

ANALISIS PERMEASI AIR PADA DEHIDRASI OSMOSIS PEPAYA (*Carica papaya*)

Water Permeation Analysis on Osmotic Dehydration of Papaya (*Carica papaya*)

Sang Kompiang Wirawan, Natalia Anasta

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
Jl. Grafika 2, Kampus Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 55281
Email: skwirawan@chemeng.ugm.ac.id

ABSTRAK

Pengawetan buah dengan pengeringan suhu rendah pada umumnya diawali dengan proses dehidrasi osmosis. Lama waktu osmosis sangat dipengaruhi oleh permeasi air dari bahan ke larutan osmosis. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses dehidrasi osmosis dan kecepatan permeasi air dari pepaya ke larutan gula sebagai larutan osmosis melalui membran semipermeabel. Pengaruh suhu dan konsentrasi larutan osmosis terhadap kecepatan permeasi air juga diamati. Suhu osmosis adalah 30, 40, 50, dan 60°C, sedangkan konsentrasi larutan osmosis 55, 60, 65, dan 70%. Untuk mempelajari kecepatan permeasi air melalui membran, digunakan model matematis sederhana berdasar pada hukum Fick's dan Van't Hoff. Secara umum hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan konsentrasi larutan osmosis kecepatan permeasi air juga semakin tinggi. Profil dehidrasi osmosis menunjukkan karakteristik yang sama dengan profil proses pengeringan suhu tinggi. Dengan bertambahnya waktu osmosis, air yang berpindah dari potongan pepaya ke dalam larutan osmosis juga semakin banyak. Pemodelan matematis memberikan gambaran bahwa koefisien transfer massa dan difusivitas efektif meningkat dengan naiknya suhu dan konsentrasi larutan osmosis Permeabilitas membran pada bahan menunjukkan karakteristik yang spesifik pada rentang kondisi operasi yang dipelajari.

Kata kunci: Osmosis, permeasi, dehidrasi, *permeable*, membran

ABSTRACT

Fruit preservation using low temperature drying is commonly initiated by osmotic dehydration process. The osmotic time is strongly influenced by the water permeation from the fruit to the osmotic solution. This research aimed to study the osmotic dehydration process of papaya by finding out the permeation rate of water to the osmotic solution across a semi permeable membrane. The effect of temperature and osmotic solution concentration on the permeation rate were also observed. The osmotic temperatures were 30, 40, 50, and 60°C, and the osmotic solution concentration were 55, 60, 65, and 70%. In order to study the water permeation through the semi permeable membrane, a simple mass transfer mathematical models based on Fick's and Van't Hoff laws were applied. Generally, higher temperature and osmotic solution concentration, higher water permeation rate was achieved. The results also showed that osmotic dehydration has the same identity or characteristic as drying process at high temperature. The water removal from product slices into the osmotic solution increased by the increase of osmotic period. The mass transfer coefficient and effective diffusivity of water increased when temperature and osmotic solution concentration were increased. However, the membrane permeability has a special characteristic at the ranges conditions studied.

Keywords: Osmotic, permeation, dehydration, permeable, membrane

PENDAHULUAN

Buah pepaya (*Carica papaya*) adalah salah satu buah tropis yang banyak tumbuh di Indonesia dan memiliki warna yang cukup menarik serta nilai gizi tinggi. Dari warnanya yang menarik dan rasanya yang cukup manis, buah ini sangat potensial untuk dikembangkan sebagai buah kering.

Pengeringan bertujuan untuk menghambat aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme serta aktivitas enzim yang dapat menyebabkan kerusakan bahan (Lewicki dan Lenart, 1995; Pokharkar dkk., 1997; Alline dkk., 2003). Untuk bahan-bahan yang mudah rusak pada suhu tinggi, dapat digunakan pengeringan dengan suhu rendah yang diawali dengan dehidrasi osmosis (Sharma dkk., 2000). Osmosis adalah

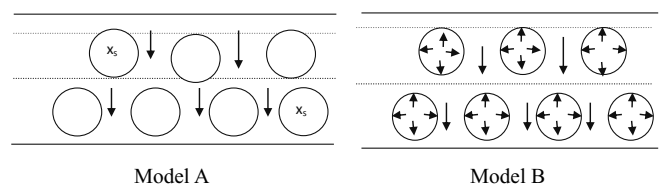
teknik pemindahan air berdasar gradien potensial kimia melalui membran semipermeabel. Buah memiliki struktur permukaan yang berpori yang dapat berfungsi sebagai membran semipermeabel. Dengan merendam potongan buah dalam larutan osmosis yang pekat (misalnya gula, garam, gliserol dan lain-lain), kadar air dapat dikurangi sampai 50% dari kadarnya mula-mula, sehingga metode ini disebut *partial dehydration* (Serenio dkk., 2001).

