



## Model matematika pengeringan daun bunga kecombrang (*Etilingera elatior* Jack) pada pengering *rotary* skala laboratorium

Melvin Emil Simanjuntak<sup>1</sup>, Paini Sri Widyawati<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknologi Pangan, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, Indonesia

### Article history

*Diterima:*

11 Mei 2021

*Diperbaiki:*

2 Juni 2021

*Disetujui:*

22 Juli 2021

### Keyword

*Mathematics model;*

*Ginger torch;*

*Rotary drier*

### ABSTRACT

*Ginger torch (Etilingera elatior Jack) is an herbaceous plant that is used as a flavoring, deodorizing, anti-oxidant, and antimicrobial. The fresh ginger torch has a high moisture content, so that it can't be stored for a long time because it will rot quickly. Drying is needed to preserve the ginger torch so that it can last longer. The research was aimed to determine the mathematical model, effective moisture diffusion, and activation energy for drying the leaves of Etilingera elatior Jack on a rotary dryer. The method used in this research was an experiment with three times repeated then followed by data analysis with curve expert 2.3.0 and MS-excel software. This research was performed by using a rotary dryer at temperatures of 60 °C, 70 °C, 80 °C, and 90 °C. The ginger torch was chopped about 1 cm, with a mass of 400 grams for each sample. Measurement of moisture content was carried out every 20 minutes. The results showed that the most suitable drying model was the Rational model with the general form of  $MR = (a + bt)/(1 + bt + dt^2)$ . The effective diffusion was  $8.528 - 16.690 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ , and the activation energy was  $48.01 - 50.67 \text{ kJ/mol}$ .*



*This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.*

\* Penulis korespondensi

Email : paini@ukwms.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v16i1.10625

## PENDAHULUAN

Kecombrang (*Etilingera elatior* Jack) adalah tanaman rempah yang banyak tumbuh di daerah Sumatera, Jawa, Bali, Malaya dan Thailand. Tanaman ini digunakan sebagai pemberi cita rasa (Noweg *et al.*, 2003) dan mengawetkan makanan (Naufalin *et al.*, 2019). Selain itu juga digunakan untuk penghilang bau badan (Syamsuhidayat dan Hutapea, 1999). Hal ini disebabkan kecombrang memiliki komponen flavonoid, fenolik, alkaloid dan triterpenoid, sehingga ekstrak kecombrang memiliki aktivitas antimikroba dan antioksidan (Naufalin dan Rukmini, 2011).

Kadar air yang tinggi pada kecombrang segar menyebabkan mudah mengalami pembusukan apabila tidak diawetkan. Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengurangi kadar air karena dapat menghambat atau meminimalkan bahkan menghentikan aktivitas mikroba sehingga dapat digunakan untuk mengawetkan bahan pangan. Produk yang kering juga akan meminimalkan biaya pengangkutan, penyimpanan, dan waktu pengemasan (Kabiru *et al.*, 2013).

Pengurangan kadar air dapat terjadi karena adanya perpindahan panas dan massa secara bersamaan dari dalam ke luar benda yang dikeringkan (Ertekin dan Yaldis, 2004). Proses pengeringan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti: waktu, suhu, luas permukaan, ukuran/ketebalan, volume material, kelembaban relatif, laju aliran dan tekanan parsial udara (Chayjan, 2012).

Salah satu alat pengering yang banyak digunakan adalah pengering *rotary*. Pengering *rotary* berbentuk suatu tabung yang dapat berputar yang di dalamnya dimasukkan bahan yang akan dikeringkan dan dilewatkan udara panas. Pengering *rotary* memiliki fleksibilitas dalam menangani berbagai jenis material (Arruda *et al.*, 2009). Pengering ini sesuai digunakan untuk mengeringkan padatan curah dan banyak digunakan pada industri makanan, pupuk, bahan kimia tertentu dan mineral. Adanya aliran udara panas dan drum berputar akan mempercepat pengeringan dan membuat hasil yang lebih seragam.

Jenis pengeringan *thin-layer* mengacu pada pengeringan material yang memiliki lapisan yang tipis dan karakteristik udara di setiap titik pada lapisan itu adalah seragam. Proses pengeringan *thin-layer* juga dapat diaplikasikan pada partikel atau butiran (Inyang *et al.*, 2018). Pada proses

pengeringan terdapat dua periode laju pengeringan. yaitu pengeringan periode laju konstan dan periode laju jatuh (Ikrang, 2014). Pada periode laju konstan, nilai laju pengeringan adalah konstan disebabkan bahan mempunyai kadar air tinggi di permukaan. Sedangkan pada periode pengeringan laju menurun, nilai laju pengeringan dipengaruhi oleh laju difusi *moisture* dari bagian dalam ke permukaan benda.



