



Pemodelan matematika pengeringan apel serut dengan perlakuan blansing dan non blansing berbasis energi surya

Siti Asmaniyah Mardiyani^{1*}, Dwisusilowati², Efendi S Wirateruna³

¹*Agroteknologi, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia*

²*Agribisnis, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia*

³*Teknik Elektro, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia*

Article history

Diterima:

7 September 2023

Diperbaiki:

15 November 2023

Disetujui:

7 Desember 2023

Keyword

apple;

blanching;

mathematic model;

solar dryer

ABSTRACT

A drying technique utilizing solar energy on shredded apples as raw material for apple infusion has a reduced emission risk while also producing high-quality drying products. This study aimed to determine the optimum semi-theoretical mathematical model for drying shredded apples after blanching and non-blanching treatments utilizing three simple mathematical models: Newton, Henderson, Pabis, and Page. The results showed that blanched shredded apples dried using the Convective Solar Drying (CSD) method had the highest rate of decrease in the moisture ratio compared to those dried in the open sun drying (OSD). The three semi-theoretical models examined can be used to forecast the rate of decline in the water content ratio of dry shaved apples in all treatment combinations, as demonstrated by a value of R² more than 0.9. Based on a comparison of the validity of each semi-theoretical model utilized, Page's model is the best model for characterizing the drying kinetics of shredded apples for both blanching CSD, non-blanching CSD, blanching OSD, and non-blanching OSD drying. The information acquired will be important in selecting an appropriate apple pretreatment handle and drying model for shredded apples.



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

* Penulis korespondensi

Email : asmaniyah@unisma.ac.id

DOI [10.21107/agrointek.v18i4.22269](https://doi.org/10.21107/agrointek.v18i4.22269)

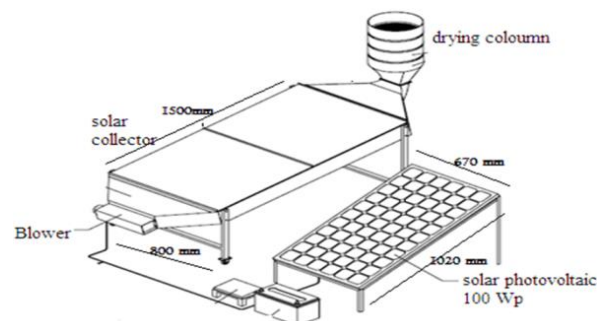
PENDAHULUAN

Pengeringan bahan makanan dengan menggunakan energi matahari adalah jenis teknologi hasil pertanian tertua yang dilakukan oleh manusia, sebelum menggunakan api (Knorr and Augustin 2022). Secara umum terdapat 3 macam pengeringan yakni pengeringan alami, pengeringan konvensional dan pengeringan energi bersih. Pengeringan alami adalah pengeringan menggunakan energi surya dimana bahan diekspose secara langsung dibawah sinar matahari terbuka. Teknologi pengeringan ini banyak dilakukan oleh petani karena aplikasinya mudah dan murah., namun menghasilkan kualitas produk kering yang kurang baik (Jayaraman and Gupta 2020). Pengeringan konvensional adalah model pengeringan yang menggunakan bahan bakar fosil atau kayu sebagai sumber energi panas. Teknologi pengeringan ini menghasilkan produk kering dengan kualitas yang baik, namun dapat menyebabkan polusi udara (Lamrani et al. 2019). Pengeringan energi bersih adalah model pengeringan dengan memanfaatkan energi terbarukan seperti energi matahari. sebagai sumber energi. Teknologi pengeringan ini selain hemat energi juga memiliki resiko emisi rendah dan menghasilkan kualitas hasil pengeringan yang berkualitas baik (Majeed et al. 2023).

Pengeringan merupakan proses yang memerlukan energi dalam jumlah besar (Ladha-Sabur et al. 2019). Oleh karenanya pengeringan menggunakan energi surya dapat secara signifikan mengurangi biaya ekonomis dan juga mengurangi emisi karbon. Namun demikian pengeringan secara langsung pada kondisi sinar matahari terbuka akan menurunkan nilai kualitas produk akibat kontaminasi debu dan mikroorganisme (Satheesh et al. 2023). Teknologi pengeringan dengan energi surya terdiri pengeringan secara langsung dan tidak langsung. Pengeringan energi surya secara tak langsung dengan konveksi paksa merupakan teknologi pengeringan yang banyak digunakan untuk menghasilkan kualitas produk pengeringan yang baik. Menurut (Devan et al. 2020) Teknologi pengeringan ini memiliki prinsip memanfaatkan energi surya secara efisien, dengan pemanasan udara di sekitar bahan menggunakan energi surya yang dikumpulkan melalui kolektor panas, baik secara aktif maupun pasif. Udara panas dialirkan ke dalam ruang dimana bahan baku dikeringkan secara paksa dengan bantuan blower Dengan cara ini maka kadar air dari dalam jaringan akan keluar secara konveksi dan difusi. Model pengering ini dapat menghindari ekspose langsung radiasi matahari terhadap produk yang dapat memicu kerusakan fisik dan nutrisi (Hawa et al. 2021).

