

Ulasan ilmiah/ Review

PANGAN BIOFUNGSIONAL HIDROKOLOID DARI RUMPUT LAUT DAN APLIKASINYA DALAM INDUSTRI PANGAN

Hydrocolloids Biofunctional Food from Seaweeds and Its Applications in Food Industry

Dedi Noviendri¹⁾ dan Reno Fitri Hasrini²⁾

¹⁾ Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan (BBP4B-KP), Jl. KS. Tubun Petamburan VI, Jakarta Pusat. 10260.

²⁾ Balai Besar Industri Agro (BBIA), Jl. Ir. H. Juanda 11, Bogor 16122.

Korespondensi, email: dedinov@yahoo.com

ABSTRACT: Hydrocolloids have a wide array of functional properties in foods. The most hydrocolloids from seaweeds are carrageenan, alginate and agar. Carrageenan and agar are sulfates polysaccharides mainly extracted from red seaweeds (Rhodophyceae) while alginate is extracted from brown seaweeds (Phaeophyceae). Gelidium and Gracilaria are the main seaweeds for commercially producing agar. Kappaphycus and Euchema species are the main seaweeds for commercially producing carrageenan. Then, Laminaria and Sargassum species are the main brown algae for commercially producing alginate. Furthermore, hydrocolloids from seaweeds or marine hydrocolloids are applied in the food industry for their functional characteristics such as emulsifying, thickening, gelling, and stabilizing agent. All of these hydrocolloids namely, alginate, agar and carrageenan have received regulatory approvals from the European Council, the United States Food and Drug Administration, Food and Agriculture Organization, and Codex Alimentarius Commission.

Keywords: Hydrocolloid, biofunctional food, seaweed, carrageenan, alginate, agar, food industry

PENDAHULUAN

Pangan biofungsional yang berasal dari sumber laut pada umumnya, dan rumput laut khususnya sangat banyak ragamnya, seperti karaginan, alginat, agar, karotenoid, asam lemak (*fatty acid*), laminarin, fukoidan, ulvan, kitin, kitosan, minyak ikan dan lainnya. Namun dalam tulisan ini hanya difokuskan pada tiga jenis pangan biofungsional hidrokoloid (fikokoloid) yang berasal dari rumput laut, dan telah banyak dimanfaatkan dalam industri pangan, adalah karaginan, alginat, dan agar. Penulis menggunakan istilah biofungsional untuk menjelaskan ketiga jenis pangan tersebut. Penggunaan istilah biofungsional adalah dikarenakan sumbernya berasal dari bahan hayati (makhluk hidup). Dalam hal ini bahan hayatinya dari sumber rumput laut yang memiliki sifat fungsional.

Untuk memudahkan pemahaman tentang hidrokoloid (fikokoloid), akan dijelaskan secara umum definisi dari fikokoloid tersebut. Adapun istilah fikokoloid menurut FAO

(2004); Ioannou and Roussis (2009) adalah didefinisikan sebagai hidrokoloid yang diekstrak dari rumput laut. Penggunaan istilah hidrokoloid adalah mengacu pada suatu rentang polimer rantai panjang (polisakarida dan protein) (Saha and Bhattacharya, 2010) yang bila dilarutkan dalam air membentuk larutan viskos. Saat ini hidrokoloid banyak digunakan secara luas dalam berbagai sektor industri untuk membentuk sejumlah fungsi tertentu. Fungsi tersebut mencakup sebagai fungsi pengental, pembentuk larutan *gelling*, penstabil buih, emulsi, dispersi, penghambatan pembentukan es dan kristal, pengontrol pembebasan flavor, dan lainnya (Williams and Phillips, 2000).

Definisi untuk istilah pangan fungsional belum diterima secara universal sampai sekarang (FAO, 2007), dan begitu juga untuk istilah nutrasetikal (Palinic, 2007). Dengan kata lain, istilah pangan fungsional ini belum ada yang baku atau standar. Hasler (1996), menyebutkan bahwa istilah pangan fungsional telah digunakan secara luas dan didefinisikan sebagai pangan atau komponen pangan yang

didisain untuk menolong modulasi kesehatan dan pengobatan manusia atau pencegahan berbagai penyakit. Menurut *Health Canada* (1998), bahwa pangan fungsional adalah komponen pangan yang menyediakan dan memberikan keuntungan secara fisiologis atau dapat mereduksi resiko dari suatu penyakit melebihi fungsi-fungsi dasar nutrisinya. Kemudian *Institute of Medicine's Food and Nutrition Board* mendefinisikan pangan fungsional sebagai "beberapa pangan atau bahan pangan yang menyediakan suatu keuntungan kesehatan melebihi dari nutrisi tradisional yang dikandungnya" (Wildman, 2001).

Istilah pangan fungsional ini telah diperkenalkan di Jepang pertama kali pada pertengahan tahun 1980-an (Arai, 1996). Tipe pangan ini telah dikenal di pasar Jepang sebagai *Foods for Specified Health Use* (FOSHU) (Grajeck *et al.*, 2005). Pangan fungsional ini terdiri dari; (i) pangan konvensional yang secara alami mengandung bahan-bahan bioaktif, (ii) pangan yang diperkaya dengan bahan-bahan bioaktif, dan (iii) bahan pangan sintetis yang dimasukkan ke dalam pangan tradisional (Grajeck *et al.*, 2005). Selanjutnya di Korea, pangan fungsional didefinisikan sebagai *dietary supplement* yang tujuannya untuk suplemen (tambahan) diet normal dan harus dipasarkan dalam dosis terukur, seperti dalam pil dan tablet (Kim *et al.*, 2006).

Sekitar pertengahan tahun 1990-an di Eropa, suatu kelompok kerja yang dikoordinasi oleh *European Section* dari lembaga ilmu pengetahuan hayati internasional (*International Life Science Institute*, ILSI), dan didukung oleh *European Commission*, telah membuat suatu program kerangka kerja IV FUFOS (Functional Food Science in Europe) untuk menstimulir studi ilmiah dalam pangan fungsional. Dari proyek ini suatu definisi untuk pangan fungsional telah diajukan yaitu suatu pangan dapat dipertimbangkan "fungsional" jika, disamping memiliki efek nutrisi, pangan juga harus memiliki keuntungan untuk satu atau fungsi yang lebih bagi manusia, dapat meningkatkan kondisi kesehatan atau mereduksi resiko dari suatu penyakit (Diplock *et al.*, 1999). Sedangkan di Indonesia, definisi pangan fungsional telah ditetapkan menurut peraturan Kepala Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM) Nomor HK 00.05.52.0685, tentang ketentuan pokok pengawasan pangan

fungsional pada Bab I Pasal 1 ayat 3, yang ditetapkan pada tanggal 27 Januari 2005. Adapun definisi pangan fungsional menurut BPOM tersebut adalah suatu pangan olahan yang mengandung satu atau lebih komponen fungsional yang berdasarkan kajian ilmiah mempunyai fungsi fisiologis tertentu, terbukti tidak membahayakan dan bermanfaat bagi kesehatan (Supriatna, 2006). Dalam tulisan ini akan dibahas/diulas tentang: rumput laut dan jenis hidrokoloidnya, teknologi pengolahan hidrokoloid dari rumput laut dan aplikasi hidrokoloid dalam industri pangan.

RUMPUT LAUT DAN JENIS HIDROKOLOIDNYA

Rumput laut adalah suatu kelompok besar dari kehidupan tanaman laut yang disebut alga. Alga ini terdiri dari dua kategori utama, yaitu uniselular alga (mikroalga) dan makroalga. Uniselular alga mencakup spirulina, *chlorella* dan plankton. Sedangkan makroalga adalah organisme yang lebih besar dan mereka biasa disebut dengan rumput laut. Rumput laut dinamakan sebagai makroalga dikarenakan kelimpahannya yang besar di laut dan samudera (Mišurcová, 2012). Holt (2008) mengelompokkan rumput laut ke dalam empat kelompok berdasarkan warnanya yaitu rumput laut hijau (*Chlorophyta*), coklat/kuning (*Phaeophyta*), merah (*Rhodophyta*), dan biru hijau (*Cyanophyta*). Sedangkan Rajasulochana *et al.*, (2009), mengklasifikasikan rumput laut ke dalam tiga kelompok berdasarkan komposisi nutrien dan kimianya yaitu rumput laut merah, coklat dan hijau. Kebanyakan rumput laut ini dibagi atas tiga kategori berdasarkan pigmen atau warnanya (Chee *et al.*, 2010; Apostolidis and Lee, 2012; Hu *et al.*, 2012; Mišurcová, 2012; Parapurath *et al.*, 2012), seperti hijau (900 spesies) (Khan and Satam, 2003), merah (4.500 spesies), dan coklat (1.000 spesies) (Ismail and Hong, 2002).

Berdasarkan perkiraan, rumput laut ini jumlahnya di alam ada sekitar 45.000 spesies (Bequette and France, 1997). Namun baru sekitar 6.000 spesies yang telah teridentifikasi dan dikelompokkan atas tiga kelas yang berbeda (Chandini *et al.*, 2008). Rumput laut ini telah sangat lama digunakan sebagai bahan makanan diet di Cina, Jepang dan Korea (Wijesekara *et al.*, 2012). Rumput laut hijau *Enteromorpha*, *Ulva*, *Caulerpa* dan *Codium* telah digunakan secara eksklusif sebagai sumber

makanan. Rumput laut hijau sering digunakan sebagai salad segar atau dimasak sebagai sayur, sedang *Porphyra* (Nori), *Laminaria* (Kombu) and *Undaria* (Wakame) digunakan untuk membuat masakan ikan dan daging seperti sup (Khan and Satam, 2003). Dengan demikian, rumput laut ini telah menjadi makanan tradisional di Asia (Gunji *et al.*, 2007), dan telah banyak digunakan sebagai bahan makanan dalam diet oleh orang Asia Timur (Apostolidis and Lee, 2012) (seperti, *hijiki*, *kelp*, *laver* dan *wakame*)(Sugarawa *et al.*, 2002).

