PROSIDING
Konferensi Sains Kelautan dan Perikanan Indonesia I
Kampus FPIK - IPB Darmaga, 17-18 Juli 2007

PENGARUH TEKANAN TRANSMEMBRAN DAN LAJU ALIR UMPAN PADA PROSES PEMBUATAN KARAGINAN DENGAN MEMBRAN MIKROFILTRASI

Uju[1], Linawati Hardjito[1], Suprihatin[2], Prayoga Suryadarma[2] dan Erliza Noor[2]

[1] Staf Departemen Teknologi Hasil Perairan, FPIK-IPB; email: uju_sadi@yahoo.com; [2] Staf Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA-IPB

ABSTRAK

Karaginan merupakan hasil olahan dari rumput laut yang mempunyai nilai ekonomis dan permintaan yang tinggi .Selama ini proses pemurnian ekstrak rumput laut untuk menghasilkan karaginan refined berkualitas tinggi dilakukan dengan menggunakan alkohol, namun metode ini memerlukan jumlah biaya produksi tinggi. Salah satu metode pemurnian secara fisik adalah teknologi membran. Teknologi ini memanfaatkan prinsip penyaringan dengan menggunakan tekanan sebagai driving force. Selain itu kinerja proses membran juga ditentukan oleh laju alir umpan. Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap kinerja membran mikrofiltrasi (fluks dan rejeksi) dalam proses pemurnian dan pengkonsentrasian karaginan. Nilai fluks awal berkisar antara 106,2–129,2 l m^{-2} h^{-1}. Fluks akan naik 8,05 l m^{-2} h^{-1} untuk setiap kenaikan tekanan transmembran 1 kPa. Fluks mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu filtrasi dan mencapai tunak (steady state) setelah 18 menit waktu filtrasi. Penurunan fluks yang kecil hanya terjadi pada proses oprerasi yang menggunakan laju alir umpan yang tinggi (3,97 m s^{-1}). Hal tersebut terjadi diduga karena laju alir umpan yang tinggi dapat mereduksi ketebalan lapisan polarisasi pada permukaan membran dan menurunkan viskositas umpan. Namun walaupun demikian pengaruh laju alir umpan terhadap fluks permeat secara statistik tidak nyata. Tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap nilai rejeksi karaginan secara statistik pengaruhnya tidak signifikan. Pada proses ini hampir 100% karaginan dapat ditahan, sedangkan nilai rejeksi pigmen fikoeritin dan fikosianin masing-masing 36,36–59,44% dan 27,62–59,05%. Karaginan yang dihasilkan melalui proses mikrofiltrasi 0,1 mikron dapat memenuhi parameter yang ditetapkan FAO.

I. PENDAHULUAN

Proses produksi *refined carrageenan* meliputi proses pencucian, ekstraksi, penyaringan kasar, penyaringan halus dengan menambahkan *filter aid*, pemurnian/ pengkonsentrasian, pengeringan dan penepungan. Proses pemurnian bertujuan untuk menghilangkan komponen tidak larut air seperti selulosa, hemiselulosa, β-glucan, senyawa protein, senyawa lemak dan polimer lainnya (Zamorano *et al.* 2002). Selulosa dan pigmen yang tidak dapat dipisahkan akan meyebabkan karaginan yang dihasilkan berwarna keruh (Bixler dan Jhondro 2000; Zamorano *et al.* 2002). Melalui penggunaan filter berukuran 350 mesh dan 0,3 mikron selulosa dapat direduksi 68-86% dan pigment dapat direduksi sampai 84% (Uju 2006).

Proses pemurnian karaginan secara komersial dilakukan dengan cara pengendapan KCl atau dengan alkohol. Metode pengendapan dengan KCl lebih murah, tetapi pengendapan dengan alkohol akan menghasilkan mutu yang lebih baik (Gliksman 1983). Namun proses pemurnian karaginan dengan pengendapan alkohol membutuhkan biaya yang lebih tinggi. Hal tersebut terkait jumlah penggunaan volume alkohol dan penggunaan energi tambahan untuk proses *recovery* alkohol agar dapat digunakan kembali melalui proses destilasi. Jumlah volume alkohol yang dibutuhkan untuk proses pemurnian berkisar antara 1,5 – 4 kali volume filtrat (Gliksman 1983).

