

KARAKTERISASI *EDIBLE FILM* DARI KARAGENAN DAN KITOSAN DENGAN METODE *LAYER BY LAYER*

Characterization of Layer-by-Layer assembly of Carrageenan and Chitosan-based Edible Film

Rany Dwimayasanti^{1*} dan Bayu Kumayanjati²

¹ Pusat Penelitian Oseanografi-LIPI, Jl. Pasir Putih Raya No 1, Pademangan, Jakarta Utara, Indonesia

² Balai Penelitian Teknologi Bahan Alam-LIPI, Jl. Jogja-Wonosari Km 31, Gading, Playen, Gunungkidul, Yogyakarta, Indonesia

*Korespondensi Penulis: dwimayasantirany@gmail.com

Diterima: 1 April 2019; Direvisi: 26 Juli 2019; Disetujui: 22 Desember 2019

ABSTRAK

Jenis pengemas *biodegradable* saat ini sangat diperlukan untuk mengurangi penggunaan plastik sintetik, di antaranya dengan pengembangan pengemas *edible film* yang lebih ramah lingkungan. Karagenan dan kitosan merupakan polimer alam yang berpotensi menjadi bahan dasar dalam pembuatan *edible film*. Penelitian pembuatan *edible film* berbahan dasar karagenan dan kitosan dengan metode *layer-by-layer* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi karagenan dan kitosan yang berbeda terhadap kualitas *edible film* yang dihasilkan. Karakterisasi *film* yang dilakukan meliputi uji kuat tarik, elongasi, kelarutan, *water vapour permeability* (WVP) dan morfologi permukaan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah faktorial 2 faktor dengan variasi karagenan (1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%) dan variasi kitosan (0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap kombinasi konsentrasi karagenan dan kitosan menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Kenaikan konsentrasi karagenan dan kitosan tidak selalu berbanding lurus terhadap kenaikan nilai kuat tarik, elongasi, kelarutan, WVP dan morfologi permukaan *edible film*. Secara umum, dari seluruh perlakuan yang ada dapat disimpulkan bahwa kombinasi karagenan 2,5% dan kitosan 1,0% adalah formulasi terbaik.

KATA KUNCI : *biodegradable, edible film, karagenan, kitosan*

ABSTRACT

Biodegradable packaging development particularly for maintaining the quality and shelf life of food products is necessarily needed. Carrageenan and chitosan are natural polymers that are potential for raw materials of biodegradable films production. Research on the making of carrageenan and chitosan-based films has been carried out using layer-by-layer method. This study aimed to determine the effects of various concentrations of carrageenan and chitosan on the quality of edible films. The parameter observed were tensile strength, elongation at break, solubility, water vapor permeability (WVP) and surface morphology. The experimental design used were variations of carrageenan concentrations i.e 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% and chitosan i.e. 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%. The results showed that each combination of carrageenan and chitosan concentrations produced different film characteristic values. The increasing of carrageenan and chitosan concentrations was not linearly affected all the parameters including the tensile strength, elongation at break, solubility, WVP and surface morphology. Based on the findings, it can be concluded that the combination of 2.5% carrageenan and 1,0% chitosan was the best formulation.

KEYWORDS: *biodegradable, edible film, carrageenan, chitosan*

PENDAHULUAN

Pengemasan merupakan hal yang sangat penting untuk memberikan perlindungan kualitas bahan pangan. Sampai saat ini, kemasan produk yang populer adalah kemasan plastik. Kemasan plastik termasuk polimer sintetik yang terbukti telah menimbulkan masalah terhadap lingkungan. Polimer

sintetik sulit didegradasi secara alami oleh komponen biotik seperti mikroorganisme maupun komponen abiotik seperti sinar matahari (Nugroho, Basito, & Katri, 2013).

Edible film termasuk alternatif kemasan makanan yang dapat melindungi kualitas suatu produk sehingga dapat memperpanjang daya simpan produk dan bersifat ramah lingkungan karena mudah terurai oleh

mikroorganisme (*biodegradable*). *Edible film* berupa lapisan tipis dengan ketebalan kurang lebih 0,25 mm, dapat dimakan, dan dapat berperan sebagai *barrier* terhadap transfer massa seperti oksigen, kelembaban, lipid, dan zat terlarut (Coma, 2008; Skurtys et al., 2010). Penyusun dasar *edible film* terdiri dari 3 komponen, di antaranya hidrokoloid (polisakarida, alginat, protein), lipid (asam lemak, asil gliserol, *wax* atau lilin) dan komposit yang berupa campuran antara hidrokoloid dan lipid (Fennema, Donhowe, & Kester, 1994). Garnida (2006) menyatakan bahwa polisakarida yang dapat digunakan antara lain pati, karagenan, kitosan, alginat, pektin, *xanthan* dan lain-lain.

Karagenan adalah hasil ekstrak dari rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* yang merupakan salah satu jenis rumput laut kelas *Rhodophyceae*. Karagenan didapatkan dari ekstraksi menggunakan air atau larutan alkali kemudian dipisahkan antara karagenan dan pelarutnya (Chapman & Chapman, 1980). Karagenan termasuk senyawa hidrokoloid yang terdiri atas campuran magnesium, ammonium, natrium sulfat ester, kalium dan kalsium dari galaktosa dan kopolimer 3-6 anhidrogalaktoza (Earle, Ayalasomayajula, Loknadh, Reddy, & Kanth, 2016). Karagenan berdasarkan kandungan sulfatnya, dibagi menjadi *kappa* dengan jumlah sulfatnya sebesar 20%, *iota* dengan jumlah sulfat 33%, dan *lamda* dengan jumlah sulfat 42% (Yuguchi, Thuy, Urukawa, & Kajiwaru, 2002). Sampai saat ini, karagenan banyak dipakai dalam industri pangan (yang meliputi makanan dan minuman), non pangan (seperti tekstil dan cat), farmasi, dan juga bidang kosmetik. Khususnya pada bidang pangan, karagenan banyak diaplikasikan sebagai pengemulsi, pembentuk gel, pengental, pensuspensi, stabilisator, ataupun sebagai pelapis *edible* (pembentuk *film*) pada bahan pangan (Meyer, Winter, & Weister, 1959).

