

Penyahbauan Fukoidan dan Kesannya terhadap Ciri Fizikokimia dan Aktiviti Antipengoksidaan

(Deodorisation of Fucoidan and Its Effect towards Physicochemical Characteristics and Antioxidation Activities)

TAN CHIA SIN, SHARIFAH HABIBAH SYED KHALAFU, WAN AIDA WAN MUSTAPHA,
MOHAMAD YUSOF MASKAT & SENG JOE LIM*

ABSTRAK

Fukoidan adalah sejenis polisakarida bioaktif yang terdiri daripada fukosa, sulfat dan asid uronik. Fukoidan mempunyai bau hanyir menyebabkan aplikasi dalam produk makanan menjadi sukar. Oleh itu, objektif kajian ini adalah untuk menyahbau hanyir fukoidan yang diekstrak daripada *Sargassum* sp. (F_{sar}) dan mengkaji kesan penyahbauan terhadap ciri-ciri fizikokimia dan aktiviti antipengoksidaannya. F_{sar} dinyahbau dengan menggunakan butiran karbon teraktif (F_{kar}), kaedah pengewapan haba (F_{wap}) dan gabungan kedua-dua kaedah tersebut (F_{kw}). Keberkesanan penyahbauan dikenal pasti melalui penilaian sensori (ujian deskriptif kuantitatif) bagi menilai persepsi bau fukoidan yang telah dinyahbau. Ciri fizikokimia iaitu ketulenan, warna dan nilai pH, manakala aktiviti antipengoksidaan ditentukan melalui ujian pemerangkapan radikal bebas (DPPH), aktiviti pemerangkapan superoksida anion (SOA) dan pemerangkapan radikal hidroksil ($\bullet OH$). Kaedah penyahbauan F_{kar} menunjukkan nilai keamatan bau hanyir yang paling rendah dan tahap penerimaan keseluruhan yang paling tinggi. Ketulenan F_{kar} tidak berbeza secara bererti ($p > 0.05$) berbanding F_{sar} , manakala ketulenan F_{wap} dan F_{kw} menurun secara signifikan berbanding F_{sar} . Keempat-empat sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}) menunjukkan warna dan nilai pH berbeza secara signifikan ($p < 0.05$). Sebaliknya, tiada kesan yang signifikan ($p > 0.05$) terhadap kesan antipengoksidaan oleh keempat-empat sampel fukoidan selepas penyahbauan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}). Pada keseluruhannya, kaedah penyahbauan menggunakan karbon teraktif (F_{kar}) didapati berpotensi kerana keberkesanan dan tidak menyebabkan perubahan signifikan pada ketulenan dan aktiviti antipengoksidaan fukoidan.

Kata kunci: Antipengoksidaan; fizikokimia; fukoidan; penyahbauan

ABSTRACT

Fucoidan is a bioactive polysaccharide made up mainly of fucose, sulphate and uronic acid. However, fucoidan possess a strong fishy odour, which hinders its application in food products. Therefore, the objective of this study was to deodorise fucoidan extracted from *Sargassum* sp. (F_{sar}) and to determine the effect of deodorisation on its physicochemical characteristics and antioxidative activities. F_{sar} was deodorised using activated carbon granules (F_{kar}), heat vaporisation (F_{wap}) and the combination of both methods (F_{kw}). The effectiveness of deodorisation was determined through sensory evaluation (quantitative descriptive analysis) to evaluate the odour perception of the deodorised fucoidan. The physicochemical characteristics of fucoidan that were determined were purity, colour and pH value, while the antioxidative activities were determined using free radical scavenging assay (DPPH), superoxide anion (SOA) and hydroxyl radical ($\bullet OH$) scavenging activities. Through deodorisation of fucoidan, F_{kar} showed the lowest fishy odour intensity and the highest overall acceptability. Besides that, it was found that F_{kar} 's purity was not significantly different ($p > 0.05$) compared to that of F_{sar} , while F_{wap} and F_{kw} showed significantly lower purity compared to that of F_{sar} . On the other hand, colour and pH value showed significant differences ($p < 0.05$) among the four fucoidan samples (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}). This study also indicated that deodorisation of fucoidan did not significantly affect the antioxidation activities of all four fucoidan samples (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}). As a conclusion, it was found that deodorisation of fucoidan using activated carbon method (F_{kar}) is a potential method due to its effectiveness in deodorisation and at the same time, exhibited no significant changes towards its purity and antioxidant activities.

Keywords: Antioxidation; deodorisation; fucoidan; physicochemical

PENGENALAN

Rumpai laut adalah alga marin makroskopik yang membentuk sebahagian daripada diet ruji di beberapa negara Asia (Keyimu & Aminah 2014). Ia telah digunakan dalam penyediaan salad, sup dan juga sebagai makanan berkalori rendah (Sasidharan et al. 2008). Rumpai laut telah

dikategorikan kepada tiga kumpulan berdasarkan warna alga iaitu alga merah (*Rhodophyta*), hijau (*Chlorophyta*) serta perang (*Pheophyta*). Ia mengandungi bahan organik dan bukan organik yang memberi manfaat kepada kesihatan manusia (Manivannan et al. 2009). Industri makanan di kebanyakan negara telah menggunakan rumpai

laut untuk menghasilkan pelbagai produk kerana rumpai laut kaya dengan mineral, vitamin, asid amino perlu, asid lemak perlu, karotenoid, protein, karbohidrat yang tidak dicerna dan serat (Ioannou & Roussis 2009; Kotnala et al. 2009; Patra et al. 2008).

Selain itu, ekstrak atau polisakarida rumpai laut mempunyai sebatian bioaktif serta farmakologi yang sangat penting seperti alginat, karaginan, agar dan fukoidan yang telah digunakan secara meluas dalam industri perubatan dan farmaseutik (Lim et al. 2014). Sebatian bioaktif dalam ekstrak rumpai laut menghasilkan metabolit sekunder seperti polifenol dan komponen penyerapan ultra ungu yang amat berguna dalam aktiviti biologi (Bansemir et al. 2006; Shevchenko et al. 2007).

Sargassum sp. merupakan salah satu jenis rumpai laut perang yang kaya dengan komponen bioaktif. Ia telah digunakan sebagai bahan makanan untuk manusia, haiwan dan juga baja (Baleta et al. 2011). Komponen polisakarida utama dalam *Sargassum* sp. adalah fukoidan yang biasa dijumpai dalam matriks ekstraselular *Sargassum* sp. (Albuquerque et al. 2004). Fukoidan merupakan polisakarida tersulfat yang boleh diperolehi daripada banyak spesies rumpai laut perang. Fukoidan mempunyai residu α -L-fukopironosa O-tersulfat yang dihubungkan melalui rantaian α -(1 \rightarrow 2)-, α -(1 \rightarrow 3)- dan/atau α -(1 \rightarrow 4) dengan susunan struktur bercabang (Kim 2015; Lim et al. 2016). Berat molekul fukoidan berbeza daripada 100 sehingga 1600 kDa (Gupta & Abu-Ghannam 2011). Monomer utama dalam fukoidan adalah fukosa, iaitu salah satu daripada lapan gula biologi perlu. Fukoidan juga mengandungi galaktosa, mannos, xilosa dan residu asid glukuronik (Bilan et al. 2010). Selain itu, fukoidan mempunyai sifat larut air dan asid (Ruperez et al. 2002).

