

PEMODELAN MATEMATIS KINETIKA PENDINGINAN CABAI MERAH DENGAN PERLAKUAN BLANSING SUHU RENDAH

Mathematical Modelling of Red Chili Drying Kinetics with Low-Temperature Blanching Pretreatment

Andi Muhammad Irfan^{1,*}, Nunik Lestari²

¹Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Jl. Daeng Tata Raya Kampus UNM Parang Tambung, Makassar Indonesia

²Program Studi Pendidikan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Jl. Daeng Tata Raya Kampus UNM Parang Tambung, Makassar Indonesia

Email^{*}: andimuhhammadirfan@unm.ac.id

Diterima: Desember 2021

Disetujui: Maret 2022

ABSTRACT

Low-temperature blanching in a relatively long time is still rarely done as a pretreatment before drying chilies. Low-temperature blanching also has a positive impact on the dried material. The drying conditions of red chili can be optimized by studying the drying kinetics and mathematical models. This study aims to identify the drying kinetics, determine the most suitable drying mathematical model, and analyze the color of dried chili produced. The blanching process was carried out at a temperature of 60°C for 10, 15, and 20 minutes. The drying process was carried out using a greenhouse effect type solar dryer. Fifteen mathematical models of thin-layer drying were chosen to simulate the drying characteristics of red chili with low temperature blanching treatment at several blanching time durations. The observed moisture ratio (MR) value was used to determine the predicted MR with curve fitting using non-linear regression analysis. The results show that compared to other treatments, blanching at low temperature for 20 minutes before drying chilies increases the material's drying rate and results in lower final moisture content. The color of dried chili produced is also better, supported by a lower browning index value. The most accurate mathematical model to describe the drying characteristics of red chilies for each treatment is the Modified Midilli-Kucuk Model, which is confirmed by statistical analysis R^2 of 0.996 – 0.997, X^2 of 0.029×10^{-2} – 0.035×10^{-2} , SSE of 1.027×10^{-2} – 1.239×10^{-2} , and RMSE of 1.689×10^{-2} – 1.855×10^{-2} .

Keywords: *browning index; chili; colour; drying; mathematical modeling*

ABSTRAK

Blansing suhu rendah dalam waktu yang relatif lama masih jarang dilakukan sebagai perlakuan pendahuluan sebelum pengeringan cabai. Blansing suhu rendah sejatinya juga memberikan dampak positif bagi bahan yang dikeringkan. Kondisi operasi pengeringan cabai merah tersebut dapat dioptimalkan dengan mempelajari kinetika pengeringan dan model matematikanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kinetika pengeringan,

menentukan model matematika pengeringan yang paling sesuai, serta untuk menganalisis warna dari cabai kering yang dihasilkan. Proses blansing dilakukan pada suhu 60°C selama 10, 15, dan 20 menit. Proses pengeringan dilakukan menggunakan alat pengering tenaga surya tipe efek rumah kaca. Lima belas model matematika pengeringan lapis tipis dipilih untuk menyimulasikan karakteristik pengeringan cabai merah dengan perlakuan blansing suhu rendah pada beberapa durasi waktu blansing. Nilai *moisture ratio* (MR) hasil observasi digunakan untuk menentukan MR prediksi dengan *curve fitting* menggunakan analisis regresi non linear. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dibandingkan dengan perlakuan lainnya, perlakuan blansing suhu rendah selama 20 menit sebelum mengeringkan cabai dapat meningkatkan laju pengeringan bahan dan menghasilkan kadar air akhir yang lebih rendah. Warna cabai kering yang dihasilkan juga lebih baik, didukung dengan nilai *browning index* yang lebih rendah. Adapun model matematika yang paling akurat untuk mendeskripsikan karakteristik pengeringan cabai merah untuk tiap perlakuan adalah Model Modified Midilli-Kucuk, yang dikonfirmasi dengan analisis statistik R^2 berkisar antara 0,996 – 0,997, X^2 berkisar antara $0,029 \times 10^{-2}$ – $0,035 \times 10^{-2}$, SSE berkisar antara $1,027 \times 10^{-2}$ – $1,239 \times 10^{-2}$, dan RMSE berkisar antara $1,689 \times 10^{-2}$ – $1,855 \times 10^{-2}$.

Kata kunci: *browning index*; cabai; model matematika; pengeringan; warna

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Melimpahnya cabai saat panen raya sering kali membawa permasalahan terhadap rendahnya harga jual di pasaran. Kondisi ini menuntut peran teknologi untuk dapat mengubah cabai segar yang rentan membusuk menjadi produk olahan dengan umur simpan yang lebih panjang, contohnya dengan teknologi pengeringan. Pengeringan cabai merupakan salah satu solusi yang banyak dilakukan sebagai bentuk diversifikasi produk dengan nilai jual yang lebih tinggi.

Perlakuan awal sebelum pengeringan cabai berpengaruh terhadap performa pengeringan dan produk akhirnya. Blansing merupakan salah satu bentuk perlakuan awal yang banyak dilakukan sebelum mengeringkan cabai, yang bertujuan untuk inaktivasi enzim guna mencegah pencoklatan, oksidasi lipid, dan reaksi degeneratif lainnya, serta mempermudah penguapan air bahan saat proses pengeringan (Apriana, *et al.*, 2016).

Teknik blansing dengan air atau uap bersuhu tinggi banyak digunakan untuk perlakuan awal pengeringan cabai. Namun cara ini terlalu riskan mengingat karotenoid pada cabai sangat sensitif terhadap suhu

tinggi. Warna cabai dapat berubah karena reaksi biokimia tertentu yang terjadi selama pemrosesan, khususnya selama perlakuan termal seperti pada proses blansing (Wang, *et al.*, 2020). Warna merah pada cabai yang dipengaruhi oleh karotenoid harus dijaga, mengingat estetika warna juga merupakan faktor yang menentukan tingkat mutu dari produk cabai kering.

Blansing dengan menggunakan suhu rendah dalam waktu yang relatif lama, atau *low temperature long time blanching* (LTLT *blanching*), dapat dilakukan untuk meminimalisir kekhawatiran terhadap efek samping dari perlakuan blansing pada suhu tinggi. Blansing suhu rendah dalam kisaran suhu antara 55-80°C, telah terbukti sangat baik terhadap warna, tekstur, mutu sensori, serta mengurangi kerusakan fisik dan pengelupasan dari sayur-sayuran dan buah-buahan selama pemrosesan lebih lanjut (Abu-Ghannam & Jaiswal 2015; Guzek, *et al.*, 2012; Lestari, *et al.*, 2020; Ngobese, *et al.*, 2017).

Optimalisasi kondisi operasi pengeringan cabai merah dengan perlakuan blansing suhu rendah dapat dilakukan dengan mempelajari kinetika pengeringannya. Pengelolaan parameter-parameter operasi dari kinetika pengeringan tersebut dapat dioptimalkan melalui model

matematika pengeringan lapis tipis, yang juga dapat memprediksi kinerja dari proses pengeringan (Fudholi, *et al.*, 2012). Dalam penggunaannya, untuk mensimulasikan suatu kurva pengeringan pada kondisi operasi pengeringan tertentu, sangat diperlukan penetapan model yang paling akurat atau sesuai.

Beberapa studi tentang kinetika dan model matematika pengeringan cabai merah telah dilakukan, tetapi studi yang telah ada masih memiliki keterbatasan. Beberapa penelitian tersebut seperti yang dilakukan oleh Tunde-Akintunde (2011), terbatas hanya menggunakan 4 jenis model matematika untuk memprediksi pengeringan cabai dan menggunakan perlakuan blansing pada suhu tinggi 100°C. Penelitian Rabha, *et al.*, (2017) dan Yelmen, *et al.*, (2019) telah menggunakan beberapa jenis model matematika, namun masih terbatas pada perbedaan jenis cabai yang dikeringkan, tanpa perlakuan awal blansing, serta pada jenis alat pengering yang berbeda. Penelitian Wang, *et al.*, (2020) masih terbatas pada teknik blansing *high-humidity hot air impingement blanching* (HHAIB) yang menggunakan suhu tinggi 105-115°C, serta tanpa pembahasan mengenai kinetika dan model matematika pengeringan. Penelitian Lestari & Samsuar (2021) telah menganalisis kinetika pengeringan cabai merah yang dipengaruhi perlakuan blansing suhu rendah 70°C, tetapi terbatas pada minimnya jenis model matematika yang digunakan, tanpa pembahasan difusivitas efektif, dan tidak menyertakan kajian tentang warna cabai kering yang dihasilkan.

