
PEMODELAN MATEMATIKA KARAKTERISTIK PENGERINGAN LADA PUTIH PADA PENGERING *SPOUTED BED* DENGAN PERLAKUAN *PREHEATING* GELOMBANG MIKRO

(Mathematical Modelling of Drying Characteristics of White Pepper in Spouted Bed Dryer with Microwave Preheating Treatment)

Andi Muhammad Akram Mukhlis^{1*)}, dan Nurul Fadhilah²⁾

¹⁾ Universitas Negeri Makassar

²⁾ Universitas Muhammadiyah Makassar

^{*)} email korespondensi: am.akram@unm.ac.id

ABSTRACT

To study the effect of drying on white pepper seeds, a thorough knowledge of the drying kinetics is required. The drying kinetics of a material can be explained by mathematical model which is usually used to estimate the drying time of the material. This study aims to determine the appropriate drying mathematical model for drying white pepper spouted beds with microwave preheating treatment. The equipment used in this study was a spouted bed dryer designed for laboratory scale, and the materials were fresh white pepper seeds which were harvested at the age of 8-9 months after flowering, then the pepper seeds were boiled and soaked for 3 days. For the non-preheating treatment, 400 grams of wet pepper seeds go through the drying process using a spouted bed dryer. As for the non-preheating treatment, preheating is carried out using a microwave oven for 2 minutes. The data required for drying analysis were measured during the drying process. There were seven different mathematical drying models evaluated. In determining the most appropriate mathematical model, validation of model is required through statistical methods. The statistical methods used were correlation analysis, reduced chi-square (χ^2) test, and root means square error (RMSE) analysis. Based on the analysis, the Weibull model fulfills the criteria to be the best model with the correlation coefficient r (0.99990) being the highest and the χ^2 (0.00001) and RMSE (0.00385) values being the lowest. Thus, the Weibull model can be used to predict drying time and moisture content.

Keywords: Mathematical modelling, Drying, Spouted bed, White pepper, Microwave.

ABSTRAK

Untuk mempelajari pengaruh pengeringan terhadap biji lada putih diperlukan pengetahuan yang mendalam tentang kinetika pengeringan. Kinetika pengeringan bahan dapat dijelaskan melalui model matematika yang biasanya digunakan untuk memperkirakan waktu pengeringan bahan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model matematika pengeringan yang tepat untuk pengeringan lada putih pada pengering *spouted bed* dengan perlakuan *preheating* gelombang mikro. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering *spouted bed* yang dirancang untuk skala laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa biji lada putih segar yang dipanen pada umur kira-kira 8-9 bulan setelah pembungaan, kemudian biji lada direbus dan direndam selama 3 hari. Untuk perlakuan non *preheating*, biji lada basah sebanyak 400 gram tersebut langsung melalui proses pengeringan dengan alat pengering *spouted bed*. Sedangkan untuk perlakuan non-*preheating*, dilakukan pemanasan awal terlebih dahulu dengan menggunakan oven *microwave* selama 2 menit. Data-data yang dibutuhkan untuk analisis pengeringan diukur selama proses pengeringan

berlangsung. Terdapat tujuh model matematika pengeringan berbeda yang dievaluasi. Dalam penentuan model matematika yang paling sesuai, diperlukan validasi model melalui metode statistika. Metode statistik yang digunakan adalah analisis korelasi, uji chi-square (χ^2) tereduksi dan analisis *root mean square error* (RMSE). Berdasarkan hasil analisis, model Weibull memenuhi kriteria untuk dijadikan model terbaik dengan koefisien korelasi r (0,99990) adalah yang tertinggi serta nilai χ^2 (0,00001) serta nilai RMSE (0,00385) adalah yang terendah. Dengan demikian, model Weibull dapat digunakan untuk memprediksi waktu dan kadar air pengeringan.

Kata Kunci: Model matematika, Pengeringan, *Spouted bed*, Lada putih, Gelombang mikro.

PENDAHULUAN

Lada menjadi salah satu komoditi pertanian di Indonesia yang bernilai ekonomis tinggi. Komoditi ini merupakan produk ekspor bahkan konsumsi dalam negerinya jauh lebih kecil dibandingkan nilai eksportnya. Sebagian besar bentuk komoditi lada yang diekspor oleh negara penghasil lada, termasuk Indonesia adalah berupa lada hitam dan lada putih. Dalam menghasilkan produk yang berkualitas, pengeringan merupakan salah satu tahapan yang sangat penting.

Pengeringan merupakan proses pelepasan kelembaban air pada produk akibat transfer panas dan massa antara produk dan udara pengeringan atau dengan kata lain dapat dikatakan sebagai proses evaporasi. Umumnya kondisi ini disebabkan oleh suhu dan gaya konveksi udara. Tujuan utama penurunan kadar air produk hingga mencapai kadar air yang diinginkan adalah untuk mendapatkan produk yang berkualitas yang dapat disimpan dalam waktu yang panjang (Gazor & Mohseni-manesh, 2010; Perea-Flores et al., 2012).

