

## **Karakteristik Pengeringan Kayu dengan Variasi Bentuk Geometri Silinder dan Bola**

### ***Analysis of Wood Drying Characteristics with Cylindrical and Spherical Geometric Variations***

**Ani Purwanti<sup>1\*</sup>, Diviona Mulyawati<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas AKPRIND Indonesia, Yogyakarta  
Jl. Kalisahak No.28, Gondokusuman, Yogyakarta 55222 Telp. 0274-563029

\*Corresponding Author: [ani4wanti@akprind.ac.id](mailto:ani4wanti@akprind.ac.id)

\*Nomor Handphone Aktif: 089512448878

#### **ABSTRAK**

Pengeringan merupakan operasi teknik kimia yang digunakan untuk menurunkan kadar air bahan melalui perpindahan panas dan perpindahan massa sehingga stabilitas penyimpanan dan kualitas produk dapat ditingkatkan. Penelitian ini bertujuan menentukan koefisien laju pengeringan serta menganalisis pengaruh kadar air terhadap laju pengeringan kayu berbentuk silinder dan bola. Penelitian dilakukan secara deskriptif eksperimental menggunakan oven pada suhu rata-rata 89,9°C. Sampel kayu terlebih dahulu direndam hingga jenuh, kemudian dikeringkan dan ditimbang setiap 10 menit setelah didinginkan dalam desikator hingga massanya konstan. Data pengamatan digunakan untuk menghitung kadar air, laju pengeringan, tekanan parsial uap air, dan koefisien laju pengeringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air kedua sampel menurun secara bertahap hingga mencapai kadar konstan seiring bertambahnya waktu pengeringan. Laju pengeringan juga menurun hingga mendekati nol karena berkurangnya air pada permukaan dan meningkatnya hambatan perpindahan air dari bagian dalam bahan. Koefisien laju pengeringan kayu berbentuk silinder sebesar 0,00013 g/(cm<sup>2</sup>·menit·mmHg), sedangkan kayu berbentuk bola sebesar 0,00019 g/(cm<sup>2</sup>·menit·mmHg). Dengan demikian, waktu pengeringan berpengaruh terhadap penurunan kadar air, sedangkan bentuk geometri bahan memengaruhi karakteristik pengeringan; pada kondisi operasi yang sama, kayu berbentuk bola menunjukkan koefisien laju pengeringan lebih tinggi daripada kayu berbentuk silinder.

**Kata kunci** : kadar air; koefisien laju pengeringan; pengeringan; perpindahan panas

#### **ABSTRACT:**

*Drying is a chemical engineering operation used to reduce the moisture content of materials through heat transfer and mass transfer. This study aimed to determine the drying rate coefficient and analyze the effect of moisture content on the drying rate of cylindrical and spherical wood samples. A descriptive experimental method was applied using an oven at an average temperature of 89.9°C. The wood samples were first soaked to saturation, then dried and weighed at 10-minute intervals after cooling in a desiccator until a constant mass was reached. The observed data were used to calculate moisture content, drying rate, water vapor partial pressure, and drying rate coefficient. The results showed that the moisture content of both samples gradually decreased to 0% as drying time increased. The drying rate also declined and approached zero because surface water decreased and internal moisture transfer became more resistant. The drying rate coefficient was 0.00013 g/(cm<sup>2</sup>·menit·mmHg) for the cylindrical wood sample and 0.00019 g/(cm<sup>2</sup>·menit·mmHg) for the spherical wood sample. Therefore, drying time affected the reduction in moisture content, while sample geometry influenced drying characteristics; under the same operating conditions, the spherical wood sample exhibited a higher drying rate coefficient than the cylindrical sample.*

**Keywords:** drying; drying rate coefficient; heat transfer; moisture content

## 1. PENDAHULUAN

Pengeringan (*drying*) merupakan salah satu operasi teknik kimia yang bertujuan mengurangi kadar air suatu bahan hingga mencapai kadar tertentu melalui proses perpindahan panas dan perpindahan massa. Proses ini banyak diterapkan dalam berbagai industri karena dapat meningkatkan stabilitas produk, memperpanjang umur simpan, serta mempermudah proses penyimpanan dan distribusi. Meskipun merupakan proses yang umum digunakan, mekanisme pengeringan masih dipengaruhi oleh berbagai faktor sehingga pemodelan kinetika pengeringan terus dikembangkan untuk memperoleh prediksi waktu dan laju pengeringan yang lebih akurat (Gandía Ventura et al., 2024).

