Dr. Ir. Suprihatin

ISSN 0216 - 3160

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

Jurnal Teknologi Industri Pertanian

AKREDITASI : SK DIRJEN DIKTI No 56/DIKTI/Kep/2005

Volume 18, Nomor 1. Hal. 1 – 59 Juli 2008

MODEL PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI COCODIESEL DI DAERAH TERPENCIL
Irawadi Jamaran 1

MODEL *PSWOT* BAGI PERUMUSAN STRATEGI PENGEMBANGAN AGROINDUSTRI UNGGULAN WILAYAH DI SULAWESI UTARA
Arie Dharmaputra Mirah 3

IMPACT BRUISE RESISTANCE OF PALM FRUIT
Yuwana 24

PEMBUATAN SOYGHURT SINBIOTIK SEBAGAI MAKANAN FUNGSIONAL DENGAN PENAMBAHAN KULTUR CAMPURAN *Streptococus thermophillus, Lactobacillus bulgaricus* DAN *Lactobacillus acidophilus*
A. Nizori, V. Suwita, Surhaini, Mursalin, Melisa, T.C. Sunarti, dan E. Warsiki 28

KARAKTERISTIK *FOULING* DAN POLARISASI KONSENTRASI PADA PROSES PEMURNIAN DAN PEMEKATAN KARAGINAN DENGAN MEMBRAN MIKROFILTRASI
Uju, Linawati Hardjito, Suprihatin, Prayoga Suryadarma, dan Erliza Noor 34

PENGARUH PENAMBAHAN POLIOKSIETILEN-(20)-SORBITAN MONOLAURAT PADA KARAKTERISTIK BIOPLASTIK POLI-HIDROKSIALKANOAT (PHA) YANG DIHASILKAN *Ralstonia eutropha* PADA SUBSTRAT HIDROLISAT PATI SAGU
Khaswar Syamsu, Chilwan Pandji, dan Eva Rosalina Lumbanraja 41

METHYL ESTER EXTRACTION OF SUNFLOWER OIL IN A TWIN SCREW EXTRUDER
Ika Amalia Kartika 47

POTENSI PENURUNAN EMISI GAS RUMAH KACA MELALUI PENGOMPOSAN SAMPAH
Suprihatin, Nastiti Siswi Indrasti, dan Muhammad Romli 53

PRAKATA

Pembaca yang budiman,

Jumpa lagi kita pada Jurnal Teknologi Industri Pertanian Edisi Juli 2008 dengan penampilan baru. Semoga perubahan penampilan ini dapat memberikan semangat kepada semua pihak untuk selalu berkreasi dan semoga manfaat keilmuan yang dapat dipetik dari naskah yang disajikan dalam jurnal ini berlipat ganda.

Materi yang dapat disimak dalam edisi ini antara lain meliputi permasalahan pengembangan agroindustri berbasis potensi di daerah terpencil dan pulau kecil, kelapa yang dijual murah dapat menolong nelayang yang membutuhkan bahan bakar perahunya melalui pengolahan menjadi *cocodiesel*, penulisnya mengistilahkan pendekatan ini sebagai *"the poor helps poor"*. Selanjutnya daoat dicermati topik tentang model I'SWOT bagi perumusan strategi pengembangan agroindustri unggulan daerah yang data dan permodelannya dibuat untuk daerah Sulawesi Utara, disajikan juga impak kerusakan buah sawit karena penundaan transportasi, pembuatan yoghurt dari kedelai sebagai makanan fungsional, masalah proses pemurnian karaginan dan pemekatannya menggunakan membran mnikrofiltrasi, pemakaian bahan baru untuk proses pembuatan bioplastik, ekstraksi methyl ester minyak biji bunga matahari dalam *twin screw extruder* dan potensi penurunan emisi gas rumah kaca melalui pengomposan sampah.

Besar harapan kami bahwa jurnal kita ini semakin berkembang sehingga dapat menjadi salah satu sumber yang potensial sebagai rujukan untuk kemajuan agroindustri. Perjalanan masa telah memperlihatkan bahwa produk olahan agroindustri telah memberikan kontribusi yang nyata dalam pembangunan ekonomi bangsa bagi kemakmuran masyarakat.

Interaksi pembaca dengan redaksi dan penulis merupakan harapan kami yang akan menyempurnakan tulisan dan pendapat yang dapat kita simak di jurnal ini. Kami berharap agar pembaca yang budiman tidak ragu-ragu untuk berpartisipasi dalam kegiatan tukar pendapat dan saling asah dan asuh untuk memajukan agroindustri kita.

Kepada penulis yang berkontribusi dengan baik, para *reviewers* yang telah dengan sungguh-sungguh mencurahkan pemikiran dan perhatianya, berdasarkan kepakaran masing-masing telah memberikan saran kepada penulis bagi kesempurnaan tulisan mereka, kami menyampaikan terima kasih.