Banyak kajian mengenai fukoidan telah dijalankan dalam beberapa dekad yang lalu kerana pelbagai aktiviti biologinya. Antaranya termasuklah antikoagulan, antitrombotik, antiviral, antitumor, imunomodulat, antikeradangan, pengurang lemak darah, antioksidan, aktiviti melawan hepatopati, uropati dan nefropati, perlindungan kesan gastrik dan potensi terapeutik dalam pembedahan (Ale 2012; Li et al. 2008; Synytsya et al. 2006). Permintaan yang tinggi daripada pengguna untuk makanan yang diproses secara minimum dan mengandungi bahan pengawet semula jadi, kajian secara mendalam terhadap pengekstrakan antioksidan alternatif semula jadi dan sebatian antimikrob semakin giat dijalankan (Abu-Ghannam & Gupta 2010; Ahn et al. 2004; Andarwulan et al. 2010; Apostolidis, Ayaz et al. 2008; Chew et al. 2008; Cox et al. 2008; Rajauria et al. 2010).

Isu kesan karsinogen dan toksik antioksidan sintetik juga telah meningkatkan permintaan terhadap sumber antioksidan semula jadi (Yangthong et al. 2009). Hal ini secara tidak langsung menjadikan fukoidan sebagai salah satu bahan alternatif yang diminati untuk menggantikan bahan bioaktif sintetik.

Walaupun begitu, fukoidan daripada *Sargassum* sp. (rumpai laut perang) mempunyai bau hanyir yang kuat justeru aplikasinya dalam industri makanan dan kosmetik

menjadi terhad (LePape et al. 2002). Komponen utama bau rumpai laut dalam fukoidan mentah adalah alkana (tetradekana, heptadekana dan oktadekana) dan asid lemak (asid heksadekanoik dan asid oleik) (Cho et al. 2011). Oleh yang demikian, kaedah penyahbauan fukoidan yang efektif adalah amat diperlukan bagi membolehkannya diguna sebagai bahan mentah dalam industri makanan, farmaseutik dan kosmeseutik (Park et al. 2010).

Karbon teraktif telah digunakan secara meluas sebagai penyerap berkos rendah yang berfungsi secara efektif dalam mengawal bahan pencemar udara seperti sebatian meruap organik dan nitrogen dioksida (Radaideh et al. 2016). Selain itu, karbon teraktif juga digunakan sebagai penyerap untuk menyingkir warna, rasa dan bau yang tidak diingini dalam loji rawatan air minuman (Srinivasan & Sorial 2011). Jujuk utama karbon teraktif adalah karbon yang menyumbang sehingga 95% daripada berat jisim keseluruhan dan atom lain seperti hidrogen, nitrogen, sulfur dan oksigen. Ciri karbon teraktif yang mempunyai permukaan berliang seni sesuai sebagai penyerap untuk menyahbau fukoidan (Mohamed 2013). Kajian ini adalah untuk meneroka kaedah yang berkesan mengurangkan bau hanyir fukoidan tanpa membawa kesan negatif terhadap ciri fizikokimia serta aktiviti anti-pengoksidaan. Kaedah yang digunakan untuk penyahbauan ialah karbon teraktif, pengewapan haba dan gabungan kedua-duanya.

BAHAN & KAEDAH

PENYEDIAAN SAMPEL

Sumber rumpai laut perang (*Sargassum* sp.) telah dibekalkan oleh Marine Ceuticals Sdn. Bhd., Selangor yang memperoleh rumpai laut dari Batam, Indonesia pada April 2015. Rumpai laut telah dibersihkan dan dikeringkan oleh pembekal sebelum kajian. Karbon teraktif jenis arang telah dibeli daripada kedai akuarium yang berdekatan di Bandar Baru Bangi. Fukoidan komersial (F_{ysk}) dengan ketulenan 92% telah dibekalkan oleh Yaizu Suisankagaku Industry Co. Ltd, Jepun, digunakan untuk analisis ketulenan, manakala fukoidan komersial (ekstrak *Fucus vesiculosus*) yang berjenama Marina telah digunakan sebagai rujukan dalam penilaian sensori.

PENGEKSTRAKAN FUKOIDAN

Sebanyak 20 g (berat kering) sampel rumpai laut telah diperlakukan dengan 200 mL larutan etanol (85% v/v) dan direfluks selama 2 jam untuk menyingkirkan pigmen, lemak dan sebatian molekul kecil. Selepas itu, polisakarida telah diekstrak daripada sampel rumpai laut tersebut dengan menggunakan 100 mL larutan asid asetik (pH3) dengan pengacauan mekanikal pada 455 ± 5 rpm, dalam ketuhar (Mommert 53 L, Jerman) pada suhu 65°C selama 3 jam. Larutan telah dipisahkan daripada residu rumpai laut dengan pengemparan (Eppendorf Centrifuge 5810R), pada 12,100 \times g, selama 5 min. Seterusnya, larutan tersebut telah ditambah dengan 10 mL larutan 5% kalsium klorida

dan dibiarkan pada suhu bilik selama 24 jam. Mendakan kalsium alginat yang terbentuk dipisahkan daripada ekstrak fukoidan melalui turasan (Lim et al. 2017). Sampel kemudiannya didialisis dengan menggunakan tiub Visking selama 24 jam. Pemendakan fukoidan telah dilakukan dengan menggunakan etanol (99%) pada nisbah 1:4 (larutan sampel:etanol) dan dibiarkan selama 24 jam sebelum dibeku kering menggunakan mesin pembeku kering (Christ Alpha 1-4 LD Plus, Jerman) untuk mendapatkan fukoidan (F_{sar}) daripada *Sargassum* sp. dalam bentuk pepejal (Yang et al. 2008).

KAEDAH PENYAHBAUAN FUKOIDAN MENGGUNAKAN BUTIRAN KARBON TERAKTIF (F_{kar})

F_{sar} telah disediakan pada kepekatan 1% (w/v) dengan melarutkannya dalam air suling. Larutan yang mengandungi butiran karbon teraktif di dalam bikar dengan nisbah 1:6 (fukoidan:karbon teraktif) telah dikacau secara mekanikal pada suhu bilik, 200 rpm, selama 24 jam dengan menggunakan alat penggoncang inkubator (Innova 4080, USA). Seterusnya, butiran karbon teraktif ini telah diasingkan daripada sampel dengan mengempar larutan itu dengan menggunakan mesin pengempar (Eppendorf Centrifuge 5810R) pada 12,100 \times g selama 5 min. Sampel kemudiannya ditapis dan dibeku kering menggunakan mesin pembeku kering (Christ Alpha 1-4 LD Plus, Jerman) untuk memperoleh fukoidan F_{kar} .

KAEDAH PENYAHBAUAN FUKOIDAN MENGGUNAKAN PENGEWAPAN HABA (F_{wap})

Larutan F_{sar} (1% w/v) telah disediakan dengan menggunakan air suling dan seterusnya diperlakukan dengan pengewapan haba melalui aerasi menggunakan pam udara (220 V, 1.5 W, 1.6 l/min, Aleas, China) pada suhu $50 \pm 5^\circ\text{C}$, selama 24 jam. Kaedah ini adalah untuk mengewapkan sebatian meruap yang terdapat dalam fukoidan. Sampel kemudiannya dibeku kering menggunakan mesin pembeku kering (Christ Alpha 1-4 LD Plus, Jerman) untuk memperoleh fukoidan (F_{wap}) yang telah dinyahbau.