Metode ini secara signifikan mengurangi akibat negatif dari pengeringan sinar matahari secara langsung. Model pengeringan ini menghasilkan produk akhir pengeringan dengan kualitas yang baik, terutama pada produk-produk yang harus mempertahankan

kualitas sensorisnya seperti aroma (herba dan bumbu) atau warna (aneka sayur dan buah-buahan). Penambahan kipas angin dalam sistem pengeringan ini secara efektif akan mengefektifkan proses pemindahan udara panas dari ruang kolektor ke ruang pengeringan. Dalam penelitian ini dilakukan pengeringan apel serut dengan model pengeringan konvektif tak langsung yang menggunakan kolektor surya dan modul photovoltaic. Model pengering yang digunakan dikembangkan oleh (Mardiyani et al. 2018) sebagaimana terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Performa skematik indirect solar drying sederhana yang digunakan dalam penelitian ini (Mardiyani et al. 2018).

Sistem pengeringan CSD pada apel serut dalam penelitian ini dikombinasikan dengan perlakuan blansing pada serutan apel. Blansing adalah sebuah proses yang lazim diaplikasikan pada pengeringan produk hortikultura dengan cara melakukan proses perebusan sesaat pada bahan yang akan dikeringkan. Proses ini berfungsi untuk menonaktifkan enzyme dan mematikan mikroorganisme perusak. Menurut (Deng et al. 2019) proses blansing juga berpengaruh terhadap pelunakan tekstur sehingga akan mempercepat proses pengeringan. Untuk mengetahui model pengeringan terbaik dari bahan apel serut yang memperoleh perlakuan blansing dan non blansing dalam penelitian ini dilakukan pemodelan matematika semi teoritis dari proses pengeringan. Pemodelan matematika semi-teoritis merupakan kombinasi antara teori dan aplikasi praktis pada proses pengeringan di lapang. Model semi teoritis pada umumnya diturunkan dengan menyederhanakan solusi deret umum dari hukum kedua Fick atau modifikasi dari model yang telah disederhanakan. Dalam pengembangan model semi teoritis hanya mempertimbangkan kisaran suhu, kelembaban relatif, kecepatan udara, dan kadar air selama proses pengeringan, sehingga lebih mudah diaplikasikan namun memiliki nilai pendugaan yang cukup akurat.

Dengan asumsi bahwa penurunan suhu hanya dipengaruhi oleh konstanta pengeringan, kadar air awal dan waktu pengeringan, maka model matematika yang dipergunakan dalam penelitian ini merujuk pada pemodelan lapisan tipis yang telah banyak digunakan dalam penelitian pengeringan produk pertanian yakni

model Newton (Lewis), Page dan Henderson and Pabis sebagaimana terdapat pada Tabel 1.

Model Newton, yang juga dikenal sebagai model Lewis digunakan dalam penelitian ini karena formulasinya yang sederhana yang merupakan penyederhanaan dari model difusi yang diusulkan oleh (Lewis, 1921). Dalam model ini proses pengeringan dianalogkan dengan hukum pendinginan Newton. Model Newton cenderung menunjukkan kurva pengeringan yang cukup baik pada tahap awal namun cenderung lebih rendah dari kondisi sebenarnya pada tahap akhir pengeringan (Kashaninejad et al. 2007). Model pengeringan ini telah digunakan untuk menggambarkan kinetika pengeringan stroberi dan cabai merah (Hossain et al. 2005; Hossain et al. 2007), *grapeseed* (Roberts et al. 2008) dan teh hitam (Panchariya et al. 2002). Sementara itu model Henderson and Pabis merupakan model pendekatan yang juga banyak digunakan oleh para peneliti dalam pemodelan pengeringan produk pangan dan bahan pertanian. Model ini merupakan hasil dari serangkaian penyederhanaan dalam penyelesaian umum dari hukum Fick II (Sarjerao et al. 2022). Model Page merupakan modifikasi dari model Lewis dengan menambahkan nilai konstanta tak berdimensi pada variabel waktu. Page (Page 1949) telah menghasilkan model simulasi yang tepat untuk menggambarkan kinetika pengeringan pada berbagai produk pertanian. Model ini lebih mudah digunakan dibandingkan dengan persamaan lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan model matematika semi teoritis terbaik pada pengeringan apel serut blansing dan non blansing menggunakan 3 model matematika sederhana yakni model Newton, Page dan Henderson dan Pabis. Informasi yang diperoleh akan berguna untuk menentukan metode perlakuan awal pada pengeringan apel serut dan model pengeringan terbaik pada apel serut sebagai bahan baku sari apel celup.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu Agroteknologi UNISMA mulai Bulan September-2019 sampai dengan April 2020. Penelitian ini merupakan penelitian dengan perlakuan blansing sebagai perlakuan awal dilanjutkan dengan proses pengeringan menggunakan pengering energi surya konveksi paksa (*Convective Solar Drying/CSD*) dan pengeringan dengan sinar matahari langsung (*Open Sun drying/OSD*).

Pelaksanaan Penelitian

Apel yang dipergunakan adalah apel afkir jenis rome beauty dengan tingkat kematangan yang cukup dan kadar air berkisar antara 85-90%. Penyerutan apel dilakukan menggunakan pamarut stainless. Serutan apel kemudian direndam pada larutan jeruk nipis 10% selama 10 menit dan ditiriskan. Bobot buah apel untuk