Rumput laut mengandung asam lemak esensial, seperti asam linoleat (asam omega 6) dan asam alfa linolenat (asam omega 3) (Noviendri *et al.*, 2011a). Rumput laut coklat seperti *Padina australis* memiliki kandungan asam eikosapentanoat yang dikenal dengan EPA (*eicosapentaenoic acid*) (Jaswir *et al.*, 2011a), *Sargassum binderi* dan *S. duplicatum* juga memiliki kandungan EPA dan asam dokosaheksanoat yang dikenal dengan DHA (*docosahexaenoic acid*) (Noviendri *et al.*, 2011a). Selain itu, rumput laut juga mengandung vitamin, mineral (McDermid and Stuercke, 2003; Hong *et al.*, 2007; Holt, 2008; Rajasulochana *et al.*, 2009), karotenoid seperti fukosantin pada rumput laut coklat (Noviendri *et al.*, 2011a, 2011b, 2011c; Jaswir *et al.*, 2011a, 2011b, 2011c), asam amino, dan serat non kalori (Sugarawa *et al.*, 2002). Pigmen (zat warna) yang dikandung oleh rumput laut ini memiliki sifat nutrasetikal penting, mencakup sumber potensial antioksidan (Sangeetha *et al.*, 2009), dan berbagai sifat bioaktif lainnya (Holt, 2008). Selain sebagai bahan makanan, rumput laut telah digunakan juga sebagai pupuk, pakan ternak dan untuk tujuan pengobatan lainnya dalam waktu lama (Rohani-Ghadikolaei *et al.*, 2011).

Seperti tanaman lainnya, rumput laut mengandung berbagai jenis senyawa organik dan anorganik yang mungkin bermanfaat untuk kesehatan manusia (Ismail and Hong, 2002). Rumput laut juga dapat menghasilkan beberapa polisakarida seperti asam alginat, agar dan karaginan yang berbeda dari tanaman teresterial asli (Kakita and Kamishima, 2008). Agar dan karaginan merupakan polisakarida yang diekstrak dari *Rhodophyceae*, sedangkan

alginat diekstrak dari *Phaeophyceae* (Ioannou and Roussis, 2009).

Sebanyak 221 spesies rumput laut telah digunakan secara komersial. Sekitar 145 spesies digunakan untuk pangan, dan sisanya untuk produksi fikokoloid non pangan (misalnya, agar untuk bakteriologi dan bioteknologi)(Khan and Satam, 2003). Dari semua produk rumput laut, fikokoloid atau hidrokoloid ini telah mempunyai pengaruh yang paling besar dalam masyarakat Barat modern (Smit, 2004). Berbagai macam rumput laut telah digunakan untuk menghasilkan hidrokoloid seperti karaginan, alginat dan agar (Bixler and Porse, 2010) sebagai bahan *thickening* dan *gelling* dalam industri pangan dan biomedik. Ekstrak rumput laut ini telah ditemukan secara luas dalam produk-produk yang biasa digunakan sehari-hari seperti pasta gigi, pembentuk gel, mayonais, es krim (Tseng 2001), keju, permen, bir, gel sabun, agar bakteriologi dan kertas (Turan and Neori, 2010).

Sekarang ini ada 42 negara di dunia dengan laporan aktivitas rumput laut komersialnya. Cina menduduki posisi tertinggi dalam produksi rumput laut, dengan produksi *Laminaria* sp. yang paling banyak, lalu diikuti Korea Utara, Korea Selatan, Jepang, Filipina, Cili, Norway, Indonesia, USA dan India. Sepuluh negara ini berkontribusi sekitar 95% dari volume rumput laut komersial dunia (Khan and Satam, 2003). Dari data produksi budidaya rumput laut dunia pada tahun 2006 (Tabel 1), Cina adalah penghasil rumput laut paling besar dengan 10,9 juta ton (berat basah), diikuti oleh Filipina (1,5 juta ton), Republik Korea (1,2 juta ton), Indonesia (0,91 juta ton), dan Jepang (0,49 juta ton) seperti pada Tabel 1 (FAO, 2009 di dalam Turan and Neori, 2010). Sedangkan pada tahun 2012, total produksi budidaya rumput laut di dunia mengalami penurunan yang sangat signifikan bila dibandingkan tahun 2006. Namun Cina tetap menjadi negara teratas dalam produksi budidaya rumput laut, lalu disusul oleh Jepang diposisi kedua, Filipina, Korea Utara dan Selatan, serta Indonesia yang berturut-turut pada posisi ketiga, empat, lima dan enam 2012 (Murty and Banerjee, 2012).

Tabel 1. Produksi budidaya rumput laut dunia di tahun 2006

Negara	Produksi Rumput Laut (ton)	Spesies	Penggunaan	Nilai (US\$'000)
Cina	10.867.410	<i>Laminaria japonica</i> (lebih dari 70% kontribusi)	Alginat, pangan, dan industri lainnya	5.240.817
Filipina	1.468.905	<i>Kappaphycus alvarezii</i> , <i>Eucheuma denticulatum</i>	Karaginan	173.953
Korea	1.209.895	<i>Undaria pinnatifida</i> (hampir 50% kontribusi)	Pangan	514.022
Indonesia	910.636	<i>Kappaphycus alvarezii</i> , <i>Eucheuma denticulatum</i>	Karaginan	127.489
Jepang	490.052	<i>Porphyra yezoensis</i> , <i>P. tenera</i> (75% dari total produksi)	pangan	1.051.361
Total dunia	15.075.612	<i>Laminaria</i> , <i>Undaria</i> , <i>Kappaphycus</i> , <i>Eucheuma</i> , <i>Porphyra</i> , <i>Gracilaria</i>	Fikokoloid atau hidrokoloid (karaginan, alginat, agar), pangan, dan industri lainnya	7.187.125

Sumber: Turan and Neori (2010)

Karaginan dan agar banyak diekstrak dari rumput laut merah (Williaams and Phillips, 2000), serta alginat banyak diekstrak dari rumput laut coklat (Williaams and Phillips, 2000; Reyes-Tisnado, *et al.*, 2005).

Adapun sumber-sumber dari karaginan, alginat dan agar dengan lebih lengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Sumber hidrokoloid dari berbagai spesies rumput laut dan negara penghasilnya di dunia

Jenis Hidrokoloid	Spesies	Negara	Jenis Hidrokoloid	Spesies	Negara
Rhodophyta (rumput laut merah)			Rhodophyta (rumput laut merah)		
Karaginan	<i>Acanthophora spicifera</i>	Vietnam	Agar	<i>Gelidium capense</i>	Afrika Selatan
	<i>Betaphycus gelatinum</i>	Vietnam		<i>G. chilense</i>	Cili
	<i>Chondrus crispus</i>	Perancis, Spanyol, USA		<i>G. latifolium</i>	Spanyol
	<i>Eucheuma alvarezii</i>	Malaysia		<i>G. lingulatum</i>	Cili
	<i>E. denticulatum</i>	Filipina, Madagaskar		<i>G. madagascariense</i>	Madagaskar
	<i>E. gelatinae</i>	Cina, Indonesia, Filipina		<i>G. pristoides</i>	Afrika Selatan
	<i>E. striatum</i>	Madagaskar		<i>G. robustum</i>	Meksiko
	<i>Gigartina intermedia</i>	Vietnam		<i>G. rex</i>	Cili
	<i>G. scottbergii</i>	Argentina, Cili		<i>G. sesquipedale</i>	Moroko, Portugal, Spanyol
	<i>Gloiopeltis furcata</i>	Jepang		<i>Gracilaria caudata</i>	Brazil
	<i>G. tenax</i>	Jepang		<i>G. chilensis</i>	Cili
	<i>G. complanata</i>	Jepang		<i>G. cornea</i>	Brazil
	<i>Gracilaria spp.</i>	Malaysia		<i>G. edulis</i>	India
	<i>G. firma</i>	Filipina		<i>G. firma</i>	Filipina, Vietnam
	<i>Gymnogongrus furcellatus</i>	Cili		<i>G. fisheri</i>	Thailand
	<i>Hypnea musciformis</i>	Brazil		<i>G. folifera</i>	India
	<i>H. mucoides</i>	Vietnam		<i>G. gracilis</i>	Afrika

Jenis Hidrokoloid	Spesies	Negara	Jenis Hidrokoloid	Spesies	Negara
	<i>H. valentiae</i>	Vietnam		<i>G. heteroclada</i>	Selatan Filipina, Vietnam
	<i>Iridaea ciliata</i>	Cili		<i>G. howei</i>	Peru
	<i>I. laminarioides</i>	Cili		<i>G. lemaneiformis</i>	Meksiko, Peru
	<i>Kappaphycus alvarezii</i>	Filipina, Tanzania		<i>G. longa</i>	Italia
	<i>K. cottonii</i>	Vietnam		<i>G. pacifica</i>	Kanada
	<i>Martocarpus papilatus</i>	Cili		<i>G. salicornia</i>	Thailand
	<i>M. stelatus</i>	Portugal, Spanyol		<i>G. tenuistipitata</i>	Cina, Filipina, Thailand, Vietnam
Agar	<i>Gelidiella acerosa</i>	India, Malaysia, Vietnam		<i>G. verrucosa</i>	Argentina, Mesir, Italia
	<i>Gelidium spp</i>	Cina, Jepang		<i>Glacilariopsis lemaneiformis</i>	Kanada
	<i>G. abbottiorum</i>	Afrika Selatan		<i>Pterocladia lucida</i>	New Zeland
Phaeophyta (rumput laut coklat)			Phaeophyta (rumput laut coklat)		
Alginat	<i>Ascophyllum nodosum</i>	Ireland, Norway, UK	Alginat	<i>Sargassum aquifolium</i>	Indonesia
	<i>Cystoseira barbata</i>	Mesir		<i>Sargassum spp.</i>	Vietnam
	<i>Durvillaea potatorum</i>	Australia		<i>S. graminifolium</i>	Vietnam
	<i>Fucus serratus</i>	Ireland		<i>S. henslowianum</i>	Vietnam
	<i>F. vesiculosus</i>	Ireland		<i>S. ilicifolium</i>	India
	<i>Laminaria digitata</i>	Perancis, Ireland		<i>S. mclurei</i>	Vietnam
	<i>L. hyperborea</i>	Ireland, Norway, Spanyol, UK		<i>S. myriocystum</i>	India
	<i>L. japonica</i>	Cina		<i>S. polycystum</i>	Vietnam
	<i>L. orcholeuca</i>	Spanyol		<i>S. siliquosum</i>	Vietnam
	<i>Lessonia nigrescens</i>	Cili, Peru		<i>S. wightii</i>	India
	<i>L. trabeculata</i>	Cili		<i>S. vachellianum</i>	Vietnam
	<i>Macrocystis integrifolia</i>	Peru		<i>Turbinaria conoides</i>	India
	<i>M. pyrifera</i>	Cili, Meksiko, Peru, USA		<i>T. decurrens</i>	India
	<i>Sargassum crassifolium</i>	Vietnam		<i>T. ornata</i>	India

Sumber: Zemke-White and Ohno (1999)

1. Karaginan

Karaginan adalah suatu kelompok polimer anionik yang diekstrak dari rumput laut merah (Yu *et al.*, 2002; Venugopal, 2011). Karaginan ini adalah suatu polisakarida alga atau polimer galaktosa sulfat (Freile-Pelegrin and Robledo, 2007) yang diekstrak dengan air atau larutan alkali dari *Eucheuma* (Montano *et al.*, 1985), dan dari berbagai rumput laut merah

