

MODEL PERPINDAHAN MASSA PADA PEMEKATAN JUS JERUK DENGAN
REVERSE OSMOSIS

Erliza Noor
Adetiya Rachman
Setyadjit

Departemen Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

2009



Surat Pendokumentasi Karya Ilmiah
Nomor .647 R 6 3 PP.2009

Karya ilmiah/hasil penelitian atau hasil pemikiran yang tidak dipublikasikan dengan judul :

1. PROSES PEMEKATAN JUS JERUK SIAM (*Citrus nobilis L. Var microcarpa*) DENGAN REVERSE OSMOSIS. 2009
Penulis Erliza Noor, Adetiya Rachman, Setyadjit, Dondy Setyabudi
2. MODEL PERPINDAHAN MASSA PADA PEMEKATAN JUS JERUK DENGAN REVERSE OSMOSIS 2009
Penulis Erliza Noor, Adetiya Rachman, Setyadjit
3. KAJIAN PROSES PRODUKSI BIODESEL DARI MINYAK BIJI NYAMPLUNG (*Catophyllum inophyllum L.*) 2009
Penulis Erliza Noor, Setyadjit, Dede Murniasih
4. ANALISIS KEBERLANJUTAN BIOPREMENDASI KOMPOS UNTUK LIMBAH HIDROKARBON 2009
Penulis Henny Pagoray, Erliza Noor, Linawati Hardjito, Zainal Alim, Bibiana Widyawati
5. BIOPREMENDASI KOMPOS UNTUK LIMBAH HIDROKARBON 2009
Penulis Henny Pagoray, Erliza Noor, Linawati Hardjito, Zainal Alim, Bibiana Widyawati

Didokumentasikan di Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Ketua

Prof. Dr. Ir. Nastiti Siswi Indrasti
NIP 19621009 198903 2 001

MODEL PERPINDAHAN MASSA PADA PEMEKATAN JUS JERUK SLAM DENGAN REVERSE OSMOSIS

Erliza Noor¹, Adetiya Rachman¹ dan Setyadji²

¹Dept. Teknologi Industri Pertanian IPB, ²Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian

Pengembangan model yang sesuai menggambarkan kinerja RO sangat penting untuk merancang proses RO. Pengembangan model matematis pada RO telah banyak dilakukan untuk memprediksi fluksi pada pemisahan garam dari larutan garam. Salah satu model perpindahan massa untuk RO yang dikembangkan dari larutan garam untuk aplikasi lain adalah model *Solution Diffusion* (SD). Model ini telah banyak digunakan dan terbukti mampu memprediksi fluksi larutan ideal dari campuran komponen yang telah diketahui konsentrasi (*multisolute solution*) dengan baik. Penelitian ini mempelajari model perpindahan massa pada pemekatan jus jeruk siam dengan RO bertekanan rendah atau disebut *Low Pressure Reverse Osmosis* (LPRO) menggunakan membran poliamida berkonfigurasi lilitan spiral pada beberapa variasi kondisi operasi. Fluksi diprediksi menggunakan model modifikasi *Solution-Diffusion* (SD). Model SD yang dikembangkan dengan melibatkan tahanan adsorpsi menghasilkan kesesuaian yang lebih baik dibandingkan dengan model modifikasi SD - teori film. Tekanan transmembran, laju alir dan konsentrasi umpan merupakan variable penting yang mempengaruhi proses adsorpsi.

Kata kunci: *reverse osmosis* tekanan rendah, jus jeruk, model *solution diffusion*, adsorpsi

ABSTRACT. Adetiya Rachman, Erliza Noor dan Setyadji. 2009. Mass Transfer Model on Concentration of Citrus Siam (*Citrus nobilis*) Juice in Application of Reverse Osmosis. Model development which fits to explain reverse osmosis (RO) performance is important in order to design KO process. Modelling in RO has been implemented to predicts flux in sea water desalination. One of RO mass transfer models which developed from salt solution for another application is *Solution Diffusion* (SD) model. This model has been develop and has proof could predict flux of ideal solution from *multisolute solution* well. This research studied mass transfer model on concentration of citrus juice by low pressure reverse osmosis (LPRO) using polyarnide spiral wound membrane at various operating conditions. The permeate flux was modeled by modification of Solution-Diffusion (SD) model. Modified solution diffusion model involved adsorption resistance has a better fit to the experimental values compared to modified SD - thin film model. Trans membrane pressure (TMP), flow rate and feed concentration were the important variables as controlling the adsorption process.

Key words: low pressure reverse osmosis, citrus juice, solution diffusion model, adsorption

PENDAHULUAN

Pengembangan model matematis pada RO telah banyak dilakukan untuk memprediksi fluksi pada pemisahan garam dari larutan garam. Pengembangan model yang sesuai menggambarkan kinerja RO sangat penting untuk merancang proses RO. Model yang memprediksi karakteristik pemisahan juga meminimalkan penelitian yang harus dilakukan untuk menjelaskan sistem tertentu (Williams 2003).

Model matematis perpindahan massa dalam RO secara garis besar dibagi menjadi tiga, yaitu model termodinamika satu arah (*irreversible thermodynamics*), model membran nonpori atau homogen (*nonporous or homogeneous membrane models*) dan model pori (*pore models*) (Williams 2003). Pengembangan model dalam RO pada awalnya hanya terbatas untuk pemisahan garam dari air laut menggunakan larutan garam ideal. Perluasan aplikasi RO mendorong pengembangan model perpindahan massa dengan RO tidak hanya untuk desalinasi air laut, tetapi juga berkembang untuk aplikasi lain terutama untuk industri makanan dan farmasi.

Model RO yang dikembangkan umumnya untuk aplikasi pemisahan garam atau desalinasi air laut. Model RO untuk desalinasi air laut umumnya menggunakan larutan ideal yaitu larutan garam dengan satu komponen garam yang diketahui konsentrasi seperti pengembangan model yang dilakukan Murthy dan Gupta (1997) dan Ghiu (2003). Model yang telah banyak digunakan yaitu model *preferential sorption-capillary flow* yang pertama kali diperkenalkan oleh Kimura dan Sourirajan (1970) yang termasuk ke dalam model pori, model Spiegler Kedem dan model *solution-diffusion* yang termasuk kategori model non pori. Penerapan aplikasi RO yang terus berkembang mendorong pengembangan model perpindahan massa dengan RO tidak hanya untuk desalinasi air laut, tetapi juga berkembang untuk aplikasi lain terutama untuk industri makanan dan farmasi.

