

Pengaruh Kondisi Operasi terhadap Karakteristik Pengeringan Jahe Merah (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*) Menggunakan Tray Dryer dengan Udara Panas dari Proses Pirolisis

*The Effect of Operating Conditions on The Drying Characteristics of Red Ginger (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*) Using Tray Dryer with Hot Air from The Pyrolysis Process*

Rosdanelli Hasibuan*, Hamdanah Hasibuan, Yovani Nissi Madani, Viqry Pramananda, Risma Fazillah, dan Vikram Alexander

Departemen Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan, 20155, Indonesia

*Email: rosdanelli@usu.ac.id

Article history:

Diterima : 13 Maret 2023
Direvisi : 17 Juni 2023
Disetujui : 26 Juni 2023
Mulai online : 28 September 2023

E-ISSN: 2337-4888

How to cite:

Rosdanelli Hasibuan, Hamdanah Hasibuan, Yovani Nissi Madani, Viqry Pramananda, Risma Fazillah, dan Vikram Alexander. (2023). Pengaruh Kondisi Operasi terhadap Karakteristik Pengeringan Jahe Merah (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*) Menggunakan Tray Dryer dengan Udara Panas dari Proses Pirolisis. Jurnal Teknik Kimia USU, 12(2), 84-91.

ABSTRAK

Jahe merah (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*) merupakan tanaman rimpang yang sering digunakan sebagai bumbu pelengkap, campuran dalam makanan dan minuman, serta sebagai obat-obatan herbal. Salah satu proses pengolahan pascapanen jahe merah adalah pengeringan yang bertujuan untuk mengurangi kadar air jahe merah sampai ke titik dimana pertumbuhan mikroorganisme dan aktivitas enzim yang dapat merusak jahe merah dapat dicegah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ketinggian tray dan suhu udara pengering terhadap kadar air, laju pengeringan, karakteristik pengeringan, dan kualitas jahe merah yang dikeringkan menggunakan tray dryer dengan udara panas dari proses pirolisis biomassa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik ketinggian tray maupun suhu pengeringan mempengaruhi kadar air dan laju pengeringan jahe merah. Kualitas jahe merah yang memenuhi SNI 1-3393-1994 diperoleh pada ketinggian tray 60 cm dan suhu pengeringan 70 °C, dengan karakteristik aroma dan rasa yang khas, kadar air 8,9%; kadar abu 5,5%; kadar minyak 4,93 mL/100 g; dan tidak ada jamur pada jahe merah.

Kata kunci: jahe merah, karakteristik pengeringan, laju pengeringan, pirolisis, tray dryer

ABSTRACT

Red ginger (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*) is a rhizome plant often used as a complementary spice, a mixed ingredient in the food and beverages, and herbal medicines. One of the post-harvest processing of red ginger is drying, which aims to reduce the water content of red ginger to a point where the growth of microorganisms and the activity of enzymes that can damage red ginger can be prevented. This study aims to evaluate the effect of tray height and drying air temperature on moisture content, drying rate, drying characteristics, and quality of red ginger dried using a tray dryer with hot air from a biomass pyrolysis process. The results showed that both tray height and drying temperature affected red ginger's water content and drying rate. The quality of red ginger that complies with SNI 1-3393-1994 was obtained at a tray height of 60 cm and a drying temperature of 70 °C, with distinctive aroma and taste characteristics, the water content of 8.9%; ash content of 5.5%; oil content of 4.93 mL/100 g; and no fungus on the red ginger.

Keyword: red ginger, drying characteristic, drying rate, pyrolysis, tray dryer



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
<https://doi.org/10.32734/itk.v12i2.11496>

1. Pendahuluan

Pengeringan merupakan proses yang melibatkan perpindahan panas dan massa secara simultan. Panas dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air yang ditransfer dari permukaan material ke media pengering seperti udara. Perbedaan tekanan uap menyebabkan berpindahnya uap air dari bahan ke udara selama proses pengeringan. Kelembapan udara yang berkurang karena udara panas serta aliran udara bertekanan akan menyebabkan tekanan uap air pada material akan meningkat melebihi tekanan uap air di udara, sehingga air pada bahan akan menguap [1].