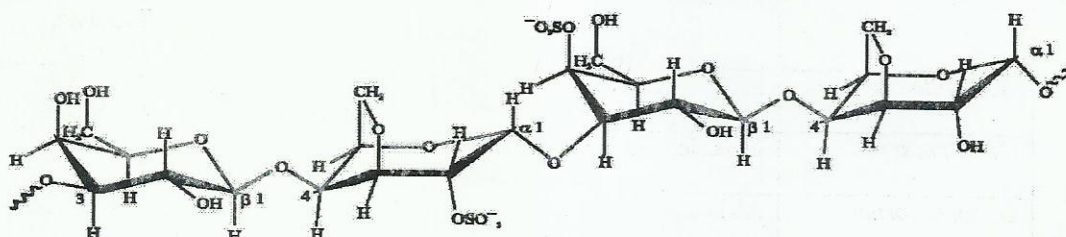
atau *Rhodophyceae* yang lainnya (McGill *et al.*, 1977). Kebanyakan karaginan diekstrak secara komersial dari *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva (yang dikenal dengan nama komersial "cottoni"), yang kandungan utamanya adalah *kappa* karaginan, *iota* karaginan, karaginan termetilasi dan residu prekursor *mu* karaginan dengan level rendah (Hayashi *et al.*, 2007). *Kappaphycus alvarezii*

ini adalah rumput laut unggulan negara Filipina (sekitar 80% ekspor rumput lautnya) yang dijual dalam bentuk segar dan kering. Selain itu Filipina adalah sumber terbesar karaginan di Asia, lalu disusul oleh Indonesia, Malaysia, Jepang, China, India dan Vietnam (Bindu and Levine, 2010).

Karaginan secara umum dianggap aman (*Generally Recognized as Safe*, GRAS) oleh *Food and Drug Administration* (FDA) di Amerika (Montano *et al.*, 1985). Di Eropa juga telah dipertimbangkan sebagai zat aditif dengan nomor ijin E407 (Williams and

Phillips, 2000). Ekstrak rumput laut seperti karaginan adalah sumber diet serat yang baik (Montano *et al.*, 1985). Hasil studi Panlasigui *et al.*, (2003), menunjukkan bahwa karaginan memiliki efek hipoglikemik, mereduksi kolesterol darah dan kadar lipid dalam tubuh manusia.

Ditinjau dari struktur kimianya, maka karaginan ini terdiri dari selang-seling urutan ikatan β -(1-3) D-galaktopiranosida dan α -(1-4) D-galaktopiranosida (Yu *et al.*, 2002). Struktur kimia dari karaginan dapat dilihat pada Gambar 1.

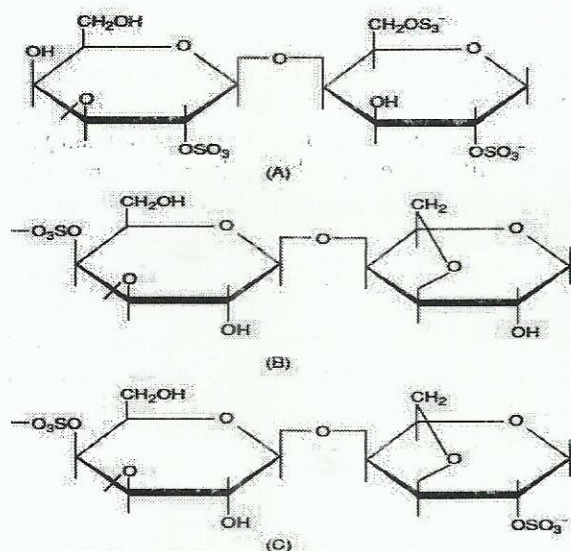


Gambar 1. Struktur molekular karaginan dengan konformasi kursi (Mahmood *et al.*, 2007; Prasad *et al.*, 2010).

Ada tiga jenis dari karaginan yaitu *lamda*, *iota* dan *kappa* (Pechillo and Izzo, 1996; Pilkington *et al.*, 1999; CPKelco, 2001; Borthakur *et al.*, 2007; Lamkey, 2009; Menon, 2012). Ketiga tipe dasar karaginan ini dibedakan oleh jumlah dan posisi gugus sulfat ester yang dimilikinya (Gambar 2). Secara struktural, struktur dari *kappa* dan *iota* karaginan adalah hampir identik. Hanya berbeda dalam jumlah gugus sulfat. *Iota* karaginan memiliki tambahan gugus sulfat pada atom karbon ke-2 (C-2) yang posisinya berlawanan dengan unit galaktosa-4-sulfat dari pengulangan disakarida, sedang *lamda* karaginan berbeda dari *kappa* dan *iota* pada posisi dari gugus sulfat dalam molekulnya (Pechillo and Izzo, 1996).

Secara umum, semakin tinggi level sulfat ester yang dimilikinya, semakin rendah suhu solubilitas dan semakin rendah kekuatan

gel (*gel strength*)-nya (Pechillo and Izzo, 1996). *Lamda* karaginan memiliki kandungan sulfat yang paling tinggi, kurang mampu untuk membentuk suatu gel (Marrs, 1998), membentuk liat atau kental dan larutan *non-gelling* (CPKelco, 2001). Bentuk *iota* karaginan membentuk suatu yang sangat elastis, gel lemah dalam keberadaan ion kalsium (Ca^{2+}) (Parapurath *et al.*, 2012) dan tidak memperlihatkan efek *syneresis* yang signifikan. *Syneresis* terjadi ketika kecenderungan dari gel untuk membentuk heliks lebih lanjut atau agregat, yang kuat (Rees, 1972). Sedangkan *kappa* karaginan memiliki kandungan sulfat yang moderat dan membentuk suatu gel yang kuat dan lebih kaku dalam keberadaan ion potasium (K^+) (Parapurath *et al.*, 2012), dan akan mengalami beberapa *syneresis* (Pilkington *et al.*, 1999).



Gambar 2.:

Struktur kimia dari tiga jenis dasar karaginan dengan konformasi Haworth:

- (A). Lamda karaginan,
(B). Kappa-karaginan,
(C). Iota-karaginan (Samaraweera *et al.*, 2012).

Ekstrak karaginan mempunyai berbagai kandungan sulfat ester yang akan mempengaruhi sifat-sifatnya (Pechillo and Izzo, 1996). Adapun sifat-sifat dari ketiga karaginan ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat-sifat karaginan

	<i>Lamda karaginan</i>	<i>Iota karaginan</i>	<i>Kappa karaginan</i>
Solubilitas			
Air panas (80°C)	Larut	Larut	larut
Air dingin (20°C)	Semua larut dalam air	Larut dalam garam Na ⁺ , Garam Ca ²⁺ memberikan <i>thixotropic sol</i>	Larut dalam garam Na ⁺ , Dibatasi oleh <i>swelling</i> dari garam K ⁺ dan Ca ²⁺
Susu panas (80°C)	Larut	Larut	larut
Susu dingin (20°C)	Mengental	Tidak larut	Tidak larut
50% larutan gula	Larut	Tidak larut	Larut bila panas
10% larutan garam	Larut bila panas	Larut bila panas	Tidak larut
Stabilitas pH >5	Stabil	Stabil	Stabil
Gelasi (Gelation)			
Efek dari kation-kation	Non-gelling	Gel paling kuat dengan Ca ²⁺	Gel paling kuat dengan K ⁺
Tekstur gel	-	elastis	rapuh
<i>Shear reversible gel</i>	-	Ya	Tidak
<i>Syneresis</i>	Tidak	Tidak	Ya
<i>Hysteresis</i>	-	5-10°C	10-20°C
<i>Stabil freeze-thaw</i>	Ya	Ya	Tidak
Sinergi dengan tepung Konjak	Tidak	Tidak	Ya
Sinergi dengan pati	Tidak	Ya	Tidak
Toleransi garam	Bagus	Bagus	Buruk
Stabilitas dalam asam	Hidrolisis	Hidrolisis dari larutan, diakselerasi dengan panas. Gel adalah stabil	
Reaktivitas protein	Interaksi meningkat pada pH asam	-	Bereaksi spesifik dengan kappa-kasein

Sumber: Kompilasi dari Imeson (2000) dan Menon (2012)

2. Alginat

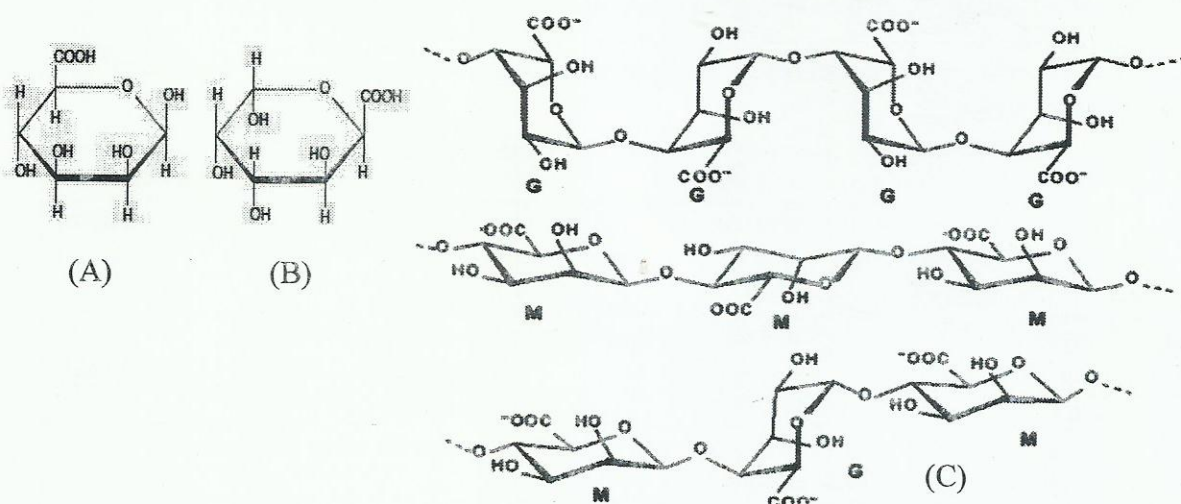
Alginat ditemukan pertama kali pada tahun 1881 oleh E.C.C. Stanford seorang ahli farmasi Inggris, sedangkan produksi secara industri (produksi secara komersial) dimulai di California pada tahun 1929. Sekarang ini, industri kunci penghasil alginat adalah Amerika, Britain, Norway, Kanada, Perancis, Jepang dan Cina. Volume penjualan tahunan

alginat di dunia adalah sekitar 26.500 ton dari volume total 86.000 ton hidrokoloid (Bixler and Porse 2010).

