

Kinetika Pengeringan Kunyit Menggunakan Cabinet Dryer yang Memanfaatkan Panas Terbuang Kondensor Pendingin Udara

Drying Kinetics of Turmeric Using a Cabinet Dryer Utilizing Wasted Heat from an Air Conditioning Condenser

Nunik Lestari^{1*}, Samsuar²

¹Program Studi Pendidikan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Sulawesi Selatan

²Program Studi Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan
Email korespondensi : nunik.lestari@unm.ac.id

Abstrak

Penggunaan suhu tinggi dalam pengeringan kunyit sangat dihindari karena dapat mendegradasi kandungan bioaktifnya. Pengeringan dengan suhu rendah dapat dilakukan dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor AC. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinetika pengeringan kunyit dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor AC pada *cabinet dryer*, serta untuk menemukan model matematika pengeringan lapisan tipis yang paling sesuai dengan karakteristik pengeringan kunyit pada kondisi tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan perlakuan 3 tingkat massa kunyit yang dikeringkan. Pengamatan berupa karakteristik pengeringan kunyit, evaluasi 10 model matematika pengeringan lapisan tipis, serta *effective moisture diffusivity* (D_{eff}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengeringan kunyit dapat dilakukan dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor AC, yaitu dengan menggunakannya sebagai sumber pemanas pada *cabinet dryer*. Cara pengeringan tersebut telah berhasil menurunkan kadar air kunyit hingga mencapai $\pm 9,74\%$ basis kering, dengan durasi pengeringan selama 7 – 10 jam. Perlakuan variasi massa sampel berpengaruh terhadap karakteristik pengeringan kunyit. Hasil evaluasi 10 jenis model matematika pengeringan lapisan tipis menunjukkan bahwa model *Diffusion Approach* adalah yang paling sesuai untuk menggambarkan kinetika pengeringan kunyit. Hasil tersebut dikonfirmasi oleh indikator R^2 dan RMSE untuk masing-masing perlakuan yang berkisar antara 0,9992 – 0,9997 dan 0,0050 – 0,0078. Adapun nilai D_{eff} tiap perlakuan berkisar antara $9,7033 \times 10^{-10}$ – $1,1062 \times 10^{-9}$, dimana hasil tersebut sesuai dengan standard nilai D_{eff} untuk bahan pangan.

Kata kunci : cabinet dryer; kondensor AC; kunyit; model matematika; pengeringan

Abstract

The use of high temperatures in drying turmeric is strictly avoided because it can degrade its bioactive content. Low temperature drying can be done by utilizing the wasted heat of the AC condenser. This study aims to analyze the kinetics of drying turmeric by utilizing the wasted heat of an AC condenser in a cabinet dryer, as well as to find a mathematical model for thin layer drying that best fits the drying characteristics of turmeric under these conditions. This research was conducted with the treatment of 3 levels of dried turmeric mass. Observations were in the form of drying characteristics of turmeric, evaluation of 10 mathematical models for thin layer drying, and effective moisture diffusivity (D_{eff}). The results showed that drying turmeric can be done by utilizing the wasted heat of the AC condenser, namely by using it as a heating source in the cabinet dryer. This drying method has succeeded in reducing the water content of turmeric to $\pm 9.74\%$ on a dry basis, with a drying duration of 7-10 hours. Treatment of variations in sample mass affects the drying characteristics of turmeric. The evaluation results of 10 types of thin layer drying mathematical models show that the Diffusion Approach model is the most suitable to describe the drying kinetics of turmeric. These results were confirmed by the R^2 and RMSE indicators for each treatment which ranged from 0.9992 –

0.9997 and 0.0050 – 0.0078. The D_{eff} value for each treatment ranged from 9.7033×10^{-10} – 1.1062×10^{-9} , where these results are in accordance with the standard D_{eff} value for foodstuffs.

Keywords: AC condenser, cabinet dryer, drying, mathematical model, turmeric

PENDAHULUAN

Kunyit (*Curcuma longa* Linn. syn. *Curcuma domestica* Val.) merupakan satu dari sekian banyak jenis tanaman herbal yang sering dimanfaatkan masyarakat Indonesia sebagai obat, karena kaya akan khasiat, murah, dan mudah didapat. Kurkuminoid merupakan salah satu senyawa yang terkandung dalam kunyit, yang berkhasiat sebagai antioksidan, antijamur, antimikroba, dan antiinflamasi (Ferreira et al., 2013). Banyak penelitian telah dilakukan untuk membuktikan khasiat kunyit dalam pengobatan, baik pengobatan secara tradisional maupun modern. Beberapa penelitian melaporkan bahwa ekstrak kunyit dapat memproteksi dan meningkatkan pertahanan dinding atau mukosa lambung, sehingga terhindarkan dari peradangan atau gastritis (Aggarwal et al., 2013; Yadav et al., 2013). Kandungan kurkumin pada kunyit juga bahkan telah digunakan sebagai terapi kanker pada pengobatan modern (Roihatul Mutiah, 2015). Minuman herbal atau jamu dari bahan kunyit juga sempat menjadi minuman kesehatan andalan masyarakat Indonesia saat merebaknya virus Covid-19. Hal ini tidak terlepas dari kemampuan minuman herbal kunyit dalam meningkatkan daya tahan tubuh, yang telah terbukti pada berbagai penelitian (Kocaadam & Şanlıer, 2017).

