

# PEMODELAN PENGERINGAN SLAB CABAI SECARA FLUIDISASI

Bregas Siswahyono Tatag Sembodo dan Fadilah

Jurusan Teknik Kimia FT-UNS

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 telp./fax 0271-632112

e-mail: [bregas@uns.ac.id](mailto:bregas@uns.ac.id)

**Abstract :** *It is the advantage of fluidized drying that the heat and mass transfer rate between solid and gas phase are relatively higher than other methods. The objectives of this research were to find fluidized drying curve of chili slabs, effective diffusivity coefficient ( $D_e$ ), mass transfer coefficient of water ( $k_y$ ) and mathematical model of fluidized drying of chili slabs. It was also to find any influential factors of  $D_e$  and  $k_y$  through dimensionless number analysis. The experiment was performed by flowing the hot air through chili slabs in the fluidized glass column, which was equipped with blower, thermometer and flowmeter. The rate of drying air was varied in order to obtain its effects. The results showed that the drying curve consisted of two sections, constant and falling rate. The increase of drying air rate from 942.14 to 1087.08 cm<sup>3</sup>/s had no effect significantly on drying rate. Comparing the mathematical model with the data indicated that it was fitting each other.*

**Keywords :** *fluidized drying, chili slabs, fluidized column*

## PENDAHULUAN

Pengeringan secara fluidisasi banyak digunakan untuk pengeringan butiran padatan seperti biji-bijian, pupuk, bahan kimia, obat-obatan dan mineral. Pada pengering jenis ini, bahan padatan yang akan dikeringkan dikontakkan dengan udara pengering yang bergerak dengan laju tertentu sehingga padatan terfluidisasi yaitu udara dan padatan bergerak sebagai satu sistem yang dianggap sebagai seperti fluida (*fluid like*). Pengeringan dengan metode ini mempunyai keunggulan utama yaitu laju transfer panas dan massa antara fase padat dan gas yang relatif tinggi dibanding metode lain. (Srinivasakannan, 2002)

Pengeringan didefinisikan sebagai suatu operasi teknik yang mengubah air dalam suatu padatan atau bahan semi padat menjadi hasil dengan kadar air yang sangat rendah. Perbedaan antara penguapan (*evaporation*) dan pengeringan adalah pengeringan menghilangkan sejumlah air yang relatif banyak dari pada penguapan. Pada penguapan, air dihilangkan pada titik didihnya, sedangkan pada pengeringan air dapat dihilangkan dengan menggunakan media pembawa berupa gas. Pengeringan terjadi karena adanya daya dorong (*driving force*) yang berupa perbedaan konsentrasi air pada bagian dalam dengan bagian luar padatan, dan perbedaan konsentrasi air pada lapisan udara di permukaan padatan yang jenuh dengan uap air dengan udara luar yang tidak jenuh. (Treybal, 1985)

Ada beberapa mekanisme yang dapat terjadi pada saat bahan basah dikeringkan sampai mempunyai kandungan air tertentu yang cukup rendah. Hal itu dapat diketahui dari kurva pengeringan. Kurva pengeringan menunjukkan hubungan antara kandungan air di dalam padatan sebagai fungsi waktu. Selain itu dapat pula dinyatakan dalam hubungan antara laju pengeringan dan kandungan air. Secara umum kurva pengeringan terdiri atas dua bagian, yaitu periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun. (Treybal, 1985)

Laju pengeringan pada unggun terfluidisasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan dan kondisi operasi fluidisasi. Bahan dengan struktur yang berpori mengalami pengeringan dengan laju konstan dan menurun. Sebaliknya bahan tidak berpori hanya memiliki laju pengeringan konstan. Pengetahuan tentang kinetika pengeringan sangatlah penting untuk memperkirakan waktu pengeringan yang diperlukan untuk menurunkan kadar air sampai tingkat yang diinginkan dan untuk menentukan kondisi operasi pengeringan yang optimal. Model laju pengeringan biasanya didasarkan pada mekanisme pergerakan air secara difusi intrapartikel menurut persamaan difusi Fick. (Srinivasakannan, 2002)

Dutta dkk (1988) melakukan penelitian pengeringan dan menemukan bahwa gerakan air di dalam padatan merupakan proses difusi. Difusivitas air di dalam padatan tergantung

pada kandungan air dan suhu padatan selama berlangsungnya proses pengeringan.

