

MODEL KINETIKA PENGERINGAN OKARA SECARA KONVEKSI PADA SUHU EKSTREM

Iwan Tarunan ⁽¹⁾

⁽¹⁾Prodi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember,
Jember 68121, Indonesia,
Email: taruna@unej.ac.id

Eksperimen pengeringan ampas tahu (okara) dilakukan menggunakan pengering tipe lemari pada kisaran suhu ekstrem antara 100 dan 145°C. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk menentukan karakteristik pengeringan okara secara konveksi dan menyeleksi sebuah model pengeringan lapisan tipis yang dapat merepresentasikan kinetika proses pengeringan okara secara akurat. Pada penelitian ini sejumlah enam model matematika yang terdiri dari *Page*, *Logarithmic*, *Wang and Singh*, *Linear-plus-exponential*, *Midilli* dan *Modifikasi-Midilli* dievaluasi dengan cara membandingkan tingkat akurasi masing-masing model matematika tersebut dalam mengestimasi data eksperimen pengeringan okara. Pemilihan model tersebut didasarkan pada hasil analisis nilai *coefficient of determination* (R^2), *root mean square error* (RMSE) dan *mean relative percent error* (P). Hasil percobaan menunjukkan bahwa laju pengeringan okara meningkat seiring dengan kenaikan suhu pengeringan mulai dari 100 hingga 145°C. Hal ini juga sejalan dengan perilaku nilai *effective moisture diffusivity* yang meningkat saat suhu pengeringan yang semakin tinggi. Usulan model pengeringan dalam studi ini, yaitu hasil modifikasi dari persamaan Midilli ternyata menunjukkan akurasi terbaik dalam mengestimasi data hasil percobaan pengeringan okara dengan nilai R^2 , RMSE dan P terbaik dibandingkan nilai parameter sejenis dari model pengeringan lain yang dievaluasi dalam studi ini.

Kata kunci : Pengeringan konveksi; okara; model lapisan tipis

1. PENDAHULUAN

Okara adalah sebutan orang Jepang untuk limbah industri tahu atau susu kedelai yang dikenal sebagai ampas tahu. Meskipun berstatus limbah, mutu gizi okara masih setara dengan biji kedelai (Ma et al., 1997). Hal ini memantaskan okara menjadi bahan pangan yang berfungsi mengurangi asupan kalori dan meningkatkan konsumsi serat bagi manusia. Sayangnya okara segar bersifat cepat membusuk pada kondisi suhu and RH lingkungan, sehingga harus segera diproses agar berdaya simpan lebih lama.

Pengeringan seringkali dipilih sebagai teknik pengawetan okara daripada pendinginan karena bersifat praktis dan ekonomis. Disamping itu, okara kering dapat dikonversi menjadi bubuk yang memudahkan pemanfaatannya pada olahan pangan seperti snack berbasis kedelai, nasi, roti dan mie udon (Katayama and Wilson, 2008; Kudou et al.,

2013). Laju pengeringan okara harus lebih cepat daripada proses pembusukannya, sehingga pemahaman tentang kinetika proses tersebut menjadi hal penting bagi perencanaan dan operasional kondisi pengeringan okara. Beberapa peneliti terdahulu telah melakukan studi kinetika pengeringan okara dengan menerapkan beragam kondisi eksperimen dan metode pengeringan, antara lain tipe konveksi (Lema et al., 1998), tipe tabung pneumatik (Perussello et al., 2009), dan infra merah (Taruna et al., 2016). Suhu pengeringan okara yang digunakan pada eksperimen tersebut berkisar antara 30 dan 195°C. Namun demikian, pengeringan okara secara konveksi mayoritas masih dijalankan pada suhu kurang dari 100°C, sehingga profil kinetika pengeringan okara pada suhu pengeringan ekstrem masih menjadi misteri hingga kini. Apalagi hasil kajian kinetika pengeringan okara yang bermuara pada pemodelan kinetika proses masih sedikit sekali.