Pengolahan kunyit menjadi bahan minuman atau obat herbal dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan pengeringan. Produk kunyit kering selanjutnya dapat diolah menjadi bubuk sebagai bahan pembuatan minuman herbal instan atau jamu instan. Proses pengeringan kunyit ini juga memberikan keuntungan karena bahan yang dikeringkan menjadi lebih tahan lama dalam penyimpanan (Widodo & Setyawan, 2018).

Proses pengeringan sangat menentukan kualitas simplisia kunyit yang dihasilkan. Pengeringan kunyit dengan suhu tinggi sebaiknya dihindari karena dapat mempengaruhi kandungan bahan aktif yang terkandung di dalamnya (Putri et al., 2022). Pengeringan kunyit dapat dilakukan dengan suhu rendah agar tetap dapat mempertahankan bahan aktif dan khasiatnya. Pengeringan dengan suhu rendah salah satunya dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi panas terbuang dari kondensor pendingin udara atau *air conditioner* (AC).

Panas terbuang dari kondensor AC merupakan potensi energi yang sampai saat ini masih belum termanfaatkan dengan baik, terutama untuk pengeringan produk pertanian. Padahal potensi panas yang dihasilkan kondensor ini cukup besar, yaitu 3-5 kali energi input pada sistem AC, dengan suhu panas terbuang dari kondensor AC yang berkisar antara 42,4-53,50°C (Hermawan & Idris, 2014; Syam et al., 2019). Suhu udara terbuang kondensor AC ini sangat sesuai untuk pengeringan produk pertanian, terutama pada pengeringan bahan yang menghindari penggunaan suhu tinggi seperti pada pengeringan kunyit.

Namun demikian, pemanfaatan energi panas terbuang dari kondensor AC pada alat pengering bahan pertanian masih sangat jarang dilakukan, terutama untuk bahan herbal seperti kunyit. Pemanfaatan panas terbuang kondensor AC masih terbatas pada pengeringan pakaian (Mahlia et al., 2010) atau pemanas air (Aziz et

al., 2015). Untuk bahan pertanian, pemanfaatan panas terbuang kondensor AC masih terbatas pada pengeringan bahan-bahan non herbal seperti pada anggur (Chandrasekar et al., 2018) dan kentang (Margana & Oktaviana, 2017). Masih sangat jarang ditemui penelitian yang spesifik membahas pengeringan kunyit dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor AC, terutama mengenai bahasan kinetika pengeringannya.

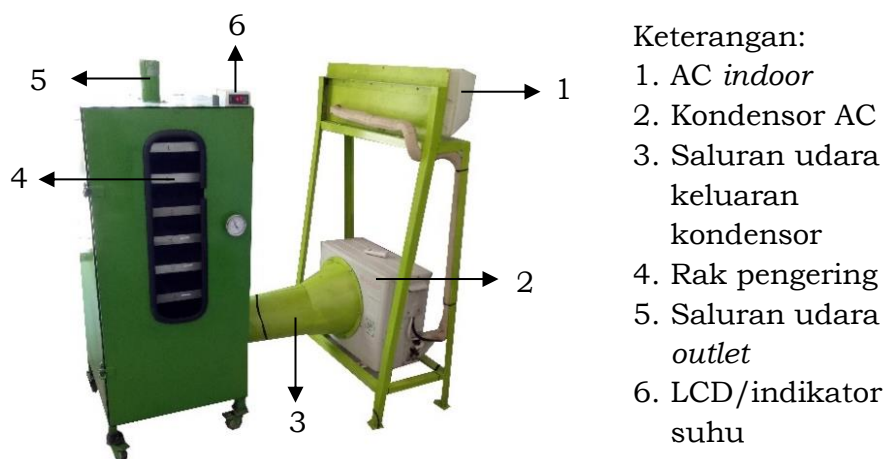
Berdasarkan uraian permasalahan diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis kinetika pengeringan kunyit dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor AC pada *cabinet dryer*, serta untuk menemukan model matematika pengeringan lapisan tipis yang paling sesuai dengan karakteristik pengeringan kunyit dengan kondisi tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan akan menjadi pelengkap khasanah informasi mengenai kinetika dan model matematika pengeringan kunyit, terutama dari sisi sumber energi panas pengering yang menjadi pembedanya. Dengan adanya informasi yang lebih lengkap, maka teknik dan performa pengeringan kunyit sebagai bahan obat herbal akan dapat lebih ditingkatkan lagi, dan juga dapat meningkatkan kebermanfaatannya dari energi panas terbuang kondensor AC.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah kunyit rimpang primer. Rimpang primer adalah percabangan rimpang pertama dari rimpang induk kunyit. Sampel kunyit dicuci dan ditiriskan, lalu kemudian diiris dengan ketebalan 3 mm menggunakan alat pengiris.

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah alat pengering *cabinet dryer* (Gambar 1). Sumber pemanas pada *cabinet dryer* ini berasal dari AC tipe split, dengan *power input* 390 watt, kapasitas pendinginan 5000 BTU/h, dan refrigeran R-22. *Cabinet dryer* ini memiliki dimensi 60 cm x 59 cm x 124 cm, dan dilengkapi dengan 6 buah *tray* dan rak pengering. Adapun peralatan lainnya yang digunakan untuk pengambilan data adalah *temperature data logger* Elitech RC-4 untuk pengukuran suhu, *hygrometer* Misol DS102 untuk pengukuran kelembaban relatif atau RH, neraca analitik KERN ABT 320-4M untuk pengukuran bobot sampel, oven BINDER ED-240 dan desikator untuk penentuan kadar air dan berat kering sampel, serta alat pengiris.