Pada bahan berpori seperti kayu, proses pengeringan berlangsung melalui penguapan air pada permukaan yang diikuti perpindahan air dari bagian dalam bahan menuju permukaan. Laju pengeringan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik bahan dan kondisi operasi seperti suhu pengeringan, kelembapan udara, laju aliran udara, kadar air awal, ukuran bahan, luas permukaan bahan, struktur internal, dan lintasan perpindahan air di dalam bahan (Yang et al., 2022). Ma et al. (2022) menunjukkan bahwa suhu pengeringan dan panjang sampel memengaruhi distribusi kadar air serta dinamika perpindahan air di dalam kayu. Pada sampel yang lebih panjang,

perbedaan kadar air antara permukaan dan bagian dalam bahan menjadi lebih nyata, sedangkan peningkatan suhu mempercepat perubahan distribusi air selama proses pengeringan.

Selama proses pengeringan, air bebas pada permukaan bahan akan menguap lebih dahulu, kemudian diikuti oleh perpindahan air dari bagian dalam menuju permukaan melalui mekanisme difusi. Oleh karena itu, laju pengeringan umumnya terdiri atas periode laju konstan dan periode laju menurun yang dipengaruhi oleh kandungan air di dalam bahan serta mekanisme perpindahan massa yang terjadi. Pemahaman mengenai karakteristik tersebut menjadi dasar dalam analisis proses pengeringan dan penentuan parameter kinetika pengeringan.

Mekanisme perpindahan air di dalam kayu juga melibatkan air bebas, air terikat, dan uap air. Dsouza et al. (2025) menemukan bahwa air bebas berkurang dengan cepat pada tahap awal pengeringan, sedangkan pelepasan air terikat dari dinding sel berlangsung lebih lambat dan dipengaruhi oleh arah anatomis kayu. Temuan tersebut memperkuat bahwa penurunan laju pengeringan tidak hanya dipengaruhi oleh berkurangnya jumlah air, tetapi juga oleh perubahan mekanisme perpindahan air di dalam struktur kayu.

Penelitian Yang et al. (2022) terhadap kayu *Eucalyptus urophylla* ×

*Eucalyptus grandis* menunjukkan bahwa laju pengeringan berlangsung lebih cepat pada tahap awal dan kemudian menurun seiring berkurangnya kadar air. Penelitian tersebut juga menemukan bahwa sampel dengan panjang 50 mm memiliki laju pengeringan lebih tinggi dibandingkan sampel 100 mm, yang menunjukkan bahwa dimensi bahan memengaruhi perpindahan air selama pengeringan. Sementara itu, Rahimi *et al.* (2022) melaporkan adanya perbedaan perilaku pengeringan antara kayu gubal, kayu teras, dan kulit kayu pada kayu ek merah dan *yellow-poplar*. Perbedaan tersebut berkaitan dengan karakteristik fisik bahan, seperti porositas, berat jenis, penyusutan, dan struktur anatomis yang memengaruhi perpindahan air dari bagian dalam bahan. Hasil kedua penelitian tersebut memperlihatkan bahwa karakteristik internal dan ukuran bahan merupakan faktor penting dalam menentukan laju pengeringan.

Selain kadar air rata-rata bahan, distribusi kadar air pada setiap bagian kayu juga perlu diperhatikan. Awais *et al.* (2022) menunjukkan bahwa kadar air dapat berbeda pada bagian permukaan maupun struktur kayu yang berbeda, termasuk antara kayu awal dan kayu akhir. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengukuran massa secara keseluruhan dapat menggambarkan perubahan kadar air bahan, tetapi belum sepenuhnya menjelaskan ketidakseragaman distribusi air di dalam kayu. Pendekatan yang lebih

lanjut dikembangkan oleh Zeng *et al.* (2024) melalui penggabungan pencitraan hiperspektral inframerah dekat, tomografi terkomputasi sinar-X, dan analisis elemen hingga untuk memodelkan perpindahan air secara tiga dimensi di dalam kayu. Penelitian tersebut memperlihatkan bahwa struktur internal dan arah perpindahan air perlu diperhitungkan dalam menjelaskan distribusi kadar air selama proses adsorpsi dan desorpsi.