Istilah algin atau alginat digunakan sebagai nama generik untuk garam dari asam alginat seperti sodium, potasium, ammonium, kalsium, dan propilen glikol alginat (Menon, 2012). Alginat dari rumput laut terdiri dari dua monomer, yaitu asam β -D-manuronat dan

epimernya asam α -L-guluronat, yang tersusun dalam struktur blok-blok, yang dapat membentuk homopolimerik atau heteropolimerik (Lin and Hassid, 1966). Dengan kata lain, alginat adalah suatu kopolimer linear dari D-manuronat (M) dan L-guluronat (G) yang tersusun dari blok homopolimer dan suatu blok heteropolimer M dan G (Haug *et al.*, 1967a). Rasio dari D-

manuronat (M) dan L-guluronat (G) dalam asam alginat berubah dengan jenis rumput laut, usia, porsi dari rumput laut yang digunakan dan lokasi (Menon, 2012). Adapun struktur kimia dari alginat dapat dilihat pada Gambar 4. Dari struktur kimianya dapat dilihat bahwa alginat ini mengandung gugus karboksilat (Menon, 2012).

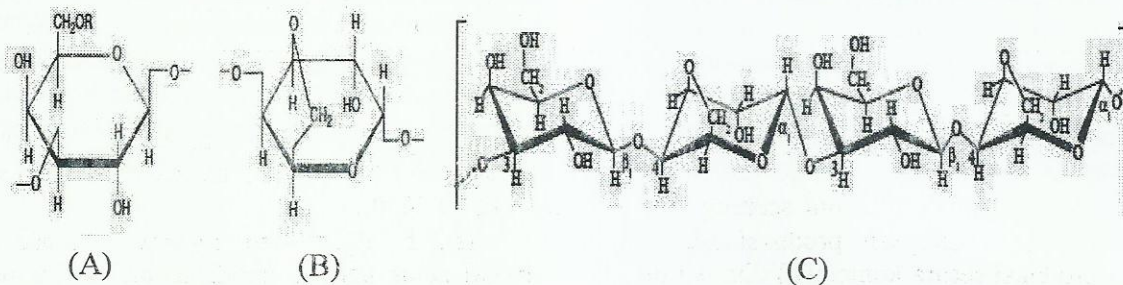


Gambar 4. Struktur kimia dari monomer alginat dengan konformasi Haworth: (A). β -D-Manuronat, (B). α -L-Guluronat (Truus *et al.*, 2001; Kang *et al.*, 2002; Draget *et al.*, 2005; Samaraweera *et al.*, 2012), (C). Struktur dasar komponen blok-G dan blok-M dari alginat dengan konformasi kursi (FMC, 2001; Onsoyen, 2001; Draget, 2000; Kang *et al.*, 2002; Draget *et al.*, 2005; Lamkey, 2009).

3. Agar

Agar adalah istilah umum untuk galaktan rumput laut yang mengandung residu α (1-4)-3,6-anhidro-L-galaktosa dan β (1-3)-D-galaktosa dengan sedikit kandungan esterifikasi sulfat sampai 6% (w/w) (Cardozo *et al.*, 2007). Agar-agar atau yang biasa disebut sebagai agar ini adalah fikokoloid (hidrokoloid) pertama yang digunakan sebagai zat aditif dalam masyarakat sipil di Timur jauh sejak 300 tahun yang lalu (Armisen *et al.*, 2000). Di Jepang dan negara Asia Timur

lainnya agar telah digunakan secara tradisional sebagai bahan dasar untuk kekuatan pengental dan *gelling* dalam sup dan air daging (Bénech, 2008). Produksi agar secara industri modern dengan teknik pembekuan telah diperkenalkan pada tahun 1921 di Kalifornia USA oleh seorang yang berkebangsaan Jepang dengan nama Matsuoka (*Ministry of Agriculture China*, 1990). Adapun struktur kimia dari agarosa (agar) yang banyak digunakan dalam bidang molekular dan telah diproduksi secara industri dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur kimia dari konstituen agar dalam bentuk konformasi Haworth: (A). β -D-galaktosa, (B). α -L-galaktosa (Samaraweera *et al.*, 2012), dan (C). Struktur kimia Agarosa (contoh agar) dalam bentuk konformasi kursi (Mano *et al.*, 2007).

Sebagai fikokoloid pertama yang digunakan oleh manusia, maka agar ini adalah satu dari bahan-bahan makanan pertama yang disetujui sebagai GRAS (*Generally Recognized as Safe*) oleh FDA (*Food and Drug Administration*) (Armisen *et al.*, 2000). Agar ini di Eropa juga telah dipertimbangkan sebagai zat aditif dengan nomor ijin E406 (Williams and Phillips, 2000; Armisen *et al.*, 2000). Kemudian dalam *Register Service* dari

Chemical Abstract telah terdaftar dengan nomor 9002-18-0 (Armisen *et al.*, 2000).

Rumput laut utama yang digunakan untuk membuat agar ini mencakup *Gelidium* sp. dan *Gracilaria* sp. (Lee, 2008; Menon, 2012). Dalam penggunaannya, agar ini dikelompokkan atas dua kelompok besar berdasarkan penggunaan akhirnya, yaitu agar alami dan agar industri seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. *Grade* agar berdasarkan pada penggunaan akhir dan agarofit yang digunakan untuk produksinya

	Jenis aplikasi agar	Agarofit yang digunakan
Agar alami	<i>Strip</i> dan <i>Square</i> , disesuaikan hanya dalam dapur tradisional masyarakat Timur jauh	Dihasilkan paling banyak dengan <i>Gelidium</i> dengan metode tradisional
Agar industri	Agar <i>food grade</i> , digunakan untuk aplikasi industri pangan	<i>Gracilaria</i> , <i>Gelidium</i> , <i>Pterocladia</i> , <i>Ahnfeltia</i> , <i>Gelidiella</i>
	Agar farmakologi	<i>Gelidium</i>
	<i>Bacteriology grade</i> , digunakan untuk formulasi media bakteriologi	<i>Gellidium</i> atau <i>Pterocladia</i>
	<i>Purified agar</i> , digunakan dalam biokimia dan dalam media untuk bakteri yang sangat sulit	<i>Gelidium</i>

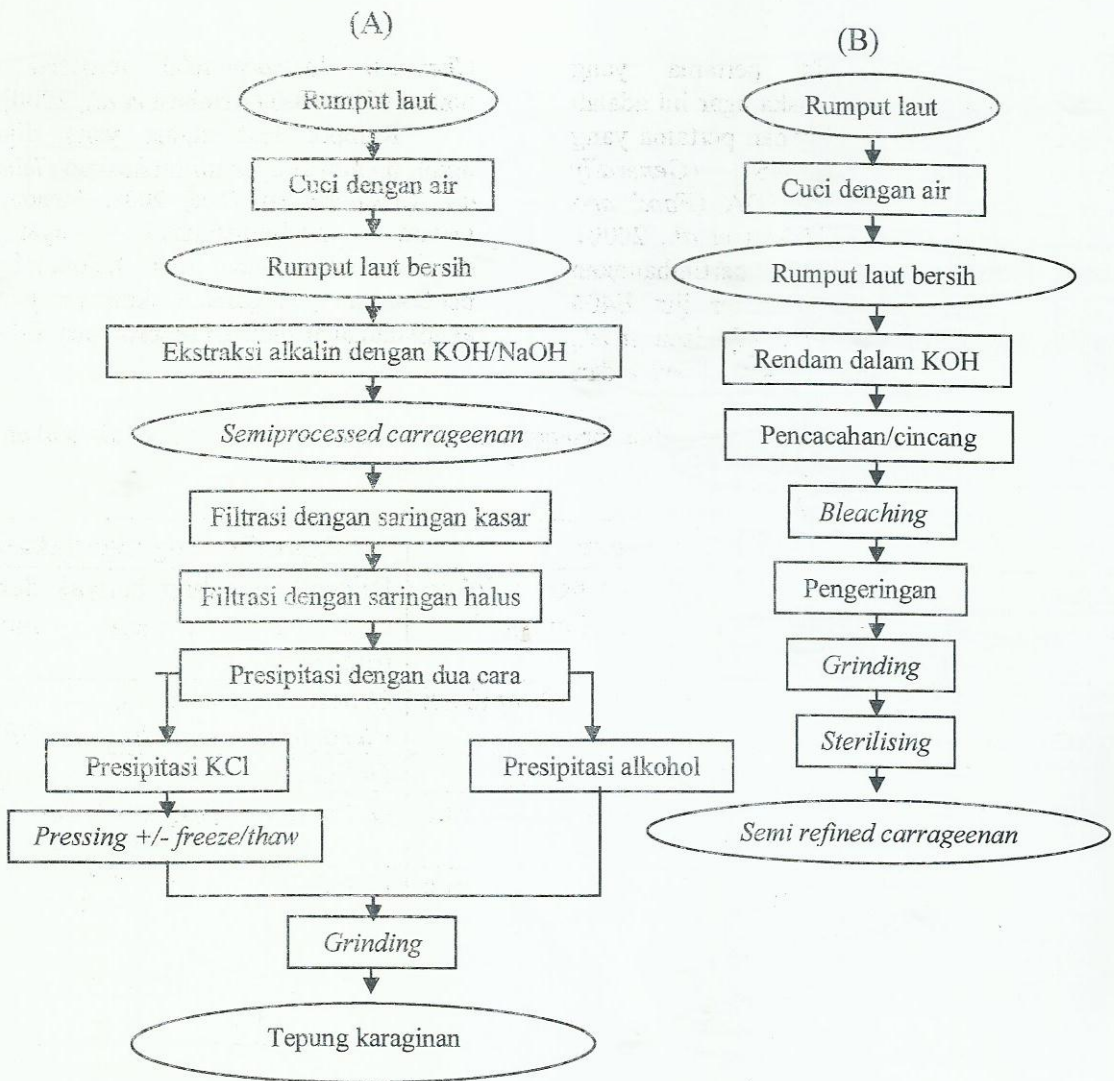
Sumber: Armisen (1995)

TEKNOLOGI PENGOLAHAN HIDROKOLOID DARI RUMPUT LAUT

1. Pengolahan Karaginan

Processed Eucheuma Seaweed (PES) juga dikenal sebagai *Philippines Natural Grade* (PNG), *semi-refined carrageenan* (SRC), *alternatively refined carrageenan* (ARC) and *alkali-modified flour* (AMF) (Menon, 2012) adalah berbagai istilah yang digunakan untuk menggambarkan rumput laut *Eucheuma* yang dipanen disekitar Filipina dan Indonesia, dan langsung diperlakukan dengan alkali untuk memodifikasi karaginan dalam rumput laut. Cara ini adalah suatu proses yang lebih ekonomis sebagai cara menghindari ekstraksi karaginan ke dalam larutan yang lebih encer

yang memerlukan tahap pengkonsentrasian dan pengeringan yang mahal untuk membuat tepung karaginan (Imeson, 2000). Karaginan *semiprocessed* dihasilkan dengan perlakuan alkali pada *Eucheuma* dan pengeringan dalam ladangnya sendiri. Sekeranjang rumput laut direndam dan dimasak dalam larutan KOH pada suhu 100 °C dan kemudian direndam dalam air segar untuk mengekstrak alkali. Hasil dikeringkan dan digiling menjadi tepung. Dengan proses ini jumlah air yang diperlukan untuk menghasilkan produk akhir dapat diminimalisir, oleh karena itu dapat mereduksi biaya produksi (Ramalingam *et al.*, 2003). Proses pengolahan rumput laut *Eucheuma* menjadi produk *gelling grade* yang komersial dibandingkan dengan proses ekstraksi secara tradisionalnya ditampilkan pada Gambar 5.