a



b



c

Gambar 1 (a) Bunga kecombrang, (b) Sampel, (c) Pengering *rotary*

Selama proses pengeringan terjadi perubahan kadar air seiring waktu. Perubahan ini dimodelkan dalam persamaan matematika. Ada banyak persamaan yang memodelkan kinetika pengeringan. Persamaan ini dibentuk dengan meregresikan perubahan rasio *moisture* dan dianalisa secara statistik untuk menentukan persamaan yang sesuai. Pada penelitian ini beberapa model pengeringan yang diperoleh, dibandingkan secara statistik. Kualitas *curve fitting* dinilai berdasarkan nilai koefisien korelasi (R), koefisien determinasi (R<sup>2</sup>), paling tinggi, dan nilai Chi kuadrat tereduksi ( $\chi^2$ ) dan Root Mean Square Error (RMSE) terendah adalah yang paling baik (Kingsly dan Singh, 2007).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model matematika pengeringan bunga kecombrang yang paling sesuai diantara banyak persamaan kinetika pengeringan yang telah ada sebelumnya. Selain itu juga untuk mengetahui difusi *moisture* efektif dan energi aktivasi pengeringan pada pengering *rotary*.

**METODE**

**Bahan dan alat**

Kecombrang diperoleh dari pasar induk *Lau Chi* di kota Medan. Bunga kecombrang dicacah dengan ukuran sekitar 1 cm persegi dan bagian dalam bunga dibuang karena memiliki bentuk yang berbeda jauh dengan bagian daun bunga. Ketebalan daun bunga kecombrang diasumsikan sebesar 1 mm berdasarkan ketebalan rata-rata. Sedangkan tangkai bunga tidak diikutkan dalam pengeringan. Berat daun bunga kecombrang untuk satu sampel pengeringan adalah 400 g. Pengujian dilakukan 3 kali dan diambil hasil rata-ratanya. Oven pengering yang digunakan adalah oven listrik oxone tipe OX 8830 volume 30 liter. Daya maksimum 1300 W, 220 Volt dan ukuran (P x L x T) 45 cm x 31 cm x 34 cm. Keranjang tempat sampel diputar dengan kecepatan sekitar 3 rpm. Pengukuran massa sampel dilakukan bersama wadah sampel setiap selang waktu 20 menit dan secepatnya dimasukkan kembali ke dalam pengering. Temperatur dijaga melalui pengendali suhu yang terdapat pada oven. Temperatur pengeringan adalah 60 °C, 70 °C, 80 °C, dan 90 °C tidak jauh berbeda dengan penelitian (Garavand dan Meda (2018). Neraca massa yang digunakan adalah SF-400C dengan akurasi 0,01 g.

**Model Kinetika Pengeringan**

Model persamaan kinetika pengeringan dikembangkan dalam bentuk persamaan untuk menjelaskan proses pengeringan yang terjadi. Persamaan tersebut meliputi persamaan kadar air dan persamaan rasio *moisture* laju pengeringan. Perubahan rasio *moisture* yang terjadi dimodelkan dalam bentuk persamaan regresi. Pada penelitian ini kadar air dihitung menurut persamaan (1)

$$MC(\%) = \frac{M_{H_2O}}{M_{total}} \times 100\% \tag{1}$$

dimana:

MC = kadar air (%)

M<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = massa air (g)

M<sub>total</sub> = massa air + padatan (g)

Rasio *moisture* dihitung mengikuti persamaan (2)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \tag{2}$$

dimana

MR = rasio *moisture*

M<sub>t</sub> = kadar air pada basis basah pada waktu t

M<sub>o</sub> = kadar air awal (%)

M<sub>e</sub> = kadar air kesetimbangan(%)

Jika M<sub>e</sub> sangat kecil maka persamaan di atas dituliskan menjadi

$$MR = \frac{M_t}{M_o}$$

Laju pengeringan untuk selang waktu tertentu dihitung mengikuti persamaan (3).

$$DR(\%/min) = \frac{MC_1 - MC_2}{\Delta t} \tag{3}$$

dimana

DR = laju pengeringan (%/min)

MC<sub>1</sub> = kadar air pada waktu t (%)

MC<sub>2</sub> = kadar air pada waktu t + 20 menit (%)

Δt = selang waktu (menit)

Analisa statistik dilakukan dengan menghitung parameter-parameter statistik seperti yang telah diuraikan. Setelah dilakukan regresi maka dilihat nilai koefisien korelasi dari masing-masing persamaan. Koefisien korelasi hasil regresi dihitung berdasarkan persamaan (4).