Informasi mengenai kinetika dan model matematika pengeringan cabai sangat dibutuhkan agar dapat mengoptimalkan proses pengeringan dan memperbaiki kualitas produk cabai kering yang dihasilkan. Kajian tersebut sangat dibutuhkan mengingat hasil-hasil penelitian yang terdahulu memiliki keterbatasan dan hanya sesuai pada kondisi pengeringan tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk melengkapi keterbatasan-keterbatasan dari penelitian yang telah ada.

Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempelajari kinetika pengeringan dan menentukan model matematika pengeringan yang paling sesuai untuk cabai merah, dengan perlakuan blansing pada suhu yang lebih rendah (60 °C), serta untuk menganalisis warna dari cabai kering yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat pengering yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pengering tenaga surya tipe efek rumah kaca (ERK). Alat pengering ini memiliki luas bangunan 150 m², dan terdapat 600 buah *tray* yang masing-masing berdimensi 120 cm x 80 cm x 5 cm (Irfan, *et al.*, 2021). Adapun alat-alat pendukung lainnya berupa *temperature data logger* Elitech RC-4 untuk mengukur suhu, *hygrometer* Misol DS102 untuk mengukur kelembaban relatif (RH), *solar power meter* model SM206 untuk mengukur intensitas radiasi matahari, *colorimeter* CS-10 untuk mengukur nilai Lab* warna cabai, timbangan analitik KERN ABT 320-4M untuk mengukur massa sampel, serta oven BINDER ED-240 dan desikator sebagai peralatan untuk mengukur kadar air sampel.

Bahan yang digunakan adalah cabai merah besar, dengan panjang buah 19,43 ± 0,80 cm, diameter buah 7,17 ± 0,67 cm (diameter diukur pada diameter terbesar buah, yaitu pada bagian tengah buah), serta massa rata-rata per buah cabai sebesar 27,38 ± 0,84 gram. Cabai yang digunakan sebagai sampel adalah cabai dengan kondisi utuh tanpa penyayatan, pembelahan, ataupun pemotongan. Cabai-cabai tersebut telah melalui tahap pembersihan dan sortasi untuk menyeragamkan bentuk, ukuran, dan warna.

Prosedur Pengeringan

Proses blansing cabai dilakukan menggunakan air bersuhu 60°C tanpa adanya bahan aditif lainnya. Durasi blansing dilakukan selama 10 menit (PB10), 15 menit

(PB15), dan 20 menit (PB20) sesuai dengan masing-masing perlakuan penelitian. Banyaknya cabai yang digunakan adalah 500 gram untuk tiap perlakuan. Cabai yang telah diberi perlakuan blansing dan siap dikeringkan lalu diletakkan di atas *tray*. Cabai diatur posisinya agar tidak saling bertumpuk.

Pengeringan dilakukan dari pukul 09.00-16.00 setiap hari. Proses dihentikan ketika massa sampel cabai tidak lagi mengalami penurunan (konstan). Pengukuran massa sampel, radiasi matahari, kelembaban relatif (RH), dan suhu pengeringan dilakukan setiap 1 jam.

Pengamatan dan Analisis Data

Kadar air

Kadar air ditentukan dengan metode AOAC. Kadar air sampel dihitung berdasarkan basis kering dengan pendekatan Persamaan 1 (Fudholi, *et al.*, 2012).

$$M = \frac{w(t) - d}{d} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

M = kadar air basis kering (%)

d = massa kering bahan (g)

w(t) = massa bahan saat t (g).

Laju pengeringan

Laju pengeringan atau DR (% db/jam) menggambarkan variasi penurunan kadar air sampel selama proses pengeringan terhadap waktu. Laju pengeringan dihitung dengan Persamaan 2 (Darvishi, *et al.*, 2014).

$$DR = \frac{M_t - M_{t+dt}}{dt} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

M_t = kadar air basis kering saat t (%)

M_{t+dt} = kadar air basis kering saat t+d_t (%)

dt = waktu pengeringan t_{t+1}-t_t (jam)

Moisture ratio

Moisture ratio (MR) merupakan rasio jumlah air bahan pada waktu tertentu terhadap jumlah air awal bahan. MR cabai merah selama percobaan pengeringan

lapisan tipis dihitung menggunakan Persamaan 3 (Fithriani *et al.*, 2016; Hawa *et al.*, 2019).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

M_t = kadar air pada waktu t (%)

M_o = kadar air awal (%)

M_e = kadar air kesetimbangan (%)

Model matematika

Perilaku pengeringan cabai merah dengan perlakuan blansing suhu rendah dapat dideskripsikan melalui model matematika pengeringan lapis tipis. Pada penelitian ini dilakukan pengujian dengan berbagai model matematika pengeringan lapis tipis (Tabel 1) untuk menentukan model terbaik. Analisis regresi non linier dilakukan menggunakan *Microsoft Excel Spreadsheet (Microsoft Office 2019)*. Berdasarkan hal tersebut, akan dihasilkan konstanta pengeringan a, b, c, g, h, k, k₁, k₂, dan n. Nilai konstanta hasil pemodelan tersebut selanjutnya digunakan untuk menghasilkan nilai MR prediksi (Fithriani, *et al.*, 2016).

Analisis keakuratan model dilakukan untuk menentukan persamaan model yang paling sesuai dengan nilai hasil eksperimental. Adapun indikator keakuratan yang digunakan yaitu koefisien determinasi (R²), *chi-square* (χ²), *sum of squared error* (SSE), dan *root mean square error* (RMSE).

Nilai indikator R² menunjukkan kriteria perbandingan dalam menentukan tingkat akurasi model (Borah *et al.*, 2015). Nilai χ² merupakan indikator untuk mengevaluasi hubungan atau pengaruh antar variabel (Mazandarani, *et al.*, 2017). Nilai SSE dan RMSE digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat penyimpangan nilai antara prediksi model dan hasil percobaan (Fudholi, *et al.*, 2012; Prasetyo, *et al.*, 2018). Nilai R², χ², RMSE, serta SSE dihitung dengan Persamaan 4, 5, 6, dan 7 (Yang *et al.*, 2018; Tezcan *et al.*, 2020).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i}) \cdot \sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{pre,i})^2][\sum_{i=1}^N (MR_i - MR_{exp,i})^2]}} \dots (4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N - z} \dots \dots \dots (5)$$

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

$$SSE = \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \dots (7)$$

Keterangan:

MR_{pre,i} = rasio kelembaban yang diprediksi

MR_{exp,i} = rasio kelembaban eksperimental

n = jumlah konstanta

N = jumlah pengamatan

Effective moisture diffusivity

Pergerakan air dari dalam bahan yang berdifusi menuju ke permukaan disebut sebagai *effective moisture diffusivity* (Nag & Dash, 2016). Berdasarkan Hukum Difusi Kedua Fick's, difusivitas efektif mengacu pada kecepatan difusivitas air selama proses pengeringan, terutama saat periode laju pengeringan menurun (Omolola, *et al.*, 2019; Taheri-Garavand & Meda, 2018). Untuk pengeringan yang berlangsung dalam waktu yang lama, persamaan Hukum Fick's

dapat disederhanakan menjadi Persamaan 8 (Darvishi, *et al.*, 2014).

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

Keterangan:

D_{eff} = *effective moisture diffusivity* (m²/s)

L = ketebalan bahan (m)

t = waktu pengeringan (s)

Persamaan 8 tersebut kemudian disederhanakan menjadi Persamaan 9 sebagai berikut (Jiang, *et al.*, 2017; Zakipour & Hamidi, 2011).

$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \dots \dots \dots (9)$$

Effective moisture diffusivity dihitung dengan memplot data pengeringan eksperimental dalam bentuk ln MR terhadap waktu pengeringan. Kemiringan (*slope*) yang diperoleh dari grafik tersebut kemudian digunakan untuk menentukan *effective moisture diffusivity* dengan Persamaan 10 (Borah, *et al.*, 2015).

$$Slope = -\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \dots \dots \dots (10)$$

Tabel 1. Model matematika pengeringan lapis tipis yang digunakan pada penelitian inis

No.	Model	Equation	Reference
1	Lewis	MR = exp (-kt)	Yosika, <i>et al.</i> , 2020
2	Henderson-Pabis	MR = a exp (-kt)	Fithriani, <i>et al.</i> , 2016
3	Modified Henderson-Pabis	MR = a exp (-kt) + b exp (-gt) + c exp (-ht)	Rabha, <i>et al.</i> , 2017
4	Page	MR = exp (-kt ⁿ)	Lestari & Samsuar, 2021
5	Modified Page	MR = exp (-kt ⁿ)	Hawa, <i>et al.</i> , 2019
6	Logarithmic	MR = a exp (-kt) + b	Doymaz, 2014
7	Midilli	MR = a exp (-kt ⁿ) + bt	Mazandarani, <i>et al.</i> , 2017
8	Modified Midilli	MR = exp (-kt ⁿ) + bt	Nag & Dash, 2016
9	Modified Midilli-Kucuk	MR = a exp (-kt ⁿ) + b	Hadibi, <i>et al.</i> , 2021
10	Two-term	MR = a exp (-k ₁ t) + b exp (-k ₂ t)	Prasetyo, <i>et al.</i> , 2018
11	Two-term Exponential	MR = a exp (-kt) + (1 - a) exp (-kat)	Rodríguez, <i>et al.</i> , 2014
12	Diffusion Approach	MR = a exp (-kt) + (1 - a) exp (-kbt)	Murali, <i>et al.</i> , 2019
13	Jena-Das	MR = a exp (-kt + b√t) + c	Ashraf, <i>et al.</i> , 2012
14	Demir	MR = a exp (-kt ⁿ) + b	Ertekin & Firat, 2017
15	Verma	MR = a exp (-kt) + (1-a) exp (-gt)	Tezcan, <i>et al.</i> , 2020

