

Investigasi Awal Karakteristik Perpindahan Panas Rotary Dryer dengan Sistem Ruang Vakum Bersirip

Initial Investigation of Heat Transfer Characteristics of Rotary Dryer with Finned Vacuum Chamber System

Hadi Prayitno^{1*}, Angga Darma Prabowo¹, Angelia Eka Salsabillah¹, Rizal Khairudin¹

¹ Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung

*email: hadi.prayitno@eng.unila.ac.id

Disubmit: 15 April 2021 Direvisi: 25 April 2021 Diterima: 26 April 2021

ABSTRAK

Salah satu upaya untuk mengurangi biaya penyediaan energi panas adalah menggunakan energi matahari. Namun, energi matahari sangat bergantung pada cuaca yang sulit dikontrol oleh manusia. Oven menjadi solusi utama dalam industri yang beroperasi secara kontinu. Salah satu perkembangan teknologi oven adalah sistem *rotary dryer* yang memiliki pengeringan lebih merata. Namun, sistem tersebut masih mengkonsumsi energi panas yang besar. Konsumsi energi yang besar dapat direduksi dengan mengurangi tekanan ruang pengering hingga lebih kecil dari tekanan atmosfer (tekanan vakum) yang berakibat pada penurunan titik didih air. Dengan demikian, kandungan air dalam produk dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah. Densitas udara pada kondisi vakum lebih kecil dibanding kondisi atmosfer. Menurunnya densitas udara menyebabkan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur udara lebih sedikit. Investigasi awal karakteristik laju perpindahan panas transien pada *rotary dryer* bersirip dilakukan dengan studi numerik. Hasil yang diperoleh menunjukkan waktu yang dibutuhkan sebesar 30.33 detik untuk menaikkan temperatur produk dari temperatur lingkungan hingga mendekati temperatur dinding ruang pengering pada tekanan 10 KPa, dan 47,67 detik pada tekanan 50 KPa, selanjutnya 81 detik pada tekanan 1 atmosfer. Dengan demikian, ruang vakum berputar dapat mempercepat waktu pemanasan dan layak dilanjutkan dengan studi eksperimental.

Kata kunci: Bersirip, Pengeringan, *Rotary Dryer*, Vakum.

ABSTRACT

One of the efforts to reduce the cost of providing heat energy is to use solar energy. However, solar energy is highly dependent on the weather, which is difficult for humans to control. Ovens are the leading solution in industries that operate continuously. One of the developments in oven technology is the rotary dryer system which has more even drying. However, the system still consumes a large amount of heat energy. Large energy consumption can be reduced by reducing the drying chamber pressure to less than atmospheric pressure (vacuum pressure), resulting in a decrease in the boiling point of water. Thus, the water content in the product can evaporate at lower temperatures. The density of air under vacuum conditions is smaller than atmospheric conditions. The decrease in air density causes the amount of heat energy needed to raise the air temperature less. Numerical studies carried out initial investigations of the transient heat transfer rate characteristics in fin rotary dryers. The results obtained show that the time needed is 30.33 seconds to raise the product temperature from ambient temperature to close to the drying room wall temperature at a pressure of 10 KPa, 47.67 seconds at a pressure of 50 KPa, and 81 seconds at a pressure of 1 atmosphere. Thus, a rotating vacuum chamber can speed up drying time and is worth continuing with experimental studies.

Keywords: Drying, Finned, *Rotary Dryer*, Vacuum.

PENDAHULUAN

Efektivitas alat pengering merupakan hal krusial dalam Industri yang menggunakan proses pengeringan sebagai bagian dari kegiatan operasinya. Proses pengeringan dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu proses penjemuran menggunakan panas radiasi matahari dan proses pengeringan dengan mesin pengering atau oven. Metode penjemuran memiliki keuntungan biaya operasional yang relatif rendah. Kelemahan metode ini adalah waktu pengeringan yang relatif lama. Selain waktu pengeringan yang relatif lama, waktu operasional juga sangat bergantung pada kondisi cuaca. Sebaliknya, metode pengeringan menggunakan alat pengering membutuhkan biaya operasional yang relatif besar. Menggunakan alat pengering ini memiliki kelebihan yaitu, laju pengeringan yang lebih cepat dan tidak bergantung pada kondisi cuaca (Parikh, 2015). Metode pengeringan ini banyak digunakan pada industri skala menengah dan besar. Kelebihan lain dari metode ini adalah produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik dari pengeringan dengan metode penjemuran (Pankaj & Keener, 2017). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, produk tepung onggok dengan metode pengeringan oven memiliki warna, dan aroma yang lebih baik dibandingkan tepung onggok dengan metode penjemuran konvensional (Sari dkk, 2013). Kualitas produk yang dihasilkan tersebut harus dikompensasi dengan besarnya energi yang dikonsumsi alat pengering sebagai sumber panasnya.