Membran semipermeabel adalah suatu membran yang dapat dilewati oleh cairan seperti air, tapi tidak dapat dilewati oleh cairan lain dari arah yang berlawanan. Mengingat sifat membran semipermeabel yang selektif, maka zat terlarut (solut) diasumsikan tidak dapat mendifusi melalui membran ke arah sebaliknya. Sebenarnya terjadi perpindahan massa dua arah, namun yang paling dominan adalah perpindahan massa air ke larutan yang konsentrasinya lebih tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi dehidrasi osmosis antara lain jenis *osmotic agent*, ratio larutan osmosis dan buah yang dikeringkan, suhu dan pengadukan (Ponting dkk., 1996).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mempelajari proses dehidrasi osmosis (Jayaraman dan Das Gupta, 1992; Karathanos dkk., 1995; Serenio dkk., 2001; Torreggiani, 1993). Dua proses perpindahan massa yang diperkirakan berperan pada osmosis yaitu: (1) perpindahan massa air dari dalam sel menuju ke luar sel melalui membran berupa dinding sel dan (2) perpindahan massa air dari bagian tengah bahan ke permukaan bahan. Penyusunan model matematis yang dapat mewakili peristiwa transfer massa yang terjadi pada dehidrasi osmosis cukup banyak dipelajari. Penyusunan model transfer massa dehidrasi osmosis diperlukan untuk dapat mendeskripsikan secara kuantitatif proses osmosis yang terjadi, serta memperkirakan parameter-parameter yang mempengaruhi proses sehingga dapat digunakan untuk perancangan alat osmosis pada skala yang lebih besar, baik skala pilot maupun industri.

Wardhani (2001) dalam penyusunan modelnya mengasumsikan bahwa pada dehidrasi osmosis, bahan yang dikeringkan berbentuk slab dengan luas penampang sama, tidak ada solut pada larutan osmosis yang masuk ke dalam sel pada bahan, sifat-sifat fisis bahan tetap, konsentrasi air mula-mula di seluruh bahan homogen, ukuran dan bentuk sel seragam dan tetap selama proses, jumlah sel untuk tiap elemen volum sama, proses berlangsung secara isothermal, dan tidak terjadi distribusi konsentrasi air di dalam satu sel. Skema yang disusun disajikan pada Gambar 1.

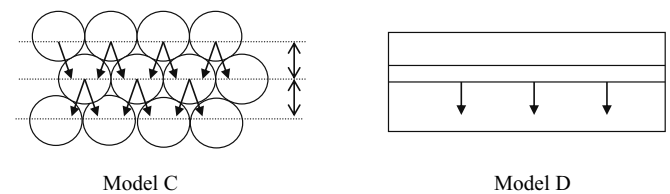
Sediawan (2001) menyusun model dehidrasi osmosis dengan asumsi yang berbeda yaitu ukuran dan bentuk sel seragam, masing-masing sel saling menempel dan larutan pada dua sel yang saling berbatasan dipisahkan oleh dinding sel yang merupakan membran semipermeabel, luas kontak



- (A) Perpindahan massa air terjadi dari bahan ke larutan dalam satu arah yaitu ke arah tebal bahan.
- (B) Transfer massa air dari dalam sel ke rongga antar sel dan dari tengah bahan ke permukaan bahan

Gambar 1. Sketsa model transfer massa air dalam sel bahan (Wardhani, 2001)

setiap baris per unit total luas penampang konstan untuk setiap baris yang berbatasan, jarak pusat ke pusat sel pada baris yang berturutan konstan, jumlah sel per unit total luas penampang konstan, massa solut di masing-masing sel konstan, dan larutan dalam sel selalu homogen. Skema model ini dapat dilihat pada Gambar 2.



- (C) Perpindahan massa air dari dalam sel yang tersusun rapat
- (D) Perpindahan massa air mengikuti model difusi Fick

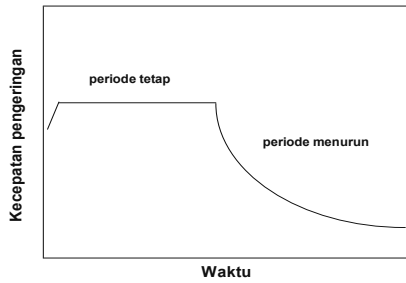
Gambar 2. Sketsa model transfer massa air dalam bahan (Sediawan, 2001)

Pada penelitian ini pemodelan matematis proses dehidrasi osmosis didekati dengan pemodelan dehidrasi pengeringan suhu tinggi sebagai model sederhana untuk mempelajari fenomena yang terjadi selama dehidrasi. Sebagai pembahasan lebih lanjut, akan ditinjau transfer massa air dari bahan ke larutan gula melalui sel-sel buah dan pengaruh suhu dan konsentrasi larutan gula terhadap kecepatan permeasi, parameter-parameter transfer massa dan permeabilitas membran semipermeabel pada bahan.

