

SIMULASI CFD PROSES PERPINDAHAN PANAS PADA MESIN PENGERING SOHUN KAPASITAS 20 KG DENGAN VARIASI BUKAAN DAMPER

Fauzun¹, Danang Eko Tamtomo¹, Muhammad Aulia Rahman¹, Akbar Fadhlurrohman Hidayat¹, Cahyo Wibi Yogiswara¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia, 55281

*Correspondence: akbar.fadhlurrohman@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Mesin pengering memiliki peran penting dalam mengeringkan produk makanan untuk pengemasan agar terhindar dari kontaminasi bakteri dan memastikan daya tahannya. Pengeri yang dirancang dengan baik sangat penting untuk mempertahankan kapasitas pengeringan yang memadai, terutama untuk mengatasi kondisi cuaca yang selalu berubah. Untuk mencapai tingkat pengeringan yang telah ditentukan, sejumlah parameter perlu dipertimbangkan, seperti temperatur pengeringan, kecepatan aliran udara, distribusi temperatur, dan kelembapan udara. Selanjutnya, studi komprehensif yang mempertimbangkan semua parameter ini diperlukan selama proses desain mesin pengering. Penggunaan simulasi numerik adalah solusi untuk mengurangi biaya dan waktu yang diperlukan dari pendekatan eksperimental. Penelitian ini mengusulkan satu set desain mesin pengering sohun dengan variasi bukaan *inlet* dan *outlet damper* sebesar 30%, 45%, dan 60%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bukaan tersebut mempengaruhi gradien temperatur dan laju pengeringan. Desain yang paling optimal diperoleh pada bukaan *damper* 30% dengan waktu pengeringan, gradien temperatur, dan temperatur sohun berturut-turut 23,99 menit, 2,98 °C, dan 57,9 °C.

Kata Kunci: Mesin Pengering; Sohun; Bukaan Damper; Laju Pengeringan

Abstract

Drying machines have a vital role in food products drying for packaging to avoid bacteria contamination and ensure its durability. A properly designed dryer is utterly fundamental to maintaining adequate drying capacity, especially to overcome the ever-changing weather. In aiming for the pre-described drying rate, numbers of parameters need to be considered, such as the drying temperature, airflow speed, temperature distribution, and humidity. Henceforth, a comprehensive study considering all these parameters is necessary during the dryer machine design process. Employing numerical simulation is a solution to reduce the required cost and time from the experimental approach. This study proposed a set of vermicelli dryer designs with various inlet and outlet damper openings of 30%, 45%, and 60%. The study shows that the openings affect the temperature gradient and drying rate. The most optimum design is obtained at the damper opening of 30%, whereby the drying time, temperature gradient, and vermicelli temperature of 23,99 minutes, 2,98 °C and 57,9 °C respectively.

Keywords: Drying Machine; Vermicelli; Damper Openings; Drying Rate

Received: 16 August 2023

Revised: 25 September 2024

Accepted: 04 February 2025

Published: 26 March 2025

DOI: //doi.org/10.31884/jtt.v11i1.587



Copyright: © 2025 by JTT

1. PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai jumlah penduduk sebesar 269,6 juta dengan sekitar 26,5 juta berada pada ambang kemiskinan (Badan Pusat Statistik, 2022). Salah satu program untuk mengurangi kemiskinan, yaitu Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) yang merupakan badan usaha milik desa dengan mengeksplorasi potensi lokal. Pertumbuhan ekonomi nasional di daerah pedesaan dibantu oleh BUMDes pada usaha skala kecil hingga menengah. Industri pangan merupakan salah satu sektor yang dikerjakan oleh BUMDes. Berdasarkan survei yang dilakukan pada tahun 2010, tercatat 929.910 unit industri pangan di Indonesia yang tentunya akan terus mengalami pertumbuhan (Aminah, 2013).

Berdasarkan World Instant Noodles Association (2020), konsumsi mi instan secara global mencapai 116,56 miliar porsi dan Indonesia sendiri berada di urutan ke 2 dengan konsumsi 12,6 miliar. Ekspor mi instan Indonesia tahun 2020 mengalami pertumbuhan positif (Alaydrus, 2022). Produk ekspor pasta Indonesia sendiri yaitu 88,49% mi instan, sisanya adalah pasta jenis lainnya (11,12%), sohun (0,27%) dan bihun (0,11%).

Olahan pangan yaitu mi biasanya dibuat dari bahan tepung terigu serta dapat dijadikan produk pangan alternatif pengganti nasi di Indonesia (Sihmawati dkk., 2019). Berdasarkan data dari APTINDO (2019), konsumsi terigu di Indonesia pada akhir tahun 2019 meningkat sebesar 0,65% mencapai 4,39 metrik ton. Salah satu penyebabnya adalah adanya keberagaman produk makanan olahan yang berbasis tepung terigu, seperti mi basah (Hasni dkk., 2022).