setiap perlakuan pengeringan adalah 500 g. Perlakuan blansing dilakukan dengan merebus sesaat serutan apel yang hendak dikeringkan selama 5 menit. Apel serut dikeringkan menggunakan sistem lapisan tipis dengan sinar matahari langsung dan menggunakan pengering convective solar dryer berbasis *solar collector* dan *solar photovoltaic*. Kondisi lingkungan saat pengeringan secara umum cerah dengan intensitas cahaya matahari berkisar antara 25000-150000 lux. Kisaran suhu lingkungan adalah 32-40° C, RH lingkungan 30-42° %. Pada alat pengering kisaran suhu adalah 48-60°C tergantung pada posisi matahari, dan RH masuk sekitar 15-16%. Energi yang dihasilkan panel surya cukup stabil pada kisaran 16-17 volt. Pengambilan data untuk penghitungan numerik pemodelan dilakukan setiap jam meliputi data bobot serutan apel, suhu lingkungan, suhu masuk pengering CSD, kelembaban relatif lingkungan, kelembaban relatif masuk pengering CSD, dan laju aliran udara masuk pengering CSD. Data-data yang diperoleh dipergunakan untuk menghitung laju penurunan kadar air dan laju penurunan rasio kadar air. Selanjutnya dilakukan pemodelan pengeringan apel serut dengan menggunakan Model Page, Henderson-Pabis dan Newton dan penentuan nilai statistika yang menentukan *good fit* (tingkat suai) model yang digunakan.

Pemodelan Matematika

Penentuan model matematika pengeringan dilakukan dengan menggunakan tiga model matematika sederhana yang sudah banyak dikenal luas dalam proses pengeringan produk pertanian yakni Lewis (Newton), Henderson and Pabis dan Page. Model-model tersebut dipergunakan untuk melakukan pendugaan nilai rasio kadar air dengan persamaan sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Persamaan Model Matematika yang Digunakan untuk Menggambarkan kinetika Pengeringan dalam Penelitian

Nama Model	Judul kolom
Newton	$MR = \exp(-kt)$ (1)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$ (2)
Henderson and Pabis	$MR = a \exp(-kt)$ (3)

MR: rasio kadar air, k, a, n : konstanta t : waktu pengeringan

Verifikasi dan validasi model pada pemodelan berbasis kadar air pendugaan dan kadar air eksperimen dalam penelitian ini dilakukan menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) dan *standard error* dari hasil uji regresi dengan membandingkan rasio kadar air pendugaan/prediksi (*dry basis*) dengan kadar air hasil eksperimen ($MRs(i)$ dengan $MR exp$).

Rasio kadar air dalam penelitian ini dihitung berdasarkan persamaan (4).

$$MR = \frac{Mi}{M0} \quad (4)$$

MR : rasio kadar air, Mi : Kadar Air basis kering waktu ke I; M0 :Kadar air basis kering awal

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pred,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pred,i} - MR_{exp,i})^2 + \sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{exp,i})^2} \quad (5)$$

Nilai χ^2 (*Chi Square*) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) ditentukan menggunakan persamaan (6) dan (7).

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

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

MR exp,i : rasio kadar air - i : MR pred, i: rasio kadar air prediksi-i N : jumlah data yang diobservasi z : jumlah konstanta

Nilai koefisien determinasi adalah salah satu kriteria utama untuk menentukan persamaan pemodelan terbaik yang menggambarkan kurva material pengeringan / sampel. Semakin tinggi nilai koefisien determinasi (R^2), dan semakin rendah nilai χ^2 tereduksi (reduced χ^2) dan *Root Mean Square Error* (RMSE), semakin baik nilai validasi model prediksi yang digunakan.

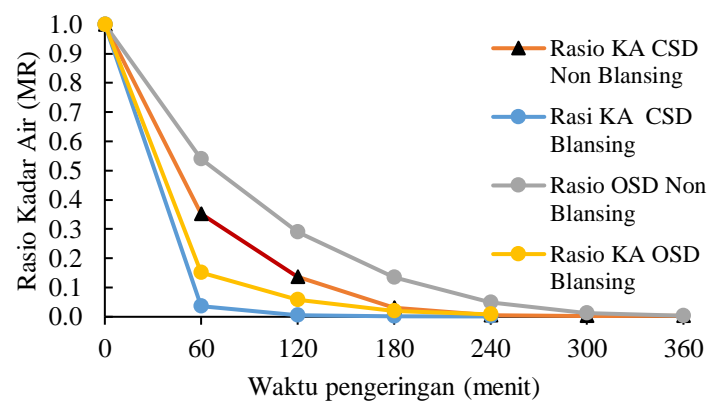
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan Rasio Kadar Air

Secara umum hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pengeringan apel serut yang diperlukan berkisar antara 4-6 jam. Pengeringan menggunakan alat pengering konvektif berbasis energy surya (*Convective Solar Dryer*) relatif lebih cepat dibandingkan pengeringan pada sinar matahari terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa pengering yang dipergunakan dalam penelitian ini memiliki efisiensi yang cukup baik dari segi lama penengrangan. Gambar 2 enunjukkan rekapitulasi penurunan rasio kadar air pada pengeringan apel serut CSD bansing dan non blansing

serta OSD blansing dan non blansing. Gambar tersebut menunjukkan bahwa penurunan rasio kadar air apel serut OSD non blansing adalah yang paling lambat, sedangkan pengeringan apel serut CSD blansing menunjukkan waktu pengeringan yang paling cepat dibandingkan model pengeringan lain. Apel serut yang diblanching memiliki laju pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan yang non blansing (Gambar 3). Menurut (Siddique and Malik 2022) sampai saat ini blansing masih merupakan proses yang cukup handal untuk menghentikan aktivitas enzimatis, mencegah perubahan warna dan penurunan kandungan nutrisi. Blansing juga mempengaruhi tekstur produk sehingga dapat mempercepat proses pengeringan (Wang et al., 2023). Pada pengeringan CSD suhu pengeringan dan kelembaban udara ruang pengering lebih stabil selama proses pengeringan dilakukan. Kelembaban udara ruang pengering berkisar antara 15-16% sedangkan kelembaban udara luar berkisar antara 48-60%. Hal tersebut juga sangat mempengaruhi kecepatan proses pengeringan apel serut. Proses pengeringan akan lebih cepat terjadi pada kondisi pengeringan dengan kelembaban relative yang rendah (Li et al. 2022)