KAEDAH PENYAHBAUAN FUKOIDAN MENGGUNAKAN GABUNGAN BUTIRAN KARBON TERAKTIF DAN PENGEWAPAN HABA (F_{kw})

Larutan F_{sar} telah disediakan pada kepekatan 1% (w/v) dengan menggunakan air suling. Larutan yang mengandungi butiran karbon teraktif di dalam bikar dengan nisbah 1:6 (fukoidan:karbon teraktif) telah dikacau secara mekanikal dengan pada 200 rpm, selama 24 jam dengan menggunakan alat penggoncang inkubator (Innova 4080, USA). Seterusnya, butiran karbon teraktif ini telah diasingkan daripada sampel dengan emparan (Eppendorf Centrifuge 5810R) pada 12,100 \times g, 5 min. Larutan yang telah diasingkan telah diperlakukan dengan pengewapan haba melalui aerasi menggunakan pam pada suhu $50 \pm 5^\circ\text{C}$, selama 24 jam. Sampel kemudiannya dibeku kering menggunakan mesin pembeku kering (Christ Alpha 1-4 LD Plus, Jerman) untuk memperoleh fukoidan F_{kw} .

PENILAIAN SENSORI

Penilaian sensori telah dijalankan untuk menilai keberkesanan kaedah penyahbauan fukoidan. Penilaian dijalankan dengan ujian deskriptif kuantitatif (Stone et al. 1974). Ujian ini hanya melibatkan deria bau sahaja. Seramai 10 orang ahli panel separa terlatih yang terdiri daripada pelajar Sains Makanan, Universiti Kebangsaan Malaysia telah mengambil bahagian dalam penilaian sensori. Penilaian sensori telah dijalankan di Makmal Sensori, Jabatan Sains Makanan, Universiti Kebangsaan Malaysia.

UJIAN DESKRIPTIF KUANTITATIF

Panel telah diminta untuk menghuraikan bau fukoidan yang diberi dengan perkataan yang sesuai sebagai contoh bau hanyir seperti ikan masin atau tiada bau langsung. Panel diberi sampel fukoidan rujukan yang disediakan daripada fukoidan komersial (50% ketulenan) dan membuat perbandingan dengan fukoidan Marinova dengan ketulenan 90% (F_{90}), F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} . Kesemua panel telah bersetuju untuk menjadikan bau hanyir sebagai atribut. Seterusnya, panel diminta menilai keamatan bau hanyir dalam kesemua sampel fukoidan dengan berdasarkan skala 1 (tiada bau) hingga 7 (sangat kuat).

Dalam kajian ini, atribut penerimaan keseluruhan juga telah diuji. Kesemua panel diminta menilai tahap penerimaan keseluruhan dengan menggunakan skala 1 (paling tidak suka) hingga 7 (paling suka). Kesemua data yang diperoleh daripada penilaian sensori dihitung dan dinyatakan sebagai min dan sisihan piawai dan dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dan kemudiannya dengan ujian julat berganda Duncan (DMRT), menggunakan perisian SPSS versi 22.0. Perbezaan dalam nilai min adalah bererti apabila $p < 0.05$.

ANALISIS FIZIKOKIMIA

Analisis fizikokimia telah dijalankan pada F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} untuk menentukan kesan penyahbauan terhadap ciri fizikokimianya. Analisis yang dijalankan adalah analisis ketulenan, warna dan pH fukoidan.

Analisis Ketulenan Fukoidan Empat-empat sampel F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} telah diuji ketulennannya dengan menggunakan kaedah spektrofotometri. Sebanyak 0.02 g sampel fukoidan telah dilarutkan dalam 100 mL air suling. Larutan piawai fukoidan (F_{ysk}) pula disediakan pada kepekatan 0.002-0.040% dengan menggunakan air suling sebagai pelarut. Seterusnya, sebanyak 1 mL alikuot telah dipipet ke dalam tabung uji yang mengandungi 4.5 mL asid sulfurik yang telah dicairkan (1:6, $\text{H}_2\text{O}:\text{H}_2\text{SO}_4$) dan terendam dalam air sejuk. Selepas disejukkan selama satu minit dalam rendaman air sejuk, tabung uji telah diletakkan dalam rendaman air panas (95°C) selama 10 minit. Alikuot telah dibiarkan sejuk sehingga suhu bilik sebelum ditambah 0.1 mL 3% L-sisteina. Campuran ini dikacau dan dibiarkan selama 30 min pada suhu bilik. Serapan

pada panjang gelombang 396 nm dan 427 nm telah dibaca dalam plat 96-telaga menggunakan spektrofotometer mikroplat BioTek Epoch (Vermont, USA). Keluk piawai fukoidan telah digunakan bagi menentukan ketulenan sampel fukoidan. Replikasi sebanyak tiga kali ($n=3$) telah digunakan dalam setiap ujian ini (Lim et al. 2014).

Analisis Warna dan pH Warna sampel fukoidan dalam bentuk pepejal telah diukur dengan menggunakan kaedah Hunter Lab iaitu sistem warna L^* (kecerahan), a^* (kemerahan) dan b^* (kekuningan) dengan Minolta Colorimeter (CR 400, Jepun). Nilai pH sampel fukoidan telah diukur pada fukoidan yang dilarutkan dalam air suling pada kepekatan 0.05% (w/v), pada suhu bilik, menggunakan meter pH (Model PHM 210-MeterLab).

PENENTUAN AKTIVITI ANTIPENGOKSIDAAN

Aktiviti antipengoksidaan sampel F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} telah dijalankan untuk menentukan kesan penyahbauan terhadap aktiviti antipengoksidaan fukoidan. Aktiviti antipengoksidaan yang ditentukan adalah aktiviti pemerangkapan radikal bebas 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), aktiviti pemerangkapan superoksida anion (SOA) dan aktiviti pemerangkapan radikal hidroksil ($\cdot OH$) (Lim et al. 2014).

Aktiviti Pemerangkapan Radikal Bebas (DPPH) Aktiviti pemerangkapan radikal bebas DPPH oleh fukoidan dijalankan dengan menggunakan kaedah Lim et al. (2014). Sampel F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} telah disediakan pada kepekatan 5 mg/mL. Sebanyak 1 mL bagi setiap sampel fukoidan dicampur dengan 2.9 mL 0.15 mM DPPH (0.0059 g dalam 100 mL larutan metanol). Sampel kawalan tanpa DPPH telah disediakan dengan mencampur 1 mL sampel dengan 2.9 mL metanol. Manakala DPPH pengosong telah disediakan dengan pencampuran 2.9 mL 0.15 mM DPPH (dalam larutan metanol) dengan 1 mL air suling. Selepas penderaman dalam gelap selama 30 min, penyerapan pada gelombang 517 nm diukur dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat BioTek Epoch (Vermont, USA). Ujian DPPH diulang sebanyak tiga kali ($n=3$). Kadar pemerangkapan radikal bebas dihitung dengan menggunakan formula seperti berikut:

$$\% \text{Aktiviti pemerangkapan radikal bebas DPPH} = [A_B - (A_S - A_C)] / A_B$$

dengan A_B ialah penyerapan DPPH pengosong; A_S ialah penyerapan DPPH dengan sampel; dan A_C ialah penyerapan sampel tanpa DPPH.