Pengeringan merupakan tahap yang penting dalam pengolahan produk pertanian. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air agar produk pertanian yang dikeringkan dapat disimpan untuk waktu yang lama. Produk pertanian berupa tanaman herbal umumnya disediakan dalam dua bentuk, yakni dalam bentuk segar dan bentuk kering. Tanaman herbal yang dikeringkan lebih mudah untuk disimpan dan dibawa bila dibandingkan dengan tanaman herbal dalam bentuk segar. Pengeringan merupakan metode yang disukai dalam pengolahan tanaman herbal. Namun, proses pengeringan akan mengubah sifat fisikokimia tanaman herbal [2]. Setiap tanaman herbal memiliki senyawa aktif khas yang dapat hilang ataupun berkurang selama proses pengeringan karena adanya penggunaan suhu yang relatif tinggi. Oleh karena itu, pengeringan bahan herbal membutuhkan penanganan yang serius. Pengeringan pada suhu tinggi kurang disukai pada produk herbal karena dapat merusak senyawa aktif serta komponen lainnya yang bersifat termolabil [1].

Salah satu tanaman herbal yang memiliki banyak kegunaan adalah jahe merah (*Zingiber officinale* Var. *Rubrum*). Jahe merah merupakan tanaman rimpang yang sering digunakan sebagai bumbu pelengkap, bahan campuran dalam pembuatan makanan dan minuman, serta sebagai obat-obatan herbal. Jahe merah diketahui memiliki efek imunomodulator karena mengandung gingerol dan shogaol, sehingga bermanfaat untuk meningkatkan daya tahan tubuh [3].

Para petani khususnya di negara berkembang menggunakan pengeringan konvensional dengan tenaga surya untuk mengeringkan produk-produk pertanian [4]. Pengeringan surya terbuka (*open sun drying*) memiliki beberapa keuntungan, seperti suplai energi yang besar, mudah dilakukan, serta biaya *start up* yang murah. Namun, pengeringan surya terbuka juga memiliki beberapa kelemahan, seperti membutuhkan tempat yang luas, waktu pengeringan yang lama, penurunan kualitas produk yang dikeringkan, dan lain sebagainya [5]. *Tray dryer* dapat digunakan untuk menutupi kekurangan pengeringan surya terbuka dalam pengeringan produk pertanian. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkaji penggunaan *tray dryer* pada pengeringan produk pertanian, seperti jahe [6], asam gelugur [7], kunyit [8], jahe merah [3], daun ketumbar [9], daun *mulberry* [10], dan lain sebagainya.

Pemanasan udara pengering umumnya masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi. Namun, penggunaan bahan bakar fosil memiliki beberapa kelemahan, yakni dihasilkannya emisi karbon dioksida (CO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan natrium oksida (NO_x). Gas-gas emisi ini akan mengganggu keseimbangan ekologi, menyebabkan polusi udara, serta perubahan iklim. Selain itu, ketersediaan energi fosil juga terbatas, harganya yang mahal, serta akan terus meningkat. Oleh karena itu, pemakaian bahan bakar fosil dapat diganti dengan biomassa. Biomassa sebagai sumber energi yang memiliki beberapa keunggulan seperti emisi yang lebih sedikit, merupakan sumber energi terbarukan dan berkelanjutan, ketersediaannya yang melimpah, serta harganya yang murah [5]. Integrasi energi berbasis biomassa dalam sistem pengering telah dilakukan pada pengeringan berbagai produk pertanian dan perkebunan, diantaranya pada pengeringan padi [11, 12], cabai merah [13], ikan [14], lembaran karet alam [15], dan sebagainya.

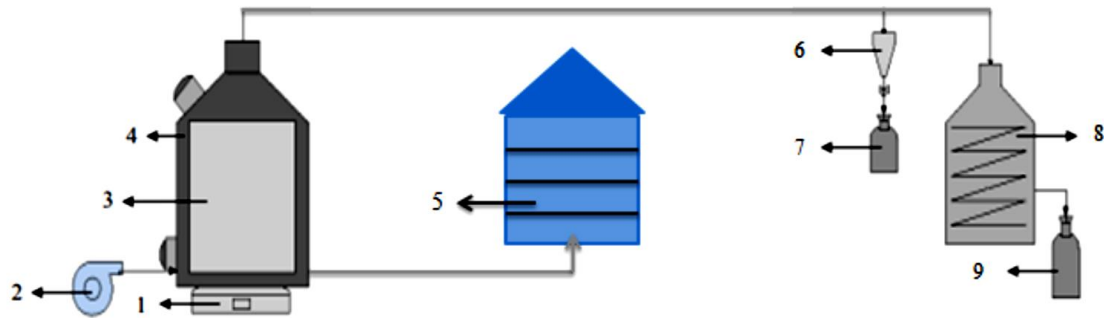
Mekanisme pengeringan merupakan bagian terpenting dari proses pengeringan karena dengan mengetahui mekanisme pengeringan, jumlah energi dan waktu pengeringan optimum yang dibutuhkan dapat diestimasi. Energi yang dibutuhkan dalam pengeringan merupakan energi panas untuk menaikkan temperatur dan meningkatkan daya gerak air. Waktu pengeringan berhubungan dengan kecepatan pengeringan dan tingkat kerusakan akibat pengeringan. Ketika makanan basah dikeringkan dalam alat pengering, hubungan antara perubahan kadar air dan waktu pengeringan dapat dibuat dalam bentuk grafik kadar air versus waktu [16].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh ketinggian *tray* dan suhu udara pengering terhadap kadar air, laju pengeringan, karakteristik pengeringan, dan kualitas jahe merah yang dikeringkan menggunakan *tray dryer* dengan udara panas dari proses pirolisis biomassa. Kualitas jahe merah kering yang diperoleh dibandingkan dengan SNI No 01-3393-1994 [17] yang meliputi kadar air, kadar minyak, kadar abu, aroma, dan rasa.

