

REKONSENTRASI LARUTAN GULA PADA PROSES DEHIDRASI OSMOTIK IRISAN MANGGA (*Mangifera indica* L.) DENGAN TEKNIK DISTILASI MEMBRAN DCMD

RECONCENTRATION OF SUGAR SOLUTION IN OSMOTIC DEHYDRATION OF MANGO SLICES (*Mangifera indica* L.) USING DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION

Lilis Suchahyo^{1)*}, Leopold O Nelwan¹⁾, Dyah Wulandani¹⁾, Hiroshi Nabetani²⁾

¹⁾Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga PO Box 220, Bogor 16002
Email : lilissucahyo@gmail.com

²⁾National Food Research Institute (NFRI), Tsukuba, Japan

ABSTRACT

Direct contact membrane distillation (DCMD) with PP (polypropylene) ultrafiltration membrane was used to reconcentrate sugar solution on the osmotic dehydration of mango slices (Indramayu variety). Variables used were the concentration of solution at 30, 35, 40 °Brix and cold temperatures permeate membrane at 5, 10, 15 °C for 8 hours with the membrane feed temperature at 50 °C. The results showed that the concentration of sugar solution increased the rate of water loss, solids gain, mass and volume shrinkage. Temperature differences between feed and permeate also lead to increase membrane flux. Permeate flux obtained in this study was 0.051-0.135 L/m²h. The concentration degree of membrane rejection DCMD was 96.5%, indicating the effective of the process sugar solution reconcentration.

Keywords: osmotic dehydration, sugar reconcentration, membrane distillation DCMD

ABSTRAK

Teknik distilasi membran DCMD (*direct contact membrane distillation*) dengan jenis membran ultrafiltrasi PP (*polypropylene*) digunakan untuk merekonsentrasikan larutan gula pada proses dehidrasi osmotik buah mangga (varietas Indramayu). Variabel yang digunakan adalah konsentrasi larutan gula pada taraf 30, 35, 40 °Brix serta suhu sisi dingin permeat membran pada suhu 5, 10, 15°C. Dehidrasi osmotik dilakukan selama 8 jam dengan suhu umpan membran 50°C. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi larutan akan meningkatkan laju kehilangan air, laju perpindahan padatan terlarut, penyusutan massa dan volume. Perbedaan suhu umpan dan permeat membran juga menyebabkan meningkatnya fluks membran. Fluks permeat yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 0,051-0,135 L/m²h serta derajat konsentrasi rejeksi membran DCMD sebesar 96,5%, menunjukkan distilasi membran DCMD efektif dalam proses rekonsentrasi larutan gula.

Kata kunci : dehidrasi osmotik, rekonsentrasi gula, distilasi membran DCMD

PENDAHULUAN

Salah satu teknik untuk mengkonsentrasikan larutan adalah dengan teknologi membran. Teknik *Direct Contact Membrane Distillation* (DCMD) telah banyak digunakan. Pada teknik ini pemisahan molekul zat (dalam fase cairan) dimana bagian yang dipanaskan (suhu tinggi) dan yang didinginkan (suhu rendah) bersentuhan/kontak secara langsung dengan permukaan membran. Larutan pada sisi umpan akan dipanaskan sehingga molekul air yang terdapat di dalamnya berubah fase menjadi uap, selanjutnya berpindah melewati pori membran dan terkondensasi pada sisi membran permeat karena suhu yang lebih rendah. Proses distilasi membran harus memenuhi beberapa kriteria, seperti menggunakan membran simetrik atau asimetrik berpori, bahan membran tidak terbasahkan oleh cairan (Khayet, 2011). Jenis membran yang digunakan bersifat hidrofobik sebab pemisahan cairan tidak dilakukan secara langsung, akan tetapi menggunakan prinsip perbedaan tekanan uap sehingga hanya fase uap yang akan melewati

membran selama proses berlangsung. Perbedaan tekanan uap memiliki peran yang sangat besar dalam proses perpindahan uap air dari larutan yang dipisahkan.

El-Bourawi *et al.* (2006) menjelaskan tentang aplikasi DCMD secara luas telah digunakan pada berbagai industri, pada proses desalinasi dan pemurnian air laut, industri tekstil (pemurnian air limbah dari zat pewarna), industri kimia dan biomedis serta industri pengolahan pangan (pemekatan konsentrat jus, pengolahan susu serta dan lainnya). Penggunaan DCMD untuk pemekatan jus apel dapat mencapai konsentrasi 50% (Gunko *et al.*, 2006). Aplikasi pada rekonsentrasi glukosa, mendapatkan fluks permeat sebesar 1-2,87 kg/m²h (Bui *et al.*, 2004).

Dehidrasi osmotik merupakan salah satu metode pengawetan bahan pangan menggunakan prinsip perbedaan tekanan osmotik untuk mengeluarkan sebagian kandungan air pada bahan. Pada proses dehidrasi osmotik, bahan pangan direndam ke dalam media osmosis yang memiliki tekanan osmotik lebih tinggi dari tekanan osmotik

bahan sehingga air dari dalam bahan akan keluar ke arah media untuk menyeimbangkan tekanan (Sablani *et al.*, 2003). Beberapa kelebihan dari dehidrasi osmotik diantaranya adalah penggunaan suhu yang relatif rendah sehingga kandungan vitamin dan mineral pada bahan terjaga dengan baik, perbaikan karakteristik sensori, rasa, tekstur serta penampakan produk akhir serta penghematan dan peningkatan efisiensi energi karena tidak terjadi perubahan fase zat selama proses berlangsung.

Meskipun banyak keunggulan dan kemudahan yang ditawarkan pada proses dehidrasi osmotik, dalam skala industri besar masih terdapat kendala dalam hal penggunaan larutan osmotik serta waktu dehidrasi yang diperlukan (Jensen *et al.*, 2011). Selama proses dehidrasi berlangsung air dari bahan akan keluar menuju larutan, sehingga dapat menyebabkan konsentrasi larutan osmotik menjadi rendah atau encer. Untuk produk buah umumnya digunakan perbandingan bahan dan larutan hingga 1:22 (1 kg bahan : 22 l larutan) dengan waktu dehidrasi 5-10 jam (Sablani *et al.*, 2003). Secara ekonomi, penggunaan larutan yang cukup besar ini perlu didaur ulang agar dapat mengoptimalkan penggunaan larutan osmotik serta meningkatkan efektivitas proses dehidrasi.