Gambar 1. *Cabiner dryer* yang memanfaatkan panas terbuang kondensor AC

Persiapan sampel

Sampel kunyit yang telah diiris selanjutnya ditimbang sesuai dengan perlakuan penelitian, yaitu sebanyak 100 gram (perlakuan A), 150 gram (perlakuan B), dan 200 gram (perlakuan C). Sampel yang telah ditimbang selanjutnya disusun di atas *tray* agar tidak saling bertumpukan. Masing-masing *tray* yang berisi sampel pada tiap perlakuan akan diletakkan pada rak nomor 4, 5, dan 6 sebagai ulangan 1, 2, dan 3. Posisi rak nomor 4, 5, dan 6 adalah 3 posisi terbawah atau yang paling dekat dengan *plenum chamber*. Menurut Lestari et al. (2020), ketiga posisi rak ini adalah yang paling maksimal dalam menerima panas dan laju aliran udara dari kondensor AC. Selama proses pengeringan, ketiga *tray* tersebut akan saling ditukar posisinya tiap 1 jam agar kondisi pengeringannya merata.

Sebelum sampel dimasukkan ke dalam ruang pengering, AC yang terhubung pada *cabinet dryer* telah terlebih dahulu dinyalakan hingga LCD/indikator suhu pada *cabinet dryer* menunjukkan angka 40°C. Setelah suhu yang diinginkan tercapai, maka selanjutnya sampel yang telah dipersiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam *cabinet dryer*, dan proses pengeringanpun dimulai. Sampel kunyit yang dikeringkan akan diukur penurunan bobotnya tiap 1 jam hingga tidak terjadi lagi penurunan massa (bobot konstan). Selama proses pengeringan juga dilakukan pengukuran profil suhu dan RH di dalam ruang pengering.

Pengamatan dan Analisis Data

Identifikasi kadar air dihitung dengan persamaan untuk kadar air basis kering (db) sebagai berikut (Fudholi et al., 2012):

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

Keterangan: M = kadar air basis kering (%)

d = massa kering bahan (g)

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

Identifikasi laju pengeringan yang menggambarkan hilangnya sejumlah air dari sampel sepanjang waktu pengeringan, dihitung dengan Persamaan (2) berikut ini (Hawa et al., 2019):

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

Keterangan: M_t = kadar air basis kering saat t (%)

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

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

DR = laju pengeringan (%/jam).

Moisture ratio (MR) ditentukan dari nilai kadar air awal sampel, kadar air sampel saat t, serta kadar air saat bobot sampel konstan. MR dihitung menggunakan Persamaan (3) sebagai berikut (Fithriani et al., 2016):

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

Keterangan: M_t = kadar air pada waktu t (%)

M_o = kadar air awal (%)

M_e = kadar air kesetimbangan (%).

Untuk pemodelan matematika, 15 model matematika yang terdiri dari model kurva pengeringan lapisan tipis semi teoritis dan empiris akan diuji guna memilih model terbaik untuk menggambarkan kurva pengeringan kunyit (Tabel 1). Analisis regresi non-linier dilakukan dengan menggunakan Microsoft Excel 2019, sehingga diperoleh konstanta-konstanta pengeringan. Koefisien determinasi (R^2) digunakan sebagai salah satu kriteria utama untuk memilih persamaan model matematika terbaik dalam menggambarkan kurva pengeringan kunyit. Selain R^2 juga digunakan parameter RMSE sebagai indikator dalam mengukur tingkat penyimpangan nilai antara hasil eksperimen dan prediksi model. R^2 dan RMSE dihitung dengan Persamaan (4) dan (5) sebagai berikut (Tezcan et al., 2020):

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

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

Keterangan: $MR_{pre,i}$ = rasio kelembaban yang diprediksi
 $MR_{exp,i}$ = rasio kelembaban eksperimental
 n = jumlah konstanta
 N = jumlah pengamatan

Tabel 1. Model kurva pengeringan lapisan tipis yang diusulkan dan klasifikasinya

No.	Model	Persamaan	Sumber
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	Yosika et al., 2020)
2	Henderson-Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Fithriani et al., 2016
3	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Fudholi et al., 2012
4	Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	Hawa et al., 2019
5	Logarithmic	$MR = a \exp(-kt) + b$	Doymaz, 2014
6	Midilli	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Mazandarani et al., 2017
7	Modified Midilli-Kucuk	$MR = a \exp(-kt^n) + b$	Hadibi et al., 2021
8	Two-term Exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	Rodríguez et al., 2014
9	Diffusion Approach	$MR = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	Murali et al., 2019
10	Jena-Das	$MR = a \exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$	Ashraf et al., 2012

Effective moisture diffusivity (D_{eff}) menggambarkan proses difusi air dari dalam menuju ke permukaan bahan, terutama pada periode laju pengeringan menurun. *Effective moisture diffusivity* diidentifikasi menggunakan persamaan Hukum Fick's Kedua (Persamaan 6), dengan asumsi bentuk geometri sampel yang diuji berupa slab.