Kitosan termasuk polimer alam yang tidak berbau, berwarna putih, dan berbentuk lembaran tipis. Ada dua jenis polimer yang membentuk kitosan, pertama adalah poli (2-deoksi-2-asetilamin-2-glukosa) dan kedua adalah poli (2-deoksi-2-aminoglikosa) yang saling berikatan dengan ikatan β (1,4) (Shahidi & Abuzayton, 2005). Kitosan dihasilkan dari proses deasetilasi kitin yang berasal dari limbah kulit *Crustacea*. Kitosan dan turunannya banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang di antaranya bidang pangan, mikrobiologi, pertanian, dan farmasi. *Film* kitosan telah berhasil digunakan sebagai bahan pengemasan untuk menjaga kualitas berbagai makanan (Ouattara, Simard, Piette, Begin, & Holley, 2000). Fungsi kitosan adalah sebagai pelapis (*film*) pada berbagai bahan pangan yaitu untuk menghalangi oksigen masuk dalam suatu bahan pangan (Azeredo, Britto, & Assis, 2010).

Pembuatan *film* berbahan dasar karagenan dan kitosan sudah banyak dilakukan (Anward, Hidayat,

& Rokhati, 2013; Azeredo et al., 2010; Jacoeb, Nugraha, & Utari, 2014; Ouattara et al., 2000). Akan tetapi, penelitian mengenai *film* komposit kombinasi keduanya dari karagenan dan kitosan belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, dilakukanlah penelitian mengenai karakteristik *film* komposit karagenan dan kitosan dengan metode *layer-by-layer*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh karagenan dan kitosan pada konsentrasi yang berbeda terhadap kualitas *edible film*.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan rumput laut jenis *Eucheuma cottonii* dari perairan Maluku Tenggara sebagai bahan pembuatan karagenan, sedangkan kitosan diperoleh dari ekstraksi *Crustacea* yang dilakukan oleh Institut Pertanian Bogor. Bahan bantu lain yang digunakan adalah asam asetat glasial 1% (Merck), gliserol (Merck), KOH (Merck), KCl (Merck), isopropanol (teknis), dan akuades. Peralatan yang digunakan yaitu *waterbath*, oven, *beaker glass*, gelas ukur, *vacuum filtration* (*filter flask*, *filter paper* dan porselin Buchner), *vacuum pump* (merk rocker), *hot plate stirrer*, kain saring, corong buchner, blender dan plat kaca.

Metode

Ekstraksi karagenan

Metode ekstraksi merujuk pada penelitian Kumayanjati & Dwimayasanti (2018). Rumput laut *E. cottonii* kering ditimbang dengan berat 40g kemudian dipotong kecil-kecil. *E. cottonii* yang sudah ditimbang dan dipotong-potong kemudian ditambahkan akuades 1:40 (b/v). Selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu 80–90 °C selama 2-3 jam dan ditambah larutan NaOH 9% sampai didapatkan pH 9-10. Hasil ekstraksi yang berupa bubur rumput laut dilakukan proses penyaringan menggunakan *vacuum filtration*. Filtrat yang dihasilkan dari proses penyaringan diendapkan dalam larutan isopropanol 1:2 (v/v) hingga terbentuk seperti serat-serat karagenan. Serat karagenan disaring untuk memisahkan larutan isopropanol. Serat karagenan yang sudah dipisahkan dari pelarutnya kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama 6-7 jam. Serat karagenan yang sudah kering kemudian diblender sampai halus menjadi bubuk atau tepung karagenan. Perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

Pembuatan film komposit karagenan-kitosan

Konsentrasi karagenan untuk pembuatan komposit ini adalah 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5%.

Pemilihan nilai konsentrasi tersebut merujuk pada penelitian Hanani & Nazurah (2017); Montolalu, Togas, Berhimpon, Dien, & Mentang (2017); dan Rusli, Metusalach, Salengke, & Tahir (2017). Karagenan dilarutkan ke dalam aquades dengan perbandingan 1:50 (b/v) untuk masing-masing konsentrasi, kemudian diaduk hingga larut menggunakan *hot plate stirrer*. Pada saat pengadukan berlangsung, ditambahkan gliserol 2% ke dalam larutan. Larutan karagenan kemudian dicetak dan dituang ke plat kaca. *Film* didiamkan pada suhu ruang selama ± 30 menit. Tahap selanjutnya yaitu membuat *film* kitosan.

Konsentrasi kitosan yang digunakan di antaranya 0,5%, 1,0%, 1,5% dan 2,0%. Nilai konsentrasi tersebut berdasarkan pada penelitian Saputra, Kismiyati, Pramono, Abdillah, & Alamsjah (2015) dan Thakur et al., (2016). Kitosan (masing-masing konsentrasi) dilarutkan ke dalam larutan asam asetat 1% dengan perbandingan 1:50 (b/v) dan diaduk hingga terlarut sempurna, kemudian larutan kitosan tersebut disaring menggunakan *vacuum filtration*. Hasil filtrat kitosan yang diperoleh, kemudian dipanaskan kembali dan ditambahkan gliserol teknis 2%. Larutan kitosan tersebut kemudian dituangkan di atas lapisan karagenan yang telah disiapkan sebelumnya (*layer-by-layer*). *Film* komposit yang sudah diperoleh selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama ±12 jam. Lembaran *edible film* kemudian dipisahkan dari plat kaca, selanjutnya dilakukan pengujian.

Pengujian sampel

Pengujian sampel dilakukan untuk menentukan karakteristik dari *edible film* tersebut. Pengujian yang dilakukan antara lain kuat tarik, elongasi, kelarutan, water vapour permeability (WVP) dan morfologi permukaan.

Pengukuran kelarutan dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri (AOAC, 1990), WVP

(ASTM, 1983), dan morfologi permukaan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Mycroscopy*) merk FEI INSPECT S50 dengan tegangan 20 kV dan perbesaran 2.000x. Kuat tarik dan elongasi diukur dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* Auto Strain merk Yasuda Seiki. Kuat tarik *film* dihitung dengan membagi gaya maksimum untuk merobek *film* (F) dengan luas penampang *film* (A), sedangkan elongasi dihitung dengan membagi pertambahan panjang potongan *film* saat sobek (b) dan panjang awal *film* sebelum ditarik (a). Kuat tarik dan elongasi dihitung menggunakan formula berikut (Rusli, 2017):

$$\text{Kuat Tarik (Mpa)} = \frac{F}{A}$$

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{b - a}{a} \times 100\%$$

Analisa sampel dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Selanjutnya data yang didapatkan dianalisa secara statistik dengan ANOVA menggunakan program IBM SPSS Statistic 24.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat Tarik

Kuat tarik termasuk uji ukuran kekuatan yang dapat dicapai *film* atau suatu material secara maksimum sebelum putus atau robek (Sjamsiah, Saokani, & Lismawati, 2017). Pada pengujian kuat tarik diperoleh nilai tertinggi pada konsentrasi karagenan 2,5% dengan konsentrasi kitosan 1,5% yaitu sebesar 176,67 MPa. Nilai terendah pada konsentrasi karagenan 1,5% dengan konsentrasi kitosan 0,5% yaitu sebesar 24,47 MPa (Tabel 1). Berdasarkan *Japanese Industrial Standard*, standar minimal kuat