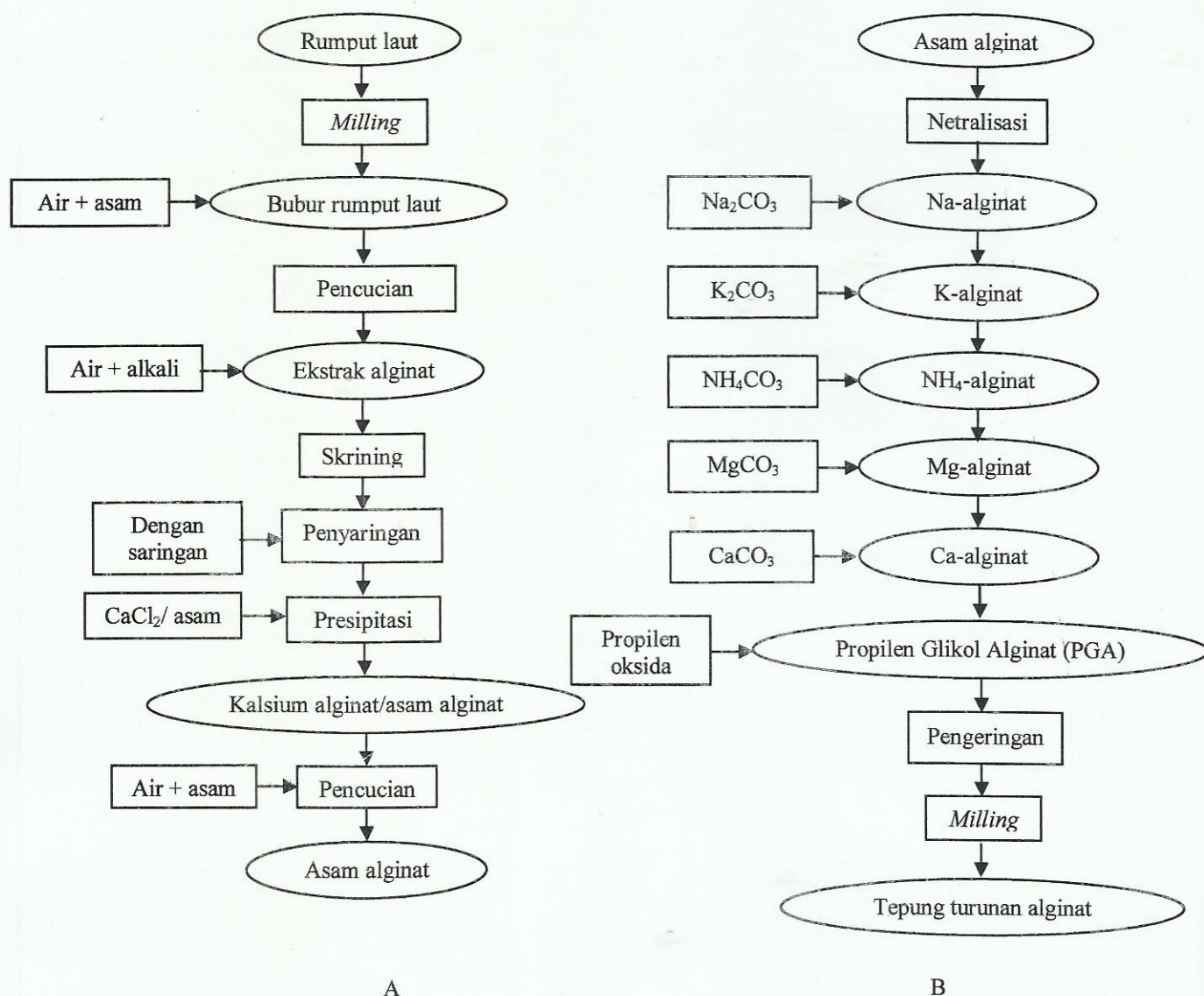


Gambar 5. Proses pembuatan karaginan secara tradisional (A), dan pemrosesan rumput laut *Eucheima* menjadi produk *gelling grade* yang komersial (B) (Imeson, 2000).

2. Pengolahan Alginat

Alginat dan turunannya seperti sodium alginat, kalsium alginat, potasium alginat dan ammonium alginat telah dinyatakan sebagai GRAS (aman) di Amerika ketika digunakan sebagai suatu penstabil atau *thickener* (FMC, 2001). Kemudian propilen glikol alginat (PGA) yang juga merupakan turunan alginat telah diakui sebagai suatu pangan aditif yang

diatur dalam 21 CFR 172.858 (FMC, 2001). Dari sekian banyak turunan alginat, hanya PGA ini yang banyak digunakan dalam industri pangan (Bixler and Porse, 2010). PGA ini adalah diproses dengan suatu esterifikasi dari alginat dengan propilen oksida (Draget, 2000). Adapun cara pengolahan alginat bersama dengan turunannya dapat dilihat pada Gambar 6.

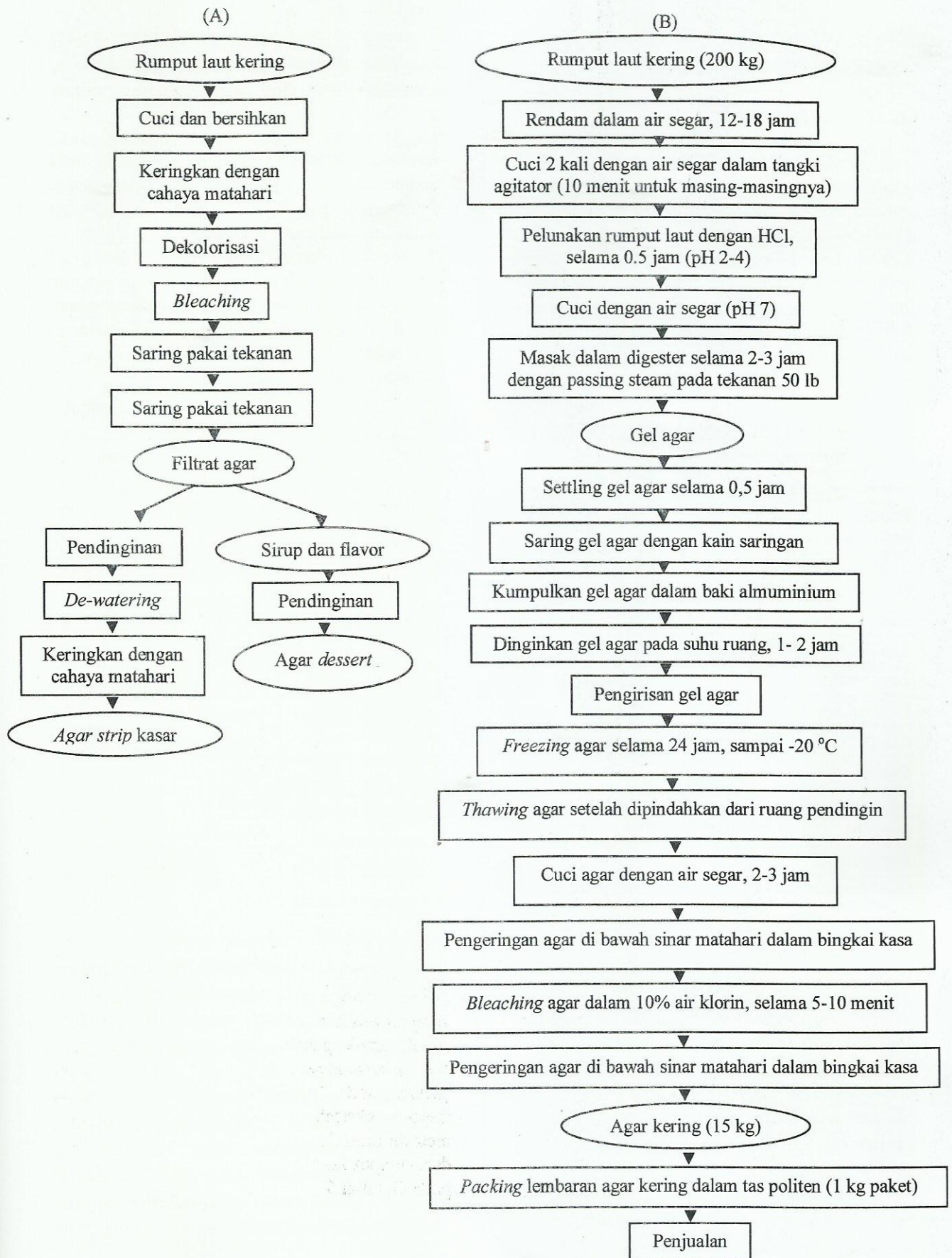


Gambar 6. Proses pengolahan asam alginat sederhana (A), garam dan ester komersial (turunan alginat) yang dihasilkan dari asam alginat yang disuplai oleh FMC *biopolymer* (B) (FMC, 2001; FMC, 2003).

3. Pengolahan Agar

Gracilaria adalah rumput laut yang disukai untuk pembuatan agar dengan *food grade*, dikarenakan rumput laut ini telah sukses dikultivasi di negara Chili dan Indonesia (Bixler and Porse, 2010), sehingga dengan mudah dalam hal penyuplaiannya. Kemudian genus *Gracilaria* ini juga adalah merupakan sumber utama dari agar di negara Jepang,

USA, Meksiko, Afrika dan India (Venugopal, 2011). Sedangkan *Gelidium* adalah rumput laut yang secara komersial tidak dikultivasi, namun cocok untuk pembuatan agar *bacteriological* dan *pharmaceutical grade*, serta agarosa (Bixler and Porse, 2010). Adapun contoh metode ekstraksi sederhana dari agar dan metode produksi agar dengan skala komersial dari rumput laut *Gracilaria edulis* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Proses pembuatan agar sederhana (A) (Chandrkrachang *et al.*, 1989), proses pembuatan agar komersial (B) (Kaliaperumal and Uthirasiyan, 2001).