Teknologi proses membran telah banyak diaplikasikan untuk pemurnian beberapa polimer seperti protein, polisakarida, oligosakaraida, nukleotida dan gula (DeFrees 2003; Yeh dan Dong 2003). Teknologi ini memanfaatkan prinsip penyaringan dalam memisahkan bahan dengan menggunakan tekanan sebagai *driving force* (Yeh dan Dong 2003; Andersen 2004). Pada proses ini partikel dengan berat molekul dibawah *Molecule Weight Cut Off* (MWCO) atau memiliki ukuran molekul yang lebih kecil dari pori-pori membran akan lolos sebagai permeat, sedangkan molekul lainnya akan tertahan sebagai retentat. Faktor lain yang menentukan kinerja adalah laju alir umpan. Laju alir yang tinggi dapat membentuk aliran turbulen sehingga dapat menyapu pratikel-partikel yang terejeksi pada permukaan membran dan dapat mengurangi tingkat ketebalan polarisasi konsentrasi dan lapisan gel (Eakin *et al.* 1978; Bian *et al.* 2000). Menurut Dornier *et al.* (1994) penggunaan kecepatan alir umpan yang terlalu tinggi akan menjadi tidak ekonomis dalam skala industri.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka diperlukan pemahaman yang lebih baik terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja proses membran khususnya penggunaan tekanan transmembran dan laju alir umpan agar lebih ekonomis diaplikasikan pada proses pembuatan karaginan murni (*refined*).

II. METODE PENELITIAN

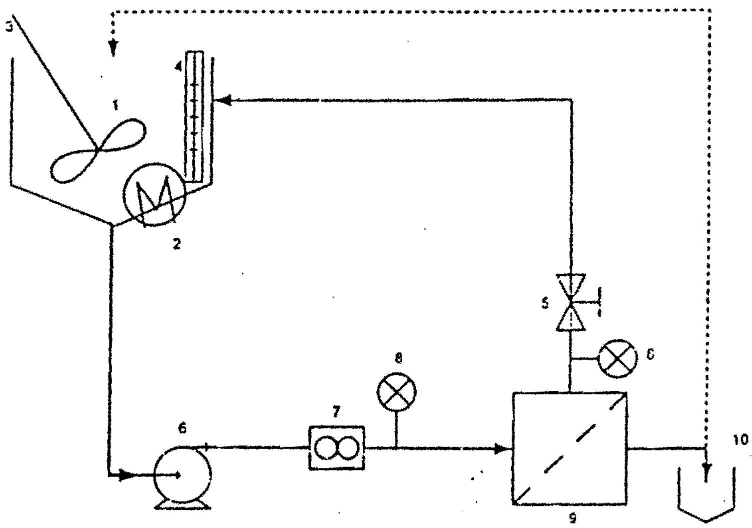
Bahan dan Alat

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah *Kappaphycuss alvarezii*. Bahan-bahan kimia yang diperlukan pada tahap perendaman dan ekstraksi adalah: NaOH 0,1%, HCl 1%, sodium hipoklorit, dan aquades. Bahan kimia yang digunakan pada proses analisis adalah HCl, barium klorida, H_2O_2, NaOH, dan H_2SO_4 95 -97%.

Membran yang digunakan berbahan polysulfon dengan diameter pori 0,1 mikron dan total luas permukaan efektif 26 cm^2. Untuk keperluan preparasi bahan digunakan beberapa peralatan seperti *blender*, pemanas listrik, gelas ukur, pH meter, *stop watch* dan termometer. Untuk keperluan analisis dibutuhkan alat-alat: cawan porselen, desikator, timbangan analitik, labu erlenmeyer, gelas piala, gelas pengaduk, viskometer, spektrofotometer, tanur, pipet, *curd tension meter*, dan pH meter.