$$R^2 = 1 - \frac{\left[ \sum(MR_{Prd} - \sum MR_{Exp})^2 \right]}{\left[ \sum(MR_{Prd} - \sum MR_{Exp})^2 \right]} \tag{4}$$

dimana:

R = koefisien determinasi

MR<sub>Prd</sub> = rasio *moisture* prediksi (tak berdimensi)

MR<sub>Exp</sub> = rasio *moisture* percobaan (tak berdimensi)

MR<sub>Prd</sub> = rasio *moisture* prediksi rata - rata

*Root Mean Square Error* (RMSE) dihitung menggunakan persamaan (5).

$$RSME = \left( \frac{\sum(MR_{Prd} - MR_{Exp})^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \tag{5}$$

*Chi-square* (χ<sup>2</sup>) diperoleh dari persamaan (6)

$$\chi^2 = \frac{\sum(MR_{Exp} - MR_{Prd})^2}{N-n} \tag{6}$$

dimana

χ<sup>2</sup> = *chi-square* tereduksi

N = jumlah observasi

n = jumlah parameter, bilangan integer positif

Diffusi efektif menjelaskan laju pergerakan kandungan air dari bagian dalam ke permukaan benda. Laju diffusi berkaitan erat dengan rasio *moisture* yang ada. Semakin rendah rasio *moisture* maka akan semakin sulit diffusi terjadi. Dalam hubungannya dengan diffusi efektif, rasio *moisture* dihitung berdasarkan persamaan (7).

$$MR_{\text{Root Mean Square Error}} = \frac{M_t}{M_o} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} t\right) \quad (7)$$

Pengeringan yang dilakukan dalam jangka waktu yang cukup lama, maka persamaan (7) dapat disederhanakan menjadi persamaan (8).

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{\text{eff}}}{4L^2} t \quad (8)$$

dimana

- L = tebal material, m
- D<sub>eff</sub> = diffusi efektif, m<sup>2</sup>/s
- n = bilangan positif

Untuk persamaan (9), koefisien diffusi efektif adalah kemiringan kurva yang dilinierkan dan diperoleh dengan mem-plot nilai ln MR dan waktu pengeringan. Nilai D<sub>eff</sub> diperoleh dari persamaan (9).

$$D_{\text{eff}} = \text{slope} \times \frac{4L^2}{\pi^2} \quad (9)$$

Energi aktivasi adalah energi minimum yang harus diberikan supaya reaksi/penguanan dapat

terjadi. Energi aktivasi dihitung dengan persamaan (10).

$$D_{\text{eff}} = D \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (10)$$

dimana

- D = faktor diffusi (m<sup>2</sup>/s),
- E = aktivasi energi (kJ/mol)
- R = konstanta gas universal (8,314 J/mol.K)
- T = temperatur absolut (K)

Pada penelitian ini rasio *moisture* dihitung berdasarkan 9 model matematika persamaan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Kesembilan model tersebut diambil dari sekitar 20 persamaan model pengeringan yang ada, kemudian di-scanning menggunakan nilai energi aktivasi E<sub>a</sub> dan faktor pre-eksponensial D dapat diperoleh dengan mem-plot nilai ln (D<sub>eff</sub>) dan 1/T dari persamaan (11).

$$\ln(D_{\text{eff}}) = \ln(D) - \left(\frac{E_a}{R}\right) \left(\frac{1}{T}\right) \quad (11)$$

software Curve Expert Professional 2.3.0 untuk melihat nilai-nilai koefisien korelasi (R<sup>2</sup>). Sembilan persamaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 1. Setelah itu dilakukan analisa statistik untuk melihat nilai nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Chi-Square* (χ<sup>2</sup>) masing-masing persamaan dengan MS-Excel sehingga diperoleh satu model kinetika pengeringan yang paling sesuai dengan hasil percobaan.

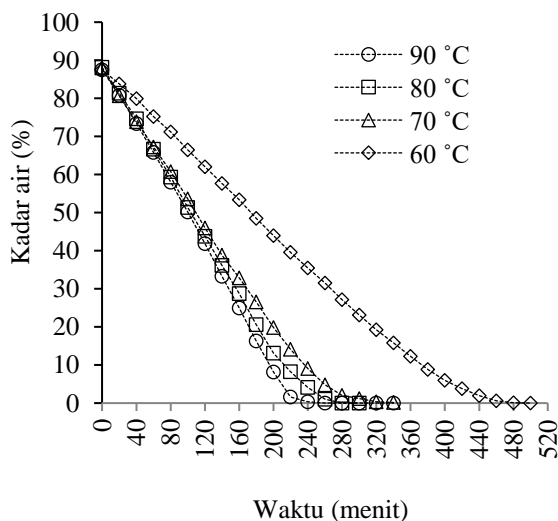
Tabel 1 Model Matematika Persamaan Pengeringan