Karena itu, studi ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik pengeringan konvektif okara pada suhu ekstrem mulai 100 hingga 145°C, dan menyeleksi model pengeringan lapisan tipis yang dapat merepresentasikan proses tersebut secara akurat.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan alat eksperimen

Bahan okara untuk percobaan pengeringan diperoleh dari pengolahan tahu menurut metode Shurtleff dan Aoyagi (2000). Biji kedelai mulanya direndam dalam air selama ±8 jam pada suhu ruang, lalu digiling dengan rasio biji:air (1:10) untuk memperoleh bubur kedelai. Bubur ini lalu dikukus pada ± 100°C selama 10 menit untuk mereduksi aktivitas enzim lipoksigenase, penyebab bau langu pada okara. Pemisahan okara dari susu kedelai dilakukan dengan penyaringan bubur kedelai secara sentrifugal

Pengeringan sampel okara dilakukan pada sebuah unit pengering tipe lemari yang memiliki beberapa sub-sistem terdiri dari pembangkit udara panas, blower, dan ruang pengering. Suhu udara pengering pada alat tersebut dapat diatur pada selang 30-200°C. Pengukuran suhu udara bola kering, bola basah dan suhu sampel selama pengeringan dimonitor oleh termokopel yang terkoneksi data logger.

2.2 Prosedur dan kondisi pengeringan okara

Kadar air awal sampel okara diukur sebelum percobaan pengeringan berdasarkan metode AOAC (1999). Setelah itu, sekitar 150 g sampel okara diletakkan pada sebuah wadah *stainless steel* dengan ketebalan tumpukan 20-25 mm. Dalam eksperimen ini, sebanyak tiga buah wadah digunakan dan diposisikan menyebar secara horisontal di rak pengering. Proses pengeringan okara dilaksanakan pada suhu 100, 115, 130 dan 145°C, dengan menjaga kecepatan udara pengering konstan pada ±1,5 m/s..

Tabel 1. Model pengeringan lapisan tipis dari studi terdahulu dan yang diusulkan dalam studi ini

Model	Nama	Referensi
$MR = \exp(-k t^n)$	Page	Zhang and Litchifield (1991)
$MR = a \exp(-kt) + c$	Logarithmic	Kingsly et al (2007)
$MR = 1 + at + bt^2$	Wang and Singh	Demirhan and Ozbek (2011)
$MR = \exp(-k t^n) + bt + c$	Linear-plus-exponential	Sripinyowanich and Noomhorm (2010)
$MR = a \exp(-k t^n) + bt$	Midilli et al.	Midilli et al. (2002)
$MR = a \exp(-k t^n) + bt + c$	Modifikasi-Midilli	Usulan

Variasi massa okara selama pengeringan ditimbang setiap selang waktu 30 menit pada 5 jam pertama, dan setiap satu jam untuk sisa waktu berikutnya hingga kandungan air okara mencapai $5.0 \pm 1.0\%$ basis basah. Percobaan pengeringan okara dilakukan sebanyak tiga kali ulangan pada setiap perlakuan suhu pengeringan. Data perubahan massa sampel okara yang diperoleh lalu diolah menjadi data perubahan kadar air okara selama pengeringan yang dipresentasikan dalam bentuk basis basah atau basis kering. Laju pengeringan (dM/dt) sampel okara pada setiap suhu pengeringan

ditentukan berdasarkan Persamaan 1, sedangkan nilai rasio kadar air (MR) selama pengeringan dihitung dengan Persamaan 2

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad [1]$$

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \quad [2]$$

dimana M_t , M_{t+dt} , M_o , dan M_e secara berurutan adalah kadar air (% bk) pada saat t, pada saat t+dt, saat awal dan pada kondisi kesetimbangan. Variabel t mewakili waktu pengeringan dalam satuan jam. Sesuai saran Madhiyanon et al. (2009), nilai M_e

dalam studi ini diasumsikan nol (% bk) karena proses pengeringan berlangsung pada suhu ekstrem lebih besar dari 100°C.

2.3 Pemodelan kinetika pengeringan okara

Dalam studi ini, enam model pengeringan lapisan tipis (Tabel 1) dievaluasi akurasi dalam mengestimasi data eksperimen pengeringan okara. Model pengeringan ini dihasilkan oleh para peneliti terdahulu, dan telah populer digunakan pada pemodelan proses pengeringan bahan-bahan biologi. Studi ini juga mengusulkan satu model pengeringan hasil dari pengembangan model Midilli et al. (2002) untuk dievaluasi. Uraian tentang karakteristik model tersebut telah dijelaskan pada studi sebelumnya oleh Taruna dan Sutanto (2014).