Pada biji lada, proses pengeringan jika dilakukan dengan pengeringan matahari akan membutuhkan waktu 1-3 hari dan sangat tergantung pada keadaan cuaca. Salah satu hal yang menyebabkan kondisi tersebut, khususnya pada biji lada putih adalah tingginya kadar air awal bahan. Kadar air awal yang tinggi disebabkan adanya proses perendaman selama 3-10 hari agar kulit pada biji lada dapat terlepas. Keadaan ini tentu akan memiliki resiko yang tinggi terhadap pertumbuhan jamur jika pengeringan lambat sehingga dapat memperburuk kualitas biji lada bahkan menimbulkan kerusakan pada bijinya (Usmiati & Nurdjannah, 2007).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Usmiati dan Nurdjannah (2007) yaitu membandingkan pengeringan matahari dengan pengeringan mekanis untuk lada putih menunjukkan bahwa pengeringan matahari membutuhkan waktu rata-rata 13 jam selama 2 hari dan pengeringan mekanis dengan suhu berkisar antara 40°-65°C berlangsung selama 4 – 4.5 jam.

Salah satu metode yang dapat dikembangkan dalam proses pengeringan mekanis adalah penggunaan gelombang elektromagnetik khususnya gelombang mikro. Penggunaan gelombang mikro pada pengeringan lada dapat mempercepat proses pengeringannya (Amarasinghe et al., 2018). Penggunaan gelombang mikro juga dikembangkan pada proses sanitasi lada dan menunjukkan hasil yang baik (Emam et al., 1995). Selain itu, hasil evaluasi menunjukkan bahwa metode tersebut tetap menjaga senyawa aroma utama lada (Plessi et al., 2002)

Namun, penerapan gelombang mikro secara tunggal dapat menyebabkan pemanasan tidak merata serta distribusi medan yang tidak homogen pada produk tertentu, tergantung pada sifat dielektrik dan termofisik. Selain itu, pengeringan dengan oven *microwave* secara tunggal bisa sangat mahal, baik dari segi peralatan dan biaya operasional. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penerapan gelombang mikro dapat dikombinasikan dengan pengeringan udara panas. Hal tersebut biasanya akan meningkatkan efisiensi dan nilai ekonomi dari proses pengeringan (Schiffmann 2006).

Pengeringan udara panas dapat dilakukan melalui proses *spouted bed*, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan dengan waktu yang relatif lebih singkat karena

tingginya laju kehilangan kadar air serta menjamin pemanasan bahan yang seragam karena pergerakan partikel yang baik. Pengeringan *spouted bed* telah digunakan secara luas pada proses beberapa produk, seperti biji-bijian, yang kondisinya mendukung untuk perpindahan panas dan massa yang cepat (Markowski et al., 2010; Kahyaoglu et al., 2012; Jittanit et al., 2013; Chielle et al., 2016; Jayatunga & Amarasinghe, 2019).

Untuk mempelajari pengaruh pengeringan terhadap biji lada putih diperlukan pengetahuan yang mendalam tentang kinetika pengeringan yang dianggap penting untuk perancangan, simulasi dan optimalisasi proses pengeringan dengan menggunakan pemodelan matematis. Kinetika pengeringan bahan dapat dijelaskan melalui model matematika yang biasanya digunakan untuk memperkirakan waktu pengeringan bahan (Perea-Flores et al. 2012).

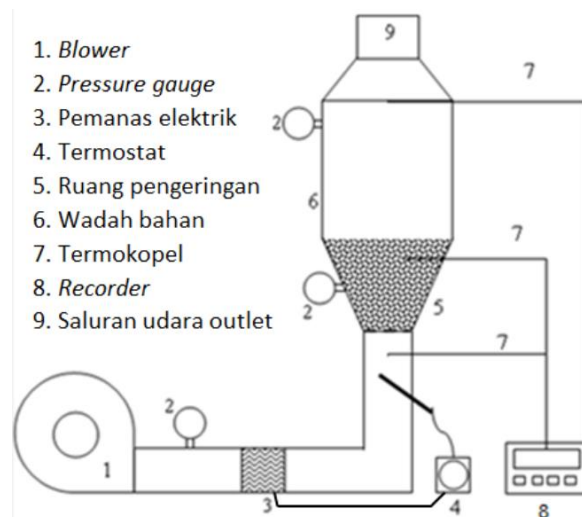
Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model matematika pengeringan yang tepat untuk pengeringan lada putih pada pengering *spouted bed* dengan perlakuan *preheating* gelombang mikro. Melalui model matematika tersebut, maka dapat dilakukan prediksi waktu pengeringan yang tepat serta kadar air akhir bahan yang dihasilkan.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering *spouted bed* dengan bentuk *conical spouted bed* (CcSB) yang dirancang untuk skala laboratorium. Pengembangan alat pengering *spouted bed* skala laboratorium ini didasarkan pada persamaan-persamaan yang telah dikembangkan oleh Olazar et al. (1992) dan Olazar et al. (2011). Alat pengering dilengkapi dengan *blower*, termostat, termokopel tipe-T, digital recorder, dan pemanas elektrik. Diagram skematik alat pengering *conical spouted bed* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematik alat pengering

Suhu udara pengeringan dijaga pada kondisi 40-65 °C dengan menggunakan termostat yang diletakkan setelah udara melewati elemen pemanas. Peralatan lainnya yang juga digunakan yaitu timbangan digital dengan ketelitian 0.01 gram.

