

## KARAKTERISTIK BIOFILM BERBAHAN DASAR KARAGINAN

**Nurlaila Ervina Herliany<sup>1</sup>, Joko Santoso<sup>2</sup>, dan Ella Salamah<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Pertanian, Universitas Bengkulu, Jl. WR Supratman  
Kandang Limun Bengkulu 38371

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Institut Pertanian  
Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680 Indonesia  
Email: jsantoso@ipb.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik karaginan yang digunakan dalam pembuatan biofilm. Karaginan yang diekstraksi menggunakan KOH 0,5% selama 1 jam memberikan hasil terbaik dengan karakteristik rendemen 45,64%, viskositas 18 cP, kadar air 16,26%, kadar abu 35,90%, kadar abu tak larut asam 0,32%, kadar sulfat 5,04%, dan kekuatan gel 385,63 gf. Penggunaan karaginan pada konsentrasi 1,5% menghasilkan biofilm terbaik dengan sifat-sifat ketebalan 0,070 mm, kuat tarik 5516,67 kgf/cm<sup>2</sup>, persen pemanjangan 43,05% dan laju transmisi uap air 0,0060 g/m<sup>2</sup>/hari. Biofilm terbaik juga mempunyai struktur mikroskopis internal polimer lebih kompak dan padat.

Kata kunci : biofilm, karaginan, ekstraksi, dan polimer

### ABSTRACT

This experiment was carried out to evaluate the characteristic of carrageenan which were used on making of biofilm. Carrageenan was extracted using 0.5% KOH for 1 hour, gave the best results with characteristics of yield 45.64% and viscosity 18 cP, moisture content 16.26%, ash content 35.90%, ash insoluble acid content 0.32%, sulphate content 5.04%, and gel strength 385.63 gf. Using of carrageenan at concentration of 1.5% obtained the best biofilm with properties of thickness 0.070 mm, tensile strength 5516.78 kgf/cm<sup>2</sup>, elongation 43.05% and water vapor transmission rate 0.0060 g/m<sup>2</sup>/day. The best biofilm also had internal structure of polymer was more compact and dense.

Keywords : biofilm, carrageenan, extraction, and polymer

### I. PENDAHULUAN

Meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap keterbatasan sumberdaya alam dan masalah lingkungan, mendorong penggunaan bahan alam yang sifatnya terbarukan, mudah terurai secara biologis dan ramah lingkungan mengalami peningkatan. Penggunaan

biopolimer yang bersifat terbarukan, seperti polisakarida (pati, karaginan, alginat, kitosan); protein (gelatin, gluten, kasein) dan gabungannya, menggantikan polimer berbahan dasar petro-kimia sudah banyak dilakukan (Siracusa *et al.* 2008). Biopolimer tersebut dapat berasal dari sumberdaya alam (hewan,

tanaman, alga), limbah industri pengolahan pangan maupun hasil samping pertanian (Alves *et al.* 2010).

Salah satu sumber alam biopolimer adalah karaginan. Karaginan merupakan polisakarida sulfat, diekstrak dari beberapa spesies rumput laut merah (*Rhodophyceae*). Berdasarkan kandungan sulfatnya, karaginan diklasifikasikan menjadi kappa ( $\kappa$ ), iota ( $\iota$ ) dan lamda ( $\lambda$ ) dengan jumlah sulfatnya berturut-turut 20%, 33% dan 42% (Yuguchi *et al.* 2002; Villanueva *et al.* 2004). Penelitian tentang biopolimer berbahan dasar karaginan dan evaluasi karakteristiknya sudah banyak dilakukan. Park *et al.* (2001) melakukan penelitian biopolimer campuran  $\kappa$ -karaginan dengan kitosan. Karakteristik biofilm campuran pati termodifikasi dan  $\kappa$ -karaginan diteliti oleh Lafargue *et al.* (2007), sedangkan Fabra *et al.* (2009) meneliti biofilm dari campuran  $\iota$ -karaginan, gliserol dan lipida; dan Hambleton *et al.* (2011) mengkaji karakteristik biofilm campuran  $\iota$ -karaginan dan sodium alginat. Penelitian biofilm berbahan dasar karaginan di Indonesia sampai saat ini masih terbatas. Suryaningrum *et al.* (2005) mengkaji karakteristik biofilm campuran karaginan dengan tapioka sebagai *plasticizer*.