2. Metode

Tray dryer yang digunakan dalam penelitian ini terhubung dengan reaktor pirolisis seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Alat pengering terdiri dari dua bagian utama, yakni ruang pengering dan reaktor pirolisis sebagai penyuplai panas. Ruang pengering terdiri dari tiga *tray*, dengan sumber panas berasal dari bagian

bawah, dan pada bagian atas terdapat ventilasi sebagai jalur keluarnya udara dan uap air. Ruang pengering juga dilengkapi dengan *blower* yang dapat diatur kecepatan udara yang dihasilkan. Penelitian ini juga menggunakan peralatan tambahan, seperti anemometer, higrometer, neraca elektrik, oven, dan *furnace*.



Gambar 1. Diagram skematik *tray dryer* terintegrasi dengan reaktor pirolisis

Keterangan:

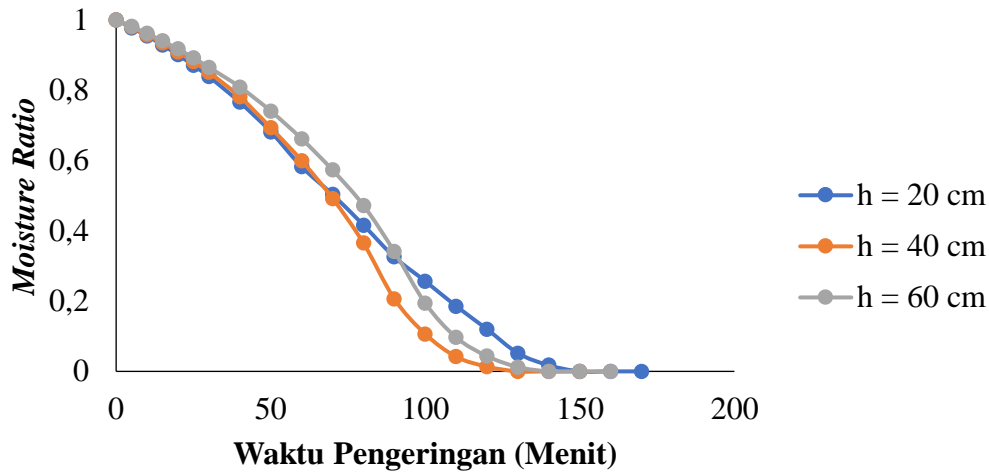
1. *Burner*
2. *Blower*
3. Reaktor pirolisis
4. Udara panas
5. *Tray dryer*
6. *Trap*
7. Tangki penampung tar
8. Tangki pendingin
9. Tangki penampung asap cair

Pengeringan jahe merah dilakukan dengan merujuk kepada penelitian Hasibuan dkk (2023) [18] dengan sedikit modifikasi. Penelitian diawali dengan mencuci jahe merah segar menggunakan air, lalu jahe merah dipotong dengan ketebalan 3 mm. Kecepatan udara pada *tray dryer* diatur hingga 10 m/s, kemudian *tray* dipasang pada ketinggian 20 cm, 40 cm, dan 60 cm. Selanjutnya, suhu pengeringan diatur pada 50 °C, 60 °C, dan 70 °C. Setelah kondisi operasi tercapai, jahe merah disusun pada *tray*. Selama proses pengeringan, suhu udara masuk, udara keluar, serta kelembapan relatif diukur setiap 30 menit. Selain itu, massa jahe merah juga ditimbang setiap 30 menit hingga konstan. Setelah proses pengeringan, kualitas jahe merah dianalisis menurut SNI No. 01-3393-1994 [17].