Nilai moisture ratio/rasio kadar air juga dihitung sebagai dasar pemodelan semi teoritis yang dilakukan dalam penelitian ini. Nilai rasio kadar air banyak digunakan untuk mendeskripsikan kinetika proses pengeringan. Nilai rasio kadar air (moisture ratio) bersifat *dimensionless* dan memiliki kemampuan pendugaan yang baik terhadap laju pengeringan suatu produk. Penggunaan rasio kadar air dalam pemodelan banyak dilakukan karena sifatnya yang general (umum), sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam kondisi pengeringan. Secara umum nilai rasio kadar air mengalami penurunan seiring dengan lamanya pengeringan. Menurut (Babu et al. 2018) tidak terdapat fase konstan dalam pengeringan hortikultura, akibat kecepatan proses perpindahan air dari kulit luar bahan ke udara sekitar. Gambar 3 menunjukkan bahwa apel yang memperoleh perlakuan blansing memiliki waktu pengeringan yang lebih cepat dibanding serutan apel yang tidak diblansing baik pada sistem pengeringan CSD maupun OSD. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian (Nguyen et al. 2022) yang menyatakan bahwa pengeringan kacang-kacangan memiliki waktu pengeringan yang lebih cepat dibandingkan yang tidak diblansing.



Gambar 2 Laju penurunan rasio kadar air apel serut selama pengeringan

Kinetika Pengeringan pada Berbagai Model Semi Teoritis Sederhana

Nilai kinetika pengeringan apel serut ditunjukkan oleh nilai konstanta pengeringan pada masing-masing pemodelan semi teoritis yang dilakukan berdasarkan data-data empiris yang diperoleh selama aplikasi pengeringan dilakukan. Variable penyangga model adalah suhu, rasio kadar air, dan kadar air keseimbangan. Tingkat suai antara rasio kadar air eksperimen dan rasio kadar air prediksi untuk masing-masing model digambarkan melalui Gambar 3, 4 dan 5. Nilai statistika yang menggambarkan tingkat suai model (*good fit model*) yang meliputi nilai konstanta, *Chi Square* (χ^2), koefisien determinasi (R^2) dan RMSE dapat dilihat pada pada Tabel 2.

Model Semi Teoritis Lewis (Newton)

Gambar 3a menggambarkan penurunan rasio kadar air empiris dan prediksi dengan model Newton pada pengeringan serutan apel yang diblansing baik pada pengeringan CSD maupun OSD. Gambar tersebut menunjukkan bahwa bahwa model ini memberikan nilai prediksi yang sedikit lebih tinggi di bandingkan kondisi empirisnya, meskipun memiliki nilai tingkat suai yang secara statistik cukup baik. Nilai koefisien determinasi (R^2) CSD blansing adalah 0,999986 sementara pada CSD non blansing 0,999514. Nilai konstanta pada model Newton pengeringan CSD blansing adalah 0,934-1,8554 yang menunjukkan bahwa model pengeringan ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik untuk memprediksi waktu pengeringan. Hal tersebut tentu juga akan menghemat energi yang dibutuhkan untuk pengeringan.

Gambar 3b dan Tabel 2 menunjukkan bahwa tingkat suai pengeringan OSD pada pemodelan Newton untuk pengeringan serutan apel lebih baik dari pada penelitian CSD. Hal ini ditunjukkan oleh kedekatan kurva dan nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi dibandingkan lainnya. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa pada pengeringan sinar

matahari terbuka model Newton bisa dipergunakan untuk memprediksi waktu pengeringan dengan nilai konstanta sesuai yang diperoleh dalam penelitian ini. Informasi ini memiliki makna bahwa meskipun model Newton merupakan model paling sederhana dari 2 model lain yang dibandingkan namun terbukti efektif untuk digunakan sebagai model pendugaan kinetika pengeringan pada pengeringan apel serut dengan matahari terbuka. Nilai konstanta pengeringan serutan apel *rome beauty* dengan menggunakan model Newton adalah 1,614 untuk CSD blansing, 1,1028 untuk CSD non blansing, 1,1591 untuk OSD blansing dan 0,934 Untuk OSD non blansing. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan (Ismail and Ibn Idriss, 2013) yang mengembangkan model pengeringan *flate plate* pada pengering konvektif berbasis energi surya. juga menyimpulkan bahwa model Newton bisa digunakan untuk menggambarkan perilaku kinetik pengeringan lapisan tipis pada polong okra.