Karakteristik biofilm karaginan yang dihasilkan tergantung pada berbagai faktor, antara lain sifat-sifat dan jenis karaginan, *plasticizer* yang digunakan, dan jenis bahan campuran. Sifat-sifat karaginan sangat

dipengaruhi oleh proses ekstraksinya sebagai titik kritis. Penelitian ekstraksi karaginan telah dilakukan oleh Suryaningrum *et al.* (2003) dan Basmal *et al.* (2005) yang difokuskan pada mutu karaginan secara umum, bukan sebagai bahan biofilm. Diperlukan kajian khusus proses ekstraksi untuk menghasilkan karaginan dengan sifat-sifat yang sesuai sebagai bahan dasar biofilm. Konsentrasi karaginan yang digunakan juga mempengaruhi sifat-sifat biofilm yang dihasilkan, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari proses ekstraksi untuk menghasilkan karaginan dengan karakteristik yang sesuai sebagai biofilm dengan fokus kajian pada konsentrasi kalium hidroksida (KOH) dan lama ekstraksi; serta mengevaluasi karakteristik biofilm karaginan hasil ekstraksi terbaik pada berbagai konsentrasi.

## II. DATA DAN PENDEKATAN

### 2.1. Bahan

Jenis rumput laut yang digunakan adalah *Kappaphycus alvarezii*, diperoleh dari petani rumput laut di Pulau Panjang, Kabupaten Serang, Provinsi Banten dalam keadaan kering. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk ekstraksi karaginan adalah kalium hidroksida teknis dan isopropil alkohol teknis. Bahan-bahan yang digunakan untuk karakterisasi karaginan adalah barium klorida, hidrogen peroksida dan potasium

klorida; sedangkan gliserol dan polietilen glikol digunakan pada pembuatan biofilm.

## 2.2. Ekstraksi dan Karakterisasi Karaginan

Ekstraksi karaginan mengacu metode Sinurat *et al.* (2006) yang dimodifikasi. Ekstraksi dilakukan menggunakan dua faktor, yaitu konsentrasi KOH 0,5; 1 dan 1,5% dengan lama ekstraksi 1,2 dan 3 jam. Parameter yang digunakan untuk menentukan metode ekstraksi yang optimal adalah rendemen dan viskositas (FMC 1977). Tepung karaginan terbaik dikarakterisasi lebih lanjut untuk mengetahui sifat-sifat fisik dan kimianya meliputi kekuatan gel (FMC 1977), kadar air (AOAC 1995), kadar abu (AOAC 1995), kadar abu tak larut asam (FMC 1977), dan kadar sulfat (FMC 1977).

## 2.3. Pembuatan Biofilm dan Karakterisasi

Pembuatan biofilm dilakukan berdasarkan metode Cha *et al.* (2002) yang dimodifikasi. Biofilm dibuat menggunakan beberapa konsentrasi karaginan, yaitu 0,5; 1; 1,5 dan 2%. Biofilm terbaik ditentukan dengan mengevaluasi parameter ketebalan, kuat tarik, persen pemanjangan, laju transmisi uap air dan mikro struktur internal polimer. Ketebalan diukur dengan menggunakan alat jangka sorong, kuat tarik dan persen pemanjangan menggunakan *tensile strength and elongation tester industries* model SSB 0500 (ASTM 1983), laju transmisi uap air dengan metode cawan (ASTM 1967) dan struktur mikroskopis menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

## 2.4. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan pada proses ekstraksi adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan dua faktor perlakuan (konsentrasi KOH dan lama ekstraksi) yang masing-masing menggunakan tiga kali ulangan. Rancangan percobaan yang digunakan pada pembuatan biofilm adalah rancangan acak lengkap satu faktor yaitu konsentrasi karaginan dengan dua kali ulangan. Uji lanjut yang digunakan adalah uji jarak berganda Duncan. Data diolah menggunakan Program SPSS Versi 16.