Salah satu model perpindahan massa untuk RO yang dikembangkan dari larutan garam untuk aplikasi lain adalah model *Solution Diffusion* (SD). Model ini telah banyak digunakan dan terbukti mampu memprediksi fluksi larutan ideal dari campuran komponen yang telah diketahui konsentrasi (*multisolute solution*) dengan baik. Kimura *et al.* 1992; Dickson *et al.* 1994 menggunakan model ini pada pemekatan campuran larutan ideal dengan RO yang menghasilkan kesesuaian antara fluksi percobaan dan fluksi prediksi. Model SD juga telah dikembangkan dan menghasilkan kesesuaian

model untuk aplikasi pemekatan jus buah. Alvarez *et al.* (1997) melakukan penelitian pemekatan jus apel dengan RO dan memprediksi fluksi menggunakan model difusi-larutan (*solution-diffusion models*) yang dikombinasikan dengan teori film. Hasil penelitian menunjukkan model SD yang dikombinasikan dengan teori film mampu memprediksi nilai fluksi pemekatan jus apel dengan akurat.

Kendala yang dihadapi dalam pengembangan model perpindahan massa adalah ketidaksesuaian antara nilai fluksi hasil prediksi dan fluksi hasil percobaan. Modifikasi yang dilakukan Alvarez *et al.* (1997) pada model SD yang dikembangkan adalah dengan mengkombinasikan model SD dengan teori film untuk menjelaskan fenomena polarisasi konsentrasi pada permukaan membran. Pengembangan model SD dengan menggunakan membran LPRO dilakukan oleh Williams (1989); Bhattacharyya and Madadi (1988); Deshmukh (1989); dan Kothari (1991) *diciptakan* oleh Williams (2003) untuk larutan organik. Pengembangan dilakukan dengan menambahkan tahanan adsorpsi pada model untuk menjelaskan rendahnya nilai fluksi (*flux drop*). Williams (1989) mengasumsikan larutan organik diadsorpsi oleh permukaan membran pada penerapan kondisi operasi tekanan transmernbran (TMP) yang rendah. Peristiwa adsorpsi ini menyebabkan tahanan membran bertambah selain dari tahanan instrinsik membran dan dihitung sebagai tahanan adsorpsi (Williams, 2003).

Pengembangan model SD untuk jus buah-buahan telah dilakukan oleh Alvarez *et al.* (1997). Bahan baku yang digunakan pada penelitian tersebut adalah jus apel yang diperoleh dari buah apel setelah sebelumnya diklasifikasi menggunakan membran mikrofiltrasi. Model SD untuk pemekatan jus yang telah dikembangkan didasarkan pada model yang digunakan pada filtrasi larutan multikomponen ideal yang mampu menstimulasi komponen jus yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Sourirajan *et al.* 1982; Kimura *et al.* 1992). Model SD dikembangkan dengan mengkombinasikan dengan model teori film untuk menggambarkan polarisasi konsentrasi yang terjadi pada permukaan membran. Penggunaan model SD dengan kombinasi teori film mampu menghasilkan kesesuaian dalam memprediksi fluksi pada proses filtrasi jus apel (Alvarez *et al.* 1997).

Pengembangan model SD untuk jus buah maupun larutan organik dengan RO pada umumnya menggunakan jenis membran RO dengan kondisi operasi TMP tinggi diatas 20 Bar. Penerapan model SD untuk kondisi operasi TMP yang relatif rendah (dibawah 10

Bar) belum banyak dipublikasikan. Kendala yang dihadapi dalam pengembangan model perpindahan massa untuk RO dengan tekanan rendah (LPRO) adalah ketidaksesuaian nilai fluksi hasil prediksi dengan nilai fluksi hasil percobaan. Williams (1989) melakukan pengembangan model SD untuk RO dengan tekanan rendah untuk larutan organik. Pengembangan yang dilakukan yaitu dengan menambahkan tahanan adsorpsi ke dalam model SD untuk menjelaskan rendahnya nilai fluksi yang didapat dari hasil percobaan Hal serupa juga dilakukan oleh Bhattacharyya and Madadi (1988); Dcshmukh (1989); dan Kothari (1991) *diacu dalam* Williams (2003).

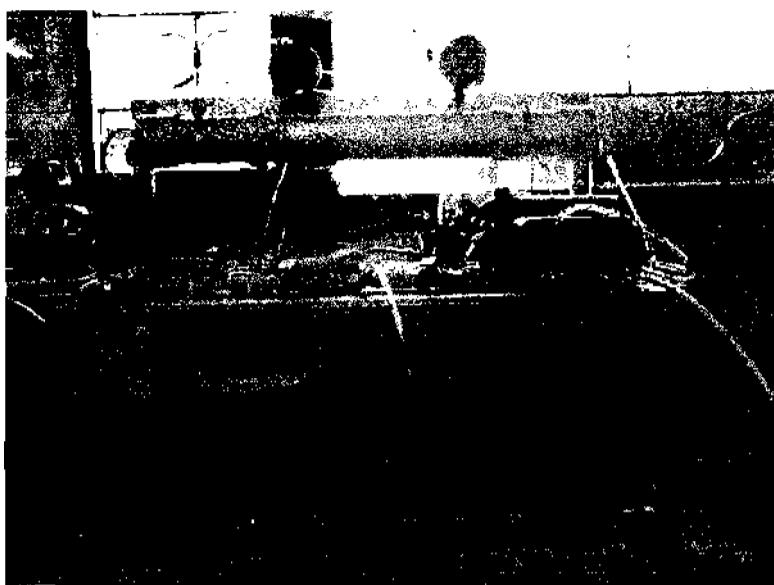
Pengembangan model untuk jus buah dengan menggunakan RO dengan tekanan rendah belum banyak dipublikasikan. Pada penelitian ini mencoba menerapkan model *Solution Diffussion* (SD) yang telah terbukti sesuai untuk memprediksi fluksi pada pemekatan jus buah terutama jus apel yang dilakukan oleh Alvarez *et al.* (1997) yang menggunakan TMP tinggi (diatas 20 Bar) untuk melihat kesuaian model jika menggunakan kondisi operasi TMP yang relatif rendah (dibawah 10 Bar). Pengembangan model SD untuk RO tekanan rendah yang dilakukan Williams (1989) juga digunakan dalam penelitian untuk melihat sejauh mana pengembangan model dengan tahanan adsorpsi mampu memprediksi fluksi pernekatan jus jeruk dengan RO tekanan rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh memperoleh faktor-faktor yang berpengaruh untuk pemisahan jus jeruk dari model perpindahan massa pada pemekatan jus jeruk dengan RO.