Landasan Teori

a. Permeasi/ transfer massa air pada dehidrasi osmosis

Peristiwa osmosis dapat didekati dengan model pengeringan sederhana, melalui identifikasi kurva pengeringan yang menyatakan hubungan antara kadar air dalam bahan dengan waktu dan kecepatan pengeringan. Pada pengeringan suhu tinggi (Treybal, 1981) terdapat dua tahap pengeringan yakni kecepatan tetap dan menurun seperti digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema periode pengeringan suhu tinggi

Berdasar analogi pengeringan suhu tinggi, maka kecepatan fluks massa/permeasi air pada dehidrasi osmosis, N_A dapat didekati dengan persamaan berikut :

$$N_A = -\rho_s L \left(\frac{dX}{dt} \right) \quad (1)$$

dimana ρ_s adalah berat kering bahan tiap volum bahan, L adalah tebal bahan, dan X adalah kadar air dalam bahan. Model ini mengasumsikan bahwa selama dehidrasi osmosis berlangsung, difusi air hanya berlangsung satu arah saja yaitu tegak lurus ke permukaan bahan, permeasi air hanya terjadi pada permukaan yang luas saja, berat jenis dan luas permukaan efektif bahan tetap, transfer massa gula dari larutan gula ke bahan sangat kecil, sehingga dapat diabaikan, berat kering bahan tetap karena dianggap tidak ada solut yang terakumulasi di permukaan bahan, serta kadar air awal pada bahan selalu homogen. Selanjutnya, pemodelan matematis dapat disusun dengan mengasumsikan potongan bahan sebagai slab setebal $2L$, dan diperoleh persamaan matematis dan kondisi batas sebagai berikut (Jenson dan Jeffrey, 1977)

$$D_e \frac{\partial^2 X}{\partial Z^2} = \frac{\partial X}{\partial t} \quad (2)$$

$$\text{Kondisi awal, } t = 0, X(Z,0) = X_0 \quad (3)$$

$$\text{Kondisi batas, } t = t, Z = L : -D_e r_s \frac{\partial X}{\partial Z}(L,t) = k_c (X^* - X) \quad (4)$$

$$Z = 0 : \frac{\partial X}{\partial Z}(0,t) = 0 \quad (5)$$

dimana k_c adalah koefisien transfer massa, D_e adalah diffusivitas efektif, Z adalah koordinat posisi (ketebalan potongan bahan berbentuk slab) dan X^* kadar air dalam bahan yang setimbang dengan kadar air dalam larutan osmosis. Nilai parameter k_c dan D_e tidak dapat diukur langsung, sehingga diperlukan optimasi (*parameter fitting*) dengan membandingkan data hasil percobaan dengan hasil pemodelan matematis.

b. Permeabilitas membran semipermeabel

Pada proses osmosis, aliran air melintas dinding sel (untuk selanjutnya dianggap sebagai membran semipermeabel)

ditentukan oleh beda tekanan sistem dan beda konsentrasi solut yang dinyatakan sebagai beda tekanan osmosis ($\Delta\pi$). Bila tidak ada beda tekanan hidrostatik, aliran air melintas membran sepenuhnya tergantung beda tekanan osmotiknya. Jika membran sel dapat dianggap homogen, maka fluks permeasi air melintas membran akibat beda tekanan osmosis adalah sebagai berikut (Perry dan Green, 1984):

$$N_{Am} = -P_{Lm} \cdot (\Delta p) \quad (6)$$

dengan P_{Lm} adalah koefisien permeabilitas.

Untuk larutan yang bisa dianggap ideal beda tekanan osmosis bisa dinyatakan dengan persamaan van't Hoff ,

$$\Delta\pi = (C_{s1} - C_{s2}) RT \quad (7)$$

dan dengan mengabaikan konsentrasi cairan dalam sel irisan bahan ($C_{s1} \rightarrow 0$) diperoleh persamaan

$$\Delta\pi = -C_{s2} RT \quad (8)$$

Jika $\Delta\pi$ disubstitusikan ke persamaan (6) diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$N_{Am} = P_{Lm} C_{s2} RT \quad (9)$$

Hasil penyusunan neraca massa pada slab setebal $2L$ dan substitusi persamaan (9) ke persamaan (1) maka hubungan perubahan kadar air dalam bahan terhadap waktu menjadi sebagai berikut:

$$\frac{dX}{dt} = -\frac{P_{Lm} RT \cdot BM}{r_s \cdot L} C_{s2} \quad (10)$$

Karena jumlah air yang keluar dari bahan diperkirakan jauh lebih sedikit dari pada jumlah air pada larutan osmosis, maka dianggap larutan osmosis tidak mengalami pengenceran selama proses sehingga persamaan (10) dapat diintegrasikan secara analitis dengan kondisi batas pada $t = 0 : X = X_0$, dan diperoleh persamaan :

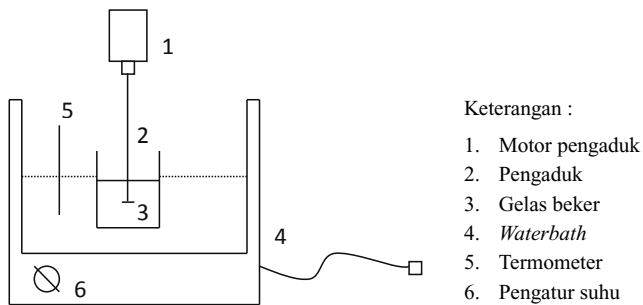
$$X = X_0 - \left[\frac{P_{Lm} RT \cdot BM}{r_s \cdot L} C_{s2} \right] t \quad (11)$$