Koido *et al.* (2025) selanjutnya meneliti kinetika pengeringan serpihan kayu cedar Jepang pada berbagai ketebalan, kadar air awal, bagian kayu, dan suhu udara pengering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu memperpendek waktu pengeringan, sedangkan ketebalan dan kadar air awal bahan memengaruhi karakteristik pengeringan serta difusivitas efektif air.

Sejalan dengan hasil tersebut, Núñez-Retana *et al.* (2025) mengembangkan model prediksi pengeringan konvektif serpihan kayu pinus berdasarkan mekanisme perpindahan massa dengan mempertimbangkan suhu, laju udara, kelembapan relatif, dan karakteristik partikel. Penelitian tersebut menunjukkan pentingnya penyesuaian model pengeringan terhadap kondisi operasi dan karakteristik fisik bahan agar waktu pengeringan dapat diperkirakan dengan lebih baik.

Namun, penelitian-penelitian tersebut lebih banyak berfokus pada pengaruh ukuran, ketebalan, jenis atau

bagian kayu, suhu, kadar air awal, serta pemodelan difusi. Berdasarkan literatur yang ditinjau, perbandingan langsung proses pengeringan kayu dengan bentuk geometris sederhana berupa silinder dan bola pada kondisi operasi yang sama, khususnya melalui pengukuran kadar air, laju pengeringan, perbedaan tekanan parsial uap air, dan koefisien penguapan, belum menjadi fokus utama penelitian sebelumnya. Bentuk geometris menentukan luas permukaan yang berhubungan dengan udara pengering dan panjang lintasan perpindahan air, sehingga berpotensi menghasilkan karakteristik pengeringan yang berbeda. Belum ditemukan penelitian yang secara kuantitatif membandingkan koefisien laju pengeringan berdasarkan bentuk geometri sederhana (silinder dan bola) pada kondisi operasi identik.

Pada penelitian ini digunakan benda uji berupa kayu berbentuk silinder dan bola yang dikeringkan menggunakan oven dengan pengamatan perubahan massa secara berkala hingga mencapai berat konstan. Data hasil pengamatan digunakan untuk menghitung kadar air, laju pengeringan, tekanan parsial, serta koefisien laju pengeringan sebagai parameter untuk mengevaluasi karakteristik proses pengeringan pada kedua bentuk benda uji.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan eksperimental karakteristik pengeringan kayu berbentuk silinder dan bola menggunakan oven pada

kondisi suhu pengeringan yang sama. Evaluasi dilakukan berdasarkan perubahan kadar air terhadap waktu, laju pengeringan, tekanan parsial uap air, serta koefisien penguapan ( $K_c$ ). Penelitian ini didasarkan pada dugaan bahwa perbedaan bentuk geometris benda uji menyebabkan perbedaan karakteristik dan koefisien penguapan selama proses pengeringan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan koefisien laju pengeringan serta menganalisis pengaruh kadar air terhadap laju pengeringan pada benda uji berbentuk silinder dan bola selama proses pengeringan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi oven pengering merek Memmert dengan kapasitas 10 liter, termometer alkohol untuk pengukuran bola kering (*dry bulb thermometer*), termometer alkohol bola basah (*wet bulb thermometer*), timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g, desikator, pompa udara, regulator, dan adaptor. Bahan yang digunakan berupa kayu Jati berbentuk silinder berdiameter 3,5 cm dan panjang 10 cm, kayu berbentuk bola pejal berdiameter 5,5 cm, serta air sebagai media perendaman benda uji sebelum proses pengeringan.