No	Model	Persamaan	Referensi
1	Khazaei	$MR = a + B \exp(-bt) - ct$	(Khazaei dan Daneshmandi, 2007)
2	Midili Kucuk	$MR = a \exp((-kt^n) + bt$	(Midilli dan Kucuk, 2003)
3	MMF	$MR = ((ab) + (ct^d))/(b + t^d)$	(Dincer <i>et al.</i> , 2014)
4	Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^y)$	(Gunhan <i>et al.</i> , 2005)
5	Pages	$MR = \exp(-kt^y)$	(Akpinar, 2010)
6	Rational Model	$MR = (a + bt)/(1 + bt + dt^2)$	(Dincer <i>et al.</i> , 2014)
7	Simplified Fick's Diffusion	$MR = a \exp\left(-c\left(\frac{t}{2L}\right)\right)$	(Diamante dan Munro, 1991)
8	Wang dan Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	(Akpinar, 2010)
9	Weibull	$MR = a - b \exp^{-ct^d}$	(Khazaei dan Daneshmandi, 2007)

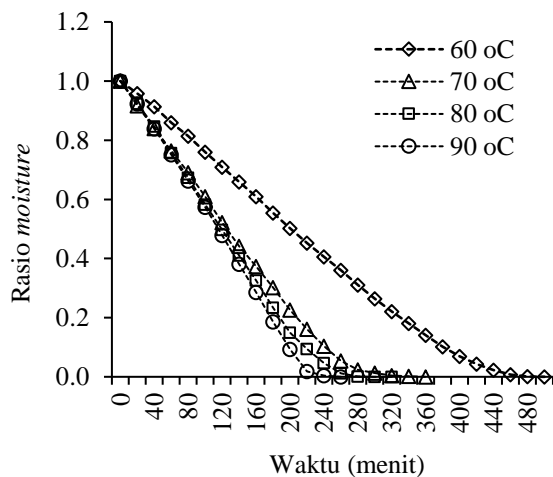
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kinetika Pengeringan**

Selama pengeringan kadar air dalam bahan akan berkurang seiring waktu. Kadar air yang diperoleh untuk selang waktu pengukuran selama 20 menit disajikan pada Gambar 2. Hasil percobaan menunjukkan pengeringan dengan temperatur lingkungan 70 °C, 80 °C, dan 90 °C memiliki sedikit perbedaan dan berbeda jauh dengan temperatur 60 °C. Untuk temperatur lingkungan 70 °C, 80 °C, dan 90 °C, kadar air di bawah 10 % diperoleh setelah bunga kecombrang dikeringkan selama 240, 220 dan 220 menit. Sedangkan untuk temperatur 60 °C kadar air 10 % tercapai setelah pengeringan selama 380 menit. Naufalin *et al.* (2019) mendapatkan kadar air berkurang pada laju 0,6 – 1 % per jam pada pengeringan bubuk kecombrang dengan pengering kabinet.



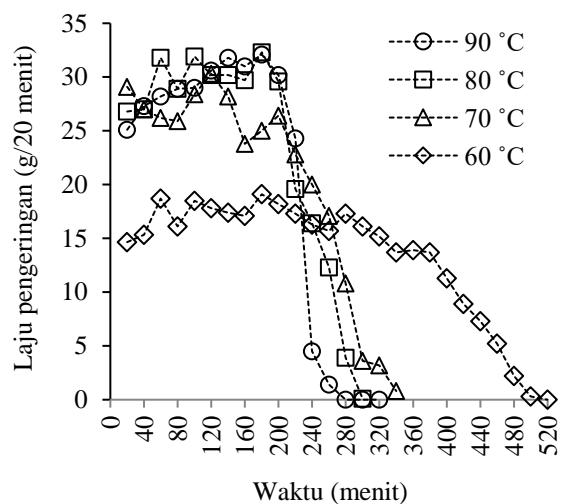
Gambar 2 Kadar air vs waktu



Gambar 3 Rasio moisture vs waktu

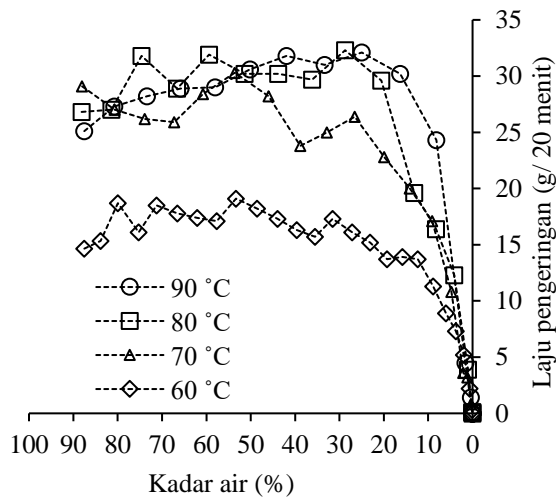
Rasio *moisture* merupakan perbandingan kadar air sesaat dengan kadar air kesetimbangan ditunjukkan pada Gambar 3. Kadar air kesetimbangan pada penelitian ini adalah ketika berat menunjukkan tidak ada perubahan saat dilakukan pengukuran.