Penentuan nilai koefisien k , n , a , b dan c untuk model pengeringan pada Tabel 1 diperoleh berdasarkan analisa regresi non-linier menggunakan aplikasi SPSS versi 14. Tingkat akurasi dan ketelitian setiap model pengeringan dalam mengestimasi data percobaan pengeringan okara dievaluasi menggunakan tiga parameter uji statistik yaitu *coefficient of determination* (R^2), *root mean square error* (RMSE) dan *mean relative percent error* (P). Nilai R^2 adalah indikator akurasi tren bentuk kurva model pengeringan dalam mengikuti karakteristik bentuk kurva data hasil percobaan pengeringan. Nilai RMSE (% bk) merupakan deviasi antara nilai prediksi dengan data percobaan pengeringan okara, sedangkan nilai P adalah prosentase jumlah kesalahan nilai prediksi hasil kalkulasi model pengeringan dibandingkan dengan data hasil eksperimen pengeringan. Oleh karena itu, sebuah model pengeringan dikategorikan paling akurat memprediksi data percobaan jika mempunyai nilai R^2 tertinggi, dan menunjukkan nilai RMSE dan P terendah. Meskipun demikian, menurut Mohapatra dan Rao (2005) sebuah model pengeringan yang akurat seyogyanya menunjukkan nilai P kurang dari 10%. Nilai R^2 , RMSE, dan P dapat ditentukan dengan Persamaan 3, 4 dan 5 berikut ini,

$$R^2 = \frac{\sum MR_{est} - MR_{obs}}{\sum MR_{obs} - \overline{MR}_{obs}} \quad [3]$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{est,i} - MR_{obs,i})^2 \right]^{0,5} \quad [4]$$

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|MR_{est,i} - MR_{obs,i}|}{MR_{obs,i}} \quad [5]$$

2.4 Penentuan difusivitas efektif dan energi aktivasi

Difusivitas efektif okara diestimasi menggunakan dalil hukum Fick kedua seperti ditampilkan pada Persamaan 6. Penyelesaian persamaan Fick kedua ini telah diuraikan pada beberapa studi terdahulu (Crank, 1975; Tulek, 2011), dengan beberapa asumsi yaitu (a) perpindahan massa air hanya disebabkan oleh difusi, (b) suhu dan difusivitas efektif dalam keadaan konstan, dan (c) tidak terjadi susut bahan.

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla [D_{eff}(\nabla M)] \quad [6]$$

dimana D_{eff} dan M , adalah difusivitas massa efektif (m^2/s) dan kandungan air bahan (% bk). Untuk bahan berbentuk lempeng tak hingga, solusi persamaan Fick kedua dapat menggunakan Persamaan 7.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad [7]$$

dimana L adalah setengah tebal lempeng pada sampel (m) dan n adalah bilangan bulat positif yang menunjukkan banyaknya seri penjumlahan.

Pada pengeringan yang berdurasi panjang atau lama, Persamaan 7 dapat disederhanakan menjadi Persamaan 8, dengan tingkat kesalahan yang dapat diterima pada saat memprediksi kinetika pengeringan yang terjadi pada awal periode laju pengeringan menurun.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad [8]$$

Persamaan 8 dapat diubah ke bentuk linear sehingga nilai D_{eff} dihitung berdasarkan nilai gradien kurva persamaan linear yang merupakan hasil plot $\ln MR$ versus t seperti ditunjukkan pada Persamaan 9.

$$D_{eff} = - \frac{\text{Gradien} \cdot 4L^2}{\pi^2} \quad [9]$$

Nilai difusivitas efektif okara sebagai fungsi dari suhu pengeringan dapat ditentukan menggunakan persamaan Arrhenius seperti diperlihatkan pada Persamaan 10.