3. Hasil

Pengaruh Ketinggian *Tray* terhadap *Moisture Ratio* Jahe Merah

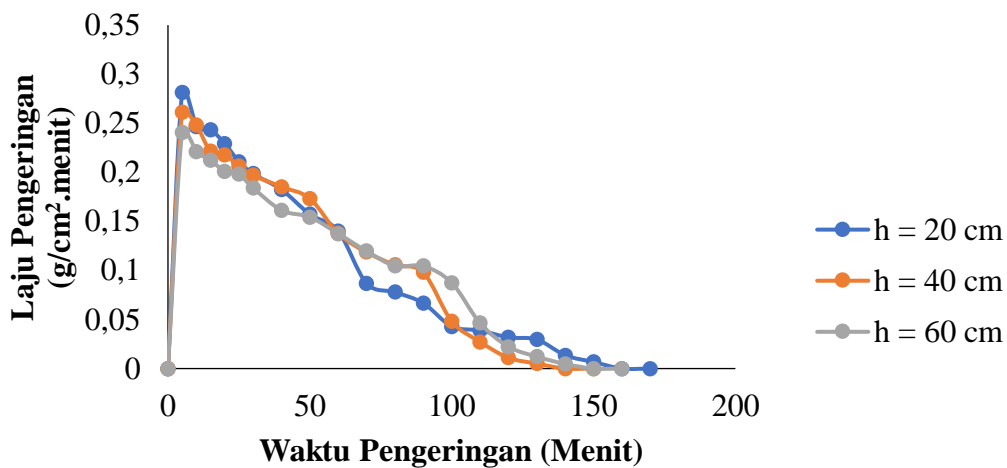
Kajian pengaruh ketinggian *tray* terhadap penurunan *moisture ratio* jahe merah dilakukan pada suhu pengeringan 70 °C dan hasilnya disajikan pada Gambar 2. Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa *moisture ratio* jahe merah terus menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Penurunan *moisture ratio* terus berlangsung hingga mencapai titik konstan, yakni 8,4%; 8,2%; dan 8,9% pada ketinggian *tray* 20 cm, 40 cm, dan 60 cm. Pada ketinggian *tray* 20 cm, *moisture ratio* konstan tercapai setelah 150 menit-170 menit. Hal ini terjadi karena udara panas yang mengenai permukaan jahe merah hanya sebagian saja meskipun udara pengering mengandung energi panas yang besar. Saat ketinggian *tray* dinaikkan menjadi 40 cm, *moisture ratio* konstan tercapai setelah 130 menit-150 menit. Hal ini disebabkan pada ketinggian 40 cm, jumlah udara panas yang mengenai permukaan jahe merah lebih banyak dibandingkan pada ketinggian 20 cm. Selanjutnya, saat posisi *tray* dinaikkan menjadi 60 cm, *moisture ratio* konstan tercapai setelah 140 menit-160 menit. Pada saat posisi *tray* 60 cm, hampir semua permukaan jahe merah berkontak dengan udara panas, namun kemampuan udara pengering untuk membawa uap air dari permukaan jahe merah pada posisi ini semakin rendah dan energi panas yang diterima jahe merah semakin kecil karena jarak jahe merah dari keluaran udara panas terlalu jauh. Sebagai hasilnya, waktu pengeringan yang dibutuhkan pada ketinggian *tray* 60 cm menjadi lebih lama dibandingkan pada ketinggian *tray* 40 cm.