Akhirnya kami tutup pengantar redaksi ini dengan mengundang kembali rekan dan sejawat penelitian, serta pengkaji agroindustri untuk mengirimkan naskah yang merupakan hasil penelitian dan juga pendapat untuk memperkaya pengetahuan kita bersama melalui Jurnal Teknologi Industri Pertanian ini.

Ketua Dewan Editor

Selamat membaca.

Ani Suryani

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
Wahana Komunikasi Ilmiah tentang Agroindustri

ALAMAT : Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA – IPB, Kampus IPB Darmaga PO. Box 220 Bogor 16002, Telp/Fax : 0251-8621974, 8625088, e-mail : jurnal_tip@yahoo.co.id.

KARAKTERISTIK *FOULING* DAN POLARISASI KONSENTRASI PADA PROSES PEMURNIAN DAN PEMEKATAN KARAGINAN DENGAN MEMBRAN MIKROFILTRASI

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

[1]Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan - IPB
[2]Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian - IPB

ABSTRACT

The fouling resistance at cross flow velocity 2,97, 3,47 and 3,97 m s^{-1} was 0,1312; 0,1741 and 0,1758 kPa m^2 h l^{-1} respectively. It is not influenced by cross flow velocity and has 2-3 times greater than internal membrane resistance. Concentration polarization resistance at range cross flow velocity 2,97 to 3,97 m s^{-1} was 0,4030 to 0,9314 kPa m^2 h l^{-1}. Concentration polarization resistance is influenced by cross flow velocity, where at high cross flow velocity the concentration polarization can be reduced. At low transmembrane pressure, total resistance is dominated by fouling resistance but at high transmembrane pressure it is dominated by concentration polarization resistance. Behavior of flux during carrageenan purification can be described finely by resistance in series model.

Keywords : carrageenan, concentration polarization, fouling, microfiltration

PENDAHULUAN

Karaginan merupakan biopolimer yang diperoleh dari rumput laut yang bernilai ekonomis tinggi. Tingkat permintaan produk ini setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan secara eksponensial dengan kenaikan rata-rata sekitar 5% (Bixler, 1996; McHugh, 2003). Nilai jual rumput laut *Kappaphycus alvarezii* kering sekitar US$ 0,3/kg, dalam bentuk *semi refined carrageenan* berharga US$ 6/kg dan menjadi US$ 10/kg dalam bentuk jadi sebagai *refined carrageenan* (Kompas 23 Juli, 2003). Dengan demikian, nilai tambah karena pengolahan adalah 20-30 kali lipat. Hal tersebut menyebabkan perusahaan-perusahaan besar karaginan dunia lebih tertarik dan memfokuskan produksinya pada *refined carrageenan* hingga mencapai 80-85% dari total kapasitas produksinya (McHugh, 2003).

Proses pemurnian karaginan secara komersial dapat dilakukan melalui pengendapan dengan KCl atau alkohol. Ditinjau dari aspek ekonomis metode pengendapan dengan KCl lebih murah, tetapi dari segi kualitas metode pengendapan dengan alkohol akan menghasilkan mutu yang paling baik (Gliksman,1983). Tingginya biaya proses pemurnian karaginan dengan metode pengendapan alkohol terkait dengan jumlah penggunaan volume alkohol dan penggunaan energi tambahan untuk proses *recovery* agar alkohol dapat digunakan kembali. Jumlah volume alkohol yang dibutuhkan untuk proses pemurnian berkisar antara 1,5–4 kali volume filtrat (Gliksman, 1983).

Teknologi filtrasi membran telah banyak diaplikasikan untuk pemurnian beberapa polimer seperti protein, polisakarida, oligosakaraida, nukleotida dan gula (DeFrees, 2003; Yeh dan Dong, 2003). Membran ultrafiltrasi telah berhasil digunakan untuk memekatkan serta memurnikan larutan arabinoxylan dan rhamnogalacturonan dengan rejeksi retentat mencapai 90% dan fluks 14,5 l/m^2 jam pada kondisi *steady state* (Jorda *et al*., 2002). Noor dan Kusumawardani (2002) memekatkan sirup glukosa menggunakan membran mikrofiltrasi pada fluks 75-90 l/m^2 jam dengan tingkat rejeksi glukosa mencapai 55-68%.

