p-ISSN:
e-ISSN:
NEI Volume 1 No 1 Desember 2025
NUSANTARA ENGINEERING INSIGHT
Engineering and Agroindustry Journal
Journal Homepage: nrri-journal.com/index.php/nei-j

Pemodelan Matematis Kinetika Pengeringan Bubuk Bawang Putih Menggunakan Oven Konveksi dengan Pendekatan Model Lapis Tipis

(*Mathematic Modeling of Garlic Powder Drying Kinetics Using a Convection Oven with a Thin Layer Model Approach*)

Nur Ida Winni Yosika[1]*, Dian Purbasari[2], Iwan Taruna[3], Sutarsi Sutarsi[4], Ning Puji Lestari[5], Akbar Setyo Pambudi[6], Ahmad Mutafakkir Alam[7]
[1] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. yosika@unej.ac.id
[2] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. dianpurbasari@unej.ac.id
[3] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. taruna@unej.ac.id
[4] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. sutarsi.ftp@unej.ac.id
[5] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. hiduplestari@unej.ac.id
[6] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. akbarspambudi@mail.unej.ac.id
[7] Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Indonesia. aalam@unej.ac.id
* Corresponding Author: yosika@unej.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:
Received Juni 21, 2025
Revised September 15, 2025
Accepted November 2, 2025
Available online 12 December, 2025

Kata Kunci: Drying, Garlic Powder, Mathematic Model, Oven, Thin layer

This is an open access article under the CC BY-SA license. Copyright © 2025 by Author. Published by Nusantara Engineering Insight

A B S T R A K

Drying is an essential postharvest operation aimed at reducing moisture content and extending product shelf life. This study aims to model the drying kinetics of garlic powder dried in a convective oven at temperatures of 60 °C, 70 °C, and 80 °C through reanalysis of experimental data. The moisture ratio (MR) was fitted using two thin-layer models: Newton and Page. Model parameters were obtained through nonlinear regression and evaluated based on R^2, RMSE, and χ^2. The results indicate that drying occurred entirely in the falling rate period. Among all models tested, the Newton model provided the best agreement with the experimental data, characterized by the highest R^2 and lowest RMSE at all temperatures. These findings confirm that the Newton model is the most appropriate mathematical model for predicting the drying behavior of garlic powder using a convective oven.

1. PENDAHULUAN

Pengeringan bahan pangan merupakan salah satu operasi unit penting dalam pengolahan hasil pertanian yang bertujuan mengurangi kadar air untuk memperpanjang masa simpan, menurunkan aktivitas mikroba, dan memudahkan transportasi serta penyimpanan (Abadiyah *et al.*, 2024). Proses pengeringan bahan pertanian seperti umbi-umbian, sayuran, dan rempah-rempah melibatkan perpindahan panas dan massa yang kompleks, dengan perubahan internal bahan seperti viskositas air, struktur pori, dan penyusutan volumetrik yang mempengaruhi laju pengeringan dan mutu akhir produk (Lestari *et al.*, 2023).

Pada produk seperti Bawang Putih (Allium sativum L.), yang memiliki kadar air tinggi serta kandungan senyawa bioaktif seperti allicin, proses pengeringan perlu dioptimasi tidak hanya dari sisi waktu dan energi, tetapi juga ditinjau dari sisi kinetika laju pengeringan dan model matematisnya. Contoh penelitian pada bawang putih menunjukkan bahwa metode pengeringan yang berbeda mempengaruhi tidak hanya laju pengeringan tetapi juga karakter fisik dan kimia akhirnya (Purbasari *et al.*, 2025).

Dalam literatur pengeringan bahan pangan tipis (*thin-layer drying*), berbagai

model empiris dan semi-teoritis banyak digunakan untuk memprediksi perubahan *moisture ratio* (MR) terhadap waktu serta untuk menentukan parameter kinetika seperti konstanta laju pengeringan (k) dan eksponen (n) (Hawa *et al.*, 2021). Model-model tersebut membantu perancangan sistem pengeringan yang efisien, namun masih terdapat variasi hasil yang signifikan antar bahan, suhu, ketebalan bahan, kecepatan aliran udara, dan kondisi pretreatment (Sutarsi *et al*., 2024). Selain itu, banyak penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu pengeringan secara signifikan dapat mempercepat laju pengeringan (menurunkan waktu hingga mencapai kadar air target), namun kenaikan suhu juga dapat menimbulkan kerusakan kualitas seperti perubahan warna, kerut (*shrinkage*), atau kerusakan senyawa bioaktif (Purbasari *et al*., 2024).