### 2.2 Prosedur

#### 2.2.1. *Persiapan Sampel*

Benda uji berupa kayu berbentuk silinder dan bola diukur dimensinya,

kemudian direndam dalam air hingga mencapai kondisi jenuh. Setelah proses perendaman, benda uji ditimbang untuk memperoleh berat awal sebelum proses pengeringan. Luas permukaan dan volume benda uji dihitung berdasarkan dimensi aktualnya, bentuk silinder dan bentuk bola.

## 2.2.2 Proses Pengeringan

Oven dipanaskan hingga mencapai suhu operasi rata-rata 89,9°C. Setelah suhu konstan, benda uji dimasukkan ke dalam oven dan dikeringkan. Penimbangan massa dilakukan setiap interval 10 menit. Setelah setiap periode pengeringan, benda uji didinginkan di dalam desikator selama kurang lebih 5 menit sebelum dilakukan penimbangan. Proses tersebut diulang hingga diperoleh berat konstan. Selama proses berlangsung dilakukan pencatatan suhu bola kering (*dry bulb*) dan suhu bola basah (*wet bulb*) sebagai data pendukung analisis pengeringan. Proses pengeringan dilakukan sebanyak 1 kali percobaan.

## 2.3 Analisis Data

Data hasil pengamatan dianalisis dengan menghitung luas permukaan benda uji, kadar air, laju pengeringan, kelembapan mutlak, tekanan parsial uap air, serta koefisien laju pengeringan. Kadar air dihitung berdasarkan perbandingan massa basah terhadap massa kering, sedangkan laju pengeringan ditentukan dari perubahan kadar air terhadap waktu. Selanjutnya, dihitung tekanan parsial uap

air dan koefisien laju pengeringan berdasarkan persamaan 1. Nilai yang diperoleh kemudian dibandingkan antara benda uji berbentuk silinder dan bola untuk mengevaluasi pengaruh bentuk geometri terhadap karakteristik pengeringan.

$$K_c = \frac{R}{P_{aj} - P_a} \quad (1)$$

dengan:

$R$  ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{menit}$ ) = berat air yang diuapkan setiap luas permukaan persatu satuan waktu

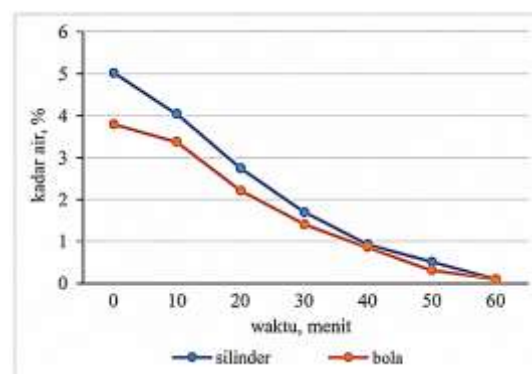
$(P_{aj} - P_a)$  (mmHg) = perbedaan tekanan

$K_c$  ( $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{menit} \cdot \text{mmHg})$ ) = koefisien laju pengeringan

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Pengaruh Variasi Kadar Air terhadap Waktu Pengeringan

Proses pengeringan menyebabkan terjadinya penurunan kadar air pada benda uji akibat perpindahan panas dari udara pengering ke permukaan bahan yang diikuti oleh perpindahan massa berupa penguapan air dari dalam bahan ke lingkungan. Hubungan antara kadar air terhadap waktu pengeringan pada benda uji berbentuk silinder dan bola ditunjukkan pada Gambar 1.



---

**Gambar 1. Hubungan kadar air terhadap waktu pengeringan pada benda uji silinder dan bola.**

Berdasarkan Gambar 1, kadar air pada kedua benda uji mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengeringan hingga mencapai kondisi kering. Pada awal proses pengeringan, penurunan kadar air berlangsung relatif cepat karena kandungan air bebas pada permukaan bahan masih tinggi sehingga proses penguapan berlangsung lebih mudah. Seiring bertambahnya waktu, kandungan air yang tersisa berada di bagian dalam bahan sehingga perpindahan air menuju permukaan menjadi lebih lambat. Akibatnya, laju penurunan kadar air semakin kecil hingga akhirnya mendekati kondisi konstan.