Material yang digunakan dalam DCMD bersifat hidrofobik seperti jenis PVDF (*Polyvinylidene fluoride*), PTFE (*Polytetrafluoroethylene*) serta PP (*Polypropylene*). Bentuk membran yang digunakan dalam konfigurasi DCMD antara lain *flat sheet*, *spiral wound*, *tubular* dan *hollow fiber* (Drioli *et al.*, 2006). DCMD pada penelitian ini menggunakan ultrafiltrasi dengan *hollow fiber polypropylene*. Karena kemudahan dan ketersediaan di pasaran dibandingkan jenis membran lainnya. Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk memurnikan kembali (rekonsentrasi) larutan gula pada proses dehidrasi osmotik irisan buah mangga. Parameter yang diamati adalah konsentrasi larutan, variasi suhu permeat, perbandingan massa buah-larutan terhadap fluks dan rejeksi membran.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah mangga varietas Cengkir/Indramayu dengan tingkat kematangan yang seragam (kekerasan mangga serta kadar gula dalam °Brix), gula putih komersial (sukrosa), akuades serta air mineral. Alat yang digunakan antara lain set osmotik dehidrator, *heater*, *stirrer*, *hollow fiber* membran PP (*polypropylene*), evaporator, pompa membran RO 50 GPD, pompa air mini (AT380), *pressure gauge*, *hand refractometer* (ATAGO N1-K Fuji 13976), timbangan digital (Excellent DJ-Serries), *drying oven* (SS-204D), *hybrid recorder*, termokopel tipe CC, termometer raksa, kertas saring, mistar penggaris, wadah plastik serta pisau buah. Modul

membran yang digunakan adalah ultrafiltrasi tipe UF S-220 (GDP Membran) jenis *hollow fiber polypropylene*, (diameter 2 inch, panjang 495 mm, konektor umpan-permeat ¼ inch, berat 1,12 kg), ukuran pori 0,05 µm, jumlah fiber 2, 400, luas membran efektif 0,8 m², tekanan operasi 1-2,5 bar, temperatur operasi maks. 50°C.

Metode

Penelitian dilakukan melalui tiga tahapan yaitu pengujian kinerja distilasi membran DCMD, pengamatan karakteristik dehidrasi osmotik irisan buah mangga dan pengukuran kinerja rekonsentrasi proses dehidrasi.

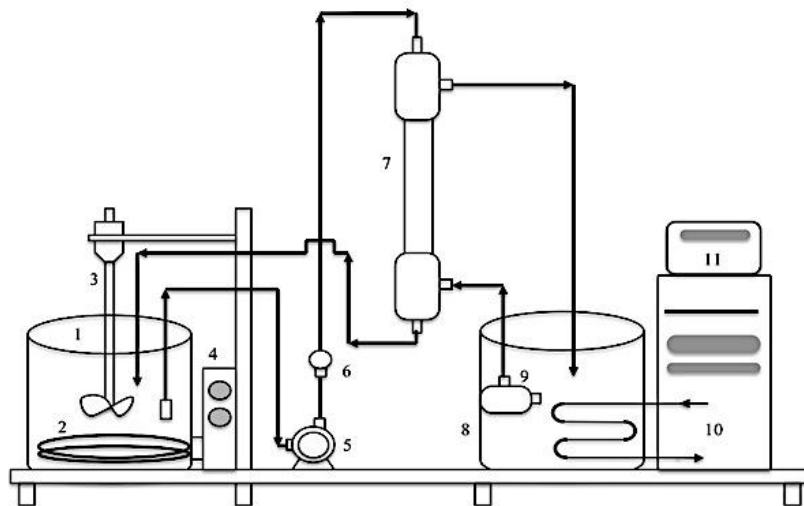
Kerja Membran DCMD

Gambar 1 menunjukkan skema distilasi membran DCMD. Umpan larutan gula sebanyak 5 liter dalam wadah dehidrator divariasikan dengan konsentrasi 30, 35 dan 40 °Brix pada suhu 50°C. Larutan dialirkan secara sirkulasi melalui membran, kemudian aliran retentat diresirkulasi ke umpan. Untuk menjaga suhu dan konsentrasi larutan tetap, digunakan *heater* sebagai pemanas dan *stirrer* untuk pengadukan larutan. Pada sisi permeat, akuades digunakan sebagai larutan sisi dingin dengan perlakuan suhu pada 5, 10 dan 15°C. Suhu akuades dijaga konstan dengan menggunakan pendingin evaporasi. Akuades dialirkan secara sirkulasi melalui membran sebagai penukar panas pada saluran permeat. Retentat berupa larutan gula kembali ke wadah dehidrasi osmotik, sedangkan permeat berupa air akan bercampur dengan akuades. Proses rekonsentrasi larutan dilakukan selama 8 jam dan pengukuran konsentrasi dilakukan setiap 20 menit.

Persiapan larutan osmotik adalah dengan mencampurkan gula putih/pasir dengan akuades, kemudian diukur kadar TPT (total padatan terlarut) dengan refraktometer hingga diperoleh konsentrasi dalam satuan °Brix. Jumlah air dalam larutan yang dipisahkan oleh membran ditentukan dengan menghitung perubahan konsentrasi larutan gula selama proses rekonsentrasi dengan Persamaan 1, dimana C adalah konsentrasi larutan (°Brix), m_a massa air (kg) dan m_g massa gula (kg). Selanjutnya fluks permeat membran diperoleh dengan menghitung volume air V (liter) yang dipisahkan oleh membran pada Persamaan 1 di bagi dengan luasan membran A (m²) serta waktu t (h) seperti tampak pada Persamaan 2.

$$C = \frac{m_g}{m_g + m_a} \dots \dots \dots (1)$$

$$J = \frac{V}{A \times t} \dots \dots \dots (2)$$



Gambar 1. Skema peralatan dehidrasi osmotik dengan distilasi membran DCMD

Keterangan: 1) wadah umpan, 2) heater pemanas, 3) stirrer, 4) termostat dan termometer, 5) pompa membran, 6) pressure gauge, 7) UF S-220 membran, 8) wadah permeat, 9) pompa air mini, 10) evaporator, 11) hybrid recorder dan termokopel CC.

Laju aliran larutan gula dan akuades yang digunakan sebesar 0,6-0,7 L/s pada tekanan 1 atm. Untuk menjaga keseragaman larutan, digunakan stirrer yang menghomogenkan larutan osmotik. Parameter yang diamati adalah perubahan fluks permeat berdasarkan perubahan konsentrasi larutan osmotik serta suhu masuk dan keluar membran pada umpan dan permeat.