Meskipun terdapat banyak penelitian, terdapat beberapa tantangan dan gap riset yang masih terbuka. Misalnya: (1) banyak model hanya diuji pada kondisi eksperimental terbatas dan belum diuji pada skala industri; (2) terdapat variasi yang besar antar bahan dan kondisi eksperimen sehingga model yang cocok untuk satu bahan belum tentu cocok untuk bahan lain; (3) literatur tentang pemodelan matematis khususnya untuk bawang putih dalam bentuk bubuk (*powder*) masih terbatas, terutama yang mengaitkan model matematika dengan karakter fisik bubuk bawang putih hasil pengeringan. Hal ini menunjukkan kebutuhan untuk penelitian yang memfokuskan pada pemodelan matematis khusus bahan bawang putih serta analisis parameter kinetika pengeringan untuk memperkuat basis data dan aplikasi di skala yang lebih besar.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematis pengeringan bubuk bawang putih menggunakan data pengeringan dengan oven konveksi pada berbagai suhu, melakukan *fitting* sejumlah model *thin*-layer, menentukan konstanta kinetika laju pengeringan, dan mengevaluasi model terbaik yang dapat diterapkan dalam skala industri. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada perancangan sistem pengeringan yang lebih efisien dan terukur untuk olahan bawang putih, sekaligus memperkuat literatur pemodelan pengeringan pada bahan rempah-rempah di Indonesia.

2. METODE

2.1. Bahan

Bahan yang digunakan berupa bawang putih segar (Allium sativum L.) yang diperoleh dari kelompok petani lokal di Lampung, Indonesia. Umbi bawang dikupas, dicuci, kemudian diiris dengan ketebalan seragam sekitar 2 mm untuk memperoleh proses pengeringan yang merata. Kadar air awal bahan berkisar pada 66–70 % (bb). Data hasil pengeringan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Purbasari *et al*. (2025) yang meneliti pengaruh suhu terhadap karakter fisik bubuk bawang putih. Penelitian ini melakukan analisis ulang (reanalysis) terhadap data tersebut untuk tujuan pemodelan matematis

2.2. Alat dan Prosedur Pengeringan

Pengeringan dilakukan menggunakan oven konveksi skala laboratorium yang dilengkapi kontrol suhu digital dan sistem sirkulasi udara. Suhu udara pengering diset pada 60 °C, 70 °C, dan 80 °C, dengan kecepatan udara sekitar 1,5 m/s. Sampel ditempatkan pada nampan baja nirkarat berlubang dalam satu lapisan untuk meminimalkan hambatan aliran udara. Proses pengeringan dilanjutkan hingga berat sampel konstan yang menunjukkan tercapainya kadar air kesetimbangan.

Selama proses pengeringan, sampel ditimbang pada interval waktu tertentu menggunakan neraca digital dengan ketelitian ±0,01 g. Data massa digunakan untuk menghitung kadar air (M) pada waktu *t*, kemudian dikonversi menjadi moisture ratio (MR) menggunakan Persamaan (1):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad \text{..... (1)}$$

dengan M_o adalah kadar air awal (bk), M_e adalah kadar air kesetimbangan, dan M adalah kadar air pada waktu *t*. Karena nilai M_e relatif kecil dibanding M_o, maka

diasumsikan konstan untuk seluruh percobaan, seperti yang umum diterapkan dalam analisis pengeringan lapis tipis (Hawa *et al.*, 2021).

2.3. Pemodelan Matematis Kinetika Pengeringan

Data MR hasil eksperimen difitting menggunakan lima model pengeringan lapis tipis (*thin-layer drying*) yang ditampilkan pada Tabel 1. Setiap model menyatakan MR sebagai fungsi waktu (*t*) dan parameter model (*k*, *n*, *a*, *b*, dan *c*).

Tabel 1. Model Pengeringan Lapis Tipis yang digunakan

Model	Persamaan Matematis	Parameter
Newton	MR = exp(-kt)	*k*: konstanta laju
Page	MR = exp(-kt^n)	*k*, *n*

Fitting model dilakukan menggunakan regresi nonlinier pada *Microsoft Excel Solver* dengan meminimalkan *Root Mean Square Error* (RMSE) antara MR hasil prediksi dan MR hasil eksperimen. Model terbaik dipilih berdasarkan tiga indikator statistik yaitu:

- Koefisien determinasi (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(MR_{exp} - MR_{pre})^2}{\sum(MR_{exp} - MR_{exp})^2} \quad \text{..... (2)}$$

- Root Mean Square Error (RSME):

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum(MR_{pre} - MR_{exp})^2}{N}} \quad \text{..... (3)}$$

- Chi-Square (χ^2):