Proses Pemurnian dan Pengkonsentrasian Karaginan dengan Mikrofiltrasi

Sistem proses pemurnian dan pengkonsentrasian karaginan dengan mikrofiltrasi ini disajikan dalam Gambar 1. Proses pemurnian dan pengkonsentrasian dilakukan dengan menggunakan membran mikrofiltrasi 0,1 mikron.



1. Tangki umpan
2. Pemanas
3. Pengaduk
4. Termometer
5. Valve
6. Pompa
7. Flow meter
8. Pressure gauge
9. Membrane mikrofiltrasi
10. Wadah permeat

Gambar 1. Diagram alir proses membran

Pada proses pemurnian sejumlah filtrat ekstrak rumput laut (250-350 cm^3) dimasukkan kedalam tangki umpan, kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu 55 ± 1°C. Untuk memanaskan dan mempertahankan umpan pada suhu tersebut, tangki umpan dilengkapi dengan pemanas listrik. Produk hasil proses membran (permeat dan retentat) diresirkulasikan kedalam tangki umpan. Pada waktu tertentu dilakukan sampling terhadap permeat untuk pengukuran fluks dan nilai rejeksi.

Proses pemurnian dan pengkonsentrasian karaginan dilakukan dengan cara memasukkan 800 cm^3 ekstrak rumput laut kedalam tangki umpan. Selama proses berlangsung fraksi permeat yang berupa air tidak resirkulasikan tetapi dibiarkan dalam wadahnya, sehingga fraksi retentat sebagai konsentrat menjadi semakin pekat. Indikator proses dievaluasi dengan melihat hubungan antara faktor konsentrasi dengan nilai fluks.

Setiap proses membran selesai dilakukan, membran dicuci dengan cara meresirkulasikan larutan pembersih yang mengandung sodium hypochlorite. Sodium hypoclorite dari 200 ppm larutan klorin ditambah dengan NaOH 1% sehingga pH larutan menjadi 10,5 – 11,0. Fluks membran diuji kembali hingga mencapai fluks semula.

Variabel operasi yang dipilih meliputi tekanan transmembran (ΔP) dan laju alir umpan (v). Indikator kinerja membran dilihat dengan mengukur fluks permeat, sedangkan indikator kualitas produk yang dihasilkan ditentukan dengan mengukur nilai rejeksi membran. Sampling dan pengukuran nilai rejeksi pigmen dilakukan pada keadaan kondisi fluks *steady state*.

Nilai rejeksi yang diukur meliputi rejeksi karaginan ($R_{obs\ (carr)}$) dan rejeksi pigmen. Dua jenis pigmen yang diukur nilai rejeksinya meliputi fikoeritin ($R_{obs(PE)}$) dan fikosianin ($R_{obs(PS)}$) yang ditentukan secara spektrofotometri pada panjang gelombang 530 dan 620 nm.

Analisis dan Karakterisasi

Analisis dilakukan terhadap rumput laut kering, ekstrak, filtrat rumput laut dan karaginan hasil proses konvensional dan proses mikrofiltrasi. Parameter analisis yang dilakukan terhadap rumput laut kering meliputi kadar air, kadar abu dan kadar selulosa, sedangkan pada ekstrak dan filtrat meliputi kadar selulosa, nilai absorbansi pigmen fikosianin dan fikoeritin, rendemen serta viskositas. Parameter mutu karaginan yang diukur meliputi kadar air, kadar abu, kadar selulosa, kadar sulfat, kekuatan gel, viskositas, derajat kecerahan dan nilai rendemen

Penentuan Permeabilitas dan Tahanan Membran Internal

Permeabilitas membran dan tahanan membran internal diukur dengan cara menggunakan air destilasi sebagai umpan. Proses pengukuran dilakukan pada suhu 30,45 °C dan 55°C dengan kisaran tekanan transmembran yang digunakan 69–103.5 kPa. Pada setiap suhu dan tekanan transmembran yang diujikan, besarnya fluks permeat air diukur.