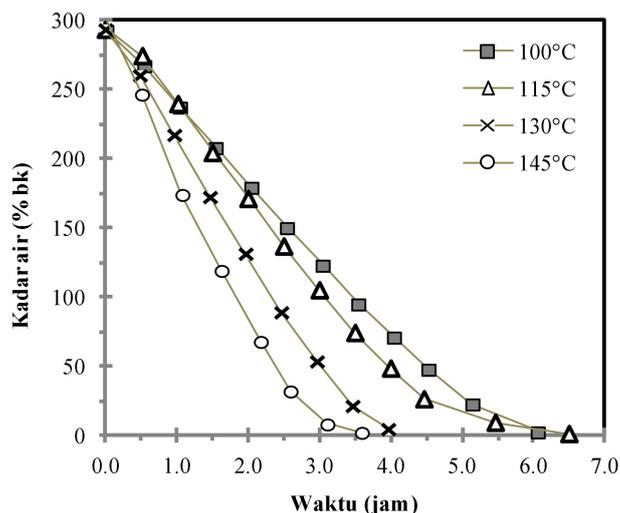
$$D_{eff} = D_0 \exp\left(\frac{-Ea}{R.T}\right) \quad [10]$$

dimana, D_0 = difusivitas pada suhu tak terbatas (m^2/s), Ea = energi aktivasi difusivitas (J/mol), R = konstanta gas universal (8,3145 J/mol.K), dan T = suhu pengeringan absolut (K). Sama seperti Persamaan 8, nilai Ea pada Persamaan 10 dapat ditentukan dari gradien kurva hasil plot antara $\ln(D_{eff})$ vs. $1/T$.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kinetika pengeringan okara

Gambar 1 menunjukkan kurva penurunan kadar air okara selama pengeringan konveksi pada rentang suhu mulai 100 hingga 145 ° C. Secara



Gambar 1. Profil penurunan kadar air okara pada beragam suhu pengeringan

Kurva laju pengeringan yang ditampilkan oleh Gambar 2 mayoritas merepresentasikan periode laju pengeringan menurun. Kenyataan ini memberikan

umum, eksperimen pengeringan dalam studi ini dapat mereduksi kadar air okara dari $\pm 300\%$ menjadi 5-6% basis kering, dengan durasi antara 3 dan 6 jam tergantung pada suhu pengeringan. Semakin tinggi suhu pengeringan yang digunakan makin singkat waktu pengeringan yang dibutuhkan.

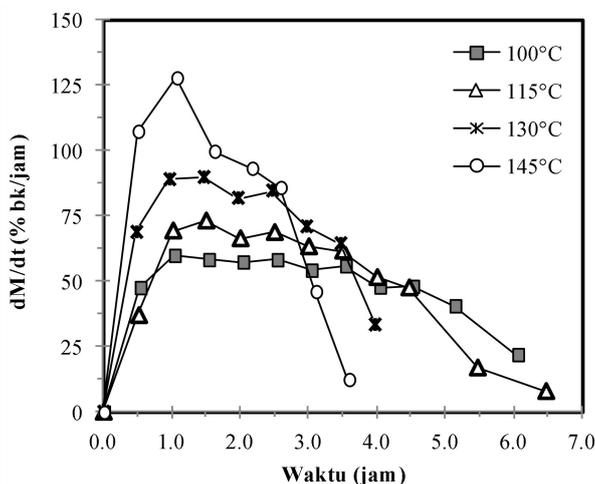
Seperti diharapkan bahwa peningkatan suhu pengeringan berdampak pada terjadinya akselerasi proses pengeringan okara, sehingga dapat memperpendek waktu penuntasan proses tersebut. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2, puncak tertinggi laju pengeringan okara terjadi pada saat pengeringan berlangsung pada suhu 145°C, yakni berkisar 128% bk per-jam, sedangkan laju pengeringan paling rendah ditunjukkan oleh proses pengeringan pada suhu 100 dan 115°C dengan kisaran nilai antara 15 dan 20% bk per-jam.