Keterangan:

a, b, c, g, h, k, k₁, k₂, n = konstanta dari masing-masing model

MR = *moisture ratio*

t = waktu pengeringan (h)

Warna

Perubahan fisiologi cabai sebagai akibat dari perlakuan blansing dan proses pengeringan, diidentifikasi melalui perubahan warna yang terjadi menggunakan alat *Colorimeter* CS-10. Nilai Lab* hasil pengukuran warna diambil dari beberapa titik pada sampel cabai yang mewakili bagian pangkal, tengah, dan ujung cabai untuk tiap sampel. Hasil pengukuran berupa nilai L* menunjukkan tingkat terang (+) dan gelap (-), nilai a* adalah koordinat merah (+) dan hijau (-), serta nilai b* menunjukkan koordinat kuning (+) dan biru (-).

Data nilai Lab* kemudian digunakan untuk menghitung *browning index* cabai kering (Mukhtarom, *et al.*, 2016). *Browning index* menunjukkan nilai indeks warna yang menggambarkan perubahan warna akibat proses pengeringan, dan dihitung dengan pendekatan Persamaan 11.

$$Browning\ index = \frac{[100(x-0,31)]}{0,17} \dots (11)$$

Nilai x pada Persamaan 11 dapat diperoleh dengan Persamaan 12.

$$x = \frac{(a^*+1,75L^*)}{(5,645L^*+ a^*-3,012b^*)} \dots \dots \dots (12)$$

Data nilai Lab* dan *browning index* yang diperoleh kemudian dianalisis dengan sidik ragam ANOVA menggunakan *software* IBM SPSS Statistics 21. Berdasarkan data-data tersebut, apabila terdapat pengaruh perlakuan terhadap parameter objektif dan subjektif yang diamati, maka kemudian dilakukan uji lanjutan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT).

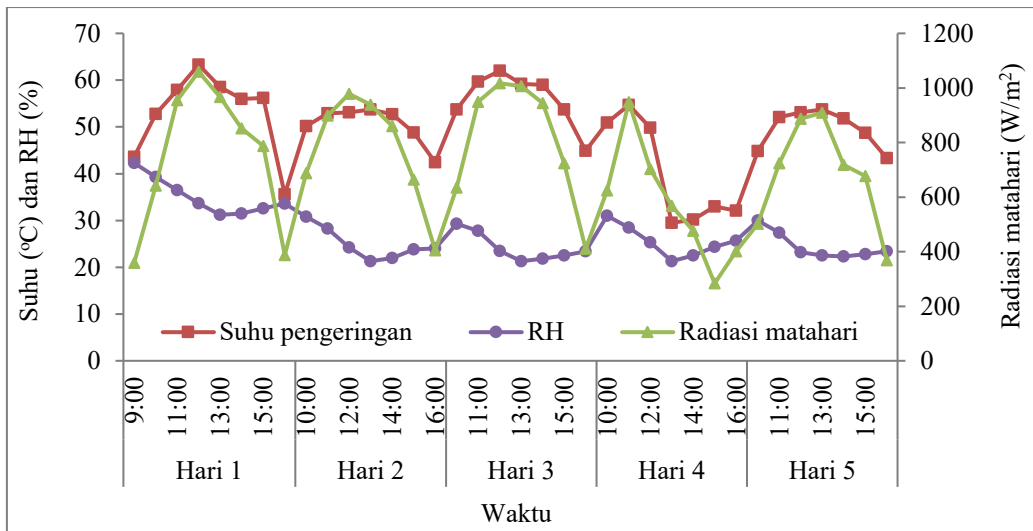
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Atmosfer Pengeringan

Kondisi atmosfer pengeringan (Gambar 1) berpengaruh terhadap perilaku pengeringan cabai merah. Ketiga parameter kondisi atmosfer pengeringan yang diukur, yaitu suhu, RH, dan radiasi matahari, memberi dampak terhadap karakteristik pengeringan bahan (Murali, *et al.*, 2019).

Kondisi atmosfer pengeringan ini berubah-ubah sepanjang waktu dan tidak dapat dikontrol. Hal ini merupakan pengaruh dari penggunaan energi matahari dalam proses pengeringan, dimana pola peningkatan dan penurunan suhu dan RH pada ruang pengering mengikuti intensitas radiasi matahari (Irfan, *et al.*, 2020). Apabila cuaca cerah, maka intensitas radiasi matahari menjadi tinggi, sehingga akan meningkatkan suhu udara di dalam ruang pengering (Lestari, *et al.*, 2020). Dengan meningkatnya suhu, maka akan terjadi penurunan jumlah uap air di udara sebagai dampak dari penguapan uap air tersebut. Hal ini mengindikasikan penurunan RH di dalam ruang pengering.

Selama proses pengeringan, suhu pengeringan maksimal yang dicapai adalah 63,38°C saat intensitas radiasi matahari mencapai 1059,31 W/m². Suhu pengeringan ini sangat fluktuatif akibat pengaruh kondisi penyinaran matahari (Usman, *et al.*, 2020), sehingga cuaca mendung juga sangat berdampak pada suhu pengeringan. Saat cuaca mendung, suhu pengeringan dapat turun hingga 29,50°C. Hal ini terjadi saat cuaca mendung pada hari ke-4 pengeringan, dimana rata-rata radiasi matahari untuk hari ke-4 tersebut hanya sebesar 571,98 W/m².



Gambar 1. Kondisi atmosfer pengeringan cabai merah pada alat pengering tenaga surya

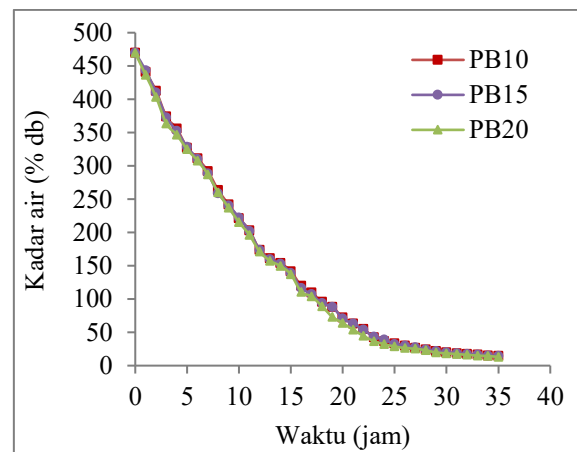
Berkebalikan dengan suhu, RH akan lebih tinggi di pagi hari dibandingkan pada siang dan sore hari. Peningkatan suhu ruang pengering di siang hari akan menurunkan RH, yang akan dipertahankan hingga sore hari. Kondisi ini akan menurun pada malam hari dimana suhu lingkungan juga semakin menurun, sehingga terjadi perpindahan panas yang signifikan dari ruang pengering ke lingkungan. Penurunan RH selama penelitian ini terjadi dari RH awal sebesar 42,30%, hingga dapat mencapai RH terendah sebesar 21,30%. Sedangkan RH rata-rata selama proses pengeringan berlangsung adalah sebesar 27,10%, dimana suhu pengeringan rata-ratanya adalah 49,93°C, dan radiasi matahari rata-ratanya adalah 719,93 W/m².

Kinetika Pengeringan Cabai Merah

Cabai segar memiliki kadar air awal yang tinggi, yaitu sebesar 469,54% basis kering atau 82,44% basis basah. Hal ini mengindikasikan bahwa cabai segar lepas panen memiliki kandungan air yang tinggi, dan menyebabkannya mudah rusak atau membusuk.