Nilai permeabilitas membran (K) ditentukan dengan cara menghitung gradien plot grafik antara nilai fluks (J_w) sebagai sumbu Y dan tekanan transmembran (ΔP) sebagai sumbu X. Penentuan nilai tahanan membran internal (Rm) dilakukan dengan cara membuat plot grafik nilai $1/J_w$ sebagai sumbu Y (ordinat) dan $1/\Delta P$ sebagai sumbu X (absis). Nilai tahanan membran diperoleh dengan cara menghitung gradien pada persamaan garis dari nilai plot $1/J_w$ dan $1/\Delta P$.

Penentuan Pengaruh Tekanan Transmembran dan Laju Alir Terhadap Fluks dan Rejeksi

Penentuan pengaruh tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap nilai fluks dan rejeksi dilakukan pada kondisi fluks mencapai tunak. Kisaran tekanan transmembran yang digunakan adalah 69-138 kPa, sedangkan kisaran laju alir yang digunakan 2,97–3,97 m s^{-1}.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam tahap penelitian ini adalah *two level factorial design* (Box *et al.* 1979; Montgomery 2001). Dua parameter atau variabel yang dipilih meliputi tekanan transmembran (ΔP) dan laju alir umpan (v), sedangkan respon yang diukur adalah fluks (J) dan rejeksi (R_{obs}). Parameter, nilai taraf dan pengkodean variabel percobaan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan taraf nilai sebenarnya dari variabel-varibel bebas

Parameter	Nilai pengkodean dan taraf sebenarnya				
		-1,000	0,000	1,000	
Tekanan transmembran (kPa)		69,0	103,5	138,0	
Laju alir umpan (m s^{-1})		2,97	3,47	3,97	

Model rancangan percobaan untuk mengetahui hubungan linier dari variabel tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap respon nilai fluks dan rejeksi diberikan pada persamaan (1).

$$Y = a_0 + \sum_i a_i x_i + \sum_{i<j} a_{ij} x_i x_j \qquad (1)$$

Keterangan:
- Y = Respon dari masing-masing perlakuan
- a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} = Parameter regresi
- x_i = Pengaruh linier variabel utama
- $x_i x_j$ = Pengaruh linier dua variabel

Percobaan yang digunakan untuk menentukan model kuadratik pengaruh faktor terhadap respon adalah metoda permukaan respon (*Response Surface*) (Box *et al.* 1979; Montgomery 2001) dengan rancangan CCD (*Central Composite Design*). Model rancangan percobaan tersebut diberikan pada persamaan 2.

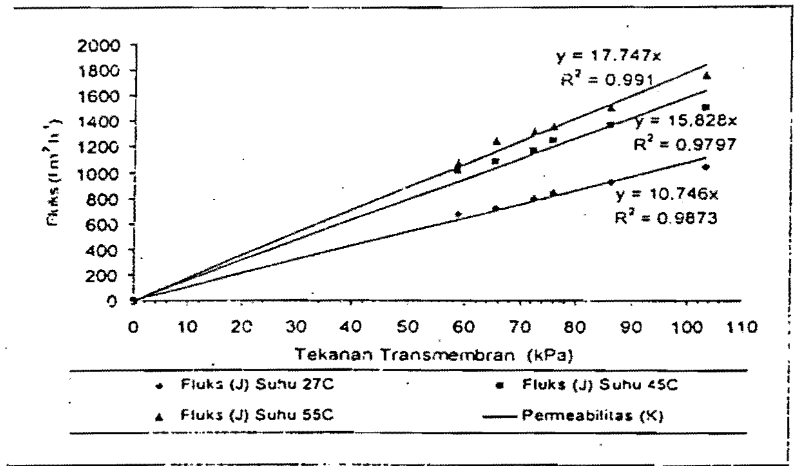
$$Y = a_0 + \sum_i a_i x_i + \sum_{i<j} a_{ij} x_i x_j + \sum_i a_{ii} x_i^2 \qquad (2)$$