Karakteristik Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga

Buah mangga varietas Cengkir/Indramayu dikupas dan diiris melintang dengan ukuran 3 x 3 x 1 cm. Kadar air diukur dengan metode oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Dehidrasi osmotik irisan mangga menggunakan larutan gula dengan konsentrasi 30, 35 dan 40 °Brix. Pengukuran TPT sampel buah mangga dilakukan dengan mengekstrak sampel kemudian diletakkan di lensa refraktometer.

Sampel buah mangga ditimbang, kemudian dimasukan ke dalam larutan gula dengan rasio sampel dan larutan gula 1:20 (massa/volume). Suhu larutan gula dijaga tetap menggunakan heater pada suhu 50°C. Proses dehidrasi dilakukan selama 8 jam. Pada waktu ke 0, 30, 60 dan kelipatan 30 menit berikutnya, dilakukan pengukuran penyusutan massa, penyusutan volume, water loss serta solid gain. Water loss (WL) adalah jumlah air yang keluar dari bahan selama proses dehidrasi, sedangkan solid gain (SG) adalah jumlah padatan terlarut yang masuk ke dalam bahan selama proses dehidrasi osmotik berlangsung (Azzuara, 1992). WL dan SG ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4), dimana WL_t adalah water loss pada waktu t (%), SG_t adalah solid gain pada waktu t (%), w_0 adalah

massa awal bahan (gram), w_t massa bahan pada waktu ke t menit (gram), m_0 adalah kadar air awal bahan (%), m_t adalah kadar air bahan pada waktu ke t menit (%). Pemodelan dehidrasi osmotik (Persamaan 5) dilakukan dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Azzuara (1992) dimana S_1 adalah konstanta yang berkaitan dengan dehidrasi osmotik dan WL_{∞} adalah water loss pada kondisi kesetimbangan (%).

$$WL_t = \left(m_0 - m_t \frac{w_t}{w_0} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$SG_t = \frac{w_t(100 - m_t) - w_0(100 - m_0)}{w_0} \dots \dots (4)$$

$$WL_t = \frac{S_1 t (WL_{\infty})}{1 + S_1} \dots \dots \dots (5)$$

Rekonsentrasi Proses Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga dengan DCMD

Hasil pengukuran fluks permeat pada tahap I selanjutnya diplotkan dalam grafik hubungan antara konsentrasi larutan dengan laju massa air yang dipindahkan pada berbagai kondisi perlakuan suhu permeat. Tahap berikutnya, nilai WL yang diperoleh pada tahap II diplotkan dalam grafik hubungan antara konsentrasi larutan gula dengan laju massa air yang keluar dari bahan pada berbagai massa buah awal yang digunakan. Dari kedua grafik tersebut akan diperoleh hubungan antara massa air yang keluar bahan dengan massa air yang mampu dipisahkan dari larutan sehingga akan diperoleh perbandingan massa buah : larutan yang optimal

dalam proses rekonsentrasi dengan membran DCMD. Proses evaluasi kinerja distilasi membran DCMD dalam memekatkan larutan gula pada dehidrasi osmotik irisan buah mangga meliputi perubahan nilai konsentrasi larutan, nilai WL_t dan SG.

Pengukuran dan pemodelan simulasi dilakukan untuk mengetahui laju perubahan konsentrasi larutan gula pada proses dehidrasi osmotik tanpa membran dan dengan membran DCMD selama proses rekonsentrasi. Pada pemodelan tanpa membran, nilai koefisien dehidrasi osmotik S_1 serta WL_{∞} yang diperoleh, dijadikan sebagai acuan dalam menentukan besarnya nilai WL_t pada t menit untuk berbagai tingkat konsentrasi larutan. Solusi persamaan non linier dari hasil perhitungan diselesaikan dengan menggunakan metode numerik Euler, sehingga diperoleh besar nilai konsentrasi larutan pada waktu yang ditentukan dengan Persamaan 6.

$$w_{i+1} = w_i + \Delta t \cdot f(t)$$

dimana $f(t)$ adalah turunan pertama yang dinyatakan dengan ;

$$\frac{dw}{dt} = f(t)$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{S_1 t W_{L_{\infty}} W_o}{1 + S_1 t}$$

sehingga,

$$f(t) = \frac{S_1 W_{L_{\infty}} W_o}{(1 + S_1 t)^2} \dots \dots \dots (6)$$

Selama proses rekonsentrasi dengan membran, laju perubahan konsentrasi larutan C terhadap waktu (dC/dt) akan dipengaruhi oleh perubahan massa air di dalam larutan gula. Pemodelan simulasi dilakukan dengan menentukan hubungan antara perubahan konsentrasi larutan terhadap waktu dC/dt ke dalam fungsi $f(C, t)$. Fungsi $f(C, t)$ diperoleh dengan melakukan regresi kuadratik melalui data fluks membran pada suhu permeat 5°C, konsentrasi awal 30, 35 dan 40 °Brix. Pemodelan dehidrasi osmotik dengan membran DCMD meliputi hubungan antara fluks terhadap konsentrasi larutan. Besarnya nilai fluks dipengaruhi oleh luasan membran tersebut terhadap waktu (Persamaan 7).

$$\frac{dC}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_s}{m_s + m_w} \right)$$

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{m_s \frac{dm_w}{dt}}{(m_s + m_w)^2}$$

dimana, $\frac{dm_w}{dt} = -J \times A$
 $\frac{dC}{dt} = \frac{m_s}{(m_s + m_w)^2} J \times A$

sehingga,

$$J \times A = \frac{dC}{dt} \times \frac{(m_s + m_w)^2}{m_s} \dots \dots \dots (7)$$

Evaluasi kinerja rekonsentrasi distilasi membran DCMD dilakukan dengan menghitung derajat konsentrasi/ rejeksi gula (Warczok *et al.*, 2007) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 8, dimana CD derajat konsentrasi (%), C_{FR} konsentrasi akhir larutan gula (°Brix) dan C_{IR} konsentrasi awal larutan gula (°Brix).

$$CD = \frac{C_{FR}}{C_{IR}} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinerja Distilasi Membran DCMD

Berdasarkan pengamatan diperoleh hasil bahwa peningkatan perbedaan suhu umpan dan permeat atau penurunan suhu permeat akan meningkatkan fluks membran serta konsentrasi larutan gula yang dipekatkan. Perubahan konsentrasi tertinggi pada penelitian ini diperoleh pada konsentrasi awal sebesar 30 °Brix meningkat menjadi 34,6 °Brix pada suhu permeat sebesar 5°C, dengan fluks permeat rata-rata sebesar 0,136 L/m².h. Perubahan konsentrasi terendah diperoleh pada konsentrasi awal sebesar 40 °Brix menjadi 41,8 °Bx pada suhu permeat sebesar 15°C, dengan fluks permeat sebesar 0,051 L/m².h (Gambar 2).