Tabel 1. Pengukuran kuat tarik edible film (MPa)
Table 1. Tensile strength measurement of edible film (MPa)

Kitosan/ Chitosan (%)	Karagenan/Carrageenan (%)			
	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	24.69±2.33 _A ^a	24.47±0.49 _A ^a	66.44±5.77 _{AB} ^a	83.83±3.58 _B ^a
1.0	28.31±0.46 _A ^a	24.55±0.93 _A ^a	35.37±1.85 _A ^a	87.76±5.83 _B ^a
1.5	47.48±3.75 _A ^b	45.22±2.72 _A ^b	56.52±7.95 _A ^a	176.67±3.44 _B ^b
2.0	56.20±0.11 _A ^b	48.84±4.83 _A ^b	117.35±4.62 _B ^b	53.73±4.33 _A ^a

Keterangan/Note :

- *) Subscript dengan huruf kapital yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi karagenan (P<0,05) / Values in the same row bearing different subscript capital letters are significantly different (P<0.05)
- *) Superscript dengan huruf kecil yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi kitosan (P<0,05) / Values in the same column bearing different superscript small letters are significantly different (P<0.05)

tarik *film* yaitu sebesar (3,92 MPa) (Krochta, Baldwin, & Carriedo, 1994).

Secara umum semakin tinggi konsentrasi karagenan dan konsentrasi kitosan menjadikan nilai kuat tarik *edible film* semakin tinggi pula. Namun ada beberapa perlakuan yang menunjukkan tren sebaliknya di mana nilai kuat tarik menurun, seperti karagenan 1,5% dengan kitosan 1,0% dan karagenan 2,5% dengan kitosan 2,0%. Secara umum, perbedaan konsentrasi karagenan dan konsentrasi kitosan menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji statistik ($P < 0,05$). Pada perlakuan karagenan 2,5% dengan kitosan 1,5% dan perlakuan karagenan 2,0% dengan kitosan 2% memiliki nilai kuat tarik cukup tinggi jika dibandingkan tren nilai perlakuan lain. Hal ini dimungkinkan karena pengaruh *plasticizer*. Masuknya molekul *plasticizer* dalam matriks polimer melalui ikatan hidrogen kemungkinan mengganggu struktur polimer dan mengubahnya menjadi sebuah struktur fleksibel yang tidak teratur yang dapat dilihat sebagai restrukturisasi dalam matriks polimer dengan peningkatan mobilitas rantai sehingga mengurangi resistensi terhadap tekanan yang diterima dan meningkatkan kemampuan regang (elongasi) *film* (Afifah, Sholichah, Indrianti, & Darmajana, 2018).

Kenaikan konsentrasi karagenan terhadap satu konsentrasi kitosan tidak selalu berbanding lurus terhadap kenaikan kuat tarik. Masing-masing kombinasi konsentrasi karagenan dan kitosan menghasilkan nilai kuat tarik yang berbeda. Semakin tinggi konsentrasi karagenan akan turut meningkatkan kemampuan mengikat air. Hal ini dikarenakan karagenan memiliki sifat higroskopis yang baik, sehingga dapat menghasilkan suatu matriks gel yang dapat menaikkan persentase perpanjangan dan kuat tarik dari *edible film* (Sorour & Abdou, 2014).

Penambahan persentase karagenan pada pembuatan *edible film* dapat menyebabkan ikatan antar molekul penyusun meningkat sehingga menghasilkan *edible film* yang semakin kompak (Rusli et al., 2017). Lembaran plastik kitosan memiliki sifat cenderung rapuh dan mudah pecah. Akan tetapi, penambahan *plasticizer* pada konsentrasi tertentu dapat memperbaiki kekakuan biopolimer tersebut dan menghasilkan *edible film* dengan kuat tarik yang baik (Meyers, No, Prinyawitkul, & Xu, 2007). Perpaduan karagenan dan kitosan tersebut menghasilkan kuat tarik yang cukup baik dengan kekuatan biopolimer kitosan yang sudah ditambah *plasticizer*. Menurut Nadarajah, Prinyawitkul, No, Santhivel, & Xu (2006), kitosan dapat larut dengan pelarut asam sehingga mampu menghasilkan *film* yang transparan, lentur atau mudah diatur dan sesuai sebagai bahan pengemas. Park, Marsh, & Rhim (2002) menambahkan bahwa kitosan yang dilarutkan ke

dalam pelarut asam asetat dapat membentuk dimer sehingga mampu menghasilkan interaksi yang relatif kuat antarmolekul. Hal ini didukung dengan penelitian Kerch & Korkhov (2010) bahwa kitosan yang memiliki berat molekul tinggi dapat menghasilkan nilai kuat tarik yang lebih besar dibandingkan dengan kitosan yang memiliki berat molekul rendah.

Nilai kuat tarik tinggi pada suatu *edible film* dapat menjadikannya sebagai kemasan suatu produk. Menurut Tanaka, Ishizaki, Suzuki, & Takai (2001), nilai kuat tarik tinggi mampu menahan terhadap penekanan yang normal selama perlakuan, pemindahan atau transportasi, dan penanganan suatu bahan pangan. Penggunaan *edible film* sebagai kemasan suatu produk dapat ditentukan dengan melihat besar kuat tarik suatu *film*. Bahan kemasan yang mempunyai *tensile strength* tinggi dapat digunakan sebagai kemasan bahan makanan yang memerlukan pengemas kuat seperti kemasan susu cair, sedangkan bahan pengemas dengan *tensile strength* yang rendah dapat digunakan untuk kemasan produk ringan seperti kemasan bumbu mie, kemasan permen dan kemasan keripik (Harianingsih, Suwardiyono, & Wulandari, 2017).

Elongasi

Pengujian elongasi bertujuan untuk mengetahui tingkat kemuluran dari *edible film* yang dihasilkan pada saat dilakukan uji tarik. Semakin besar nilai tarik maka sifat kekakuan suatu bahan akan meningkat atau tidak elastis. Nilai elongasi kombinasi antara karagenan dan kitosan yang dihasilkan berkisar antara 17,50–61,00% (Tabel 2). Secara keseluruhan, hasil uji statistik menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) terhadap perbedaan konsentrasi karagenan dan konsentrasi kitosan. Elongasi tertinggi diperoleh dari kombinasi karagenan 1,5% dan kitosan 2,0% dengan nilai 61%. Tingginya nilai elongasi tersebut tidak lepas dari peran *plasticizer* yang mempengaruhi nilai tersebut. Perbedaan komposisi, ukuran, struktur dan bentuk *plasticizer* mempengaruhi kemampuan fungsi mereka dalam jaringan *film* yang selanjutnya akan menentukan distribusi dan interaksi mereka dengan jaringan karagenan dalam film tersebut (Farhan & Hani, 2017; Jongjareonrak, Benjakul, Visessanguan & Tanaka, 2006). Sama halnya dengan kuat tarik, kenaikan konsentrasi kitosan dan karagenan secara umum meningkatkan pula nilai elongasi. Menurut Krochta & Johnston (1997), elongasi merupakan kemampuan *film* untuk memperoleh hasil perpanjangan (elastisitas). Persen pemanjangan pada *film* dikategorikan jelek apabila nilainya lebih kecil dari 10% dan dikategorikan baik apabila persentase pemanjangannya melebihi 50%.