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1. Karakteristik Karaginan

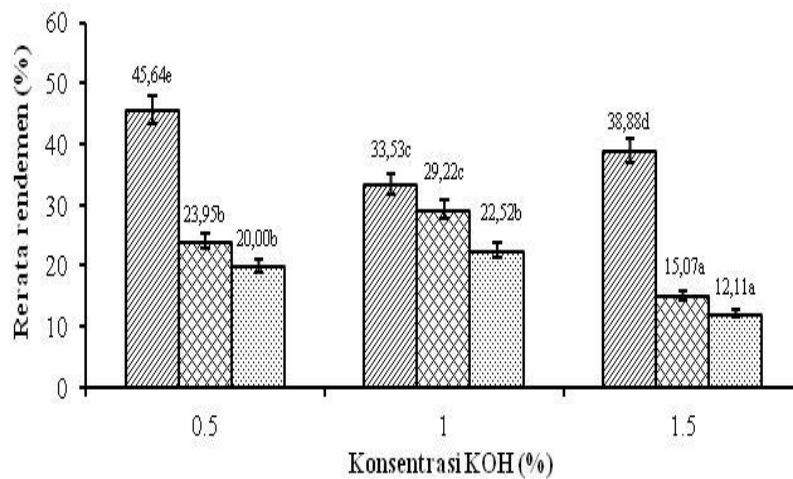
#### 3.1.1. Rendemen

Hasil penelitian menunjukkan bahwa rendemen karaginan yang dihasilkan berkisar antara 12,11-45,64% (Gambar 1). Rendemen terendah dihasilkan pada perlakuan konsentrasi KOH 1,5% dengan lama ekstraksi 3 jam; sedangkan rendemen tertinggi pada penggunaan konsentrasi KOH 0,5% dengan lama ekstraksi 1 jam. Rendemen karaginan dipengaruhi secara nyata oleh faktor penggunaan KOH, lama ekstraksi dan interaksi keduanya. Kombinasi perlakuan KOH 0,5% dan lama ekstraksi 1 jam menghasilkan rendemen tertinggi (45.64%) dan berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya.

Nilai rendemen menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi KOH dan

lama ekstraksi. Penurunan rendemen terkait dengan larutan karaginan yang dihasilkan semakin kental sehingga sulit untuk disaring. Suryaningrum *et al.* (2003) menyatakan, adanya ion  $K^+$  tidak saja membantu pembentukan heliks rangkap tetapi juga dalam pembentukan agregat antar heliks yang

membentuk jaringan tiga dimensi yang menyebabkan pembentukan gel. Gel  $\kappa$ -karaginan terbentuk dengan adanya ion  $K^+$ , terutama pada transisi dari fase sol ke gel yang tergantung pada suhu dan jumlah ion  $K^+$  (Rochas dan Rinaudo 1980; te Nijenhuis 1997; Piculell 2006).



Gambar 1 Histogram rerata rendemen karaginan yang diekstraksi selama 1, 2, dan 3 jam. Angka-angka yang diikuti huruf superskrip berbeda (a,b,c, d, e) menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) pada faktor interaksi konsentrasi KOH dan lama ekstraksi.

Suryaningrum *et al.* (2003) juga mengemukakan bahwa rendahnya rendemen karaginan akibat waktu ekstraksi yang terlalu lama disebabkan oleh semakin banyaknya penguapan yang menyebabkan larutan karaginan semakin kental dan cepat membentuk gel sehingga sulit untuk disaring. Penurunan rendemen juga dapat disebabkan oleh fragmentasi polimer karaginan akibat terlalu lama kontak dengan larutan KOH dan suhu tinggi.

### 3.1.2. Viskositas karaginan

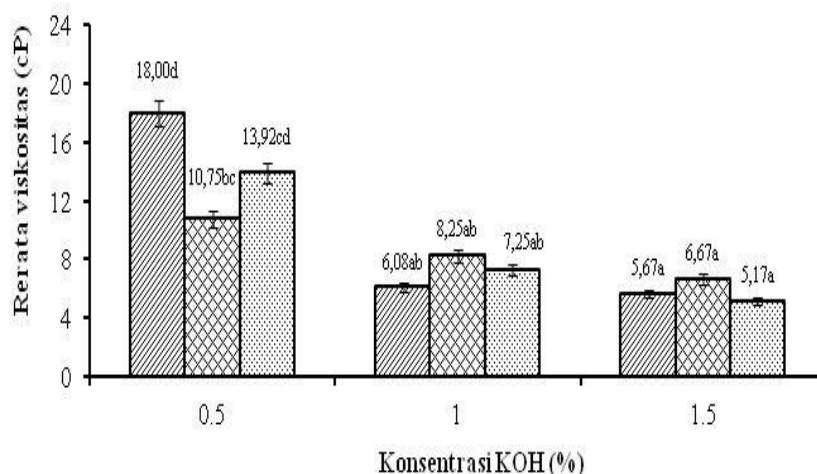
Nilai viskositas karaginan pada berbagai kombinasi perlakuan disajikan pada

Gambar 2. Kombinasi perlakuan 0,5% KOH dan lama ekstraksi 1 jam menghasilkan nilai viskositas tertinggi yaitu 18,00 cP. Nilai tersebut berbeda nyata dengan kombinasi perlakuan lainnya, kecuali dengan kombinasi perlakuan KOH 0,5% dan lama ekstraksi 3 jam. Nilai viskositas karaginan terendah dihasilkan pada lama ekstraksi 1,5 jam dengan nilai 5.17-6.67 cP.