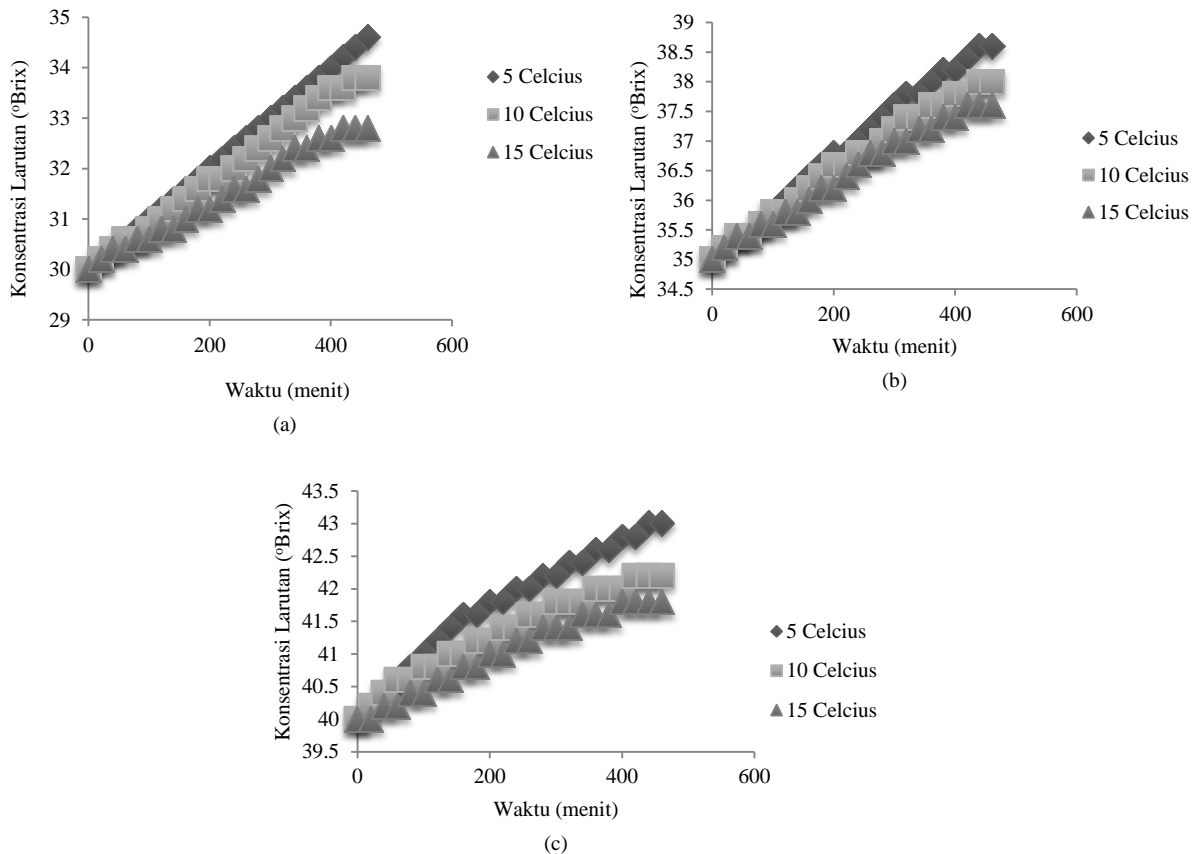
Perubahan konsentrasi akan semakin kecil dan terjadi secara lambat seiring dengan peningkatan suhu permeat serta konsentrasi larutan yang dipekatkan. Massa air yang dipindahkan berbanding lurus dengan perubahan konsentrasi larutan, semakin tinggi perubahan konsentrasi larutan gula yang dipekatkan maka akan semakin banyak massa air yang mampu dipindahkan oleh membran dari larutan gula. Jumlah massa air yang dipindahkan merupakan massa uap air yang mampu melewati membran dan terkondensasi pada sisi permeat membran.

Total uap air per satuan luasan membran selama waktu tertentu menghasilkan fluks permeat membran yang menjadi parameter kinerja membran DCMD dalam memisahkan komponen gula dan air dalam proses rekonsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi larutan gula yang digunakan maka semakin banyak molekul air yang diikat oleh molekul gula. Perbedaan konsentrasi larutan gula juga menyebabkan kenaikan titik didih dari larutan akan meningkat. Hal tersebut menyebabkan kandungan air dalam larutan yang berubah menjadi

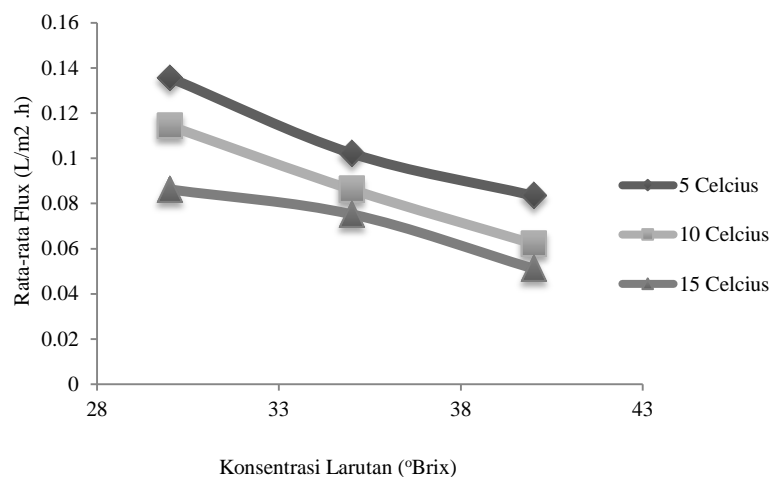
fase uap akan dipengaruhi oleh konsentrasi larutan gula. Semakin tinggi konsentrasi larutan yang digunakan, maka semakin sulit dan sedikit jumlah air yang mampu diuapkan dan melewati membran.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan serta fluks permeal membran pada berbagai kondisi suhu permeal perlakuan. Tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan yang dipekatkan maka fluks permeal juga akan

semakin berkurang. Hal tersebut juga terjadi pada perubahan suhu permeal atau sisi dingin membran, dimana semakin besar suhu yang digunakan maka fluks permeal menjadi semakin kecil. Selain konsentrasi larutan, perbedaan suhu antara sisi umpan dan permeal juga mempengaruhi kinerja fluks distilasi membran DCMD.