Aktiviti Pemerangkapan Superoksida Anion (SOA) Aktiviti pemerangkapan superoksida anion telah ditentukan dengan menguji perencatan auto-pengoksidaan piragalol. Sampel F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} telah disediakan pada kepekatan 2 mg/mL. Sampel (0.3 mL) telah dicampur dengan 2.6 mL larutan penimbal fosfat (50 mM, pH 8.24) dan 90 μL

larutan 3 mM piragalol (dilarutkan dalam 10 mM HCl). Serapan telah ditentukan pada panjang gelombang 325 nm dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat BioTek Epoch (Vermont, USA) dengan penyerapan telah direkod selang setiap satu minit selama 10 min. Replikasi ($n=3$) telah dijalankan bagi setiap ujian (Heo et al. 2005; Lim et al. 2014). Peratusan aktiviti pemerangkapan superoksida anion telah dihitung dengan menggunakan formula seperti berikut:

$$\text{Kadar pemerangkapan SOA (\%)} = [1 - (A_2 - A_1) / A_0] \times 100$$

dengan A_1 ialah penyerapan sampel pada 0 min; A_2 ialah penyerapan sampel pada 10 min; dan A_0 ialah kadar auto-pengoksidaan piragalol untuk pengosong.

Kadar Pemerangkapan Radikal Hidroksil ($\cdot OH$) Sampel F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} pada kepekatan 2 mg/mL telah disediakan. Sebanyak 0.5 mL larutan ferus sulfat ($FeSO_4$) pada 9 mM telah ditambah dengan 1.0 mL larutan 8.8 mM hidrogen peroksida (H_2O_2) (ketulenan 35%, *HmbG Chemicals*). Campuran tersebut telah ditambah ke dalam sampel fukoidan (1.0 mL) yang telah disediakan sebelum ditambah 0.2 mL larutan 9 mM asid salisilik. Satu set larutan tindak balas berasingan telah disediakan seperti sebelum ini tetapi tanpa penambahan larutan asid salisilik. Campuran tersebut telah dibiarkan pada suhu 37°C selama 1 jam. Serapan pada panjang gelombang 510 nm ditentukan dengan menggunakan spektrofotometer mikroplat BioTek Epoch (Vermont, USA). Aktiviti pemerangkapan radikal hidroksil sampel telah ditentukan sebanyak tiga replikasi ($n=3$) dan aktiviti dihitung dengan menggunakan formula seperti berikut:

$$\text{Kadar pemerangkapan } \cdot OH (\%) = [1 - \{(A_1 - A_2) / A_0\}] \times 100$$

dengan A_0 ialah penyerapan pengosong; A_1 ialah penyerapan tindak balas sampel dengan asid salisilik; dan A_2 ialah penyerapan tindak balas sampel tanpa asid salisilik.

ANALISIS STATISTIK

Data dihitung dan dianalisis dengan menggunakan analisis varians (ANOVA) dan ujian julat berganda (DMRT) menggunakan perisian SPSS versi 22.0. Kesemua analisis dijalankan secara triplikasi, $n=3$. Penentuan sama ada perbezaan yang berlaku adalah bererti atau tidak ditentukan pada aras signifikan 95% ($p < 0.05$).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

KEBERKESANAN PENYAHBAUAN FUKOIDAN

Penghiduan pertama sering mempunyai pengaruh yang besar terhadap penerimaan keseluruhan produk. Bau hanyir fukoidan yang tidak menyenangkan telah menyebabkan

kurang sambutan terhadapnya. Oleh itu, penilaian sensori dijalankan untuk mengkaji kesan penyahbauan fukoidan terhadap keamatan bau hanyir dan penerimaan keseluruhan dalam sampel fukoidan.

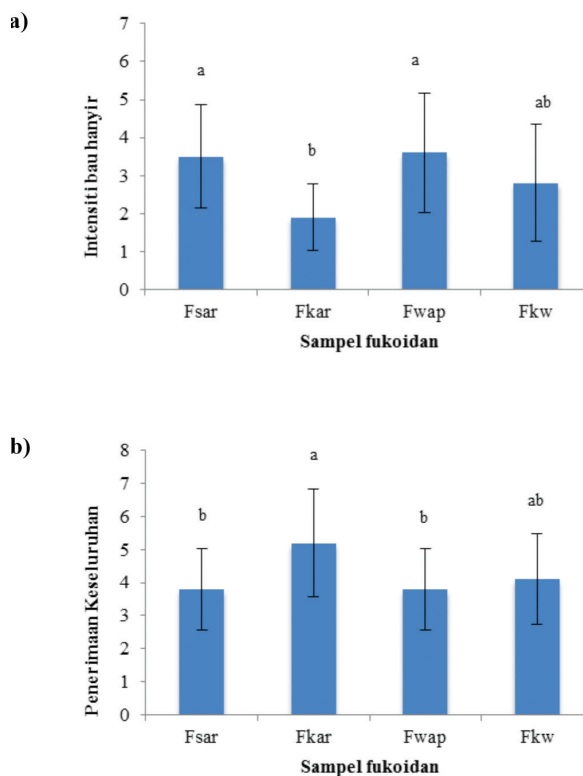
Keberkesanan penyahbauan fukoidan melalui penilaian sensori adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Keamatan bau hanyir dengan min skor yang paling rendah secara signifikan ($p < 0.05$) ditunjukkan oleh F_{kar} berbanding F_{sar} (Rajah 1(a)). Keamatan bau sampel F_{wap} dan F_{kw} tidak menunjukkan perbezaan dengan keamatan bau sampel F_{sar} . Kaedah perlakuan pengewapan haba dan karbon teraktif tidak menunjukkan penurunan keamatan yang besar berbanding F_{kar} . Oleh yang demikian, kaedah karbon teraktif adalah paling berkesan. Kaedah perlakuan karbon teraktif dan pengewapan sering digunakan dalam rawatan air untuk menyahbau air (Khalili et al. 2000). Karbon teraktif merupakan bahan yang mempunyai permukaan ruang seni yang membolehkannya menyerap pelbagai jenis molekul, seperti gas, ion dan molekul kecil, termasuk sebatian meruap yang memberikan bau hanyir. Oleh itu, perlakuan sampel fukoidan dengan karbon teraktif telah mengurangkan keamatan bau hanyir melalui penyerapan sebatian-sebatian meruap yang memberikan bau hanyir. Pengewapan haba pula didapati kurang berkesan, yang menunjukkan bahawa sebatian meruap tidak dapat disingkirkan melalui kaedah ini. Terdapat kemungkinan terdapat tindak balas pada sebatian meruap apabila didedahkan dengan oksigen dan haba, tetapi tidak dapat dipisahkan daripada fukoidan.

Keberkesanan penyahbauan F_{kar} dimanifestasi oleh penerimaan keseluruhan yang tertinggi secara signifikan ($p < 0.05$), iaitu min skor sebanyak 5.2 ± 1.62 (Rajah 1(b)). Sampel F_{wap} dan F_{kw} pula tidak menunjukkan perbezaan signifikan ($p > 0.05$) berbanding F_{sar} . Keamatan bau hanyir dalam fukoidan memberi kesan terhadap tahap penerimaan keseluruhan fukoidan dengan bau hanyir fukoidan yang rendah meningkatkan tahap penerimaan keseluruhan.