Model Semi teoritis Henderson and Pabis

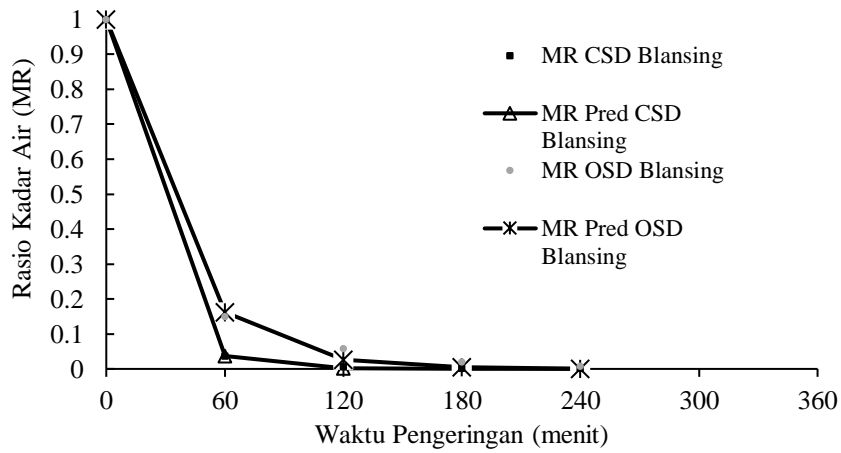
Gambar 4a dan 4b yang menggambarkan penurunan rasio kadar air empiris dan prediksi dengan model Henderson and pabis pada pengeringan serutan apel yang diblansing, diketahui bahwa model ini memberikan nilai prediksi yang lebih rendah di fase awal pengeringan di bandingkan kondisi empirisnya. Nilai tingkat suai model Henderson and Pabis pada pengeringan CSD baik blansing maupun tidak lebih rendah dibanding pada pengeringan OSD.

Nilai konstanta pada model Henderson and Pabis pengeringan CSD blansing adalah yang tertinggi. Gambar 3 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa tingkat suai pengeringan OSD pada pemodelan Henderson and Pabis untuk pengeringan serutan apel lebih baik dari pada penelitian CSD. Nilai konstanta pengeringan serutan apel *rome beauty* dengan menggunakan model Henderson and pabis adalah 1,6417 untuk CSD blansing, 0,921364 untuk CSD non blansing, 1,3127 untuk OSD blansing dan 0,934 untuk OSD non blansing. Secara umum nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa model ini dapat dipergunakan

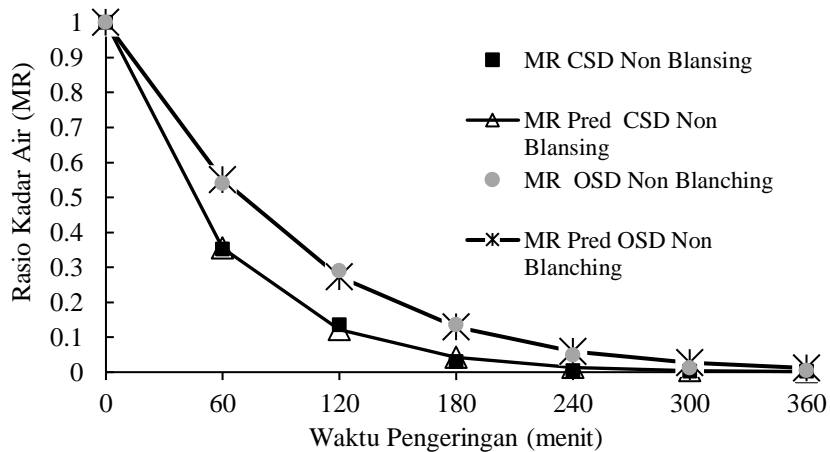
untuk menggambarkan kinetika pengeringan apel serut dengan baik.

Menurut (Ertekin and Firat 2017) nilai konstanta pada model Henderson and Pabis terkait erat dengan nilai difusifitas efektif pada proses pengeringan yang sesuai digunakan untuk menggambarkan kondisi sebenarnya pada proses pengeringan produk pertanian

yang umumnya tidak melalui fase konstan, langsung masuk pada periode penurunan dan proses pengeringan didominasi oleh proses difusi cairan. (Dissa et al. 2011) menyatakan bahwa model Henderson and Pabis secara efektif dapat melakukan pendugaan pada awal proses pengeringan namun nampaknya kurang efisien untuk pendugaan pada tahap akhir proses pengeringan.

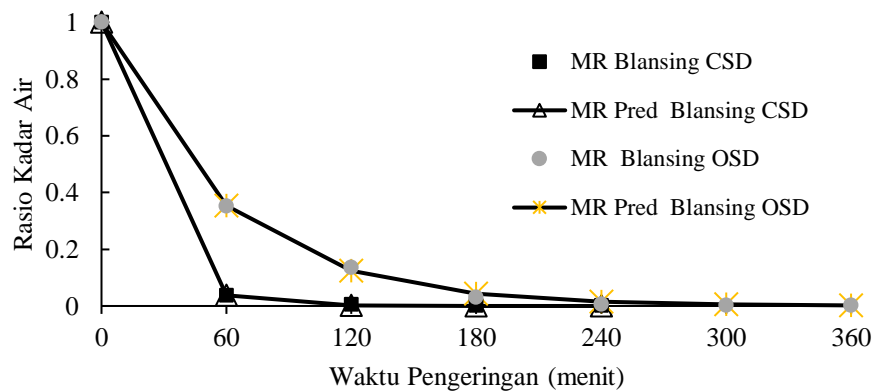


(a)

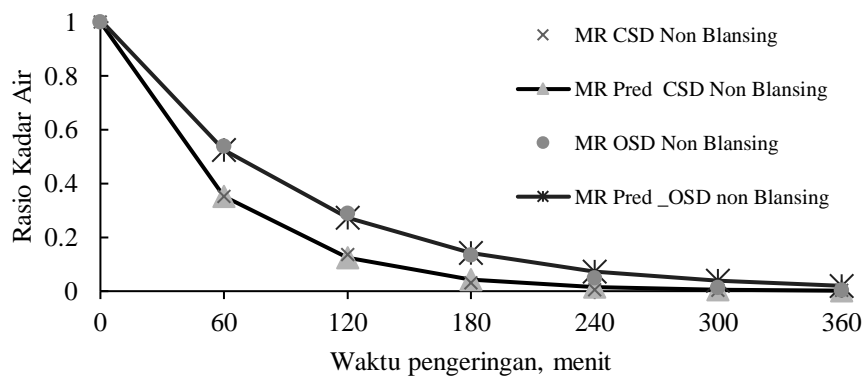


(b)