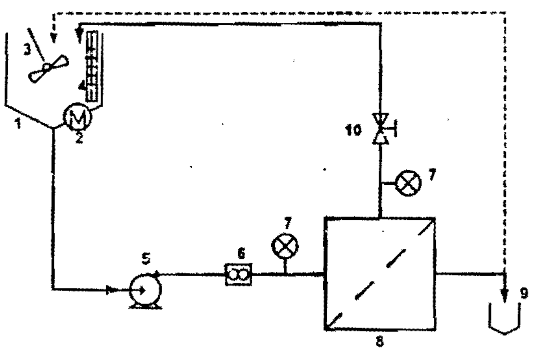
Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan teknologi membran adalah lebih hemat dalam penggunaan energi dan bahan kimia. Hasil studi Kessler (1986) menunjukkan bahwa proses pemekatan jus dengan menggunakan *freeze concentration*, evaporasi dan teknologi membran *reverse osmosis* masing-masing membutuhkan energi sebanyak 855, 1754 dan 120 kJ untuk setiap kilogram air yang dipisahkan. Kebutuhan energi yang digunakan pada proses filtrasi membran adalah untuk menggerakan pompa dan meningkatkan suhu umpan jika diperlukan (Yeh dan Tsai, 1997). Pada proses filtrasi dengan membran tidak terdapat perubahan fase bahan seperti yang terjadi pada evaporasi dan pembekuan. Perubahan fase suatu zat atau senyawa akan membutuhkan energi yang lebih besar.

Permasalahan utama pada filtrasi dengan membran adalah munculnya *fouling* dan polarisasi konsentrasi yang dapat menurunkan kinerja fluks membran. Menurut Cheryan (1998), *fouling* sangat dipengaruhi oleh karakteristik membran dan interaksinya dengan material yang akan difiltrasi. Sedangkan polarisasi konsentrasi intesitasnya dipengaruhi oleh parameter operasi proses filtrasi membran seperti tekanan transmembran, laju alir dan suhu. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh *fouling* dan polarisasi konsentrasi pada proses pemurnian dan pengkonsentrasian karaginan dengan proses mikrofiltrasi.

BAHAN DAN METODE

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. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah satu unit membran *cross-flow* filtrasi (Gambar 1). Membran yang digunakan adalah mikrofiltrasi 0,1 mikron dengan bahan polisulfon. Jenis modul membran adalah tubular, yang terdiri dari 6 buah pipa dengan diameter 1,5 mm dan total luas permukaan efektif 26 cm^2.

Pada proses pemurnian, sejumlah filtrat hasil 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 pemurnian dengan membran ini (permeat dan retentat) diresirkulasikan kedalam tangki umpan. Pada waktu tertentu dilakukan sampling terhadap permeat untuk pengukuran fluks.



Keterangan :

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

Gambar 1. Skema proses pemurnian dan pemekatan karaginan dengan membran mikrofiltrasi

Proses Pemurnian dan Pemekatan Karaginan

Setelah proses selesai dilakukan, membran dicuci dengan cara meresirkulasikan larutan pembersih yang mengandung sodium hipoklorit. Sodium hipoklorit yang dibuat 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 pada keadaan kondisi fluks *steady state*.

Penentuan Komponen Tahanan Membran dengan Model Tahanan Seri

Penentuan komponen tahanan membran didekati dengan model tahanan seri (Cheryan, 1998). Nilai dan komponen tahanan membran yang diukur atau dihitung meliputi tahanan membran internal (Rm), tahanan *fouling* (Rf), dan tahanan polarisasi konsentrasi (Rp). Model ini menggunakan prinsip terbentuknya lapisan baru pada bagian permukaan dan dalam membran yang akan menimbulkan tahanan tertentu dan berkontribusi terhadap tahanan total membran. Pendekatan model tahanan seri dalam memprediksi fluks adalah lapisan partikel pada permukaan membran merupakan penghalang laju aliran permeat. Hal ini dapat dinyatakan dengan Persamaan (1) berikut (Cheryan, 1998) :

$$J = \frac{\Delta P}{Rt} \qquad (1)$$

Dimana : J merupakan fluks permeat ($m\ s^{-1}$), ΔP merupakan tekanan transmembran (Pa) dan Rt merupakan nilai tahanan total ($Pa\ s\ m^{-1}$) terhadap laju alir permeat. Adanya peristiwa *fouling* dan polarisasi konsentrasi menyebabkan tahanan membran bertambah, sehingga tahanan total membran (Rt) merupakan penggabungan dari tahanan membran internal (Rm), tahanan membran akibat *fouling* (Rf) dan tahanan membran akibat polarisasi konsentrasi (Rp), seperti yang dinyatakan dalam Persamaan (2) (Cheryan, 1998).

$$Rt = Rm + Rf + Rp \qquad (2)$$

Keterangan :

Rt = Tahanan total ($kPa\ s\ m^{-1}$)

Rm = Tahanan membran internal ($kPa\ s\ m^{-1}$)

Rf = Tahanan membran akibat *fouling* ($kPa\ s\ m^{-1}$)

Rp = Tahanan membran akibat polarisasi konsentrasi ($kPa\ s\ m^{-1}$)

Tahanan membran internal (Rm) dapat ditentukan dengan menggunakan air murni sebagai umpan, sedangkan nilai Rf muncul akibat interaksi dari sifat membran dan partikel terlarut. Rf tidak dipengaruhi oleh parameter operasi dan biasanya R_f disatukan dengan nilai Rm menjadi R'm seperti pada Persamaan (3) (Cheryan, 1998).