Abid dkk (1990) meneliti pengeringan butir jagung dengan menggunakan unggun terfluidisasi. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa kelembaban dan laju udara hanya sedikit berpengaruh terhadap laju pengeringan, sedangkan suhu udara berpengaruh cukup besar.

Suhu merupakan variabel yang perlu diperhatikan dalam pengeringan hasil pertanian. Suhu pengeringan yang aman untuk kebanyakan sayuran adalah antara 60°C sampai 75°C (Desresier, 1988). Menurut Reyes (2002) kehilangan karoten pada pengeringan irisan wortel adalah minimum pada operasi dehidrasi bersuhu 130°C dengan waktu pengeringan selama 12 menit.

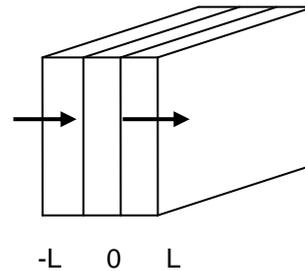
Evaluasi nilai difusivitas ( $D_e$ ) dan koefisien perpindahan massa air ( $k_y$ ) yang berguna untuk perancangan alat pengering cabai dengan fluidisasi dapat dilakukan dengan menyusun persamaan matematis yang berhubungan dengan neraca massa dan panas.

Kebanyakan model matematis pengeringan secara fluidisasi dibuat untuk partikel berbentuk bola. (Srinivasakannan, 2002) Studi kali ini bertujuan untuk mendapatkan model matematis pengeringan irisan cabai berbentuk slab secara fluidisasi. Selain itu juga untuk memperoleh nilai  $D_e$  dan  $k_y$  yang berguna untuk perancangan alat pengering cabai dengan fluidisasi serta mempelajari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai  $D_e$  dan  $k_y$  melalui analisis bilangan tak berdimensi.

Persamaan matematis disusun dengan penyederhanaan peristiwa sebagai berikut :

1. Proses berlangsung secara isothermal.
2. Volum irisan cabai dan ukuran irisan cabai tetap.
3. Irisan cabai tersuspensi merata sepanjang kolom (kolom merupakan tangki teraduk sempurna (*well mixed tank*)).

Irisan cabai dapat dianggap sebagai suatu slab tipis sehingga perpindahan massa air di dalam irisan searah tebal irisan. Persamaan neraca massa dapat disusun pada elemen volum  $A \Delta z$  seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Elemen volum pada slab.

Neraca massa air pada elemen volum padatan sebesar  $A \Delta z$  adalah

$$-\rho_b D_e A \left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=z} - \left( -\rho_b D_e A \left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{z=z+\Delta z} \right) = \rho_b A \Delta z \frac{\partial X}{\partial t} \quad (1)$$

Persamaan (1) diatur dan diambil limit  $\Delta z$  mendekati nol diperoleh

$$\frac{\partial^2 X}{\partial z^2} = \frac{1}{D_e} \frac{\partial X}{\partial t} \quad (2)$$

Kondisi awal

$$X(0, t) = X_0 \quad (3)$$

Kondisi batas

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{(0, t)} = 0 \quad (4)$$

dan

$$\left. \frac{\partial X}{\partial z} \right|_{(L, t)} = \frac{k_y}{D_e} (Y^* - Y) \quad (5)$$

Hubungan keseimbangan kadar air di padatan ( $X$ ) dan di udara ( $Y$ ) mengikuti persamaan yang mirip dengan hukum Henry

$$Y^* = H X \quad (6)$$

Konstanta  $H$  dicari dari percobaan pada saat terjadi keseimbangan antara kadar air di padatan ( $X$ ) dan di udara ( $Y$ ). Hubungan  $Y$  dan  $X$  untuk waktu tertentu didekati dengan menggunakan neraca massa air dalam kolom yaitu