Nilai viskositas karaginan akan semakin menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi KOH dan lama ekstraksi. Fragmentasi polimer karaginan terjadi akibat terlalu lama kontak dengan larutan KOH dan

suhu tinggi sehingga menurunkan viskositasnya. Menurut Suryaningrum *et al.* (2003), fragmentasi polimer karaginan dapat menurunkan berat molekul polimer karaginan sehingga dapat menurunkan nilai rendemen dan viskositas karaginan. Fragmentasi

karaginan dapat terjadi dengan cara memutus ikatan glikosidik sehingga karaginan kehilangan sifat-sifat fisik seperti viskositas dan potensi untuk membentuk gel (Moirano 1977).



Gambar 2 Histogram rerata viskositas karaginan yang diekstraksi selama 1, 2, dan 3 jam. Angka-angka yang diikuti huruf superskrip berbeda (a,b,c, d) menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) pada faktor interaksi konsentrasi KOH dan lama ekstraksi.

### 3.2. Sifat Fisik dan Kimia Karaginan Terbaik

Berdasarkan parameter rendemen dan viskositas, maka ekstraksi karaginan dengan 0,5% KOH selama 1 jam memberikan nilai tertinggi, sehingga dipilih untuk

dikarakterisasi sifat fisik dan kimianya lebih lanjut. Karaginan terbaik tersebut juga dipakai dalam pembuatan biofilm pada penelitian selanjutnya. Karakteristik fisik dan karaginan terbaik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik tepung karaginan terbaik dan pembanding

Spesifikasi	Tepung karaginan terbaik	FCC	Basmal <i>et al.</i> (2003)	Basmal <i>et al.</i> (2005)
Rendemen (%)	45,64	-	16,56	29,33
Viskositas (cP)	18	$\geq 5$	14,90	15
Kadar air (%)	16,26	-	10	9,40
Kadar abu (%)	35,90	$\leq 35$	24,55	14,10
Kadar abu tak larut asam (%)	0,33	$\leq 1$	0,90	0,23
Kadar sulfat (%)	5,04	18 - 40	18,25	18,10
Kekuatan gel (gf)	385,63	-	-	-

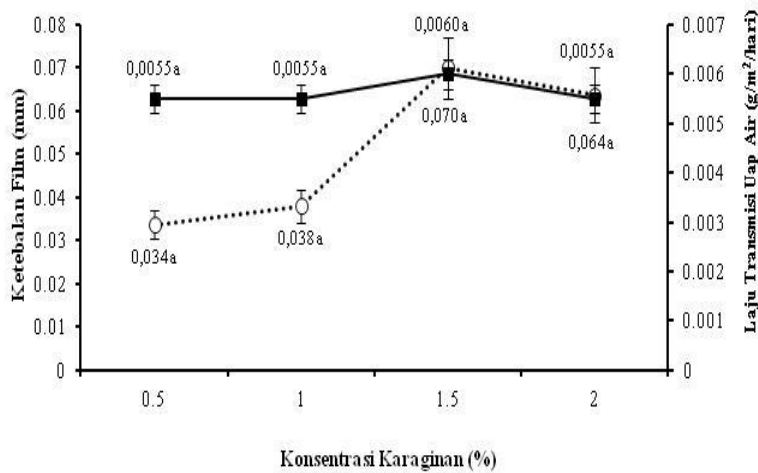
Karaginan hasil penelitian secara umum telah memenuhi standar FCC, bahkan nilai viskositasnya lebih tinggi dari batas minimal yang ditetapkan. Viskositas merupakan salah satu parameter penting dalam kaitannya dengan sifat plastisitas karaginan. Nilai rendemen dan viskositas karaginan hasil penelitian lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian Basmal *et al.* (2003) dan Basmal *et al.* (2005). Karakteristik karaginan hasil penelitian lebih baik dibandingkan kedua

penelitian tersebut untuk digunakan sebagai bahan dasar biofilm.