$$R'm = Rm + Rf \qquad (3)$$

Rp merupakan fungsi dari permeabilitas dan ketebalan gel yang merupakan fungsi dari tekanan, sehingga nilai tahanan membran akibat polarisasi konsentrasi dapat dinyatakan dengan Persamaan (4) berikut :

$$Rp = \Phi \, \Delta P \qquad (4)$$

Φ adalah indeks tahanan polarisasi konsentrasi, yang merupakan variabel yang mempengaruhi transfer massa seperti viskositas, *shear rate*/laju alir dan suhu. Subtitusi Persamaan (3) dan (4) kedalam Persamaan (1) maka model tahananseri dapat dinyatakan dengan Persamaan (5) :

$$J = \frac{\Delta P}{R'_m + \Phi \, \Delta P} \qquad (5)$$

Keterangan :

J = Fluks permeat (m s^{-1})

R'm = Jumlah tahanan membran internal dan tahanan akibat *fouling* (kPa s m^{-1})

Φ = Indeks tahanan polarisasi konsentrasi (s m^{-1})

ΔP = Tekanan transmembran (kPa)

Penentuan Tahanan Membran Internal

Tahanan membran internal (Rm) diukur dengan cara menggunakan air destilasi sebagai umpan. Pengukuran dilakukan pada suhu 30, 45 dan 55°C dengan kisaran tekanan transmembran sebesar 69 –103,5 kPa. Pada setiap suhu dan tekanan transmembran yang diujikan, besarnya fluks permeat air diukur. Penentuan tahanan membran internal (Rm) dilakukan dengan cara membuat plot grafik $1/J_w$ sebagai sumbu Y (ordinat) dan $1/\Delta P$ sebagai sumbu X (absis). Tahanan membran diperoleh dengan cara menghitung gradien pada persamaan garis dari plot $1/J_w$ dan $1/\Delta P$.

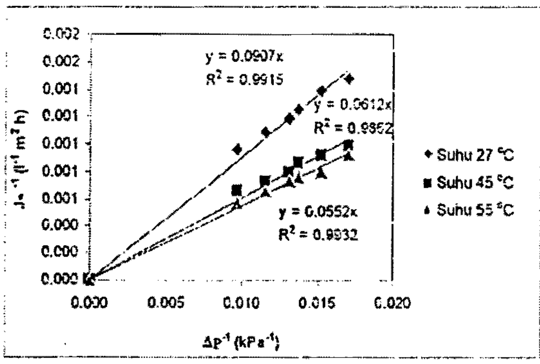
Penentuan Tahanan "Fouling" dan Tahanan Polarisasi Konsentrasi

Tahanan akibat *fouling* dan polarisasi konsentrasi didekati dengan mengukur fluks pada tekanan transmembran 69,0-138 kPa dan pada laju alir umpan 2,97, 3,47 dan 3,97 m s^{-1}. Pada tahap ini umpan yang digunakan adalah ekstrak rumput laut. Jumlah Rm dan Rf ditentukan dengan cara menghitung gradien dari plot grafik antara (1/J) sebagai sumbu Y dan (1/ΔP) sebagai sumbu X, sedangkan titik potong dari grafik tersebut ditetapkan sebagai indeks tahanan polarisasi konsentrasi (Φ). Rp ditentukan dengan cara mengalikan indeks tahanan polarisasi konsentrasi dengan tekanan transmembran (Rp = Φ ΔP).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahanan Membran Internal

Tahanan membran internal merupakan parameter karakteristik membran yang sangat penting untuk diketahui. Jika permeabilitas membran menunjukkan kemampuan membran dalam melewatkan air distilasi, sedangkan tahanan membran merupakan kebalikannya. Nilai tahanan membran internal (R_m) dapat ditentukan dengan menghitung nilai gradien persamaan regresi pada Gambar 2. Nilai tahanan membran internal menurun seiring dengan meningkatnya suhu umpan. Nilai tahanan tersebut pada suhu 27, 45 dan 55°C berturut-turut 0,055; 0,061 dan 0,090 kPa m^2 h l^{-1}. Menurunnya nilai tahanan tersebut disebabkan oleh nilai viskositas air yang semakin turun dengan meningkatnya suhu. Fenomena tersebut sesuai dengan yang dijelaskan oleh Hukum Darcy.