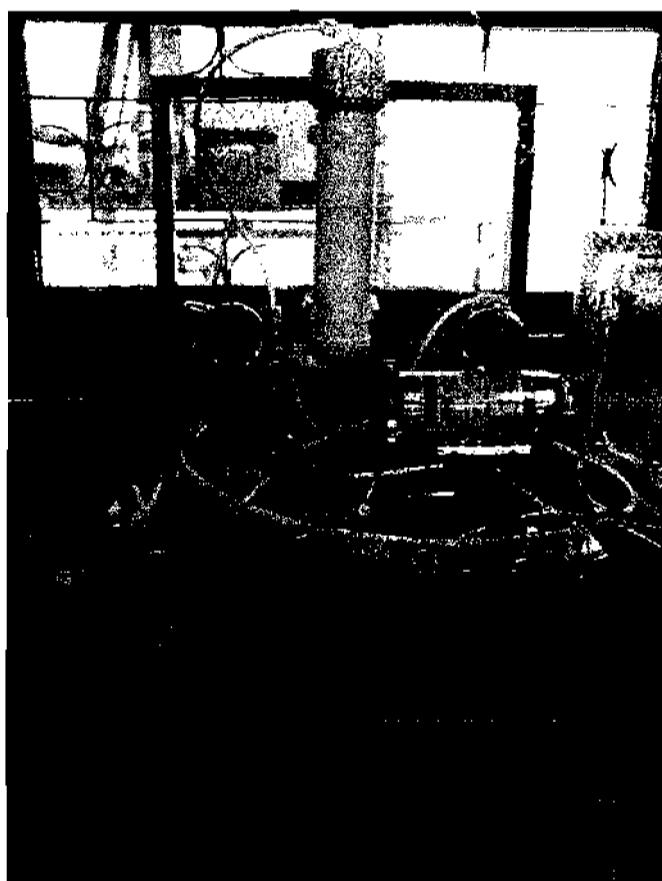
BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium lingkup Departemen teknologi Industri Pertanian IPB dan Laboratorium Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian pada bulan April hingga Agustus 2008. Bahan baku yang digunakan dalam penelitian adalah jus jeruk siam Pontianak hasil mikrofiltrasi ukuran pori $0.1 \mu\text{m}$ dengan konsentrasi jus sebesar $6.5 - 8^{\circ}\text{Brix}$ dan bahan-bahan kimia untuk analisis komposisi kimia. Peralatan yang digunakan yaitu membran mikrofiltrasi ukuran $0.1 \mu\text{m}$ dengan modul berbentuk *hollow fibre* berbahan *polypropylene* (PP) dan luas permukaan 1 m^2 (Gambar 1), membran RO reaksi NaCl 93%, bahan Poliamida (PA), luas permukaan 0.59 m^2 , bentuk spiral berputar (*spiral wound*) dengan aliran umpan silang (*crossflow filtration*) (Gambar 2) dan alat-alat pengujian produk terdiri dari alat-alat gelas, refraktometer,

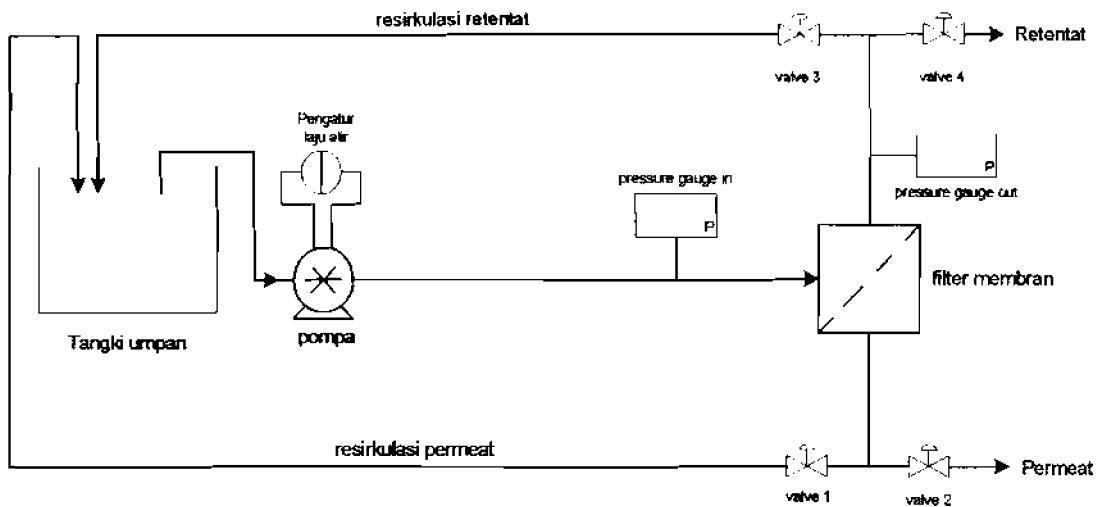
neraca, spektrofotometer, pH meter, dan lain-lain. Skerna alat RO dapat dilihat pada Gambar 3. Spesifikasi membran RO dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1 Rangkaian alat membran mikrofiltrasi



Gambar 2 Rangkaian alat membran *reverse osmosis*



Gambar 3 Skema proses *reverse osmosis* jus jeruk

Tabel I Spesifikasi membran RO

Spesifikasi	Nilai
Luas permukaan membran (m^2)	0.59
Panjang membran (m)	0.26289
Lebar feed spacer(m)	0.000508
Maksimum tekanan operasi (MPa)	0.86
Maksimum debit umpan ($m^3 s^{-1}$)	0.000125
Maksimum laju alir ($m s^{-1}$)	0.11
Maksimum temperatur operasi ($^{\circ}C$)	45
pH operasi	3.0 -10.0

Persiapan bahan baku

Tahapan persiapan bahan baku meliputi sortasi, pencucian, pengupasan kulit dan ekstraksi jeruk untuk menghasilkan jus jeruk, penyaringan jus untuk menghilangkan serat halus menggunakan kain saring. Jus selanjutnya disaring menggunakan saringan *stainless steel* ukuran 200 mesh.