Saat dilakukan pengeringan, penurunan kadar air tidak terlalu jauh berbeda antara ketiga perlakuan. Namun, pada 9 jam awal pengeringan, penurunan kadar air cabai ini sangat signifikan. Selanjutnya hingga ± 20 jam pengeringan

penurunan kadar air masih terjadi, namun relatif kecil. Hal ini terus terjadi hingga akhirnya mencapai kadar air kesetimbangan, seperti ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perubahan kadar air cabai merah terhadap waktu pengeringan

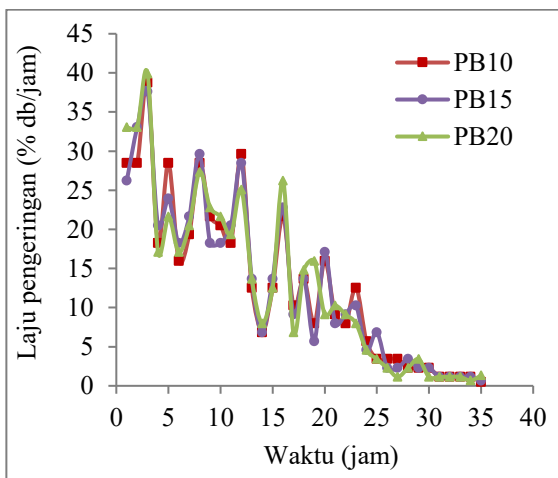
Pada prinsipnya, penurunan kadar air dari ketiga perlakuan blansing menunjukkan pola yang sama, dimana terjadi penurunan kadar air yang besar di awal pengeringan, sebagai akibat dari penguapan air bebas. Kandungan air bebas di permukaan bahan memang sangat mudah menguap, terutama jika terdapat perbedaan suhu, RH, tekanan uap air, pengaruh radiasi matahari, dan aliran udara (Prasetyo, *et al.*, 2018).

Saat pengeringan cabai merah berlangsung, proses perpindahan panas dan massa terjadi secara simultan. Hal ini

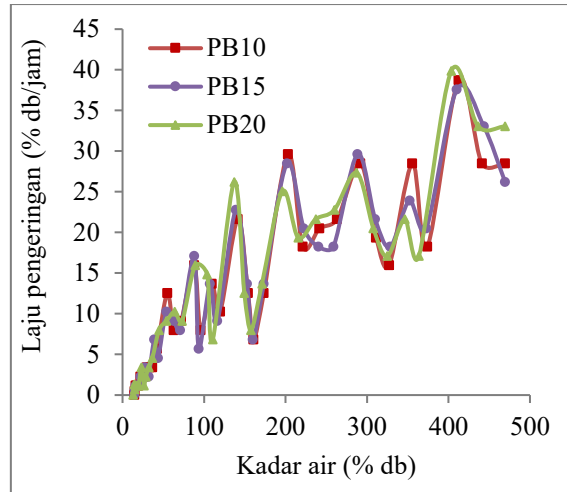
menyebabkan kadar air mengalami penurunan hingga mencapai kadar air kesetimbangan. Jika dibandingkan, maka pada durasi pengeringan yang sama penurunan kadar air pada perlakuan PB20 adalah yang terendah, yaitu mencapai 13,04% basis kering. Sedangkan untuk PB10 dan PB15 berturut-turut adalah 14,56% dan 14,39% basis kering.

Hasil ini mengindikasikan bahwa durasi blansing yang lebih lama pada proses blansing suhu rendah PB20, lebih efektif dalam meningkatkan permeabilitas dinding sel yang dapat menyebabkan air lebih mudah bergerak ke permukaan dan menguap (Orikasa, *et al.*, 2018). Hasil ini juga sejalan dengan penelitian (Lestari, *et al.*, 2020), yang menyatakan bahwa durasi blansing yang lebih lama akan menghasilkan produk akhir pengeringan dengan kadar air yang lebih rendah.

Perubahan kadar air cabai merah selama proses pengeringan tersebut erat kaitannya dengan laju pengeringan. Tingginya penguapan air bebas pada periode awal proses pengeringan sebagai akibat dari peningkatan suhu di sekitar bahan, mengindikasikan laju pengeringan yang tinggi di awal proses pengeringan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Peningkatan laju pengeringan juga akan berdampak pada penurunan kadar air bahan selama proses pengeringan berlangsung (Gambar 4).



Gambar 3. Laju pengeringan cabai merah terhadap waktu



Gambar 4. Laju pengeringan cabai merah terhadap kadar air

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa durasi blansing suhu rendah yang lebih lama (PB20) mengakibatkan laju pengeringan cabai merah menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan 2 perlakuan lainnya. Laju pengeringan pada jam pertama pengeringan untuk perlakuan PB20 adalah 33,03% db/jam, sedangkan untuk perlakuan PB10 dan PB15 berturut-turut adalah 28,48% db/jam, dan 26,20% db/jam.

Dalam penelitian ini, durasi yang lebih lama pada perlakuan blansing suhu rendah juga berperan dalam usaha untuk mempercepat penguapan air bebas di awal periode pengeringan, selain karena pengaruh faktor peningkatan suhu pengeringan dan faktor-faktor eksternal lainnya. Durasi blansing yang lebih panjang diduga menyebabkan perubahan struktural bahan berupa pembukaan pori-pori yang lebih besar, sehingga cabai menjadi lebih porous dan jaringan kulitnya lebih lunak. Dengan kondisi tersebut, maka air menjadi lebih leluasa untuk bergerak ke permukaan dan menguap (Yosika, *et al.*, 2020).

Laju pengeringan untuk semua perlakuan ini pada akhirnya akan tetap menurun sejalan dengan waktu pengeringan. Penurunan laju pengeringan merupakan karakteristik yang khas dari pengeringan bahan pangan. Hal ini tidak hanya terjadi pada cabai merah, melainkan juga terjadi pada bahan pangan lainnya, misalnya pada rumput laut (Fithriani *et al.*, 2016), lemon

(Wang, *et al.*, 2018), dan buah delima (Mazandarani, *et al.*, 2017). Penurunan laju pengeringan ini merupakan dampak dari lambatnya difusi air terikat ke permukaan bahan, yang membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan dengan air bebas. Fenomena melambatnya laju pengeringan sebagai akibat dari sulitnya air terikat berdifusi ke permukaan bahan ini dikenal dengan istilah laju pengeringan menurun, dan cenderung mengarah pada *Fick's Second Law of Diffusion* (Darvishi, *et al.*, 2014).

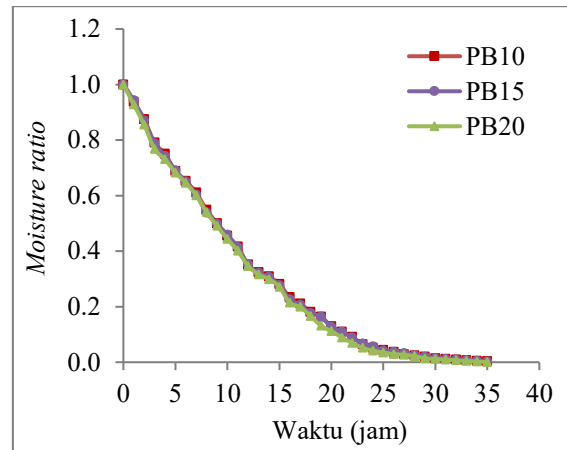
Dalam penelitian ini laju pengeringan cabai merah baik terhadap waktu maupun kadar air terlihat sangat berfluktuasi, seperti ditampilkan pada Gambar 3 dan 4. Hal ini tidak terlepas dari pengaruh suhu dan RH pengeringan yang sangat bergantung pada kondisi cuaca, seperti yang juga telah dijelaskan pada bahasan kondisi atmosfer pengeringan. Fluktuasi kondisi cuaca yang mempengaruhi intensitas radiasi matahari (Gambar 1), memberi dampak pada suhu dan RH pengeringan yang cenderung berubah-ubah.

Suhu dan RH akan mempengaruhi laju pengeringan atau jumlah air yang menguap dari dalam bahan sepanjang waktu. Suhu pengeringan yang lebih tinggi dan RH yang lebih rendah akan menguapkan lebih banyak air dari dalam bahan. Hal ini dapat terjadi jika cuaca selama proses pengeringan mendukung, yang diindikasikan dengan intensitas radiasi matahari yang tinggi. Selain itu, besarnya laju pengeringan dari pagi hingga sore hari juga berbeda-beda, karena intensitas radiasi matahari cenderung rendah saat pagi hari, kemudian meningkat hingga mencapai puncaknya di siang hari, dan kembali menurun di sore hari.