Gambar 2. Tahanan membran internal pada berbagai suhu

Analisis Susunan dan Nilai Tahanan Membran

Tahanan "Fouling"

Nilai tahanan *fouling* (Rf) pada laju alir 2,97, 3,47 dan 3,97 m s^{-1} masing-masing sebesar 0,1312, 0,1741 dan 0,1758 kPa m^2 h l^{-1} (Tabel 1). Nilai Rf cenderung tidak dipengaruhi oleh laju alir umpan. Pengaruh laju alir umpan terhadap tahanan *fouling* sebelumnya juga telah diteliti oleh Chiang dan Cheryan (1986) serta Masciola *et al.* (2001) masing-masing menggunakan umpan susu skim dan campuran limbah minyak dengan air. Hasil kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa laju alir umpan dan konsentrasi umpan tidak berpengaruh signifikan terhadap tahanan *fouling*. Cheryan (1998) menyatakan bahwa besarnya tahanan *fouling* ditentukan oleh interaksi antara karakteristik bahan membran dan umpan dan tidak dipengaruhi oleh parameter operasi. Pernyataan ini didukung oleh hasil penelitian Viadero *et al.* (1999) dan Masciola *et al.* (2001).

Kedua penelitian tersebut menggunakan umpan yang sama yaitu limbah campuran minyak dengan air tetapi menggunakan bahan membran yang berlainan. Viadero *et al.* (1999) menggunakan membran keramik sedangkan Masciola *et al.* (2001) menggunakan membran dengan bahan polyvinylidene fluoride (PVDF). Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai Rf membran PVDF 7 kali lebih besar dari membran keramik.

Tabel 1. Tahanan membran pada proses filtrasi ekstrak rumput laut pada laju alir yang berbeda

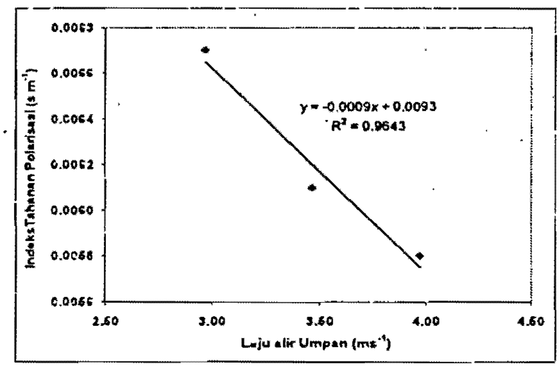
Komponen Tahanan Membran	Laju Alir Umpan (m s^{-1})		
	2,97	3,47	3,97
Rm (kPa m^2 h l^{-1})	0,0551	0,0551	0,0551
R'm =Rm + Rf (kPa m^2 h l^{-1})	0,1863	0,2292	0,2309
Rf (kPa m^2 h l^{-1})	0,1312	0,1741	0,1758
Φ (s m^{-1})	0,0067	0,0061	0,0058

Jika dibandingkan dengan tahanan membran internal (Rm), Rf memiliki nilai 2-3 kali lebih besar dibanding (Rm). Tahanan *fouling* yang tinggi menunjukkan interaksi antara material membran dengan komponen-komponen umpan cukup kuat. Pada penelitian ini bahan polimer membran yang digunakan adalah polysulfone. Polimer ini cenderung bersifat hidrofobik (Cheryan, 1998; Gould *et al.*, 2004), sedangkan komponen utama penyusun umpan didominasi kappa karaginan yang juga cenderung hidrofobik (Gliksman, 1983; cPKelco ApS, 2004). Menurut Cheryan (1998) polimer bahan membran yang bersifat hidrofobik akan mengadsorpsi komponen umpan yang bersifat hidrofobik atau amfoter dan akhirnya terjadi *fouling*.

Indeks Tahanan Polarisasi Konsentrasi (Φ)

Indeks tahanan polarisasi konsentrasi (Φ) menunjukkan besarnya indeks tahanan polarisasi konsentrasi pada tekanan tertentu dalam kondisi laju alir umpan yang konstan. Nilai Φ berkisar antara 0,058–0,067 s m^{-1} tergantung pada laju alir umpan yang digunakan (Tabel 1). Nilai Φ menurun dengan meningkatnya laju alir umpan. Pada laju alir umpan 2,97 m s^{-1} nilai indeks tahanan polarisasi 0,067 kemudian turun menjadi 0,061 pada laju alir umpan 3,47 m s^{-1} dan 0,058 pada laju alir umpan 3,97 m s^{-1} (Gambar 3). Nilai Φ pada penelitian ini jauh lebih tinggi dibanding nilai Φ pada proses ultrafiltrasi susu skim dengan membran ultrafiltrasi *hollowfibre* (Chiang dan Cheryan, 1986) yang hanya mencapai nilai maksimum 0,5087 sm^{-1} pada laju alir 1,11 ms^{-1}. Adanya perbedaan hasil tersebut diduga karena viskositas filtrat karaginan yang relatif lebih tinggi dibandingkan susu skim, kondisi tersebut dapat menyebabkan semakin tebalnya pembentukan lapisan polarisasi konsentrasi pada permukaan membran.