$$\left[ \begin{array}{c} \text{air dalam} \\ \text{udara mula - mula} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{air dalam} \\ \text{padatan mula - mula} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{air dalam} \\ \text{udara} \end{array} \right] + \left[ \begin{array}{c} \text{air dalam} \\ \text{padatan} \end{array} \right]$$

$$W Y_0 + 2 n A L X_0 = W Y + 2 n A \int_0^L X dz \quad (7)$$

atau

$$Y = Y_0 + \frac{2nA}{W} \left( LX_0 - \int_0^L X dz \right) \quad (8)$$

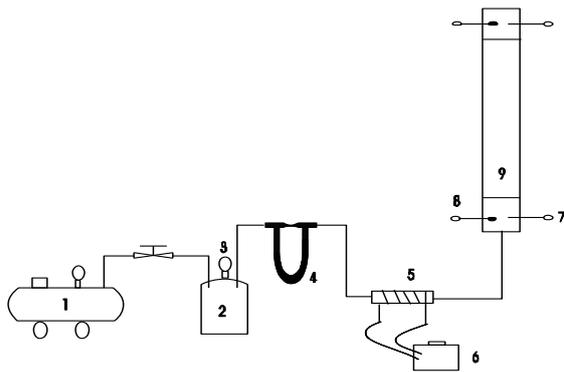
Nilai difusivitas efektif ( $D_e$ ) dan koefisien transfer massa ( $k_y$ ) dihitung secara numeris dengan menggunakan metode *Hooke-Jeeves* sehingga diperoleh *Sum of Square of Errors* (SSE) minimum dengan

$$SSE = \sum (Y_{data} - Y_{hitung})^2 \quad (9)$$

## METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah cabai merah dalam keadaan basah, dipotong sehingga berbentuk slab berukuran 5 x 5 mm. Tebal slab rata-rata 1 mm.

Alat-alat dan rangkaian alat yang digunakan bisa dilihat pada gambar 2.



Keterangan:

1. Blower
2. Tabung pengaman
3. Manometer
4. Flowmeter
5. Pemanas
6. Slide Regulator
7. Termometer bola kering
8. Termometer bola basah
9. Kolom fluidisasi

**Gambar 2. Rangkaian alat percobaan pengeringan cabai dengan sistem fluidisasi**

Percobaan dilakukan dengan mengalirkan udara panas ke dalam kolom fluidisasi dari tabung kaca yang telah berisi 8,08 gram (135 buah) irisan cabai basah berbentuk slab. Kolom dilengkapi dengan *blower*, termometer dan *flowmeter*. Pada selang waktu tertentu (5 menit), cabai

dikeluarkan dari kolom dan ditimbang. Kelembaban udara keluar kolom diukur pada selang waktu yang sama dengan penimbangan bahan. Percobaan dihentikan setelah tidak ada lagi pengurangan berat cabai pada selang waktu yang berurutan. Pada percobaan ini laju udara pengering divariasikan besarnya yaitu 942,14 cm<sup>3</sup>/s, 1014,61 cm<sup>3</sup>/s dan 1087,08 cm<sup>3</sup>/s, sedangkan suhu dibuat tetap yaitu 65°C. Masing-masing variasi diulang sebanyak 3 kali.

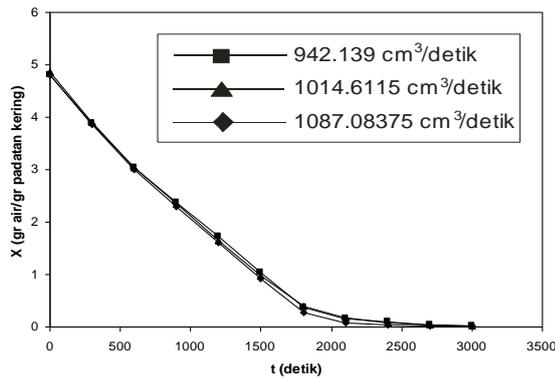
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 3 dan 4 dapat dilihat bahwa pada suhu yang sama, pengaruh peningkatan laju aliran udara pengering terhadap laju pengeringan tidak begitu nampak pada kisaran yang diteliti (942,14 – 1087,08 cm<sup>3</sup>/s). Ini berarti, turbulensi yang diakibatkan oleh aliran udara pengering belum cukup untuk mempertipis lapisan film pada permukaan padatan secara signifikan. Hasil ini mirip dengan hasil penelitian Abid dkk (1990).