Evaluasi Model Pengeringan

Terdapat 15 model matematika pengeringan lapis tipis yang dipilih untuk menyimulasikan karakteristik pengeringan cabai merah dengan perlakuan blansing suhu rendah, seperti ditampilkan pada Tabel 1. Untuk dapat melakukan simulasi, maka data kadar air digunakan untuk menentukan

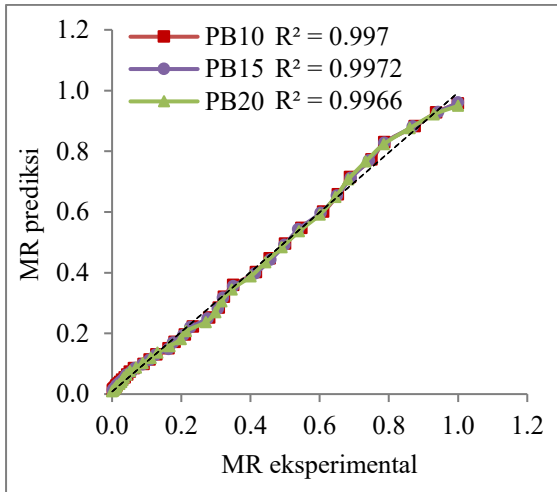
nilai *moisture ratio* (MR), dan kemudian dievaluasi dengan model matematika yang dipilih. Korelasi antara *moisture ratio* terhadap waktu pengeringan seperti yang ditampilkan pada Gambar 5, menggambarkan karakteristik pengeringan cabai merah dan juga menginterpretasikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap laju pengeringan.



Gambar 5. Perubahan *moisture ratio* cabai merah terhadap waktu pengeringan

Dari evaluasi model matematika yang dilakukan dengan analisis regresi non linear, maka diperoleh nilai-nilai konstanta dari tiap model matematika seperti ditampilkan pada Tabel 2. Dari seluruh model matematika yang disimulasikan, Model Modified Midilli-Kucuk merupakan model matematika dengan nilai R^2 tertinggi dan nilai X^2 , SSE, serta RMSE terendah untuk masing-masing perlakuan. Hasil ini mengindikasikan bahwa dari seluruh model yang diujikan, Model Modified Midilli-Kucuk menunjukkan tingkat keakuratan yang paling tinggi untuk mendeskripsikan karakteristik pengeringan cabai merah.

Keakuratan Model Modified Midilli-Kucuk digambarkan juga dalam kurva perbandingan MR prediksi terhadap MR eksperimental, seperti ditampilkan pada Gambar 6. Kesesuaian antara MR prediksi Terdan MR eksperimental ditunjukkan oleh nilai-nilai perbandingan pada kurva yang mendekati sudut 45° , dimana mengindikasikan tingkat kesesuaian yang tinggi (Prasetyo, *et al.*, 2018).



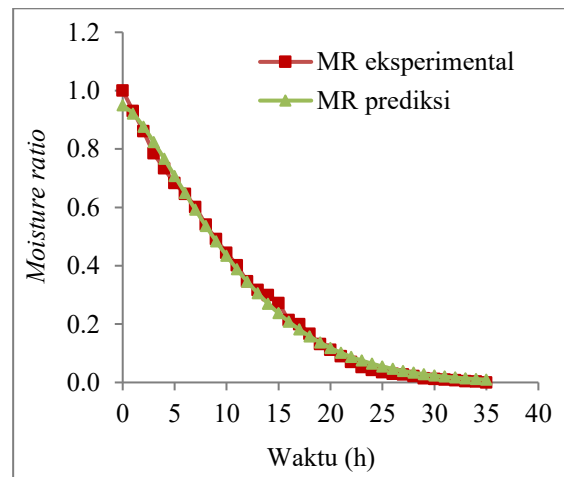
Gambar 6. Hubungan antara MR prediksi Model Modified Midilli-Kucuk dan MR eksperimental

Dalam aplikasinya, model matematika ini dapat digunakan untuk memprediksikan jumlah air yang terkandung dalam bahan pada berbagai waktu pengeringan. Dengan demikian, sangat memungkinkan untuk mengendalikan proses pengeringan sesuai dengan hasil dan target yang diharapkan.

Contoh aplikasi model matematika untuk membuat kurva pengeringan ditampilkan pada Gambar 7. Kurva dibuat menggunakan data MR eksperimental pada perlakuan PB20, dan untuk MR prediksi menggunakan Model Modified Midilli-Kucuk dengan konstanta-konstanta yang digunakan ditampilkan pada Tabel 2 serta persamaan model pada Tabel 1. Kurva yang

terbentuk pada Gambar 7 menunjukkan bahwa antara kurva MR prediksi dan MR eksperimental sangat mendekati dan serupa, sehingga dapat dikatakan bahwa Model Modified Midilli-Kucuk ini sangat sesuai sebagai model matematika pengeringan untuk cabai merah.

Selain cabai merah, pada beberapa penelitian terdahulu lainnya diketahui bahwa model matematika pengeringan lapis tipis Modified Midilli-Kucuk juga sesuai untuk bahan pangan lainnya. Beberapa bahan pangan yang karakteristik pengeringannya dapat diprediksi dengan Model Modified Midilli-Kucuk antara lain seperti pada bawang putih (Hadibi, *et al.*, 2021), mulberry (Rad, *et al.*, 2018), talas (Hawa, *et al.*, 2019) serta buah jujube atau kurma tiongkok (Lee & Zuo, 2013).



Gambar 7. Perbandingan kurva MR

Tabel 2. Konstanta model kurva pengeringan lapisan tipis untuk masing-masing perlakuan

No.	Model	Perlakuan	Konstanta
1	Lewis	PB10	$k = 0,089$
		PB15	$k = 0,090$
		PB20	$k = 0,093$
2	Henderson-Pabis	PB10	$k = 0,096; a = 1,074$
		PB15	$k = 0,096; a = 1,073$
		PB20	$k = 0,099; a = 1,071$
3	Modified Henderson-Pabis	PB10	$k = 0,096; a = 0,484; b = 0,295; c = 0,295; g = 0,096; h = 0,096$
		PB15	$k = 0,096; a = 0,508; b = 0,282; c = 0,282; g = 0,096; h = 0,096$
		PB20	$k = 0,099; a = 0,456; b = 0,307; c = 0,307; g = 0,099; h = 0,099$
4	Page	PB10	$k = 0,042; n = 1,292$
		PB15	$k = 0,043; n = 1,284$
		PB20	$k = 0,043; n = 1,299$

5	Modified Page	PB10	$k = 0,086; n = 1,292$
		PB15	$k = 0,086; n = 1,284$
		PB20	$k = 0,089; n = 1,299$
6	Logarithmic	PB10	$k = 0,096; a = 1,074; b = 1 \times 10^{-4}$
		PB15	$k = 0,096; a = 1,069; b = 1 \times 10^{-4}$
		PB20	$k = 0,099; a = 1,071; b = 1 \times 10^{-4}$
7	Midilli	PB10	$k = 0,181; n = 0,798; a = 1,191; b = 12 \times 10^{-5}$
		PB15	$k = 0,033; n = 1,369; a = 0,960; b = 10 \times 10^{-5}$
		PB20	$k = 0,030; n = 1,412; a = 0,949; b = 11 \times 10^{-5}$
8	Modified Midilli	PB10	$k = 0,042; n = 1,292; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB15	$k = 0,043; n = 1,284; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB20	$k = 0,043; n = 1,299; b = 1 \times 10^{-5}$
9	Modified Midilli-Kucuk	PB10	$k = 0,031; n = 1,383; a = 0,958; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB15	$k = 0,033; n = 1,369; a = 0,960; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB20	$k = 0,030; n = 1,412; a = 0,949; b = 1 \times 10^{-5}$
10	Two Term	PB10	$k_1 = 0,096; k_2 = 1,383; a = 1,074; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB15	$k_1 = 0,096; k_2 = 1,369; a = 1,073; b = 1 \times 10^{-5}$
		PB20	$k_1 = 0,099; k_2 = 1,412; a = 1,071; b = 1 \times 10^{-5}$
11	Two Term Exponential	PB10	$k = 0,126; a = 1,818$
		PB15	$k = 0,126; a = 1,811$
		PB20	$k = 0,129; a = 1,818$
12	Diffusion Approach	PB10	$k = 0,067; a = 1,147; b = 10 \times 10^{-5}$
		PB15	$k = 0,068; a = 1,142; b = 10 \times 10^{-5}$
		PB20	$k = 0,069; a = 1,139; b = 13 \times 10^{-5}$
13	Jena-Das	PB10	$k = 0,128; a = 0,952; b = 0,148; c = 1 \times 10^{-5}$
		PB15	$k = 0,127; a = 0,955; b = 0,144; c = 1 \times 10^{-5}$
		PB20	$k = 0,132; a = 0,948; b = 0,153; c = 1 \times 10^{-5}$
14	Demir	PB10	$k = 0,032; a = 0,958; b = 13 \times 10^{-5}; n = 1,394$
		PB15	$k = 0,034; a = 0,960; b = 11 \times 10^{-5}; n = 1,369$
		PB20	$k = 0,031; a = 0,949; b = 16 \times 10^{-5}; n = 1,411$
15	Verma	PB10	$k = 0,044; a = 8,297; g = 0,040$
		PB15	$k = 0,046; a = 5,973; g = 0,040$
		PB20	$k = 0,046; a = 8,212; g = 0,042$