Mi sohun basah memiliki umur penyimpanan yang pendek atau mudah rusak karena bakteri dan jamur sehingga perlu dilakukan pengeringan untuk memperpanjang umur simpan mi sohun. Pengeringan merupakan proses yang penting untuk mengambil kandungan air pada makanan (Djaeni, 2018). Sohun adalah produk mi kering yang terbuat dari pati dengan bentuk yang khas. Saat ini sebagian besar proses produksi sohun di Indonesia masih menggunakan teknik tradisional dan pengeringan alami. Cara konvensional ini membutuhkan lahan yang luas untuk mengeringkan sohun dalam jumlah yang cukup untuk memenuhi permintaan pasar. Selain itu, kebutuhan waktu yang lebih lama juga menjadi kekurangan dari metode ini karena pengeringan alami sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Kondisi yang tidak menentu dapat menyebabkan proses produksi menjadi terhambat. Mesin pengering sohun diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengoptimalkan proses pengeringan. Pengeringan mi dalam kabinet pengering pada suhu yang tinggi dapat menurunkan kadar air sesuai dengan kadar air mi dalam SNI (Standar Nasional Indonesia), yaitu 7% sampai dengan 8% (Hendrasty dkk., 2019). Dengan menggunakan peralatan yang lebih terkontrol, proses produksi cenderung lebih cepat dan kuat sehingga dapat memenuhi kebutuhan sohun di Indonesia yang terus meningkat. Mesin pengering sohun merupakan alat pengering yang menggunakan heat exchanger sebagai komponen pengering utamanya. Heat exchanger memiliki peran dalam meningkatkan temperatur udara yang masuk dan

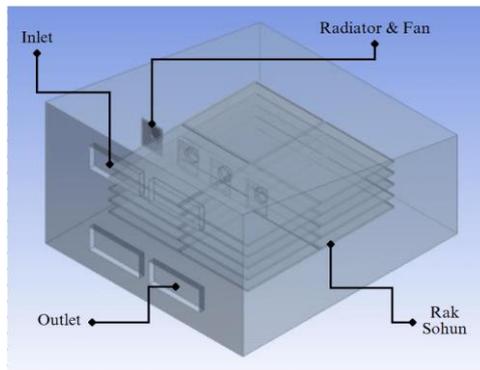
menurunkan kelembapan udara. Aliran udara yang dikondisikan ini memiliki pengaruh yang signifikan pada waktu pengeringan. Semakin banyak udara yang disirkulasikan, maka akan mempercepat waktu pengeringan (Somsai dkk., 2017). Sementara itu, semakin banyak pasokan udara luar yang masuk ke dalam mesin akan memperlambat waktu pengeringan sehingga konsumsi bahan bakar akan meningkat.

Penelitian ini bertujuan untuk mencari bukaan damper yang paling efisien dengan melihat waktu pengeringan dan homogenitas temperatur saat proses pengeringan. Waktu pengeringan dapat dilihat dari fluks panas pada permukaan sohun, sedangkan homogenitas dapat dilihat dari deviasi temperatur pada permukaan sohun. Proses identifikasi tersebut dapat dilakukan dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD). Metode simulasi memiliki kelebihan dibanding metode eksperimen, yaitu lebih mudah diterapkan dan lebih hemat biaya. Selain itu, metode ini juga dapat dilakukan dengan lebih cepat dan dapat disajikan dalam bentuk warna, vektor, dan nilai yang lebih mudah untuk dilihat (Elisa dkk., 2022). Metode simulasi CFD pada penelitian ini berdasar pada prinsip Finite Volume Method (FVM). FVM adalah sebuah metode numerik dengan mengubah persamaan diferensial parsial yang mewakili konservasi hukum pada diferensial volume menjadi persamaan aljabar diskrit (Moukalled dkk., 2016).

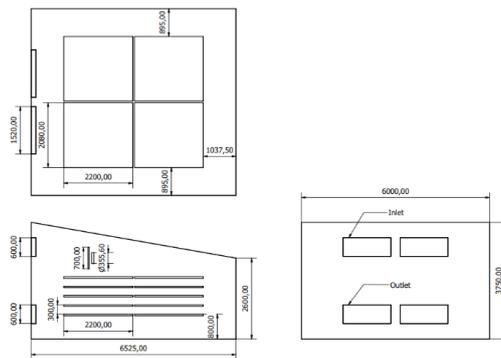
2. METODE

Model Geometri

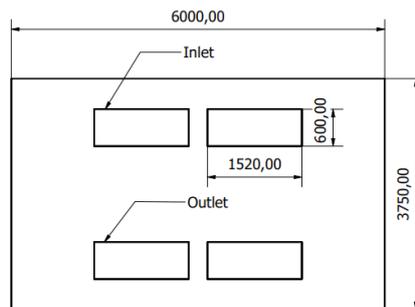
Model 3 Dimensi dari mesin pengering dibuat dengan Autodesk Inventor. Tempat penyimpanan sohun memiliki kapasitas 20 kilogram dengan dimensi 6,525 x 6 x 3,75 meter seperti yang disajikan pada Gambar 1. Sumber panas menggunakan satu set radiator dan kipas yang dipasang di dalam ruang pengering. Satu set radiator terdiri dari 4 kipas *axial* dengan diameter 14 inci dan menghasilkan putaran maksimum 1750 RPM serta kecepatan udara sebesar 8 m/s. Kipas-kipas yang dipasang pada radiator berasal dari Toyota Avanza. Radiator menghasilkan udara kering dan panas sebelum disirkulasikan ke dalam penyimpanan oleh kipas. Beban dari sistem ini adalah sohun yang diletakkan di atas rak yang terbuat dari struktur balok dan kolom *hollow stall*. Terdapat 20 rak di dalam mesin pengering yang didistribusikan dalam 4 tumpukan secara seragam. Setiap rak memiliki dimensi 2,2 x 2,08 x 0,05 meter dan disusun dalam 2 baris dengan tinggi 2,25 meter serta jarak dari tanah 0,75 meter. Udara yang dikondisikan mengalir di dalam susunan ini. Simulasi dilakukan pada 4 model mesin pengering yang berbeda dengan model pertama adalah mesin pengering bukaan normal sebagai model referensi.