CIRI FIZIKOKIMIA

Ketulen Ketulen fukoidan adalah sangat penting dalam kajian ciri-ciri biologi fukoidan (Ermakova et al. 2015). Ini kerana, ketulen fukoidan yang tinggi akan menunjukkan aktiviti biologi yang lebih tinggi. Namun begitu, pengekstrakan fukoidan pada ketulen yang tinggi adalah agak rumit kerana pembentukan kompleks yang kuat antara polisakarida dan bendasing seperti polifenol yang tidak boleh dihilangkan tanpa mengubah integriti molekul fukoidan (Costa et al. 2011; Hu et al. 2010). Selain itu, alginat juga akan terekstrak bersama semasa pengekstrakan fukoidan (Lim et al. 2017).

Ketulen sampel F_{kar} dan F_{sar} tidak berbeza secara signifikan ($p > 0.05$) manakala ketulen sampel F_{wap} dan F_{kw} adalah lebih rendah secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding F_{sar} (Rajah 2). Ini menunjukkan bahawa karbon teraktif telah berjaya menyahbau fukoidan tanpa mengubah ketulen fukoidan, berbanding kaedah pengewapan haba. Karbon teraktif biasanya digunakan sebagai penapis bau

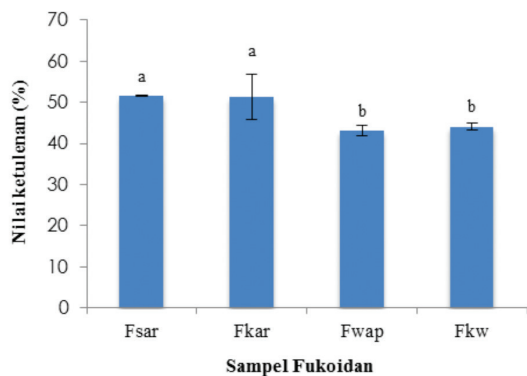


a-b abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$)

RAJAH 1. a) Keamatan bau hanyir fukoidan mentah (F_{sar}) dan fukoidan dinyahbau (F_{kar} , F_{wap} & F_{kw}), b) Penerimaan keseluruhan fukoidan mentah (F_{sar}) dan fukoidan dinyahbau (F_{kar} , F_{wap} & F_{kw}) ($n=10$)

dengan komponen meruap dijerap melalui luas permukaan karbon teraktif yang besar. Penjerapan komponen meruap dalam karbon teraktif biasanya melibatkan proses fizikal sahaja tanpa pembentukan ikatan kimia (Marsh & Reinoso 2006). Penjerapan komponen meruap dengan karbon teraktif juga mengurangkan benda asing seperti pigmen warna dalam fukoidan. Keadaan ini telah menyebabkan nilai ketulen sampel F_{kar} tidak menurun berbanding F_{sar} yang tidak dinyahbau.

Berbeza dengan mekanisme penjerapan karbon teraktif, konsep pengewapan haba pula merupakan satu sistem yang memberi gas atmosfera ke dalam larutan bagi menyingkirkan bahan organik meruap (AWWA 2011). Pemberian gas atmosfera secara berterusan turut meningkatkan kandungan gas oksigen dalam larutan sampel fukoidan dan telah menyebabkan pengoksidaan komponen polifenol yang mudah dinyahasi pada suhu yang sederhana tinggi (Miralai et al. 2008; Sharma 2013). Menurut Indrawati (2015), fukoidan mempunyai ikatan yang kuat dengan polifenol dan susah dipisahkan antara satu sama lain. Oleh itu, pengoksidaan polifenol telah memberi kesan kepada struktur fukoidan yang mempunyai ikatan kuat dengannya. Proses penyahbauan dengan penggunaan pengewapan haba menyebabkan kehilangan



^{a-b} abjad berbeza menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$).

RAJAH 2. Nilai ketulenan (%) sampel fukoidan mentah dan fukoidan yang dinyahbau dengan kaedah yang berbeza. Nilai ketulenan adalah nilai min±daripada triplikasi ($n=3$)

fukoidan tulen dalam sampel dan menyebabkan penurunan nilai ketulenan sampel fukoidan F_{wap} dan F_{kw}

Warna Nilai purata L*, a* dan b* bagi sampel F_{sar} dan fukoidan yang dinyahbau dengan kaedah berlainan (F_{kar}, F_{wap}, dan F_{kw}) adalah seperti yang dipaparkan dalam Jadual 1. Didapati warna F_{sar} berubah secara signifikan apabila dinyahbau. Didapati F_{kar} mempunyai kecerahan, darjah kemerahan dan kekuningan yang lebih rendah secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding F_{sar}. Sementara itu, F_{wap} pula menunjukkan kecerahan dan darjah kekuningan yang lebih tinggi secara signifikan berbanding F_{sar}, manakala F_{kw} hanya berbeza secara signifikan ($p < 0.05$) berbanding F_{sar} daripada segi darjah kekuningan yang lebih tinggi.

Menurut Calvo dan Casero (2008), karbon teraktif digunakan untuk merawat produk minuman untuk mengawal dan membetulkan warna produk dengan menjadikan warnanya lebih konsisten. Selain itu,

penjerapan sebatian kecil pada karbon teraktif juga menyingkirkan benda asing dan mengubah warna pada fukoidan. Hal ini menyebabkan berlaku perubahan pada darjah kecerahan dan kemerahan setelah fukoidan diperlakukan dengan karbon teraktif. Sementara itu, seperti yang dilaporkan oleh Doble dan Kumar (2005), pengewapan haba pada air buangan menyebabkan penyahwarnaan akibat pengurangan jumlah karbon organik dan menjadikan air lebih jernih warnanya. Hal ini menyebabkan sampel F_{wap} yang telah dinyahbau dengan pengewapan haba menjadi ternyahwarna dan menyebabkan warnanya menjadi lebih cerah berbanding sampel F_{sar} dan F_{kar}. Hal ini adalah konsisten dengan keputusan daripada analisis ketulenan fukoidan dengan F_{wap} dan F_{kw} mempunyai ketulenan yang lebih rendah berbanding F_{sar} dan F_{kar}. Fukoidan pada dasarnya adalah berwarna perang dan ketulenan yang lebih tinggi akan menyerlahkan lagi warna keperangan yang adalah lebih gelap (darjah kecerahan yang lebih rendah pada F_{kar}).

Nilai pH Keputusan pada Jadual 2 menunjukkan nilai pH antara sampel F_{sar}, F_{kar}, F_{wap}, dan F_{kw}. Didapati terdapat perbezaan signifikan ($p < 0.05$) antara sampel F_{sar} dengan sampel F_{kar}, F_{wap}, dan F_{kw}. Sampel F_{kar} yang menunjukkan peningkatan nilai pH secara signifikan berbanding F_{sar}, manakala sampel F_{wap} dan F_{kw} menunjukkan penurunan pH secara signifikan berbanding F_{sar}. Penggunaan karbon teraktif berkemungkinan telah menjerap dan menyingkirkan sebatian polifenol yang sedikit berasid dengan peningkatan nilai pH pada F_{kar} telah diperhatikan. Antara kumpulan sebatian polifenol yang dilaporkan hadir dalam rumpai laut perang adalah florotanin, bromofenol, meroditerpenoid dan kolpol (Freile-Pelegrín & Robledo 2014). Sementara itu, penurunan nilai pH selepas dinyahbau dengan menggunakan pengewapan haba adalah disebabkan oleh keterlarutan karbon dioksida