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-D_{eff} t \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2} \right) \quad (6)$$

Persamaan (6) selanjutnya disederhanakan menjadi Persamaan (7) untuk proses pengeringan yang berdurasi lama, sehingga membentuk persamaan berikut:

$$\ln(MR) = \ln \frac{8}{\pi^2} - D_{\text{eff}} \left(\frac{\pi}{2l} \right)^2 t \quad (7)$$

Untuk mendapatkan nilai *effective moisture diffusivity*, maka dilakukan plot data hubungan $\ln MR$ dan waktu pada grafik. Nilai slope yang terbentuk pada grafik selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai *effective moisture diffusivity* menggunakan Persamaan (8) berikut ini:

$$\text{Slope} = -D_{\text{eff}} \left(\frac{\pi^2}{4l^2} \right) \quad (8)$$

Keterangan: D_{eff} = *effective moisture diffusivity* (m^2/s)
L = ketebalan bahan (m).

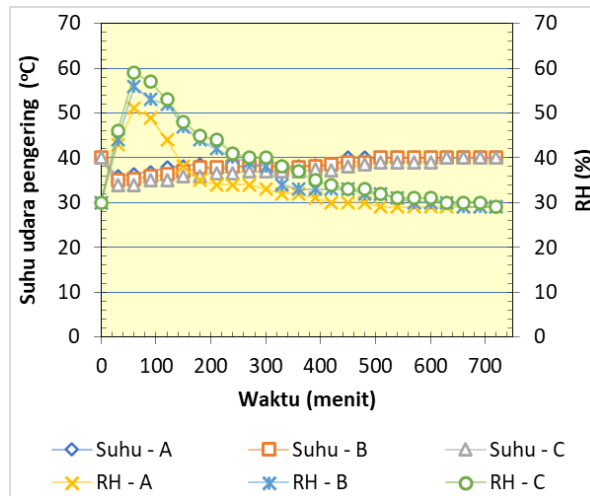
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kinetika Pengeringan Kunyit

Profil suhu udara pengering dan kelembaban relatif (RH) selama proses pengeringan untuk ketiga perlakuan cenderung menunjukkan perbedaan, seperti ditampilkan pada Gambar 2. Banyaknya massa kunyit yang dikeringkan mempengaruhi suhu dan RH di dalam ruang pengering. Semakin banyak sampel yang dikeringkan maka suhu akan cenderung lebih rendah dan RH akan meningkat, dan begitu juga sebaliknya. Dengan demikian maka pada perlakuan massa sampel terbanyak (perlakuan C) suhu udara pengering sedikit lebih rendah dan RH lebih tinggi dari dua perlakuan lainnya terutama diawal proses pengeringan, namun pada akhir proses pengeringan akan cenderung mendekati dua perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan semakin besarnya massa sampel yang masuk ke ruang pengering, maka akan ada lebih banyak air yang diuapkan dari dalam bahan sehingga meningkatkan RH dan menurunkan suhu di ruang pengering. Hasil ini juga sejalan dengan hasil penelitian Kakomole (2012), Lestari et al. (2020), dan Putri et al. (2021), yang menyatakan bahwa akumulasi uap air hasil penguapan air bahan memberikan pengaruh terhadap penurunan suhu dan peningkatan RH sebagai akibat dari proses perpindahan panas dan massa. Peningkatan RH di dalam ruang pengering disebabkan karena akumulasi jumlah uap air pada udara pengering saat melewati bahan, dimana udara pengering melewati bahan mulai dari rak bawah yang selanjutnya membawa uap air hasil penguapan menuju rak di atasnya, sehingga setelah udara melewati bahan pada rak atas maka uap air yang dibawa oleh udara pengering tersebut cukup banyak jumlahnya.

Hubungan terbalik antara suhu pengering dan RH seperti ditampilkan pada Gambar 2 menunjukkan bahwa saat suhu pengeringan meningkat maka akan terjadi peningkatan laju penguapan air dari dalam bahan. Suhu pengeringan yang lebih tinggi ini akan lebih cepat menurunkan jumlah uap air yang berada di ruang pengering melalui proses penguapan, sehingga menghasilkan RH ruang pengering yang lebih rendah, begitu pula sebaliknya. Keberadaan nilai RH yang rendah sangat diharapkan dalam proses pengeringan, karena saat nilai RH rendah maka terjadi perbedaan tekanan uap air yang besar antara ruang pengering dan bahan yang kemudian akan mempercepat proses pengeringan. Hal ini juga sejalan dengan

pendapat Amanto et al. (2015) yang menyatakan bahwa semakin tinggi suhu udara pengering maka akan makin besar energi panas yang dibawa udara, sehingga semakin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan.