Keterangan:
- Y = Respon dari masing-masing perlakuan
- a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii} = Parameter regresi
- x_i = Pengaruh linier variabel utama
- $x_i x_j$ = Pengaruh linier dua variabel
- x_i^2 = Pengaruh kuadratik variabel utama

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Permeabilitas dan Tahanan Membran

Polysulfone merupakan salah satu polimer bahan baku membran yang tahan terhadap suhu dan mempunyai kisaran pH yang luas. Polimer ini pada proses membran dapat dioperasikan pada suhu sampai dengan 75°C dan kisaran pH 1–13 (Doyen *et al.* 1996). Permeabilitas dan tahanan membran internal merupakan parameter karakteristik membran yang sangat penting untuk diketahui. Permeabilitas membran menunjukkan kemampuan membran dalam melewatkan air distilasi, sedangkan tahanan membran merupakan kebalikannya. Nilai permeabilitas diperoleh dengan menghitung gradien (*slope*) grafik hubungan antara tekanan transmembran (ΔP) dengan fluks (J), seperti yang disajikan pada Gambar 2.



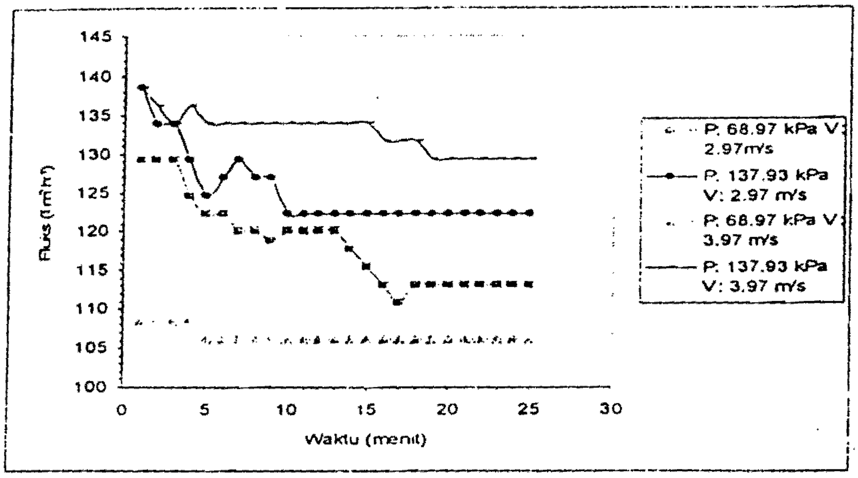
Gambar 2. Pengaruh tekanan membran dan suhu umpan air distilasi terhadap nilai fluks

Pada Gambar 2 terlihat bahwa, nilai fluks meningkat secara proporsional (*linier*) dengan semakin meningkatnya tekanan transmembran. Pola perilaku fluks permeat tersebut sesuai dengan hukum Darcy yang menyatakan bahwa, fluks permeat pada proses membran kenaikannya akan sebanding dengan tekanan transmembran yang digunakan($J \approx \Delta P$).

Permeabilitas membran meningkat dari 10,75 l kPa^{-1} m^{-2} h^{-1} pada suhu umpan 27°C dan pada suhu umpan 55°C permeabilitas membran mencapai 17.75 l kPa^{-1} m^{-2} h^{-1}. Adanya kecenderungan meningkatnya permeabilitas membran dengan semakin tingginya suhu umpan disebabkan oleh semakin menurunnya nilai viskositas air. Nilai viskositas air pada suhu 27,45 dan 55°C adalah berturut-turut 0,8545; 0,5988; dan 0,5064 cP (Rao 1999).