Peningkatan suhu pengeringan diyakini menyebabkan peningkatan perbedaan tekanan uap air okara dengan udara ruang pengering, sehingga dapat memperbesar daya pendorong proses difusi air dari dalam menuju keluar bahan okara. Fenomena ini tampak konsisten dengan studi kinetika pengeringan okara terdahulu yang telah dilakukan oleh Wachiraphansakul and Devahastin (2007) dan Taruna et al. (2016).

indikasi bahwa mekanisme perpindahan massa air selama pengeringan okara didominasi oleh difusivitas efektif okara seperti telah dilaporkan

oleh Lema et al. (1998) dan Taruna et al. (2016). Namun demikian, untuk proses pengeringan pada suhu 100°C ditemukan penampakan laju pengeringan menurun yang relatif landai pada waktu pengeringan jam ke-1 hingga ke-2,5. Kondisi

tersebut kemungkinan besar menurunkan kapasitas udara pengering menguapkan air okara pada suhu tersebut, dan memperlambat transfer air bebas dari okara ke udara lingkungan, sehingga profilnya nyaris menampakan laju pengeringan konstan.



Gambar 2. Hubungan antara laju pengeringan (dM/dt) dengan waktu pengeringan pada berbagai suhu pengeringan

3.2 Model kinetika pengeringan okara

Hasil analisa regresi non linier untuk menentukan nilai-nilai koefisien model pengeringan lapisan tipis yaitu k , n , a , b , dan c , dicantumkan pada Tabel 2. Kinetika proses pengeringan konvektif okara dapat direpresentasikan dengan nilai koefisien k pada setiap suhu pengeringan. Tampak pada Tabel 2 bahwa nilai koefisien k meningkat dengan penambahan suhu pengeringan. Fenomena ini konsisten dengan profil laju pengeringan yang telah dibahas pada uraian sebelumnya. Semua nilai koefisien model pengeringan yang tercantum pada Tabel 2 lalu diaplikasikan pada model pengeringan yang berkaitan untuk memprediksi nilai rasio kadar air (MR) hasil eksperimen menggunakan waktu pengeringan (t) sebagai variabel bebas. Akurasi setiap model dalam memprediksi nilai MR eksperimen dievaluasi berdasarkan parameter yang sesuai dengan kurva hasil percobaan, ketiga model tersebut menunjukkan deviasi lebih kecil daripada model pengeringan yang lain pada Tabel 2 dalam hal mengestimasi nilai MR hasil percobaan. Namun demikian, hanya model *Modifikasi-Midilli*

statistik R^2 , RMSE dan P berdasarkan kriteria yang telah diuraikan pada sub-bab sebelumnya.

Tabel 2 menunjukkan bahwa seluruh model pengeringan lapisan tipis yang dievaluasi dalam riset ini, memiliki nilai R^2 berkisar antara 0,989 dan 0,999. Ini mengindikasikan bahwa kurva pengeringan okara (MR vs t) yang diplot berdasarkan estimasi model pengeringan, mempunyai kesesuaian bentuk dengan kurva yang disusun berbasis data percobaan pengeringan okara. Dari seluruh model pengeringan yang tercantum di Tabel 2, sebanyak tiga model pengeringan lapisan tipis yang terdiri dari *Linear-plus-exponential*, *Midilli*, dan *Modifikasi-Midilli* memiliki nilai rata-rata R^2 dan RMSE yang sama, yakni secara berturut-turut 0,999 dan 0,010% basis kering. Kedua nilai R^2 dan RMSE tersebut menjelaskan bahwa disamping memiliki akurasi bentuk kurva yang paling akurat dalam memprediksi data percobaan pengeringan okara, karena menunjukkan nilai P (*mean relative percent error*) yang lebih baik dibanding model pengeringan yang lain. Seperti diperlihatkan pada Tabel 2, model

Modifikasi-Midilli menunjukkan nilai P paling superior (<10%) dibandingkan model pengeringan yang lain, khususnya pada suhu pengeringan 100-130°C. Pada kondisi tersebut dapat dikatakan

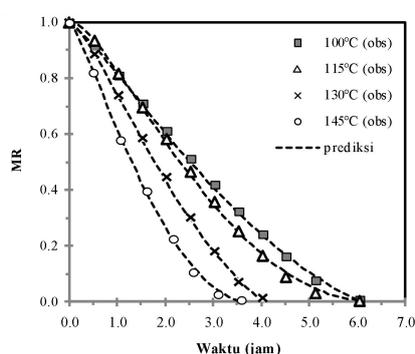
bahwa model *Modifikasi-Midilli* memiliki prosentase keakuratan lebih dari 90% dalam memprediksi data percobaan pengeringan okara.