Elastisitas pada *film* dapat terjadi karena adanya penambahan *plasticizer* seperti gliserol. Gliserol

Tabel 2. Pengukuran elongasi edible film (%)

Table 2. Elongation measurement of edible film (%)

Kitosan/ Chitosan (%)	Karagenan/Carrageenan (%)			
	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	21.50±0.71 _A ^a	30.50±4.95 _{AB} ^a	35.00±9.90 _{AB} ^{ab}	43.00±0.00 _B ^a
1.0	52.00±0.00 _A ^c	41.50±13.44 _A ^{ab}	56.50±4.95 _A ^c	43.00±11.31 _A ^a
1.5	36.00±5.66 _{AB} ^b	34.00±0.00 _{AB} ^a	38.00±2.83 _B ^{bc}	26.50±3.54 _A ^a
2.0	52.00±4.24 _A ^c	61.00±0.00 _A ^b	17.50±7.78 _B ^a	27.00±9.90 _B ^a

Keterangan/Note :

*) Subscript dengan huruf kapital yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi karagenan (P<0,05) / Values in the same row bearing different subscript capital letters are significantly different (P<0.05)

*) Superscript dengan huruf kecil yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi kitosan (P<0,05) / Values in the same column bearing different superscript small letters are significantly different (P<0.05)

ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas karagenan dan kitosan menjadi *edible film*. Menurut McHugh, Aujard, & Krochta (1994), gliserol merupakan suatu bahan tambahan yang dapat direkomendasikan sebagai bahan *plasticizer* yang dapat mengurangi ikatan hidrogen sehingga jarak antar molekul akan meningkat. Harianingsih et al. (2017) menambahkan bahwa penambahan gliserol dalam *edible film* dapat meningkatkan fleksibilitas *film* dengan meminimalisir terjadinya ikatan hidrogen antar molekul polimer yang berdekatan menjadikan kuat tarik antar molekul rantai polimer berkurang.

Sama halnya dengan kuat tarik, konsentrasi karagenan yang semakin tinggi dapat meningkatkan nilai elongasi. Seperti penjelasan Sour dan Abdou (2014), bahwa karagenan lebih bersifat higroskopis dibandingkan pati, di mana pengikatan terhadap molekul air menjadi lebih baik, yang menyebabkan kenaikan nilai elongasi. Sedangkan menurut Saputra et al. (2015), perlakuan kitosan menunjukkan tidak

ada perbedaan yang nyata (P>0,05) terhadap nilai persentase kemuluran. Hal ini disebabkan karena sifat kitosan kering. Penambahan gliserol pada larutan *film* kitosan dan karagenan menyebabkan nilai elongasi yang bervariasi, hal ini dikarenakan gliserol merupakan jenis *plasticizer* yang dapat mempengaruhi interaksi antara molekul air dengan karagenan dan kitosan. Selain itu juga memiliki sifat higroskopis yang dapat mempengaruhi kekuatan antar makromolekul (Sobral, Manegalli, Hubinger, & Roques, 2001).

Kelarutan (Solubility)

Kelarutan merupakan tolok ukur *film* untuk bisa terlarut saat akan dikonsumsi dan juga untuk menentukan *biodegradable film* ketika akan digunakan sebagai pengemas suatu produk (Fardhyanti & Julianur, 2015). Hasil uji kelarutan menunjukkan bahwa *edible film* dengan nilai yang tinggi diperoleh pada perlakuan karagenan 2,0% dengan konsentrasi kitosan 0,5% dan terendah

Tabel 3. Pengukuran kelarutan edible film (%)

Table 3. Solubility measurement of edible film (%)

Kitosan/ Chitosan (%)	Karagenan/Carrageenan (%)			
	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	83.00±4.24 _A ^b	88.00±5.66 _{AB} ^b	96.00±2.83 _B ^{bc}	92.50±2.12 _{AB} ^b
1.0	68.50±3.54 _A ^a	88.50±3.54 _{BC} ^b	86.00±1.41 _B ^b	95.00±2.83 _C ^b
1.5	62.50±0.71 _A ^a	72.50±0.71 _B ^a	72.00±1.41 _B ^a	84.00±8.49 _C ^{ab}
2.0	63.50±0.71 _A ^a	73.00±1.41 _{BC} ^a	62.50±0.71 _A ^a	77.00±1.41 _C ^a

Keterangan/Note :

*) Subscript dengan huruf kapital yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi karagenan (P<0,05) / Values in the same row bearing different subscript capital letters are significantly different (P<0.05)

*) Superscript dengan huruf kecil yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi kitosan (P<0,05) / Values in the same column bearing different superscript small letters are significantly different (P<0.05)

diperoleh nilai kelarutan pada perlakuan 1,0% dengan konsentrasi kitosan 1,5% (Tabel 3). Kenaikan konsentrasi karagenan dan kitosan tidak selalu berbanding lurus terhadap kenaikan nilai *solubility*, akan tetapi berdasarkan uji statistik menunjukkan perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) antar perlakuan karagenan dan kitosan.

Nilai kelarutan pada hasil penelitian ini bisa dikatakan cukup tinggi dibandingkan dengan penelitian Rusli et al. (2017) yang berkisar antara 60,51-74,20% dan penelitian Bourbon et al. (2011) yang berkisar antara 42,05 - 47,11%. Menurut Pitak & Rakshit (2011), tingginya kelarutan menyebabkan *edible film* dapat terlarut dengan mudah di dalam air dan tingkat kemampuan untuk menahan menjadi berkurang. *Edible film* dengan kelarutan tinggi sangat baik digunakan untuk produk pangan siap makan karena mudah larut saat dikonsumsi. Singh, Chatli, dan Sahoo (2015) menambahkan bahwa *edible film* dengan kelarutan yang rendah digunakan sebagai kemasan pangan yang umumnya memiliki kadar air dan A_w yang tinggi atau penggunaan *film* yang bersentuhan dengan air dan bertindak sebagai pelindung produk pangan.