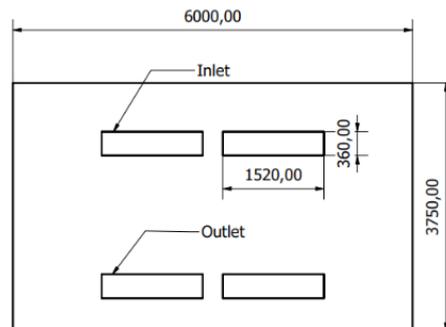
Gambar 1. Geometri 3D mesin pengering.



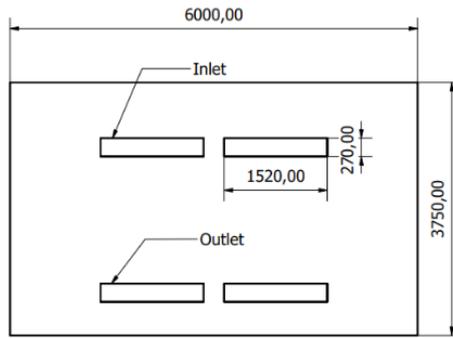
Gambar 2. Geometri dasar mesin pengering.



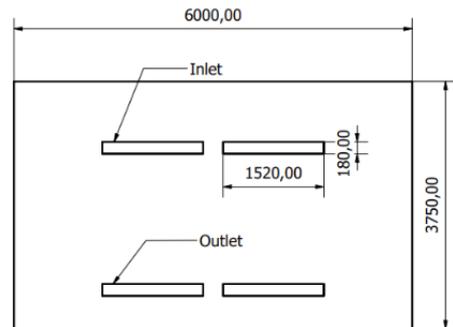
Gambar 3. Dimensi bukaan *inlet* dan *outlet* pada desain mesin pengering dengan bukaan normal.



Gambar 4. Dimensi bukaan *inlet* dan *outlet* pada desain mesin pengering dengan bukaan 60%.



Gambar 5. Dimensi bukaan *inlet* dan *outlet* pada desain mesin pengering dengan bukaan 45%.



Gambar 6. Dimensi bukaan *inlet* dan *outlet* pada desain mesin pengering dengan bukaan 30%.

Model Matematika

Fluida yang dimodelkan dalam simulasi ini menggunakan model gas ideal. Untuk memodelkan aliran turbulen, beberapa model matematika digunakan untuk merepresentasikan kekekalan massa, momentum, dan energi. Persamaan-persamaan ini diwakili oleh model Navier-Stokes (ANSYS Inc, 2016).

Persamaan konservasi massa dikenal sebagai persamaan kontinuitas dan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \tag{1}$$

Persamaan kekekalan momentum didasarkan pada persamaan Navier-Stokes yang diturunkan dari Hukum kedua Newton dan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\rho_f \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \rho_f \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_j} \tag{2}$$

Persamaan kekekalan energi diperoleh dari turunan hukum pertama termodinamika yang dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{T}_f}{\partial t} + \bar{u}_i \left(\frac{\partial \bar{T}_f}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho_f C_{pf}} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} \right) \\ = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\lambda_{eff}}{\rho_f C_{pf}} \frac{\partial \bar{T}_f}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

λ_{eff} merupakan konduktivitas termal efektif udara dan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\lambda_{eff} = \lambda_f + \frac{c_{pf} \mu_t}{Pr_t} \quad (4)$$

Menter dkk., (2021) mengembangkan model $k-\omega$ SST untuk mengombinasikan antara model $k-\omega$ di sekitar *wall* dan model $k-\varepsilon$ di area *freestream* sehingga model turbulensi menjadi lebih akurat untuk rentang rezim aliran fluida yang lebih luas. Model $k-\omega$ SST memiliki viskositas turbulensi (μ_t) yang dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut.

$$\mu_t = \frac{a_1 \rho k}{\max(a_1 \omega, SF_2)} \quad (5)$$

F_2 merupakan fungsi pencampuran dan S adalah besarnya *shear-strain*. Ketika SF_2 lebih besar dari $a_1 \omega$, hal ini mengakibatkan viskositasnya terbatas sehingga menghasilkan kesesuaian yang lebih baik dengan penggunaan aliran terpisah.