Gambar 3 Rasio kadar Air Eksperimen dan Rasio Kadar Air Pemodelan Newton pada serutan Apel yang diblansing (a) dan non blansing (b) pada pengeringan CSD dan OSD



(a)



(b)

Gambar 4 Rasio kadar Air Eksperimen dan Rasio Kadar Air Pemodelan Henderson and Pabis pada serutan apel diblansing (a) dan tidak diblansing (b)

Model Semi Teoritis Page

Gambar 5a dan 5b yang menggambarkan penurunan rasio kadar air empiris dan prediksi dengan model Page pada pengeringan serutan apel baik blansing maupun non blansing, diketahui bahwa model ini memberikan nilai prediksi yang sesuai dengan kondisi empirisnya. Nilai tingkat suai model page sangat baik (Tabel 2) (berkisar antara 0,95-0,99). Hal ini menunjukkan bahwa model page adalah model terbaik yang dapat digunakan dalam implementasi pengeringan serutan apel dengan nilai konstanta adalah 3,412005 untuk CSD blansing, 1,0526 untuk CSD non blansing, 0,566148 untuk OSD blansing dan 1,2394 untuk OSD non blansing. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (AghbAShlo et al., 2011) yang mengeringkan irisan wortel lapisan tipis sistem ban berjalan skala semi industry dan menyimpulkan bahwa model Page merupakan model yang paling sesuai. Sementara itu (Kumar et al., 2012) juga menjelaskan bahwa model Page juga memiliki tingkat kesesuaian terbaik pada pengeringan serutan wortel (*carrot pomace*).

Ismail and Ibn Idriss, (2013) mengembangkan pengering surya konvektif tipe pelat datar untuk proses pengeringan lapis tipis pada buah okra utuh dan menggunakan model Newton dan Page untuk menggambarkan kinetika pengeringannya. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses pengeringan terjadi pada periode laju penurunan. Kehilangan air di dalam buah okra selama proses pengeringan didominasi oleh fenomena difusi. Hasil penelitian tersebut juga menemukan bahwa Model Page menunjukkan nilai yang lebih akurat dibandingkan model Newton. Fenomena yang serupa juga terjadi di dalam penelitian ini.

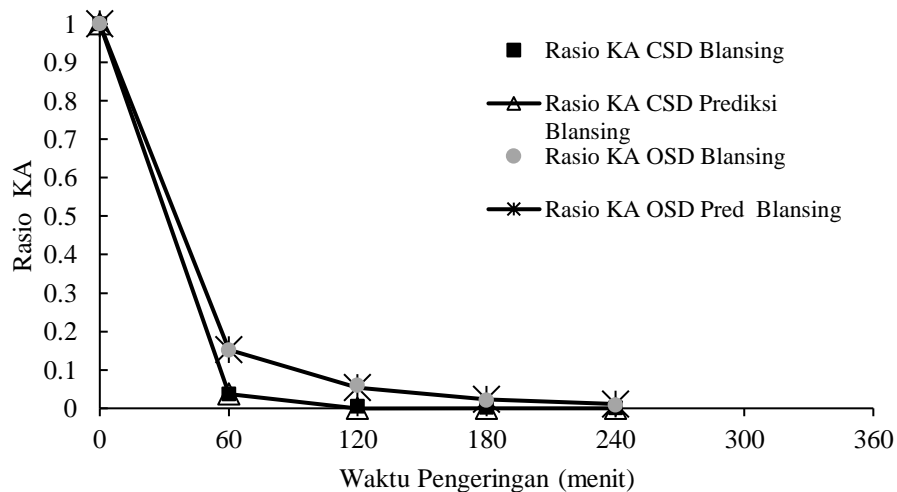
Nilai Tingkat Suai Statistika Model Semi Teoritis

Berdasarkan perbandingan tingkat suai masing-masing model teoritis yang digunakan maka model Page adalah model terbaik dalam menggambarkan kinetika pengeringan serutan apel baik pada pengeringan CSD blansing, CSD non blansing, OSD blansing dan OSD non blansing, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) antara 0.9719 sampai 0.9948. Waktu pengeringan pada OSD relatif lebih lama pada apel

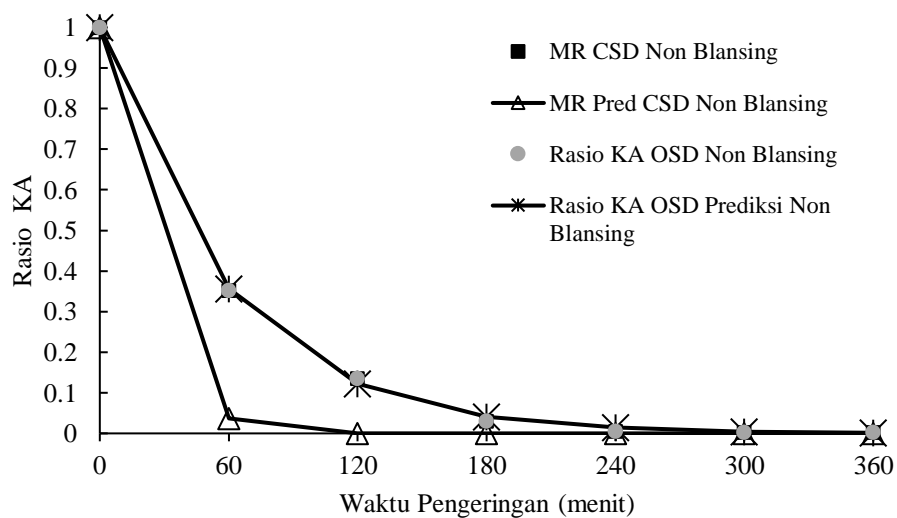
serut blansing dan non blansing dibandingkan pada pengeringan CSD.