JADUAL 1. Nilai L*, a* dan b* sampel fukoidan mentah dan sampel fukoidan yang dinyahbau dengan kaedah yang berbeza ($n=3$)

Sampel	L*	a*	b*
F _{sar}	60.58 ± 0.07 ^b	6.87 ± 0.03 ^a	16.38 ± 0.03 ^b
F _{kar}	56.49 ± 1.17 ^c	5.34 ± 0.17 ^c	15.21 ± 0.09 ^c
F _{wap}	62.95 ± 1.54 ^a	6.68 ± 0.17 ^{ab}	17.28 ± 0.20 ^a
F _{kw}	60.16 ± 0.51 ^b	6.44 ± 0.20 ^b	17.27 ± 0.18 ^a

^{a-c} abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$)

JADUAL 2. Nilai pH sampel fukoidan mentah dan fukoidan yang dinyahbau dengan kaedah yang berbeza ($n=3$)

Sampel	nilai pH
F _{sar}	7.26 ± 0.03 ^b
F _{kar}	7.57 ± 0.04 ^a
F _{wap}	6.91 ± 0.03 ^c
F _{kw}	6.84 ± 0.03 ^d

^{a-d} abjad berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$)

dalam sampel yang menghasilkan asid karbonik. Oleh itu, sampel F_{wap} dan F_{kw} mempunyai pH yang lebih rendah secara signifikan berbanding F_{sar} .

AKTIVITI ANTIPENGOKSIDAAN

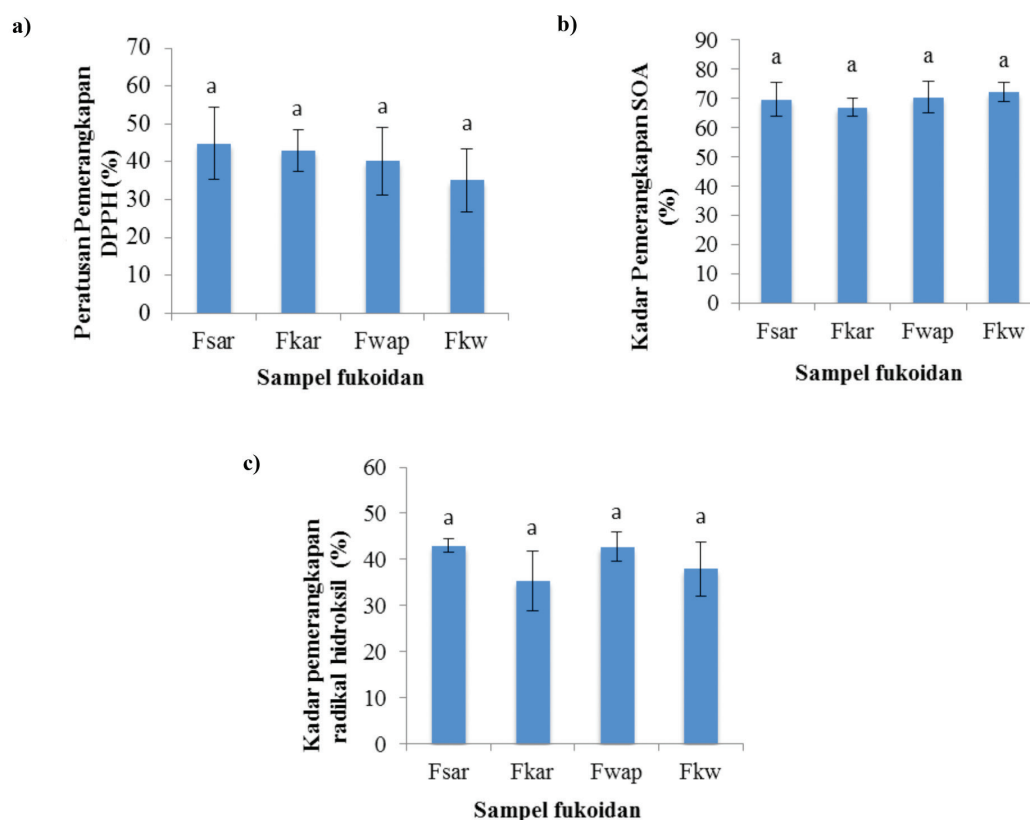
Ujian Pemerangkapan Radikal Bebas DPPH Ujian pemerangkapan radikal bebas DPPH adalah satu kaedah untuk mengukur kemampuan ekstrak untuk memerangkap radikal bebas melalui pertukaran DPPH kepada bentuk DPPH-H yang stabil setelah penerimaan elektron atau radikal hidrogen (Mohd Fadzelly et al. 2015). Rajah 3(a) menunjukkan tiada perbezaan signifikan ($p>0.05$) dalam peratusan pemerangkapan radikal bebas DPPH oleh keempat-empat sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw}). Ini menunjukkan aktiviti pemerangkapan radikal bebas DPPH fukoidan tidak dipengaruhi oleh kaedah penyahbauan.

Park et al. (2005) pernah melaporkan bahawa aktiviti pemerangkapan radikal berhubung kait dengan kandungan ekstrak fukoidan dan semakin tinggi kandungan ekstrak fukoidan semakin tinggi aktiviti pemerangkapan radikal. Kenyataan ini telah menunjukkan bahawa perbezaan peratusan pemerangkapan radikal bebas DPPH mungkin dipengaruhi oleh faktor nilai ketulenan sampel fukoidan. Perbezaan ketulenan antara F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} dan F_{kw} adalah

kecil dan tidak menyebabkan perbezaan signifikan dalam aktiviti pemerangkapan radikal bebas DPPH oleh fukoidan daripada *Sargassum* sp.

Aktiviti Pemerangkapan Superoksida Anion (SOA) Pemerangkapan superoksida anion dalam sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}) juga tidak berbeza dengan signifikan ($p>0.05$) seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3(b). Ini menunjukkan bahawa perlakuan penyahbauan terhadap fukoidan daripada *Sargassum* sp. tidak menyebabkan perubahan pada aktiviti pemerangkapan superoksida anion dalam fukoidan. Sebaliknya, Imbs et al. (2015) melaporkan penulenan fukoidan daripada bendasing seperti polifenol menyebabkan penurunan aktiviti antipengoksidaan serta aktiviti antibakteria. Namun, aktiviti pemerangkapan SOA adalah aktiviti antioksidan sekunder, yang aktiviti antioksidannya adalah daripada fukoidan dan bukannya sebatian polifenol yang hadir dengan sebatian polifenol memberikan aktiviti antioksidan primer. Oleh itu, pengurangan sebatian polifenol semasa proses penyahbauan tidak mempengaruhi aktiviti pemerangkapan SOA oleh sampel fukoidan.

Kadar Pemerangkapan Radikal Hidroksil ($\bullet OH$) Kaedah pemerangkapan radikal hidroksil juga tidak berbeza dengan



tiada perbezaan signifikan ($p<0.05$) antara semua sampel

RAJAH 3. a) Nilai peratusan pemerangkapan radikal bebas (DPPH) dalam sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}), b) Nilai peratusan kadar pemerangkapan SOA dalam sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}) dan c) Nilai peratusan kadar pemerangkapan radikal hidroksil dalam sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}) ($n=3$)

signifikan ($p>0.05$) bagi keempat-empat sampel fukoidan (F_{sar} , F_{kar} , F_{wap} , F_{kw}), seperti yang ditunjukkan pada Rajah 3(c). Ini menunjukkan bahawa perlakuan penyahbauan terhadap fukoidan daripada *Sargassum* sp. tidak menyebabkan perubahan pada aktiviti pemerangkapan radikal hidroksil dalam fukoidan. Lim et al. (2014) juga melaporkan fukoidan yang diekstrak daripada *Sargassum binderi* Malaysia mempunyai aktiviti pemerangkapan radikal hidroksil yang tinggi, dan ia adalah lebih tinggi berbanding antioksidan sintetik hidroksitoluena terbutil (BHT).