Berdasarkan landasan teori dan tinjauan pustaka diajukan hipotesis : (1) identifikasi pengeringan pepaya dengan osmosis akan menunjukkan profil dan kecenderungan yang sama dengan pengeringan suhu tinggi, (2) fenomena permeasi air dari buah pepaya ke larutan osmosis dapat diprediksi dengan model matematis sederhana berdasar pada hukum Fick's dan Van't Hoff dan (3) kecepatan transfer massa air dari buah ke larutan osmosis dipengaruhi oleh suhu dan konsentrasi larutan osmosis.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah buah pepaya yang diiris berbentuk slab dan larutan gula diperoleh dari laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Rangkaian alat yang terdiri atas alat-alat utama: gelas beaker 250 ml, *waterbath*, pengukur kadar air, dan alat-alat penunjang seperti gelas tabung kecil, termometer, dan penjepit seperti diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4 . Rangkaian alat osmosis

Cara Percobaan

Rangkaian alat disiapkan, kemudian larutan gula 65% sebanyak 50 ml dimasukkan ke dalam gelas beker yang ada di dalam *waterbath*, pemanas dihidupkan sampai suhu mencapai 30°C . Potongan buah dengan ukuran 6 cm x 2 cm x 0,5 cm ditimbang dulu sebagai berat awal, kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker yang berisi larutan gula untuk menjalani proses osmosis. Setelah 5 menit diambil sampel pertama untuk ditimbang irisan pepayanya, 5 menit berikutnya sampel kedua, selanjutnya setiap 10 menit seterusnya sampel diambil sampai waktu 60 menit. Langkah ini diulangi pada suhu 40, 50 dan 60°C dan dengan konsentrasi larutan gula yang berbeda (55%, 60%, 65%, dan 70%).

Analisis Data Percobaan

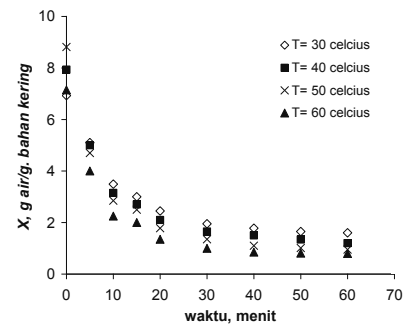
Profil dehidrasi osmosis dapat dinyatakan sebagai fluks permeasi pelarut (N_A) sebagai fungsi waktu (t). Dengan menghitung gradien kadar air dalam bahan (dX) terhadap waktu (dt) dengan menggunakan persamaan (1) maka kecepatan dehidrasi/ fluks permeasi pada periode tetap dan menurun dapat ditentukan. Dari data hubungan kadar air dalam bahan dengan waktu osmosis pada periode tetap akan diperoleh konstanta permeabilitas P_{Lm} pada berbagai suhu dan konsentrasi larutan osmosis.

Data kesetimbangan untuk menentukan X^* pada persamaan (4) ditentukan dengan cara merendam sampel dalam larutan osmosis selama 24 jam dan diulangi pada suhu

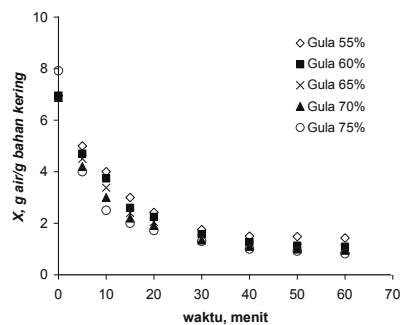
dan konsentrasi larutan gula yang berbeda, kemudian diukur kadar airnya yang tersisa dalam buah dan kadar air yang hilang pun dapat diketahui. Selanjutnya, dari data kadar air dalam pepaya X sebagai fungsi waktu t , dan dengan program simulasi (*parameter fitting*) nilai k_c dan D_e pada persamaan (4) dan (5) dapat diestimasi dengan metode minimasi SSE (Sum Square of Error) antara data eksperimen dengan hasil simulasi. Penyelesaian persamaan (4) dan (5) menggunakan cara *Finite Diference Approximation* dan *Crank- Nicholson method* (Sediawan dan Prasetya,1997). Untuk mengetahui tingkat kepercayaan terhadap hasil *parameter fitting* dilakukan uji statistik *confidence interval* parameter-parameter dengan derajat kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dipelajari analisis awal permeasi air pada dehidrasi osmosis pepaya dengan larutan gula. Tinjauan mencakup transfer massa air dari bahan menuju larutan osmosis melalui sel-sel buah yang dianggap sebagai membran semipermeabel. Data percobaan dehidrasi osmosis yang diperoleh adalah hubungan kadar air dalam bahan (X) pada interval waktu tertentu (t) pada suhu dan konsentrasi larutan gula yang berbeda. Profil perubahan kadar air dalam bahan sebagai fungsi waktu disajikan pada Gambar 5a dan 5b.