APLIKASI HIDROKOLOID DARI RUMPUT LAUT DALAM INDUSTRI PANGAN

1. Aplikasi Karaginan

Polisakarida (karaginan) banyak digunakan sebagai zat aditif untuk meningkatkan tekstur, *gelation*, stabilitas (Dafader *et al.*, 2009), viskositas makanan (Therkelsen, 1993) dan sifat pengemulsi dalam industri makanan (Panlasigui *et al.*, 2003). Selain dalam industri pangan (makanan), karaginan juga digunakan dalam industri kosmetik dan farmasetikal (Tye, 1989).

Penggunaan karaginan ini adalah lebih luas bila dibandingkan dengan agar sebagai pengemulsi, penstabil dalam sejumlah pangan, khususnya produk berbasis susu. *Kappa* dan *iota* karaginan adalah sangat penting untuk digunakan dalam produk susu seperti susu coklat, es krim, puding, jeli, selai, *salad dressing*, *dessert gel*, produk daging dan makanan hewan peliharaan. Hal ini dikarenakan sifat *thickening* dan suspensi yang dimilikinya (Cardozo *et al.*, 2007). Adapun berbagai penggunaan karaginan dalam bidang industri pangan, yang diantaranya industri susu dan minuman dapat dilihat pada Tabel 5. (Imeson, 2000; Menon, 2012).

Tabel 5. Jenis penggunaan karaginan dalam industri pangan

Industri Pangan	Fungsi Karaginan	Jenis Karaginan
Kue tar yang dimasak	Gelasi, <i>mouthfeel</i>	<i>Kappa</i> , <i>kappa + iota</i>
Puding yang disediakan dalam bentuk dingin	<i>Thickening</i> , gelasi	<i>Kappa</i> , <i>iota</i> , <i>lamda</i>
Susu yang disediakan dalam bentuk dingin (<i>Shakes</i>)	Suspensi, <i>mouthfeel</i> , <i>stabilize overrun</i>	<i>Lamda</i>
Es krim, es susu	<i>Whey prevention</i> , <i>control meltdown</i>	<i>Kappa</i>
Susu coklat (susu pasteurisasi)	Suspensi, <i>mouthfeel</i>	<i>Kappa</i>
Susu kedelai	Suspensi, <i>mouthfeel</i>	<i>Kappa + iota</i>
Susu coklat (susu sterilisasi)	Suspensi, <i>mouthfeel</i>	<i>Kappa</i> , <i>lamda</i>
Krim keju dan <i>spreads</i>	Gelasi, <i>moisture binding</i>	<i>Kappa + locust bean gum</i>
<i>Dessert gels</i>	Gelasi	<i>Kappa + iota</i>
Gel rendah kalori	Galasi	<i>Kappa + iota</i>
Sirup	Suspensi, <i>bodying</i>	<i>Kappa</i> , <i>lamda</i>
<i>Petfoods</i>	<i>Thickening</i> , suspensi, gelasi, stabilisasi lemak	<i>Iota + guar gum</i>

Sumber: Kompilasi dari Imeson (2000) dan Menon (2012)

2. Aplikasi alginat

Penggunaan alginat *food grade* (dalam sejumlah industri pangan) seperti sebagai *thickener*, penstabil, pengemulsi dan pengental adalah berdasarkan sifat-sifat fisiknya (Brownlee *et al.*, 2009). Secara industri, alginat ini banyak digunakan dalam produksi es krim, *salad dressing*, saus, daging kaleng (Reyes-Tisnado *et al.*, 2005), pengisi dan krim roti, bir, jus buah, *yogurt* dan *spread* rendah lemak (FMC, 2001). Kemudian sebagai bahan *gelling*, alginat ini banyak digunakan dalam *milk dessert*, *jelly*, buah

pencuci mulut, makanan untuk hewan dan untuk restrukturisasi buah (Reyes-Tisnado *et al.*, 2005). Meningkatnya penggunaan alginat dalam industri pangan dikarenakan kemampuan *gelling*-nya yang unik pada suhu rendah, selain itu alginat juga memiliki stabilitas panas yang baik, sehingga ideal digunakan sebagai *thickener*, *stabilizer* atau *restructuring agent* (Brownlee *et al.*, 2009). Adapun contoh alginat yang telah dikomersialkan dan berbagai aplikasinya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Aplikasi alginat dalam industri pangan

Penggunaan alginat	Jenis alginat dengan nama dagang	Fungsi
Pengisi dan krim roti	Protanal	Pengental, <i>gelling</i> instan, stabilitas panas, dan menghasilkan rasa enak
Bir	Profoam	Meningkatkan dan memelihara tingkat buih (stabilisasi buih dalam minuman bir)
<i>Dressing</i>	Ester protanal	Pengental, penstabil, pengemulsi, stabil asam
Jus buah	Ester protanal	Penstabil dan pengemulsi
Es krim	Protanal	Penstabil, kontrol viskositas, mencegah pembentukan kristal
<i>Spread</i> rendah lemak	protanal	Penstabil, tekstur dan penghasil rasa enak
Yogurt	Protanal	Penstabil, tekstur dan penghasil rasa enak

Sumber : FMC (2001)

3. Aplikasi Agar

Agar digunakan sebagai suatu bahan tambahan makanan, bila dihitung sampai dengan 80% yang dapat dikonsumsi. Sisanya sekitar 20 % adalah digunakan untuk aplikasi

bioteknologi (Arvizu-Higuera *et al.*, 2008). Dalam penggunaannya, agar ini tidak dapat larut dalam air dingin, tapi dapat larut dalam air mendidih (Lourienzo, 2010). Penggunaan agar dalam berbagai sektor industri (industri pangan) dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Aplikasi agar dalam produk makanan

Produk Makanan	Penggunaan
Gula-gula	<i>Jelly</i> , manisan, <i>nougat</i> , <i>fruit pastries</i> dan lain-lain
Produk susu dan yang berhubungan dengannya	Stabilisasi yogurt, keju, <i>candy</i> , pengisi kue kering, kue tar yang berisi buah, puding, susu coklat, es krim dan lain-lain
Produk roti dan kue kering	Peningkatan tekstur, stabilisasi adonan, mereduksi temperatur pasta dari pati, menggantikan gluten, mencegah <i>adhering</i> dari produk ke pemaketan, mikropartikel agar secara partikular digunakan untuk modifikasi tekstur, produk pasta, lapisan es (<i>glazes</i>), <i>piping gels</i> , <i>whipped creams</i> , dan lain-lain
Saus/ <i>Dressings</i>	Mayonais, saus tomat, kecap dan lain-lain
Produk daging	Daging kalengan, <i>fish pates</i> , <i>poultry pates</i> , hamburger dan lain-lain
Produk sayur	Meningkatkan tekstur, menggantikan gelatin
<i>Spread</i>	Selai, <i>spread</i> keju, <i>spread</i> mentega, <i>spread</i> madu dan lain-lain
Minuman	Bahan <i>fining</i> dan <i>flocculating</i> dalam jus buah dan sayur (juga dalam minuman anggur)
Miscellaneous	Hidrogel dari agar dapat meningkatkan tekstur, meningkatkan kepuasan oleh karena penggunaan sebagai makanan <i>dietetic</i> , <i>Satiating thickener</i> dan sumber serat rumput laut

Sumber: Kompilasi dari Bénech (2008) dan Menon (2012)

PENUTUP

Ada tiga jenis pangan biofungsional hidrokoloid (fikokoloid) terkenal yang berasal dari rumput laut, dan telah banyak dimanfaatkan dalam industri pangan. Ketiga hidrokoloid atau polisakarida rumput laut tersebut adalah karaginan, alginat, dan agar. Karaginan dan agar banyak diekstrak dari rumput laut merah, sedangkan alginat banyak

diekstrak dari rumput laut coklat. Karaginan komersial sumber utamanya berasal dari rumput laut merah (*Rhodophyta* atau *Rhodophyceae*), seperti *Kappaphycus alvarezii*. Alginat komersial sumber utamanya adalah berasal dari rumput laut coklat (*Phaeophyta* atau *Phaeophyceae*) seperti *Laminaria hyperborea*, *L. digita*, *L. Japonica*, *Eclonia maxima*, *Lessonia nigrescens* dan *Sargassum spp*. Agar komersial yang banyak

digunakan biasanya juga diekstrak dari rumput laut merah seperti *Gracilaria* dan *Gelidium* (*Rhodophyceae*).

Berdasarkan jumlah dan posisi gugus sulfat ester yang dimilikinya, maka karaginan dibagi atas tiga jenis, yaitu *lamda*, *iota* dan *kappa*. Secara struktural, struktur dari *kappa* dan *iota* karaginan adalah hampir identik. Hanya berbeda dalam jumlah gugus sulfat. Berdasarkan garam-garam yang dikandungnya, maka alginat dibedakan atas asam alginat dan beberapa turunannya, seperti sodium, potasium, ammonium, kalsium, dan propilen glikol alginat. Sedangkan, berdasarkan penggunaan akhirnya maka agar dibedakan atas dua kelompok besar, yaitu agar alami dan agar industri.

Secara umum aplikasi karaginan, alginat dan agar banyak memiliki kesamaan fungsi seperti pembentuk gel, kontrol *syneresis*, *emulsifier*, stabilisator, dan meningkatkan kandungan serat. Dalam hal ini, karaginan banyak digunakan sebagai zat aditif untuk meningkatkan tekstur, *gelation*, stabilitas, viskositas makanan, dan sifat pengemulsi dalam industri makanan. Penggunaan alginat *food grade* (dalam sejumlah industri pangan) seperti sebagai *thickener*, penstabil, pengemulsi dan pengental. Dalam industri pangan, alginat ini banyak digunakan dalam produksi es krim, *salad dressing*, saus, daging kaleng, pengisi dan krim roti, bir, jus buah, *yogurt* dan *spread* rendah lemak. Alginat ini banyak digunakan dalam *milk dessert*, *jelly*, buah pencuci mulut, makanan untuk hewan dan untuk restrukturisasi buah sebagai bahan *gelling*. Kemudian agar banyak digunakan sebagai stabilisasi yogurt, keju, *candy* pada produk susu; meningkatkan tekstur dan stabilisasi adonan pada produk roti dan kue kering; meningkatkan tekstur dan menggantikan gelatin pada produk sayuran, sebagai sumber serat alami dan lain-lain.