Pengaruh Tekanan Transmembran dan Laju Alir Umpan terhadap Nilai Fluks

Proses filtrasi dikerjakan pada filtrat ekstrak rumput laut hasil penyaringan 0,3 mikron dengan sistem *cross flow* pada viskositas umpan 25,48 cP. Pola perubahan nilai fluks yang disebabkan oleh perubahan tekanan transmembran (ΔP) dan laju alir umpan (*v*) pada selang waktu 25 menit disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola perubahan fluks permeat yang disebabkan oleh perubahan tekanan transmembran dan laju alir umpan

Nilai fluks awal berkisar antara 106,2–129,2 l m^{-2} h^{-1}. Fluks mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu filtrasi dan mencapai tunak (*steady state*) setelah 18 menit waktu filtrasi. Waktu tunak ini lebih lama 10 menit dibanding dengan yang dilaporkan Yanti *et al.* (2001). Besarnya penurunan fluks hingga mencapai tunak berkisar antara 2,13–12,5% dari fluks awal. Pada tekanan transmembran dan suhu yang lebih rendah, nilai fluks tunak pada penelitian ini dua kali lebih tinggi dibanding hasil Yanti *et al.* (2001). Hal tersebut terjadi karena ukuran pori membran yang digunakan pada penelitian ini (0,1 mikron) lebih besar dibandingkan dengan ukuran membran peneliti sebelumnya (100 kDa).

Fluks mengalami penurunan yang cepat terutama pada awal proses filtrasi dimulai. Menurut Mondor *et al.* (2000) terjadinya penurunan fluks disebabkan oleh absorpsi sistem koloid yang biasa disebut dengan *fouling*. *Fouling* pada membran berdasarkan tempat terjadinya dapat dibedakan menjadi dua yaitu *fouling* eksternal dan *fouling* internal. *Fouling* internal disebabkan oleh absorpsi molekul atau koloid dalam pori membran, sedangkan eksternal *fouling* berkaitan dengan polarisasi dari partikel yang terejeksi pada permukaan membran. Eksternal *fouling* merupakan gejala awal yang menandai terbentuknya *cake layer* (Belfort *et al.* 1994; Mondor *et al.* 2000). Pada proses mikrofiltrasi dan ultrafiltrasi internal *fouling* dianggap tidak berpengaruh signifikan (DeBruijn *et al.* 2002; Vernhet *et al.* 2003).

Penurunan fluks dipengaruhi oleh nilai laju alir umpan yang digunakan. Penurunan nilai fluks yang kecil hanya terjadi pada proses yang menggunakan laju alir umpan yang tinggi (3,97 m s^{-1}). Hal tersebut terjadi diduga karena laju alir umpan yang tinggi dapat mereduksi ketebalan lapisan polarisasi pada permukaan membran dan menurunkan viskositas umpan. Menurut Mondor *et al.* (2000) dan Choi *et al.* (2005), pada kondisi tunak besarnya fluks dipengaruhi oleh faktor polarisasi konsentrasi dan pembentukkan lapisan gel.

Pengaruh Tekanan Trans Membran dan Laju Alir Umpan Terhadap Nilai Fluks

Tekanan transmembran pada proses mikrofiltrasi berfungsi sebagai *driving force* dan merupakan salah satu parameter operasi yang paling penting pada proses membran. Tekanan transmembran secara langsung mempengaruhi besarnya fluks permeat dan sering digunakan untuk mengendalikan laju alir umpan (Lin *et al.* 2004; Kumar *et al.* 2004).

Pada Tabel 2 disajikan hasil analisis parameter regresi pengaruh tekanan transmembran (ΔP) dan laju alir umpan (v). Hasil analisis tersebut terlihat bahwa tekanan transmembran mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap nilai fluks. Tekanan transmembran mempunyai nilai koefisien 8,05, hal tersebut menunjukkan bahwa fluks akan meningkat sebesar 8,05 l m^{-2} h^{-1} untuk setiap kenaikan tekanan transmembran 1 kPa.