Secara umum nilai koefisien determinasi pada model Page lebih tinggi dari model lainnya dengan nilai berkisar 0,9719-0,9948. Sedangkan nilai koefisien determinasi pengeringan OSD baik pada apel blansing maupun non blansing relative lebih tinggi dibandingkan pengeringan CSD. Hal ini menunjukkan bahwa ke tiga model tersebut bisa dipergunakan untuk melakukan pendugaan terhadap karakteristik pengeringan OSD secara akurat pada apel serut baik yang memperoleh perlakuan blansing maupun tidak, namun demikian model Page memiliki tingkat

kesesuaian yang lebih akurat dibandingkan model Newton dan Henderson and Pabis. Hasil serupa juga dilaporkan oleh (Nukulwar and Tungikar 2020) pada pengeringan irisan kunyit, dan (Sun et al. 2007) pada pengeringan infra merah apel pomace aliran udara panas. (Ismail and Ibn Idriss 2013) juga mengevaluasi nilai kesesuaian model (*good Fit model*) menggunakan model Newton dan Page mengemukakan bahwa nilai RMSE pada model Page untuk pengeringan polong okra menggunakan pengering solar energy dengan aliran panas lebih baik dibandingkan model newton, meskipun ke dua model tersebut memenuhi persyaratan untuk dipergunakan sebagai model pendugaan kinetika pengeringan lapisan tipis.



(a)



(b)

Gambar 5 Rasio kadar Air Eksperimen dan Rasio Kadar Air Pemodelan Page pada serutan apel diblansing (a) dan tidak diblansing (b)

Tabel 2 Nilai konstanta dan tingkat suai model semi teoritis dan eksperimen

Sistem Pengeringan	Model Semi Teoritis	konstanta	R ²	RMSE	χ^2
CSD Blansing	Newton	k : 1,6417	0,999986	0,000661	4,4552E-07
	Page	k :3,412005; n:0,527	0,999978	0,000817	6,93073E-07
	Henderson and Pabis	k :1,6417; a:0,921364	0,999986	0,000661	4,54255E-07
CSD Non Blansing	Newton	k:1,1028	0,999514	0,002905	8,60283E-06
	Page	k :1,050535; n:1,0526	0,999508	0,002825	8,29395E-06
	Henderson and Pabis	k :1,1028; a:0,921364	0,999513	0,002905	8,76971E-06
OSD Blansing	Newton	k:1,1591	0,998694	0,005342	2,90866E-05
	Page	k :1,855399; n:0,6714	0,999951	0,000841	7,34493E-07
	Henderson and Pabis	k :13127; a:0,777849	0,998687	0,00534	2,96369E-05
OSD Non Blansing	Newton	k : 0,934	0,998275	0,006548	4,36999E-05
	Page	k :0,566148; n:1,2394	0,999124	0,003904	1,58403E-05
	Henderson and Pabis	k :0,934; a:1,476095	0,998084	0,006437	4,30573E-05

KESIMPULAN

Penelitian ini merupakan penelitian dengan perlakuan blansing sebagai perlakuan pendahuluan dilanjutkan dengan proses pengeringan menggunakan pengering energi surya konveksi paksa (*Convective Solar Drying/CSD*) dan pengeringan dengan sinar matahari langsung (*Open Sun drying/OSD*). Selanjutnya dilakukan pemodelan pengeringan apel serut dengan menggunakan Model Page, Henderson-Pabis dan Newton dan penentuan konstanta pengeringan, koefisien determinasi (R²), Chi square dan RMSE untuk menentukan tingkat suai model (good of fit model) dengan kondisi empirisnya. Penentuan model matematika pengeringan dilakukan dengan menggunakan tiga model matematika sederhana yang sudah banyak dikenal luas dalam proses pengeringan produk pertanian yakni Lewis (Newton), Henderson and Pabis dan Page. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga model semi teoritis yang diuji dapat dipergunakan untuk memprediksi laju penurunan rasio kadar air apel serut kering pada semua kombinasi perlakuan, yang ditunjukkan oleh nilai R² yang lebih besar dari 0,9. Berdasarkan perbandingan tingkat suai masing-masing model semi teoritis yang digunakan, model Page adalah model terbaik dalam menggambarkan kinetika pengeringan apel serut baik pada pengeringan CSD blansing, CSD non blansing, OSD blansing dan OSD non blansing.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Islam Malang yang telah memberikan pendanaan dalam bentuk Hibah Institusi UNISMA (Hi-ma) untuk melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- AghbAShlo, M., Kianmehr, M.H., ArAbhoSSeiNi, A., NAzgheliChi, T., 2011. Modelling the carrot thin-layer drying in a semi-industrial continuous band dryer. *Czech J. Food Sci.* 29, 528–538.
- Babu, A.K., Kumaresan, G., Raj, V.A.A., Velraj, R., 2018. Review of leaf drying: Mechanism and influencing parameters, drying methods, nutrient preservation, and mathematical models. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 90, 536–556.
- Deng, L.-Z., Mujumdar, A.S., Zhang, Q., Yang, X.-H., Wang, J., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., Xiao, H.-W., 2019. Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes—a comprehensive review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 59, 1408–1432.
- Devan, P.K., Bibin, C., Asburris Shabrin, I., Gokulnath, R., Karthick, D., 2020. Solar