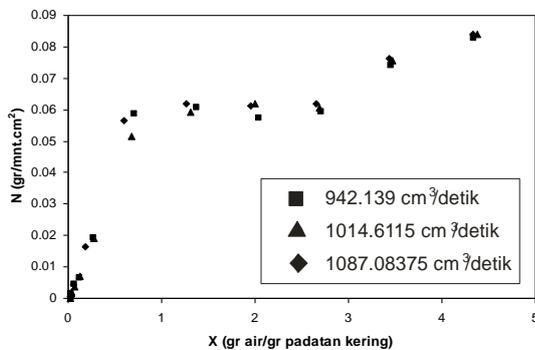
Kisaran laju aliran udara yang diteliti memang cukup sempit, karena untuk memperoleh keadaan terfluidisasi kisaran ini sangat terbatas. Usaha lain yang perlu dilakukan untuk meningkatkan laju pengeringan adalah dengan mempertinggi suhu operasi sampai batas tidak merusak bahan yang dikeringkan. Variasi suhu operasi belum dilakukan pada penelitian kali ini.

Pada gambar 4, bisa dilihat bahwa pengeringan slab cabai dengan cara fluidisasi ini terdiri atas dua bagian, yaitu periode laju pengeringan konstan dan periode laju pengeringan menurun. Pada keadaan awal di mana padatan sangat basah, permukaan terselimuti oleh suatu lapisan film cair yang tipis. Jika padatan tersebut dikontakkan dengan udara yang relatif kering, maka penguapan akan terjadi pada permukaan. Air yang menguap di permukaan padatan selalu tergantikan oleh air yang berada di dalam padatan. Jumlah air di dalam padatan relatif banyak sehingga permukaan selalu basah oleh air. Keadaan ini adalah periode pengeringan konstan.

Pengeringan yang dilakukan lebih lanjut mengakibatkan lapisan film di permukaan tidak lagi menutup seluruh permukaan padatan, sehingga terdapat daerah-daerah kering pada permukaan. Akibatnya laju pengeringan akan menurun.



**Gambar 3.** Grafik hubungan waktu dengan kadar air dalam padatan (X) pada suhu 65°C dengan laju udara pengering 942,14 cm<sup>3</sup>/s, 1014,61 cm<sup>3</sup>/s dan 1087,08 cm<sup>3</sup>/s



**Gambar 4.** Grafik hubungan kadar air dalam padatan (X) dengan laju pengeringan (N) pada suhu 65°C dengan laju udara pengering 942,14 cm<sup>3</sup>/s, 1014,61 cm<sup>3</sup>/s dan 1087,08 cm<sup>3</sup>/s

**Tabel 1.** Nilai  $k_y$  dan  $D_e$  pada berbagai variasi laju udara pengering (suhu 65°C)

Laju udara pengering (cm <sup>3</sup> /s)	$k_y$ (cm/detik)	$D_e$ (cm <sup>2</sup> /detik)
942,14	1,8523	0,00510
1014,61	2,0155	0,006304
1087,08	2,052999	0,006708

Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa jika laju udara pengering diperbesar, maka nilai koefisien transfer massa ( $k_y$ ) akan semakin besar. Namun demikian, peningkatan nilai koefisien transfer massa ini ternyata tidak berpengaruh secara signifikan terhadap laju pengeringan.

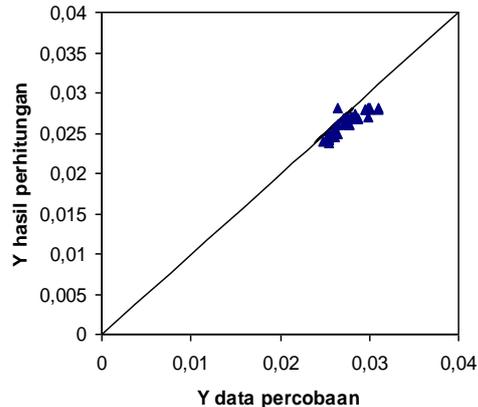
Jika hubungan koefisien transfer massa dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dinyatakan dalam

persamaan kelompok tak berdimensi maka akan diperoleh persamaan :

$$\left(\frac{k_y d}{D_e}\right) = 5,135617 \left(\frac{\mu}{\rho D_e}\right)^{0,4189} \left(\frac{\rho v d}{\mu}\right)^{0,4094} \quad (10)$$