Perlu ada alternatif teknologi untuk mengurangi konsumsi energi yang besar dalam pada mesin pengering. Salah satu alternatifnya adalah dengan menurunkan tekanan ruang pengering. Semakin rendah tekanan ruang pengering, semakin rendah pula temperatur yang dibutuhkan untuk menguapkan air (Nowak & Jakubczyk, 2020). Metode ini juga memiliki kelemahan yaitu hanya bisa digabungkan dengan *microwave* sebagai sumber panas untuk menguapkan air. Ruang vakum pada *microwave* tidak memungkinkan terjadinya perpindahan panas secara konveksi seperti pengering pada umumnya (Gaukel, et al., 2017). *Microwave* membutuhkan energi panas hingga 33% lebih rendah dari oven pembakaran (Lakshmi, et al., 2007). Kelemahan dari *microwave* adalah biaya penggunaan listrik jauh lebih besar dari biaya penggunaan bahan bakar. Alternatif lain teknologi pengering adalah menggunakan *Rotary dryer* dan *Fertilizer drying*. Kedua teknologi tersebut lebih terjangkau dan lebih cepat dalam mengeringkan produk berdimensi mikro (Arruda, et al., 2009). Meskipun kedua teknologi tersebut sudah memiliki kinerja yang cukup baik, kedua teknologi ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

Dari permasalahan tersebut, perpindahan panas secara konduksi pada ruang pengeringan vakum harus ditingkatkan. Salah satu pilihannya adalah menambah sirip-sirip penghantar panas. Sirip-sirip pada ruang pengering vakum sangat berpotensi meningkatkan kelayakan sistem pengeringan vakum (Calín-Sánchez, et al., 2020). Untuk meratakan proses perpindahan panas konduksi yang terjadi, ruang pengeringan mengadopsi sistem berputar (*rotary*) (Hellou, et al., 2018, Djamila, et al., 2021).

METODE PENELITIAN

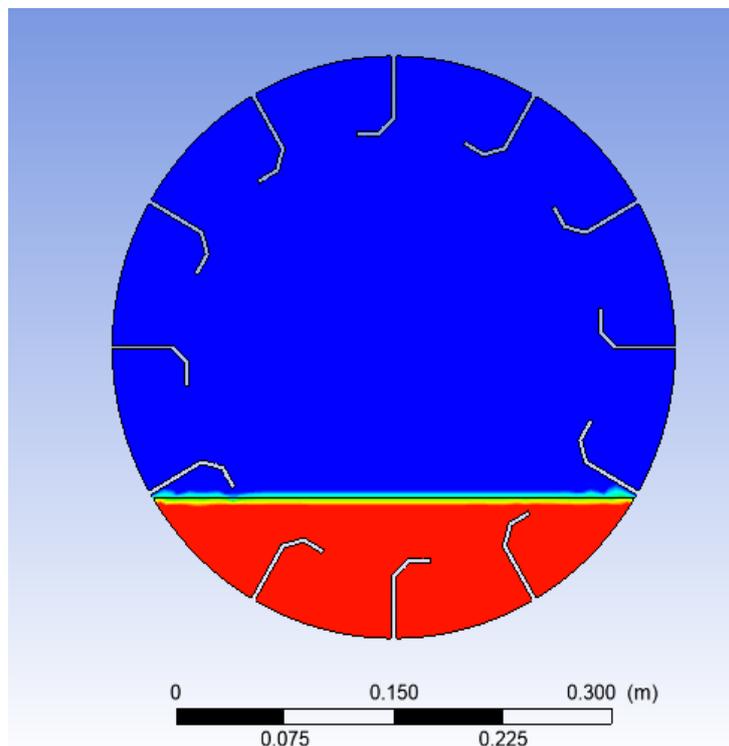
Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode numerik. Terdapat beberapa tahap yang dilaksanakan untuk memperoleh hasil penelitian. Tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Dalam tahap ini dilakukan pencarian informasi terkait mengenai penelitian yang akan dilakukan berupa parameter fisik *rotary dryer*, fenomena pengeringan, serta teknik-teknik terkini pengeringan vakum.