Gambar 2. Perubahan konsentrasi larutan gula dengan distilasi membran DCMD pada (a) 30 °Brix, (b) 35 °Brix, (c) 40 °Brix



Gambar 3. Hubungan antara rata-rata fluks dan konsentrasi larutan pada berbagai nilai suhu permeal

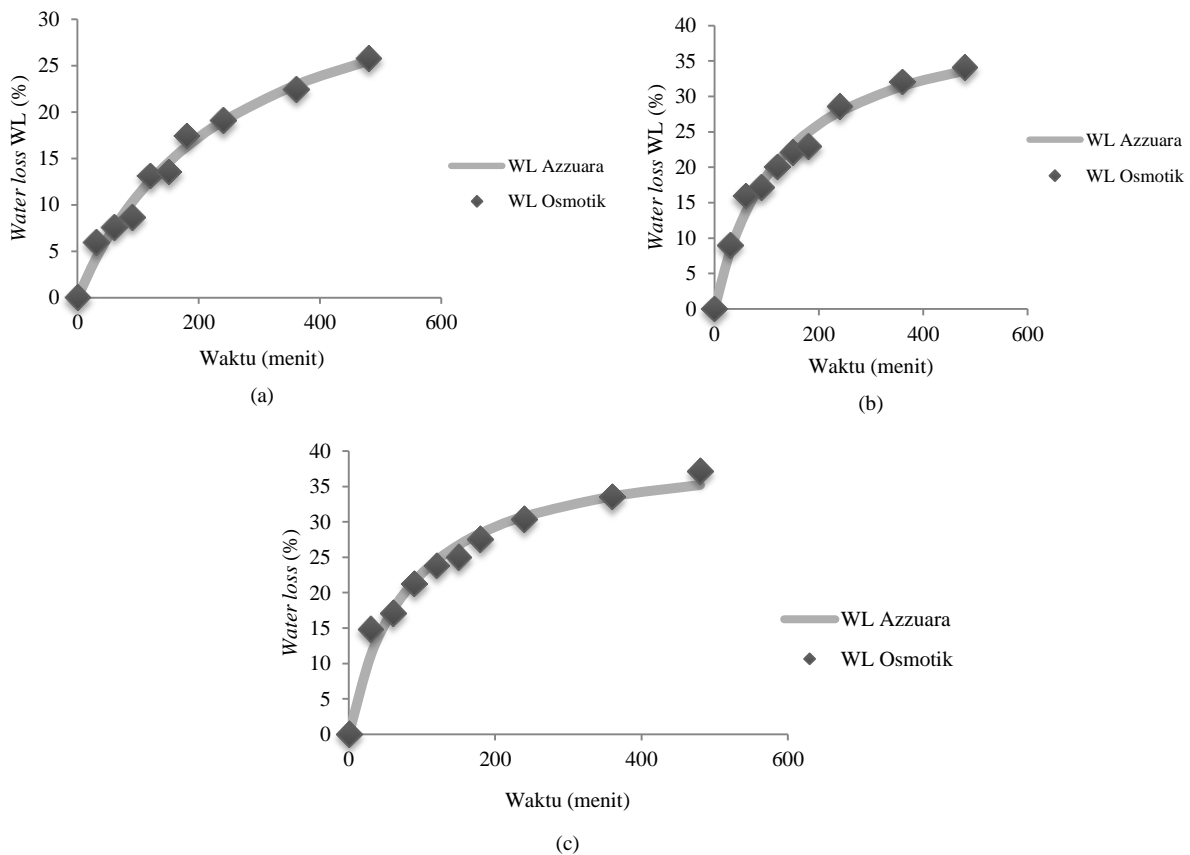
Karakteristik Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga

Dalam waktu 8 jam proses dehidrasi osmotik, diperoleh besarnya nilai WL pada konsentrasi 30, 35 dan 40 °Brix adalah 25,66%, 33,72% dan 37,81%. Peningkatan nilai WL dapat disebabkan karena pada kondisi konsentrasi yang lebih tinggi terjadi perbedaan tekanan osmotik yang lebih besar antara larutan gula dengan air yang terdapat di dalam irisan mangga. Perbedaan tekanan tersebut menjadi *driving force* yang menyebabkan massa air pada bahan mengalir keluar membran dan jaringan bahan menuju media larutan.

Terdapat tiga jenis air yang terkandung di dalam bahan, yaitu air bebas dan air terikat secara fisik dan air terikat secara kimia. Laju pengeluaran air yang cepat pada awal proses dehidrasi osmotik disebabkan oleh jenis air bebas yang keluar pada rongga bahan. Air terikat secara fisik merupakan kandungan air yang terdapat dalam jaringan matriks bahan karena adanya ikatan-ikatan fisik. Pada irisan buah mangga, jenis air terikat fisika dapat berupa air yang terkurung diantara tenunan (serat) bahan sehingga menjadi sulit untuk diuapkan. Air terikat secara kimia merupakan jenis air yang terikat sebagai kristal (hidrat) dengan molekul garam-garaman atau mineral pada bahan. Diperlukan energi yang cukup besar untuk menguapkan jenis air ini agar bisa terlepas dengan ikatan hidrat yang dibentuk.

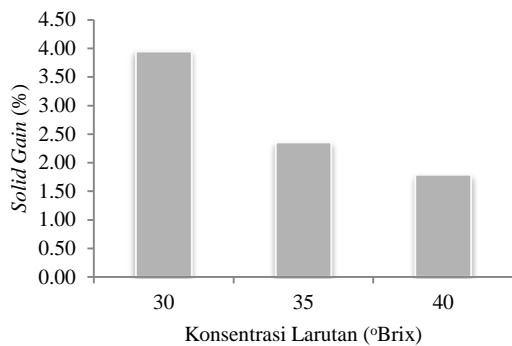
Laju dehidrasi osmotik yang semakin kecil dapat disebabkan karena kandungan air terikat pada bahan yang cukup sulit untuk dikeluarkan. Perbedaan tekanan osmotik antara konsentrasi larutan gula dengan bahan tidak mampu untuk menarik atau mengeluarkan air yang berikatan dalam bentuk hidrat dengan bahan. *Water loss* tak hingga (WL_{∞}) menunjukkan tingkat kehilangan air pada kondisi kesetimbangan dimana perbedaan tekanan antara bahan dan lingkungan menjadi cenderung sama atau seragam. Perbedaan tekanan tidak mampu lagi mengeluarkan kandungan air pada bahan secara optimal. Nilai WL_{∞} dapat digunakan untuk menentukan waktu efektif dalam proses dehidrasi osmotik.