Hasil penyusunan persamaan kelompok tak berdimensi [persamaan (10)], menunjukkan bahwa nilai koefisien transfer massa ( $k_y$ ) sebanding dengan nilai  $D_e^{0,5811}$ . Dengan demikian, hasil ini cukup dekat dengan teori penetrasi yang menyatakan bahwa nilai koefisien transfer massa ( $k_y$ ) sebanding dengan  $D_e^{0,5}$ .

Gambar 5 menunjukkan perbandingan data kelembaban (Y) hasil percobaan dan hasil prediksi dengan model matematis, yang mana terlihat kesesuaian yang cukup memuaskan.



**Gambar 5.** Grafik perbandingan Y data percobaan dengan Y hasil perhitungan dengan model matematis

## KESIMPULAN

1. Kurva pengeringan slab cabai secara fluidisasi ini terdiri dari dua bagian, yaitu periode laju konstan dan periode laju menurun.
2. Pengaruh peningkatan laju aliran udara pengering terhadap laju pengeringan tidak begitu nampak pada kisaran yang diteliti.
3. Model matematis yang dibuat cukup sesuai dengan data percobaan.
4. Hubungan antara koefisien transfer masa ( $k_y$ ) dan difusivitas efektif ( $D_e$ ) dengan variabel-variabel yang mempengaruhinya dapat dinyatakan dalam persamaan kelompok tak berdimensi seperti terlihat pada persamaan (10)

## DAFTAR LAMBANG

A	luas panampang cabai [cm <sup>2</sup> ]
d	diameter kolom [cm]
D <sub>e</sub>	difusivitas efektif air dalam cabai [cm <sup>2</sup> /detik]
H	konstanta kesetimbangan Henry [g cabai kering/g udara kering]
k <sub>y</sub>	koefisien transfer massa volumetris [cm/detik]
n	jumlah slab cabai
v	kecepatan aliran udara superfisial [cm/detik]
W	massa udara pengering, [g]
X	kadar air dalam cabai, [g air/g cabai kering]
Y	kelembaban (humiditas) udara [g air/g udara kering]
Y*	kelembaban (humiditas) udara jenuh [g air/g udara kering]
z	tebal slab [cm]
μ	viskositas udara [g/(cm. detik)]
ρ	densitas udara [g /cm <sup>3</sup> ]
ρ <sub>b</sub>	densitas padatan (cabai) [g /cm <sup>3</sup> ]

## DAFTAR PUSTAKA

- Abid, M., Gilbert, R and Laguerie, C., (1990), "An Experimental and Theoretical Analysis of The Mechanism of Heat and Mass Transfer During The Drying of Corn Grains in a Fluidized Bed ", *Int. Chem. Eng.*, 30 (4), pp. 632-642.
- Desresier, N.W., (1988), "*Teknologi Pengawetan Pangan*", terjemahan oleh Maljohardjo, M., 3 ed., hal. 207-209, Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Dutta, S.K., Nema, V.K., and Bhardwaj, R.K., (1988), "Drying Behaviour of Spherical Grains", *I. J. Heat and Mass Transfer*, 31, p. 855-861
- Reyes, A., Alvarez, P.I., and Marquadt, F.H., (2002), "Drying of Carrots in a Fluidized Bed: I. Effects of Drying Conditions and Modelling", *Drying Technology*, 20, pp. 1463-1483.
- Srinivasakannan, C. and Balasubramaniam, N., (2002), "A Simplified Approach to The Drying of Solids in a Batch Fluidised Bed", *Braz. J. Chem. Eng.*, 19, pp. 293-298
- Treybal, R.E., (1985), "*Mass-Transfer Operations*", 3 ed., pp. 655-716, McGraw-Hill International Book Company, Tokyo.