Tabel 3. Hasil analisis statistik keakuratan model matematika untuk masing-masing perlakuan

No.	Model	Perlakuan	R ²	X ²	SSE	RMSE
1	Lewis	PB10	$99,030 \times 10^{-2}$	$0,215 \times 10^{-2}$	$7,519 \times 10^{-2}$	$4,570 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,098 \times 10^{-2}$	$0,204 \times 10^{-2}$	$7,127 \times 10^{-2}$	$4,449 \times 10^{-2}$
		PB20	$98,902 \times 10^{-2}$	$0,226 \times 10^{-2}$	$7,898 \times 10^{-2}$	$4,684 \times 10^{-2}$
2	Henderson-Pabis	PB10	$98,617 \times 10^{-2}$	$0,163 \times 10^{-2}$	$5,694 \times 10^{-2}$	$3,977 \times 10^{-2}$
		PB15	$98,699 \times 10^{-2}$	$0,153 \times 10^{-2}$	$5,353 \times 10^{-2}$	$3,856 \times 10^{-2}$
		PB20	$98,493 \times 10^{-2}$	$0,178 \times 10^{-2}$	$6,219 \times 10^{-2}$	$4,156 \times 10^{-2}$
3	Modified Henderson-Pabis	PB10	$98,617 \times 10^{-2}$	$0,163 \times 10^{-2}$	$5,694 \times 10^{-2}$	$3,977 \times 10^{-2}$
		PB15	$98,699 \times 10^{-2}$	$0,153 \times 10^{-2}$	$5,353 \times 10^{-2}$	$3,856 \times 10^{-2}$
		PB20	$98,493 \times 10^{-2}$	$0,178 \times 10^{-2}$	$6,219 \times 10^{-2}$	$4,156 \times 10^{-2}$
4	Page	PB10	$99,14 \times 10^{-2}$	$0,041 \times 10^{-2}$	$1,448 \times 10^{-2}$	$2,006 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,641 \times 10^{-2}$	$0,038 \times 10^{-2}$	$1,342 \times 10^{-2}$	$1,931 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,541 \times 10^{-2}$	$0,050 \times 10^{-2}$	$1,738 \times 10^{-2}$	$2,197 \times 10^{-2}$

5	Modified Page	PB10	$99,614 \times 10^{-2}$	$0,041 \times 10^{-2}$	$1,448 \times 10^{-2}$	$2,006 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,641 \times 10^{-2}$	$0,038 \times 10^{-2}$	$1,342 \times 10^{-2}$	$1,931 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,541 \times 10^{-2}$	$0,050 \times 10^{-2}$	$1,738 \times 10^{-2}$	$2,197 \times 10^{-2}$
6	Logarithmic	PB10	$98,617 \times 10^{-2}$	$0,163 \times 10^{-2}$	$5,702 \times 10^{-2}$	$3,980 \times 10^{-2}$
		PB15	$98,715 \times 10^{-2}$	$0,153 \times 10^{-2}$	$5,364 \times 10^{-2}$	$3,860 \times 10^{-2}$
		PB20	$98,498 \times 10^{-2}$	$0,178 \times 10^{-2}$	$6,228 \times 10^{-2}$	$4,159 \times 10^{-2}$
7	Midilli	PB10	$95,565 \times 10^{-2}$	$0,456 \times 10^{-2}$	$15,944 \times 10^{-2}$	$6,655 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,710 \times 10^{-2}$	$0,032 \times 10^{-2}$	$1,126 \times 10^{-2}$	$1,769 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,650 \times 10^{-2}$	$0,039 \times 10^{-2}$	$1,353 \times 10^{-2}$	$1,938 \times 10^{-2}$
8	Modified Midilli	PB10	$99,613 \times 10^{-2}$	$0,042 \times 10^{-2}$	$1,460 \times 10^{-2}$	$2,014 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,640 \times 10^{-2}$	$0,039 \times 10^{-2}$	$1,354 \times 10^{-2}$	$1,940 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,540 \times 10^{-2}$	$0,050 \times 10^{-2}$	$1,750 \times 10^{-2}$	$2,204 \times 10^{-2}$
9	Modified Midilli-Kucuk	PB10	$99,698 \times 10^{-2}$	$0,031 \times 10^{-2}$	$1,093 \times 10^{-2}$	$1,742 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,716 \times 10^{-2}$	$0,029 \times 10^{-2}$	$1,027 \times 10^{-2}$	$1,689 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,656 \times 10^{-2}$	$0,035 \times 10^{-2}$	$1,239 \times 10^{-2}$	$1,855 \times 10^{-2}$
10	Two Term	PB10	$98,617 \times 10^{-2}$	$0,163 \times 10^{-2}$	$5,694 \times 10^{-2}$	$3,977 \times 10^{-2}$
		PB15	$98,699 \times 10^{-2}$	$0,153 \times 10^{-2}$	$5,353 \times 10^{-2}$	$3,856 \times 10^{-2}$
		PB20	$98,493 \times 10^{-2}$	$0,178 \times 10^{-2}$	$6,219 \times 10^{-2}$	$4,156 \times 10^{-2}$
11	Two Term Exponential	PB10	$99,526 \times 10^{-2}$	$0,053 \times 10^{-2}$	$1,855 \times 10^{-2}$	$2,270 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,562 \times 10^{-2}$	$0,049 \times 10^{-2}$	$1,712 \times 10^{-2}$	$2,180 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,439 \times 10^{-2}$	$0,063 \times 10^{-2}$	$2,201 \times 10^{-2}$	$2,473 \times 10^{-2}$
12	Diffusion Approach	PB10	$99,574 \times 10^{-2}$	$0,044 \times 10^{-2}$	$1,548 \times 10^{-2}$	$2,074 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,605 \times 10^{-2}$	$0,041 \times 10^{-2}$	$1,441 \times 10^{-2}$	$2,001 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,461 \times 10^{-2}$	$0,055 \times 10^{-2}$	$1,910 \times 10^{-2}$	$2,304 \times 10^{-2}$
13	Jena-Das	PB10	$99,226 \times 10^{-2}$	$0,087 \times 10^{-2}$	$3,059 \times 10^{-2}$	$2,915 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,276 \times 10^{-2}$	$0,082 \times 10^{-2}$	$2,859 \times 10^{-2}$	$2,818 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,111 \times 10^{-2}$	$0,101 \times 10^{-2}$	$3,519 \times 10^{-2}$	$3,126 \times 10^{-2}$
14	Demir	PB10	$99,561 \times 10^{-2}$	$0,049 \times 10^{-2}$	$1,707 \times 10^{-2}$	$2,178 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,658 \times 10^{-2}$	$0,034 \times 10^{-2}$	$1,197 \times 10^{-2}$	$1,823 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,592 \times 10^{-2}$	$0,041 \times 10^{-2}$	$1,427 \times 10^{-2}$	$1,991 \times 10^{-2}$
15	Verma	PB10	$99,667 \times 10^{-2}$	$0,034 \times 10^{-2}$	$1,198 \times 10^{-2}$	$1,825 \times 10^{-2}$
		PB15	$99,697 \times 10^{-2}$	$0,031 \times 10^{-2}$	$1,099 \times 10^{-2}$	$1,747 \times 10^{-2}$
		PB20	$99,575 \times 10^{-2}$	$0,043 \times 10^{-2}$	$1,493 \times 10^{-2}$	$2,036 \times 10^{-2}$

Effective Moisture Diffusivity

Dalam proses pengeringan, *effective diffusivity* menggambarkan pergerakan difusi air di dalam bahan menuju permukaan sebagai akibat dari perbedaan tekanan uap air. Untuk menghitung difusivitas efektif ditentukan berdasarkan *Fick's Second Law of Diffusion*, yang bertujuan untuk menggambarkan proses pengeringan pada periode laju pengeringan menurun.

Untuk menghitung *effective moisture diffusivity* (D_{eff}) dengan menggunakan metode *slope*, maka nilai logaritma *moisture ratio* ($\ln MR$) diplotkan terhadap waktu

pengeringan (t) sesuai dengan data eksperimen yang diperoleh pada tiap perlakuan metode pengeringan. Tingkat kesesuaian hubungan linear antara $\ln MR$ dan waktu pengeringan (t) diindikasikan dengan nilai R^2 seperti ditampilkan pada Tabel 4. Nilai ini menunjukkan hubungan linearitas yang baik antara $\ln MR$ dan waktu pengeringan (t) untuk seluruh metode pengeringan yang diujikan. Adapun nilai D_{eff} hasil analisis metode *slope* untuk ketiga perlakuan pengeringan pada penelitian ini juga ditampilkan pada Tabel 4.