Kelarutan berkaitan dengan sifat fisik dari kemampuan *edible film* untuk dapat terlarut di dalam air, sehingga saat dicerna dapat diterima dengan baik, atau apabila dibuang ke lingkungan dapat terurai secara alami. Kelarutan *edible film* dalam air akan menentukan aplikasi *edible film* yang dihasilkan (Pitak & Rakshit, 2011). Kelarutan *film* sangat dipengaruhi oleh sifat hidrofilik dan higroskopis dari senyawa pembentuk *film*. *Plasticizer* berinteraksi dengan *film* matriks dengan meningkatkan ruang antar rantai, memfasilitasi migrasi air ke dalam *film* dan akibatnya meningkatkan kelarutan *film* (Lagos et al., 2015).

Semakin tinggi konsentrasi karagenan, cenderung meningkatkan nilai kelarutan. Hal ini dikarenakan

karagenan mempunyai sifat yang bisa berikatan dengan air (hidrofilik). Kelarutan karagenan dalam air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain temperatur, pH, tipe karagenan, kehadiran jenis ion tandingan dan zat-zat terlarut lainnya (Imeson, 2010). Semakin tinggi konsentrasi kitosan akan menaikkan nilai viskositas larutan sehingga kelarutannya akan semakin menurun, hal ini dikarenakan sifat kitosan yang hidrofobik (Anward et al., 2013).

Water Vapour Permeability (WVP)

WVP berfungsi untuk mengetahui ketahanan suatu *film* terhadap air dan seberapa lama kekuatan suatu *film* tersebut dalam menahan masuknya air. Umur simpan suatu produk dapat diperpanjang apabila WVP bisa ditahan. Menurut Hafnimardiyanti & Armin (2016), *permeability film* merupakan kemampuan untuk melewati partikel gas dan uap air dalam satuan luas material pada kondisi tertentu. Secara umum, permeabilitas film kemasan dapat digunakan untuk mengetahui perkiraan umur simpan suatu produk yang akan dikemas. Dari Tabel 4, nilai WVP yang tinggi adalah kombinasi karagenan 1,5% dan kitosan 1,0%. Tingginya nilai WVP pada penelitian ini masih berada pada standar yang telah ditetapkan oleh *Japanese Industrial Standard* (1975) dalam Krochta & Johnston (1997) yaitu maksimal 10 g/m². Sama halnya dengan parameter yang lainnya, berdasarkan uji statistik, nilai WVP menunjukkan perbedaan yang nyata antar perlakuan karagenan dan kitosan.

Data yang disajikan pada Tabel 4, menunjukkan tren yang tidak linier, hal ini dimungkinkan karena lapisan karagenan dan lapisan kitosan yang terbentuk tidak tersebar dengan merata, sehingga tidak menutup dengan sempurna antar layer dan mempengaruhi hasil uji WVP. WVP yang baik untuk kemasan suatu produk pangan yaitu mempunyai kemampuan dalam menyerap uap air yang kecil sehingga produk yang

Tabel 4. Pengukuran permeabilitas uap air edible film (g/m²)
 Table 4. Water Vapour Permeability measurement of edible film (g/m²)

Kitosan/ Chitosan (%)	Karagenan/Carrageenan (%)			
	1.0	1.5	2.0	2.5
0.5	2.61±0.42 _B ^a	2.79±0.08 _B ^a	0.34±0.66 _A ^a	2.06±0.72 _B ^a
1.0	4.08±0.01 _{BC} ^b	4.83±0.72 _C ^b	1.71±0.33 _A ^{ab}	3.09±0.85 _{AB} ^a
1.5	1.95±0.56 _A ^a	2.19±0.42 _A ^a	3.33±1.28 _A ^b	2.66±0.37 _A ^a
2.0	3.48±0.21 _B ^b	2.04±0.85 _{AB} ^a	1.55±0.34 _A ^{ab}	3.43±0.97 _{AB} ^a

Keterangan/Note :

- *) Subscript dengan huruf kapital yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi karagenan ($P < 0,05$) / Values in the same row bearing different subscript capital letters are significantly different ($P < 0.05$)
- *) Superscript dengan huruf kecil yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata pada taraf konsentrasi kitosan ($P < 0,05$) / Values in the same column bearing different superscript small letters are significantly different ($P < 0.05$)

dikemas dapat terhindar dari kerusakan yang dikarenakan oleh udara. Peran utama dari *edible film* yaitu sebagai penghambat kelembaban, cahaya, lipid, oksigen dan zat terlarut (McHugh & Krochta, 1994). Pada penelitian ini, *edible film* yang memiliki WVP terbaik pada perlakuan karagenan 2,0% dengan kitosan 0,5% yaitu sebesar 0,34 g/m² (Tabel 4).

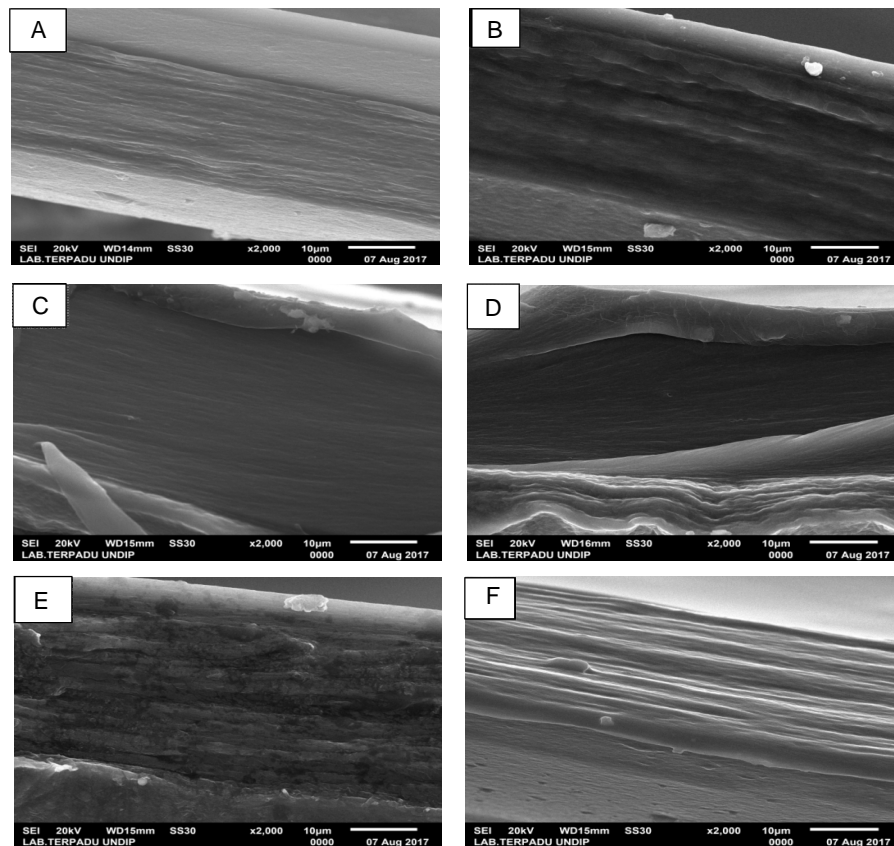
Nilai WVP yang diperoleh tergantung dari perbandingan bahan dengan sifat hidrofilik dan sifat hidrofobik dalam formulasi *edible film*. *Edible film* yang mempunyai nilai transmisi uap air tinggi umumnya terbuat dari bahan protein dan polisakarida. Protein termasuk polimer polar yang memiliki jumlah ikatan hidrogen yang besar, sehingga dapat menyerap air pada kelembaban yang tinggi. Interaksi rantai molekuler dapat terganggu oleh penyerapan air, yang selanjutnya akan diikuti oleh meningkatnya difusifitas dan kemampuan menyerap uap air dari udara (Herliany, Santoso, & Salamah, 2013). Anward et al. (2013) menambahkan bahwa kitosan mempunyai gugus hidroksil (-OH) dengan muatan negatif dan gugus amina (-NH₂) dengan muatan positif sehingga kitosan mampu berikatan ionik dengan kuat.