Tabel 2. Hasil analisa regresi non-linier model pengeringan lapisan tipis okara pada suhu 100-145°C

Model	T (°C)	Koefisien					R ²	RMSE (% bk)	P (%)
		k	n	a	b	c			
<i>Page</i>	100	0.170	1.554	-	-	-	0.993	0.027	>10
	115	0.173	1.674	-	-	-	0.998	0.016	>10
	130	0.267	1.706	-	-	-	0.993	0.028	>10
	145	0.469	1.556	-	-	-	0.996	0.025	>10
<i>Logarithmic</i>	100	0.115	-	2.082	-	-1.059	0.997	0.019	>10
	115	0.205	-	1.514	-	-0.454	0.986	0.040	>10
	130	0.117	-	2.782	-	-1.755	0.996	0.020	>10
	145	0.336	-	1.503	-	-0.479	0.996	0.025	>10
<i>Wang and Singh</i>	100	-	-	-0.219	0.008	-	0.996	0.020	>10
	115	-	-	-0.257	0.015	-	0.985	0.041	>10
	130	-	-	-0.298	0.011	-	0.996	0.022	>10
	145	-	-	-0.452	0.047	-	0.996	0.024	>10
<i>Linear-plus-Esponential</i>	100	0.159	1.352	-	-	-0.009	0.999	0.011	>10
	115	0.164	1.649	-	-	-0.013	0.999	0.012	>10
	130	0.239	1.475	-	-	-0.004	0.999	0.011	7.40
	145	0.437	1.402	-	-	-0.006	0.999	0.015	>10
<i>Midilli</i>	100	0.160	1.354	0.991	-	-	0.999	0.011	>10
	115	0.165	1.653	0.988	-	-	0.999	0.012	>10
	130	0.240	1.477	0.996	-	-	0.999	0.011	7.41
	145	0.439	1.402	0.995	-	-	0.999	0.015	>10
<i>Modifikasi Midilli</i>	100	0.048	1.066	18.095	0.667	-	0.999	0.010	9.91
	115	0.057	1.092	23.343	1.127	-	0.999	0.009	7.81
	130	0.106	1.134	8.488	0.602	-	0.999	0.011	6.65
	145	0.086	1.056	26.981	1.834	-	0.999	0.011	>10

Evaluasi terhadap akurasi model *Modifikasi-Midilli* juga dilakukan dengan metode grafis, yakni memplot data MR prediksi dan MR hasil eksperimen pengeringan okara seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Tampak bahwa nilai MR hasil prediksi model *Modifikasi-Midilli* cocok dengan nilai MR percobaan pengeringan okara pada suhu 100-145°C. Konsistensi kesesuaian nilai MR prediksi dan MR eksperimen pada suhu pengeringan 100, 115 dan 130°C terdistribusi lebih merata mulai dari awal (MR=1) hingga akhir proses pengeringan (MR=0) dibandingkan suhu 145°C.

Tanpa diragukan lagi, fenomena ini valid dengan hasil analisa regresi non-linier yang tercantum pada Tabel 2, dimana untuk model *Modifikasi-Midilli* pada suhu 100-130°C memang menunjukkan nilai R², RMSE dan P relatif lebih baik dibandingkan dengan suhu 145°C. Meskipun demikian, penggunaan model *Modifikasi-Midilli* untuk analisa dan rancangan proses pengeringan okara secara konveksi, hanya disarankan untuk proses pada selang suhu pengeringan antara 100 dan 145°C.