Bahan

Bahan diperoleh dari perkebunan lada di kabupaten Enrekang provinsi Sulawesi Selatan. Lada yang digunakan dalam penelitian ini berupa biji lada putih segar yang dipanen pada umur kira-kira 8-9 bulan setelah pembungaan. Setelah proses pemanenan, biji lada direbus dan direndam selama 3 hari dan kemudian dikupas kulitnya dengan kadar air sekitar 40% basis basah.

Prosedur Penelitian

Biji lada segar hasil panen direndam terlebih dahulu selama tiga hari kemudian dilakukan proses pengeringan. Untuk mengurangi jumlah air yang menempel pada permukaan biji akibat perendaman, sebelum proses pengeringan dilakukan, biji lada terlebih dahulu didiamkan di atas saringan berlubang untuk melepaskan air di permukaan biji secara gravitasi. Kemudian, proses pengeringan yang dilakukan untuk setiap perlakuannya adalah sebanyak 400 gram biji lada basah. Proses pengeringan dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu tanpa pemanasan awal (*non preheating*) dan melalui pemanasan awal (*preheating*) menggunakan gelombang mikro (*microwave*) dengan daya 320 watt dan 640 watt

Untuk perlakuan non *preheating*, biji lada basah sebanyak 400 gram tersebut langsung melalui proses pengeringan dengan alat pengering *spouted bed*. Sedangkan untuk perlakuan non-*preheating*, dilakukan pemanasan awal terlebih dahulu dengan menggunakan oven *microwave* selama 2 menit, kemudian barulah proses pengeringan dengan alat pengering *spouted bed* dilakukan. Data-data yang dibutuhkan untuk analisis pengeringan diukur selama proses pengeringan berlangsung, dengan metode setiap pengukurannya dapat dijelaskan sebagai berikut.

Kadar Air Bahan

Kadar air bahan yang akan ditentukan adalah kadar air awal (M_i), kadar air akhir (M_{ak}) dan kadar air bahan selama proses pengeringan (M_t). Kadar air akhir bahan ditentukan dengan menggunakan metode destilasi. Metode ini merupakan metode uji kadar air untuk lada putih berdasarkan SNI 0004:2013. Metode ini digunakan karena bahan (biji lada) mengandung senyawa volatil. Prinsip dari metode ini adalah menentukan jumlah air yang dipisahkan dengan cara destilasi dengan menggunakan pelarut organik (toluen) yang tidak bercampur dengan air dan ditampung dalam penampang berskala. Dengan metode destilasi, akan diperoleh massa air (m_a) dari sejumlah massa contoh uji (m). Persentase kadar air bahan dalam basis basah (%b.b.) dapat dihitung menggunakan persamaan 1. Kadar air awal bahan dan kadar air bahan selama proses pengeringan ditentukan dengan melakukan pengukuran massa bahan awal (m_i), massa bahan akhir (m_{ak}) dan massa bahan selama proses (m_t) setiap selang dua menit dan dihitung dengan mengacu pada kondisi kadar air akhir bahan dengan menggunakan persamaan 2. Kemudian, untuk menampilkan data persentase kadar air dalam basis kering (%b.k.), dihitung menggunakan persamaan 3.

$$M_{ak}(\%b.b.) = \frac{m_a}{m} \times 100\% \quad (1)$$

$$M_t(\%b.b.) = 100\% - \frac{m_{ak}[100\% - M_{ak}(\%bb)]}{m_t} \quad (2)$$

$$M(\%b.k.) = \frac{M(\%b.b.)}{[100\% - M(\%b.b.)]} \times 100\% \quad (3)$$

Massa Bahan

Pengukuran massa bahan meliputi massa awal, massa selama periode pengeringan dan massa akhir. Pengukuran massa bahan dilakukan setiap dua menit selama proses pengeringan berlangsung dan proses pengeringan dihentikan apabila telah mencapai kadar air yang diinginkan (sekitar 10 %b.b.). Ketika pengambilan data nilai massa, hembusan udara pengering dimatikan sesaat, kemudian lada dan ruang pengeringannya ditimbang dengan timbangan digital (ketelitian 0.01 gram). Massa lada diperoleh dengan mengurangkan data tersebut dengan massa ruang pengeringannya.

Pengukuran Suhu Bahan

Pengukuran suhu dilakukan pada bahan selama proses pengeringan pada setiap selang 2 menit. Pengukuran suhu bahan dilakukan dengan menghentikan aliran udara pengeringan sesaat. Pengukuran suhu menggunakan termokopel tipe-T yang dihubungkan dengan *hybrid recorder* untuk menampilkan data suhu.