2. Pemodelan

Penelitian diawali dengan membuat model *rotary dryer* menggunakan perangkat lunak ANSYS dengan parameter sirip pada ruang pengering berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Revol et al., 2001) yaitu ruang pengeringan dengan diameter 38.7 cm berisi sirip berjumlah 12 seperti pada gambar berikut.



Gambar 1. Model *Rotary Dryer*.

Ruang pengering memiliki komposisi 18.5% berupa fraksi tepung (merah) sementara 81.5% sisanya adalah fraksi udara (biru).

3. Perancangan Pengujian

Pengujian untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas pada *vacuum rotary dryer* dilakukan dengan memvariasikan 2 (dua) variabel independen yaitu tekanan ruang pengering dan temperatur dinding ruang pengering. Tekanan ruang dan temperatur dinding masing-masing memiliki 3 level. Spesimen yang diuji pada penelitian ini adalah

tepung tapioka. Kedua variabel independen tersebut menghasilkan 9 (Sembilan) percobaan seperti dalam tabel berikut.

Tabel 1. Rancangan percobaan

Variabel Independen	Level		
	1	2	3
Temperatur Dinding Pemanas ($^{\circ}\text{C}$)	75	100	150
Tekanan Ruang Pengering (KPa)	10	50	101.3

Parameter operasi konstan yang diterapkan pada model yaitu kecepatan sudut ruang pengeringan sebesar 4 rpm. Nilai respon yang menjadi tolak ukur karakteristik perpindahan panas *vacuum rotary dryer* adalah kenaikan temperatur tepung terhadap waktu pengeringan.

4. Simulasi Numerik

Pada tahap ini dilakukan pembuatan *mesh* berdasarkan model *vacuum rotary dryer* yang telah dibuat. Simulasi dilakukan pada sistem tertutup. Pada simulasi ini permukaan dinding ruang pengering yang berkontak dengan fasa tepung dan udara merupakan batas sistem. Temperatur pada batas sistem ini adalah konstan.

Metode aliran multifasa yang digunakan merupakan metode *Eulerian* dengan interaksi dinding pemisah fasa berupa teknik *Volume of Fluid* (VOF). Pada penelitian ini ukuran granular yang dimodelkan sebesar 5×10^{-5} m.

Ukuran *mesh* model yang dijadikan model perhitungan adalah sebesar 1 mm. Konfigurasi *tetrahedral* dan *mesh* diatur dapat berotasi dengan kecepatan 4 rpm searah jarum jam. Perhitungan dilakukan secara transien dengan rentang waktu 0 sampai dengan 10 detik. Jumlah langkah yang ditetapkan sebanyak 100 langkah sehingga menghasilkan nilai simulasi setiap 0,1 detik. Pada pengujian ini nilai konvergensi yang ditetapkan sebesar 0,001 untuk memperoleh hasil iterasi yang konvergen.

5. Post Processing

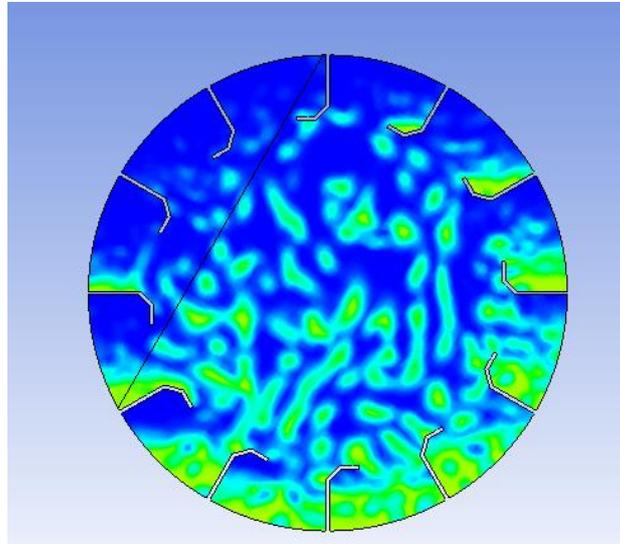
Dalam tahap ini, data berupa gradien temperatur hasil simulasi menggunakan ANSYS ditransformasi menjadi temperatur rata-rata tepung. Simulasi secara transien menghasilkan data kenaikan temperatur setiap interval waktu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