Gambar 4 menunjukkan perbandingan nilai WL_t antara pengamatan dengan prediksi model dehidrasi osmotik pada berbagai tingkat konsentrasi larutan gula. Pemodelan dehidrasi osmotik pada berbagai tingkat konsentrasi diperoleh nilai WL_{∞} pada 30, 35 dan 40 °Brix adalah sebesar 38,82%, 42,52 dan 41,16%. Besarnya nilai koefisien dehidrasi osmotik S_1 yang diperoleh dari Persamaan 5 pada konsentrasi 30, 35 dan 40 °Brix adalah sebesar 0,0040, 0,0078 serta 0,0123. Tampak bahwa semakin tinggi konsentrasi awal larutan osmotik akan semakin besar pula nilai koefisien dehidrasi osmotik yang dihasilkan.



Gambar 4. Model dehidrasi osmotik (Azuara) pada berbagai tingkat konsentrasi larutan (a) 30 , (b) 35 dan (c) 40 °Brix.

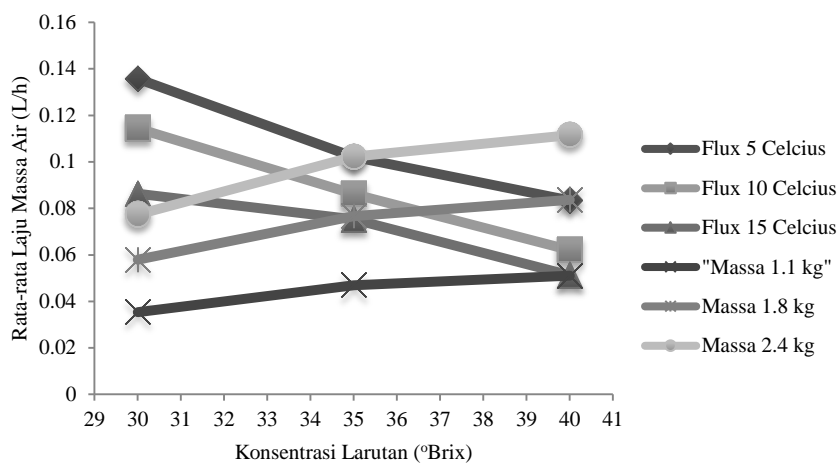
Solid gain (SG) adalah jumlah padatan terlarut yang masuk ke dalam bahan selama proses dehidrasi osmotik berlangsung (Azzuara *et al.*, 1992). Hasil pengamatan menunjukkan nilai SG mengalami penurunan pada tingkatan konsentrasi yang lebih tinggi yaitu 3,81%, 1,97% dan 1,79% (Gambar 5). Pada proses dehidrasi osmotik terjadi proses keluarnya air pada bahan yang diikuti dengan masuknya jenis padatan terlarut dari larutan osmotik serta pertukaran komponen kimia. Nilai SG diharapkan dapat serendah mungkin untuk mengurangi pengaruh larutan terhadap rasa dan kualitas organoleptik irisan buah mangga.



Gambar 5. Perubahan nilai SG pada konsentrasi 30, 35 dan 40 °Brix selama proses dehidrasi osmotik.

Rekonsentrasi Larutan Gula dengan Membran DCMD pada Dehidrasi Osmotik Irisan Mangga

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara fluks membran dan massa bahan terhadap konsentrasi larutan gula umpan. Evaluasi kinerja membran dilakukan dengan pemilihan nilai WL terbaik pada pengamatan sebelumnya, yaitu pada kondisi konsentrasi larutan 40 °Brix dan fluks membran terbesar yaitu pada suhu permeat 5°C.

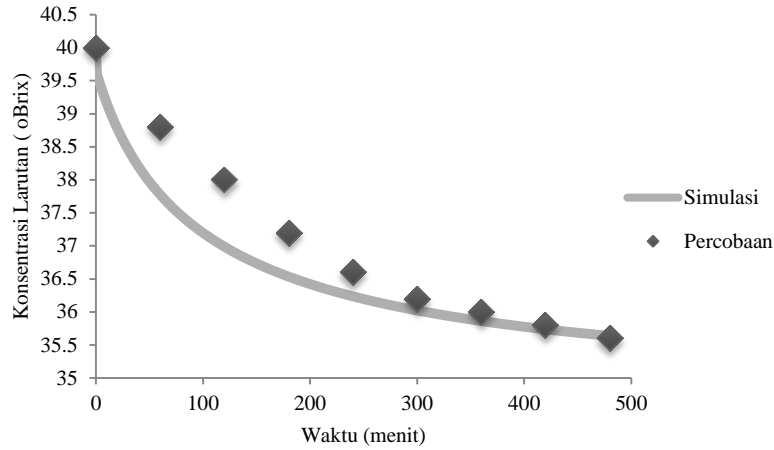


Gambar 6. Kondisi operasi kerja rata-rata fluks membran DCMD dan massa bahan terhadap konsentrasi larutan gula

Berdasarkan plot grafik pada Gambar 6, diperoleh besarnya massa bahan pada konsentrasi 40 °Brix dan suhu permeat 5°C sebesar 1,8 kg dan massa larutan gula sebesar 5 liter, sehingga diperoleh perbandingan massa : larutan gula sebesar 1 : 2,78 atau dapat disetarakan menjadi 1 : 3. Melalui data perbandingan fluks permeat dan laju perpindahan air pada irisan mangga dapat diperoleh berbagai besarnya perbandingan massa bahan optimal yang dapat digunakan untuk aplikasi distilasi membran DCMD dalam merekonsentrasikan larutan gula selama proses dehidrasi osmotik.

Sebagai contoh, pada konsentrasi larutan 35 °Brix maka pilihan proses dehidrasi osmotik adalah dengan massa bahan 1,8 kg pada suhu permeat 15°C atau dengan massa bahan 2,4 kg pada suhu permeat 5°C. Semakin rendah konsentrasi larutan gula serta suhu permeat yang digunakan, maka semakin besar pula massa buah untuk dehidrasi osmotik. Akan tetapi faktor ukuran dan dimensi wadah juga perlu dipertimbangkan agar semua massa buah dapat terbasahi/terendam dengan larutan gula sehingga proses dehidrasi dapat berlangsung dengan baik.