Keberadaan gugus hidroksil dengan muatan negatif menyebabkan kitosan bersifat hidrofobik, sehingga mampu menahan laju perpindahan uap air pada *edible film*. Kitosan telah berhasil diterapkan sebagai bahan *film* yang dapat dimakan dan pelapis terhadap kualitas *seafood* yang berbeda (Aider, 2010; Fan et al., 2009).

Semakin tinggi konsentrasi karagenan cenderung menurunkan nilai WVP. Seperti pada penelitian Togas, Berhimpon, Montolalu, Dien, & Mentang (2017) yang menunjukkan bahwa rata-rata nilai laju transmisi uap air pada *edible film* cenderung mengalami penurunan seiring dengan konsentrasi komposit karagenan dan lilin lebah yang semakin tinggi serta kecepatan homogenisasi. Hal ini dikarenakan sifat karagenan yang hidrofilik. Sehingga, untuk mengurangi sifat hidrofiliknya perlu ditambahkan bahan bersifat hidrofobik.

Morfologi Permukaan

Pengujian morfologi permukaan ini dilakukan untuk mengetahui lapisan *edible film* yang terbentuk dari kitosan dan karagenan. Hasil gambar dari pengujian morfologi permukaan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Edible film* karagenan (Kr)-kitosan (Kh) (A); Kr 1%-Kh 0,5% (B); Kr 1%-Kh 1% (C); Kr 1%-Kh 1,5% (D); Kr 1%-Kh 2% (E); Kr 1,5%-Kh 0,5% (F); 1,5%-Kh 1%.

Figure 1. Carrageenan (Cr)-chitosan (Ch) Edible films (A); Cr 1%-Ch 0,5% (B); Cr 1%-Ch 1% (C); Cr 1%-Ch 1.5% (D); Cr 1%-Ch 2% (E); Cr 1.5%-Ch 0.5% (F); 1.5%-Ch 1%.

Dengan metode *layer-by-layer*, *edible film* yang terbentuk tentu akan membentuk lapisan-lapisan. Pada gambar 1 dapat dilihat bahwa kitosan dan karagenan membentuk lapisan tersendiri, hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pencampuran dari keduanya. Akan tetapi kedua lapisan tetap melekat, karena molekul kitosan dapat mengisi pori-pori atau celah pada lapisan karagenan. Secara umum, antar perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada bentuk morfologi permukaannya, setiap perlakuan membentuk lapisan tersendiri (karagenan dan kitosan) yang saling melekat. Penelitian Supeni, Cahyanintyas, & Fitriana (2015) menjelaskan bahwa penambahan kitosan dalam larutan *film* karagenan dapat menghasilkan nilai laju transmisi uap air yang optimal. Hal ini disebabkan karena kitosan yang telah ditambahkan sudah mengisi pori-pori atau celah ikatan antar polimer yang terbentuk secara merata. Seperti pada Gambar 1 (A) lapisan terlihat lebih *smooth* apabila dibandingkan dengan gambar yang lain, hal ini dapat disebabkan karena ikatan antar molekul karagenan, kitosan, dan *plasticizer* terbentuk dengan baik. Perbedaan konsentrasi tidak mempengaruhi pembentukan lapisan tersebut, akan tetapi kerataan *layer* masing-masing material (kitosan dan karagenan) akan mempengaruhi tebal tipisnya lapisan yang akan terbentuk. Dengan menggunakan SEM, tebal lapisan *edible film* dapat dilihat nilainya. Pinheiro, Bourbon, Quintas, Coimbra, & Vicente (2012) melaporkan bahwa *edible film* yang terbentuk dalam penelitiannya juga menggunakan 2 lapisan (kitosan dan karagenan) yang memiliki nilai ketebalan *edible film* masing-masing adalah 28,7 nm dan 3,9 nm. Dibandingkan dengan penelitian tersebut, *edible film* pada penelitian ini lebih tebal berkisar antara 0,05-0,07 mm.

KESIMPULAN

Berdasarkan parameter yang ada yaitu kuat tarik, elongasi, kelarutan (*solubility*), *water vapour permeability* dan morfologi permukaan, setiap kombinasi konsentrasi karagenan dan kitosan menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Untuk parameter kuat tarik, *edible film* terbaik dihasilkan dari kombinasi karagenan 2,5% dan kitosan 1,5%. Untuk parameter elongasi, *edible film* terbaik dihasilkan dari kombinasi karagenan 1,5% dan kitosan 2,0%. Untuk parameter *water vapour permeability*, *edible film* terbaik dihasilkan dari kombinasi karagenan 1,5% dan kitosan 1,0%. Untuk parameter kelarutan (*solubility*) pada *edible film* tergolong tinggi dan baik untuk produk siap makan. Secara umum, dari seluruh perlakuan yang ada dapat disimpulkan bahwa kombinasi karagenan 2,5% dan kitosan 1,0% adalah formulasi terbaik. Hal ini didasarkan pada rata-rata nilai seluruh parameter yang cukup baik. Nilai kuat