Gambar 3. Kurva proses pengeringan okara hasil plot data MR eksperimen dan MR prediksi oleh model *Modifikasi-Midilli* pada beragam suhu pengeringan

3.3 Difusivitas efektif dan energi aktivasi pengeringan okara

Difusivitas efektif okara pada beragam suhu pengeringan ditunjukkan pada Tabel 3. Tampak bahwa nilai-nilai D_{eff} bervariasi tergantung pada suhu pengeringan. Kenaikan suhu pengeringan okara mulai dari 100 menuju 145°C menyebabkan peningkatan nilai D_{eff} okara mulai dari $4,79 \times 10^{-9}$ hingga $1,07 \times 10^{-8}$ m²/s. Nilai-nilai D_{eff} tersebut

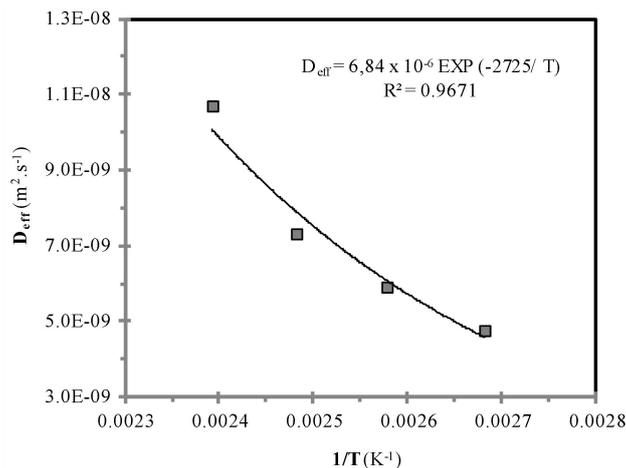
relatif lebih tinggi dibandingkan dengan nilai D_{eff} okara hasil dari Guimarães et al. (2018), yakni berkisar antara $1,8 \times 10^{-9}$ dan $5,0 \times 10^{-9}$ m²/s untuk pengeringan okara pada suhu 40-70°C. Hal ini dapat disebabkan oleh penggunaan suhu pengeringan yang lebih tinggi pada studi ini dan adanya pengendalian kelembaban udara relatif internal ruang pengering pada studi Guimarães et al. (2018).

Tabel 3. Nilai difusivitas efektif okara dan energi aktivasi

T (°C)	D_{eff} (m ² /s)	Energi aktivasi (Ea) (kJ/mol)	R ²
100	4.78×10^{-9}	22,7	0,967
115	5.93×10^{-9}		
130	7.34×10^{-9}		
145	1.07×10^{-8}		

Difusivitas efektif okara berbanding terbalik secara non-linier dengan suhu absolut pengeringan dan mengikuti kurva persamaan *Arhenius*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dengan nilai $R^2=0,967$. Hasil analisa regresi non linier terhadap model *Arhenius* menunjukkan bahwa nilai konstanta difusivitas pada suhu tak terbatas (D_0)

dan energi aktivasi (E_a), secara berurutan, adalah $6,34 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $22,7 \text{ kJ/mol}$. Energi aktivasi relatif lebih rendah daripada hasil studi Guimarães et al (2018) untuk pengeringan okara pada $40-70^\circ\text{C}$ yaitu sebesar $28,15 \text{ kJ/mol}$, namun identik dengan nilai energi aktivasi pengeringan kedelai pada $40-100^\circ\text{C}$ sebesar $22,77 \text{ kJ/mol}$ (Oliveira et al., 2013).



Gambar 4. Kurva model Arhenius hasil plotting suhu pengeringan dengan difusivitas efektif (D_{eff}) okara untuk mencari nilai energi aktivasi pengeringan