Koefisien Perpindahan Panas

Untuk menentukan koefisien perpindahan panas, setiap sohun di atas rak dianggap sebagai media berpori. Perpindahan panas antara sohun dan udara kering yang panas dicirikan oleh panas konvektif koefisien perpindahan panas konvektif (h_{cv}) yang terkait dengan fluks konvektif ($q_{noodle-air}$) ke media berpori. Koefisien perpindahan panas konvektif ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Incropera, 2011).

$$h_{cv} = \frac{q_{noodle-air}}{T_n - T_s} \quad (6)$$

Dengan T_n adalah temperatur awal sohun dan T_s adalah temperatur penyimpanan saat produk dimasukkan di dalam mesin pengering. Sementara itu, perpindahan panas konduksi di dalam produk dimodelkan sebagai padatan yang didefinisikan sesuai dengan properti produk diperoleh dari Çengel & Ghajar (2019) dan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Properti Udara dan Sohun.

Udara	
Viskositas dinamik (kg/m.s)	$1,8225 \times 10^{-5}$
Massa jenis (kg/m ³)	1,059
<i>Specific heat</i> (J/kg.K)	1007
Konduktivitas termal (W/m.K)	$28,08 \times 10^{-3}$
Mi sohun	
Massa jenis (kg/m ³)	1400
<i>Specific heat</i> (J/kg.K)	44400
Konduktivitas termal (W/m.K)	2,4864

Simulasi Numerik

Proses simulasi mesin pengering diawali dengan pengaturan setup pada ANSYS Fluent 2020 yang dilakukan untuk mendapatkan hasil distribusi temperatur dan aliran udara. Simulasi kondisi *steady* dilakukan untuk menentukan medan aliran udara dan fluks panas pada antarmuka sohun-udara. Model simulasi menggunakan metode *pressure-based* dengan jenis *absolute velocity formulation*. Untuk memperoleh simulasi dengan hasil yang baik, kriteria konvergensi terpenuhi ketika residual kurang dari 10^{-3} untuk persamaan kontinuitas. Sedangkan untuk persamaan energi, konvergensi terpenuhi ketika *residual* kurang dari 10^{-6} dari nilai awal.

Meshing

Model geometri tiga dimensi dari mesin pengering diimpor ke dalam perangkat lunak ANSYS Meshing untuk proses *discretization* dari model. Domain dari model terdiri dari 2, yaitu domain ruang pengering yang berupa fluida udara dan domain produk yang terdiri dari media berpori dengan sohun sebagai bahan penyusunnya. Model mesin pengering menghasilkan jumlah sekitar 8,1 juta *mesh*.

Setup

Simulasi dibuat dengan skema *second-order discretization* dan algoritma SIMPLE untuk *pressure-velocity coupling*. Persamaan yang digunakan, yaitu model energi dan turbulensi *k- ω SST*. Model turbulen ini digunakan karena mempunyai kelebihan berupa prediksi pemisahan aliran yang lebih akurat dibanding model RANS lainnya (ANSYS Inc, 2016).

Kondisi Batas

Kondisi *cell zone* pada domain ruang pengering diatur sebagai fluida dengan udara sebagai material yang dipilih, sedangkan untuk domain produk diatur sebagai fluida dengan menggunakan *setup* radiator untuk merepresentasikan kondisi nyata yang terdiri dari perpindahan panas dan penurunan tekanan. Pada kondisi batas internal, *radiator contact region* dan *noodle contact region* diatur sebagai radiator serta *fan contact*

region diatur sebagai *fan*. Data pengaturan radiator untuk *radiator contact region* diperoleh dari Ng dkk. (2005). Data pengaturan *noodle contact region* diperoleh dari Youngson (2014) dan pengaturan *fan* untuk *fan contact region* diperoleh dari data desain kipas ELTA (2022). Kondisi batas pada dinding mesin pengering ditetapkan sebagai dinding. Kondisi termal pada dinding mesin pengering menggunakan temperatur dengan *free stream temperature* sebesar 27°C.

Temperatur kondisi operasi pada simulasi adalah udara masuk tanpa *heater* dengan kondisi temperatur 27°C dan tekanan 101325 Pa. Kondisi batas pada saluran masuk mesin pengering menggunakan *pressure-inlet*. Kondisi batas ini digunakan karena udara masuk ke dalam ruang pengering menggunakan kipas. Mesin pengering memiliki empat buah kipas dengan diameter sebesar 0.3556 m. Kondisi batas *outlet* mesin pengering menggunakan *pressure-outlet*. Tekanan *outlet fan* evaporator diatur dengan target laju aliran massa sebesar 0,01667 kg/s. Intensitas turbulen diatur menggunakan skema *k- ω* dengan model SST dan mengaktifkan skema *viscous heating*. Sebelum menjalankan simulasi, temperatur produk diatur pada temperatur 45°C sebagai temperatur mi sohon yang masuk ke dalam mesin pengering.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Validasi

Model CFD yang telah dibuat dibandingkan dengan pendekatan analitis dari proses perpindahan panas untuk menguapkan 14 kg air pada temperatur 45°C. Pendekatan analitis ini dijabarkan dengan proses perhitungan yang terdapat pada persamaan (7) sampai (12) sebagai berikut (Incropera, 2011).