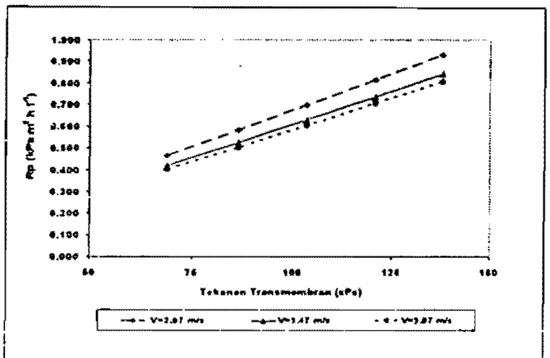
Besarnya nilai indeks tahanan polarisasi yang dapat diturunkan pada penelitian ini adalah 0,0009 untuk setiap meter per detik kenaikan laju alir umpan. Hal tersebut menunjukkan bahwa laju alir umpan yang tinggi dapat mengurangi besarnya jumlah, kepadatan dan ketebalan lapisan polarisasi konsentrasi (Viadero *et al.*, 1999; Choi *et al.*, 2005). Usaha untuk menurunkan indeks tahanan polarisasi juga telah dilakukan oleh Viadero *et al.* (1999) dengan cara menggunakan membran yang dapat berotasi. Hasil penelitian tersebut melaporkan bahwa indeks tahanan polarisasi dapat diturunkan sebesar 0,11 untuk setiap kenaikan putaran per menit dari rotasi membran. Chiang dan Cheryan (1986) menyatakan bahwa nilai Φ tidak dipengaruhi secara siginifikan oleh parameter suhu operasi. Nilai Φ sangat dipengaruhi oleh laju alir dan konsentrasi umpan (Chiang dan Cheryan, 1986; Viader *et al.*, 1999; Kumar *et al.*, 2004). Lin *et al.* (2005) melaporkan bahwa nilai Φ dipengaruhi oleh *molecular weight cut off* (MWCO) membran, semakin kecil nilai MWCO membran maka nilai Φ akan semakin besar.



Gambar 3. Hubungan laju alir umpan terhadap indeks tahanan polarisasi (Φ)

Tahanan polarisasi konsentrasi terbentuk akibat akumulasi partikel yang tertolak oleh membran sehingga partikel-partikel ini membentuk lapisan tertentu pada permukaan membran (Cheryan 1998). Tahanan polarisasi konsentrasi dihitung dengan mengalikan indeks tahanan polarisasi konsentrasi (Φ) pada laju alir tertentu dengan tekanan transmembran.

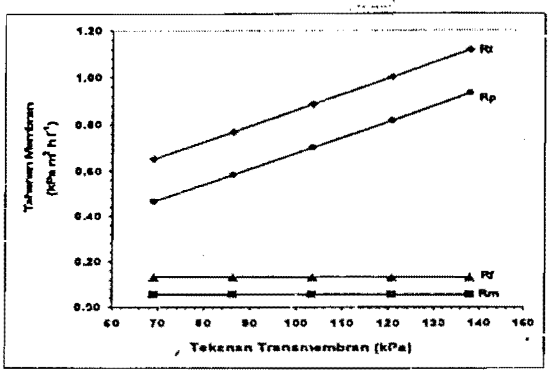
Tahanan polarisasi konsentrasi (Rp) pada laju alir 2,97–3,97 m s^{-1} berkisar antara 0,4030–0,9314 kPa m^2 h l^{-1}. Pada tekanan tetap tahanan polarisasi meningkat seiring dengan tingginya tekanan transmembran (Gambar 4). Hal tersebut menunjukkan bahwa tekanan transmembran yang tinggi dapat meningkatkan aliran difusi balik menuju permukaan membran dan akhirnya deposisi partikel dan polarisasi konsentrasi menjadi semakin meningkat Zhao *et al.* (2003). Penggunaan tekanan transmembran yang lebih tinggi lagi dapat meyebabkan lapisan polarisasi semakin tebal dan padat, hal tersebut dapat menyebabkan semakin meningkatnya tahanan polarisasi konsentrasi.



Gambar 4. Pengaruh tekanan transmembran terhadap tahanan polarisasi konsentrasi (R_p)

Pada kondisi ketiga pengukuran laju alir umpan yang berbeda (2,97, 3,47 dan 3,97 m s^{-1}) terlihat bahwa besarnya urutan kontribusi nilai tahanan polarisasi konsentrasi ditentukan oleh besarnya tekanan transmembran selama mikrofiltrasi (Gambar 5). Secara umum peta kontribusi masing-masing komponen tahanan mirip dengan proses membran pada jus buah-buahan (Jiraratananon dan Chanacahai, 1996), pada limbah titanium (Zhao *et al.*, 2003) dan pada konsentrat kedelai (Kumar *et al.*, 2004).