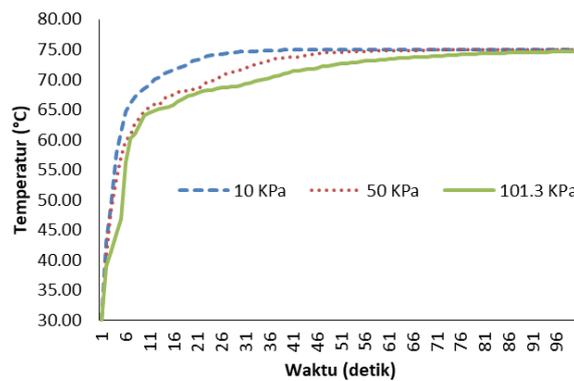
Dari hasil simulasi diperoleh gradien fraksi fasa tepung pada ruang pengeringan yang berputar seperti gambar 2. Dari gradien tersebut dapat dikonfirmasi tepung bergerak sesuai dengan gerakan sirip ketika simulasi dijalankan. Sementara kenaikan temperatur rata-rata secara transien dalam ruang pengeringan disajikan dalam grafik temperatur terhadap waktu.

Pada pengujian pertama dengan temperatur dinding 75°C (gambar 3), kenaikan temperatur tepung dari temperatur lingkungan 30°C hingga mendekati temperatur dinding membutuhkan waktu 29 detik dengan tekanan 10 Kpa. Pada tekanan 50 dan

101,3 KPa, kenaikan temperatur tepung berturut-turut membutuhkan waktu 45 dan 81 detik untuk mendekati temperatur dinding ruang pengering. Ruang pengeringan dengan temperatur 10 KPa memiliki kecepatan kenaikan temperatur produk yang paling tinggi dibandingkan pada tekanan 50 KPa dan 101,3 KPa. Grafik tersebut menyatakan bahwa tekanan ruang pengeringan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas.



Gambar 2. Gradien fraksi fasa tepung (kuning) dan fasa udara (biru) pada waktu t.

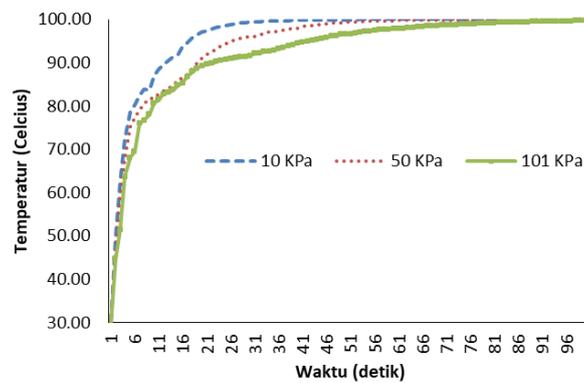


Gambar 3. Grafik kenaikan temperatur terhadap waktu pada temperatur dinding 75 °C

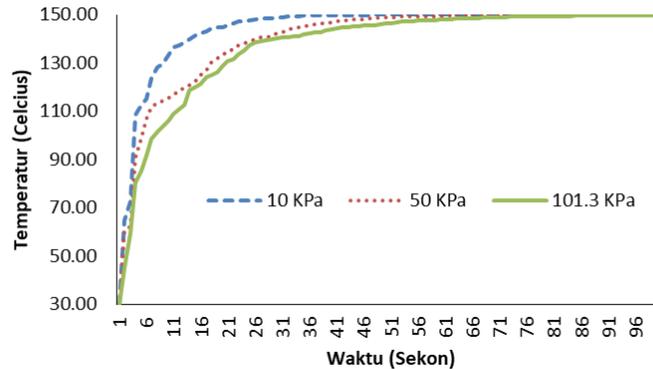
Kemudian pada temperatur dinding pengeringan 100 °C grafik laju kenaikan temperaturnya dapat dilihat pada gambar 4. Pada pengujian dengan temperatur dinding 100 °C juga menghasilkan *trend* yang sama. Semakin kecil tekanan masuk ruang pengeringan, semakin cepat pula kenaikan temperatur yang terjadi pada produk yang dikeringkan. Kenaikan temperatur produk dari temperatur lingkungan 30 °C hingga mendekati temperatur dinding 100 °C pada tekanan 10, 50, dan 101,3 KPa adalah berturut-turut 30, 48, dan 81 detik.