Ketika pengeringan dilakukan dengan rentang waktu yang cukup lama akan diperoleh rasio *moisture* kesetimbangan sebesar nol, sedangkan rasio *moisture* pada kondisi awal selalu sebesar 1. Sebagaimana halnya dengan kadar air, pengeringan dengan temperatur 70 °C, 80 °C, dan 90 °C menunjukkan penurunan *moisture* yang lebih cepat dibandingkan pada temperatur 60 °C.



Gambar 4 Laju pengeringan vs waktu

Laju pengeringan ditunjukkan pada Gambar 4. Data menunjukkan bahwa laju pengeringan pada temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C berlangsung jauh lebih cepat dibandingkan pada temperatur 60°C. Periode laju konstan berlangsung sekitar 200 menit, sedangkan pada temperatur 60°C berlangsung pada 380 menit. Ditinjau dari segi kebutuhan energi tidak ada perbedaan signifikan pengeringan menggunakan temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C.



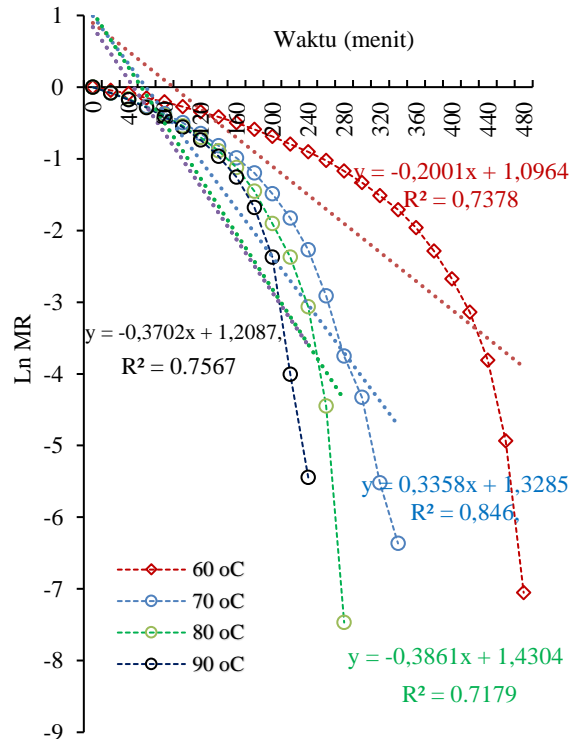
Gambar 5 Kadar air vs laju pengeringan

Pengaruh kadar air terhadap laju pengeringan ditunjukkan pada Gambar 5. Periode pengeringan laju konstan berlangsung cukup lama untuk semua temperatur pengeringan. Kemudian diikuti oleh laju jatuh hingga akhir pengeringan. Pengeringan dengan temperatur 70 °C, 80 °C, dan 90 °C, periode pengeringan laju jatuh dimulai pada kisaran kadar air 20%. Sedangkan untuk temperatur 60 °C periode laju jatuh terjadi ketika kadar air sekitar 10 %. Pada periode laju jatuh, pengeringan sangat dipengaruhi oleh difusi *moisture* ke bagian permukaan. Penelitian Soysal *et al.* (2006) menunjukkan bahwa periode laju jatuh pada pengeringan *parsley* (peterseli) dengan microwave vakum terjadi ketika rasio *moisture* sebesar 35 %. Kondisi ini dipengaruhi oleh tahanan internal pada produk, seperti porositas pada masing-masing material.

**Model Matematika Pengeringan**

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil regresi terbaik adalah model Rasional diikuti oleh model Midili Kucuk. Model Rasional mempunyai nilai R<sup>2</sup> masing-masing sebesar 0,99911; 0,99711; 0,99680, dan 0,99680 pada masing-masing temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C, dan 90 °C. Model Rasional tersebut juga memiliki nilai RMSE yang paling kecil yaitu masing-masing sebesar 0,09254; 0,01810; 0,07782, dan 0,02011. Demikian juga model tersebut mempunyai nilai  $\chi^2$  yang paling kecil. Persamaan model Rasional merupakan bentuk dari fungsi polinomial dibagi dengan

fungsi polinomial lain. Model ini memiliki bentuk umum  $MR = (a + bt)/(1 + bt + dt^2)$  (Çinkır dan Süfer, 2020)