Model Matematika Pengeringan

Untuk memastikan secara efisien kinetika pengeringan biji lada putih, maka perlu untuk menyesuaikan perilaku pengeringan dengan model matematika yang berbeda. Terdapat tujuh model matematika pengeringan berbeda yang dievaluasi, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Model matematika diterapkan pada kurva pengeringan

No.	Nama Model	Model Persamaan	Referensi
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Roberts et al. (2008)
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Yang et al. (2015)
3	Modified Page (I)	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Arslan & Özcan (2010)
4	Henderson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	Rosa et al. (2015)
5	Logarithmic	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	Toğrul & Pehlivan (2002)

No.	Nama Model	Model Persamaan	Referensi
6	Midilli model	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + bt$	Zhang et al. (2016)
7	Weibull	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + b$	Amarasinghe et al. (2018)

Kadar air lada dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2, kemudian diubah ke dalam satuan % b.k. menggunakan persamaan 3. Selanjutnya, kadar air bahan diubah menjadi nilai rasio kelembaban (MR). Jika kelembaban relatif udara pengering berfluktuasi secara terus menerus, maka kadar air kesetimbangan terus berubah sehingga MR dapat ditentukan seperti pada Persamaan 4 (Erbay & Icier, 2010; Amarasinghe et al., 2018; Omolola et al., 2019).

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (4)$$

dimana, M_i adalah kadar air awal, M_t adalah kadar air pada waktu t , dan semua nilai dalam satuan persen basis kering.

MR sebagai fungsi waktu dihubungkan dan dipasangkan dengan tujuh model pengeringan yang berbeda yang diberikan pada Tabel 1. Data MR hasil percobaan (MR_{exp}) dihubungkan dengan waktu di dalam grafik dan menggunakan *Excel Solver* untuk menentukan konstanta pengeringan masing-masing model matematika pengeringan yang diberikan. Nilai konstanta yang diperoleh dari hasil pemodelan, kemudian digunakan untuk menghasilkan nilai MR prediksi (MR_{pre}).

Penentuan Model yang Sesuai

Dalam penentuan model matematika yang paling sesuai, diperlukan validasi model melalui metode statistika. Metode yang paling banyak digunakan adalah melakukan analisis korelasi, uji chi-square (χ^2) tereduksi dan analisis *root mean square error* (RMSE).

Secara umum, koefisien korelasi (r) adalah kriteria utama untuk memilih model terbaik untuk menggambarkan persamaan kurva pengeringan dan nilai r tertinggi diperlukan (Erbay & Icier, 2010). Selain itu, nilai χ^2 dan RMSE terendah dipilih sebagai pertimbangan untuk menentukan model

terbaik (Wang et al., 2007; Mihindukulasuriya & Jayasuriya, 2013). Ketiga parameter statistik tersebut dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$r = \frac{N \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} MR_{exp,i} - \sum_{i=1}^N MR_{pre,i} \sum_{i=1}^N MR_{exp,i}}{\sqrt{(N \sum_{i=1}^N MR_{pre,i}^2 - (\sum_{i=1}^N MR_{pre,i})^2)(N \sum_{i=1}^N MR_{exp,i}^2 - (\sum_{i=1}^N MR_{exp,i})^2)}} \quad (5)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-n} \quad (6)$$

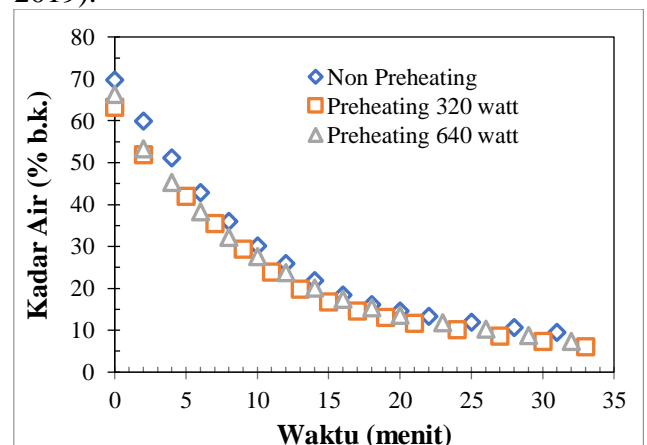
$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

dimana, N adalah jumlah data observasi, n adalah jumlah data yang bernilai konstan, $MR_{pre,i}$ adalah nilai kadar air prediksi ke- i , $MR_{exp,i}$ adalah nilai kadar air eksperimen ke- i .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis pengeringan

Perubahan kadar air lada putih sebagai fungsi waktu pengeringan pada berbagai perlakuan preheating berbeda disajikan pada gambar 2. Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk menurunkan kadar air dari kadar air awal rata-rata 66,45% b.k. hingga mencapai kadar air akhir yang diinginkan rata-rata 32 menit. Kadar air akhir rata-rata dari ketiga perlakuan tersebut sebesar 7,65% b.k. Kadar air menurun secara eksponensial terhadap waktu pengeringan seperti yang diharapkan, perilaku ini khas pada beberapa materi biologis (Magalhães & Pinho, 2007; Gazor & Mohsenimanesh, 2010; Tulliza & Mursalim, 2011; Perea-Flores et al., 2012; Keneni et al., 2019).