Alginat, agar dan karaginan ini telah menerima persetujuan pengaturan dari *United States Food and Drug Administration* (US FDA), *European Council* (EC) dan *Codex Alimentarius Commission* (CAC) dan *Food and Agricultural Organization* (FAO). Asam alginat beserta turunannya seperti sodium alginat, potasium alginat, ammonium alginat, dan kalsium alginat berturut-turut telah mendapatkan *E number* dari *European Council* dengan nomor E400 sampai E405. Kemudian Agar dan karaginan mendapat nomor E406 dan

E407. Selain itu kesemua hidrokoloid ini juga telah dinyatakan makanan aman dan mendapatkan status GRAS dari US FDA.

DAFTAR PUSTAKA

- Apostolidis, E and Lee, C. M. 2012. "Brown Seaweed-Derived Phenolic Phytochemicals and Their Biological Activities for Functional Food Ingredients with Focus on *Ascophyllum nodosum*". Ch. 19. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 15.
- Arai, S. (1996). Studies of Functional Foods in Japan-State of The Art. *Biosci Biotech Biochem*. 60: 9-15.
- Armisen, R. 1995. "Worldwide Use and Importance of *Gracilaria*' Communication Presented in The Workshop '*Gracilaria* and Its Cultivation'". Organised by the University of Trieste (Italy) 10-12 April 1994, under the auspices of COST 48 of the CCEE. *J. Appl. Phycol.*, 7: 231-43.
- Armisen, R., Galatas, F., Hispanagar, S A and Madrid. 2000. "Agar". In: *Handbook of hydrocolloids*. (Eds.). Phillips, G.O and Williams, P.A. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. P. 20.
- Bénech, A. 2008. *Agar-Agar Paramount Gelling Properties and Natural Source of Seaweed Fibres*. Wellness Foods Europe. p. 16-19.
- Bequette, B.J and France, J. 1997. "Seaweed at Your Service". *UNESCO Courier*. 50(11): 49-42.
- Bindu, M.S and Levine, I.A. 2010. "The Commercial Red Seaweed *Kappaphycus alvarezii*-an Overview on Farming and Environment". *J. Appl. Phycol*. DOI 10.1007/s10811-010-9570-2.
- Borthakur, A., Bhattacharyya, S., Dudeja, P.K and Tobacman, J.K. 2007. "Carrageenan Induces Interleukin-8 Production Through Distinct Bcl10 Pathway in Normal Human Colonic Epithelial Cells". *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol*. 292: G829-G838.
- Brownlee, I.A., Seal, C.J., Wilcox, M., Dettmar, P.W and Pearson, J.P. 2009. "Applications of Alginates in Food". In: *Alginates: Biology and Applications*.

- B.H.A. Rehm (Ed.), Microbiology Monographs 13. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-540-92679-5_9. Pp. 211-228.
- Cardozo, K.H.M., Guaratini, T., Barros, M.P., Falcão, V.R., Tonon, A.P., Lopes, N.P., Campos, S., Torres, M.A., Souza, A.O., Colepicolo, P and Pinto, E. 2007. "Metabolites from Algae with Economical Impact". *Comparat. Biochem. Physiol. Part C*. 146: 60-78.
- Chandini, S.K., Ganesan, P and Bhaskar, N. 2008. "In Vitro Antioxidant Activities of Three Selected Brown Seaweeds of India". *Food Chem.* 107:707-713. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.08.081.
- Chandrkrachang S., Vorraruxeree, P., Saowaphapsopha, S., Wongwai, S., Rithapai, W and Chinadit, U. 1989. "Agar Production Adapted To Rural Areas: In: Report of The Seminar on Gracilaria Production and Utilization in The bay of Bengal Region". Songkhla, Thailand, 23-27 October 1989. p. 51-53.
- CPKelco. 2001. Carrageenan. www.cpkelco.com. [Diakses pada tanggal 15 April 2011].
- Dafader, N.C., Ganguli, S., Sattar, M.A., Haque, M.E and Akhtar, F. 2009. "Synthesis of Superabsorbent Acrylamide/Kappa-Carrageenan Blend Hydrogel by Gamma Radiation". *Mal. Polymer J.* 4(2): 37-45.
- Diplock, A.T., Aggett, P.J., Ashwell, M., Bornet, F., Fern, E.B and Roberfroid, M.B. (1999). Scientific Concepts of Functional Foods in Europe: Consensus Document. *Brit. J. Nutr.* 81, S1-S27.
- Draget, K.I., Smidsprød, O and Skjak-Brack, G. 2005. Alginates from Algae. In: *Polysaccharides and Polyamides in the Food Industry, Properties, Production and Patents.* (Eds.) Steinbüchel, A and Rhee, S.K. WILEY-VCH Verlag GmbH and Co, Weinheim. P.30.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2004. *The State of the World Fisheries and Aquaculture 2004 (SOFIA)*, FAO, Rome. <http://www.fao.org/sof/sofia/index.htm>. [Diakses pada tanggal 15 April 2011].
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2007. *Report on Functional Foods*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla. Rome, Italy. p. 1-26.
- Freile-Pelegrín, Y and Robledo, D. 2007. Carrageenan of *Euchema isiformis* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Nicaragua. *J. Appl. Phycol.* 20(5): 87-91.
- FMC [Federal Maritime Commission]. 2001. Mastering The Art of Innovative ThinkingSM. P.12. (www.fmcbiopolymer.com).
- FMC [Federal Maritime Commission]. 2003. A World of Possibilities Lies Just Below The Surface. P.20. (www.fmcbiopolymer.com).
- Gunji, S., Santoso, J., Yumiko, Y.S and Suzuki, T. 2007. "Effect of Extracts from Tropical Seaweeds on DPPH Radical and Caco-2 Cells Treated with Hydrogen Peroxide". *Food Sci. Technol. Res.* 13(3):275-279.
- Grajek, W., Olejnik, A and Sip, A. 2005. "Probiotics, Prebiotics and Antioxidants as Functional Foods". *Acta Biochimica Polonia.* 52(3): 665-671.
- Hasler, C.M. 1996. "Functional Foods: The Western Perspective". *Nutrition Rev.* 54, S6-S10.
- Haug, A., Larsen, B and Smidsrød, O. 1967a. "Studies on Sequence of Uronic Acid Residues in Alginic Acid". *Acta Chem Scand.* 21:691-704.
- Hayashi, L., Oliveira, E.C., Bleicher-Lhouneur, G., Boulenguer, P., Pereira, R.T.L., von Seekendorff, R., Shimoda, V.T., Leflamand, A., Vallée, P and Critchley, A.T. 2007. The Effects of Selected Cultivation Conditions on The Carrageenan Characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. *J. Appl. Phycol.* 19: 505-511.
- Health Canada. 1998. "Therapeutic Products Programmes and the Food Directorate of the Health Protection Branch". *Nutraceuticals/Functional Foods and Health Claims on Foods*. Available: http://www.hc-sc.gc.ca/food-aliment/ns-sc/ne-en/healthclaimsallegations_sante/e_nutra-funct_foods. [Diakses pada tanggal 20 Maret 2011].
- Holt, S. 2008. Seaweed for Healing and Weight Loss. *Nat. Benefit News.* 2:1-4.
- Hong, D.D., Hien, H.M and Son, P.N. 2007. "Seaweeds from Vietnam Used for

- Functional Food, Medicine and Biofertilizer". *J. Appl. Phycol.* 19: 817-826.
- Hu, J., Yang, B., Lin, X., Zou, X. F., Yang, X. W and Liu, Y. 2012. "Bioactives Metabolites from Seaweeds". Ch. 12. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 23.
- Imeson, A.P. 2000. "Carrageenan". In: *Handbook of Hydrocolloids*. Phillips GO and Williams, PA (Eds). Woodhead Publishing Ltd, Cambridge! p. 87-102.
- Ioannou, E and Roussis, V. 2009. "Natural Products from Seaweeds". In: *Plant-derived Natural Products*. A.E. Osbourn and V. Lanzotti (Eds.), Springer Science + Business Media, LLC. DOI: 10.1007/978-0-387-85498-4_2. p. 51-81.
- Ismail, A and Hong, T.S. 2002. "Antioxidant Activity of Selected Commercial Seaweeds". *Mal. J. Nutr.* 8(2):167-177.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, M.T., Taher, M and Miyashita, K. 2011a. "Isolation of Fucoxanthin and Fatty Acids Analysis from *Padina australis* and Cytotoxicity Effects of Fucoxanthin on Human Lung (H1299) Cell Lines". *Afr. J. Biotechnol.* 10(81): 18855-18862.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, M.T and Miyashita, K. 2011b. "Fucoxanthin Extractions of Brown Seaweeds and Analysis of Their Lipid Fraction in Methanol". *Food Sci. Technol. Res.* 18(2): 251-258.
- Jaswir, I., Noviendri, D., Salleh, M.T., Taher, M and Miyashita, K. 2011c. "Experimental Methods in Modern Biotechnology Engineering. Ch. 5: Techniques of Extraction and Purification of Fucoxanthin from Brown Seaweeds". *IJUM Press*. First Edition. ISBN: 978-967-0225-86-9.
- Kakita, H and Kamishima, H. 2008. "Some Properties of Alginate Gels Derived from Algal Sodium Alginate". *J Appl Phycol.* 20:543-549.
- Kaliaperumal, N and Uthirasivan, P. 2001. "Commercial Scale Production of Agar from The Red Alga *Gracilaria edulis* (Gmelin) Suva". *Seaweed Res. Utiln* 23 (1and2): 55-58.
- Kang, H.A., Shin, M.S and Yang, J.W. 2002. "Preparation and Characterization of Hydrophobically Modified Alginate". *Polymer Bull.* 47:429-435.
- Khan, S.I and Satam, S.B. 2003. "Seaweed Mariculture: Scope And Potential In India". *Aquacult. Asia*. VIII (4): 26-29.
- Kim, J.Y., Kim, D.B and Lee, H.J. 2006. "Regulations on Health/Functional Foods in Korea". *Toxicology.* 221(1): 112-118.
- Lamkey, J. W. 2009. Nonstarch Hydrocolloids. Ch.3. In: *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications*. R. Tarté (Ed.), Springer Science + Business Media, LLC. DOI: 10.1007/978-0-387-71327-4_3. Pp. 57-82.
- Lee, B. 2008. *Seaweed: Potential as a Marine Vegetable and Other Opportunities*. RIRDC Publication No 08/009. RIRDC Project No CON-9A. Rural Industries Research and Development Corporation. Australian Government. Printed by Canprint. p. 1-34.
- Lin, T and Hassid, W.Z. 1966. "Pathway of Alginic Acid Synthesis in The Marine Brown Alga, *Fucus gardneri* silva". *J. Biol. Chem.* 241:5284-5297.
- Lourienzo, P. 2010. Marine Polysaccharides in Pharmaceutical Applications: An Overview. *Mar. Drugs.* 8: 2435-2465.
- Mahmood, S.J., Bi, F., Taj, N., Seema, Farhan, M., Shahid, M., Azmat, R and Uddin, F. 2007. "Physico-Chemical Characterization of Carrageenan at Different Temperatures, Isolated from *Hypnea musciformis* from Karachi Coast Pakistan". *J. Appl. Sci.* 7(22): 3506-3511.
- Mano, J.F., Silva, G.A., Azevedo, H.S., Malafaya, P.B., Sousa, R.A., Silva, S.S., Boesel, L.F., Oliveira, J.M., Santos, T.C., Marques, A.P., Neves, N.M and Reis, R.L. 2007. "Natural Origin Biodegradable Systems in Tissue Engineering and Regenerative Medicine: Present Status and Some Moving Trends". *J. R. Soc. Interface* 4: 999-1030.
- Marrs, W.M. 1998. "The Stability of Carrageenans to Processing". In: *Gums and Stabilisers for The Food Industry* 9. Williams PA and Phillips, GO (Eds.). Cambridge. UK. The Royal Society of Chemistry. p. 345-357.