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai D_{eff} yang diperoleh memenuhi kisaran nilai D_{eff} untuk bahan pangan, yaitu sebesar $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (Afifah, *et al.*, 2017). Adapun perbedaan nilai D_{eff} dari masing-masing perlakuan merupakan pengaruh dari banyak faktor yang terlibat, seperti suhu, ukuran, ketebalan bahan, serta faktor-faktor lainnya (Wang, *et al.*, 2011).

Tabel 4. Nilai *effective moisture diffusivity* (D_{eff}) untuk masing-masing perlakuan

Perlakuan	$D_{eff} \text{ (m}^2/\text{s)}$	R^2
PB10	$3,972 \times 10^{-9}$	0,952
PB15	$3,975 \times 10^{-9}$	0,953
PB20	$4,935 \times 10^{-9}$	0,950

Warna

Pengaruh perlakuan durasi atau lama waktu blansing selama proses pengeringan, terhadap warna cabai kering diidentifikasi melalui nilai L^* , a^* , dan b^* warna, seperti ditampilkan pada Tabel 5. Perlakuan durasi blansing suhu rendah memberikan pengaruh terhadap nilai L^* , a^* , dan b^* warna cabai kering ($p < 0,05$). Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan durasi blansing selama 20 menit (PB20) memiliki tingkat kecerahan (L^*) dan kemerahan (a^*) tertinggi jika dibandingkan dengan perlakuan PB15 dan PB10. Sedangkan menurut hasil uji Duncan untuk nilai parameter b^* (tingkat kuning-biru) tertinggi adalah pada perlakuan PB10 dibandingkan perlakuan PB15 dan PB20.

Tabel 5. Nilai L^* , a^* , dan b^* warna cabai kering untuk masing-masing perlakuan

Perlakuan	L^*	a^*	b^*
PB10	19,403 ^a	16,090 ^a	9,543 ^b
PB15	22,253 ^b	15,867 ^a	6,368 ^a
PB20	25,490 ^c	20,420 ^b	6,693 ^a

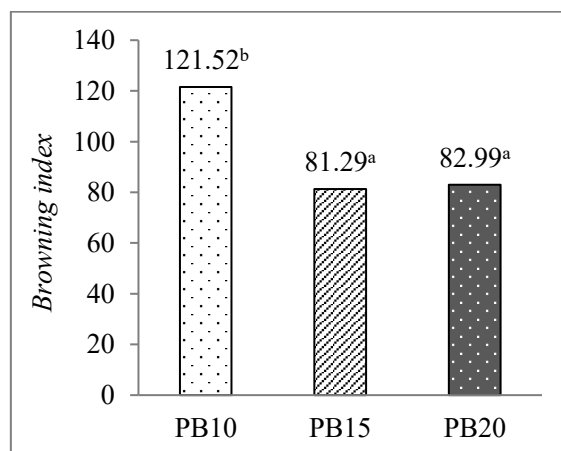
Keterangan: huruf yang sama di belakang angka pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata pada taraf 5%

Proses pengeringan dengan segala faktor-faktor yang mempengaruhinya, sangat berdampak terhadap kualitas warna produk akhir setelah pengeringan. Cabai

yang sebelum pengeringan berwarna merah cerah kemudian mengalami perubahan warna yang signifikan menjadi merah gelap kecoklatan setelah mengering. Perubahan pada warna cabai tersebut merupakan dampak dari reaksi pencoklatan yang terjadi selama proses pengeringan. Pencoklatan warna cabai tersebut dapat diidentifikasi dengan nilai *browning index*. *Browning index* menunjukkan ukuran warna coklat pada bahan akibat reaksi enzimatis maupun non enzimatis (Zambrano-Zaragoza, *et al.*, 2014; Purwanto & Effendi, 2016).

Nilai *browning index* untuk masing-masing perlakuan ditampilkan pada Gambar 8. Perlakuan durasi blansing suhu rendah memberikan pengaruh terhadap nilai *browning index* ($p < 0,05$). Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa perlakuan durasi blansing selama 10 menit (PB10) memiliki nilai *browning index* tertinggi dibandingkan dengan perlakuan PB15 dan PB20.

Nilai *browning index* pada perlakuan PB10 ini memiliki perbedaan yang signifikan dari dua perlakuan lainnya, dimana *browning index* pada PB10 adalah 121,52^b, PB15 adalah 81,29^a, dan PB20 adalah 82,99^a. Hal ini mengindikasikan bahwa waktu blansing suhu rendah selama 10 menit diduga kurang efektif dalam mengendalikan reaksi *browning* dibandingkan dengan perlakuan blansing suhu rendah selama 15 dan 20 menit.



Gambar 8. *Browning index* untuk masing-masing perlakuan

Browning index pada produk yang dikeringkan harus memiliki nilai yang rendah, yang mengindikasikan bahwa proses pengeringan tidak terlalu berdampak terhadap reaksi pencoklatan bahan yang dikeringkan. Semakin tinggi nilai *browning index*, maka akan menunjukkan semakin tinggi pula tingkat pencoklatan warna pada produk tersebut (Purwanto & Effendi, 2016). Tingkat pencoklatan pada cabai kering akan mempengaruhi estetika warna dan ketertarikan konsumen terhadap produk cabai kering tersebut. Produk cabai kering yang diharapkan adalah cabai kering yang masih berwarna kemerahan.

Berdasarkan nilai *browning index*, maka perlakuan PB15 dan PB20 adalah perlakuan terbaik karena memiliki nilai *browning index* yang lebih rendah. Namun, jika ditinjau secara keseluruhan dengan melibatkan tingkat kecerahan dan kemerahan warna (parameter L^* dan a^*), maka perlakuan PB20 adalah perlakuan terbaik yang menghasilkan cabai kering dengan warna lebih merah dan cerah dari kedua perlakuan lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan blansing suhu rendah selama 20 menit sebelum mengeringkan cabai dapat meningkatkan laju pengeringan bahan dan menghasilkan kadar air akhir yang lebih rendah. Warna cabai kering yang dihasilkan juga lebih baik, yang didukung dengan nilai *browning index* yang lebih rendah. Adapun model matematika yang paling akurat untuk mendeskripsikan karakteristik pengeringan cabai merah untuk tiap perlakuan adalah Model Modified Midilli-Kucuk, yang dikonfirmasi dengan analisis statistik R^2 berkisar antara 0,996 – 0,997, X^2 berkisar antara $0,029 \times 10^{-2}$ – $0,035 \times 10^{-2}$, SSE berkisar antara $1,027 \times 10^{-2}$ – $1,239 \times 10^{-2}$, dan RMSE berkisar antara $1,689 \times 10^{-2}$ – $1,855 \times 10^{-2}$.

Saran

Untuk penyempurnaan kajian terkait dengan pengeringan cabai, diperlukan penelitian lebih lanjut dengan perlakuan blansing suhu rendah pada tingkatan suhu, durasi, dan cara blansing yang berbeda. Blansing suhu rendah yang dilakukan dapat berkisar antara suhu 55-80°C, sedangkan cara blansing yang dilakukan dapat kembali menggunakan air ataupun uap air. Penelitian lanjutan juga dapat diarahkan untuk mencari durasi blansing terbaik dari tingkatan suhu blansing tertentu. Selain itu, perlu juga dilakukan kajian lebih mendalam mengenai warna, tekstur, serta mutu sensori dari cabai kering yang dihasilkan.

DAFTAR REFERENSI

- Abu-Ghannam, N., & Jaiswal, A. K. (2015). Blanching as a Treatment Process: Effect on Polyphenol and Antioxidant Capacity of Cabbage. In *Processing and Impact on Active Components in Food*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00005-6>
- Afifah, N., Rahayuningtyas, A., & Kuala, S. I. (2017). Drying kinetics modeling of agricultural commodities using infrared dryer. *Agritech*, 37(2), 220–228. <https://doi.org/10.22146/agritech.10394>
- Apriana, D., Basuki, E., & Alamsyah, A. (2016). Pengaruh suhu dan lama blanching terhadap beberapa komponen mutu tepung ubi jalar ungu (*Ipomoea batatas* L). *Pro Food*, 2(1), 94–100. Retrieved from <http://profood.unram.ac.id/index.php/profood>
- Ashraf, Z., Hamidi-Esfahani, Z., & Sahari, M. A. (2012). Evaluation and characterization of vacuum drying of date paste. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14, 565–575.

