Y. dan Liu, Y. 2008. Spectroscopic, Stability and Radical-Scavenging Properties of a Novel Pigment from *Gardenia*. *Food Chem.*, 109: 269–277.
- Davis, A.R., Roberts, D.E. dan Cummins, S.P. 1997. Rapid Invasion of a Sponge-dominated Deep-reef by *Caulerpa scalpelliformis* (Chlorophyta) in Botany Bay, New South Wales Australia. *J. Ecology.*, 22: 146–150.
- Dixon, R.A. dan Paiva, N.L. 1995. Stress-induced Phenylpropanoid Metabolism. *The Plant Cell.*, 7: 1085–1097.
- Farag, R.S., Badei, A.Z.M., Hewadi, F.M. dan El-Baroty, G.S. 1989. Antioxidant Activity of Some Spice Essential Oils on Linoleic Acid Oxidation in Aqueous Media. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 66: 792–799.
- Food dan Nutrition Board. 2000. *Proposed Definition and Plan for Review of Dietary Antioxidants and Related Compounds.* National Academy Press, Washington, DC.
- Harborne, J.B. 1984. *Phytochemical Methods: A Guide to Modern Techniques of Plant Analysis Second Edition.* Chapman and Hall Ltd, London.
- Huckle, J.M., Potter, J.A. dan Marrs, R.H. 2000. Influence of Environmental Factors on the Growth and Interaction between Salt Marsh Plants: Effect of Salinity, Sediment and Water Logging. *J. Ecology*, 88: 492–505.
- Je, J.Y., Park, P.J., Kim, E.K.B., Park, J.S., Yoon, H.D., Kim, K.R. dan Ahn, C.B. 2009. Antioxidant Activity of Enzymatic Extracts from the Brown Seaweed *Undaria pinnatida* by Electron Spin Resonance Spectroscopy. *LWT- Food Sci. Tech.*, 42: 874–878.
- Kadi, A. 1996. Pengenalan Jenis Algae Hijau (Chlorophyta). In: Atmadja, W.S., Kadi, A., Sulistijo, dan Rachmaniar (Eds). *Pengenalan Jenis-Jenis Rumput Laut Indonesia.* Puslitbang Oseanologi, LIPI, Jakarta.
- Kadi, A. 2000. *Makroalga di Paparan Terumbu Karang Perairan Teluk Lampung.* Puslitbang Oseanologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Kaur, C. dan Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in Fruits and Vegetables – The Millenium’s Health (Review). *Int. J. Food Sci. Tech.*, 36: 703–725.
- Kumalaningsih, S. 2006. *Antioksidan Alami Penangkal Radikal Bebas: Sumber, Manfaat, Cara Penyediaan dan Pengolahan.* Trubus Agrisarana, Surabaya.

- Kumar, K.S., Ganesan, K. dan Rao, P.B.S. 2008. Antioxidant Potential of Solvent Extracts of *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty – an Edible Seaweed. *Food Chem.*, 107: 289–295.
- Lee, C.D., Wang, S.B. dan Kuo, C.L. 1978. Benthic Macro Invertebrates and Fish as Indicator of Water Quality, with Reference to Community Diversity Index. *Bull. C. Sci.*, 31: 233–238.
- Lopez-Lopez, I., Bastida, S., Ruiz-Capilas, C., Bravo, L., Larrea, M.T., Sanchez-Muniz, F. dan Cofrades, S. 2009. Composition and Antioxidant Capacity of Low-salt Meat Emulsion Model System Containing Edible Seaweeds. *Meat Sci.*, 83: 492–498.
- Marin, A., Ferreres, F., Tomas-Barberan, F.A. dan Gil, M.I. 2004. Characterization and Quantitation of Antioxidant Constituents of Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 52: 3861–3869.
- Molyneux, P. 2004. The use of The Stable Free Radical Diphenylpicryl-hydrazil (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, 26 (2): 211–219.
- Moore, J., Liu, J.G., Zhou, K. dan Yu, L. 2006. Effects of Genotype and Environment on the Antioxidant Properties of Hard Winter Wheat Bran. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 5313–5322.
- Moure, A., Cruz, J.M., Franco, D., Dominguez, M., Sineiro, J., Domínguez, H., Nunez, M.J. dan Parajo, J.C. 2001. Natural Antioxidants from Residual Sources (Review). *Food Chem.*, 72: 145–171.
- Muchtar, M. 2005. Penelitian Terpadu Ekologi dan Strain HAB (*Harmfull Algal Blooming*) di Perairan Teluk Hurun, Lampung. *Laporan Penelitian*. Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta.