Tabel 2. Parameter regresi pengaruh tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap nilai fluks

Parameter	Pengaruh	Koefisien	P
Konstantan	117,70	0,004	
Tekanan transmembran (kPa); (ΔP)	16,10	8,050	0,054
Laju alir umpan (m s^{-1}); (v)	0,00	0,00	1,000
Interaksi (ΔP*v)	6,900	3,450	0,147

Variabel laju alir umpan (v) secara statistik tidak berpengaruh signifikan terhadap peningkatan nilai fluks permeat. Hal ini berbeda dengan laporan Kumar *et al.* (2004) yang menunjukkan hubungan kuat antara laju alir umpan dengan kenaikan fluks dan bersifat eksponensial pada kondisi bilangan Renold 3.000-15.000. Tidak signifikannya pengaruh laju alir umpan (v) terhadap fluks permeat pada penelitian ini diduga karena kisaran laju alir yang digunakan pada penelitian ini belum cukup untuk menghasilkan aliran turbulen, hal ini terjadi karena larutan ekstrak rumput laut bersifat non newtonian dengan viskositas tinggi.

Pengaruh Tekanan Transmembran dan Laju Alir Umpan Terhadap Nilai Rejeksi

Nilai rejeksi membran didefinisikan sebagai kemampuan suatu membran dalam menahan komponen tertentu pada larutan umpan. Parameter nilai rejeksi yang diukur meliputi rejeksi karaginan dan pigmen. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui besarnya rendemen dan tingkat kemurnian rentetat dari pigmen sebagai pengotor.

Nilai rejeksi karaginan mencapai 100% pada semua perlakuan, hasil ini 0,03% lebih tinggi dengan yang dilaporkan Yanti *et al.* (2001). Nilai rejeksi 100% menunjukkan bahwa karaginan dalam umpan berhasil semua ditolak oleh membran dan masuk ke jalur retentat, hal ini menunjukkan bahwa pori membran dengan diameter 0,1μ sudah cukup memenuhi untuk digunakan pada proses pemisahan karaginan.

Nilai rejeksi pigmen fikoeritin dan fikosianin masing-masing berkisar 36,36–59,44% dan 27,62–59,05%. Berdasarkan hasil tersebut terlihat bahwa pigmen fikosianin relatif lebih mudah lolos melalui membran dibandingkan dengan fikoeritin, hal tersebut disebabkan berat molekul fikosianin (100-220 kDa) relatif lebih rendah dibanding dengan pigmen fikoeritin (240 kDa).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa variabel tekanan transmembran dan laju alir umpan tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai rejeksi pigmen. Fenomena tidak signifikannya pengaruh tekanan transmembran dan laju alir umpan terhadap rejeksi juga terjadi pada proses skim susu dengan membran ultrafiltrasi. Menurut Chiang dan Cheryan (1986), nilai koefisien rejeksi ultrafiltrasi dikendalikan terutama oleh ukuran pori dan distribusinya dan hanya sedikit dipengaruhi oleh parameter operasi (tekanan transmembran, laju alir umpan, dan suhu).

Analisis Karakteristik Karaginan

Secara keseluruhan karakteristik karaginan yang dihasilkan melaui proses mikrofiltrasi dan konvensional (sebagai kontrol) memenuhi standar parameter yang ditetapkan oleh FAO. Pada Tabel 3 disajikan perbandingan karakteristik karaginan yang dihasilkan melalui proses konvensional, membran mikrofiltrasi dan standar parameter yang ditetapkan oleh FAO.

Tabel 3. Karakteristik karaginan yang dihasilkan melaui proses konvensional, mikrofiltrasi dan standar parameter yang ditetapkan oleh FAO

Parameter	Proses Konvesional	Proses Mikrofiltrasi	Standar FAO
Kadar Air (% b/b)	$18{,}43 \pm 0{,}11^{a}$	$18{,}49 \pm 1{,}17^{a}$	-
Kadar Abu (% b/b)	$20{,}26 \pm 0{,}36^{a}$	$21{,}21 \pm 0{,}11^{a}$	15 – 40
Kadar Sulfat (% b/b)	$16.60 \pm 0{,}59^{a}$	$15{,}19 \pm 0{,}09^{a}$	15 – 40
Kadar Selulosa (% b/b)	$1{,}86 \pm 0{,}14^{a}$	$0{,}58 \pm 0{,}15^{b}$	≤ 2