- McDermid, K.J and Stuercke, B. 2003. 'Nutritional Composition of Edible Hawaiian Seaweeds'. *J. Appl. Phycol.* 15: 513-524.
- McGill, H.C., McMahan, C.A., Wigodsky, H.S and Sprinz, H. 1977. "Carrageenan in Formula and Infant Baboon Development". *Gastroenterology.* 73: 512-517.
- Menon, V.V. 2012. Seaweed Polysaccharides-Food Applications. Ch. 36. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology.* First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. p. 15.
- Mišurcová, L. 2012. "Chemical Composition of Seaweeds". Ch.7. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology.* First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. p. 21.
- Montaño, N.E., Tupas, L.M and Luisito, L.H. 1985. "Studies on Philippine Semi-Refined Carrageenan. I: Water Soluble Matter, Total and Acid Insoluble Ash, and Viscosity and Absorbance of Solutions". *Fish Res J Phil.* 10: 45-50.
- Murty, U. P and Banerjee, A. K. 2012." Seaweeds: The Wealth of Oceans. Ch. 2". In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology.* First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. p. 9.
- Neufeld, R. J., Poncelet, D.J and Norton, S.D. 1996. *Application for Canadian Patent No. 2133789.*
- Noviendri, D., Jaswir, I., Salleh, H. M., Taher, M., Miyashita, K and Ramli, N. (2011a). "Fucoxanthin Extraction and Fatty Acid Analysis of *Sargassum binderi* and *S. duplicatum*". *J. Med. Plant Res.* 5(11): 2405-2412.
- Noviendri, D., Jaswir, I., Salleh, H. M., Taher, M., Mohammed, F and Miyashita, K. (2011b). "Analysis of Fucoxanthin Content and Purification of All-Trans-Fucoxanthin from *Turbinaria turbinata* and *Sargassum plagyophyllum* by SiO₂ Open Column Chromatography and Reversed Phase-HPLC". *J. Liq. Chrom. Rel. Technol.* (In press).
- Noviendri, D., Jaswir, I., Salleh, H. M., Taher, M and Miyashita, K. 2011c. "Techniques of Extraction and Purification of Carotenoid (Fucoxanthin) from Brown Seaweed. Workshop on seaweed processing for pharmaceutical applications". Organized By Bioprocess and Molecular Engineering Research Unit (BPMERU), Department of Biotechnology Engineering, Faculty of Engineering, International Islamic University Malaysia (IIUM). Kuala Lumpur, Malaysia. 16th Mei 2011, p. 26.
- Onsoyen, E. 2001. "Alginate. Production, Composition, Physicochemical Properties, Physiological Effects, Safety, and Food Applications. Ch. 33". In: *Handbook of Dietary Fiber.* Dreher, M. L and Cho, S.S. (Eds.). CRC Press by Taylor and Francis. DOI: 10.1201/9780203904220.ch33.
- Palinic, R. 2007. *Results from The Functional Foods and Nutraceuticals Survey – 2005. Statistics Canada Science and Technology Surveys Section Science, Innovation and Electronic Information Division (SIEID).* Published by authority of the Minister Responsible for Statistics Canada. p. 35.
- Panlasigui, L.N., Baello, O.Q., Dimatangal, J.M and Dumelod, B.D. 2003. "Blood Cholesterol and Lipid-Lowering Effects of Carrageenan on Human Volunteers". *Asia Pac. J Clin Nutr.* 12 (2): 209-214.
- Parapurath, S. N., Bernard, H. E., Subramaniam, B. M and Ramamurthy, R. 2012. "A Dimensional Investigation on Seaweeds: Their Biomedical and Industrial Applications. Ch. 35". In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology.* First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 9.
- Pechillo, D and Izzo, M. 1996. *The Use of Carrageenan and Cellulose Gel in Gummi Candy.* Presented at the National American Association of Candy Technologists Technical Session. p.6.
- Pilkington, H., Margaritis, A., Mensour, N., J. Sobczak, J., Hancock and Russell, I. 1999. "Kappa-Carrageenan Gel Immobilisation of Lager Brewing Yeast". *J. Institute Brew.* 105(6): 398-405.
- Prasad, R., Khrishnaiah, D., Bono, A., Pandiyan, P., Yunus, R.B.M and Lakshmi, N. 2010. "Estimation of Carrageenan concentration by Using Ultra Sonic Waves and Back

- Propagation Neural Networks". *J. Appl. Sci.* 10(21): 2729-2732.
- Rajasulochana, P., Dhamonathan, R., Krishnamoorthy, P and Murugesan, S. 2009. "Antibacterial Activity of the Extracts of Marine Red and Brown Algae". *J. Am.Sci.* 5(3): 20-25.
- Ramalingam, J. R., Kaliaperumal, N and Kalimuthu, S. 2003."Commercial Scale Production of Carrageenan from Red Algae". *Seaweed Res. Utiln.*, 25 (1&2): 37-46.
- Rees, D.A. 1972. *Polysaccharide Gels: A Molecular View: Chemistry and Industry*. London. 19. Pp. 630-636.
- Reyes-Tisnado, R., Hernández-Carmona, G., Montesinos, Y.E.E.R., Higuera, D.L.A and Gutiérrez, F.L. 2005. "Food Grade Alginates Extraxted from The Giant Kelp *Macrocystis pyrifera* at Pilot-Plant Scale". *Rev. Invest. Mar.* 26(3):185-192.
- Rohani-Ghadikolaei, K., Eessa Abdulalian, E and Ng, WK. 2011. "Evaluation of The Proximate, Fatty Acid and Mineral Composition of Representative Green, Brown and Red Seaweeds from The Persian Gulf of Iran as Potential Food and Feed Resources". *J. Food Sci. Technol.* DOI 10.1007/s13197-010-0220-0.
- Saha. D and Bhattacharya, S. 2010. "Hydrocolloids as Thickening and Gelling Agents in Food: A Critical Review". *J. Food Sci. Technol.* 47(6):587-597.
- Samaraweera, A. M., Vidanarachchi, J. K and Kurukulasuriya, M. S. 2012. "Industrial Applications of Macroalgae". Ch. 33. In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 22.
- Sangeetha, R.K.,N. Bhaskar and V. Baskaran. 2009. "Comparative Effects of β -carotene and Fucoxanthin on Retinol Deficiency Induced Oxidative Stress in Rats". *Mol. Cell Biochem.* DOI 10.1007/s11010-009-0145-y.
- Sartal, C. G., Alonso, M. C. B and Barrera, P. B. 2012. "Application of Seaweeds in the Food Industry. Ch. 34". In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 10.
- Smit, A.J. 2004. "Medicinal and Pharmaceutical Uses of Seaweed Natural Products: A Review". *J. Appl. Phycol.* 16: 245-262.
- Sugarawa, T., V. Baskaran., W. Tsuzuki and A. Nagao. 2002. "Brown Algae Fucoxanthin Is Hydrolized to Fucoxanthinol during Absorption by Caco-2 Human Intestinal Cells and Mice". *Nut. Metabol.* 0022-3166/02. ASNS. Pp 946-951.
- Supriatna, D. 2006. "Peranan, Perkembangan dan Regulasi Pangan Fungsional". *Warta IHP.* 23(2): 33-41.
- Therkelsen, G. H. 1993. "Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives". In: *Carrageenan*; Whistler, R. L.; Be-Miller, J. N., (Eds.). Academic Press: San Diego, CA. pp. 145-180.
- Truus, K., Vaheer, M and Taure, I. 2001. "Algal Biomass from *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta): Investigation of The Mineral and Alginate Components". *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.* 50:(2): 95-103.
- Tseng, C.K. 2001. "Algal Biotechnology Industries and Research Activities in China". *J. Appl. Phycol.* 13:375-380.
- Turan, G and Neori, A. 2010. "Intensive Seaweed Aquaculture: A Potent Solution Against Global Warming". In: *Seaweeds and their Role in Globally Changing Environments, Cellular Origin, Life in Extreme Habitats and Astrobiology A. Israel et al. (Eds.)*, 15: 357-372. DOI 10.1007/978-90-481-8569-6_20.
- Tye, R. J. 1989. "Industrial and Non-Food Uses of Carrageenan", *Carbohydr. Polym.* 10: 259 - 280.
- Wijesekara, I., Senevirathne, M., Li, Y. X and Kim, S. K. 2012. "Functional Ingredients from Marine Algae as Potential Antioxidants in The Food Industry. Ch. 23". In: *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Phycology*. First Edition. (Ed.) Kim, S. K. John Wiley and Son, Ltd. P. 5.
- Wildman, R. E. C. 2001. "Nutraceuticals: A Brief Review of Historical and Teleological Aspects. Ch.1". In: *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. (Ed.) Wildman, R. E. C. CRC Press LLC*. P. 12.
- Williams, P.A and Phillips, G.O. 2000. "Introduction to food hydrocolloids". In:

- Handbook of hydrocolloids*. (Eds.). Phillips, G.O and Williams, P.A. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC. P. 19.
- Yu, G., Guan, H., Ioanoviciu, A.S., Sikkander, S.A., Thanawiroon, C., Tobacman, J.K., Toida, T and Linhardt, R.J. 2002. 'Structural Studies on κ -Carrageenan Derived Oligosaccharides". *Carbohydr. Res.* 337: 433-440.
- Zemke-White, W.L and Ohno, M. 1999. "World Seaweed Utilization: An End-of-Century Summary". *J. Appl. Phycol.* 11: 369-376.