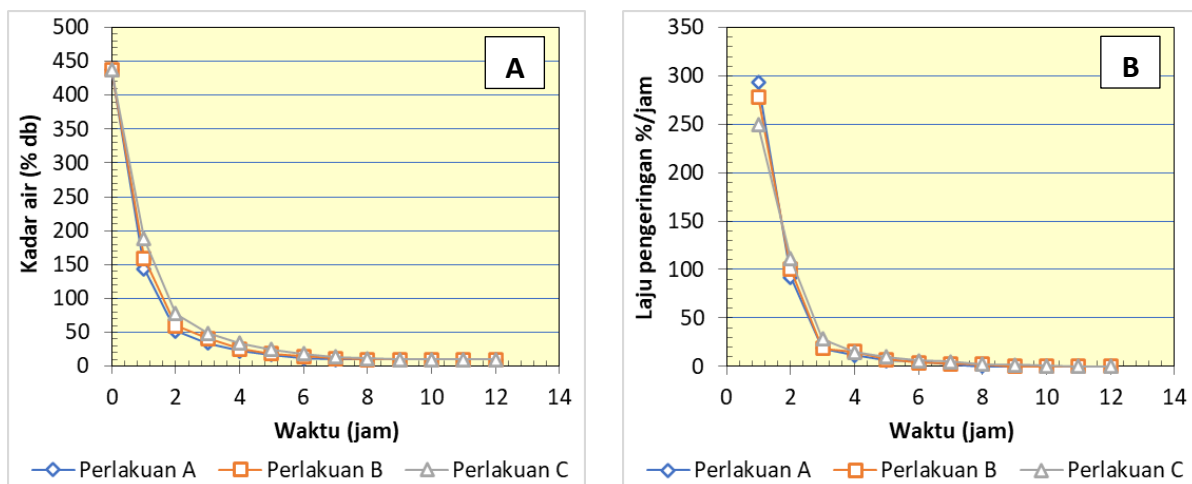


Gambar 2. Hubungan antara suhu udara dan RH ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung

Meskipun suhu dan RH pengeringan pada masing-masing perlakuan cenderung berbeda, namun tingkatan suhu rata-rata yang dihasilkan dari sumber panas keluaran kondensator dan *plenum chamber* umumnya sama, yaitu sebesar 41,63°C dan 39,77°C. Sedangkan rata-rata suhu udara pengering untuk masing-masing perlakuan adalah 38,72°C (perlakuan A), 38,40°C (perlakuan B), dan 37,54°C (perlakuan C), serta rata-rata RH untuk masing-masing perlakuan adalah 33,68% (perlakuan A), 36,92% (perlakuan B), dan 38,28% (perlakuan C). Penurunan suhu dan RH ini hanya terjadi di dalam ruang pengering akibat banyaknya jumlah sampel kunyit yang dikeringkan.

Suhu dan RH pengeringan juga akan berdampak pada laju pengeringan dan kadar air sampel kunyit, seperti ditampilkan pada Gambar 3a dan 3b. Peningkatan suhu udara pengering dan RH yang rendah akan semakin memicu penguapan air dari bahan sehingga kadar airnya pun akan menurun. Dari Gambar 3a dan 3b terlihat bahwa pada awal periode pengeringan umumnya laju pengeringan sangat tinggi, sehingga penurunan kadar air di awal periode pengeringan juga tinggi. Hal ini disebabkan pada periode awal pengeringan bahan masih memiliki banyak kandungan air bebas yang mudah menguap, sehingga laju pengeringannya tinggi dan penurunan kadar airnya sangat signifikan. Namun sejalan dengan proses pengeringan, maka air bebas ini akan habis teruapkan dan hanya menyisakan air terikat yang sulit berdifusi ke permukaan bahan, sehingga lambat laun laju pengeringan dan penurunan kadar airnya juga akan semakin mengecil (Prasetyo et al., 2018). Tingginya laju pengeringan di awal periode pengeringan ini hingga mencapai nilai 293,71 %/jam untuk perlakuan A, 278,29 %/jam untuk perlakuan B, dan 249,33 %/jam untuk perlakuan C, dengan kadar air awal rata-rata sebesar ±437,92% basis kering yang kemudian turun menjadi 144,22% untuk perlakuan A, 159,64% untuk perlakuan B, dan 188,60% untuk perlakuan C di awal proses pengeringan.

Jika dibandingkan antara ketiga perlakuan, penurunan kadar air bahan akibat besarnya laju pengeringan untuk perlakuan A lebih drastis dibandingkan dengan perlakuan B dan C. Hal ini disebabkan oleh jumlah massa sampel kunyit yang dikeringkan pada perlakuan A lebih sedikit, sehingga ketika disusun di atas *tray* tidak sepenuhnya menutupi lubang-lubang pada *tray*. Lubang-lubang pada alas *tray* ini berfungsi untuk meneruskan udara pengering sehingga leluasa mengalir di antara bahan (Lestari et al., 2020). Dengan demikian sirkulasi udara pengering pada perlakuan A lebih baik dibandingkan dengan dua perlakuan lainnya, sehingga berdampak positif pada penurunan kadar air dan laju pengeringannya.

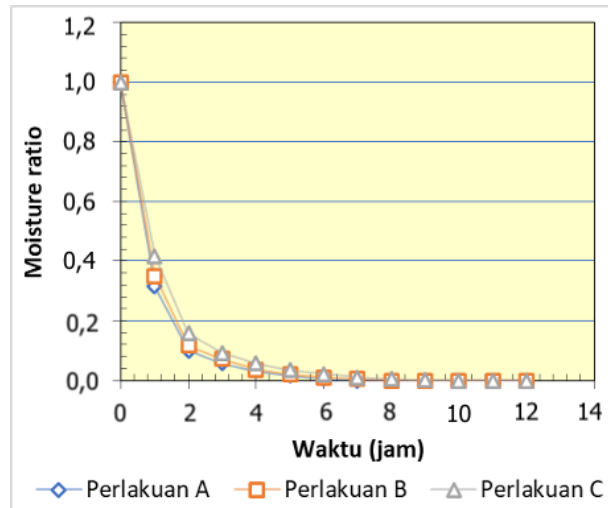


Gambar 3. Hubungan antara (A) kadar air dan waktu pengeringan, serta (B) laju pengeringan dan waktu pengeringan

Pemodelan Matematika Kurva Pengeringan

Karakteristik pengeringan kunyit digambarkan melalui grafik hubungan antara nilai *moisture ratio* (MR) terhadap waktu proses pengeringan (Gambar 4), dimana nilainya sangat dipengaruhi oleh kadar air bahan. Kurva yang terbentuk tersebut mengindikasikan faktor-faktor yang berperan sehingga terjadinya penurunan kadar air, seperti faktor suhu pengeringan dan RH. Faktor-faktor pengeringan tersebut selain berdampak pada difusivitas air bahan, juga berpengaruh signifikan terhadap peningkatan konstanta pengeringan (Fithriani et al., 2016).