### 3.3. Karakteristik Biofilm

#### 3.3.1. Ketebalan dan Laju Transmisi Uap Air

Ketebalan biofilm dan laju transmisi uap air hasil penelitian masing-masing berkisar antara 0,034-0,064 mm dan 0,0055-0,0060 g/m<sup>2</sup>/hari (Gambar 3). Ketebalan dan laju transmisi uap air biofilm tidak dipengaruhi variasi konsentrasi karaginan yang digunakan ( $p > 0,05$ ).



Gambar 3. Histogram rerata ketebalan (○) dan laju transmisi uap air (■) biofilm berbahan dasar karaginan. Angka-angka yang diikuti huruf superskrip sama (a) menunjukkan tidak berbeda nyata ( $p > 0,05$ ) pada faktor konsentrasi karaginan.

Park *et al.* (2001) menyatakan bahwa ketebalan biofilm dipengaruhi oleh luas cetakan, volume larutan, dan banyaknya total padatan dalam larutan. Ketebalan biofilmyang diperoleh dari hasil penelitian lebih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Irianto *et al.* (2005) yaitu 0,079 mm, terkait dengan perbedaan konsentrasi dan jumlah bahan penyusun biofilm. Irianto *et al.* (2005) menggunakan komposit karaginan, tepung

tapioka dan lilin lebah dengan perbandingan 2,5% : 0,3% : 0,3%.

Laju transmisi uap air tergantung pada perbandingan bahan yang bersifat hidrofilik dan hidrofobik dalam formulasi biofilm. Umumnya biofilmyang terbuat dari bahan protein dan polisakarida mempunyai nilai transmisi uap air yang tinggi. Protein merupakan polimer polar dan mempunyai jumlah ikatan hidrogen yang besar, sehingga

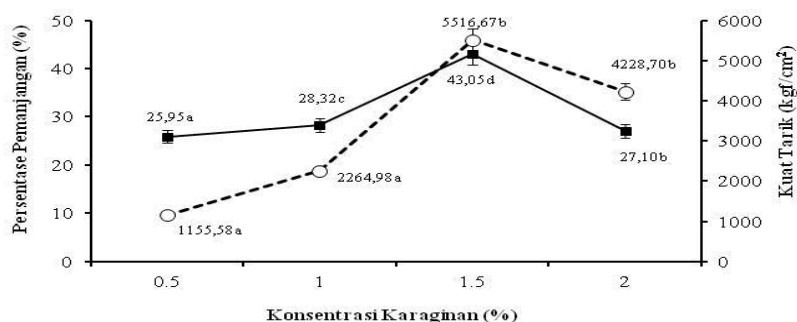
menghasilkan penyerapan air pada kelembaban tinggi. Penelitian yang dilakukan Jongjareonrak *et al.* (2006) menunjukkan bahwa biofilm yang terbuat dari gelatin, yang tergolong protein, mempunyai laju transmisi uap air tinggi. Hal yang sama juga dilaporkan oleh Mc Hugh *et al.* (1993); Al-Hasan dan Norziah (2012) bahwa biofilm berbahan dasar gelatin mempunyai laju transmisi uap air lebih tinggi terkait dengan kandungan asam amino hidrofilik dibandingkan yang berbahan polisakarida seperti pati sagu. Penyerapan air akan mengganggu interaksi rantai molekuler, yang kemudian diikuti dengan peningkatan difusivitas dan mampu menyerap uap air dari udara. Ditambahkan oleh Bourtoom *et al.* (2006) bahwa laju permeabilitas uap air biofilm juga dipengaruhi oleh jenis *plasticizer* yang dapat mempengaruhi pembentukan struktur jaringan protein.

### 3.3.2. Persentase Pemanjangan dan Kekuatan Tarik

Persentase pemanjangan merupakan persen pertambahan panjang bahan materi biofilm yang diukur mulai dari panjang awal

pada saat mengalami penarikan hingga putus. Kuat tarik menunjukkan nilai maksimum gaya yang diproduksi jika dilakukan uji tarik. Semakin tinggi gaya yang diproduksi maka kekuatan tariknya akan semakin besar. Biofilm dengan kekuatan tarik tinggi akan mampu melindungi produk yang dikemasnya dari gangguan mekanis dengan baik.