Gambar 7 menunjukkan perubahan konsentrasi larutan gula dari kondisi awal 40 °Brix menjadi 35,6 °Brix. Selama proses dehidrasi osmotik berlangsung, air dari bahan akan keluar menuju larutan sehingga dapat menurunkan konsentrasi larutan gula. Perhitungan secara simulasi model dilakukan dalam penentuan perubahan konsentrasi larutan selama dehidrasi osmotik. Nilai WL_{∞} dan S_1 pada berbagai konsentrasi perlakuan digunakan untuk menentukan hubungan antara nilai WL_t terhadap laju perubahan konsentrasi larutan osmotik (C). Persamaan (8) dan (9) diperoleh dari regresi kuadratik nilai WL_{∞} dan S_1 pada percobaan sebelumnya, kemudian nilai tersebut dimasukkan pada Persamaan (10) untuk menentukan laju perubahan konsentrasi terhadap waktu selama rekonsentrasi.



Gambar 7. Perubahan konsentrasi larutan gula selama dehidrasi osmotik tanpa rekonsentrasi membran DCMD

$$WL_{\infty} = -0,101 C^2 + 7,3075 C - 89,475 \dots\dots\dots (8)$$

$$S_1 = 0,00001 C^2 - 0,00008 C + 0,0081 \dots\dots\dots (9)$$

$$\frac{d_w}{d_t} = \frac{S_{1\ model} t W_{L_{\infty}\ model}}{1 + S_{1\ model} t} W_o$$

$$f(t) = \frac{S_{1\ model} W_{L_{\infty}\ model} W_o}{(1 + S_{1\ model} t)^2} \dots\dots\dots (10)$$

Nilai konsentrasi awal larutan osmotik dimasukkan ke dalam persamaan sehingga menghasilkan nilai WL_{∞} dan S_1 yang kemudian digunakan untuk mengetahui besarnya nilai WL_t pada waktu t menit. Nilai WL_t menentukan massa air yang keluar dari bahan ke larutan dan mempengaruhi nilai perubahan konsentrasi larutan gula. Penyelesaian solusi dari persamaan diferensial dilakukan dengan metode numerik Euler. Proses dilakukan secara simultan sehingga memperoleh laju perubahan konsentrasi larutan hingga waktu t yang ditentukan.

Gambar 7 juga menunjukkan bahwa laju penurunan konsentrasi larutan terjadi secara cepat pada awal proses dehidrasi. Hal tersebut terjadi karena pada kondisi konsentrasi yang tinggi memiliki perbedaan tekanan osmosis yang besar antara lingkungan dan bahan, sehingga semua kandungan air bebas pada bahan mudah untuk mengalir keluar. Perubahan konsentrasi semakin melambat seiring waktu dehidrasi, hal tersebut dapat disebabkan karena konsentrasi yang menurun sehingga perbedaan tekanan osmosis berkurang serta sebagian air yang terkandung pada bahan merupakan jenis air terikat secara fisik dan kimia.

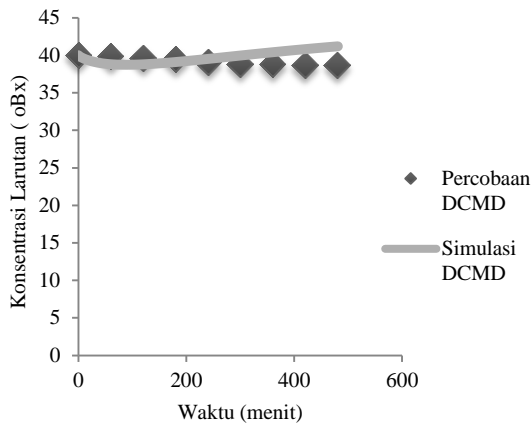
Perhitungan dengan simulasi numerik Euler menunjukkan besarnya penurunan konsentrasi

larutan gula pada dehidrasi osmotik irisan mangga menjadi 35,64 °Brix. Perbedaan nilai terjadi pada proses laju penurunan konsentrasi, dimana pada waktu ke 60-240 menit nilai hasil simulasi lebih rendah dibandingkan dengan nilai percobaan. Kondisi tersebut dapat disebabkan karena perbedaan karakteristik mangga yang digunakan saat membangun model persamaan serta pada saat pengamatan, meskipun keseragaman jenis mangga sudah diupayakan.

Perubahan konsentrasi larutan gula pada proses rekonsentrasi dengan distilasi membran DCMD ditunjukkan oleh Gambar 8. Pemodelan simulasi dilakukan dengan menentukan hubungan antara perubahan konsentrasi larutan terhadap waktu dC/dt ke dalam fungsi $C = f(t)$. Fungsi $f(t)$ diperoleh dengan melakukan regresi kuadratik melalui data fluks membran pada suhu permeat 5°C, konsentrasi awal 30, 35 dan 40 °Brix. Persamaan dC/dt ditentukan melalui turunan dari regresi kuadratik yang diperoleh sebelumnya, selanjutnya melalui solusi persamaan kuadratik berganda dicari hubungan antara perubahan konsentrasi terhadap waktu dengan persamaan :

$$dC/dt = a_1t^2 + a_2t + a_3C^2 + a_4C + a_5tC + a_6$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 dan a_6 berturut turut sebesar $1,31 \times 10^{-8}, 5,49 \times 10^{-5}, -7,22 \times 10^{-6}, 5,34 \times 10^{-5}, -1,76 \times 10^{-6}$ dan $2,3 \times 10^{-5}$. Nilai dC/dt dari persamaan kuadrat berganda kemudian disubstitusi ke dalam Persamaan 7, sehingga dapat diperoleh nilai $J \times A$. Besarnya nilai $J \times A$ akan berubah-ubah sesuai konsentrasi dan waktu.



Gambar 8. Perubahan konsentrasi larutan gula selama dehidrasi osmotik dengan rekonsentrasi membran DCMD

Tampak bahwa terjadi penurunan dari konsentrasi awal larutan sebesar 40°Brix menjadi $38,6^{\circ}\text{Brix}$ dengan nilai WL bahan sebesar $38,05\%$. Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa rekonsentrasi membran, konsentrasi akhir larutan menjadi sebesar $35,6^{\circ}\text{Brix}$ dengan nilai WL bahan sebesar $36,79\%$. Konsentrasi larutan mengalami penurunan pada awal proses rekonsentrasi karena banyaknya jumlah air yang keluar dari bahan dalam konsentrasi larutan gula yang masih tinggi. Dalam hal ini kemampuan membran dalam memisahkan air dari larutan tidak sebanding dengan laju air yang keluar dari bahan.