Terakhir, pada temperatur dinding 150 °C, kenaikan temperatur terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 5. Pengujian dengan temperatur dinding 150 °C juga menunjukkan semakin kecil tekanan ruang pengering semakin cepat menaikkan temperatur tepung hingga mendekati temperatur dinding. Pada temperatur dinding

sebesar 150 °C dan tekanan operasi 10, 50, 101,3 KPa, dibutuhkan waktu berturut-turut selama 32, 50 dan 81 detik untuk menaikkan temperatur tepung mendekati temperatur dinding. Ketiga hasil pengujian tersebut menunjukkan tidak ada perubahan fenomena laju perpindahan panas pada variasi temperatur dinding pengeringan. Rata-rata waktu yang dibutuhkan produk dari temperatur 30 °C hingga mendekati temperatur dinding yaitu 30,33 detik pada tekanan 10 KPa, 47,67 detik pada tekanan 50 KPa, dan 81 detik pada tekanan 1 atm, Seperti pada Tabel 2.



Gambar 4. Grafik kenaikan temperatur terhadap waktu pada temperatur dinding 100 °C



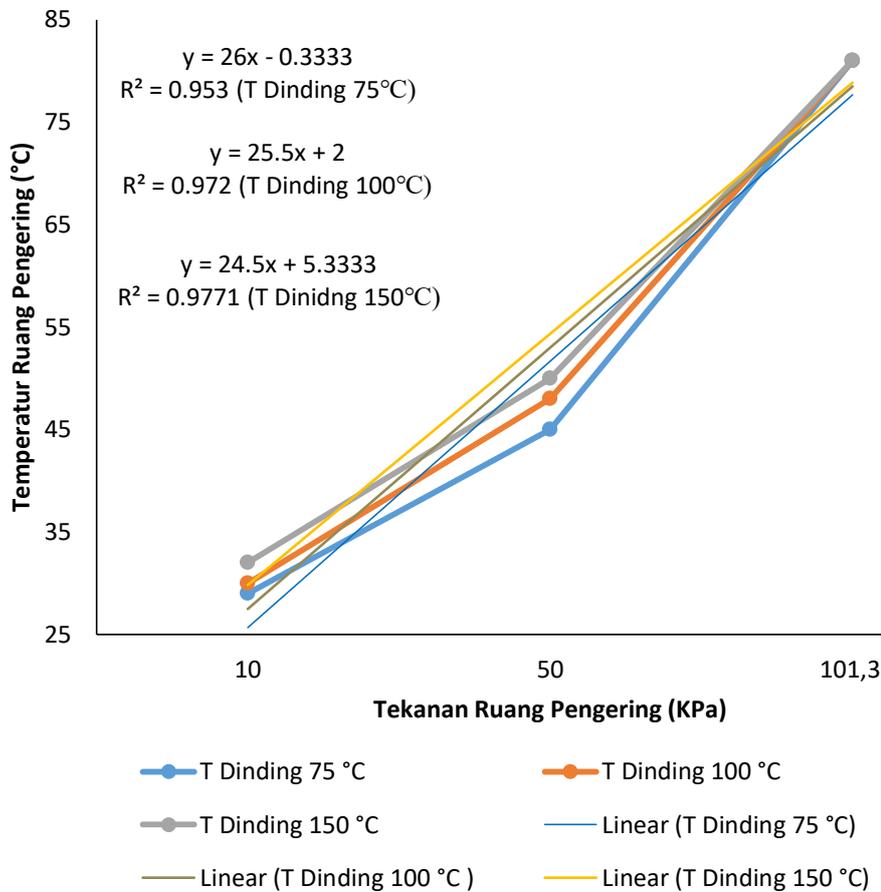
Gambar 5. Grafik kenaikan temperatur terhadap waktu pada temperatur dinding 150 °C

Tabel 2. Kecepatan perpindahan panas pada ruang pengering

Tekanan	Temperatur Dinding		
	75 °C (detik)	100 °C (detik)	150 °C (detik)
10 KPa	29	45	81
50 Kpa	30	48	81
101,3 Kpa	32	50	81

Pada table 2 di atas memperlihatkan semakin besar tekanan yang masuk ke dalam ruang pengering, semakin lambat temperatur tepung mencapai temperatur dinding.