Histogram rerata persentase pemanjangan dan kuat tarik biofilm dapat dilihat pada Gambar 4. Penggunaan karaginan pada konsentrasi 1,5% menghasilkan nilai persentase pemanjangan dan kekuatan tarik tertinggi dengan nilai berturut-turut sebesar 43,05% dan 5516,67 kgf/cm<sup>2</sup> serta secara statistik berbeda nyata ( $p < 0,05$ ). Hasil penelitian serupa juga dilaporkan oleh Irianto *et al.* (2005) bahwa penggunaan konsentrasi karaginan yang semakin tinggi menyebabkan kemampuan mengikat air menjadi lebih baik sehingga menghasilkan matriks gel yang dapat meningkatkan persentase pemanjangan dan kekuatan tarik.



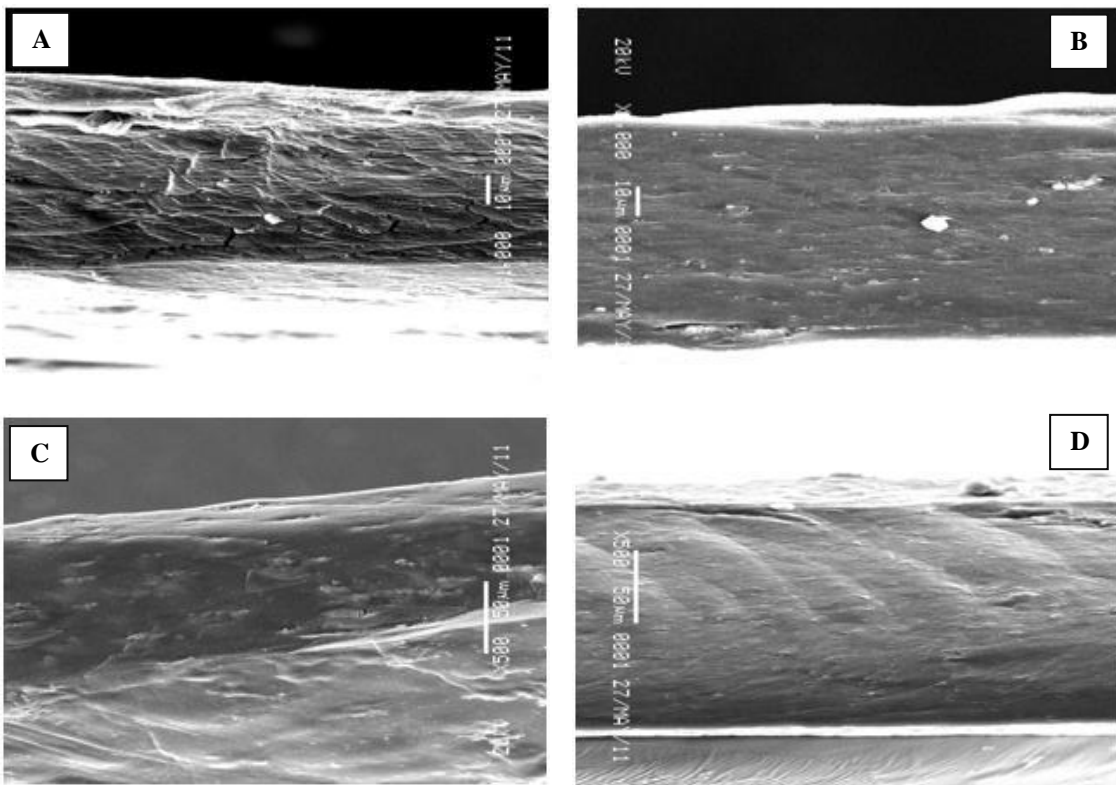
Gambar 4 Histogram rerata persentase pemanjangan (○) dan kuat tarik (■) biofilm berbahan dasar karaginan. Angka-angka yang diikuti huruf superskrip berbeda (a, b, c dan d) menunjukkan berbeda nyata ( $p < 0,05$ ) pada faktor konsentrasi karaginan.