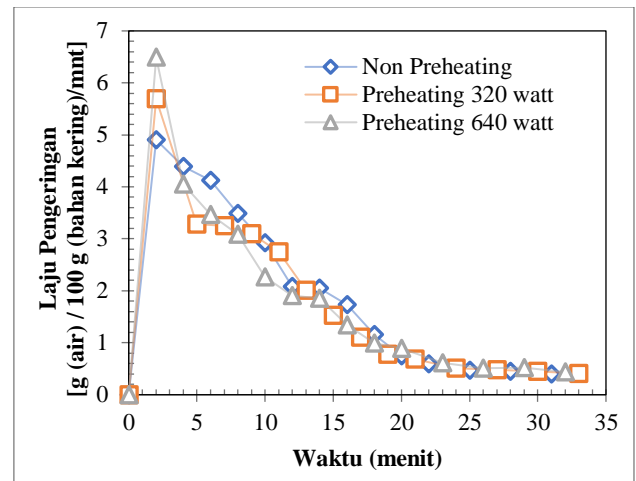


Gambar 2. Kadar air (%b.k.) lada putih selama proses pengeringan pada berbagai perlakuan.

Kadar air dapat mengalami penurunan dengan cepat disebabkan pengeringan secara *spouted bed* memiliki laju aliran udara yang tinggi berkisar 15 m/s. Akibatnya, uap air akan terbawa ke udara lingkungan dengan cepat sehingga kehilangan kelembaban udara lebih cepat, gradien tekanan uap air meningkat, dan meningkatkan laju pelepasan air dari bahan (Fellows, 2009). Selain itu, pada pengeringan dengan *spouted bed*, biji lada bersirkulasi dalam ruang pengering dengan baik sehingga kontak antara udara dan biji lada terjadi secara simultan, merata, dan meluas. Mujumdar (2015) telah menjelaskan bahwa pelepasan air sebagai uap juga dipengaruhi oleh faktor eksternal yaitu suhu, kelembaban dan aliran udara, luas permukaan sentuh, dan tekanan. Grafik kadar air pada gambar 2 juga menunjukkan bahwa, adanya perlakuan *preheating* yang dilakukan sebelum proses pengeringan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap grafik penurunan kadar air biji lada. Hal tersebut disebabkan oleh *preheating* yang singkat selama 2 menit untuk menjaga kualitas biji lada (Hartulistiyoso et al., 2019).

Analisis kurva laju pengeringan

Laju pengeringan menunjukkan banyak-nya air yang menguap dalam satuan gram air pada setiap 100 gram bahan kering per satuan waktu dalam menit. Gambar 3 menunjukkan grafik laju pengeringan lada putih pada berbagai perlakuan. Laju pengeringan menurun seiring dengan waktu pengeringan. Hasil serupa terkait perilaku kurva laju pengeringan juga telah dilaporkan dalam beberapa studi pengeringan bahan biologis (Hashemi et al., 2009; Markowski et al., 2010; Promvong et al., 2011; Perea-Flores et al., 2012).



Gambar 3. Laju pengeringan [g (air) / 100 g (bahan kering)/mnt] lada putih selama proses pengeringan pada berbagai perlakuan.

Laju pengeringan rata-rata pada setiap perlakuan sebesar, 4.5 g (air)/100 g (bahan kering)/menit pada pengeringan non-*preheating*, 5.6 g (air)/100 g (bahan kering)/menit dengan *preheating* 320 watt, dan pada *preheating* 640 watt sebesar 6.6 g (air)/100 g (bahan kering)/menit. Laju pengeringan pada semua perlakuan tersebut cukup besar. Hal ini disebabkan oleh tingginya massa air bebas pada kondisi awal pengeringan biji lada yang juga diikuti oleh kecepatan udara semburan yang besar sehingga mampu membuang uap air dengan baik.

Perlakuan *preheating* mengakibatkan laju pengeringan di awal proses cukup tinggi dibandingkan perlakuan non *preheating*. Tingginya laju pengeringan tersebut karena suhu bahan telah dipanaskan di awal proses sebelum pengeringan. Suhu bahan yang meningkat juga akan meningkatkan tekanan uap air di bahan, sehingga di awal proses pengeringan, pelepasan air berlangsung cepat seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Pemodelan matematika pengeringan lada putih

Kadar air eksperimental diubah menjadi rasio kelembaban (MR) yang lebih fungsional. Selanjutnya, kurva yang diperoleh dari plot rasio kelembaban (MR) terhadap waktu pengeringandihubungkan dengan model

