

DIFUSIVITAS AIR PADA WORTEL SELAMA PENGGORENGAN HAMPA UDARA

Moisture Diffusivity of Carrot during Deep Fat Vacuum Frying

Sutarsi¹, Budi Rahardjo², Pudji Hastuti²

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jl. Kalimantan I, Kampus Tegal Boto, Jember 68122

²Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Jl. Flora, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

Email:sutarsi@ftp.unej.ac.id

ABSTRAK

Pengetahuan mengenai difusivitas air sangat penting untuk pemodelan kehilangan air selama penggorengan hampa udara. Kesesuaian model tergantung atas akurasi nilai difusivitas air. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung difusivitas air sebagai fungsi tekanan absolut, suhu dan kadar air awal bahan selama penggorengan hampa udara. Difusivitas air diperoleh dari laju kehilangan air dikalikan L^2/π^2 . Laju kehilangan air ditentukan dari persamaan difusi tak mantap. Kemiringan dari kurva lama penggorengan terhadap rasio konsentrasi merupakan laju kehilangan air. Penelitian ini menggunakan wortel sebagai sampel. Laju kehilangan air ditentukan selama penggorengan hampa udara dengan variasi tekanan absolut, suhu dan kadar air awal bahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa difusivitas air tergantung atas tekanan absolut, suhu dan kadar air awal. Peningkatan suhu dan kadar air awal menyebabkan peningkatan difusivitas air. Sedangkan peningkatan tekanan absolut menyebabkan penurunan nilai difusivitas air. Difusivitas air diprediksikan secara tepat pada range tekanan absolut 20 - 40 kPa, suhu 80 - 110 °C dan kadar air awal 198 - 940 % (bk).

Kata kunci: *Difusivitas air, penggorengan hampa udara, penggorengan wortel*

ABSTRACT

Knowledge of moisture diffusivity was important for water loss modelling during deep fat vacuum frying. The appropriateness of model depended on the accuracy of moisture diffusivity value. The objective of this research was to calculate carrot moisture diffusivity during deep fat vacuum frying. Moisture diffusivity was obtained from rate of water loss multiplied by L^2/π^2 . The rate of water loss was determined from unsteady-state diffusion equation. The slope of the time vs. dimensionless concentration ratio plot was the rate of water loss. Carrot was used as a sample in this research. The rate of water loss was determined during deep fat vacuum frying with variation of absolute pressure, temperature and initial moisture content. The result showed that moisture diffusivity depended on absolute pressure, temperature and initial moisture content. The result indicated that an increase in the temperature of frying and initial moisture content caused an increase in moisture diffusivity. While an increase in the absolute pressure induced decreasing of moisture diffusivity. The moisture diffusivities were accurately predicted at absolute pressure range from 20 – 40 kPa, initial moisture content range from 198 % (db) to 940 % (db) and temperature range from 80 to 110 °C.

Keywords: *Moisture diffusivity, deep fat vacuum frying, carrot frying*

PENDAHULUAN

Penggorengan merupakan metode memasak bahan makanan. Bahan dimasukkan ke dalam minyak yang dipanaskan di atas titik didih air (Farkas dkk., 1996a; Yamsaengsung dan Moreira, 2002a). Selama proses penggorengan bahan mengalami perubahan fisik, kimia dan sifat sensoris.

Penggorengan pada tekanan atmosfer dengan suhu tinggi mengakibatkan kerusakan terutama pada produk buah dan sayuran. Penggorengan hampa udara dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan bahan yang rentan terhadap suhu tinggi. Bahan dipanaskan di bawah tekanan vakum sehingga

menurunkan titik didih minyak dan air dalam bahan. Beberapa keuntungan yang diperoleh yaitu: (1) dapat menurunkan kadar minyak dalam produk makanan, (2) dapat menjaga warna alami dan aroma produk karena suhu dan kandungan oksigen yang rendah selama proses penggorengan, (3) mempunyai pengaruh buruk lebih rendah terhadap kualitas minyak (Shyu dan Hwang, 2001; Garayo dan Moreira, 2002).

Desain proses penggorengan hampa udara dapat dilakukan dengan pemodelan matematis. Kesesuaian model tergantung dari akurasi variabel proses diantaranya adalah difusivitas air. Hal ini karena selama proses penggorengan, bahan mengalami transfer massa air yang harus diperhitungkan. Penelitian parameter transfer massa air pada penggorengan hampa udara wortel masih sulit ditemukan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menghitung difusivitas air irisan wortel pada penggorengan hampa udara.