Gambar 2. Pengaruh ketinggian tray terhadap moisture ratio jahe merah

Pengaruh Ketinggian Tray terhadap Laju Pengeringan Jahe Merah

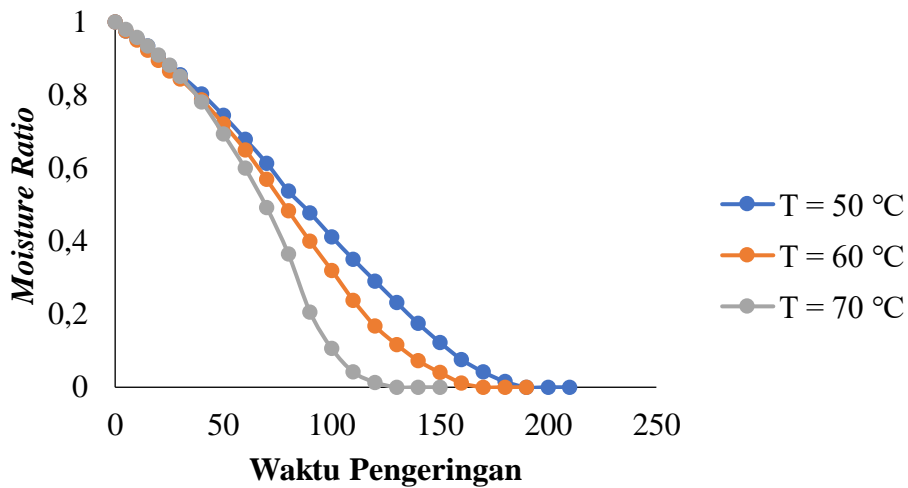
Gambar 3 menampilkan pengaruh ketinggian tray terhadap laju pengeringan jahe merah dengan suhu pengeringan 70 °C. Laju pengeringan tertinggi pada awal pengeringan diperoleh pada ketinggian tray 20 cm sebesar $23,49 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{menit}$, sementara pada ketinggian tray 40 cm dan 60 cm, laju pengeringan tertinggi yang diperoleh sebesar $22,53 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{menit}$ dan $20,95 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{menit}$. Ini menunjukkan bahwa pada awal proses pengeringan, jumlah air yang diuapkan pada ketinggian 20 cm lebih banyak dibandingkan pada ketinggian 40 cm dan 60 cm. Fenomena ini terjadi karena posisi tray yang lebih dekat dari keluaran udara pengering, sehingga energi panas yang diterima jahe merah lebih besar dibandingkan pada ketinggian 40 cm dan 60 cm. Namun, pada ketinggian tray 40 cm, distribusi udara pengering di permukaan jahe merah lebih merata sehingga energi panas yang dibawa udara pengering dapat digunakan untuk mengeluarkan kandungan air dalam jahe merah dengan lebih baik. Akibatnya, waktu pengeringan yang dibutuhkan menjadi lebih singkat.



Gambar 3. Pengaruh ketinggian tray terhadap laju pengeringan jahe merah

Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Moisture Ratio Jahe Merah

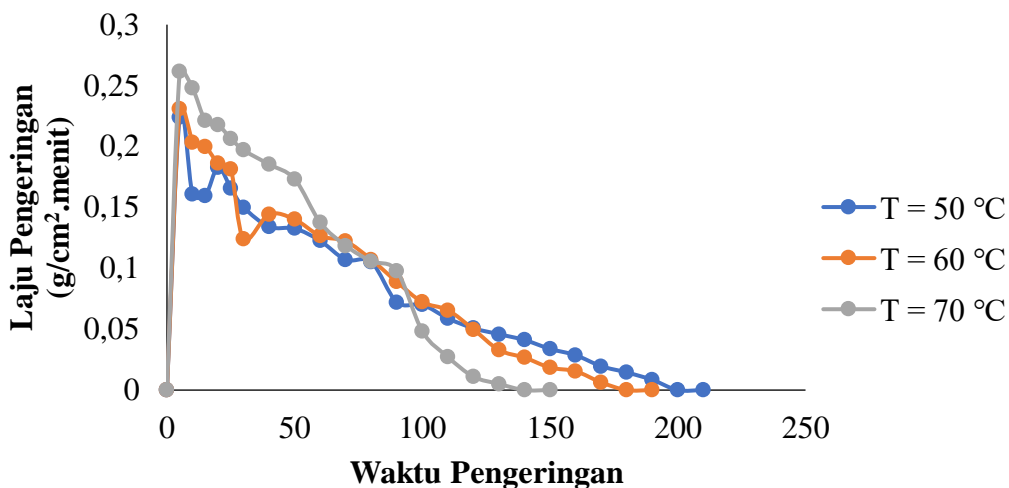
Kajian pengaruh suhu pengeringan terhadap moisture ratio jahe merah dilakukan pada ketinggian tray 40 cm dan hasilnya disajikan pada Gambar 4. Suhu pengeringan yang semakin tinggi akan mempercepat penurunan moisture ratio jahe merah hingga mencapai titik konstan. Dengan kata lain, waktu pengeringan yang dibutuhkan menjadi lebih singkat bila suhu pengeringan ditingkatkan. Waktu pengeringan jahe merah yang dibutuhkan pada variasi suhu 50 °C, 60 °C, dan 70 °C adalah 210 menit, 190 menit, dan 150 menit. Suhu pengeringan yang lebih tinggi akan membuat penurunan moisture ratio jahe merah berlangsung lebih cepat serta meningkatkan laju pengeringan. Hal ini disebabkan penggunaan suhu pengeringan yang lebih tinggi akan menguapkan air lebih banyak dibandingkan pada pemakaian suhu yang lebih rendah [7].