$$Re = \frac{U \times L}{\vartheta} = \frac{1 \times 4,4}{1,8225 \times 10^{-5}} \quad (7)$$

$$= 2,414 \times 10^5$$

$$Nu = 0,037 Re^{0,8} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$= 0,037 (2,414 \times 10^5)^{0,8} 0,7267^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

$$= 673,3169$$

$$h = \frac{Nu \times k}{Lc}$$

$$= \frac{673,3169 \times 0,02772}{1,1} \quad (9)$$

$$= 16,9675 W/m^2K$$

Persamaan (7) dan (8) merupakan perhitungan bilangan Reynolds dan Nusselt yang hasilnya akan digunakan untuk menghitung nilai koefisien konveksi pada persamaan (9).

$$\begin{aligned}
 H &= h \times A \times \Delta T \\
 &= 16,9675 \times 91,52 \times (60 - 45) \quad (10) \\
 &= 23,293 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$Q = m \times h_{fg} = 14 \times 2395 = 33530 \text{ kJ} \quad (11)$$

$$t = \frac{Q}{H} = \frac{33530}{23,293} = 1439,49 \text{ s} \quad (12)$$

Setelah diperoleh nilai koefisien konveksi, perhitungan dilanjutkan dengan menghitung kalor yang diserap oleh sohun pada persamaan (10). Perhitungan kalor pada proses penguapan air 14 kg dilakukan dengan persamaan (11). Selanjutnya, hasil dari energi kalor penguapan air dibagi dengan kalor yang diserap oleh sohun seperti pada persamaan (12) dan dihasilkan waktu pengeringan sebesar 1439,49 detik atau 23,99 menit.

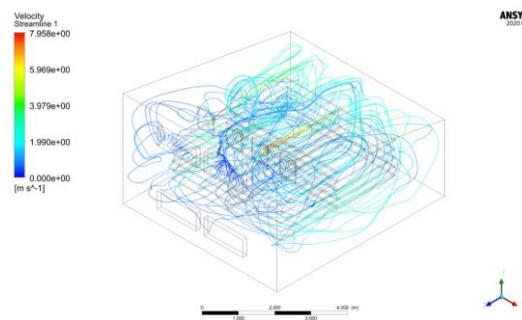
Tabel 2. Data Temperatur dan Kalor Sohun.

Nomor Rak	Heat Flux (W/m ²)	Kalor yang Diserap (kW)	Temperatur Sohun (°C)
1	210,05	0,961	53,9
2	264,957	1,212	56,2
3	211,383	0,967	53,9
4	287,274	1,315	57,1
5	213,767	0,978	54,1
6	283,065	1,295	56,9
7	248,075	1,135	55,5
8	262,789	1,203	56,1
9	304,131	1,392	57,8
10	210,812	0,965	53,9
11	252,734	1,157	55,7
12	206,174	0,943	53,7
13	250,23	1,145	55,6
14	196,952	0,901	53,3
15	252,859	1,157	55,7
16	215,415	0,986	54,1
17	253,887	1,162	55,7
18	195,461	0,894	53,2
19	275,122	1,259	56,6
20	212,496	0,972	53,9
Total	4807,633	22,000	55,1 (Rata-rata)

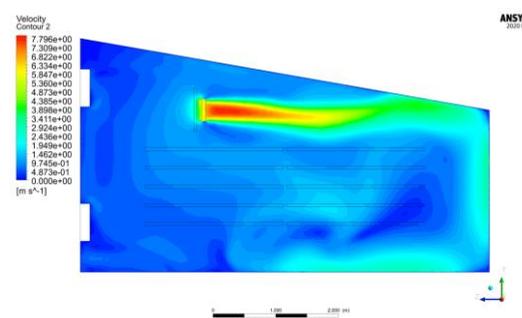
Ramadhona (2020) merancang mesin pengering mi dengan kapasitas 23,3 kg. Model CFD berdasarkan konfigurasi yang sama dibuat dan dibandingkan dengan pendekatan analitis. Berdasarkan hasil simulasi seperti yang disajikan pada Tabel 2, diperoleh data temperatur produk rata-rata adalah $55,1^{\circ}\text{C}$ dan kalor yang diserap total sebesar 22 kW. Dengan perhitungan dari pembagian nilai kalor penguapan air 14 kg dengan kalor yang diserap, maka diperoleh waktu pengeringan adalah 1524,11 detik atau sekitar 25,402 menit. Waktu pengeringan antara hasil simulasi numerik dibandingkan dengan perhitungan matematis memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu signifikan sehingga kondisi hasil simulasi dapat diterima.

Mesin Pengering dengan Bukaan Normal

Distribusi kecepatan absolut aliran udara disajikan dalam **Gambar 6**. Kecepatan minimum dan maksimum masing-masing diketahui pada nilai 0 m/s sampai 8 m/s. Udara dengan temperatur 27°C masuk melalui saluran masuk dan dihisap oleh kipas sebelum melewati radiator. Kecepatan aliran udara tertinggi di dalam penyimpanan ditemukan di *outlet* kipas, yaitu 7,6 m/s. Ketika udara melewati rak, kecepatan aliran udara menurun hingga 0 m/s di dekat *outlet* mesin pengering. Hal ini ditunjukkan pada **Gambar 6 (b)** dengan gradien warna berubah menjadi warna biru yang menunjukkan penurunan kecepatan. Kecepatan udara rata-rata di dalam mesin pengering adalah sekitar 1,1 m/s.