Gambar 6 Ln MR dan waktu

**Diffusi Efektif dan Energi Aktivasi**

Nilai Ln MR dan waktu ditunjukkan pada Gambar 6. Kemiringan Ln MR diperoleh dengan meregresikan masing-masing garis. Slope yang diperoleh digunakan untuk menghitung D<sub>eff</sub> berdasarkan persamaan 9 dan energi aktivasi E<sub>a</sub> menurut persamaan 10. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Diffusi *moisture* efektif dan energi aktivasi

T (°C)	D <sub>eff</sub> (x10 <sup>-8</sup> ) (m <sup>2</sup> /s)	E <sub>a</sub> (KJ/mol)
60	8,53	48,01
70	14,58	48,51
80	17,15	49,83
90	16,69	50,67

Tabel 2 Parameter statistik berdasarkan model pengeringan yang berbeda

Model	Temp.	Konstanta	R <sup>2</sup>	Std Error	RMSE	χ <sup>2</sup>
Khazaei Model	60	a = 9,55740 E-01; B = 4,42560 E-02; b = 3,89703 E+08; c = 2,15039 E-03	0,98397	0,04517	0,04148	0,00186
	70	a = -1,46254 E+01; B = 1,56686 E+01 b = 9,77898 E-04; c = -9,89744 E-03	0,94239	0,09103	0,02803	0,00088
	80	a = 9,19025 E-01; B = 8,09750 E-02; b = 2,09681 E+08; c = 3,36504 E-03	0,96151	0,07732	0,06762	0,00518
	90	a = 9,88631 E-01; B = 1,13692 E-02; b = 1,00000 E+00; c = 4,20753 E-03	0,98722	0,04586	0,04022	0,00191
MMF	60	a = 9,795294 E-01; b = 7,50109 E+03; c = -66,02376 E-01; d = 1,53095 E+00	0,99824	0,01498	0,01377	0,00021
	70	a = 9,61813 E-01; b = 9,17836 E+03; c = -2,90728 E-01; d = 1,78874 E+00	0,9975	0,02679	0,02381	0,00063
	80	a = 9,65375 E-01; b = 1,30141 E+04; c = -2,93302 E-01; d = 1,88688 E+00	0,99476	0,02854	0,02896	0,00095
	90	a = 9,77322 E-01; b = 5,15208 E+03; c = -7,00781 E-01; d = 1,61826 E+00	0,99517	0,02817	0,02471	0,00072
Midili-Kucuk	60	a = 9,80848 E-01; k = 2,27988 E-04; n = 1,47969 E+00; b = -2,69658 E-04	0,99873	0,01267	0,01166	0,00015
	70	a = 9,64774 E-01; k = 2,81664 E-04; n = 1,59757 E+00; b = -1,67431 E-04	<b>0,99845</b>	0,02109	0,01874	0,00039
	80	a = 9,67873 E-01; k = 1,96047 E-04; n = 1,69482 E+00; b = -1,91794 E-04	0,99677	0,02239	0,01958	0,00043
	90	a = 9,74937 E-01; k = 2,31684 E-04; n = 1,64635 E+00; b = -7,70182 E-04	0,99609	0,02535	0,02224	0,00058
Modified Page	60	a = 4,13128 E-03; y = 1,65570 E+00	0,99168	0,03116	0,02998	0,00097
	70	k = 6,59209 E-03; y = 1,62573 E+00	0,99219	0,03144	0,02975	0,00099
	80	k = 7,10452 E-03; y = 1,72815 E+00	0,99222	0,03236	0,03040	0,00105
	90	k = 7,48739 E-03; y = 1,84201 E+00	0,98703	0,04216	0,04051	0,00194
Page	60	k = 1,12964 E-04; n = 1,65570 E+00	0,99167	0,03116	0,02998	0,00097
	70	k = 2,84651 E-04; n = 1,62573 E+00	0,99220	0,03144	0,02975	0,00099
	80	k = 1,93705 E-04; n = 1,72815 E+00	0,99222	0,03236	0,03040	0,00105
	90	k = 1,35221 E-04; n = 1,82011 E+00	0,98703	0,04216	0,04051	0,00194
Rational Model	60	a = 9,92200 E-01; b = -2,11319 E-03; c = -3,72107 E-04; d = 5,41926 E-06	<b>0,99911</b>	0,01064	0,09254	0,00928
	70	a = 9,78553 E-01; b = -3,05670 E-03; c = -8,56124 E-03; d = 2,03511 E-05	0,99711	0,02037	0,01810	0,00037
	80	a = 9,81845 E-01; b = -3,45683 E-03; c = -1,47152 E-03; d = 2,49804 E-05	<b>0,99680</b>	0,02228	0,07782	0,00686
	90	a = 9,85892 E-01; b = -4,07642 E-03; c = -1,60136 E-03; d = 1,85488 E-05	<b>0,99680</b>	0,02292	0,02011	0,00048
Simplify Ficks Diffusion	60	a = 1,12915 E+00; c = 2,83500 E+00; L = 2,94616 E+02	0,94692	0,08037	0,07558	0,00619
	70	a = 1,11322 E+00; c = 2,83172 E-01; L = 1,83786 E+01	0,95126	0,08098	0,07432	0,00617
	80	a = 1,12458 E+00; c = 5,76276 E-01; L = 3,44080 E+01	0,9468	0,09092	0,08252	0,00772
	90	a = 1,12126 E+00; c = 1,44773 E+01; L = 8,36561 E+00	0,92580	0,10532	0,09688	0,01109
Wang and Singh	60	a = -2,81657 E-03; b = 1,40188 E-06	0,99493	0,02430	0,53284	0,30758
	70	a = -4,86231 E-03; b = 5,41189 E-06	0,99598	0,03188	0,03016	0,00102
	80	a = -5,13268 E-03; b = 5,66003 E-06	0,98821	0,03983	0,03742	0,00159
	90	a = -4,7408 E-03; b = 2,53874 E-06	0,99047	0,03661	0,03474	0,00143
Weibull	60	b = 2,42056 E+02; n = 1,65570 E+00	0,99168	0,03116	0,02998	0,00097
	70	b = 1,51697 E+02; n = 1,625734 E+00	0,99219	0,03144	0,02975	0,00099
	80	b = 1,40756 E+02; n = 1,72814 E+00	0,99222	0,03236	0,03040	0,00105
	90	b = 1,33558 E+02; n = 1,82011 E+00	0,98703	0,04216	0,04051	0,00194