METODE PENELITIAN

Pengembangan Model Matematis Difusivitas Air

Proses kehilangan air dalam penggorengan dianggap terjadi pada periode pengeringan laju menurun. Selama periode pengeringan laju menurun, hambatan internal transfer air lebih besar daripada hambatan eksternal. Dalam hal ini transfer massa air dikontrol oleh mekanisme difusi. Model transfer massa air pada bahan diturunkan berdasarkan asumsi-asumsi sebagai berikut:

1. Bahan yang digoreng berbentuk slab, tebal bahan jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar bahan, sehingga transfer massa air hanya berlangsung satu arah mengikuti sumbu z
2. Transfer massa air dalam bahan hanya terjadi secara difusi dari dalam ke permukaan bahan
3. Sifat transfer massa air dianggap seragam

Model transfer massa air pada elemen volume setebal Δz , ditunjukkan dengan perubahan kadar air (C_w) sebagai fungsi posisi (z) dan waktu (t) yang dinyatakan dalam Persamaan 1.

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} = D_w \frac{\partial^2 (C_w)}{\partial z^2} \tag{1}$$

Kondisi awal dan batas untuk menyelesaikan persamaan (1) adalah:

$$\begin{aligned} C_w(x,0) &= C_w & \text{untuk } x < L/2 \\ C_w(x_o,t) &= C_w & \text{untuk } t > 0 \end{aligned} \tag{2}$$

Dimana, x_o adalah kondisi pada permukaan, $L/2$ merupakan setengah ketebalan bahan, C_{wo} adalah kadar air awal dan C_{we} merupakan kadar air kesetimbangan.

Penyelesaian analitis untuk bentuk slab tak terbatas dari persamaan (1) dengan kondisi awal dan kondisi batas persamaan (2) adalah persamaan (3) (Brooker dkk., 1992; Crank, 1975; Moreira dkk., 1999).

$$C_w R = a \exp(-K_w t) \tag{3}$$

Laju kehilangan air dapat ditentukan dari persamaan (3). Gradien dari plotting $\ln C_w R$ terhadap waktu merupakan laju kehilangan air (K_w). Pengalihan K_w dengan L^2/π^2 diperoleh difusivitas air.

Laju kehilangan air dipengaruhi oleh tekanan absolut, kadar air awal bahan dan suhu penggorengan. Secara matematis dinyatakan dalam persamaan (4).

$$K_w = g \cdot P^a \cdot C_w^b \cdot e^{(-E_a/RT)} \tag{4}$$

Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah irisan wortel dan minyak kelapa sawit. Irisan wortel sebagai sampel yang akan diobservasi perubahan kadar airnya sedangkan minyak sebagai medium dalam proses percobaan penggorengan celup (*deep-fat frying*).

Persiapan Sampel

Wortel dipilih dengan diameter ± 4 cm. Wortel kemudian dikupas dan diiris dengan ketebalan 0,5 cm. Setelah itu bahan mendapat perlakuan dehidrasi osmotik 0 jam, 2 jam dan 4 jam. Bahan direndam dalam larutan sukrosa 50(w/w) dan garam 3(w/w) pada suhu kamar. Setelah diangkat bahan di lap dengan tissue untuk menghilangkan sisa larutan osmotik yang masih menempel. Sebelum penggorengan, kadar air bahan diukur menggunakan metode Sudarmadji dkk. (1984).

Prosedur Penggorengan Wortel

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah unit penggorengan hampa udara dengan kapasitas minyak 0,4 liter, termokopel tipe K, *pressure gauge*, *stopwacth*. Untuk mengukur kadar air digunakan timbangan analitis, oven, cawan, pinset dan eksikator.

Setelah semua sampel siap, unit penggorengan hampa udara mulai dioperasikan pada berbagai kondisi penggorengan. Untuk bahan tanpa perlakuan osmotik digoreng pada 3 variasi suhu (80 °C, 100 °C dan 110 °C) dan 3 variasi tekanan (40 kPa, 30 kPa dan 20 kPa). Sedangkan bahan dengan perlakuan osmotik 2 jam dan 4 jam digoreng pada suhu 100 °C dan tekanan 20 kPa. Interval waktu pengamatan kadar air 5 menit selama 25 menit penggorengan hampa udara.