Mikrofiltrasi

Mikrofiltrasi jus jeruk bertujuan untuk menghilangkan rasa pahit yang disebabkan senyawa limonin dan naringin. Jus jeruk hasil persiapan bahan baku diumpulkan ke membran mikrofiltrasi dengan kondisi operasi terbaik yang diperoleh Aghitsni (2008) yaitu TMP 1.74 Bar dan laju alir $0.08 m s^{-1}$.

Reverse Osmosis

Penelitian dilakukan dengan menggunakan 4 laju alir umpan (0.01, 0.015, 0.02, dan 0.03 m s^{-1}) dan 3 TMP (4, 6 dan 8 bar). Pada tahap awal proses filtrasi, keluaran dari membran akan didaur-ulang (*recycling*) sampai diperoleh waktu tunak saat tercapai fluksi yang konstan. Pengambilan contoh akan dilakukan setelah waktu tunak diperoleh.

Pemodelan

Model yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah model difusi-larutan yang dikembangkan Alvarez *et al.* (1997) dan model tahanan adsorpsi yang digunakan oleh Wiltiams (1989). Model yang dianalisis mempertimbangkan jus jeruk sebagai larutan multikomponen dan jenis membran yang digunakan. Pemodelan pada akhirnya bertujuan untuk melihat faktor-faktor yang berpengaruh terhadap mekanisme perpindahan massa pemekatan jus jeruk dengan RO.

Model Solution Diffusion (SD) – teori film

Alvarez *et al.* (1997) menggunakan model SD dikombinasikan dengan teori film untuk memprediksi fluksi permeat pada pemekatan jus apel dengan persamaan sebagai berikut:

$$J = L_p(\Delta P - \Pi(C_m)) \quad (1)$$

$$C_m = C_s \exp(J/k) \quad (2)$$

dimana .

J = fluksi

ΔP = tekanan transmembran atau *Trans Membrane Pressure* (TMP)

L_p = permeabilitas air

$\Pi(C_m)$ = Tekanan osmotik pada permukaan membran.

k = koefisien transfer massa

Model SD – tahanan adsorpsi

Model ini dikembangkan Williams (1989) *di dalam* Williams (2003) untuk menjelaskan rendahnya nilai fluksi (*flux drop*) pada pemisahan dan purifikasi larutan organik dengan LPRO. Model mengasumsikan terjadi adsorpsi larutan organik oleh

permukaan membran yang menyebabkan peningkatan tahanan membran dalam melewatkannya pelarut. Model yang digunakan yaitu:

$$J_w = \frac{\Delta P - \sigma \pi}{R_{mem} + R_{air}} \quad (3)$$

dimana:

- J_w = fluksi air
- = tahanan membran
- R_{ads} = tahanan adsorpsi

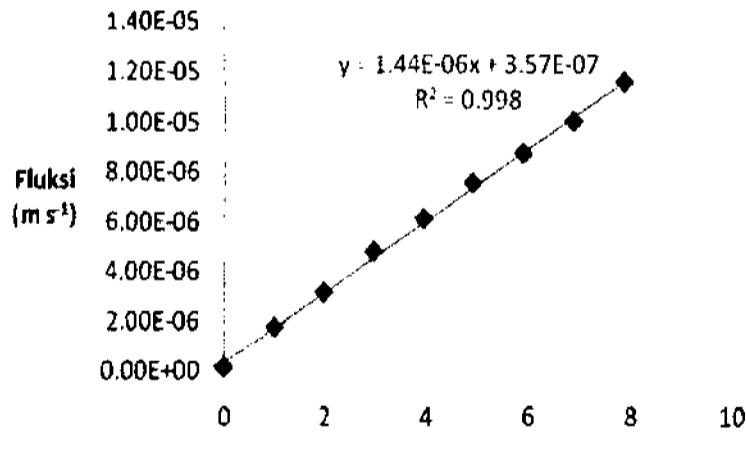
Tahap Pengujian Model

Pada tahapan ini akan dilakukan pengujian terhadap model yang telah diperoleh dengan menggunakan data-data yang diperoleh dari hasil percobaan. Parameter yang akan diuji adalah fluksi permeat. Fluksi yang diperoleh dari hasil percobaan akan dibandingkan dengan fluksi yang dihitung berdasarkan model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Permeabilitas dan Tahanan Membran

Permeabilitas membran dihitung dengan mengukur fluksi air pada laju alir tetap dengan beberapa nilai TMP. Nilai permeabilitas merupakan kemiringan (*slope*) garis persamaan hubungan TMP dengan fluksi air. (Gambar 4)



Gambar 4 Grafik hubungan TMP dengan fluksi air (Laju alir $0.01 m s^{-1}$)

Kemiringan garis dari persamaan pada Gambar 4 menunjukkan nilai permeabilitas membran yaitu sebesar $1.44 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1} \text{ Bar}^{-1}$ atau $5,17 \text{ L m}^{-2} \text{ jam}^{-1} \text{ Bar}^{-1}$. Nilai tahanan membran merupakan kebalikan dari nilai permeabilitas membran dan dilambangkan sebagai R_m , dimana $R_m = 1/L_p$. Nilai tahanan membran RO yang digunakan dalam penelitian ini yaitu $6.94 \times 10^5 \text{ Bar s m}^{-1}$ atau sebesar $0.91 \text{ bar m}^2 \text{ jam L}^{-1}$.

B. Waktu Tunak

Penentuan waktu tunak dilakukan dengan mengukur fluksi jus dalam beberapa waktu pada laju alir dan TMP tetap ($v = 0.03$, $\text{TMP} = 8 \text{ Bar}$). Fluksi yang diperoleh dengan resirkulasi permeat dan retentat relatif stabil selama 20 menit pengukuran. Fluksi stabil mulai dari menit ke-15 hingga menit ke-20. Berdasarkan nilai fluksi ini ditentukan waktu tunak operasi adalah 15 menit.