Menurut Krochta dan Johnston (1997), persentase pemanjangan filmdikatakan baik jika nilainya lebih dari 50% dan dikatakan buruk jika nilainya kurang dari 10%. Berdasarkan hal tersebut maka nilai persentase pemanjangan biofilmhasil penelitian secara keseluruhan cukup baik. Apabila dibandingkan dengan penelitian Irianto *et al.* (2005), maka biofilmhasil penelitian memiliki presentase pemanjangan yang lebih tinggi. Penelitian Irianto *et al.* (2005) menghasilkan biofilmkaraginan dengan persentase pemanjangan hanya 4%. Penelitian Park *et al.* (2001) pada biofilm komposit kitosan dan  $\kappa$ -karaginan yang dilarutkan pada berbagai asam organik menghasilkan persentase pemanjangan maksimum 6% dan kekuatan

tarik maksimum 35 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa selain konsentrasi, jenis bahan dasar biofilm dan campurannya serta pelarut yang digunakan berpengaruh terhadap sifat pemanjangan dan kekuatan tarik biofilm yang dihasilkan.

### 3.4. Struktur Mikroskopis

Struktur mikroskopis biofilm diamati menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui perbedaan struktur internal biofilm pada penggunaan konsentrasi karaginan yang berbeda. SEM merupakan mikroskop yang menggunakan prinsip pancaran elektron yang ditembakkan pada sampel. Struktur mikroskopis biofilm disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Struktur mikroskopis biofilm berbahan dasar karaginan pada berbagai konsentrasi (A) 0,5%; (B) 1%; (C) 1,5%; dan (D) 2%.



Biofilm yang dihasilkan dari karaginan pada konsentrasi 0,5% memperlihatkan struktur polimer yang mengandung banyak zona putus-putus (*discontinuous zone*), digambarkan sebagai garis patah-patah yang terdistribusi secara acak sepanjang jaringan polimer. Pranoto *et al.* (2007) menjelaskan bahwa zona putus-putus ini timbul akibat pembentukan saluran yang lebih disukai selama proses pengeringan biofilm. Gambar 5 A menunjukkan bahwa biofilm yang dihasilkan dari karaginan konsentrasi 0,5% memiliki mikrostruktur yang lebih kasar dan terbuka. Menurut Wang *et al.* (2010) dan Hambleton (2009), hal ini mengindikasikan bahwa biofilm tersebut kurang kompak dan padat sehingga menghasilkan kuat tarik yang lebih rendah. Peningkatan konsentrasi karaginan terbukti mampu memperbaiki struktur internal biofilm yang ditandai dengan berkurangnya zona putus-putus sehingga strukturnya menjadi lebih kompak dan padat (Gambar 5 C dan D).

#### IV. KESIMPULAN

Karaginan yang diekstraksi menggunakan KOH 0,5% selama 1 jam memberikan sifat-sifat terbaik untuk digunakan sebagai bahan dasar biofilm. Biofilm berbahan dasar karaginan pada konsentrasi 1,5% yang memiliki karakteristik terbaik dalam kekuatan tarik, persen

pemanjangan dan struktur internal polimer yang lebih kompak dan padat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hasan AA, Norziah MH. 2012. Starch-gelatin edible films: Water vapor permeability and mechanical properties as affected by plasticizers. *Food Hydrocolloids*.26: 108-117.
- [AOAC] Association of Official Analytical Chemist. 1995. *Official Methods of Analysis*. Washington DC.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1967. *Standard Methods of Test for Water Vapor Transmission of Materials in Sheet Form*. ASTM Book Standards.
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. 1983. *Annual Book of ASTM Standard*. Philadelphia: American Society for Testing and Material.
- Alves VD, Costa N, Coelho IM. 2010. Barrier properties of biodegradable composite films base on kappa-carrageenan/pectin blends and mica flakes. *Carbohydrate Polymer*. 79: 269-276.
- Basmal J, Syarifudin, Ma'ruf WF. 2003. Pengaruh konsentrasi larutan potasium hidroksida terhadap mutu kappa karaginan yang diekstraksi dari *Eucheuma cottonii*. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* 9 (5): 95-103.
- Basmal J, Suryaningrum ThD, Yenia Y. 2005. Pengaruh konsentrasi dan rasio larutan KOH dan rumput laut terhadap mutu karaginan kertas. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* 11 (8): 29-38.
- Bourtoom T, Chinnan MS, Jantawat P, Sanguandeekul R. 2006. Effect of