tarik formulasi tersebut sebesar $87,76 \pm 5,83$ Mpa, nilai tersebut memang lebih kecil dari $176,67 \pm 3,44$ Mpa (karagenan 2,5% & kitosan 1,5%), akan tetapi lebih unggul pada parameter yang lain. Seperti nilai elongasi sebesar $43,00 \pm 11,31\%$, nilai tersebut lebih kecil dari $56,50 \pm 4,95\%$ (karagenan 2,0% & kitosan 1,0%), akan tetapi dari hasil statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata. Nilai kelarutan mencapai $95,00 \pm 2,83\%$ dan nilai permeabilitas uap air sebesar $3,09 \pm 0,85$ g/m². Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi karagenan dan kitosan secara umum meningkatkan nilai kuat tarik dan nilai elongasi. Selain itu peningkatan konsentrasi karagenan juga meningkatkan nilai kelarutan namun berbanding terbalik dengan kenaikan konsentrasi kitosan. Pada parameter morfologi permukaan menggunakan SEM, metode *layer by layer* tidak menunjukkan terjadinya pencampuran antara kedua lapisan, di mana karagenan dan kitosan membentuk lapisan tersendiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada teman-teman peneliti, teknisi dan semua pihak di Loka Konservasi Biota Laut Tual LIPI yang sudah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Affiah, N., Sholichah, E., Indriati, N., & Darmajana, D. A. (2018). Pengaruh kombinasi *plasticizer* terhadap karakteristik *edible film* dari karagenan dan lilin lebah. *Biopropal Industri*, 9(1), 49-60. doi:10.36974/jbi.v9i1.3765
- Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry/ : Review. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 837-842. doi:10.1016/j.lwt.2010.01.021
- Anward, G., Hidayat, Y., & Rokhati, N. (2013). Pengaruh konsentrasi serta penambahan gliserol terhadap karakteristik film alginat dan kitosan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 2(3), 51-56. Retrieved from <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtki>
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis 15th edition*. Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists Inc.
- ASTM. (1983). *Annual book of ASTM standard*. Philadelphia, USA: American Society for Testing and Material.
- Azeredo, H. M. C., Britto, D. De., & Assis, O. B. (2010). Chitosan *edible film* and coating-A review. In *Chitosan: Manufacture, properties, and Usage* (pp. 179-194). Fortaleza, Brazil: Nova Science Publishers Inc.
- Bourbon, A. I., Pinheiro, A. C., Cerqueira, M. A., Rocha, C. M. R., Avides, M. C., Quintas, M. A. C., & Vicente, A. A. (2011). Physico-chemical characterization of chitosan-based *edible films* incorporating bioactive

- compounds of different molecular weight. *Journal of Food Engineering*, 106(2), 111-118. doi:10.1016/j.jfoodeng.2011.03.024
- Chapman, V. J., & Chapman, D. J. (1980). *Seaweds and their uses 3rd ed.* New York: Chapman and Hall.
- Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78, 90-103. doi:10.1016/j.meatsci.2007.07.035
- Earle, R. R., Ayalasomayajula, L. U., Loknadh, G., Reddy, K. S. R. K., & Kanth, L. R. (2016). A review on natural polymers used in Pharmaceutical Dosage Forms. *International Journal of Science and Research Methodology (IJSRM Human)*, 3(3), 77-88.
- Fan, W., Sun, J., Chen, Y., Qiu, J., Zhang, Y., & Chi, Y. (2009). Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chemistry*, 115, 66-70. doi:10.1016/j.foodchem.2008.11.060
- Fardhyanti, D. S., & Julianur, S. S. (2015). Karakterisasi edible film berbahan dasar ekstrak karagenan dari rumput laut *Euचेuma cottonii*. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(2), 48-56. doi:10.15194/jbat.v4i2.4127
- Farhan, A., & Hani, N. M. 2017. Characterization of edible packaging films based on semi-refined kappa-carrageenan plasticized with glycerol and sorbitol. *Food Hydrocolloid*, 64, 48-58. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.10.034
- Fennema, O., Donhowe, I. G., & Kester, J. (1994). Lipid type and location of the relative humidity gradient influence on the barrier properties of lipids to water vapor. *Journal of Food Engineering*, 22(1-4), 225-239. doi:10.1016/0260-8774(94)90032-9
- Garnida, Y. (2006). Pembuatan bahan edible coating dari sumber karbohidrat, protein, lipid untuk aplikasi pada buah terolah minimal. *Infomatek*, 8(4), 207-222.
- Hafnimardiyanti., & Armin, M. I. (2016). Effect of plasticizer on physical and mechanical characteristics of edible film from mocaf flour. *Der Pharmacia Lettre*, 8(19), 301-308. Retrieved from <http://scholarsresearchlibrary.com/articles/effect-of-plasticizer-on-physical-and-mechanical-characteristics-of-edible-film-from-mocaf-flour.pdf>
- Hanani, Z. A. N., & Nazurah, R. N. F. (2017). Physicochemical characterization of kappa-carrageenan (*Euचेema cottoni*) based films incorporated with various plant oils. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1479-1487.
- Harianingsih, Suwardiyono., & Wulandari, R. (2017). Pengaruh penambahan gliserol terhadap tensile strength dan elongation at break edible film dari Nata De Soya. *Inovasi Teknik Kimia*, 2(1), 15-18.
- Herliany, N. E., Santoso, J., & Salamah, E. (2013). Karakteristik biofilm berbahan dasar karagenan. *Jurnal Akuatika*, 4(1), 10-20
- Henriette, M., Azeredo, De Britto, D., & Assis, O. B. (2010). *Chitosan edible films and coating-Review*. Fortaleza CE, Brazil: Embrapa Tropical Agroindustry
- Imeson, A. (2010). *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. Oxford: Blacwell Publishing Ltd.
- Jacob, A. M., Nugraha, R., & Utari, S. P. S. D. (2014). Pembuatan edible film dari pati buah lindur dengan penambahan gliserol dan karagenan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(1), 14-21
- Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., & Tanaka, M. 2006. Effect of plasticizers on the properties of edible films from skin gelatin of bigeye snapper and brownstripe red snapper. *European Food Research and Technology*, 222(3-4), 229-235. doi:10.1007/s00217-005-0004-3
- Kerch, G., & Korkhov, V. (2010). Effect of storage time and temperature on structure, mechanical and barrier properties of chitosan-based films. *European Food Research and Technology*, 232(1), 17-22. doi:10.1007/s00217-010-1356-x
- Krochta, J., & De Mulder-Johnston, C. (1997). Edible and biodegradable polymer films: Challenger and opportunities. *Food Technology*, 51(2), 61-74.
- Krochta, J. M., Baldwin, & Carriedo, N. (1994). *Edible coating and film to improve food quality*. Pennsylvania: Technomic Publishing Co.lcn.
- Kumayanjati, B., & Dwimayasanti, R. (2018). Kualitas karagenan dari rumput laut *Kappaphycus alvarezii* pada lokasi berbeda di perairan Maluku Tenggara. *JPB Kelautan dan Perikanan*, 13(1), 21-32. doi: 10.15576/jpbkp.v13i1.490
- Lagos, J. B., Vicentini, N. M., Santos, R. M. C. Dos, Bittante, A. M. Q. B., & Sobral, P. J. A. (2015). Mechanical properties of cassava starch films as affected by different plasticizers and different relative humidity conditions. *International Journal of Food Studies*, 4, 116-125. doi:10.7455/ijfs/4.1.2015.a10
- McHugh, T. H., Aujard, J. F., & Krochta, J. M. (1994). Plasticized whey protein edible films: Water vapor permeability properties. *Journal of Food Science*, 59(2), 416-419. doi:10.1111/j.1365-2621.1994.tb06980.x
- McHugh, T. H., & Krochta, J. M. (1994). Dispersed phase particle size effect on water vapor permeability of whey protein-beeswax edible emulsion films. *Journal Food Process Pres*, 18, 173-188. doi:10.1111/j.1745-4549.1994.tb00842.x
- Meyer, R. C., Winter, A. R., & Weister, H. H. (1959). Edible protective coatings for extending the shelf life of poultry. *Food Technology*, 13, 146-148.
- Meyers, S. P., No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: A review. *Journal of Food Science*, 72(5), 87 - 100. doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00383.x
- Montolalu, R. I., Togas, C., Berhimon, S., Dien, H. A., & Mentang, F. (2017). Karakteristik fisik edible film komposit karagenan dan lilin lebah menggunakan proses nanoemulsi. *JPHPI*, 20(3), 468 - 477.
- Nadarajah, K., Prinyawiwatkul, W., No, H. K., Sathivel, S., & Xu, Z. (2006). Sorption behavior of crawfish chitosan films as affected by chitosan extraction processes and solvent type. *Journal of Food Science*, 71(2), 33-39. doi: 10.1111/j.1365-2621.2006.tb08894.x
- Nugroho, A. A., Basito., & Katri, R. B. A. (2013). Kajian pembuatan edible film tapioka dengan pengaruh penambahan pektin beberapa jenis kulit pisang terhadap karakteristik fisik dan mekanik. *Jurnal*