Keterangan: Angka yang dibold adalah nilai R<sup>2</sup> terbaik untuk tiap tiap temperatur pengeringan yang digunakan



Nilai diffusi efektif yang diperoleh adalah  $8,5 - 16,69 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Tidak berbeda jauh dengan yang disampaikan oleh Ozbek dan Dadali (2007) yaitu pada kisaran  $10^{-7}$  hingga  $10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sedangkan nilai energi aktivasi yang diperoleh berkisar antara 48,01 – 50,67 KJ/mol. Nilai energi aktivasi berada pada kisaran 12,7 – 110 KJ/mol untuk bahan pangan sebagaimana yang disebutkan Zogzas *et al.* (1996). Nilai ini juga tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Garavand dan Meda (2018) pada proses pengeringan terhadap daun *savory* menggunakan temperatur 40°C, 60°C, dan 80°C.

### KESIMPULAN

Pada penelitian ini, pengeringan kecombrang dilakukan pada pengering *rotary* skala laboratorium menggunakan temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C, dan 90 °C. Model kinetika pengeringan yang paling sesuai adalah mengikuti model Rasional dengan bentuk umum persamaan  $MR = (a + bt)/(1 + bt + dt^2)$ . Nilai koefisien korelasi memiliki nilai yang paling mendekati 1. Diffusi *moisture* efektif berada pada kisaran  $8,528 - 16,690 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  dan energi aktivasi adalah 48,01 – 50,67 KJ/mol.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Medan dan Universitas Katolik Widya Mandala untuk pendanaan dalam penelitian ini