Penurunan kadar air yang lebih tajam pada tahap awal berkaitan dengan tingginya tekanan uap air pada permukaan bahan dan besarnya perbedaan tekanan uap antara permukaan kayu dengan udara pengering. Panas berpindah dari udara menuju permukaan kayu secara konveksi, kemudian diteruskan ke bagian dalam secara konduksi. Energi tersebut digunakan untuk menguapkan air bebas pada rongga sel dan permukaan kayu. Oleh karena itu, selama air bebas masih tersedia, kehilangan massa berlangsung relatif cepat. Mekanisme ini melibatkan perpindahan panas dan massa secara simultan melalui evaporasi permukaan, aliran kapiler, serta difusi air dan uap dari

bagian dalam bahan menuju permukaan (Khan et al., 2022).

Setelah air pada permukaan berkurang, bidang penguapan bergerak semakin masuk ke dalam bahan. Air yang tersisa lebih banyak berupa air terikat dalam dinding sel sehingga harus melewati jalur perpindahan yang lebih panjang dan memiliki tahanan internal yang lebih besar. Secara teoritis, waktu karakteristik difusi sebanding dengan kuadrat panjang lintasan dan berbanding terbalik dengan difusivitas efektif. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa kurva kadar air semakin landai menjelang tercapainya massa konstan. Penelitian Murr (2022) juga memperlihatkan bahwa ketebalan sampel dan arah lintasan terhadap serat memengaruhi kinetika perpindahan kelembapan pada kayu.

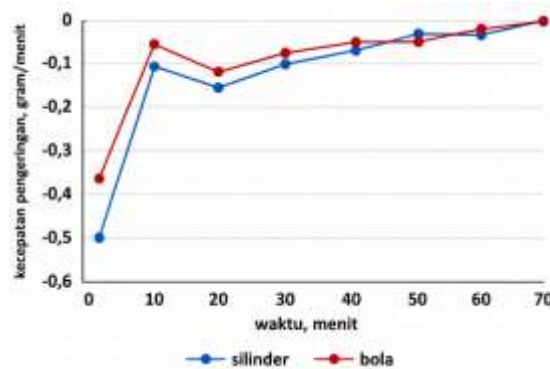
Perbandingan geometri menunjukkan bahwa silinder memiliki luas permukaan  $129,20 \text{ cm}^2$  dan rasio  $A/V$  sebesar  $1,343 \text{ cm}^{-1}$ , sedangkan bola memiliki luas permukaan  $95,03 \text{ cm}^2$  dan rasio  $A/V$  sebesar  $1,091 \text{ cm}^{-1}$ . Dengan demikian, apabila bola menunjukkan penurunan kadar air yang lebih cepat, hasil tersebut tidak dapat dijelaskan dengan pernyataan bahwa bola mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Kemungkinan penyebabnya adalah volume bola yang sekitar 9,5% lebih kecil, bidang kontak bola dengan alas pengering yang lebih kecil, distribusi aliran udara yang lebih merata pada permukaan melengkung, perbedaan arah serat yang

tersingkap, atau variasi kadar air awal dan densitas kayu. Faktor-faktor tersebut belum diukur secara terpisah sehingga harus dinyatakan sebagai dugaan mekanistik, bukan sebagai penyebab yang telah terbukti.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa waktu pengeringan berpengaruh terhadap kadar air bahan. Semakin lama proses pengeringan berlangsung, semakin sedikit kandungan air yang tersisa di dalam bahan. Fenomena ini sesuai dengan teori kinetika pengeringan yang menyatakan bahwa proses pengeringan melibatkan perpindahan panas dan perpindahan massa secara simultan, sehingga kadar air akan terus menurun hingga tercapai keseimbangan antara kadar air bahan dan kondisi udara pengering (Delfiya et al., 2022).