C. Pernodelan Ro Jus Jeruk

Model yang dianalisis pada penelitian yaitu model SD – teori film dan Model SD – tahanan adsorbsi. Koefisien permeabilitas (L_p) dan tahanan internal membran (R_m) telah dihitung dan dibahas pada bab sebelumnya. Perbedaan tekanan osmosis didapat melalui perhitungan menggunakan model Gibbs yang dimodifikasi Alvarez *et al.* (1997). Tahanan adsorpsi (R_{ads}) dihitung melalui pengukuran tahanan membran setelah membran digunakan untuk filtrasi jus jemk dikurangi tahanan internal membran mengikuti cara Rai *et al.* (2006) dalam menghitung tahanan seri ultrafiltrasi jus jemk mosambi (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck)

1. Perhitungan Tekanan osmotik

Tekanan osmotik diberikan oleh komponen terlarut sebagai gaya tolak pembalikan proses osmosis pada membran semipermeabel terhadap air. Tekanan osmotik dalam penelitian diukur sebagai perbedaan tekanan osmosis pada permukaan membran di sisi umpan dan tekanan osmosis pada sisi permeat sebagai berikut:

$$\Delta\pi = \pi(C_{A2}) - \pi(C_{A3}) \quad (4)$$

Tekanan osmotik pada jus jeruk ditentukan oleh komponen mayor dengan konsentrasi yang tinggi dalam jus jeruk yaitu komponen gula (glukosa dan sukrosa) dan asam organik (asam sitrat). Tekanan osmotik dihitung dengan persamaan berikut:

$$\pi(C_{s1}, C_g, C_c) = -\frac{RT}{V_0} \ln \left[\frac{(1000 - C_s - C_g)/M_w - 4C_s/M_s - 2C_g/M_g}{(1000 - C_s - C_g)/(M_w - 3C_s/M_s - C_g/M_g)} \right] + RT \frac{C_c}{M_s} \quad (5)$$

dimana C_c dan M_c adalah konsentrasi asam sitrat dan berat molekul asam sitrat.

Konsentrasi glukosa pada ditetapkan berdasarkan asumsi prosentase glukosa dalam jus jeruk (ACT 2008) sebesar 52% dari total gula pereduksi. Konsentrasi sukrosa, glukosa dan asam sitrat pada permukaan membran diukur dengan persamaan berikut :

$$C_{mi} = C_{pi} + (C_{bi} - C_{pi}) \exp(J/k_i) \quad (6)$$

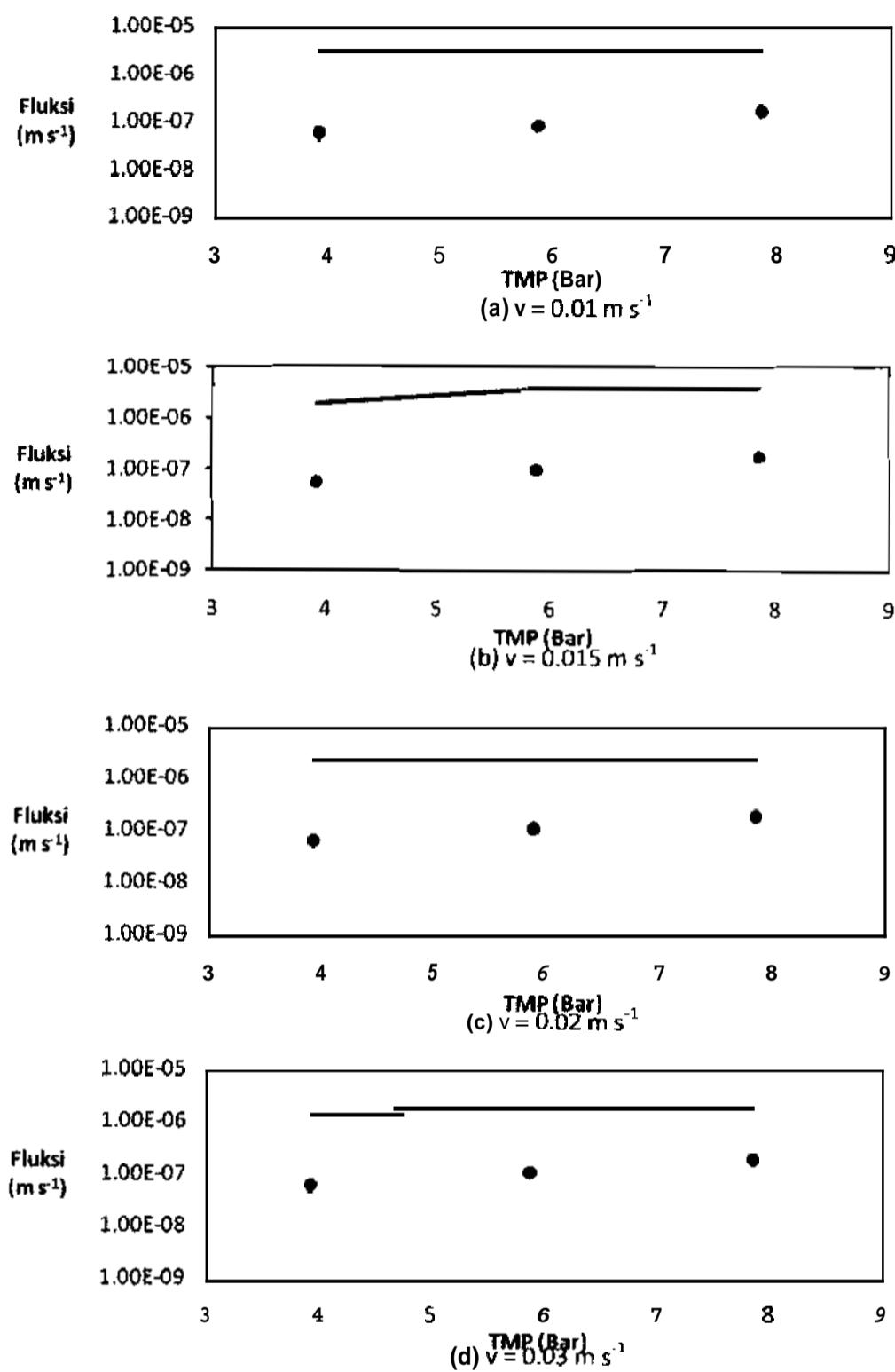
Nilai koefisien transfer massa komponen ke-i (k_i) pada model difusi larutan yang dikembangkan Alvarez *et al.* (1997) diprediksi dari hubungan bilangan tak berdimensi untuk modul *spiral wound* sebagai berikut:

$$k_i = 0.238 \frac{D_i^{0.73} \rho_i^{0.423} \beta_i^{2.8 - 0.625n}}{L_h^{0.73 - 0.625n} \beta_i^{0.423} \left(\frac{\rho_h + \rho_i}{\rho_i} \right)^{0.625n}} \quad (7)$$

2. Model Perpindahan Massa

Model SD – Teori Film

Flux hasil perhitungan dengan model ini sebesar $1.28 \times 10^{-6} - 4.65 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ lebih rendah dibandingkan flux hasil percobaan sebesar $5.47 \times 10^{-8} - 2.02 \times 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$. Flux hasil percobaan lebih kecil satu orde dibandingkan dengan flux perhitungan (Gambar 5), tetapi keduanya menunjukkan pola yang sama. Nilai flux percobaan yang lebih kecil dibandingkan nilai prediksi dapat disebabkan faktor lain seperti jenis membran. Model yang digunakan merupakan model yang telah terbukti sesuai pada RO dengan tekanan tinggi (diatas 20 bar), sedangkan membran yang digunakan merupakan jenis membran RO dengan tekanan rendah (*Low Pressure Reverse Osmosis*).