Pada waktu t tertentu, konsentrasi larutan kemudian meningkat kembali karena laju air yang keluar dari bahan menjadi lambat akibat penurunan konsentrasi larutan. Pada kondisi tersebut, kemampuan membran dapat menyesuaikan dengan perubahan kandungan air pada larutan, sehingga konsentrasi larutan kembali meningkat perlahan. Perubahan konsentrasi pada perhitungan dengan simulasi model tampak lebih besar jika dibandingkan dengan pengamatan, akan tetapi kenaikan tersebut melandai hingga pada akhirnya konstan.

Hasil pengamatan menunjukkan kinerja distilasi membran DCMD tidak dapat secara 100% menjaga konsentrasi larutan pada kondisi tetap 40°Brix . Penurunan laju konsentrasi larutan gula selama proses rekonsentrasi DCMD dapat disebabkan karena *fouling* dan polarisasi konsentrasi

suhu pada membran. *Fouling* membran umumnya disebabkan oleh akumulasi endapan partikel submikron pada permukaan membran dan dalam pori-pori membran (Uju, 2005). *Fouling* terjadi lebih cepat sebagai akibat adanya padatan terlarut pada bahan mangga (*solid gain*) yang masuk ke dalam larutan gula dan tidak tersaring pada filter selang membran dibandingkan *fouling* yang terjadi pada kondisi rekonsentrasi tanpa bahan. Polarisasi konsentrasi suhu pada DCMD menyebabkan perbedaan gradien antara permukaan membran dan lapisan batas (*boundary layer*) yang mempengaruhi tekanan uap antar sisi umpan dan permeat (Gambar 9).

Efektivitas kinerja distilasi membran DCMD dapat ditentukan melalui derajat rejeksi membran yaitu persentase perbandingan konsentrasi awal dan akhir larutan gula yang dipekatkan (Persamaan 8). Besarnya nilai derajat konsentrasi gula dalam penelitian ini sebesar $96,5\%$. Hasil pengamatan juga menunjukkan bahwa nilai WL irisan mangga pada perlakuan dehidrasi osmotik dengan distilasi membran DCMD lebih besar jika dibandingkan dengan perlakuan tanpa membran. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa membran ultrafiltrasi jenis *hollow fiber membrane polypropylene* yang difungsikan sebagai distilasi membran DCMD dapat digunakan untuk merekonsentrasikan larutan gula pada dehidrasi osmotik irisan buah mangga.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Distilasi membran DCMD dengan ultrafiltrasi *hollow fiber membrane PP (polypropylene)* dapat digunakan untuk merekonsentrasikan larutan gula pada tingkat konsentrasi $30, 35$ dan 40°Brix dengan fluks permeat rata-rata berkisar antara $0,051-0,135 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$. Fluks permeat menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi larutan gula dan suhu permeat (sisi dingin). Nilai WL berbanding lurus terhadap peningkatan konsentrasi larutan serta laju perpindahan air dari bahan ke larutan. Dalam penelitian ini diperoleh nilai WL pada konsentrasi $30, 35$ dan 40°Brix sebesar $25,66\%, 33,72\%$ dan $37,81\%$.

Evaluasi kinerja rekonsentrasi gula dengan distilasi membran DCMD pada konsentrasi 40°Bx , perbandingan massa bahan : larutan gula sebesar $1:3$, suhu umpan 50°C , suhu permeat 5°C selama 8 jam menghasilkan nilai derajat rejeksi sebesar $96,5\%$. Model neraca massa berbasis kehilangan air (WL) pada irisan mangga dengan persamaan numerik Euler dapat digunakan untuk memprediksi laju penurunan konsentrasi larutan gula selama proses dehidrasi osmotik, sedangkan perubahan konsentrasi selama proses rekonsentrasi dengan distilasi

membran DCMD dapat ditentukan oleh pendekatan regresi kuadratik berganda.

Saran

Pengembangan penelitian rekonsentrasi larutan osmotik selanjutnya dapat menggunakan material membran yang memiliki konduktivitas termal rendah seperti jenis PTFE (*polytetrafluoroethylene*) atau jenis PVDF (*polyvinylidene fluoride*) untuk mengurangi perpindahan panas (*heat transfer*) antar sisi membran serta memiliki tingkat hidrofobik lebih tinggi dibandingkan dengan membran jenis PP (*polypropylene*). Untuk meningkatkan fluks permeat dapat digunakan variasi laju aliran dan suhu umpan dan permeat yang lebih beragam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada program penelitian UNU-KIRIN dengan no kontrak 600 UU-2010-536, yang telah membantu pendanaan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azuara E, Cortes R, Garcia HS, Beristain CI. 1992. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with fick's second law. *Int J Food Sci Tech.* 27:409-418.
- Bui VA, Min H, Ngunyen, Muller J. 2004. A laboratory study on glucose concentration by osmotic membrane distillation in hollow fiber membrane module. *J Food Eng.* 63: 237-245.
- Drioli E, Criscuoli A, dan Curcio E. 2006. *Membrane contactors: fundamentals, applications and potentialities*. Amsterdam: Elsevier.
- El-Bourawi MS, Ding Z, Ma R, Khayet M. 2006. A framework for better understanding membrane distillation separation process. *J Membr Sci.* 285: 4-29.
- Gunko S, Verbych S, Bryk M, Hilal N. 2006. Concentration of apple juice using direct contact membrane distillation. *Desalination* 190:177-124.
- Jensen MB, Christensen KV, Andrésen R, Sotof LF, Norddahl B. 2011. A model of direct contact membrane distillation for black currant juice. *J Food Eng.* 107:405-414.
- Khayet M dan Matsuura T. 2011. *Membran distillation principles and applications*. Amsterdam (NL): Elsevier.
- Sablani SS dan Rahman MS. 2003. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. *Food Res Int.* 36:65-71.
- Sharmiza A, Hoang M, Wang H, Xie Z. 2012. Commercial PTFE membranes for membrane distillation application: effect of microstructure and support material. *Desalination* 284: 297-308.
- Uju. 2005. Kajian proses pemurnian dan pengkonsentrasian karaginan dengan membran mikrofiltrasi. [Tesis]. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Warczok J, Gierszewska M, Kujawski W, Guell C. 2007. Application of osmotic membrane distillation for reconcentration of sugar solution from osmotic dehydration. *Separ Purif Tech.* 57:425-429.