### 3.2 Pengaruh Laju Pengeringan terhadap Waktu Pengeringan

Laju pengeringan merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik proses pengeringan. Hubungan antara laju pengeringan terhadap waktu pada benda uji berbentuk silinder dan bola ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Grafik Hubungan Laju Pengeringan terhadap Waktu Pengeringan**

Berdasarkan Gambar 2, laju pengeringan cenderung mengalami penurunan selama proses pengeringan berlangsung. Pada tahap awal, laju pengeringan relatif tinggi karena sebagian besar air masih berada pada permukaan bahan sehingga mudah menguap. Setelah kandungan air permukaan berkurang, proses pengeringan dikendalikan oleh perpindahan air dari bagian dalam menuju permukaan melalui mekanisme difusi. Kondisi tersebut menyebabkan laju pengeringan semakin menurun hingga mendekati nol ketika berat bahan telah konstan.

Hasil yang diperoleh sesuai dengan teori bahwa proses pengeringan bahan padat umumnya didominasi oleh periode laju pengeringan menurun (*falling rate period*). Pada periode ini, perpindahan massa dari dalam bahan menjadi faktor pembatas sehingga laju pengeringan akan semakin kecil seiring menurunnya kadar air di dalam bahan (Gandía Ventura et al., 2024).

Tidak terlihatnya periode laju konstan yang jelas menunjukkan bahwa pengeringan pada penelitian ini lebih banyak berlangsung dalam periode laju menurun. Kondisi tersebut sesuai dengan Khan et al. (2022), yang menjelaskan bahwa periode laju konstan tidak selalu terlihat pada pengeringan bahan berpori, sedangkan periode laju menurun semakin dipengaruhi oleh karakteristik internal bahan. Perbandingan laju pengeringan kedua bentuk sebaiknya dilakukan pada kadar air atau *moisture ratio* yang sama, bukan hanya pada waktu yang sama. Apabila kadar air awal kedua benda uji berbeda, perbandingan berdasarkan waktu dapat menghasilkan interpretasi yang bias karena masing-masing benda uji memasuki tahap pengeringan internal pada waktu yang berbeda.

### 3.3 Koefisien Laju Pengeringan

Koefisien laju pengeringan ( $K_c$ ) dihitung untuk mengetahui kemampuan proses pengeringan dalam melepaskan uap air dari permukaan benda uji ke udara pengering. Nilai koefisien laju pengeringan yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 1.

| Tabel 1. Koefisien Laju |           |                                                                                             |
|-------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| No.                     | Benda Uji | Koefisien Laju Pengeringan<br>$\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{menit} \cdot \text{mmHg})$ |
| 1                       | Silinder  | 0,00013                                                                                     |
| 2                       | Bola      | 0,00019                                                                                     |

Berdasarkan Tabel 1, benda uji berbentuk bola memiliki nilai koefisien laju pengeringan sebesar 0,00019  $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{menit} \cdot \text{mmHg})$ , sedangkan benda

uji berbentuk silinder sebesar 0,00013  $\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{menit} \cdot \text{mmHg})$ . Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi operasi yang sama, proses perpindahan massa pada benda uji berbentuk bola berlangsung lebih cepat dibandingkan benda uji berbentuk silinder. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik geometri benda uji yang memengaruhi luas permukaan efektif dan mekanisme perpindahan panas maupun massa selama proses pengeringan.

Selain bentuk geometri, nilai koefisien laju pengeringan juga dipengaruhi oleh suhu pengeringan, kelembapan udara, kadar air awal bahan, dan karakteristik internal bahan. Oleh karena itu, meskipun benda uji berbentuk bola menunjukkan nilai koefisien pengeringan yang lebih tinggi pada penelitian ini, pengaruh parameter operasi lainnya tetap perlu diperhatikan dalam proses pengeringan. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Gandía Ventura et al. (2024) yang menyatakan bahwa karakteristik bahan dan kondisi operasi merupakan faktor penting yang menentukan kinetika pengeringan dan laju perpindahan massa selama proses berlangsung.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu pengeringan menyebabkan kadar air bahan terus menurun hingga mencapai kondisi kering, sedangkan laju pengeringan mengalami penurunan selama proses berlangsung.