Gambar 5 Fluksi hasil percobaan (titik) dan hasil prediksi (garis) model SD – teori film pada variasi laju alir

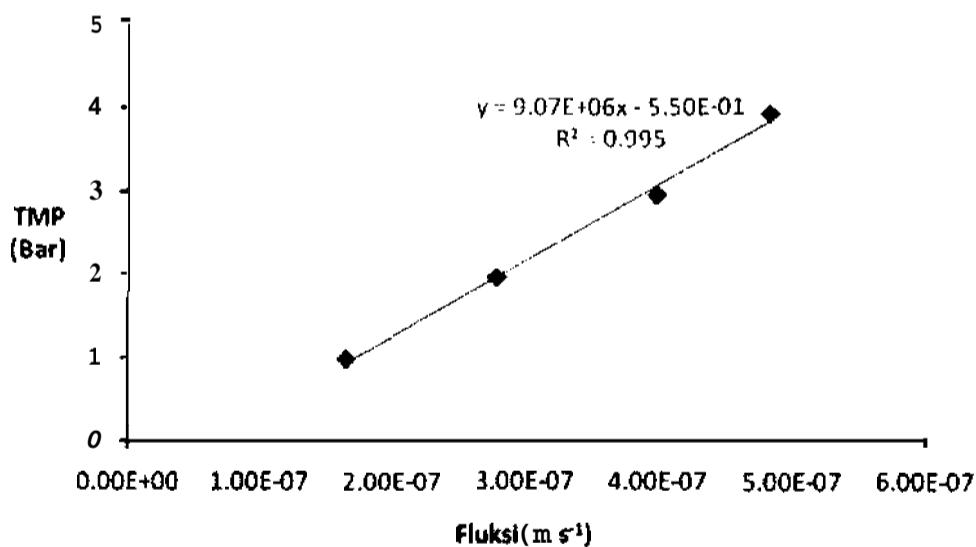
Model SD – Tahanan Adsorpsi

Model SD - tahanan adsorpsi mengikuti persamaan (3) yang digunakan Williams (1989) *di dalam* Williams (2003) *dalam* memprediksi pemisahan larutan organik. Williams (1989) *di dalam* Williams (2003) menggunakan membran RQ dengan tekanan rendah untuk proses separasi dan purifikasi cairan limbah. Model ini dikembangkan juga berdasarkan model SD dengan memasukkan nilai tahanan adsorpsi untuk menjelaskan nilai fluksi yang kecil (*flux drop*) pada proses pemisahan larutan organik.

Perhitungan nilai tahanan adsorpsi mengikuti cara Rai *et al.* (2006) dalam menghitung tahanan seri ultrafiltrasi jus mosambi (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). Nilai tahanan adsorpsi merupakan nilai tahanan membran setelah filtrasi (R'_{m}) dikurangi nilai tahanan membran internal (R_m) yang diukur dengan menggunakan air murni.

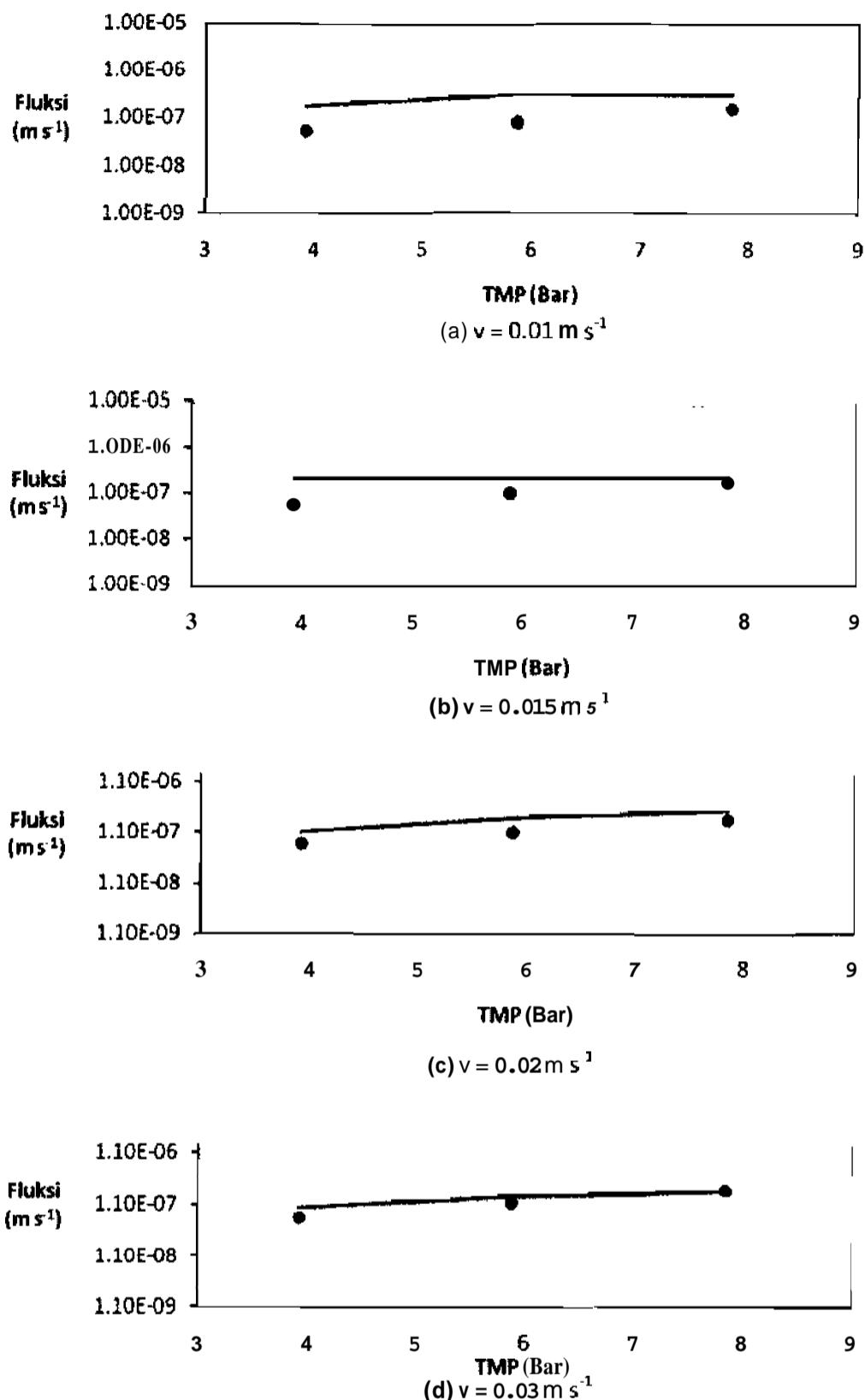
Nilai tahanan setelah filtrasi (R'_{m}) didapat dari pengukuran fluksi air murni pada beberapa TMP setelah membran digunakan untuk filtrasi jus dalam selang waktu tertentu. Membran yang telah digunakan untuk filtrasi jus selanjutnya dibilas dengan air beberapa kali melalui sirkulasi tanpa perlakuan TMP untuk membersihkan sisa jus pada permukaan membran. Fluksi air selanjutnya diukur pada beberapa TMP dan dihitung tahanan niembran setelah filtrasi (R'_{m}) melalui plot garis TMP vs fluksi air (Gambar 6). Nilai kemiringan garis yang didapat merupakan nilai R'_{m} . Nilai tahanan adsorpsi (Rads) didapat dari persamaan sebagai berikut:

$$R_{ads} = R'_{m} - R_m \quad (8)$$



Gambar 6 Plot garis tahanan membran setelah filtrasi (R'_{m})

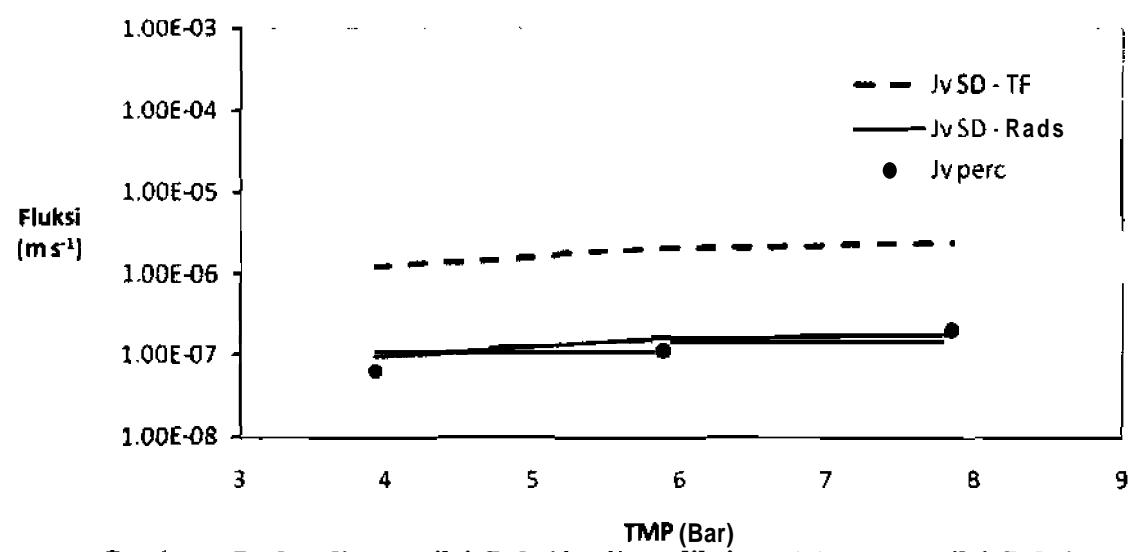
Kemiringan garis pada Gambar 6 menunjukkan nilai $R'm$ sebesar 9.07×10^6 Bar s m⁻¹. Nilai tahanan adsorpsi yang didapat yaitu sebesar 8.38×10^6 Bar s m⁻¹. Besarnya tahanan adsorpsi menunjukkan adanya interaksi antara larutan dengan bahan membran yang digunakan, dalam hal ini sebagian solut pada larutan umpan diadsorpsi oleh permukaan membran dan selebihnya melewati dinding membran melalui proses difusi. Tahanan adsorpsi selanjutnya dimasukkan ke persamaan (3) untuk mendapatkan prediksi fluksi. Nilai fluksi hasil prediksi dengan model sebesar $9.79 \times 10^{-8} - 3.56 \times 10^{-7}$ m s⁻¹ menunjukkan kedekatan nilai dengan fluksi hasil percobaan (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa model SD - tahanan adsorpsi mampu memprediksi fluksi lebih baik dibandingkan model SD - teori film (Gambar 8).



Gambar 7 Fluksi hasil percobaan (titik) dan hasil prediksi (garis) model SD – tahanan adsorpsi pada variasi laju alir

Prediksi nilai fluksi pada variasi laju alir dengan model SD – tahanan adsorpsi menunjukkan perpindahan massa dipengaruhi proses adsorpsi pada dinding membran, dimana peningkatan laju alir akan menurunkan adsorpsi pada dinding membran. Semakin besar laju alir, semakin kecil kontak larutan dengan dinding membran sehingga adsorpsi solut oleh dinding membran semakin kecil. Pengaruh TMP pada fluksi yang diprediksi dengan model SD – tahanan adsorpsi menunjukkan adsorpsi pada dinding membran akan sernakin meningkat dengan peningkatan TMP.

Berdasarkan kedekatan nilai fluksi antara nilai perhitungan dan fluksi percobaan menunjukkan bahwa model SD – tahanan adsorpsi mampu memprediksi fluksi lebih baik dibandingkan model SD – teori film. Tahanan adsorpsi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tahanan membran yang pada akhirnya menyebabkan rendahnya nilai fluksi (*flux drop*) pada pemekatan jus jeruk dengan membran RO yang digunakan. Menurut Goosen *et al.* (2004) tahanan adsorpsi menunjukkan adanya lapisan adsorpsi solut pada permukaan membran yang bersifat *reversible* yang merupakan penyebab utama penurunan fluksi selama filtrasi membran.