- drying of fruits – A comprehensive review. *Mater. Today Proc.* 33, 253–260. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.041>
- Dissa, A.O., Bathiebo, D.J., Desmorieux, H., Coulibaly, O., Koulidiati, J., 2011. Experimental characterisation and modelling of thin layer direct solar drying of Amelie and Brooks mangoes. *Energy* 36, 2517–2527.
- Ertekin, C., Firat, M.Z., 2017. A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57, 701–717.
- Hawa, L.C., Ubaidillah, U., Mardiyani, S.A., Laily, A.N., Yosika, N.I.W., Afifah, F.N., 2021. Drying kinetics of cabya (*Piper retrofractum* Vahl) fruit as affected by hot water blanching under indirect forced convection solar dryer. *Sol. Energy* 214, 588–598.
- Hossain, M.A., Woods, J.L., Bala, B.K., 2007. Single-layer drying characteristics and colour kinetics of red chilli. *Int. J. Food Sci. Technol.* 42, 1367–1375.
- Hossain, M.A., Woods, J.L., Bala, B.K., 2005. Optimisation of solar tunnel drier for drying of chilli without color loss. *Renew. Energy* 30, 729–742.
- Ismail, M.A., Ibn Idriss, E.M., 2013. Mathematical modelling of thin layer solar drying of whole okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) pods. *Int. Food Res. J.* 20.
- Jayaraman, K.S., Gupta, D.D., 2020. Drying of fruits and vegetables, in: *Handbook of Industrial Drying*. CRC Press, pp. 643–690.
- Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A., Tabil, L.G., 2007. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. *J. Food Eng.* 78, 98–108.
- Knorr, D., Augustin, M.A., 2022. Preserving the food preservation legacy. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 1–20. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2065459>
- Kumar, N., Sarkar, B.C., Sharma, H.K., 2012. Mathematical modelling of thin layer hot air drying of carrot pomace. *J. Food Sci. Technol.* 49, 33–41.
- Ladha-Sabur, A., Bakalis, S., Fryer, P.J., Lopez-Quiroga, E., 2019. Mapping energy consumption in food manufacturing. *Trends Food Sci. Technol.* 86, 270–280.
- Lamrani, B., Khouya, A., Draoui, A., 2019. Energy and environmental analysis of an indirect hybrid solar dryer of wood using TRNSYS software. *Sol. Energy* 183, 132–145.
- Lewis, W.K., 1921. The rate of drying of solid materials. *Ind. Eng. Chem.* 13, 427–432.
- Li, X., Zhang, Yue, Zhang, Yuting, Liu, Y., Gao, Z., Zhu, G., Xie, Y., Mowafy, S., 2022. Relative humidity control during shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) hot air drying based on appearance quality. *J. Food Eng.* 315, 110814.
- Majeed, Y., Khan, M.U., Waseem, M., Zahid, U., Mahmood, F., Majeed, F., Sultan, M., Raza, A., 2023. Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture. *Energy Rep.* 10, 344–359.
- Mardiyani, S.A., Sumarlan, S.H., Argo, B.D., Leksono, A.S., 2018. Design of eco-friendly fixed bed dryer based on a combination of solar collector and photovoltaic module.
- Nguyen, T.-T.-D., Truong, D.-M.-C., Nguyen, P.-B., Nguyen, Q.-D., Nguyen, T.-V.-L., 2022. Effects of blanching on some quality characteristics of sprouted-dried peanuts, in: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing.
- Nukulwar, M.R., Tungikar, V.B., 2020. Thin-layer mathematical modeling of turmeric in indirect natural conventional solar dryer. *J. Sol. Energy Eng.* 142, 041001.
- Page, G.E., 1949. *Factors Influencing the Maximum Rates of Air Drying Shelled Corn in Thin layers*. Purdue University.
- Panchariya, P.C., Popovic, D., Sharma, A.L., 2002. Thin-layer modelling of black tea drying process. *J. Food Eng.* 52, 349–357.
- Roberts, J.S., Kidd, D.R., Padilla-Zakour, O., 2008. Drying kinetics of grape seeds. *J. Food Eng.* 89, 460–465.
- Sarjerao, L.S.K., Kashyap, P., Sharma, P., 2022. Effect of drying techniques on drying kinetics, antioxidant capacity, structural, and thermal characteristics of germinated mung beans (*Vigna radiata*). *J. Food Process Eng.* 45, e14155.
- Satheesh, N., Parmar, A., Fanta, S.W., Stathers, T., 2023. Postharvest handling practices

- and mycotoxin occurrence along the dried berbere chilli pepper value chain: A case study from Northern Ethiopia. *J. Stored Prod. Res.* 103, 102157.
- Siddique, Z., Malik, A.U., 2022. Fruits and vegetables are the major source of food safety issues need to overcome at household level (traditional vs. green technologies): A comparative review. *J. Food Saf.* 42, e13003.
- Sun, J., Hu, X., Zhao, G., Wu, J., Wang, Z., Chen, F., Liao, X., 2007. Characteristics of thin-layer infrared drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. *Food Sci. Technol. Int.* 13, 91–97.
- Wang, J., Pei, Y.-P., Chen, C., Yang, X.-H., An, K., Xiao, H.-W., 2023. High-humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying behavior of red pepper via altering cellular structure, pectin profile and water state. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 83, 103246.