Viskositas (cP)*)	28,28 ± 0,01^a	13,44 ± 0,30^b	≥ 5
Kekuatan gel (g cm^{-2})**)	103,60 ± 27,72^a	106,60 ± 9,33^a	-
Kecerahan (%)	72,89 ± 1,68^a	77,69 ± 1,10^b	-
Rendemen (% b/b)	28,44 ± 0,34^a	22,20 ± 0,57^b	-

Keterangan:
*) = Pengukuran dilakukan pada konsentrasi 1,5% suhu 75 °C
**) = Konsentrasi karaginan 1,6% dan KCl 0,16%
– = Tidak ada standar
Tidak signifikan jika diikuti huruf yang sama dalam baris yang sama

Secara kualitatif terlihat bahwa pola nilai perbandingan karakteristik mutu antara karaginan yang dihasilkan melalui proses mikrofiltrasi dan konvensional pada penelitian ini memiliki pola yang mirip dengan karaginan yang diproses melalui membran ultrafiltrasi MWCO 100 kDa (Yanti *et al.* 2001). Berdasarkan hasil uji statistik t berpasangan pada α = 0,05 terlihat bahwa hanya parameter rendemen, kadar selulosa, viskositas dan tingkat kecerahan yang mempunyai perbedaan siginifikan. Kadar air, kadar abu, kadar sulfat dan kekuatan gel secara statistitik tidak menunjukkan nilai perbedaan yang signifikan.

Kadar Selulosa

Adanya selulosa dalam *refined carrageenan* dalam jumlah tinggi tidak diharapkan, karena dapat meyebabkan warna karaginan atau gel yang dibentuknya menjadi keruh (Bixler 1996; Bixler *et al.* 2000). Nilai toleransi kadar selulosa dalam karaginan jenis *semi refined* yang diperbolehkan berkisar antara 8–15% (bb), sedangkan dalam karaginan *refined* tidak boleh lebih dari 2% (b/b) (Jhondro 2000; FAO 2004). Pada penelitian ini kadar selulosa yang dihasilkan melalui proses konvensional adalah 1,86% dan yang dihasilkan melalui proses mikrofiltrasi adalah 0,58%. Karaginan yang dihasilkan melalui proses mikrofiltrasi memiliki kadar selulosa jauh lebih rendah dibandingkan dengan proses konvensional dan nilai standar yang ditetapkan FAO.

Viskositas

Hasil uji t berpasangan pada α= 0,05 menunjukkan bahwa viskositas karaginan yang dihasilkan melalui proses mikrofiltrasi secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan proses konvensional. Hal ini diduga karena perbedaan kandungan selulosa yang secara signifikan lebih tinggi pada karaginan yang diperoleh dengan proses konvensional. Kondisi demikian menyebabkan total fraksi padatan dan rata-rata berat molekul larutan menjadi lebih besar pada karaginan yang diperoleh dengan proses konvensional. Menurut Jampen *et al.* (2000) nilai viskositas suatu larutan ditentukan oleh jumlah fraksi zat terlarut dan berat molekul zat terlarut, nilai viskositas akan semakin tinggi dengan semakin tingginya fraksi zat terlarut dan semakin besar berat molekul.

Tingkat Kecerahan

Vernhet A, Cartalade D, Moutounet M. 2003. Contribution to the understanding of *fouling* build-up during microfiltration of wines. *J Membr Sci* 21:1357–370.

Yanti L, Susilawti T, Wenten IG. 2001. Ultrafiltrasi ekstrak rumput laut. Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2001; hlm B-19-1 - B-19-12.

Yeh HM, Dong JH. 2003. Further analysis of permeate flux for membrane ultrafiltration along solid-rod tubular. *J Food Sci and Eng* 6:1-7.

Zamorano P, Recabarren H, Bost. 2002. Process for producing carrageenan with reduced amount of insoluble material. World Intellectual Property Organization. Patent No WO 02/057477 A1.