(a)



(b)

Gambar 5. Kurva kadar air dalam bahan, X pada tiap waktu, t ; (a) pada berbagai suhu dan konsnetrasi gula = 65% (b) pada berbagai konsentrasi gula dan suhu tetap 30 °C

Dengan menghitung gradien kadar air dalam bahan (dX) terhadap waktu (dt) maka fluks permeasi air (N_A) selama proses osmosis dapat dihitung. Profil dehidrasi osmosis dapat diamati dari kurva fluks permeasi air sebagai fungsi waktu. Hubungan antara fluks permeasi dan waktu pada berbagai suhu dan konsentrasi larutan osmosis dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 serta divisualisasikan pada Gambar 6a dan Gambar 6b.

Tabel 1. Data fluks permeasi (N_A) tiap interval waktu t pada berbagai suhu (konsentrasi gula = 65%)

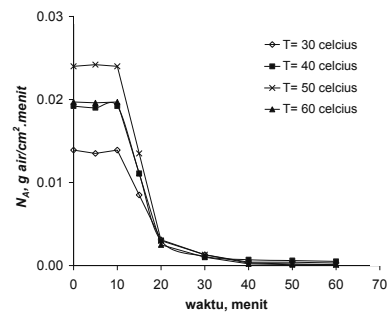
| Waktu, menit | N_A , g air/cm ² .menit | | | |
|--------------|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| | T= 30°C | T= 40°C | T= 50°C | T= 60°C |
| 5 | 0,0135 | 0,0190 | 0,0242 | 0,0196 |
| 10 | 0,0139 | 0,0192 | 0,0240 | 0,0197 |
| 15 | 0,0085 | 0,0111 | 0,0135 | 0,0111 |
| 20 | 0,0031 | 0,0030 | 0,0030 | 0,0025 |
| 30 | 0,0013 | 0,0011 | 0,0013 | 0,0010 |
| 40 | 0,0004 | 0,0007 | 0,0003 | 0,0002 |
| 50 | 0,0004 | 0,0006 | 0,0003 | 0,0001 |
| 60 | 0,0003 | 0,0005 | 0,0002 | 0,0001 |

Tabel 2. Data fluks permeasi (N_A) tiap interval waktu t pada berbagai konsentrasi gula (suhu= 30°C)

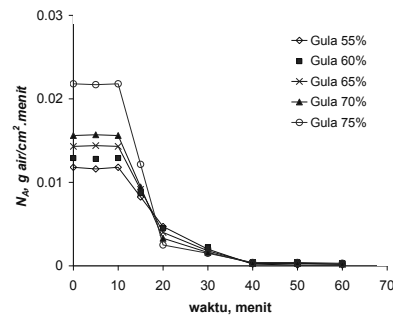
| Waktu, menit | N_A , g air/cm ² .menit | | | | |
|--------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | Gula 55% | Gula 60% | Gula 65% | Gula 70% | Gula 75% |
| 5 | 0,0116 | 0,0128 | 0,0144 | 0,0157 | 0,0217 |
| 10 | 0,0118 | 0,0129 | 0,0143 | 0,0156 | 0,0218 |
| 15 | 0,0082 | 0,0087 | 0,0091 | 0,0094 | 0,0121 |
| 20 | 0,0047 | 0,0045 | 0,004 | 0,0033 | 0,0025 |
| 30 | 0,0020 | 0,0022 | 0,0018 | 0,0016 | 0,0015 |
| 40 | 0,0002 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 |
| 50 | 0,0001 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0004 |
| 60 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 |

Dari Gambar 6a dan 6b terlihat kecenderungan bahwa profil dehidrasi osmosis sama dengan profil pengeringan suhu tinggi, dimana terdapat periode kecepatan tetap pada 10 menit pertama kemudian diikuti dengan periode kecepatan menurun. Secara umum, pada periode kecepatan tetap, terlihat bahwa fluks permeasi cenderung meningkat dengan kenaikan suhu permeasi. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya gradien potensial kimia pada suhu yang lebih tinggi yang dinyatakan sebagai gradien kadar air dalam buah Sedangkan pada periode kecepatan menurun fluks permeasi hampir sama pada berbagai suhu osmosis.