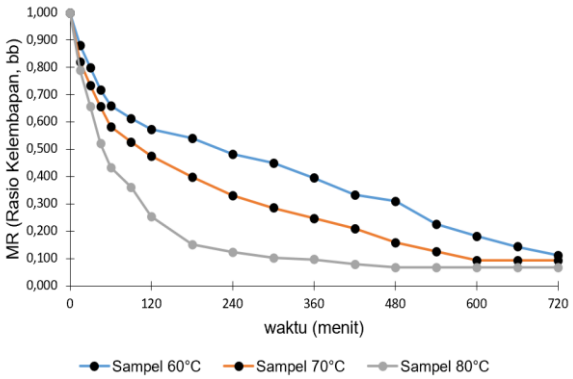
$$\chi^2 = \frac{\sum(MR_{exp} - MR_{pre})^2}{N - n} \quad \text{..... (4)}$$

dengan MR_{exp} dan MR_{pre} masing-masing merupakan nilai moisture ratio eksperimen dan prediksi; N adalah jumlah data; dan n adalah jumlah parameter model (Yosika *et al.*, 2020). Model dengan nilai R^2 tertinggi serta RMSE dan χ^2 terendah dianggap memberikan kesesuaian terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Nilai *Moisture Ratio* (MR) Selama Pengeringan

Perubahan nilai MR pada tiga suhu pengeringan (60°C, 70°C, dan 80°C) menunjukkan pola kurva menurun yang bersifat non-linier, sesuai karakteristik pengeringan bahan berpori. Pada suhu 60°C, penurunan MR terjadi relatif lebih lambat dibandingkan 70°C dan 80°C ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu, semakin cepat air berpindah ke permukaan dan diuapkan. Fenomena ini konsisten dengan teori migrasi kelembapan pada bahan pangan, di mana gaya pendorong difusi air meningkat dengan kenaikan suhu (Sutarsi *et al.*, 2024).



Gambar 1. *Moisture Ratio* (MR) bawang putih selama pengeringan

Kurva penurunan MR memperlihatkan bahwa seluruh proses berlangsung melalui tahap laju menurun (*falling rate period*). Tahap laju konstan (*constant rate period*) tidak diamati, menunjukkan bahwa perpindahan air dikendalikan oleh mekanisme difusi internal. Hal ini sesuai dengan kebanyakan hasil pengeringan bawang putih dan bahan pangan berserat lainnya (Purbasari *et al.*, 2025).

3.2. *Fitting* Data MR dengan Model Pengeringan

Kedua model pengeringan (*Newton* dan *Page*) diaplikasikan untuk memprediksi nilai MR sebagai fungsi waktu. Parameter model diperoleh melalui regresi nonlinier menggunakan *Excel Solver*. Tabel 2 menyajikan parameter dan nilai statistik model.

Tabel 2. Parameter model dan Statistik kecocokan

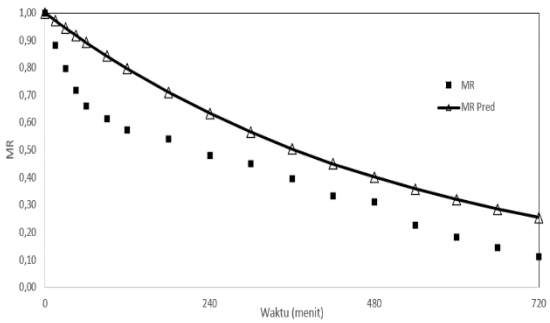
Model	Suhu (°C)	Parameter	R^2	RMSE	χ^2
Newton	60	k=0,0019	0,9516	0,0871	0,0077
Newton	70	k=0,0019	0,9180	0,1007	0,0499
Newton	80	k=0,0020	0,7377	0,2921	0,1116
Page	60	k=0,0006 n=1,8930	0,8640	0,13311	0,0180
Page	70	k=0,0007 n=1,9930	0,7703	0,18822	0,0368
Page	80	k=0,0007 n=1,8781	0,5271	0,26415	0,0725

Nilai konstanta laju pengeringan (*k*) menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan kenaikan suhu pengeringan. Hal ini mencerminkan percepatan penguapan air pada suhu yang lebih tinggi, yang secara matematis tercermin dalam kemiringan kurva MR terhadap waktu. Pola peningkatan *k* ini konsisten pada seluruh model yang diuji, meskipun besarnya nilai berbeda antar model akibat perbedaan struktur persamaan (Yosika *et al.*, 2020).

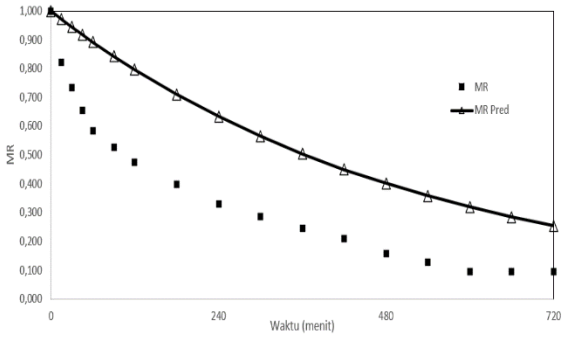
Berdasarkan indikator statistik, model *Newton* secara konsisten menunjukkan nilai R^2 tertinggi serta RMSE dan χ^2 terendah pada seluruh variasi suhu. Hal ini menandakan bahwa model tersebut memiliki kemampuan terbaik dalam merepresentasikan perilaku kinetika pengeringan bubuk bawang putih