Gambar 8 Perbandingan nilai fluksi hasil prediksi model dengan nilai fluksi percobaan ($v = 0.03 \text{ m s}^{-1}$)

3. Neraca Massa Proses Pemisahan Jus Jeruk

Neraca massa digunakan untuk melihat liesetimbangan massa pada proses pemisahan dengan membran, dimana total massa yang masuk (umpan) harus sama dengan total massa yang keluar (permeat dan retentat). Ketidakseimbangan neraca massa menunjukkan adanya *loss* (kehilangan) pada pemisahan membran. Nilai kehilangan

massa dapat menunjukkan adanya adsorpsi pada dinding membran. Neraca massa total gula dapat per satuan waktu (detik) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Neraca massa total gula pada pemisahan jus jeruk

laju alir (m s ⁻¹)	TMP (Bar)	Massa (g s ⁻¹)					% adsorpsi	
		Masuk		Keluar				
		Umpam	Permeat	Retentat	adsorpsi	total		
0.01	4	0.95134	0.00162	0.94967	0.00005	0.95134	0.01	
	6	0.90015	0.00179	0.89818	0.00018	0.90015	0.02	
	8	0.80868	0.00232	0.80413	0.00222	0.80868	0.28	
0.015	4	1.22029	0.00141	1.21886	0.00003	1.22029	0.002	
	6	1.22260	0.00195	1.22046	0.00019	1.22260	0.02	
	8	1.21795	0.00243	1.21315	0.00237	1.21795	0.19	
0.02	4	1.79455	0.00180	1.79273	0.00002	1.79455	0.001	
	6	1.52879	0.00146	1.52715	0.00018	1.52879	0.01	
	8	1.50380	0.00197	1.50000	0.00184	1.50380	0.12	
0.03	4	2.58548	0.00176	2.58368	0.00003	2.58548	0.001	
	6	2.60038	0.00222	2.59799	0.00017	2.60038	0.01	
	8	2.62708	0.00239	2.62215	0.00254	2.62708	0.10	

Tabel 2 menunjukkan nilai ketidakseimbangan antara massa masuk (umpam) dan massa keluar (permeat dan retentat), dimana nilai massa masuk lebih besar dari massa keluar, sehingga terjadi *loss* (kehilangan) massa pada sistem yang disebabkan adanya adsorpsi pada dinding membran. Besar adsorpsi dari Tabel 2 menunjukkan peningkatan nilai yang signifikan dengan kenaikan TMP. Pengaruh laju alir tidak signifikan pada TMP rendah, tetapi pada TMP 8 Bar dari Tabel 2 terlihat dengan kenaikan laju alir terjadi penurunan nilai adsorpsi. Hal ini dapat disebabkan pada TMP tinggi, waktu kontak larutan umpan dengan dinding membran semakin singkat dengan meningkatnya laju alir sehingga komponen solut lebih sedikit teradsorpsi pada dinding membran.

KESIMPULAN

Manisme perpindahan massa proses pemekatan jus jeruk dengan *Reverse Osmosis* dipengaruhi oleh TMP, konsentrasi umpan, laju alir, dan sifat membran yang digunakan yang ditunjukkan oleh kesesuaian nilai fluksi percobaan dengan fluksi prediksi menggunakan model *Solution Diffusion* - tahanan adsorpsi. Kondisi operasi TMP

memberikan pengaruh lebih besar dibandingkan laju alir pada perpindahan massa pemekatan jus jeruk dengan *Reverse Osmosis*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez S, Riera FA, Alvarez R, Coca J, Cuperus FP, Bouwer ST, Boswinkel G, van Gemert KW, Veldsink JW, Giorno L, Donato L, Todisco S, Drioli E, Olsson J, Tragardh G, Gaeta SN, Panyor L. 2000. A new integrated membrane process for producing clarified apple juice and apple juice aroma concentrate. *J. Food Eng.* 46: 109-125.
- Alvarez V, S Alvarez, FA Riera dan R Alvarez. 1997. Permeate flux prediction in apple juice concentration by reverse osmosis. *J. Memb. Sci.* 127: 25-34
- Cassano A, E Drioli, G Galaverna, R. Marchelli, G Di Silvestro, dan P Cagnasso. 2003. Clarification and Concentration of Citrus and Carrot Juices by Integrated Membrane Processes. *J. Food Eng.* 57: 153–163
- Girard B, Fukumoto LR. 2000. Membrane processing of fruit juice and beverages: a review. *Critical Reviews on Food Science and Nutrition*, 40(2): 91–157.
- Goosen MFA, SS Sablani, H Al-Hinai, S Al-Obeidani, R Al-Belushi dan D Jackson. 2004. Fouling of Reverse Osmosis and Ultrafiltration Membranes: A Critical Review. *Separation Science and Technology*, 39 (10): 2261-2298.
- Jesus D.F.,M.F. Leite, L.F.M. Silva, R.D Modesta, V.M. Matta dan L.M.C. Cabral. 2007. Orange (*Citrus sinensis*) juice concentration by reverse osmosis. *J. Food Eng.* 81: 287–291.
- Koseoglu, S S., Lawhon, J. T. & Lusas, E. W. (1990). Use of membranes in citrus juice processing. *Food Technology*, 44(12):90 – 97.
- Rai P, C Rai, GC Majumdar, S DasGupta dan S De. 2006. Resistance in series model for ultrafiltration of mosambi (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) juice in a stirred continuous mode. *J. Memb. Sci* 10: 116-122.
- Silva FT, J G Jardine, V M Matta. 1998. Orange Juice Concentration{*Citrus Sinensis*} By Reverse Osmosis. *Ciênc. Tecnol. Aliment.* Vol.18 Jan. /Apr. 1998. www.scielo.br/scielo.php?script=3dsci_arttext&pid=3ds0101-20611998000100021 [24-05-2007]
- White D, B Ditgens, G Laufenberg. 2002. Concentration of metabolites and other organic salts by batch reverse osmosis. *J. Food Eng.* 53 (2002): 185–192
- Williams ME. 2003 A Review of Reverse *Osmosis* Theory. EET Corporation and Williams Engineering Services Company, Inc.