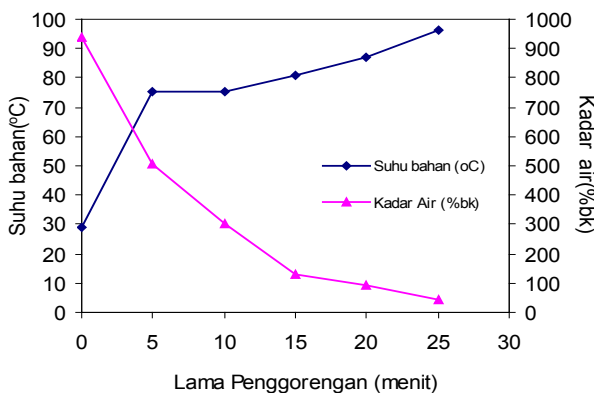
Analisis Data

Koefisien difusivitas air ditentukan dengan analisis multi regresi/regresi ganda. Data difusivitas air hasil pengamatan digunakan untuk memvalidasi model matematis difusivitas air. Validasi model dilakukan dengan menghitung nilai koefisien determinasi (R^2). Nilai R^2 berkisar 0 dan 1. Apabila R^2 mendekati 1 berarti keandalan data prediksi makin baik, dan model dinyatakan valid.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama penggorengan terjadi kenaikan suhu bahan dan penurunan kadar air secara simultan. Pada awal penggorengan, suhu bahan 29,2 °C, suhu bahan mengalami kenaikan sangat cepat menyamai suhu pada titik didih air. Menurut Zhang (2005), pada kondisi tekanan 20 kPa titik didih air 61 °C, sedangkan titik didih cairan dalam irisan wortel nilainya akan lebih tinggi daripada titik didih air. Pada Gambar 1, terlihat suhu meningkat dari 29,2 °C meningkat menjadi 75 °C pada lama penggorengan 5 menit pertama. Pada periode ini energi yang diterima oleh bahan digunakan untuk menaikkan suhu bahan sampai mencapai titik didih air dalam bahan atau disebut panas sensibel. Suhu bahan kemudian cenderung stabil sampai lama penggorengan 10 menit. Fenomena tersebut terjadi karena proses penguapan sebagian besar air bahan. Energi panas yang diterima oleh bahan digunakan untuk merubah fase air bahan dari cair menjadi gas sehingga suhu bahan relatif stabil pada titik didih air. Setelah periode itu suhu bahan naik kembali menuju suhu minyak. Karena sebagian besar air bahan telah teruapkan dan panas yang diterima digunakan untuk menaikkan suhu bahan. Perubahan suhu dan kadar air bahan selama proses penggorengan sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Farkas dkk., 1996a,b).

Penguapan air bahan menyebabkan penurunan kadar air bahan selama proses penggorengan. Misal pada kondisi penggorengan suhu 100 °C, tekanan 20 kPa dan kadar air

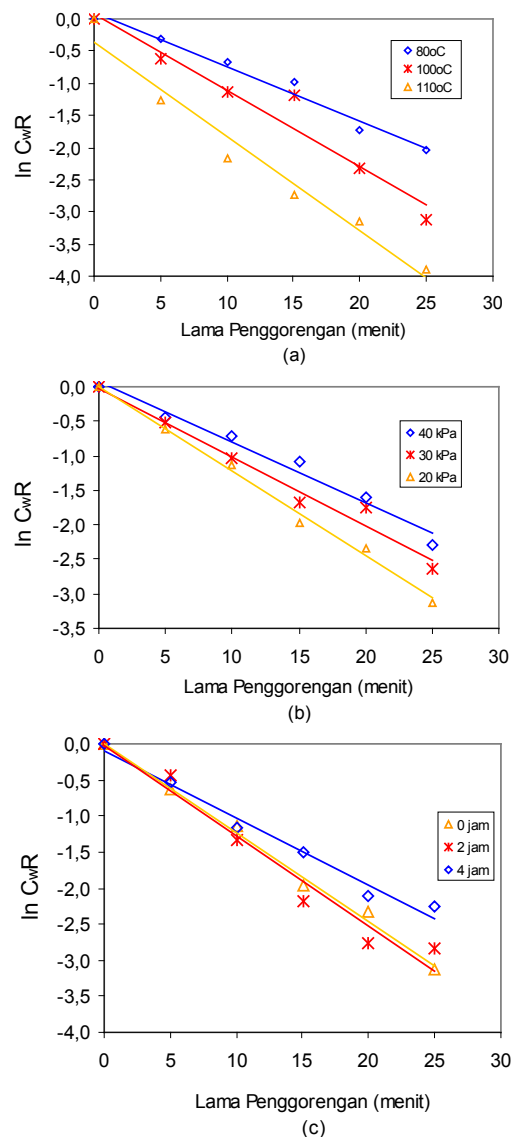


Gambar 1. Riwayat suhu dan kadar air bahan pada kondisi penggorengan 100 °C, 20 kPa dan kadar air awal bahan 940 % (bk)

awal bahan 940 % (bk), kadar air bahan menurun sangat cepat sampai pada menit ke-15 dari kadar air 940,03%bk menjadi 132 % (bk). Kemudian kadar air menurun perlahan sampai akhir periode (menit ke-25) menjadi 41,6 % (bk).