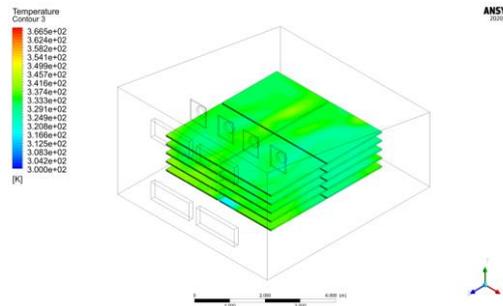
Gambar 7. Streamline kecepatan udara.



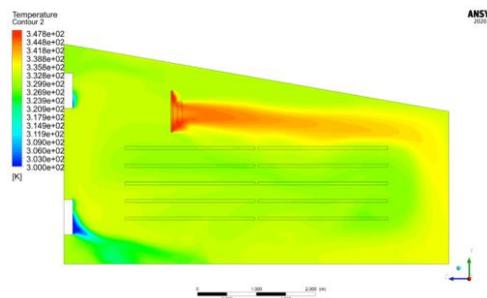
Gambar 8. Profil aliran udara pada bidang normal longitudinal pada sumbu evaporator.

Berkaitan dengan analisis terhadap distribusi temperatur, dapat diketahui bahwa temperatur minimum dan maksimum ditetapkan masing-masing pada 27°C dan 80°C .

Rak sohun yang dekat kipas dan radiator memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada yang jauh dari radiator seperti yang disajikan pada Gambar 7. Aliran udara pada rak yang lebih rendah bernilai lebih kecil sehingga menghasilkan laju perpindahan panas yang berbeda. Temperatur rata-rata dari sohun adalah $55,1^{\circ}\text{C}$, sementara temperatur maksimumnya adalah $57,8^{\circ}\text{C}$. Waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan mi di atas rak adalah sekitar 25,4 menit.



Gambar 9. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan normal tampak isometrik.

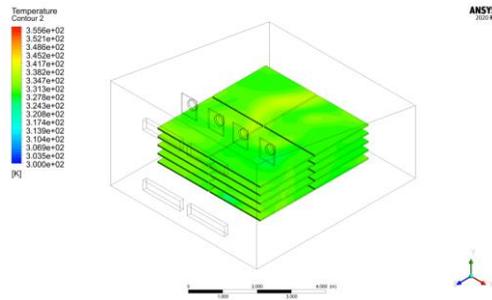


Gambar 10. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan normal tampak plan XY.

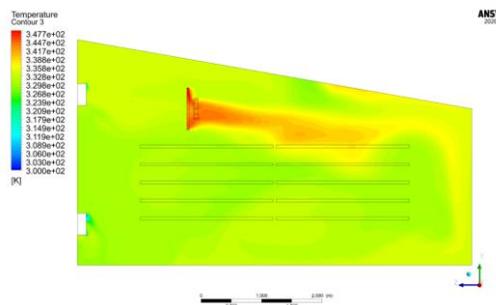
Mesin Pengering dengan Bukaan 60%, 45%, dan 30%

Hasil simulasi yang menggambarkan distribusi temperatur sohun pada mesin pengering dengan bukaan saluran masuk dan keluar 60% dapat disajikan pada **Gambar 8**, bukaan 45% pada **Gambar 9**, dan bukaan 30% pada **Gambar 10**. Semakin kecil bukaan *dampers*, semakin tinggi rata-rata temperatur permukaan sohun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bukaan normal dan 60% menunjukkan temperatur yang lebih merata, meskipun tidak menunjukkan tingkat laju pengeringan yang lebih cepat. Variasi bukaan pada saluran masuk dan saluran keluar mempengaruhi resirkulasi udara di dalam mesin pengering yang memungkinkan peningkatan laju pengeringan dan temperatur permukaan sohun. Namun, ketika udara yang disirkulasikan terlalu rendah, maka akan memperlambat laju pengeringan sohun karena kelembaban udara yang tinggi. Akan tetapi, proses simulasi ini tidak melibatkan kelembaban dalam perhitungan. Sebagai gantinya, laju pengeringan akan dilihat dari fluks panas pada permukaan sohun. Temperatur rata-rata sohun di dalam mesin pengering dengan variasi bukaan 60%, 45%, dan 30% berturut-turut adalah $57,3^{\circ}\text{C}$, $57,6^{\circ}\text{C}$, dan $57,9^{\circ}\text{C}$. Variasi bukaan memiliki rata-

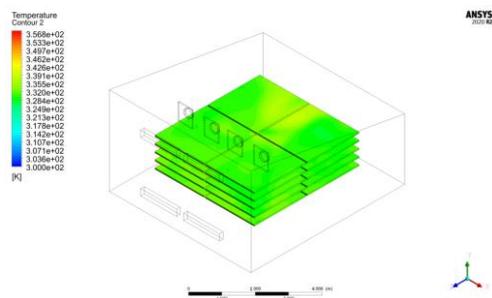
rata temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin pengering dengan bukaan normal yang dapat ditunjukkan pada Tabel 3. Semakin kecil bukaan *dampner*, maka udara menjadi jenuh dan tidak dapat menyerap air dari mi. Lebih jelasnya untuk melihat homogenitas proses pengeringan dapat dilakukan dengan melihat distribusi temperatur antara 20 tumpukan mi yang disajikan juga pada Tabel 3.