Penurunan tekanan masuk ruang pengering berpengaruh signifikan terhadap laju kenaikan temperatur produk yang dikeringkan. Hubungan tekanan masuk ruang pengering dan laju pengeringan produk dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan tekanan masuk ruang pengering dan laju temperatur produk

Pada gambar 6 memperlihatkan semakin tinggi tekanan yang masuk ke dalam ruang pengering semakin lama waktu tepung (*specimen*) mencapai temperatur dinding. Semakin cepat spesimen mencapai temperatur dinding, semakin cepat spesimen mencapai tingkat kekeringan yang diinginkan. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya densitas udara pada tekanan yang lebih rendah. Densitas menurun sehingga, massa udara dalam ruang pengering juga akan menurun. Penurunan massa udara tersebut menyebabkan kenaikan temperatur yang lebih cepat. Penurunan massa udara berbanding terbalik dengan kenaikan temperatur pada nilai kapasitas panas yang konstan. Sehingga, lebih sedikit panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur sebesar 1°C.

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi numerik untuk memperoleh informasi karakteristik perpindahan panas pada *vacuum rotary dryer* bersirip. Hasil penelitian ini

menunjukkan bahwa pada tekanan vakum atau dibawah tekanan atmosfer dengan densitas udara yang rendah memungkinkan terjadinya konduksi pada ruang pengering. Semakin besar tekanan masuk ke dalam ruang pengering, semakin lambat laju pengeringan spesimen (tepung). Rata-rata waktu pengeringan pada tekanan 10 KPa adalah 30,33 detik, 50 KPa adalah 47,67 detik dan 101,3 KPa adalah 81 detik. Hasil ini menunjukkan operasi vakum lebih cepat dibanding dengan *rotary dryer* konvensional pada tekanan 101,3 KPa (1 atm). Sehingga, pengujian eksperimental *rotary dryer* bersip dengan sistem vakum layak dilakukan.

SANWACANA

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Lampung yang telah mendanai Penelitian ini pada tahun 2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Arruda, E. B., Façanha J. M. F., Pires L.N., Assis, A.J., & Barrozo, M.A.S. (2009). Conventional and modified rotary dryer: Comparison of performance in fertilizer drying. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 48(9), 1414–1418. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2009.07.007>
- Djamila, S., Iswahyono, & Bahariawan, A. (2021). Scale Up and Performance Test of The Rotary Vacuum Dryer Type Batch for Drying Oyster Mushrooms. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 672, 012005. doi:10.1088/1755-1315/672/1/012005
- Gaukel, V., Siebert, T., & Erle, U. (2017). Microwave Assisted Drying. *The microwave processing of foods second edition*. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier.
- Hellou, M., Lominé, F., Benhsine, I., & Roques, Y. (2018). Theoretical Description of The Motion of A Particle in Rotary Dryer. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1,103-114. <https://doi.org/10.1002/cjce.23213>
- Lakshmi, S., Chakkaravarthi, A., Subramanian, R., & Singh, V. (2007). Energy Consumption in Microwave Cooking of Rice and its Comparison with Other Domestic Appliances. *Journal of Food Engineering*, 78 (2) 715–722. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.011>
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The Freeze-Drying of Foods - The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on the Physical Properties of Food Materials. *Foods* 2020, 9, 1488. doi: 10.3390/foods9101488
- Pankaj, S. K., & Keener, K. M. A. (2017). A Review and Research Trends in Alternate Frying Technologies. *Current Opinion in Food Science*, 16, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.09.001>
- Parikh, D. M. (2015). Vacuum Drying: Basics and Application. *Chemical Engineering - New York- Mcgraw Hill Incorporated then Chemical Week Publishing Llc*.
- Revol, D., Briens, C. L., & Chabagno, J. M. (2001). The Design of Flights in Rotary Dryers. *Powder Technology*, 121 (2-3), 230–238. [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(01\)00362-X](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(01)00362-X)
- Rozanov, L. N. (2018). Vacuum Technique. CRC Press
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., Figiel, A. (2020). Comparison of Traditional and

Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, 9(9), 1261. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
Sari, M., Warji, Novita, D.M., & Tamrin. (2013). Characterizing of Onggok Flour Using Three Different Drying Methods. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 2(1), 43- 48.