Nilai koefisien laju pengeringan yang lebih tinggi pada benda uji berbentuk bola menunjukkan bahwa karakteristik geometri

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kadar air pada benda uji berbentuk silinder dan bola mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu pengeringan hingga mencapai kondisi kering. Penurunan kadar air tersebut diikuti dengan penurunan laju pengeringan, yang menunjukkan bahwa semakin sedikit kandungan air di dalam bahan, semakin kecil laju pengeringan yang terjadi. Nilai koefisien laju pengeringan yang diperoleh pada benda uji berbentuk silinder sebesar 0,00013, sedangkan pada benda uji berbentuk bola sebesar 0,00019. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi percobaan yang digunakan, benda uji berbentuk bola memiliki koefisien laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan benda uji berbentuk silinder. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bentuk geometri merupakan salah satu parameter penting dalam optimasi proses pengeringan sehingga dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem pengering bahan padat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas AKPRIND Indonesia atas izin, fasilitas, dan dukungan yang diberikan sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan di laboratorium

Universitas AKPRIND Indonesia dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Awais, M., Altgen, M., Mäkelä, M., Belt, T. and Rautkari, L. (2022) 'Quantitative prediction of moisture content distribution in acetylated wood using near-infrared hyperspectral imaging', *Journal of Materials Science*, 57(5), pp. 3416–3429. doi:10.1007/s10853-021-06812-2.
- Delfiya, D.S.A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P.V., Samuel, M.P. and Pandiselvam, R. (2022) 'Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review', *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810. doi:10.1111/jfpe.13810.
- Dsouza, R.D., Harjupatana, T., Miettinen, A., Brandstätter, F., Harju, A., Venäläinen, M., Möttönen, V., Borrega, M., Paajanen, A., Füssl, J. and Fortino, S. (2025) 'Multi-phase model for moisture transport in wood supported by X-ray computed tomography data', *Wood Science and Technology*, 59(2), article 31. doi:10.1007/s00226-025-01635-9.
- Gandía Ventura, I., Velázquez Martí, B., López Cortes, I. and Guerrero-Luzuriaga, S. (2024) 'Kinetic models of wood biomass drying in hot airflow systems', *Applied Sciences*, 14(15), 6716. doi:10.3390/app14156716.
- Khan, M. I. H., Batuwatta-Gamage, C. P., Karim, M. A., & Gu, Y. (2022). Fundamental understanding of heat and mass transfer processes for physics-informed machine learning-based drying modelling. *Energies*, 15(24), Article 9347. <https://doi.org/10.3390/en15249347>
- Koido, K., Kubota, A., Watanabe, K., Matsuda, Y., Fujimoto, K. and

- Yanagida, T. (2025) 'Drying kinetics of wood chips with different thicknesses, initial moisture contents, and wood parts in a fixed-bed vertical forced convection dryer', *Renewable Energy*, 249, 123190. doi:10.1016/j.renene.2025.123190.
- Ma, T., Morita, G., Inagaki, T. and Tsuchikawa, S. (2022) 'Moisture transport dynamics in wood during drying studied by long-wave near-infrared hyperspectral imaging', *Cellulose*, 29(1), pp. 133–145. doi:10.1007/s10570-021-04290-y.
- Núñez-Retana, V.D., Carrillo-Parra, A., Escobar Machado, J.A., Moposita-Vasquez, D.-D. and Velázquez-Martí, B. (2025) 'Predictive models for the convective drying kinetics of *Pinus* spp. energy wood chips', *Applied Sciences*, 15(18), article 10081. doi:10.3390/app151810081.
- Rahimi, S., Singh, K., DeVallance, D., Chu, D. and Bahmani, M. (2022) 'Drying behavior of hardwood components (sapwood, heartwood, and bark) of red oak and yellow-poplar', *Forests*, 13(5), 722. doi:10.3390/f13050722.
- Yang, L., Zheng, J. and Huang, N. (2022) 'The characteristics of moisture and shrinkage of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* wood during conventional drying', *Materials*, 15(9), 3386. doi:10.3390/ma15093386.
- Zeng, W., Fujimoto, T., Inagaki, T., Tsuchikawa, S. and Ma, T. (2024) 'Three-dimensional modeling of moisture transport in wood using near-infrared hyperspectral imaging and X-ray computed tomography in conjunction with finite element analysis', *Journal of Wood Science*, 70, article 9. doi:10.1186/s10086-023-02120-2.