Hal ini disebabkan pada suhu relatif tinggi pengaruh suhu terhadap perubahan fluks permeasi relatif kecil karena pengaruh suhu mengikuti persamaan eksponensial (Yang dan



(a)



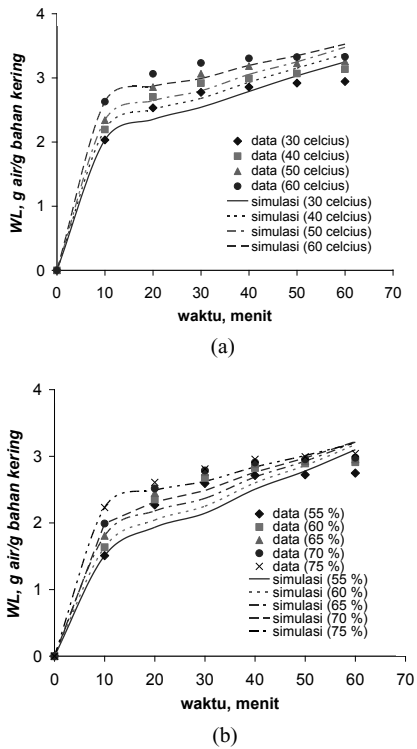
(b)

Gambar 6. Kurva fluks permeasi air (N_A) pada tiap waktu, t ; (a) pada berbagai suhu dan konsentrasi gula = 65% (b) pada berbagai konsentrasi gula dan suhu tetap 30°C

Maguer, 1992). Hal lain yang menyebabkan adalah telah terjadinya perubahan fisik membran semipermeabel yang tersusun dari sel-sel alami buah pada suhu relatif tinggi seperti pemuain dan kerapatan. Pada periode ini fluks permeasi semakin turun bahkan pada akhirnya menjadi relatif konstan pada menit ke 40 dan seterusnya. Hal ini dapat juga menunjukkan proses telah mendekati keadaan setimbang.

Profil dehidrasi osmosis dapat juga dilihat dari data jumlah air yang pindah dari bahan ke larutan osmosis (*Weight Loss*), WL . Hasil percobaan dan simulasi WL osmosis menunjukkan profil dan kecenderungan yang sama dengan pengeringan pada suhu tinggi seperti tervisualisasikan pada Gambar 7a dan 7b. Profil kurva yang cukup baik dengan kesalahan relatif rata-rata 4,1 % antara data percobaan dengan hasil simulasi, menunjukkan bahwa model matematis yang digunakan untuk mendeskripsikan peristiwa dehidrasi osmosis cukup memadai.

Dari Gambar 7a terlihat bahwa jumlah air yang pindah ke larutan gula bertambah dengan naiknya suhu. Pada awal osmosis kecepatan permeasi cukup tinggi karena gradien kadar air dalam bahan dan dalam larutan gula juga tinggi. Pada waktu berikutnya, penambahan jumlah air yang berpindah semakin kecil. Sedangkan Gambar 7b menunjukkan bahwa kecepatan osmosis juga semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi larutan gula. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya beda potensial dalam sistem. Semakin pekat larutan



Gambar 7. Jumlah air pindah dari bahan, WL pada tiap waktu, t ; (a) pada berbagai suhu dan konsentrasi gula = 65% (b) pada berbagai konsentrasi gula dan suhu tetap 30°C

gula maka potensial kimianya semakin besar, beda tekanan osmotik semakin besar, sehingga air dalam buah semakin cepat berpindah ke larutan gula (Lazarides, dkk., 1995).

Hasil *parameter fitting* dengan derajat kepercayaan 95% dari koefisien transfer massa air selama proses dehidrasi (k_c) dan difusivitas efektif (D_e) disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Nilai k_c dan D_e pada berbagai suhu (konsentrasi gula 65%)

| Suhu, °C | k_c (x 10 ⁻² cm/menit) | D_e (x 10 ⁻³ cm ² /menit) |
|----------|--------------------------------------|--|
| 30 | 1,31 ± 0,02 | 1,42 ± 0,04 |
| 40 | 1,54 ± 0,02 | 1,71 ± 0,04 |
| 50 | 1,61 ± 0,01 | 2,22 ± 0,05 |
| 60 | 1,68 ± 0,02 | 2,26 ± 0,05 |

Tabel 4. Nilai k_c dan D_e pada berbagai konsentrasi larutan gula (suhu=30°C)

| Konsentrasi Gula, % | k_c (x 10 ⁻² cm/menit) | D_e (x 10 ⁻³ cm ² /menit) |
|---------------------|--------------------------------------|--|
| 55 | 1,21 ± 0,06 | 1,42 ± 0,07 |
| 60 | 1,27 ± 0,07 | 1,40 ± 0,08 |
| 65 | 1,31 ± 0,07 | 1,42 ± 0,08 |
| 70 | 1,70 ± 0,07 | 1,45 ± 0,08 |
| 75 | 1,65 ± 0,07 | 1,46 ± 0,07 |