Gambar 4. Pengaruh suhu pengeringan terhadap *moisture ratio* jahe merah

Pengaruh Suhu Pengeringan terhadap Laju Pengeringan Jahe Merah

Gambar 5 menampilkan pengaruh suhu pengeringan terhadap laju pengeringan jahe merah. Laju pengeringan tertinggi dicapai pada awal proses pengeringan, kemudian menurun secara bertahap seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Laju pengeringan tertinggi pada suhu pengeringan 50 °C, 60 °C, dan 70 °C secara berurutan adalah $17,38 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2.\text{menit}$, $18,77 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2.\text{menit}$, dan $22,53 \times 10^{-2} \text{ g/cm}^2.\text{menit}$. Pada proses pengeringan, suhu pengeringan yang semakin tinggi akan mempercepat penguapan kandungan air pada bahan, sehingga waktu pengeringan yang dibutuhkan menjadi lebih singkat [7]. Perpindahan panas tertinggi berlangsung pada suhu pengeringan yang lebih tinggi, dalam hal ini pada suhu 70 °C, yang merupakan *driving force* untuk mempercepat terjadinya perpindahan massa dari jahe merah [19].



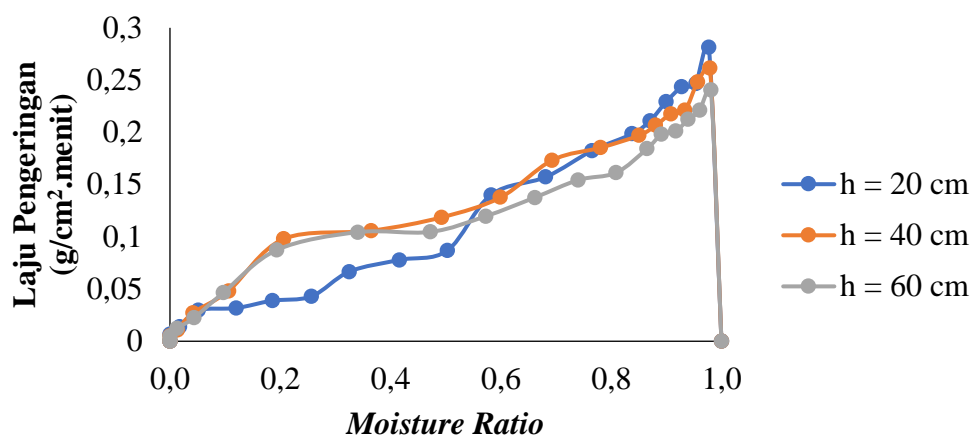
Gambar 5. Pengaruh suhu pengeringan terhadap laju pengeringan jahe merah

Karakteristik Pengeringan Jahe Merah

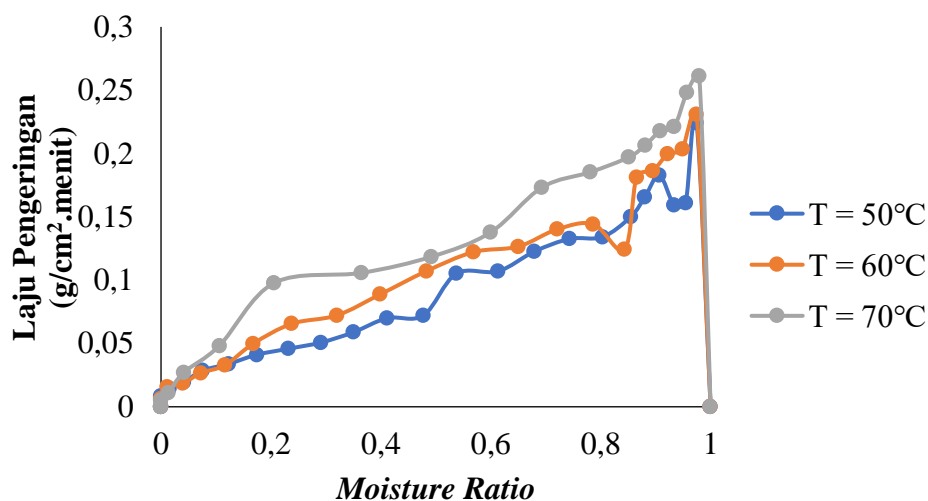
Karakteristik pengeringan merupakan proyeksi antara laju pengeringan terhadap *moisture ratio* selama proses pengeringan. Gambar 6(a) menampilkan karakteristik pengeringan jahe merah pada berbagai ketinggian *tray* dengan suhu pengeringan 70 °C, sementara Gambar 6(b) menyajikan karakteristik pengeringan jahe merah pada berbagai suhu pengeringan dengan ketinggian *tray* 40 cm. Karakteristik pengeringan dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi jenis bahan yang dikeringkan, metode pengeringan, kondisi operasi pengeringan, dan sebagainya. Dalam konteks karakteristik pengeringan, terdapat dua jenis periode pengeringan, yakni periode laju pengeringan meningkat dan periode laju pengeringan menurun. Selain itu, juga terdapat periode laju pengeringan ketiga, yakni periode laju pengeringan konstan yang merupakan tahap transisi dari periode laju pengeringan meningkat ke periode laju pengeringan menurun. Pelepasan kadar air bebas secara cepat di permukaan bahan terjadi pada periode laju pengeringan meningkat, sehingga periode ini disebut juga dengan