- Nielsen, N.S. dan Jacobsen, C. 2009. Methods for Reducing Oxidation in Fish-oil-enrich Energy Bars. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 44: 1536–1546.
- Papas, A.M. 1999. Diet and Antioxidant Status. *Food Chem. Toxicol.*, 37: 999–1007.
- Puja, Y., Sudjiharno dan Aditya, T.W. 2001. *Teknologi Budidaya Rumpuk Laut Kappaphycus alvarezii*. Balai Budidaya Laut Lampung, Lampung.
- Reyes, L.F. dan Zevallos, L.C. 2003. Wounding Stress Increases the Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Purple-flesh Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 51: 5296–5300.
- Riechert, R. dan Dawes, C.J. 1986. Acclimation of the Green Alga *Caulerpa racemosa* var. *uvifera* to Light. *Botanica Marina*, 29: 533–537.
- Rohman, A., Riyanto, S. dan Utari, D. 2006. Aktivitas Antioksidan, Kandungan Fenolik Total dan Kandungan Flavonoid Total Ekstrak Etil Asetat Buah Mengkudu Serta Fraksi-Fraksinya. *Majalah Farmasi Indonesia*, 17 (3): 136–142.
- Santoso, J., Yoshie, Y. dan Suzuki, T. 2002. The Distribution and Profile of Nutrients and Catechins of Some Indonesian Seaweeds. *Fish. Sci.*, 68 (suppl): 1647–1648.
- Santoso, J., Yoshie-Stark, Y. dan Suzuki, T. 2004. Antioxidant Activity of Methanol Extract from Indonesian Seaweeds in an Oil Emulsion Model. *Fish. Sci.*, 70: 183–188.
- Santoso, J., Aryudhani, N. dan Suseno, S.H. 2009. Kandungan Senyawa Fenol Rumpuk Laut Hijau *Caulerpa racemosa* dan Aktivitas Antioksidannya. *J. Kelautan Nasional*, 2: 100–118.
- Santoso, J., Maulida, R. dan Suseno, S.H. 2010. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Metanol, Etil Asetat dan Heksana Rumpuk Laut Hijau *Caulerpa lentillifera*. *J. Ilmu Kelautan*, 1: 1–10.
- Shahidi, F. dan Wanasundara, P.K.J.P.D. 1992. Phenolic Antioxidant. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 32: 67–103.
- Sharma, O.P. dan Bhat, T.K. 2009. DPPH Antioxidant Assay Revisited. *Food Chem.*, 113: 1202–1205.
- Shiu, C.T. dan Lee, T.M. 2005. Ultraviolet-B-induced Oxidative Stress and Responses of the Ascorbate-glutathione Cycle in a Marine Macroalga *Ulva fasciata*. *J. Exp. Botany.*, 56 (421): 2851–2865.
- Steel, R.G.D. dan Torrie, J.H. 1980. *Principles and Procedures of Statistic a Biometrical Approach*. McGraw-Hill Book Company, London.
- Wang, T., Jónsdóttir, R. dan Ólafsdóttir, G. 2009. Total Phenolic Compounds, Radical Scavenging and Metal Chelation of Extracts from Icelandic Seaweeds. *Food Chem.*, 116: 240–248.
- Winarno, F.G. 1997. *Kimia Pangan dan Gizi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wresdiyati, T., Adnyane, I.K.M., Prabandari, S.A. dan Sofyawati. 2004. Profil Imunohistokimia Antioksidan *Copper, Zinc-Superoxide Dismutase* (Cu, Zn-SOD) pada Ginjal Tikus Perinatal dan Neonatal. *Biota*, IX (3): 163–170.
- Wresdiyati, T., Astawan, M., Adyane, I.K.M. dan Prasetyawati, R.C. 2005. Pemanfaatan Oleoresin Jahe (*Zingiber officinale*) untuk Mengatasi Kelainan Antioksidan Intrasel Superoxide Dismutase (SOD) Hati Tikus Di Bawah Kondisi Stress. *Biota*, X (2): 120–128.
- Yoshie, Y., Wang, W., Petillo, D. dan Suzuki, T. 2000. Distribution of Catechins in Japanese Seaweeds. *Fish. Sci.*, 66: 998–1000.
- Yoshiki, M., Tsuge, K., Tsuruta, Y., Yoshimura, T., Koganemaru, K., Sumi, T., Matsui, T. dan Matsumoto, K. 2009. Production of New Antioxidant Compound from Mycosporine-Like Amino Acid, *Porphyra-334* by Heat Treatment. *Food Chem.*, 113: 1127–1132.