Secara keseluruhannya, fukoidan yang diekstrak daripada *Sargassum* sp. tidak menunjukkan perbezaan aktiviti antipengoksidaan yang signifikan selepas diperlakukan dengan proses penyahbauan.

KESIMPULAN

Kaedah penyahbauan fukoidan menggunakan karbon teraktif (F_{kar}) menunjukkan keputusan yang menggalakkan, berupaya menurunkan keamatan bau hanyir dan meningkatkan penerimaan keseluruhan fukoidan. Pada masa yang sama, kaedah ini juga tidak menyebabkan perubahan pada nilai ketulenan dan aktiviti antipengoksidaan fukoidan. Oleh itu, kaedah penyahbauan fukoidan menggunakan karbon teraktif berpotensi untuk diaplikasikan, supaya penggunaan fukoidan sebagai ingredien dan bahan makanan dapat ditingkatkan.

PENGHARGAAN

Kajian ini telah dijalankan menggunakan geran penyelidikan GGPM-2015-025 dan GUP-2017-052 daripada Universiti Kebangsaan Malaysia. Setinggi-tinggi penghargaan kepada Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia yang telah menyediakan segala kemudahan makmal bagi menjalankan kajian.

RUJUKAN

- Ahn, M.J., Yoon, K.D., Min, S.Y., Lee, J.S., Kim, J.H., Kim, T.G., Kim, T.G., Kim, S.H., Kim, N.G., Huh, H. & Kim, J.W. 2004. Inhibition of HIV-1 reverse transcriptase and protease by phlorotannins from the brown alga *Ecklonia cava*. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 27: 544-547.
- Albuquerque, I.R.L., Queiroz, K.C.S., Alves, L.G., Santos, E.A., Leite, E.L. & Rocha, H.A.O. 2004. Heterofucans from *Dictyota menstrualis* have anticoagulant activity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 37: 167-171.
- Ale, M.T. 2012. Fucose-containing sulphated polysaccharides from brown seaweed: Extraction technology and bioactivity assessment. Technical University of Denmark (Unpublished).
- Andarwulan, N., Batari, R., Sandrasari, D.A., Bolling, B. & Wijaya, H. 2010. Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. *Food Chemistry* 121: 1231-1235.
- Apostolidis, E., Kwon, Y.I. & Shetty, K. 2008. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by oregano, cranberry and sodium lactate combination in broth and cooked ground beef systems and likely mode of action through proline metabolism. *International Journal of Food Microbiology* 128: 317-324.
- AWWA. 2011. *Water Treatment*. USA: American Water Works Association.
- Ayaz, F.A., Ayaz, S.H., Alpay-Karaoglu, S., Grúz, J., Valentová, K., Ulrichová, J. & Strnad, M. 2008. Phenolic acid contents of kale (*Brassica oleracea* L. var. acephala DC.) extracts and their antioxidant and antibacterial activities. *Food Chemistry* 107: 19-25.
- Baleta, F.N., Laureta, L.V., Apines-Amar, M.J.S., Padilla, P.I. & Qunitio, G.F. 2011. Biological activity of extracts of *Sargassum oligocystum* (Magnaye) against aquaculture pathogenic bacteria. *The Israeli Journal of Aquaculture* 63: 67-71.
- Bansemir, A., Blume, M., Schroder, S. & Lindquist, U. 2006. Screening of cultivated seaweeds for antibacterial activity against fish pathogenic bacteria. *Aquaculture* 252: 79-84.
- Bilan, M.I., Grachev, A.A., Shashkov, A.S., Kelly, M., Sanderson, C.J., Nifantiev, N.E. & Usov, A.I. 2010. Further studies on the composition and structure of a fucoidan preparation from the brown alga *Saccharina latissima*. *Carbohydrate Research* 345(14): 2038-2047.
- Calvo, L. & Cosero, M.J. 2008. Concentration of bioactive compounds by adsorption/desorption. Dlm. *Extracting Bioactive Compounds for Food Products: Theory and Applications*, disunting oleh Meireles, M.A.A. USA: CRC Press. hlm. 404-434.
- Chew, Y.L., Lim, Y.Y., Omar, M. & Khoo, K.S. 2008. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. *LWT - Food Science and Technology* 41: 1067-1072.
- Cho, E.H., Park, K.H., Kim, S.Y., Oh, C.S., Bang, S.I. & Chae, H.J. 2011. Process development for deodorization of fucoidan using a combined method of solvent extraction and spray drying. *Korean Society for Biotechnology and Bioengineering Journal* 26(1): 49-56.
- Costa, L.S., Fidelis, G.P., Telles, C.B., Dantas-Santos, N., Camara, R.B., Cordeiro, L.S., Almeida-Lima, J., Melo-Silveira, R.F., Oliveira, R.M., Albuquerque, I.R., Andrade, G.P. & Roche, H.A. 2011. Antioxidant and antiproliferative activities of heterofucans from the seaweed *Sargassum filipendula*. *Marine Drugs* 9(6): 952-966.
- Cox, S., Abu-Ghannam, N. & Gupta, S. 2010. An assessment of the antioxidant and antimicrobial activity of six species of edible Irish seaweeds. *International Food Research Journal* 17: 205-220.
- Doble, M. & Kumar, A. 2005. *Biotreatment of Industrial*. United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
- Ermakova, S., Kusaykim, M., Trincone, A. & Tatiana, Z. 2015. Are multifunctional marine polysaccharides a myth or reality? Dlm. *Marine Biomolecules*, disunting oleh Trincone, A., Kusaykim, M. & Ermakova, S. Switzerland: Frontiers Media. hlm. 94-97.
- Freile-Pelegrín, Y. & Robledo, D. 2014. Bioactive phenolic compounds from algae. Dlm. *Bioactive Compounds from Marine Foods: Plant and Animal Sources*, disunting oleh Hernández-Ledesma, B. & Herrero, M. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- Gupta, S. & Abu-Ghannam, N. 2011. Bioactive potential and possible health effects of edible brown seaweeds. *Trends Food Science and Technology* 22: 315-326.
- Heo, S.J., Park, E.J., Lee, K.W. & Jeon, Y.J. 2005. Antioxidant activities of enzymatic extracts from brown seaweeds. *Biosource Technology* 96: 1613-1623.