- Teknosains Pangan*, 2(1), 73-79. Retrieved from <http://www.ilmupangan.fp.uns.ac.id>
- Ouattara, B., Simard, R. E., Piette, G., Begin, A., & Holley, R. (2000). Diffusion of acetic and propionic acids from chitosan-based antimicrobial packaging films. *Journal of Food Science*, 65(5), 768-773. doi:10.1111/j.1365-2621.2000.tb13584.x
- Park, S. Y., Marsh, K. S., & Rhim, J. W. (2002). Characteristics of different molecular weight chitosan films affected by the type of organic solvents. *Journal of Food Science*, 67(1), 194-197. doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb11382.x
- Pinheiro, A. C., Bourbon, A. I., Quintas, M. A. C., Coimbra, M. A., & Vicente, A. A. (2012). K-carrageenan/chitosan nanolayered coating for controlled release of a model bioactive compound. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 16, 227-232. doi:10.1016/j.ifset.2012.06.004
- Pitak, N., & Rakshit, S. (2011). Physical and antimicrobial properties of banana flour/chitosan biodegradable and self sealing films used for preserving fresh cut vegetables. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 2310–2315. doi:10.1016/j.lwt.2011.05.024
- Rusli, A., Metusalach, Salengke, & Tahir, M. M. (2017). Karakterisasi edible film karagenan dengan pemplastis gliserol. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 219-229. doi:10.17844/jphpi.v20i2.17499
- Saputra, E., Kismiyati, Pramono, H., Abdillah, A. A., & Alamsjah, M. A. (2015). An edible film characteristic of chitosan made from shrimp waste as a an edible film characteristic of chitosan made from shrimp waste as a plasticizer. *Journal of Natural Science Research*, 5(4), 118-124.
- Shahidi, F., & Abuzayton, R. (2005). Chitin, chitosan, and co-products/ : Chemistry, production, applicaton and health effect. *Advances In Food And Nutrition Research, Elsevier Inc*, 49, 93–135. doi:10.1016/S1043-4526(05)49003-8
- Singh, T. P., Chatli, M. K., & Sahoo, J. (2015). Development of chitosan based edible films process optimization using response srcae methodology. *Journal of Food Science and Technology*, 25(5), 2530-2543. doi:10.1007/s13197-014-1318-6
- Sjamsiah, Saokani, J., & Lismawati. (2017). Karakteristik edible film dari pati kentang (*Solanum Tuberosum* L.) dengan penambahan gliserol. *Al-Kimia*, 5(2), 181-192
- Skurtys, O., Acevedo, C., Pedreschi, F., Enronoe, J., Osorro, F., & Aguilera, J. (2010). *Food hydrocolloid edible films and coating*. Santiago: Nova Science Publisher Inc.
- Sobral, P. J. A., Menegalli, F. C., Hubinger, M. D., & Roques, M. A. (2001). Mechanical, water vapor marrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloid*, 15, 423-432.
- Sorour, M. A., & Abdou, E. S. (2014). Preparation and characterization of starch/carrageenan edible films. *International Food Research Journal*, 21(1), 189-193.
- Supeni, G., Cahyanintyas, A. A., & Fitriana, A. (2015). Karakterisasi sifat fisik dan mekanik penambahan kitosan pada edible film karagenan dan tapioka termodifikasi. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 37(2), 103-110.
- Tanaka, M., Ishizaki, S., Suzuki, T., & Takai, R. (2001). Water vapor permeability of edible films prepared from fish water soluble proteins as affected by lipid type. *Journal of Tokyo University of Fisheries*, 87, 31-37.
- Thakur, R., Saberi B., Pristijono P., Golding J., Stathopoulos C., r Scarlett C., Bowyer M., & Vuong Q. (2016). Characterization of rice starch-i-carrageenan biodegradable edible film. Effect of stearic acid on the film properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 93(2016),952-960. doi:10.1016/j.ijbiomac.2016.09.053
- Togas, C., Berhimpon, S., Montolalu, R. I., Dien, H. A., & Mentang, F. (2017). Karakteristik fisik edible film komposit karagenan dan lilin lebah menggunakan proses nanoemulsi. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 468-477.
- Yuguchi, Y., Thuy, T. T. T., Urakawa, H., & Kajiwara, K. (2002). Structural characteristics of carrageenan gels/ : Temperature and concentration dependence. *Food Hydrocolloids*, 16, 515–522. doi:10.1016/S0268-005X(01)00131-X