KESIMPULAN

Eksperimen pengeringan okara dalam studi ini dapat menurunkan kadar air okara dari $\pm 300\%$ menjadi $5-6\%$ basis kering dalam kurun waktu 3-6 jam tergantung pada suhu pengeringan. Kenaikan suhu pengeringan dari 100 hingga 145°C meningkatkan laju pengeringan okara dari $15-20\%$ ke 128% basis kering per-jam. Analisa regresi non-linier dan uji statistik pada berbagai model pengeringan dalam studi ini menghasilkan model *modifikasi-Midilli* dengan bentuk $MR = a \exp(-k t^n) + bt + c$, sebagai model terbaik dan paling akurat dalam mengestimasi data hasil percobaan pengeringan okara. Nilai difusivitas efektif okara (D_{eff}) bervariasi mulai dari $4,79 \times 10^{-9}$ hingga $1,07 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ tergantung pada suhu pengeringan, sedangkan energi aktivasi (E_a) pengeringan $22,7 \text{ kJ/mol}$.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC (1999). Official method of analysis. association of official analytical chemist. Washington DC.
- Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. Second Ed. Oxford University Press, London, U. K.
- Demirhan, E., Ozbek, B. (2011). Thin-layer drying characteristics and modeling of celery leaves undergoing microwave treatment. *Chemical Engineering Communications*, 7(198), 957-975.
- Guimarães RM., Oliveira DEC., Resende O., Silva JS., Rezende TAM., and Egea MB. (2018). Thermodynamic properties and drying kinetics of 'okara'. *Rev. bras. eng. agric. ambient*, 22(6), 418-423.
- Katayama M., Wilson LA. (2008). Utilization of okara, a byproduct from soymilk production, through the development of soy-based snack food. *J Food Sci*, 73. S152-S157.

- Kingsly RP., Goyal RK., Manikantan MR., and Ilyas SM. (2007). Effects of pretreatments and drying air temperature on drying behavior of peach slice. *International Journal of Food Science and Technology*, 42, 65-69.
- Kudou T., Kurisaki J-I., Nagura H. (2013) Utilization of okara in daily meals: properties and sensory evaluation of boiled rice, bread and udon containing okara as a part of ingredients. *Journal for the Integrated Study of Dietary Habits*, 24(3), 154-161
- Lema AA., Aguerre RJ., Suarez C. (1998). Drying kinetics of soybean draft (okara). *The 11th International Drying Symposium*, Volume C, Ed. CB. Akritidis, Ziti Editions, Thessaloniki, 2149-2155
- Ma CY., Liu WS., Kwok KC., and Kwok F. (1997). Isolation and characterization of protein from soy milk residue (okara). *Food Research International*, 29(8): 799-805.
- Madhiyanon T., Phila A., Soponronnarit S. (2009). Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut. *Applied Thermal Eng.*, 29, 2849-2854
- Midilli A, Kucuk H and Yapar Z (2002) A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 120(7), 1503-1513.
- Mohapatra D., Rao PS. (2005). A thin layer drying model of parboiled wheat. *Journal of Food Eng.*, 66, 513-518.
- Oliveira DEC., Resende O., Bessa JFV., Kester AN. (2013). Kinetic and thermodynamic properties of soybean grains during the drying process. *Journal of Agricultural Eng.*, 44, 331-337.
- Perussello CA., Amarante ACC., Mariani VC. (2009). Convective drying kinetics and darkening of okara. *Drying Technology* 27 1132–1141.
- Shurtleff W., Aoyagi A. (2000). Tofu and soymilk production: a craft and technical manual, Soyfood Center, 115-131.
- Sripinyowanich J., Noomhorm A. (2010). A new model for vibro-fluidized bed and microwave vibrofluidized bed drying of unfrozen and frozen cooked rice. *The 5th International conf. on innovations in food and bioprocess technology*, Ed. Ahmad I. et al., AIT, Bangkok 7-9 December, C1-C4
- Taruna I., Sutanto EH. (2014). Kinetika pengeringan lapisan tipis umbi iles-iles menggunakan metode pengeringan konveksi. *Seminar Nasional FTIP UNPAD - Perteta – HIPI*, Ed. AM. Kramadibrata dkk, UNPAD Press, Sumedang, 73-81.
- Taruna I., Septia EN., Sutarsi (2016). Evaluation of thin-layer drying models for estimating infrared drying kinetics of okara. *The 2nd International Conf. on food, agriculture and natural resources*, Ed. SN. Wulan, UB-Press, Malang, 418-426
- Tulek Y. (2011). Drying kinetics of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in a convective hot air dryer. *J. Agr. Sci. Tech.*, 13, 655-664
- Wachiraphansakul S., Devahastin S. (2007). Drying kinetics and quality of okara dried in a jet spouted bed of sorbent particles. *LWT-Food Science and Technology*, 40(2), 207-219
- Zhang Q., Litchfield JB. (1991). An optimization of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer. *Drying Technology*, 9, 383–395.