- Hu, T., Liu, D., Chen, Y., Wu, J. & Wang, S. 2010. Antioxidant activities of sulfated polysaccharide fraction extracted from *Undaria pinnatifida* *in vitro*. *International Journal of Biological Macromolecules* 46: 193-198.
- Imbs, T.I., Skriptsova, A.V. & Zvyagintseva, T.N. 2015. Antioxidant activity of fucose containing sulphated polysaccharides obtained from *Fucus evanescens* by different extraction methods. *Journal of Applied Psychology* 27: 545-553.
- Indrawati, R., Sukowijoyo, H., Indratmoko, Wijayanti, R.D.E. & Limantara, L. 2015. Encapsulation of brown seaweed pigment by freeze-drying: Characterization and its stability during storage. *Procedia Chemistry* 14: 353-360.
- Ioannou, E. & Roussis, V. 2009. Natural products from seaweeds. Dlm. *Plant-derived Natural Products*, disunting oleh Osbourn, A. & Lanzotti, V. New York: Springer. hlm. 51-81.
- Keyimu, X.G. & Aminah, A. 2014. *Elimination of seaweed odour and its effect on antioxidant activity*. American Institute of Physics Publishing 1614: 339-403.
- Khalili, N.R., Pan, M. & Sandi, G. 2000. Determination of fractal dimensions of solid carbons from gas and liquid phase adsorption isotherms. *Carbon* 38(4): 573-588.
- Kim, S.K. 2015. *Springer Handbook of Marine Biotechnology*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Kotnala, S., Garg, A. & Chatterj, A. 2009. Screening for the presence of antimicrobial activity in few Indian seaweeds. *Pertanika Journal of Tropical Agriculture Science* 32: 69-75.
- LePape, M.A., Grua-Priol, J. & Demaimay, M. 2002. Effect of two storage conditions on the odor of an edible seaweed, *Palmaria palmata*, and optimization of an extraction procedure preserving its odor characteristics. *Journal of Food Science* 67(8): 3135-3139.
- Li, B., Lu, F., Wei, X.J. & Zhao, R.X. 2008. Fucoidan: Structure and bioactivity. *Molecules* 13: 1671-1695.
- Lim, S.L., Khalafu, S.H.S., Wan Aida, W.M. & Lim, S.J. 2017. Effects of different precipitation method on physicochemical properties and antioxidant activities of alginates from *Sargassum* sp. *Sains Malaysiana* 46(10): 1807-1816.
- Lim, S.J., Wan Aida, W.M., Maskat, M.Y., Latip, J., Badri, K.H., Hassan, O. & Yamin, B.M. 2016. Characterisation of fucoidan extracted from Malaysian *Sargassum binderi*. *Food Chemistry* 209: 267-273.
- Lim, S.J., Wan Aida, W.M., Maskat, M.Y., Mamot, S., Ropien, J. & Diah, M.M. 2014. Isolation and antioxidant capacity of fucoidan from selected Malaysian seaweeds. *Food Hydrocolloid* 42: 280-288.
- Manivannan, K., Thirumaran, G., Karthikai, D.G., Anantharaman, P., Balasubramanian, T.N., Rosfarizan, M., Javad, B., Saeedeh, Z.B., Fahimeh, F. & Heshu, S.R. 2009. Proximate composition of different group of seaweeds from vedalai coastal waters (Gulf of Mannar): Southeast coast of India. *Middle-East Journal of Scientific Research* 4: 72-77.
- Marsh, H. & Reinoso, F.R. 2006. *Activated Carbon*. Netherland: Elsevier.
- Miralai, S., Khan, M.M. & Islam, M.R. 2008. Replacing artificial additives with natural alternatives. Dlm. *Nature Science and Sustainable Technology Research Progress*, disunting oleh Islam, R. USA: Nova Publishers. hlm. 45-76.
- Rashed, M.N. 2013. Adsorption technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater. Dlm. *Organic Pollutants Monitoring, Risk and Treatment*, disunting oleh Rashed, M.N. IntechOpen. hlm. 167-194.
- Mohd Fadzelly, A.B., Fifiyana, A.K. & Perisamy, E. 2015. Comparison of phytochemicals and antioxidant properties of different fruit parts of selected Artocarpus species from Sabah, Malaysia. *Sains Malaysiana* 44(3): 355-363.
- Park, K.Y., Cho, E.H., Kim, N.C. & Chae, H.J. 2010. Production of fucoidan using marine algae. *KSBB Journal* 25: 223-229.
- Park, P.J., Heo, S.J., Park, E.J., Kim, S.K., Byun, H.G., Jeon, B.T. & Jeon, Y.J. 2005. Reaction oxygen scavenging effect of enzymatic extracts from *Sargassum thunbergii*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 57: 6666-6672.
- Patra, J.K., Rath, S.K., Jena, K., Rathod, V.K. & Thatoi, H. 2008. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of seaweed (*Sargassum* sp.) extract: A study on inhibition of glutathione-S-transferase activity. *Turk Journal of Biology* 32: 119-125.
- Radaideh, J.A., Alazba, A.A., Amin, M.N., Shatnawi, Z.N. & Amin, M.T. 2016. Improvement of indoor air quality using local fabricated activated carbon from date stones. *Sains Malaysiana* 45(1): 59-69.
- Rajauria, G., Kumar, A., Abu-Ghannam, N. & Gupta, S. 2010. Effect of hydrothermal processing on colour, antioxidant and free radical scavenging capacities of edible Irish brown seaweeds. *International Journal of Food Science and Technology* 45: 2485-2493.
- Ruperez, P., Ahrazem, O. & Leal, J.A. 2002. Potential antioxidant capacity of sulphated polysaccharides from edible brown seaweed *Fucus vesiculosus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 840-845.
- Sasidharan, S., Ibrahim, D. & Mohd Kassim, M.J.N. 2008. Preliminary isolation and *in vitro* antiyeast activity of active fraction from crude extract of *Gracilaria changii*. *Indian Journal of Pharmacology* 40(5): 227-229.
- Sharma, R. 2013. Practice and mechanisms of disease. Dlm. *Polyphenols in Human Health and Disease*, disunting oleh Watson, R.R., Preedy, V.R. & Zibadi, S. New York: Academic Press. hlm. 757-774.
- Shevchenko, N.M., Anastiuk, S.D., Gerasimenko, N.I., Dmitrenok, V.V. & Zviagintseva, T.N. 2007. Polysaccharide and lipid composition of the brown seaweed *Laminaria gurjanovae*. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry* 3: 96-107.
- Stone, H., Sidle, J., Oliver, S., Woolsey, A. & Singleton, R.C. 1974. Sensory evaluation by quantitative descriptive analysis. *Food Technology* 28(11): 24-34.
- Synytsya, A., Kim, W.J., Kim, S.M., Pohl, R., Kvasnic, F., Copikova, J. & Park, Y.I. 2010. Structure and antitumor activity of fucoidan extracted from sporophyll of Korean brown seaweed *Undaria pinnatifida*. *Carbohydrates Polymer* 81: 41-48.
- Srinivasan, R. & Sorial, G.A. 2011. Treatment of taste and odor causing compounds 2-methyl isoborneol and geosmin in drinking water. *Journal of Environment Sciences* 23(1): 1-13.
- Yang, C., Chung, D., Shin, I.S., Lee, H.Y., Kim, J.C., Lee, Y.J. & Sang, G.Y. 2008. Effects of molecular weight and hydrolysis conditions on anticancer activity of fucoidans from sporophyll of *Undaria pinnatifida*. *International Journal of Biological Macromolecules* 43(5): 433-437.
- Yangthong, M., Towatana, N.H. & Phromkunthong, W. 2009. Antioxidant activities of four edible seaweeds from the Southern Coast of Thailand. *Plant Foods for Human Nutrition* 64: 218-223.

Pusat Bioteknologi dan Makanan Berfungsi
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

* Pengarang untuk surat-menyurat; email: joe@ukm.edu.my

Diserahkan: 3 Mac 2017

Diterima: 25 Februari 2018