Tabel 2. Model, konstanta pengeringan, serta hasil analisis statistik

Model	Perlakuan <i>Preheating</i>	Konstanta Model Matematika Pengeringan	<i>r</i>	χ^2	RMSE
Lewis	Non Preheating	k = 0,07905	0,99708	0,00054	0,25917
	Daya 320 watt	k = 0,08356	0,99781	0,00046	0,02079
	Daya 640 watt	k = 0,08349	0,99767	0,00083	0,02786
Page	Non Preheating	k = 0,09412; n = 0,9322	0,99741	0,00040	0,01940
	Daya 320 watt	k = 0,10185; n = 0,92331	0,99802	0,00031	0,01690
	Daya 640 watt	k = 0,12363; n = 0,84600	0,99941	0,00009	0,00896
Modified Page I	Non Preheating	k = 0,07926; n = 0,93221	0,99741	0,00040	0,01940
	Daya 320 watt	k = 0,08425; n = 0,92332	0,99802	0,00031	0,01690
	Daya 640 watt	k = 0,08450; n = 0,84600	0,99941	0,00009	0,00896
Henderson and Pabis	Non Preheating	k = 0,07739 ; a = 0,98195	0,99666	0,00050	0,02243
	Daya 320 watt	k = 0,08199 ; a = 0,98278	0,99749	0,00040	0,01992
	Daya 640 watt	k = 0,07916 ; a = 0,95593	0,99654	0,00053	0,02302
Logarithmic	Non Preheating	k = 0,09732 ; a = 0,93585 c = 0,08173	0,99925	0,00011	0,01029
	Daya 320 watt	k = 0,09609 ; a = 0,94435 c = 0,05778	0,99895	0,00015	0,01218
	Daya 640 watt	k = 0,10146 ; a = 0,90082 c = 0,08604	0,99966	0,00005	0,00672
Midilli model	Non Preheating	k = 0,07257 ; n = 1,09787 a = 0,99907 ; b = 0,00324	0,99987	0,00002	0,00421
	Daya 320 watt	k = 0,08124 ; n = 1,04873 a = 0,99280 ; b = 0,00197	0,99914	0,00012	0,01101
	Daya 640 watt	k = 0,11105 ; n = 0,91502 a = 0,99810 ; b = 0,00142	0,99986	0,00002	0,00427
Weibull	Non Preheating	k = 0,07444 ; n = 1,14097 a = 0,87909 ; b = 0,11890	0,99990	0,00001	0,00385
	Daya 320 watt	k = 0,08240 ; n = 1,07484 a = 0,91275 ; b = 0,07852	0,99914	0,00012	0,01102
	Daya 640 watt	k = 0,11514 ; n = 0,92919 a = 0,93513 ; b = 0,06248	0,99986	0,00002	0,00438

matematika yang tercantum dalam Tabel 2. Konstanta pada masing-masing model pengeringan serta hasil analisis statistik untuk menentukan model pengeringan yang paling sesuai diuraikan dalam Tabel 2. Model yang memiliki nilai *r* tertinggi serta nilai χ^2 dan RMSE terendah dipilih sebagai model yang paling baik.

Berdasarkan hasil uji terhadap model, model Midilli dan model Weibull memiliki nilai koefisien korelasi yang tinggi, bahkan memiliki nilai yang sama pada perlakuan *preheating*. Namun pada perlakuan non *preheating*, nilai *r* pada model Weibull lebih tinggi dibandingkan model Midilli. Begitu

pula pada nilai χ^2 , memiliki nilai yang sama pada *preheating* tetapi pada non *preheating* nilai terendah terjadi pada model Weibull. Namun pada RMSE, nilai terendah pada model Weibull hanya terjadi pada perlakuan non *preheating*. Dari ketiga pertimbangan tersebut, maka dipilihlah model Weibull sebagai model terbaik dibandingkan model Midilli.

Model Weibull memenuhi kriteria untuk dijadikan model terbaik dengan koefisien korelasi *r* (0,99990) adalah yang tertinggi serta dan nilai χ^2 (0,00001) serta nilai RMSE (0,00385) adalah yang terendah. Hasil tersebut sama hal dengan yang telah dilaporkan pada pengeringan *microwave* lada hitam

(Amarasinghe et al., 2018). Kurva model Weibull yang sesuai untuk karakteristik pengeringan *spouted bed* lada putih seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Pada grafik juga terlihat jelas bahwa nilai prediksi berdasarkan model yang dibangun berada pada pola dan posisi yang relatif sama dengan nilai eksperimen. Ini menunjukkan bahwa hasil

perhitungan statistik (r , χ^2 , RMSE) sejalan dengan pemilihan model yang sesuai.