Jika dikelompokkan berdasarkan pendominasian suatu tahanan menurut fungsi tekanan transmembrannya maka akan diperoleh dua kondisi, yaitu dominasi tahanan *fouling* (Rf) dan dominasi tahanan polarisasi konsentrasi (Rp). Pada tekanan transmembran rendah tahanan didominasi oleh tahanan *fouling*, sedangkan pada tekanan transmembran tinggi tahanan didominasi oleh tahanan polarisasi konsentrasi. Besarnya tekanan transmembran pada perubahan daerah dominasi antara tahanan *fouling* dan tahanan polarisasi ditentukan oleh laju alir umpan yang digunakan. Semakin tinggi laju alir umpan, tekanan transmembran transisi akan semakin tinggi. Pada laju alir 2,97 m s^{-1} dominasi tahanan *fouling* terjadi pada tekanan kurang dari 27,6 kPa sedangkan diatas tersebut tahanan didominasi oleh tahanan polarisasi konsentrasi. Besarnya tekanan transmembran transisi pada laju alir umpan 3,47 dan 3,97 masing-masing terjadi pada tekanan 37 dan 40 kPa. Tahanan membran internal (Rm) nilainya sangat kecil dibandingkan dengan tahanan lainnya. Tahanan ini memiliki kontribusi 4,93-8,69% dari nilai total tahanan membran.



Gambar 5. Perubahan nilai komponen tahanan membran menurut fungsi tekanan transmembran pada laju alir umpan 2,97 ms^{-1}

Prediksi Fluks dengan Model Tahanan Seri

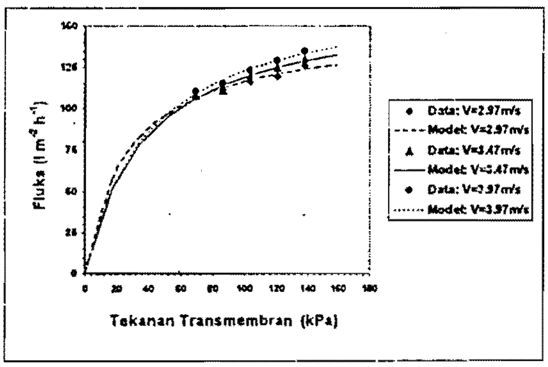
Kendala utama dalam penggunaan teknologi membran adalah menurunnya fluks permeat yang disebabkan oleh dua faktor yaitu *fouling* dan polarisasi konsentrasi. *Fouling* dan polarisasi konsentrasi dapat membentuk lapisan tertentu sehingga akan mengurangi fluks permeat. Salah satu bentuk model yang dapat menjelaskan tentang fenomena *fouling* dan polarisasi konsentrasi adalah model tahanan seri (*resistance in series model*). Melalui subtitusi nilai-nilai yang diperoleh pada Tabel 2 kedalam Persamaan (5), maka besarnya nilai fluks (J) pada laju alir umpan 2,97, 3,47 dan 3,47 masing-masing dapat diprediksi menggunakan Persamaan (6 - 8).

$$J = \frac{\Delta P}{0,1863 + 0,067\ \Delta P} \qquad (6)$$

$$J = \frac{\Delta P}{0,2292 + 0,061\ \Delta P} \qquad (7)$$

$$J = \frac{\Delta P}{0,2309 + 0,058\ \Delta P} \qquad (8)$$

Hasil prediksi fluks dengan menggunakan Persamaaan (6-8) secara grafis disajikan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa model tahanan seri mampu menjelaskan perilaku fluks cukup baik, hal tersebut terlihat dari data hasil eksperimen yang dilambangkan sebagai titik (*bulat*) dan garis sebagai nilai dari hasil prediksi model yang saling berdekatan. Model ini mampu memprediksi besarnya fluks pada daerah yang dikendalikan oleh tekanan (*pressure dependent region*) maupun pada daerah yang tidak dikendalikan oleh tekanan (*pressure independent region*). Kesuksesan model tahanan seri dalam memprediksi fluks telah dilaporkan oleh Chiang dan Cheryan (1986) pada skim susu, Masciola *et al.* (2001) dan Viadero *et al.* (1999) dengan umpan emulsi minyak–air, Todisco *et al.* (2002) dengan umpan teh hitam, serta Kumar *et al.* (2004) dengan umpan konsentrat kedelai. Pengelompokkan *pressure dependent region* dan *pressure independent region* dilihat berdasarkan nilai perbandingan antara jumlah Rm + Rf dengan Rp (Viadero *et al.*, 1999). Daerah *pressure dependent* terjadi jika perbandingan tersebut lebih dari satu, yang artinya peran Rm+Rf lebih dominan dibanding dengan tahanan konsentrasi polarisasi (Rp). Daerah *pressure independent* terjadi jika nilai perbandingan tersebut kurang dari satu, hal ini menunjukkan dominasi tahanan polarisasi konsentrasi lebih dominan dibanding dengan jumlah tahanan internal membran (Rm) dan nilai tahanan *fouling* (Rf). Selain dipengaruhi laju alir umpan nilai titik kritis daerah peralihan *dependent-independent* juga dipengaruhi oleh konsentrasi umpan. Semakin tinggi konsentrasi umpan maka nilai titik kritisnya akan berkurang (Viadero *et al.*, 1999).