3.3. Evaluasi Kesesuaian Model

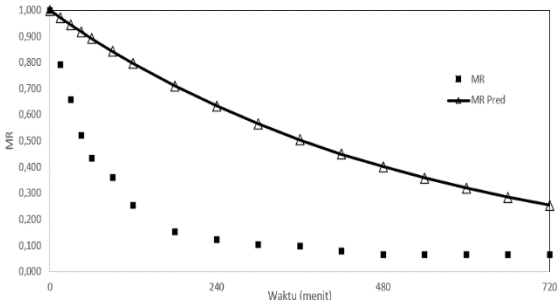
Hasil fitting menunjukkan bahwa model *Newton* cenderung memberikan nilai R^2 lebih rendah dan RMSE lebih tinggi. Sedangkan model Page kurang mampu merepresentasikan perubahan MR yang bersifat eksponensial pada bahan pangan. Hasil *Fitting* model *Newton* seperti pada Gambar 2-4.



Gambar 2. Hasil *Fitting* Model *Newton* pada suhu 60 °C



Gambar 3. Hasil *Fitting* Model *Newton* pada suhu 70°C



Gambar 4. Hasil *Fitting* Model *Newton* pada suhu 80 °C

Model *Newton* menunjukkan peningkatan signifikan pada R^2 dan penurunan RMSE baik pada suhu 80, 70 maupun 60°C. Parameter n yang terdapat dalam model *Newton* mampu menggambarkan perubahan eksponensial MR secara lebih fleksibel, sehingga model ini banyak direkomendasikan untuk bahan produk hortikultura (Mardiyani *et al*., 2024).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memodelkan kinetika pengeringan bubuk bawang putih menggunakan oven konveksi pada tiga suhu berbeda (60°C, 70°C, dan 80°C) berdasarkan analisis ulang data eksperimental. Hasil menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung sepenuhnya pada tahap laju menurun, yang mengindikasikan mekanisme difusi internal sebagai mekanisme dominan penghilangan air.

Hasil pemodelan menggunakan lima model pengeringan lapis tipis memperlihatkan bahwa model *Newton* memberikan kecocokan terbaik terhadap data eksperimen, ditunjukkan oleh nilai R^2 tertinggi serta RMSE dan χ^2 terendah pada

seluruh variasi suhu. Model *Page* cenderung kurang representatif untuk menggambarkan perilaku pengeringan bawang putih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember.

DAFTAR PUSTAKA

Abadiyah N, Lestari NP, Taruna I, Purbasari D, Sutarsi S. (2024). Engineering characteristics of curcuma flour (Curcuma xanthorrhiza Roxb.) from convection drying. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering*).13(2):525-35.

Hawa LC, Ubaidillah U, Mardiyani SA, Laily AN, Yosika NI, Afifah FN. (2021). Drying kinetics of cabya (Piper retrofractum Vahl) fruit as affected by hot water blanching under indirect forced convection solar dryer. *Solar Energy*. 214:588-98.

Lestari NP, Purbasari D, Sholihuddin M, Taruna I. (2023). Drying characteristics of jelly ear mushroom (Auricularia auricula) using microwave oven. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 12(1): 28-38.

Mardiyani SA, Susilowati DS, Wirateruna ES. (2024). Pemodelan matematika pengeringan apel serut dengan perlakuan blansing dan non blansing berbasis energi surya. *Agrointek: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 18(4):800-10.

Purbasari D, Yosika NI, Pambudi AS, Ayun Q. (2025) Evaluasi karakteristik fisik bubuk bawang putih (allium sativum l.) Hasil pengeringan menggunakan oven konveksi. Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi Indonesia. 4(1):453-8.

Purbasari D, Yosika NI, Pambudi AS, FITRIA Y. (2024). Karakteristik pengeringan cabai berdasarkan perbedaan varietas (capsicum frustescens dan capsicum annum) dan daya oven microwave. *Jurnal Penelitian Sains dan Teknologi Indonesia*. 3(2):374-83.

Sutarsi S, Vi GD, Lestari NP, Taruna I, Purbasari D. (2024). Influence of Soaking Temperature and Concentration of Sugar Solution in the Process of Osmotic Dehydration of Curcuma (Curcuma xanthorrhiza Roxb.). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*. 13(3):711-9.

Yosika NI, Hawa LC, Hendrawan Y. (2020) Karakteristik pengeringan cabai puyang (Piper retrofractum vahl.) menggunakan pengeringan alami (Open sun drying). *Jurnal Teknologi Pertanian*. 21(3):165-74.