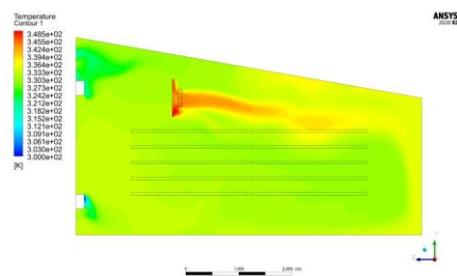
Gambar 11. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 60% tampak isometrik.



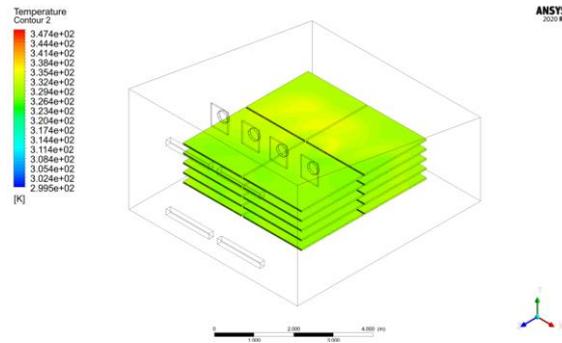
Gambar 12. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 60% tampak plan XY.



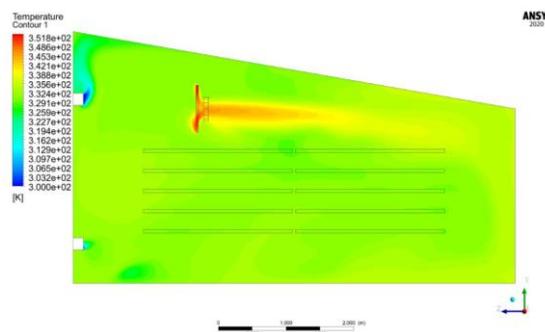
Gambar 13. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 45% tampak isometrik.



Gambar 14. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 45% tampak plan XY.



Gambar 15. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 30% tampak isometrik.



Gambar 16. Distribusi temperatur pada mesin pengering dengan bukaan 30% tampak plan XY.

Tabel 3. Temperatur Rata-rata dan Deviasi dari Sohun pada Seluruh Variasi.

Variasi	Temperatur Rata-rata Sohun (°C)	Deviasi Temperatur Sohun
Normal	55,1	1,39
Bukaan 60%	57,3	2,43
Bukaan 45%	57,6	2,65
Bukaan 30%	57,9	2,98

Tingkat Pengeringan

Pengaruh bukaan terhadap waktu pengeringan dihasilkan dari simulasi seperti yang disajikan pada Tabel 4. Kelembaban relatif menurun seiring dengan meningkatnya temperatur udara (Fuchs, 2013). Hal ini menyebabkan lebih banyak penyerapan udara, sehingga meningkatkan laju pengeringan. Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa pengeringan tercepat diperoleh pada kasus uji bukaan 30%. Hal ini merupakan hasil dari adanya lebih banyak udara yang disirkulasi ulang dan temperatur yang lebih tinggi saat ukuran bukaan berkurang. Namun, seperti yang telah dibahas sebelumnya, sirkulasi udara berlebih perlu dihindari untuk memastikan proses pengeringan yang optimal. Oleh karena itu, bukaan saluran masuk dan keluar perlu dipertimbangkan dalam menentukan desain bukaan yang digabungkan. Selain itu, variasi lainnya juga menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada desain dasar tanpa variasi bukaan.

Tabel 4. Perbandingan Waktu Pengeringan Tiap Variasi.

Variasi	Waktu Pengeringan (Menit)
Normal	25,402
Bukaan 60%	20,917
Bukaan 45%	20,418
Bukaan 30%	19,952

Heat flux Sohun di dalam Mesin Pengering

Heat flux yang diamati antara sohun dan udara sekitar mempengaruhi proses laju pengeringan. Semakin tinggi *heat flux*, semakin cepat proses pengeringan sohun. *Heat flux* dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas dan perbedaan temperatur. Dengan asumsi koefisien perpindahan panas konstan, perbedaan temperatur memegang kendali utama dalam *heat flux*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kalor yang diserap selama proses pengeringan sohun dengan variasi bukaan menunjukkan penyerapan kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan bukaan normal seperti yang disajikan pada Tabel 5. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap variasi bukaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap laju waktu pengeringan produk. Simulasi ini juga perlu memperhatikan temperatur rata-rata sohun karena akan mempengaruhi kualitas produk. Temperatur rata-rata yang disarankan untuk mi sohun di dalam mesin pengering adalah 40-60°C.