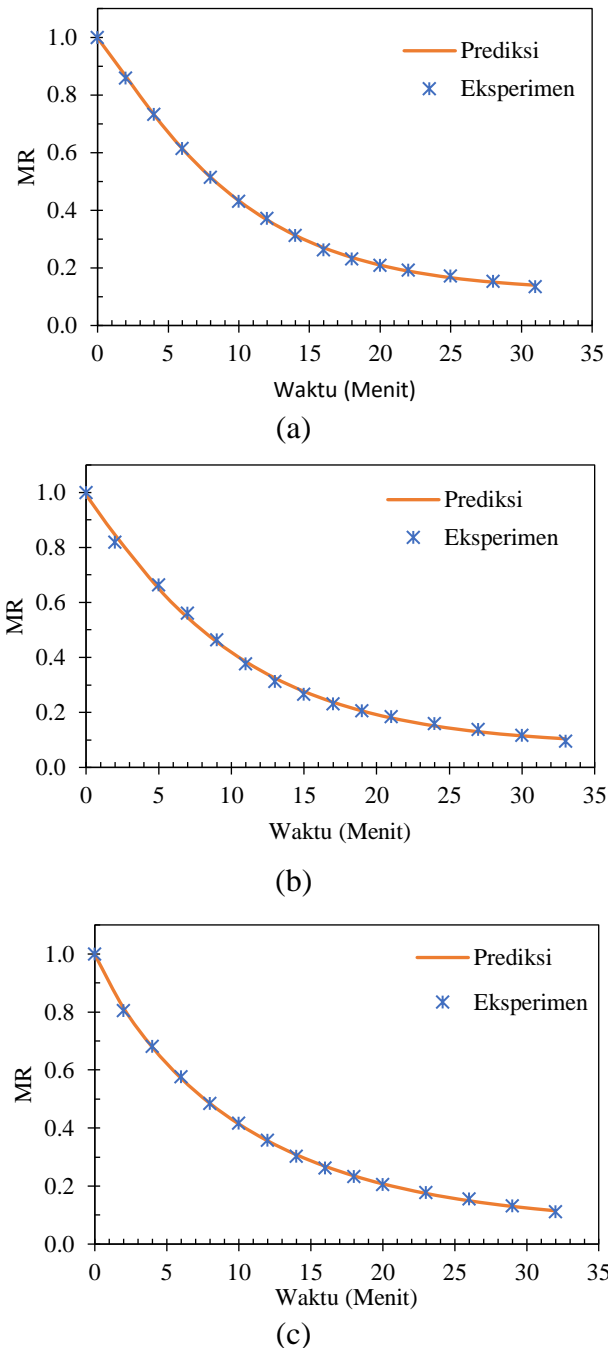
KESIMPULAN

Kinetika pengeringan *spouted bed* lada putih telah dipelajari dan data eksperimen disesuaikan dengan tujuh model matematika pengeringan. Kadar air lada putih selama pengeringan mengalami penurunan secara eksponensial untuk semua perlakuan yang diberikan. Laju pengeringan di tahap awal cukup tinggi pada kedua perlakuan *preheating*, sehingga laju pengeringan rata-rata akan meningkat dengan meningkatnya daya gelombang untuk *preheating*.

Persamaan model Madilli dan model Weibull menunjukkan kesesuaian yang lebih baik secara statistik dibandingkan model lainnya. Kedua model pengeringan tersebut memiliki nilai koefisien korelasi yang tertinggi serta χ^2 dan RMSE terendah. Namun dengan beberapa pertimbangan, maka dipilihlah model Weibull sebagai model terbaik untuk menggambarkan model pengeringan *spouted bed* lada putih. Dengan demikian, model Weibull dapat digunakan untuk memprediksi waktu dan kadar air pengeringan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarasinghe, B. M. W. P. K., Aberathna, A. J. M. L. M., & Aberathna, K. K. P. P. (2018). Kinetics and mathematical modeling of microwave drying of Sri Lankan black pepper (*piper nigrum*). *International Journal of Environmental & Agriculture Research (IJOEAR)*, 4(2), 6-13.
- Arslan, D., & Özcan, M. M. (2010). Study the effect of sun, oven and microwave drying on quality of onion slices. *LWT-Food Science and Technology*, 43(7), 1121-1127.
- Chielle, D. P., Bertuol, D. A., Meili, L., Tanabe, E. H., & Dotto, G. L. (2016). Spouted bed drying of papaya seeds for oil production. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 852-860.



Gambar 4. Grafik perbandingan hubungan MR dan waktu antara nilai eksperimen dan nilai prediksi. (a) non *preheating*; (b) *preheating* 320 W ; (c) *preheating* 640 W.