pengeringan cepat. Di sisi lain, pelepasan kadar air terikat pada bahan yang dikeringkan terjadi pada periode laju pengeringan menurun, sehingga proses ini berlangsung cukup sulit dan terjadi di akhir pengeringan. Hal ini membuat periode laju pengeringan menurun disebut juga dengan pengeringan lambat. Sejumlah penelitian menunjukkan karakteristik pengeringan dengan dua periode pengeringan, yakni periode laju pengeringan meningkat dan periode laju pengeringan menurun [20].

Pada penelitian ini, diketahui bahwa pengeringan jahe merah menggunakan *tray dryer* dengan udara panas dari proses pirolisis memiliki karakteristik pengeringan dua periode, yakni periode laju pengeringan meningkat dan periode laju pengeringan menurun. Ketiadaan periode ketiga (periode laju pengeringan konstan) menandakan bahwa seluruh energi panas yang berasal dari proses pirolisis telah digunakan untuk melepaskan kadar air bebas dari permukaan bahan serta kadar air terikat dari dalam bahan (dalam hal ini jahe merah). Selain itu, ketiadaan periode laju pengeringan konstan juga mengindikasikan bahwa energi panas yang tersedia selama proses pengeringan hanya digunakan untuk melepaskan kadar air dari bahan ke udara sekitar tanpa mengubah fasa air tersebut (penguapan). Dengan kata lain, proses pengeringan yang berlangsung tidak melibatkan adanya penguapan kandungan air dalam bahan [4].



(a)



(b)

Gambar 6. Karakteristik pengeringan jahe merah: (a) pengaruh ketinggian *tray*; (b) pengaruh suhu pengeringan

Kualitas Jahe Merah Kering

Kualitas jahe merah kering pada variasi ketinggian *tray* dan suhu pengeringan disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa seluruh jahe merah kering yang dihasilkan telah memenuhi SNI 01-3393-1994 [17]. Jahe merah kering masih memiliki aroma khas, dengan kadar air 8,2% - 11,6%; kadar minyak 2,31 mL/100 g - 4,93 mL/100 g; kadar abu 2,92% - 6,5%; dan tidak ditemukan jamur maupun serangga. Ditinjau dari kandungan minyak atsirinya, maka jahe merah kering terbaik diperoleh pada ketinggian *tray* 60 cm dan suhu pengeringan 70 °C dengan kadar minyak sebesar 4,93 mL/100 g.

Tabel 1. Kualitas jahe merah kering yang dihasilkan

Parameter	SNI [17]	Kualitas Jahe Merah Kering								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ketinggian tray (cm)	-	20	40	60	20	40	60	20	40	60
Suhu pengeringan (°C)	-	50	50	50	60	60	60	70	70	70
Aroma dan rasa	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas	Khas
Kadar air (%)	Maks. 12	11,6	9,8	10,3	11,6	9,1	8,9	8,4	8,2	8,9
Kadar minyak (mL/100 g)	Min. 1,5	2,31	2,57	2,65	2,97	3,22	3,46	4,26	4,52	4,93
Kadar abu (%)	Maks. 8	2,92	3,96	3,5	3,00	5,02	5,47	6,25	6,50	5,50

4. Kesimpulan

Pada pengeringan jahe merah menggunakan *tray dryer* dengan udara panas dari proses pirolisis, diketahui bahwa ketinggian *tray* dan suhu pengeringan mempengaruhi penurunan *moisture ratio* jahe merah. Karakteristik pengeringan jahe merah terdiri dari dua periode, yakni periode laju pengeringan meningkat dan periode laju pengeringan menurun. Seluruh jahe merah kering yang dihasilkan memenuhi SNI No. 01-3393-1994. Ditinjau dari kadar minyak atsirinya, jahe merah kering terbaik (4,93 mL/100 g) diperoleh pada ketinggian *tray* 60 cm dan suhu pengeringan 70 °C.