Laju kehilangan air (K_w) ditentukan dari gradien kurva lama penggorengan terhadap rasio kadar air bahan yang ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar 2a nampak bahwa makin tinggi suhu makin besar laju kehilangan air. Suhu minyak menentukan *thermal driving force*. Makin tinggi suhu, *thermal driving force* makin besar. Kondisi ini menyebabkan proses transfer panas ke bahan makin cepat dan laju kehilangan air juga makin besar.

Pengaruh tekanan terhadap laju kehilangan air ditunjukkan oleh Gambar 2b. Makin rendah tekanan absolut menye-



Gambar 2. Ploting rasio kadar air terhadap waktu selama penggorengan hampa udara wortel dengan variasi (a) suhu, (b) tekanan dan (c) kadar air awal bahan

babkan laju kehilangan air makin besar. Penurunan tekanan absolut menurunkan titik didih minyak dan air sehingga proses kehilangan air terjadi lebih cepat. Penurunan tekanan absolut diduga mengakibatkan perubahan mikrostruktur yang mungkin mempengaruhi kehilangan air, setelah penguapan air bebas di permukaan bahan (Marischal dan Bouchon, 2008). Selain itu penurunan tekanan absolut juga mengurangi akumulasi uap pada ruang penggorengan sehingga mempercepat kehilangan air (Marischal dan Bouchon, 2008).

Perlakuan bahan sebelum penggorengan dengan dehidrasi osmotik mempengaruhi kadar air awal bahan sebelum digoreng. Perlakuan dehidrasi osmotik 0 jam, 2 jam dan 4 jam menghasilkan kadar air irisan wortel masing-masing 940 % (bk); 253 % (bk) dan 198 % (bk). Makin lama dehidrasi osmotik makin rendah kadar air awal bahan sampai tercapai kondisi kesetimbangan. Hubungan antara laju kehilangan air dengan kadar air awal bahan ditunjukkan oleh Gambar 2c. Dari gambar menunjukkan bahwa makin rendah kadar air awal bahan makin kecil laju kehilangan air. Hal ini dikarenakan jumlah air dalam bahan lebih rendah dan pembentukan *crust* selama proses dehidrasi osmotik menyebabkan tahanan lebih tinggi terhadap proses kehilangan air. Nilai laju kehilangan air pada berbagai perlakuan ditunjukkan pada Tabel 1.

Untuk mendapatkan hubungan laju kehilangan air dengan tekanan absolut, kadar air awal bahan dan suhu secara simultan dilakukan dengan membentuk persamaan berpangkat yang dinyatakan oleh persamaan (4). Dari analisis multi regresi dengan menggunakan program SPSS (*Statistical Product and Service Solution*) diperoleh bentuk persamaan laju kehilangan air sebagai fungsi tekanan absolut, kadar air awal bahan dan suhu yang ditunjukkan oleh persamaan (5).

$$K_w = 467,313P^{-0,401}C_w^{0,057}e^{-2772,785/T} \quad (5)$$

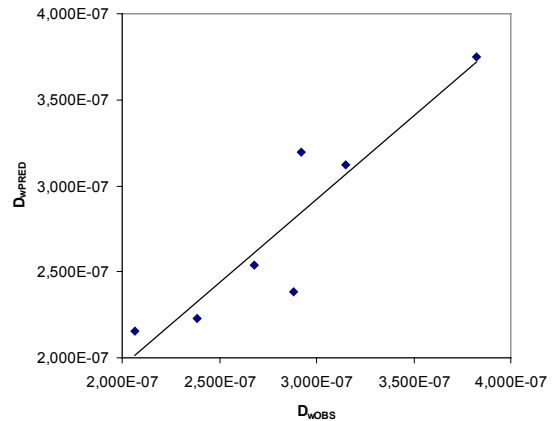
Dengan mengalikan K_w dengan L^2/π^2 diperoleh D_w dengan persamaan berikut ini.