- Emam, O. A., Farag, S. A., & Aziz, N. H. (1995). Comparative effects of gamma and microwave irradiation on the quality of black pepper. *Zeitschrift für Lebensmittel - Untersuchung und Forschung*, 201(6), 557-561.
- Erbay, Z., & Icier, F. (2010). A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical reviews in food science and nutrition*, 50(5), 441-464.
- Fellows, P. J. (2009). *Food processing technology: principles and practice*. 3rd ed. Elsevier.
- Gazor, H. R., & Mohsenimanesh, A. (2010). Modelling the drying kinetics of canola in fluidised bed dryer. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(6), 531-537.
- Hartulistiyoso, E., Purwanto, Y. A., & Mukhlis, A. M. A. (2019). Spouted Bed Drying of White Pepper (*Piper nigrum* L.) with Microwave Preheating Treatment. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 557, No. 1, p. 012045). IOP Publishing.
- Hashemi, G., Mowla, D., & Kazemeini, M. (2009). Moisture diffusivity and shrinkage of broad beans during bulk drying in an inert medium fluidized bed dryer assisted by dielectric heating. *Journal of Food Engineering*, 92(3), 331-338.
- Jayatunga, G. K., & Amarasinghe, B. M. W. P. K. (2019). Drying kinetics, quality and moisture diffusivity of spouted bed dried Sri Lankan black pepper. *Journal of food engineering*, 263, 38-45.
- Jittanit, W., Srzednicki, G., & Driscoll, R. H. (2013). Comparison between fluidized bed and spouted bed drying for seeds. *Drying Technology*, 31(1), 52-56.
- Kahyaoglu, L. N., Sahin, S., & Sumnu, G. (2012). Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 301-308.
- Keneni, Y. G., Hvoslef-Eide, A. T., & Marchetti, J. M. (2019). Mathematical modelling of the drying kinetics of *Jatropha curcas* L. seeds. *Industrial crops and products*, 132, 12-20.
- Magalhaes, A., & Pinho, C. (2008). Spouted bed drying of cork stoppers. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(12), 2395-2401.
- Markowski, M., Białobrzewski, I., & Modrzewska, A. (2010). Kinetics of spouted-bed drying of barley: Diffusivities for sphere and ellipsoid. *Journal of Food Engineering*, 96(3), 380-387.
- Mihindukulasuriya, S. D., & Jayasuriya, H. P. (2013). Mathematical modelling of drying characteristics of chilli in hot air oven and fluidized bed dryers. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 15(1), 154-166.
- Mujumdar, A.S. (2015). Principles, classification, and selection of dryers. *Handbook of industrial drying*, 4ed. 4-28.
- Olazar, M., San Jose, M. J., Aguayo, A. T., Arandes, J. M., & Bilbao, J. (1992). Stable operation conditions for gas-solid contact regimes in conical spouted beds. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 31(7), 1784-1792.
- Olazar M, San José MJ, Bilbao J. (2011). Conical spouted beds. *Spouted and Spout-fluid Beds: Fundamentals and Applications*. Cambridge (GB): Cambridge Univ Pr. 82-127
- Omolola, A. O., Kapila, P. F., & Silungwe, H. M. (2019). Mathematical modeling of drying characteristics of Jew's mallow (*Corchorus olitorius*) leaves. *Information processing in agriculture*, 6(1), 109-115.
- Perea-Flores, M. J., Garibay-Febles, V., Chanona-Perez, J. J., Calderon-Dominguez, G., Mendez-Mendez, J. V., Palacios-González, E., & Gutierrez-Lopez, G. F. (2012). Mathematical modelling of castor oil seeds (*Ricinus communis*) drying kinetics in fluidized bed at high temperatures. *Industrial Crops and Products*, 38, 64-71.

- Plessi, M., Bertelli, D., & Miglietta, F. (2002). Effect of microwaves on volatile compounds in white and black pepper. *LWT-Food Science and Technology*, 35(3), 260-264.
- Promvongse, P., Boonloi, A., Pimsarn, M., & Thianpong, C. (2011). Drying characteristics of peppercorns in a rectangular fluidized-bed with triangular wavy walls. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(9), 1239-1246.
- Roberts, J. S., Kidd, D. R., & Padilla-Zakour, O. (2008). Drying kinetics of grape seeds. *Journal of Food Engineering*, 89(4), 460-465.
- Rosa, D. P., Cantú-Lozano, D., Luna-Solano, G., Polachini, T. C., & Telis-Romero, J. (2015). Mathematical modeling of orange seed drying kinetics. *Ciência e Agrotecnologia*, 39(3), 291-300.
- Schiffmann, R. F. (2006). Microwave and dielectric drying. *Handbook of industrial drying*, 3ed, 345-372.
- Toğrul, İ. T., & Pehlivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58(1), 23-32.
- Tulliza, I. S. & Mursalim, M. (2011). Pengeringan Lapis Tipis Biji Jagung dengan Alat Pengering Sistem Fluidasi. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 25(1), 69-72.
- Usmiati, S., & Nurdjannah, N. (2006). Pengaruh lama perendaman dan cara pengeringan terhadap mutu lada putih. *Journal of Agroindustrial Technology*, 16(3).
- Wang, Z., Sun, J., Chen, F., Liao, X., & Hu, X. (2007). Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 536-544.
- Yang, Z., Zhu, E., & Zhu, Z. (2015). Water desorption isotherm and drying characteristics of green soybean. *Journal of Stored Products Research*, 60, 25-30.
- Zhang, Q. A., Song, Y., Wang, X., Zhao, W. Q., & Fan, X. H. (2016). Mathematical modeling of debittered apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernels during thin-layer drying. *CyTA-Journal of Food*, 14(4), 509 - 517.