Nilai k_c nampaknya memiliki karakteristik tersendiri untuk tiap-tiap kondisi operasi, hal ini dikarenakan membran semipermeabel tersusun dari dinding sel buah yang memiliki sifat yang selektif dan rentan terhadap adanya perubahan kondisi operasi. Kisaran nilai k_c dan D_e yang diperoleh pada penelitian ini cukup sesuai dengan kisaran nilai hasil penelitian sebelumnya. Sereno dan Torregiani mendapatkan nilai difusivitas efektif osmosis pepaya pada kisaran 1,2 - 1,9 x 10⁻³ cm²/menit (Sereno dkk., 2001; Torreggiani, 1993). Pada dehidrasi osmosis, transfer massa air dikontrol oleh kecepatan difusi dalam bahan dan kecepatan transfer massa konvektif pada permukaan bahan (Rastogi & Raghararao, 1998). Nilai D_e yang menunjukkan karakteristik bahan cenderung tetap pada berbagai konsentrasi larutan gula. Hal ini menunjukkan bahwa difusivitas efektif merupakan fungsi bahan dan kurang dipengaruhi konsentrasi larutan osmosis. Namun untuk pengaruh suhu masih bisa teramati pengaruhnya, yaitu semakin tinggi suhu nilai D_e semakin besar. Hal ini dapat dijelaskan karena pada suhu lebih tinggi energi kinetik dan gerakan molekul air lebih cepat dalam mendifusi pada lapisan membran semipermeabel bahan. Nilai koefisien transfer massa k_c juga meningkat pada suhu lebih tinggi karena pada suhu tinggi gerakan konvektif molekul air pada permukaan bahan juga semakin cepat menuju larutan gula. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa pendekatan pengeringan suhu tinggi cukup baik sebagai analogi permeasi air melewati membran semipermeabel pada bahan pepaya pada kisaran kondisi operasi yang dipelajari.

Hubungan antara suhu (T) dengan parameter k_c dan D_e pada Tabel 3 didekati dengan persamaan eksponensial Arrhenius berikut:

$$k_c = k_{co} e^{\left(\frac{-E_k}{RT}\right)} \quad \text{dan} \quad D_e = D_{eo} e^{\left(\frac{-E_D}{RT}\right)} \quad (12)$$

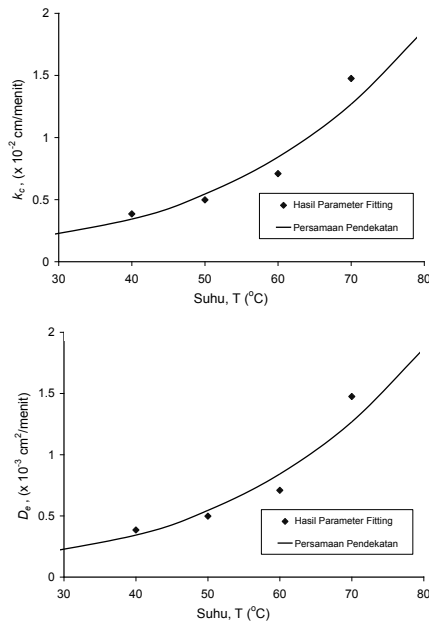
dan menghasilkan persamaan :

$$k_c = 19,2767 e^{\left(\frac{-805,02}{T}\right)} \quad \text{dan} \quad D_e = 369,8139 e^{\left(\frac{-1679,5}{T}\right)} \quad (13)$$

dengan kesalahan relatif rata-rata berturut-turut 2,72 dan 4,16 %.

Profil pengaruh suhu dapat dilihat pada Gambar 8 dan 9.

Model matematis pada persamaan (11) dapat digunakan untuk memperkirakan permeabilitas membran dan hasilnya disajikan pada Tabel 5. Terlihat bahwa nilai permeabilitas spesifik membran (P_{Lm}) juga memiliki karakteristik tersendiri. Permeabilitas dapat dianalogikan sebagai transfer massa antar fasa dari dinding bahan ke cairan osmotik yang dipengaruhi oleh suhu.



Gambar 8. Hubungan nilai k_c dengan suhu T Gambar 9. Hubungan nilai D_e dengan suhu T

Tabel 5. Nilai P_{Lm} pada berbagai suhu dan konsentrasi gula

| Suhu, °C (konsentrasi gula 55%) | P_{Lm} [x 10 ⁻³ gmol/ (menit.cm ² .atm)] | Konsentrasi Gula, % (suhu 30°C) | P_{Lm} [x 10 ⁻³ gmol/ (menit.cm ² .atm)] |
|------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| 30 | 1,78 | 55 | 1,78 |
| 40 | 1,80 | 60 | 1,71 |
| 50 | 1,87 | 65 | 1,65 |
| 60 | 1,92 | 70 | 1,56 |
| | | 75 | 1,52 |

Kenaikan suhu dapat mengubah struktur dinding sel maupun kerapatannya sehingga mempengaruhi transfer massa maupun permeasi. Kenaikan suhu dapat memperbesar permeabilitas membran, walaupun cukup kecil pengaruhnya. Konsentrasi larutan osmosis, dalam hal ini konsentrasi gula terlihat mempengaruhi permeabilitas dimana semakin besar konsentrasi makin kecil permeabilitas bahan, hal ini terasa kontradiktif karena konsentrasi gula seharusnya tidak mengubah dinding sel dan oleh karena itu harusnya tidak mengubah permeabilitas. Fenomena ini dapat disebabkan oleh masuknya gula ke dalam jaringan irisan pepaya sehingga menurunkan permeabilitas air dengan mekanisme tertentu dan secara eksperimen teramati sebagai perubahan permeabilitas.