- Borah, A., Hazarika, K., & Khayer, S. M. (2015). Drying kinetics of whole and sliced turmeric rhizomes (*Curcuma longa* L.) in a solar conduction dryer. *Information Processing in Agriculture*, 2(2), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.002>
- Darvishi, H., Asl, A. R., Asghari, A., Azadbakht, M., Najafi, G., & Khodaei, J. (2014). Study of the drying kinetics of pepper. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.03.002>
- Doymaz, I. (2014). Effect of blanching temperature and dipping time on drying time of broccoli. *Food Science and Technology International*, 20(2), 149–157. <https://doi.org/10.1177/1082013213476075>
- Ertekin, C., & Firat, M. Z. (2017). A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(4), 701–717. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.910493>
- Fithriani, D., Assadad, L., & Arifin, Z. (2016). Karakteristik dan model matematika kurva pengeringan rumput laut *Eucheuma cottonii*. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 11(2), 159. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v11i2.290>
- Fudholi, A., Ruslan, M., & Haw, L. (2012). Mathematical modeling of brown seaweed drying curves. *In Proceedings of the WSEAS International Conference on Applied Mathematics in Electrical and Computer Engineering*, 207–211. Retrieved from <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/CambridgeUSA/MATHCC/MATHCC-32.pdf>
- Guzek, D., Wierzbicka, A., & Wiejskiego, G. (2012). Analysis of parameters effect of low-temperature blanching process. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 57(1), 59–62.
- Hadibi, T., Boubekri, A., Mennouche, D., Benhamza, A., & Abdenouri, N. (2021). 3E analysis and mathematical modelling of garlic drying process in a hybrid solar-electric dryer. *Renewable Energy*, 170, 1052–1069. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.029>
- Hawa, L. C., Ubaidillah, U., & Wibisono, Y. (2019). Proper model of thin layer drying curve for taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) chips. *International Food Research Journal*, 26(1), 209–216.
- Irfan, A. M., Arimansyah, Rasyid, A. R., & Lestari, N. (2020). Unjuk kerja pengering tenaga surya tipe efek rumah kaca untuk pengeringan cabai dengan perlakuan low temperature long time blanching. *Rona Teknik Pertanian*, 13(April), 1–12. <https://doi.org/10.17969/rtp.v13i2.17788>
- Irfan, A. M., Lestari, N., Arimansyah, A., & Rasyid, A. R. (2021). Kinetika pengeringan cabai dengan perlakuan blansing suhu rendah-waktu lama. *AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian*, 10(1), 24–35. <https://doi.org/10.30598/jagritekno.2021.10.1.24>
- Rad, S. J., Kaveh, M., Sharabiani, V. R., & Taghinezhad, E. (2018). Fuzzy logic,

- artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 54(11), 3361–3374. <https://doi.org/10.1007/s00231-018-2377-4>
- Jiang, J., Dang, L., Tan, H., Pan, B., & Wei, H. (2017). Thin layer drying kinetics of pre-gelatinized starch under microwave. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 72, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2017.01.005>
- Lee, J. H., & Zuo, L. (2013). Mathematical modeling on vacuum drying of *Zizyphus jujuba* Miller slices. *Journal of Food Science and Technology*, 50(1), 115–121. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0312-5>
- Lestari, N., Fadilah, R., Mukhlis, A. M. A., & Samsuar. (2020). Efek perlakuan low temperature long time blanching terhadap karakteristik cabai kering. *Agrika*, 14(November), 140–156. <https://doi.org/10.31328/ja.v14i2.1619>
- Lestari, N., & Samsuar. (2021). Analysis of red chilli drying kinetics affected by low-temperature long time blanching. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032002>
- Lestari, N., Samsuar, S., Novitasari, E., & Rahman, K. (2020). Performance of cabinet dryer in the red ginger drying by utilizing the waste heat of air conditioner condenser. *Jurnal Agritechno*, 13(1), 57–70. <https://doi.org/10.20956/at.v13i1.250>
- Mazandarani, Z., Aghajani, N., Daraei Garmakhany, A., Bani Ardalan, M. J., & Nouri, M. (2017). Mathematical modeling of thin layer drying of pomegranate (*Punica granatum* L.) Arils: Various drying methods. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 1527–1537.
- Mukhtarom, K., Sutrisno, & Hasbullah, R. (2016). Perlakuan air panas diikuti pencelupan dalam larutan CaCl₂ untuk mempertahankan kualitas buah belimbing manis (*Averrhoa Carambola* L.). *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 4(1), 37–44.
- Murali, S., Sathish Kumar, K., Alfiya, P. V., Delfiya, D. S. A., & Samuel, M. P. (2019). Drying kinetics and quality characteristics of Indian mackerel (*Rastrelliger kanagurta*) in solar–electrical hybrid dryer. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(5), 541–554. <https://doi.org/10.1080/10498850.2019.1604597>
- Nag, S., & Dash, K. K. (2016). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics and moisture diffusivity study of elephant apple. *International Food Research Journal*, 23(6), 2594–2600.
- Ngobese, N. Z., Workneh, T. S., & Siwela, M. (2017). Effect of low-temperature long-time and high-temperature short-time blanching and frying treatments on the French fry quality of six Irish potato cultivars. *Journal of Food Science and Technology*, 54(2), 507–517. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2495-x>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.08>

.003

- Orikasa, T., Ono, N., Watanabe, T., Ando, Y., Shiina, T., & Koide, S. (2018). Impact of blanching pretreatment on the drying rate and energy consumption during far-infrared drying of Paprika (*Capsicum annuum* L.). *Food Quality and Safety*, 2(2), 97–103. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy006>
- Prasetyo, D. J., Jatmiko, T. H., & Poeloengasih, C. D. (2018). Drying characteristics of *Ulva* sp. and *Sargassum* sp. seaweeds. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v13i1.515>
- Purwanto, Y. A., & Effendi, R. N. (2016). Penggunaan Asam Askorbat dan Lidah Buaya untuk Menghambat Pencoklatan pada Buah Potong Apel Malang. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 4(2), 203–210.
- Rabha, D. K., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2017). Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (*Capsicum Chinense* Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 105, 583–589. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.091>
- Rodríguez, J., Clemente, G., Sanjuán, N., & Bon, J. (2014). Modelling drying kinetics of thyme (*Thymus vulgaris* L.): Theoretical and empirical models, and neural networks. *Food Science and Technology International*, 20(1), 13–22. <https://doi.org/10.1177/1082013212469614>
- Taheri-Garavand, A., & Meda, V. (2018). Drying kinetics and modeling of savory leaves under different drying conditions. *International Food Research Journal*, 25(4), 1357–1364.
- Tezcan, D., Sabancı, S., Cevik, M., Cokgezme, O. F., & Icier, F. (2020). Infrared drying of dill leaves: drying characteristics, temperature distributions, performance analyses and colour changes. *Food Science and Technology International*, 27(1), 32–45. <https://doi.org/10.1177/1082013220929142>
- Tunde-Akintunde, T. Y. (2011). Mathematical modeling of sun and solar drying of chilli pepper. *Renewable Energy*, 36(8), 2139–2145. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.01.017>
- Usman, Muchtar, A., Muhammad, U., & Lestari, N. (2020). Prototype and performance of hybrid solar heating and photovoltaic heater grain dryer with temperature monitoring system. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(1), 24–32. <https://doi.org/10.15294/jte.v12i1.24028>
- Wang, H., Zhang, Q., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Wang, J., Pei, Y. P., ... Xiao, H. W. (2020). High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) efficiently inactivates enzymes, enhances extraction of phytochemicals and mitigates brown actions of chili pepper. *Food Control*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107050>
- Wang, J., Law, C. L., Nema, P. K., Zhao, J. H., Liu, Z. L., Deng, L. Z., ... Xiao, H. W. (2018). Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering*, 224, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.20>

18.01.002

- Wang, Y., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2011). Convective Drying Kinetics and Physical Properties of Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Fillets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 20(4), 361–378. <https://doi.org/10.1080/10498850.2011.575536>
- Yang, L., Hu, Z., Xie, S., & Yang, M. (2018). Hot-air drying characteristics and quality evaluation of bitter melon slice. *INMATEH - Agricultural Engineering*, 55(2), 53–62.
- Yelmen, B., Un, C., Sahin, H. H., & Yuksekdogan, M. (2019). Mathematical modelling of greenhouse drying of red chilli pepper. *African Journal of Agricultural Research*, 14(9), 539–547. <https://doi.org/10.5897/ajar2018.13748>
- Yosika, N. I. W., Hawa, L. C., & Hendrawan, Y. (2020). Characteristics and drying rate of cabaya (*Piper retrofractum* Vahl.) with natural drying method (open sun drying). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3), 165–174.
- Zakipour, E., & Hamidi, Z. (2011). *Vacuum drying characteristics of some vegetables*. 30(4), 97–105.
- Zambrano-Zaragoza, M. L., Mercado-Silva, E., Del Real L., A., Gutiérrez-Cortez, E., Cornejo-Villegas, M. A., & Quintanar-Guerrero, D. (2014). The effect of nano-coatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut “red Delicious” apples. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 22, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.09.008>