Nilai MR yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi 10 jenis model matematika pengeringan lapisan tipis untuk mencari model yang paling sesuai dalam menggambarkan kinetika pengeringan kunyit yang dilakukan. Hasil evaluasi yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa model *Diffusion Approach* adalah model matematika yang paling sesuai dengan kinetika pengeringan lapisan tipis kunyit menggunakan *cabinet dryer* yang memanfaatkan panas buangan kondensator AC. Tingkat kekesesuaian model ini ditunjukkan dari nilai R^2 yang mendekati 1 dan nilai RMSE yang mendekati 0 untuk ketiga perlakuan. Koefisien determinasi atau R^2 merupakan kriteria dalam penentuan taraf akurasi model, sedangkan *root mean square error* (RMSE) merupakan kriteria yang menentukan taraf penyimpangan antara nilai prediksi model terhadap nilai hasil percobaan (Borah et al., 2015; Prasetyo et al., 2018).

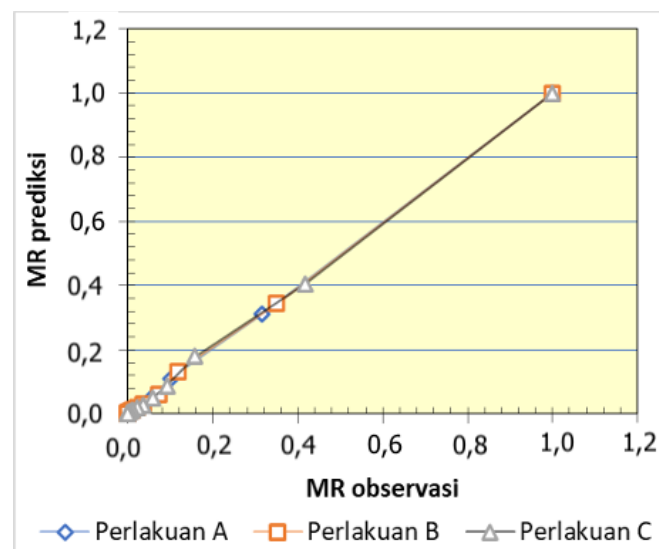


Gambar 4. Hubungan *moisture ratio* dan waktu pengeringan

Tabel 2. Konstanta model dan analisis statistik untuk tiap perlakuan pengeringan

Model	Perlakuan	Konstanta	R ²	RMSE
Lewis	A	k = 1,1336	0,9989	0,0095
	B	k = 1,0283	0,9986	0,0113
	C	k = 0,8618	0,9983	0,0129
Henderson-Pabis	A	k = 1,1320; a = 0,9981	0,9989	0,0095
	B	k = 1,0263; a = 0,9976	0,9986	0,0112
	C	k = 0,8596; a = 0,9969	0,9982	0,0129
Page	A	k = 1,1758; n = 0,8679	0,9994	0,0068
	B	k = 1,0728; n = 0,8731	0,9990	0,0086
	C	k = 0,9041; n = 0,8938	0,9986	0,0105
Modified Page	A	k = 1,2051; n = 0,8679	0,9994	0,0068
	B	k = 1,0839; n = 0,8731	0,9990	0,0086
	C	k = 0,8933; n = 0,8938	0,9986	0,0105
Logarithmic	A	k = 1,1529; a = 0,9934; b = 0,0054	0,9990	0,0084
	B	k = 1,0498; a = 0,9919; b = 0,0066	0,9987	0,0098
	C	k = 0,8851; a = 0,9901; b = 0,0086	0,9984	0,0109
Midilli	A	k = 1,1755; n = 0,8724; a = 1,0003; b = 0,0001	0,9994	0,0068
	B	k = 1,0741; n = 0,8754; a = 1,0006; b = 0,0002	0,9990	0,0085
	C	k = 0,9078; n = 0,8939; a = 1,0015; b = 0,0003	0,9986	0,0104
Modified Midilli-Kucuk	A	k = 1,1785; n = 0,8829; a = 0,9983; b = 0,0020	0,9994	0,0066
	B	k = 1,0759; n = 0,8929; a = 0,9975; b = 0,0029	0,9991	0,0083
	C	k = 0,9069; n = 0,9235; a = 0,9958; b = 0,0052	0,9987	0,0100
Two Term Exponential	A	k = 1,7636; a = 0,4711	0,9995	0,0064
	B	k = 1,6011; a = 0,4692	0,9992	0,0079
	C	k = 1,3029; a = 0,4814	0,9989	0,0094
Diffusion Approach	A	k = 1,3435; a = 0,8667; b = 0,3469	0,9997	0,0050
	B	k = 1,2275; a = 0,8613; b = 0,3424	0,9994	0,0065
	C	k = 1,0230; a = 0,8650; b = 0,3388	0,9992	0,0078
Jena-Das	A	k = 1,1549; a = 0,9934; b = 0,0020; c = 0,0054	0,9990	0,0084
	B	k = 1,0525; a = 0,9919; b = 0,0029; c = 0,0067	0,9987	0,0099
	C	k = 0,8896; a = 0,9899; b = 0,0052; c = 0,0087	0,9984	0,0109