$$D_w = 0,0012P^{-0,401}C_w^{0,057}e^{-2772,785/T} \quad (6)$$

Tabel 1. Nilai laju kehilangan air dengan variasi perlakuan tekanan, kadar air awal bahan dan suhu penggorengan

K_w (1/s)	P (kPa)	C_w (%bk)	T (K)
0,088	40	940	373
0,100	30	940	373
0,123	20	940	373
0,085	20	940	353
0,148	20	940	383
0,126	20	253	373
0,094	20	198	373

Dari persamaan (6) nampak bahwa hubungan tekanan absolut dan difusivitas air ditunjukkan dengan nilai pangkat negatif tetapi untuk kadar air awal bahan nilainya positif. Adapun untuk hubungan suhu dengan difusivitas air mengikuti pola Arrhenius dengan nilai energi aktivasi 25,0 kJ/mol.



Gambar 3. Scatter plot difusivitas air observasi prediksi pada penggorengan hampa udara wortel dengan *range* suhu 80 -110 °C, tekanan 20 - 40 kPa dan kadar air awal bahan 940 -198 % (bk)

Gambar 3 merupakan grafik scatter plot nilai observasi prediksi untuk difusivitas air wortel yang digoreng pada *range* suhu 80-110 °C, tekanan absolut 20 - 40 kPa dan kadar air awal bahan 940 -198 % (bk). Analisis statistik menunjukkan koefisien determinasi 0,8423. Hasil tersebut menandakan bahwa model yang telah dikembangkan cukup valid untuk memprediksikan difusivitas air wortel pada proses penggorengan hampa udara dengan *range* kondisi yang telah disebutkan.

KESIMPULAN

Difusivitas air pada wortel selama penggorengan hampa udara dipengaruhi oleh tekanan absolut, kadar air awal bahan dan suhu. Makin tinggi kadar air awal bahan dan suhu, maka difusivitas air makin tinggi. Sedangkan makin tinggi tekanan absolut maka nilai difusivitas air makin kecil. Model matematis difusivitas air sebagai fungsi tekanan absolut, kadar air awal bahan dan suhu cukup valid untuk memprediksikan difusivitas air untuk *range* tekanan absolut dari 20 - 40 kPa, *range* kadar air awal bahan dari 198 – 940 % (bk) dan *range* suhu dari 80– 110 °C.

DAFTAR SIMBOL

- a = Konstanta
- b = Konstanta

C = Kadar (%bk)
 D = Difusivitas (m²/s)
 E_a = Energi aktivasi (kJ/mol)
 g = Konstanta
 K = Laju kehilangan massa (1/s)
 L = Ketebalan bahan (m)
 P = Tekanan absolut (kPa)
 R = Konstanta gas (8,314 x 10⁻³ kJ/mol K)
 T = Suhu (K)
 t = Lama (s)
 x = Posisi (m)

Subscript

e = Kesetimbangan
 o = Awal
 w = Air

DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D.B., Arkema, F.W.B. dan Hall, C.W. (1992). *Drying and Storage of Grain and Oilseed*, 2nd ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Crank, J. (1975). *The Mathematics of Diffusion*, 2nd ed. Oxford University Press, New York.
- Farkas, B.E., Singh, R.P. dan Rumsey, T. (1996a). Modelling heat and mass transfer in immersion frying. I. Model development. *Journal of Food Engineering* **29**: 221-226.
- Farkas, B.E., Singh, R.P. dan Rumsey, T. (1996b). Modelling heat and mass transfer in immersion frying. II. Model solution and verification. *Journal of Food Engineering* **29**: 227-248.
- Garayo, J. dan Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering* **55**: 181-191.
- Marischal, M. dan Bouchon, P. (2008). Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry* **107**: 1561-1569.
- Moreira, R.G., Peres, M.E.C. dan Barrufet, M.A. (1999). *Deep-Fat Frying: Fundamental and Application*. An Aspen Publication, Maryland.
- Shyu, S.L. dan Hwang, L.S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International* **34**: 133-142.
- Sudarmadji, S., Haryono, B. dan Suhardi. (1984). *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Penerbit Liberty, Yogyakarta.
- Yamsaengsung, R. dan Moreira, R. G. (2002). Modeling of transport phenomena and structural changes during deep-fat frying. I. Model development. *Journal of Food Engineering* **53**: 1-10.
- Zhang, M. (2005). Optimazation of vacuum frying dehydration of carrot chips. ASAE Annual International Meeting.