Gambar 6. Fluks hasil percobaan dan prediksi fluks dengan model tahanan seri pada laju alir umpan (v) 2,97, 3,47 dan 3,97 m s^{-1}

KESIMPULAN

Besarnya fluks pada proses mikrofiltrasi ditentukan oleh tahanan membran internal (Rm), tahanan *fouling* (Rf) dan tahanan polarisasi (Rp). Rf mencapai 2-3 kali lebih tinggi dibandingkan Rm dan selama mikrofiltrasi kedua jenis tahanan tersebut tidak mengalami perubahan yang signifikan. Tahanan polarisasi konsentrasi (Rp) besarnya tergantung pada perkalian indeks tahanan polarisasi (Φ) dan tekanan transmembran (P). Pada tekanan transmembran rendah (kurang dari 40 kPa) tahanan didominasi oleh Rm dan Rf, sedangkan di atas nilai tersebut tahanan membran didominasi oleh Rp. Model tahanan seri dapat menjelaskan perilaku fluks baik pada daerah yang dikendalikan oleh tekanan maupun pada daerah yang dikendalikan oleh transfer massa.

DAFTAR PUSTAKA

Bixler, H.J., 1996. Recent development in the manufacturing and marketing carrageenan. *Hydrobiologia* 326/327: 35-57.

Cheryan, M., 1998. Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. Technomic. Publishing. New Holland Avenue.

Chiang, B.H., Cheryan, M., 1986. Ultrafiltration of skim milk in hollowfibers. *J. Food Sci.* 51 (2):340-344.

Choi, H., Zhang, K., Dionysiou, D.D., Oerther, D.B., Sorial, G.A., 2005. influence of cross-flow velocity on membrane performance during filtration of biological suspension. *J. Membrane Sci.* 248:189–199.

cP Kelco Aps. Carrageenan. Denmark. http://www.cPKelco.com [25 April 2004].

DeFrees., 2003. Carbohydrate purification using ultrafiltration, reverse osmosis and nanofiltration. United State Pantent. No 6.454.946.

Glicksman, M., 1983. Food Hydrocolloid. Vol II. CRS Press Inc. Boca Ratton Florida.

Gould, C.K., Harrold, S.J., Weitnauer, W.K., 2004. A practical approach to controlling the *fouling* of ultrafiltration membranes: A case study of the successful development of a commercial soy protein application. http//:www.osmonics.com. [25 Februari 2004].

Jirarartananon, R., Chanachai. 1996. A study *fouling* in the ultrafiltration of passion fruite juice. *J Membrane Sci.* 11:39-48.

Jorda, J., Marechal, P., Rigal, L., Pontalier, P.Y., 2002. Biopolymer purification by ultrafiltration. *Desalination* 148:187-191.

Kessler, H.G., 1986. Energy aspects of food concentration. Didalam: MacCarthy D, editor. Concentration and drying of foods. Elsevier Applied Science Publisher. London and New York; hlm147-163.

Kumar N.S.K., Yea, M.K., Cheryan, M., 2004. Ultrafiltration of soy protein concentrate: performance and modeling spiral and tubular polymeric modules. *J. Membrane Sci.*244:234-242.

Kompas, 2003. Menggali manfaat rumput laut. Kompas 23 Juli 2003. http://www.kompas.com/kompas-cetak/0307/23/bahari/43112.htm [16 April 2004].

Lin, C.F., Wu, C.H., Kuo, S.W., 2005. Temporal evolution of resistances in ultrafiltration of humic substances. *Desalination* 172:99-106.

Masciola, D.A., Viadero Jr, R.C., Reed, B.E., 2001. Tubular ultrafiltration flux prediction for oil-in-water emulsions: analysis of series resistances. *J. Membrane Sci.* 184:197-208.

McHough, D.J., 2003. A Guide the Seaweed Industry. FAO. Rome.

Noor, E., Kusumawardhani, G.D., 2002. Pemekatan sirup glukosa dengan proses mikrofiltrasi crossflow. *J. Tek. Ind. Pert.* 12 (1):23-26.

Todisco, S., Tallarico, P., Gupta, B.B., 2002. Mass transfer and polyphenols retention in the clarification of black tea with ceramic membranes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 3:255-262.

Viadero Jr.,R.C., Vaughan Jr, R.L., Reed, B.E., 1999. Study of series resistances in high-shear rotary ultrafiltration. *J. Membrane Sci.* 162:199-211.

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

Yeh, H.M., Tsai, J.W., 1997. Membrane ultrafiltration in multipass hollow fiber modules. *J. Membrane Sci* 142:61-73.

Zhao, Y., Xing, W., Xu, N., Shi, J., 2003. Hydraulic resistance in microfiltration of titanium white waste and acid through ceramic membranes. *Separation and Purification Technology* 32:99-104.