KESIMPULAN

Beberapa hal dapat disimpulkan dari hasil studi yang sederhana ini. Identifikasi pengeringan pepaya dengan dehidrasi osmosis menunjukkan profil dan kecenderungan

yang sama dengan pengeringan suhu tinggi. Model matematis dengan mengaplikasikan hukum Fick’s dan Van’t Hoff cukup baik untuk mewakili peristiwa transfer massa/permeasi air pada dehidrasi osmosis pepaya. Nilai parameter transfer massa k_c yang diperoleh berada dalam kisaran order 10⁻² cm/menit sedangkan D_e pada kisaran order 10⁻³ cm²/menit. Semakin tinggi suhu dan konsentrasi larutan osmosis, air yang berpindah ke larutan osmosis semakin banyak, nilai parameter-parameter transfer massa (k_c , D_e , P_{Lm}) semakin tinggi dengan kenaikan suhu dan relatif tidak dipengaruhi oleh konsentrasi larutan osmosis. Hasil estimasi permeabilitas spesifik dari membran semipermeabel berada pada kisaran 10⁻³ gmol/(menit.cm².atm).

Daftar dan Arti Lambang

- BM : berat molekul air, g/gmol
- C_{s1} : konsentrasi solut dalam sel irisan bahan, gmol/cm³
- C_{s2} : konsentrasi solut dalam larutan osmosis, gmol/cm³
- D_e : diffusivitas efektif, cm²/menit
- k_c : koefisien transfer massa, cm/menit
- L : tebal slab, m
- N_A : fluks permeasi air, g. air/(cm².menit)
- N_{Am} : fluks permeasi air, gmol/(cm².menit)
- R : konstanta gas universal
- T : suhu absolut sistem, K
- X : kadar air dalam bahan, g air/g kering bahan
- P_{Lm} : permeabilitas spesifik, gmol/(menit.cm².atm)
- Z : koordinat posisi (ketebalan potongan bahan berbentuk slab), m
- $\Delta\pi$: beda tekanan osmotik, atm
- r_s : berat kering bahan tiap volum bahan, g kering/cm³

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada atas semua fasilitas yang telah diberikan selama penelitian ini berlangsung. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Achmad Saefuddin laboran Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses yang telah membantu pelaksanaan percobaan serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alline, C.C., Rosiane, R., Cunha, L. dan Hubinger, M. (2003). Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. *Journal of Food Engineering* **59**: 129-135.

- Jayaraman, K.S. dan Das Gupta, D.K. (1992). Dehydration of fruits and vegetables: recent developments in principles and techniques. *Drying Technology* **10**(1): 1-50.
- Jenson, V.G. dan Jeffrey, G.V. (1977). *Mathematical Methods in Chemical Engineering*. 2nd ed., Academic Press, London.
- Karathanos, V.T., Kostaropoulos, A.E. dan Saravacos, G.D. (1995). Air-drying of osmotically dehydrated fruits. *Drying Technology* **13**(5-7): 1503-1521.
- Lazarides, H.N., Katsinidis, E. dan Nickolaidis, A. (1995). Mass transfer kinetics during osmotic aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering* **25**: 151-166.
- Lewicki, P.P. dan Lenarat, A (1995). *Handbook of Industrial Drying*. 2nded., Marcel Dekker Inc., New York.
- Perry, J.H. dan Green (1984). *Chemical Engineer's Handbook*. 6th ed., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Pokharkar, S.M., Prasad, S. dan Das, H. (1997). A model for osmotic concentration of banana slices. *Journal of Food Science Technology* **34**(3): 230-232.
- Ponting, J.D., Watters, G.G., Forrey, R.R. dan Stanley, W.L. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technology* **20**: 125-128.
- Rastogi, N.K. dan Raghararao, K.S.M.S. (1998). Water and solute diffusion coefficient of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering* **34**: 429-440.
- Sediawan, W.B. (2001). Mathematical Analysis of Osmotic Dehydration of Fruits. *Makalah Seminar NAE2001*, Batam.
- Sediawan, W.B. dan Prasetya, A. (1997). *Pemodelan Matematis dan Penyelesaian Numeris Dalam Teknik Kimia*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sereno, A.M., Moreira, R. dan Martinez, E. (2001). Mass transfer coefficients during osmotic dehydration of apple in single and combined aqueous solutions of sugar and salt. *Journal of Food Engineering* **47**: 43-49.
- Sharma, S.K., Mulvaney, S.J. dan Rizvi, S.S.H. (2000). *Foods Process Engineering, Theory, and Laboratory Experiments*. John Willey and Sons, Toronto.
- Torreggiani, D. (1993). Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. *Food Research International* **26**: 59-68.
- Treybal, E.R. (1981). *Mass Transfer Operation*. McGraw-Hill International Book Company, Japan.
- Wardhani, D.H. (2001). *Pengeringan Daging Buah Nangka Secara Osmosis*. Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yang, D.C. dan Maguer, M.L. (1992). Mass transfer kinetics of osmotic dehydration of mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation* **16**: 215-230.