- plasticizers type and concentration on the properties of edible film from water-soluble fish protein in surimi wash-water. *Food Science and Technology International*. 12(2): 119-126.
- Cha DS, Jin HC, Manjeet SC, Hyun JP. 2002. Antimicrobial films based on Na-alginat and k-carragenan.
- Fabra MJ, Hambleton A, Talens P, Debeaufort F, Chilart A, Voilley A. 2009. Influence of interactions on water and aroma permeabilities of ι-carrageenan-oleic acid-besswax films used for flavor encapsulation. *Carbohydrate Polymers*. 76: 325-332.
- [FCC] Food Chemical Codex. 1981. *Carrageenan*. Washington: National Academic Press.
- [FMC] Food Marine Colloid. 1977. *Carrageenan*. Marine Colloid monograph number one. Marine Colloid Division FMC Corporation. New Jersey, USA: Springfield.
- Hambleton A, Fabra MA, Debeaufort F, Dury-Brun C, Voilley A. 2009. Interface and aroma barrier properties of iota-carrageenan emulsion-based films used for encapsulation of active food compounds. *Journal of Food Engineering*. 93: 80-88.
- Hambleton A, Voilley A, Debeaufort F. 2011. Transport parameters for aroma compounds through ι-carrageenan and sodium alginate-based edible films. *Food Hydrocolloids*. 25: 1128-1133.
- Irianto HE, Susianti A, Darmawan M, Syamdidi. 2005. Pembuatan *edible film* dari komposit karaginan, tepung tapioka dan lilin lebah. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 11(2): 93-101.
- Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, Tanaka M. 2006. Effects of plasticizers on the properties of edible film from skin gelatin of big eye snapper and brown stripe red snapper. *European Food Research Technology*. 222: 229-235.
- Krochta JM, Johnston CDM. 1997. Edible and biodegradable films: challenges and opportunities. *Food Technology*. 51:61-74.
- Lafargue D, Lourdin D, Doublier JL. 2007. Film-forming properties of a modified starch/κ-carrageenan mixture in relation to its rheological behaviour. *Carbohydrate Polymers*. 70: 101-111.
- McHugh TH, Evena-Bustillos R, Krochta JM. 1993. Hydrophilic edible film: modified procedure for water vapor permeability and explanation of thickness effects. *Journal of Food Science*. 58(4): 899-903.
- Moirano AL. 1977. Sulphated polysaccharides. Di dalam : Graham HD (Ed). *Food Colloids*. Connecticut: The AVI Publishing Company Inc.
- Park SY, Lee BI, Jung St, Park HJ. 2001. Biopolymer composite films based on κ-carrageenan and chitosan. *Materials Research Bulletin*. 36: 511-519.
- Piculell L. 2006. Gelling carrageenan. Di dalam: Stephen AM, Phillips GO, Williams PA (Eds). *Food Polysaccharides and their Applications*. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: Taylor and Francis.
- Pranoto Y, Lee CM, Park HJ. 2007. Characterizations of fish gelatin films added with gellan and k-carrageenan. *Food Science and Technology*. (40):
- Rochas C, Rinaudo M. 1980. Activity coefficients of counterions and conformation in kappa-carrageenan systems. *Biopolymers*. 19: 1675-1687.

- Sinurat E, Murdinah, Bagus SBU. 2006. Sifat fungsional formula kappa dan iota karaginan dengan gum. *Jurnal Pasca Panen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 1 (1): 1-8.
- Siracusa V, Roculli P, Romani S, Rosa MD. 2008. Biodegradable polymers for food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 19: 634-643.
- Suryaningrum ThD, Murdinah, Mei DE. 2003. Pengaruh perlakuan alkali dan volume larutan pengekstrak terhadap mutu karaginan dari rumput laut *Euचेuma cottonii*. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 9(5): 65-103.
- Suryaningrum ThD, Basmal J, Nurochmawati. 2005. Studi pembuatan *edible film* dari karaginan. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 11(4): 1-13.
- Te Nijenhuis K. 1997. Thermoreversible network. *Advances in Polymer Science*. 130:203-218.
- Villanueva RD, Mendoza WG, Rodriguez MRC, Romero JB, Montano MNE. 2004. Structure and functional performance of gigartinacean kappa-iota hybrid carrageenan and solieriacean kappa-iota carrageenan blends.
- Yuguchi Y, Thuy TT, Urakawa H, Kajiwara K. 2002. Structural characteristics of carrageenan gels: temperature and concentration dependence. *Food Hydrocolloids*. 16: 515-522.
- Wang L, Auty MAE, Joe PK. 2010. Physical assessment of composite biodegradable films manufactured using whey protein isolate, gelatin and sodium alginate. *Journal Food Engineering*. 96:199-207.