Aplikasi model *Diffusion Approach* untuk pengeringan kunyit diilustrasikan pada Gambar 5, dimana menunjukkan perbandingan antara MR prediksi model dan MR dari hasil percobaan yang sebenarnya. Nilai perbandingan antara MR prediksi model dan MR hasil percobaan membentuk sudut 45° yang menunjukkan kesesuaian antara kedua MR tersebut (Prasetyo et al., 2018), dengan nilai R^2 untuk perlakuan A sebesar 0,9997, R^2 untuk perlakuan sebesar B 0,9994, dan R^2 untuk perlakuan C sebesar 0,9992. Selain untuk menggambarkan kinetika pengeringan kunyit, model *Diffusion Approach* juga telah digunakan untuk menggambarkan kinetika pengeringan pada bahan pertanian lainnya, misalnya untuk tarragon (*Artemisia dracuncululus* L.) (Arabhosseini et al., 2009).



Gambar 5. Hubungan antara MR prediksi model *Diffusion Approach* dan MR observasi, dengan R^2 untuk perlakuan A = 0,9997, perlakuan B = 0,9994, dan perlakuan C = 0,9992

Effective Moisture Diffusivity

Saat proses pengeringan berlangsung, adanya perbedaan tekanan uap air menyebabkan terjadinya pergerakan sejumlah massa air menuju permukaan bahan. Fenomena ini dikenal dengan *effective moisture diffusivity* (D_{eff}), yang menunjukkan kemampuan air berdifusi dari dalam bahan yang dikeringkan. Kemampuan difusivitas air ini akan semakin meningkat dengan adanya peningkatan suhu, sehingga ketika kadar air bahan menurun akibat peningkatan suhu maka nilai D_{eff} akan semakin meningkat (Darvishi et al., 2014).

Nilai *effective moisture diffusivity* dihitung dengan metode slope, dimana nilai \ln MR diplotkan terhadap waktu pengeringan (t) dari data hasil percobaan. Koefisien determinasi (R^2) digunakan sebagai indikator kesesuaian antara hubungan linear \ln MR dan waktu pengeringan (t). Adapun nilai *effective moisture diffusivity* dan R^2 ditampilkan pada Tabel 3. Nilai D_{eff} yang didapatkan telah memenuhi kisaran nilai D_{eff} untuk bahan-bahan pangan yang berada pada rentang nilai $10^{-12} - 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ (Afifah et al., 2017). Dari Tabel 3 terlihat bahwa nilai D_{eff} untuk tiap perlakuan sedikit berbeda satu sama lain. Perbedaan ini disebabkan oleh durasi dan laju pengeringan dari tiap perlakuan, dimana semakin pendek durasi pengeringan maka nilai D_{eff} akan lebih tinggi, yang menunjukkan laju pengeringan yang lebih tinggi. Laju

pengeringan juga dipengaruhi oleh suhu pengeringan. Suhu pengeringan yang lebih tinggi dapat mempercepat molekul air yang ada di dalam bahan menguap lebih cepat, sehingga memberikan penurunan kadar air bahan yang lebih cepat dan nilai *effective moisture diffusivity* yang lebih tinggi (Thuwapanichayanan et al., 2011). Selain dipengaruhi suhu dan kadar air, perbedaan nilai D_{eff} ini juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lainnya seperti RH, ketebalan bahan, kecepatan udara, luas permukaan, dan lain sebagainya (Irfan & Lestari, 2022).

Tabel 3. Nilai *effective moisture diffusivity* (D_{eff}) pada tiap perlakuan

Perlakuan	D_{eff} (m ² /s)	R ²
A	1,1062 x 10 ⁻⁹	0,8840
B	1,0880 x 10 ⁻⁹	0,9044
C	9,7033 x 10 ⁻¹⁰	0,9125

KESIMPULAN

Panas terbuang kondensor AC dapat dimanfaatkan sebagai sumber pemanas pada *cabinet dryer* untuk mengeringkan kunyit, dengan hasil kadar air produk kunyit kering sebesar ± 9,74% basis kering selama 7 – 10 jam. Perlakuan massa sampel kunyit yang dikeringkan mempengaruhi karakteristik pengeringan bahan. Adapun model matematika pengeringan lapisan tipis yang terbaik dan paling sesuai untuk menggambarkan kinetika pengeringan kunyit tersebut adalah model *Diffusion Approach*. Tingkat kesesuaian model ini didukung dengan indikator R² dan RMSE untuk masing-masing perlakuan yang berkisar antara 0,9992 – 0,9997 dan 0,0050 – 0,0078. Sedangkan nilai *effective moisture diffusivity* (D_{eff}) masing-masing perlakuan berkisar antara 9,7033 x 10⁻¹⁰ – 1,1062 x 10⁻⁹ yang memenuhi standard nilai D_{eff} untuk bahan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