### DAFTAR PUSTAKA

- Akpinar, E.K. 2010. Drying of Mint Leaves in A Solar Dryer and Under Open Sun: Modelling, Performance Analyses. *Energy Conversion and Management*, 51, 2407–2418. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.05.005>.
- Arruda, E.B., Facanha, J.M.F., Pires, L. N., Assis, A.J.A.S., Barrozo, M.A.S. 2009. Conventional and Modified Rotary Dryer: Comparison of Performance in Fertilizer Drying. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 1414–1418. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.07.007>
- Chayjan, R.A. 2012. Modeling Some Drying Characteristics of High Moisture Potato Slices in Fixed, Semi Fluidized and Fluidized Bed Conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 1229-1241.
- Cinkir, N.I., Sufer., O. 2020. Microwave Drying of Turkish Red Meat (Watermelon) Radish (*Raphanus Sativus L.*): Effect of Osmotic Dehydration, Pre-treatment and Slice Thickness. *Heat and Mass Transfer*, 56(12), 3303-3313. <https://doi.org/10.1007/s00231-020-02930-w>
- Diamante, L.M., Munro, P.A. 1991. Mathematical Modeling of Hot Air Drying of Sweet Potato Slices. *International Journal of Food Science and Technology* 26, 99-109.
- Dincer, I., Midilli, A., Kucuk, H. 2014. *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*. Chapter 63. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04681-5>
- Ertekin, C., Yaldiz, O. 2004. Drying of Eggplant and Selection of a Suitable Thin Layer Drying Model. *Journal of Food Engineering*, 63(3), 349-359. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2003.08.007
- Garavand, T.A., Meda, V. 2018. Drying Kinetics and Modeling of Savory Leaves Under Different Drying Conditions. *International Food Research Journal*, 25(4),1357-1364.
- Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E. Hepbasli, A. 2005. Mathematical Modelling of Drying of Bay Leaves. *Energy Conversion and Management*, 46, 1667–1679. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.10.001>.
- Ikrang, E.G. 2014. Development of a Model for Thin Layer Solar Drying of Salted Fish Fillets. PhD Thesis. Department of Agricultural and Bioresources Engineering, University of Nigeria, Nsukka.
- Inyang, U.E., Oboh, I.O., Etuk, B.R. 2018. Kinetics Models for Drying Technique-Food Material, *Advances in Chemical Engineering and Science*, 8, 27-48. <https://doi.org/10.4236/aces.2018.82003>.
- Kabiru, A.A., Joshua, A.A., Raji, A.O. 2013. Effect of Slice Thickness and Temperature on the Drying Kinetics of Mango (*Mangifera Indica*). *International Journal of Recent Research and Applied Studies*, 15, 41-50.
- Khazaei, J., Daneshmandi, S. 2007. Modeling of Thin-Layer Drying Kinetics of Sesame



- Seeds: Mathematical and Neural Networks Modeling. Science York, 335–348.
- Kingsly, A.R.P., Singh, D.B. 2007. Drying Kinetics of Pomegranate Arils. *Journal of Food Engineering*, 79, 741-744. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2006.02.033>
- Madhava, N.M., Vedashree, M., Satapathy, P., Khanum, H., Ramsamy, R., Hebbar, H.U. 2016. Effect of Drying Methods on The Quality Characteristics of Dill (*Anethum graveolens*) Greens. *Food Chemistry*, 192, 849–856. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.076>.
- Midilli, A., Kucuk, H. 2003. Mathematical Modeling of Thin Layer Drying of Pistachio by Using Solar Energy. *Energy Conversion and Management*, 44, 1111–1122. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00099-7](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00099-7).
- Naufalin, R., Rukmini. H.S. 2011. Potensi Antioksidan Hasil Ekstraksi Tanaman Kecombrang (*Nicolaia speciosa*) Selama Penyimpanan. Prosiding Seminar Nasional membangun Daya Saing Produk Pangan Berbasis Bahan Lokal. Surakarta, 8 Juni 2011. [https://www.academia.edu/32140785/Potensi\\_Antioksidan\\_Hasil\\_Ekstraksi\\_Tanaman\\_Kecombrang\\_Nicolaia\\_speciosa\\_Horan\\_Selama\\_Penyimpanan](https://www.academia.edu/32140785/Potensi_Antioksidan_Hasil_Ekstraksi_Tanaman_Kecombrang_Nicolaia_speciosa_Horan_Selama_Penyimpanan)
- Naufalin, R., Wicaksono, R., Arsil, P. 2019. Aplikasi *Cabinet Dryer* (Pengereng Kabinet) untuk Meningkatkan Produksi Bahan Baku Pengawet Alami Buah Kecombrang (*Etlintera elatior*), *Dinamik Jurnal*, 1(3), 22-27.
- Noweg, T., Abdullah, A.R., Nidang, D. 2003. Forest Plants As Vegetables for Communities Bordering The Crocker Range National Park. ASEAN Review of Biodiversity and Environmental Conservation. *JaneMar* 2003: 1–18. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.494.1440&rep=rep1&type=pdf>
- Özbek, B., Dadali, G. 2007. Thin-Layer Drying Characteristics and Modelling of Mint Leaves Undergoing Microwave Treatment. *Journal of Food Engineering*, 83, 541–549. <https://doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.04.004>.
- Soysal, Y., Oztekin, S. Eren, O. 2006. Drying of Parsley: Modelling, Kinetics and Energy Aspect. *Biosystem Engineering*, April. <https://doi:10.1016/j.biosystemseng.2006.01.017>, 1-10.
- Syamsuhidayat, S.S., Hutapea, J.R. 1991. Inventaris Tanaman Obat Indonesia, edisi kedua, Jakarta, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Departemen Kesehatan RI.
- Zogzas, N.P., Maroulis, Z.B., Marinou-Kouris, D. 1996. Moisture Diffusivity Data Compilation in Foodstuffs. *Drying Technology*, 14(10), 2225–2253. <https://doi:10.1080/07373939608917205>.