5. Konflik Kepentingan

Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] S. Hanief, Y. M. Pane, and R. Hasibuan, "The effect of the molecular sieve position on the efficiency of solar-molecular sieve combination dryer," in *AIP Conference Proceedings*, 2019, pp. 1–7.
- [2] R. Hasibuan and M. Bairuni, "Mathematical modeling of drying kinetics of ginger slices," in *AIP Conference Proceedings*, 2018, pp. 1–7.
- [3] N. Lestari, Samsuar, E. Novitasari, and K. Rahman, "Kinerja *cabinet dryer* pada pengeringan jahe merah dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor pendingin udara," *J. Agritechno*, vol. 13, no. 1, pp. 57–70, 2020.
- [4] R. Hasibuan, R. Manurung, R. Sundari, S. Alva, and R. Anggraini, "The study of drying kinetics of *Uncaria gambir roxb* leaves applying convective desiccant drying," *Int. J. Adv. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 3, pp. 739–749, 2020.
- [5] M. Yahya, H. Fahmi, and R. Hasibuan, "Experimental performance analysis of a pilot-scale biomass-assisted recirculating mixed-flow dryer for drying paddy," *Int. J. Food Sci.*, vol. 2022, pp. 1–15, 2022.
- [6] B. Haryanto, R. Hasibuan, Alexander, M. Ashari, and M. Ridha, "Herbal dryer: Drying of ginger (*Zingiber officinale*) using tray dryer," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, pp. 1–5.
- [7] R. Hasibuan and H. Gusman, "Effect of operation condition on gelugur acid (*Garcinia atroviridis*) drying rate using tray dryer," in *Talent. Conf. Ser. Sci. Technol.*, vol. 1, 2018, pp. 160–167.
- [8] B. Haryanto, R. Hasibuan, A. H. Lubis, Y. Wangi, H. Khosman, and A. W. Sinaga, "Drying rate of turmeric herbal (*Curcuma longa l.*) using tray dryer," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, pp. 1–6.
- [9] A. Venkanna, P. S. Champawat, and S. K. Jain, "Study on drying kinetics of coriander leaves using different drying techniques," *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 8, no. 3, pp. 3887–3895, 2019.
- [10] S. Sarkhel, D. Manvi, and R. CT, "Comparison of drying characteristics and quality of tender mulberry leaves (*Morus alba*) using five different drying methods," *J. Med. Plants Stud.*, vol. 10, no. 1, pp. 30–35, 2022.
- [11] M. Yahya, A. Rachman, and R. Hasibuan, "Performance analysis of solar-biomass hybrid heat pump

- batch-type horizontal fluidized bed dryer using multi-stage heat exchanger for paddy drying,” *Energy*, vol. 254, pp. 1–13, 2022.
- [12] M. Yahya, H. Fahmi, and R. Hasibuan, “Experimental performance analysis of a pilot-scale biomass-assisted recirculating mixed-flow dryer for drying paddy,” *Int. J. Food Sci.*, vol. 2022, pp. 1–15, 2022.
- [13] M. Yahya, “Design and performance evaluation of a solar assisted heat pump dryer integrated with biomass furnace for red chilli,” *International J. Photoenergy*, vol. 2016, pp. 1–14, 2016.
- [14] Hamdani, T. A. Rizal, and Z. Muhammad, “Fabrication and testing of hybrid solar-biomass dryer for drying fish,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, pp. 489–496, 2018.
- [15] S. Sonthikun, P. Chairat, K. Fardsin, P. Kirirat, A. Kumar, and P. Tekasakul, “Computational fluid dynamic analysis of innovative design of solar-biomass hybrid dryer: an experimental validation,” *Renew. Energy*, vol. 92, pp. 185–191, 2016.
- [16] T. Hariyadi, “Pengaruh suhu operasi terhadap penentuan karakteristik pengeringan busa sari buah tomat menggunakan tray dryer,” *J. Rekayasa Proses*, vol. 12, no. 2, p. 46, 2018.
- [17] Dewan Standardisasi Nasional, “SNI Jahe Kering.” 1994.
- [18] R. Hasibuan, W. N. Sari, R. Manurung, and V. Alexander, “Drying kinetic models of rice applying fluidized bed dryer,” *Math. Model. Eng. Probl.*, vol. 10, no. 1, pp. 334–339, 2023.
- [19] P. Muthukumar, D. V. N. Lakshmi, P. Koch, M. Gupta, and G. Srinivasan, “Effect of drying air temperature on the drying characteristics and quality aspects of black ginger,” *J. Stored Prod. Res.*, vol. 97, pp. 1–9, 2022.
- [20] R. Hasibuan, Y. M. Pane, and S. Hanief, “Effect of air velocity and thickness to drying rate and quality temulawak (*Curcum xanthorrhiza roxb*) using combination solar molecular sieve dryer,” in *International Conference of Science, Technology, Environmental, and Ramification Researchers*, 2020, pp. 389–394.