- 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>
- Aggarwal, B. B., Gupta, S. C., & Sung, B. (2013). Curcumin: An orally bioavailable blocker of TNF and other pro-inflammatory biomarkers. *British Journal of Pharmacology*, 169(8), 1672–1692. <https://doi.org/10.1111/bph.12131>
- Amanto, B. S., Manuhara, G. J., & Putri, R. R. (2015). Kinetika pengeringan chips sukun (*Artocarpus communis*) dalam pembuatan tepung sukun termodifikasi dengan asam laktat menggunakan cabinet dryer. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 8(1). <https://doi.org/10.20961/jthp.v0i0.12796>
- Arabhosseini, A., Huisman, W., van Boxtel, A., & Müller, J. (2009). Modeling of thin layer drying of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Industrial Crops and Products*, 29(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.04.005>
- 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.
- Aziz, A., Harianto, J., & Kurniawan Mainil, A. (2015). Potensi pemanfaatan energi panas terbuang pada kondensor AC sentral untuk pemanas air hemat energi. *Jurnal Mekanikal*, 6(2), 569–576.
- 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>
- Chandrasekar, M., Senthilkumar, T., Kumaragurubaran, B., & Fernandes, J. P. (2018). Experimental investigation on a solar dryer integrated with condenser unit of split air conditioner (A/C) for enhancing drying rate. *Renewable Energy*, 122, 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.109>
- 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>
- Ferreira, F. D., Kimmelmeier, C., Arrotéia, C. C., Da Costa, C. L., Mallmann, C. A., Janeiro, V., Ferreira, F. M. D., Mossini, S. A. G., Silva, E. L., & Machinski, M. (2013). Inhibitory effect of the essential oil of *Curcuma longa* L. and curcumin on aflatoxin production by *Aspergillus flavus* Link. *Food Chemistry*, 136(2), 789–793. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.08.003>
- 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.
- 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.
- Hermawan, I., & Idris, I. (2014). Kajian potensi energi panas buangan dari air conditioner. *Teknovasi*, 01(2), 1–7.
- Irfan, A. M., & Lestari, N. (2022). Pemodelan Matematis Kinetika Pengeringan Cabai Merah Dengan Perlakuan Blansing Suhu Rendah. *Jurnal Ilmiah Rekrayasa Pertanian Dan Biosistem*, 10(1), 98–115. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v10i1.328>
- Kakomole, J. (2012). Karakteristik pengeringan biji pala (*Myristica Fragrans* H) menggunakan alat pengering energi surya tipe rak. *Cocos*, 1(1).
- Kocaadam, B., & Şanlıer, N. (2017). Curcumin, an active component of turmeric (*Curcuma longa*), and its effects on health. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(13), 2889–2895. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1077195>
- Lestari, N., Samsuar, S., Novitasari, E., & Rahman, K. (2020). Kinerja cabinet dryer pada pengeringan jahe merah dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor pendingin udara. *Jurnal Agritechno*, 13(1), 57–70. <https://doi.org/10.20956/at.v13i1.250>
- Mahlia, T. M. I., Hor, C. G., Masjuki, H. H., Husnawan, M., Varman, M., & Mekhilef, S. (2010). Clothes drying from room air conditioning waste heat: Thermodynamics investigation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 35(1), 339–351.
- Margana, A. S., & Oktaviana, D. (2017). Kaji eksperimental pemanfaatan panas kondenser pada sistem vacuum drying untuk produk kentang. *Seminar MASTER PPNS*, 1509, 115–120.

- 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.
- 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>
- Prasetyo, D. J., Jatmiko, T. H., & Poeloengasih, D. (2018). Drying characteristics of *Ulva* sp. and *Sargassum* sp. seaweeds. *JPB Kelautan Dan Perikanan*, 13(1), 1–11.
- Putri, A. O., Mentari, I. A., Try Julyantiya, R., Yuliati, S., & Dewi, E. (2021). Rancang bangun alat tipe spray dryer untuk proses pengeringan susu bubuk berbasis jagung manis (*Zea mays saccharata*). *Jurnal Kinetika*, 12(03), 31–37.
- Putri, F. S., Rahayu, T. P., & Fitriyati, L. (2022). Antibacterial activity of extract ethanol white turmeric (*Curcuma mangga* Val) test on *Bacillus subtilis* causes diarrhea. *University Research Colloquium*, 622–634.
- 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>
- Roihatul Mutiah. (2015). Evidence based kurkumin dari tanaman kunyit (*Curcuma longa*) sebagai terapi kanker pada pengobatan modern. *Farma Sains*, 1(1), 28–41.
- Syam, H., Jamaluddin, J., Rais, M., & Lestari, N. (2019). Potential heat wasted from AC condenser as a heating source in a cabinet dryer. *Prosiding Seminar Nasional LP2M UNM 2019*, 759–764.
- 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>
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J., & Soponronnarit, S. (2011). Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *LWT - Food Science and Technology*, 44(6), 1502–1510. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.01.003>
- Widodo, B., & Setyawan, E. Y. (2018). Pemanfaatan box pengering dalam peningkatan higienitas produksi kunyit kering di desa Wates Kecamatan Slahung. *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks “Soliditas” (J-Solid)*, 1(1), 24–28. <https://doi.org/10.31328/js.v1i1.568>
- Yadav, S., Sah, A. K., Jha, R., Sah, P., & Shah, D. (2013). Turmeric (curcumin) remedies gastroprotective action. *Pharmacognosy Reviews*, 7(13), 42–46. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.112843>
- Yosika, N. I. W., Hawa, L. C., & Hendrawan, Y. (2020). Characteristics and drying rate of cabya (*Piper retrofractum* Vahl.) with natural drying method (open sun drying). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3), 165–174.