Tabel 5. *Heat Flux* dan Kalor yang Diserap Sohun pada Seluruh Variasi.

Variasi	Total <i>heat flux</i> (W/m ²)	Kalor yang diserap (kW)
Normal	4807,633	22,000
Bukaan 60%	5838,435	26,717
Bukaan 45%	5981,138	27,370
Bukaan 30%	6120,771	28,009

4. PENUTUP

Kesimpulan

Studi numerik terhadap empat model mesin pengering yang berkaitan dengan aliran udara dan distribusi temperatur telah dilakukan. Mesin pengering normal digunakan sebagai referensi untuk dibandingkan dengan berbagai bukaan saluran masuk dan keluar sebesar 60%, 45%, dan 30%. Temperatur maksimum dari data numerik dibandingkan dengan variasi tersebut. Hasilnya menunjukkan bahwa desain dengan bukaan 30% memiliki waktu pengeringan tercepat yaitu 19,95 menit, sementara 45% dan 60% dari kasus uji menunjukkan hasil yang sangat mirip. Selain itu, deviasi temperatur bernilai sekitar 2,98°C yang tidak terlalu berbeda signifikan dengan variasi lainnya. Berdasarkan pertimbangan terhadap parameter, seperti waktu pengeringan, temperatur rata-rata, dan distribusi temperatur, dapat disimpulkan bahwa mesin

pengering dengan bukaan 30% menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada desain normal dan variasi bukaan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaydrus. (2022, June 20). *Permintaan Kuat, Mie Instan Indonesia Mulai Merajai Pasar Global 2021*. Dipetik dari [https:// ekonomi.bisnis.com](https://ekonomi.bisnis.com)
- Aminah. (2013). *Faktor-Faktor Produksi pada Industri Sohun di Kabupaten*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- ANSYS Inc. (2016). *Introduction to ANSYS Fluent Lecture 7: Turbulent Modelling*.
- Asosiasi Pengusaha Terigu Indonesia, . (2019). *Data konsumsi terigu Indonesia*. Dipetik dari www.apindo.or.id.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Profil Kemiskinan di Indonesia September 2021*.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. (2019). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*. New York: McGraw-Hill Education.
- Djaeni, M. (2018). *Evaluation of Food Drying with Air Dehumidification System: A Short Review*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Elisa, E., Wiratmaja, I., & Vidiantara, A. (2022). Analisis Simulasi Pengaruh Variasi Jarak dan Material Sirip Kondensor AC Split terhadap Laju Perpindahan Panas. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 297-304.
- ELTA. (2022). *Axial Impeller 14-A150A10*. Dipetik 26 Juli 2022, dari <https://select.cfmfans.com/>
- Fuchs, J. (2013, May 2). *Drying-The Effect of Temperature on Relative Humidity*. Dipetik 29 Mei 2022, dari Clean Technol Group: <https://techblog.ctgclean.com/2013/05/drying-the-effect-of-temperature-on-relative-humidity/>
- Hasni, D., Nilda, C., & Amalia, J. (2022). Kajian Pembuatan Mie Basah Tinggi Serat dengan Substitusi Tepung Porang dan Pewarna Alami. *Jurnal Teknologi & Industri Hasil Pertanian*, 31-41.
- Hendrasty, H., Setyaningsih, S., & Sugiarto, R. (2019). Optimasi Kondisi Pengeringan Mie Singkong dengan Response Surface Methodology terhadap Karakteristik Produknya. *Agritech*, 153-159.
- Incropera, F. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Jefferson City: John Wiley & Sons Inc.
- Menter, F., Sechner, R., & Matyushenko, A. (2021). *Best Practice: RANS Turbulence Modeling in Ansys CFD*. United States of America: ANSYS Inc.
- Moukalled, F., Mangani, L., & Darwish, M. (2016). *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Ng, E., Johnson, P., & Watkins, S. (2005). An analytical study on heat transfer performance of radiators. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* (hal. 1451-1467). SAGE. doi: 10.1243/095440705X35116

- Romadhona, A. (2020). *Perancangan Mesin Pengering Sohun dengan Kapasitas 23,3 Kg*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sihmawati, R., Rosida, D., & Panjaitan, T. (2019). Evaluasi Mutu Mie Basah dengan Substitusi Tepung Porang dan Karagenan sebagai Pengenyal Alami. *Heursitic*, 1-11.
- Somsai, K., Tondee, T., & Kerdsuwan, S. (2017). Effect of air recirculation on moisture removal efficiency in combined hydrolytic-aerobic rotary bio-drying process. *MATEC Web of Conferences 108* (hal. 108). EDP Sciences.
- World Instant Noodles Association (WINA). (2020). *Demand Rankings*. Dipetik 23 Juni 2022, dari <https://instantnoodles.org/en/noodles/demand/table/>
- Youngson, A. (2014). *The Special Heat of Pasta*. Dipetik 20 Mei 2022, dari Prezi: <https://prezi.com/qpdqix1dsbjz/thespecial-heat-of-pasta/>