

# Distribusi Panas pada Mesin Pengering Biji Kakao Berbasis Simulasi CFD dengan Variasi Sudut Ventilasi dan Kemiringan Corong

Mustaza Ma'a<sup>1)\*</sup>, Rahmat Olvaries<sup>1)</sup>, Ahmad Jheant By Haqy<sup>1)</sup>, Raffi Putra Pratama<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Mesin  
Jurusan Teknologi Industri  
Politeknik Caltex Riau  
Jl. Umban Sari No.1, Rumbai,  
Pekanbaru, Riau 28265  
[mustaza@pcr.ac.id](mailto:mustaza@pcr.ac.id)

## ABSTRAK

Pengeringan biji kakao merupakan tahap pasca panen yang sangat penting dan sangat mempengaruhi kualitas akhir produk, namun proses pengeringan konvensional masih menghadapi masalah distribusi panas yang tidak merata yang mempengaruhi kualitas dan efisiensi energi. Studi ini menganalisis pengaruh variasi sudut ventilasi dan kemiringan corong terhadap distribusi suhu dan pola aliran udara dalam mesin pengering biji kakao. Metode yang digunakan adalah simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) berdasarkan analisis transfer panas dan aliran fluida dengan variasi sudut ventilasi 45°, 60°, dan 80°, serta sudut kemiringan corong 104°, 115°, dan 121°. Sudut ventilasi 45° menghasilkan distribusi temperatur paling merata akibat aliran udara panas yang menyilang dan waktu tinggal udara yang lebih panjang di dalam ruang pengering dan kemiringan corong 104° disarankan karena dapat menghasilkan aliran udara yang stabil dan distribusi suhu yang lebih seragam. Temuan ini menunjukkan bahwa mengoptimalkan geometri ventilasi dan corong secara signifikan meningkatkan kinerja termal mesin pengering, sehingga meningkatkan efisiensi proses dan kualitas pengeringan biji kakao.

**Kata kunci:** Pengeringan biji kakao; CFD; distribusi temperatur; sudut ventilasi; kemiringan corong

## ABSTRACT

*Drying cocoa beans is a crucial post-harvest stage that greatly determines the final quality of the product, but the conventional drying process still faces problems of uneven heat distribution that affect quality and energy efficiency. This study examines the effect of variations in ventilation angle and funnel slope on temperature distribution and air flow patterns in cocoa bean drying machines. The method used was Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation based on heat transfer and fluid flow analysis with ventilation angle variations of 45°, 60°, and 80° and funnel slope angles of 104°, 115°, and 121°. A 45° ventilation angle produces the most even temperature distribution due to the cross flow of hot air and longer air residence time in the drying chamber, and a 104° funnel angle is recommended because it can produce stable air flow and more uniform temperature distribution. These findings indicate that optimizing the geometry of the ventilation and funnel significantly improves the thermal performance of the drying machine, thereby increasing process efficiency and the quality of cocoa bean drying.*

**Keywords:** *Drying cocoa beans; CFD; temperature distribution; ventilation angle; funnel slope*

## 1. PENDAHULUAN

Buah kakao terdiri dari beberapa bagian, yaitu kulit, daging buah, dan biji. Berbagai produk makanan dapat dihasilkan dari buah ini, dengan coklat sebagai yang paling dominan [1]. Selain menjadi bahan utama untuk pembuatan produk coklat yang sangat disukai oleh banyak orang, biji kakao juga sangat berdampak

pada ekonomi, terutama bagi para petani dan negara produsen. Hal ini telah membuat komoditas kakao menjadi sangat penting dalam perdagangan internasional [2]. Faktor adalah kualitas biji kakao [3]. Selain itu, penting untuk memahami waktu panen yang optimal guna memperoleh biji kakao berkualitas tinggi. Buah yang dipanen sebelum mencapai kematangan atau setelah terlalu matang dapat memengaruhi cita rasa serta kualitas biji kakao, yang pada gilirannya akan berdampak pada kualitas coklat [4].

Proses pengeringan biji kakao biasanya dilakukan dengan meletakkan biji kakao di atas jalan dengan alas terpal. Penjemuran memakan waktu 5–10 jam selama tujuh hari, tetapi jika cuaca mendung atau hujan, akan memakan waktu 14–22 hari, untuk mendapatkan biji kakao yang baik kadar air yang diperlukan 7-9% [5]. Menurut laporan, ada kerugian antara 10-30% pada biji-bijian, sebagian besar disebabkan oleh proses pengeringan dan pengawetan yang tidak efektif [6]. Pengeringan merupakan salah satu tahap mendasar dalam proses penanganan pasca panen biji kakao, yang secara signifikan mempengaruhi kualitasnya, terutama dalam hal penampilan fisik, rasa, dan aroma [7].

Menurut penelitian terdahulu, berbagai metode telah digunakan untuk mengeringkan biji kakao, mulai dari pengering berbahan bakar kayu bak dan rotari di skala usaha rakyat hingga sistem otomatis berbasis mikrokontroler. Tujuan dari semua metode ini adalah untuk mengurangi kadar air biji kakao hingga 7–12% dan mempersingkat waktu pengeringan [5]. Redesain pengering kakao di Desa Wiyono menggunakan analisis termal dan simulasi CFD maupun Autodesk CFD terbukti mampu memperbaiki distribusi temperatur, menurunkan kebutuhan energi, dan mempersingkat waktu pengeringan dibanding desain awal [8]. Di sisi lain, pengembangan pengering otomatis berbasis Arduino Uno maupun ESP32 dengan sensor suhu–kelembapan memfokuskan kajian pada pengendalian kondisi proses dan perolehan kadar air akhir sesuai standar mutu, tanpa melihat detail distribusi temperatur di dalam ruang pengering [9].

Namun demikian, sebagian besar studi pengering biji kakao tersebut masih berfokus pada penentuan konfigurasi operasi (set point suhu, kelembapan, dan waktu pengeringan) atau pada redesain geometri makro ruang pengering, tanpa kajian parametrik sistematis mengenai pengaruh variasi sudut ventilasi dan kemiringan saluran udara panas terhadap keseragaman distribusi temperatur di sekitar lapisan biji [8]. Penelitian yang menggunakan CFD pada pengering kakao di Desa Wiyono menunjukkan bahwa pendekatan numerik ini efektif untuk mengevaluasi sebaran suhu dan mengoptimasi jalur aliran panas, tetapi belum secara eksplisit mengkaji efek kombinasi variasi sudut ventilasi dan kemiringan corong sebagai variabel desain utama [10].

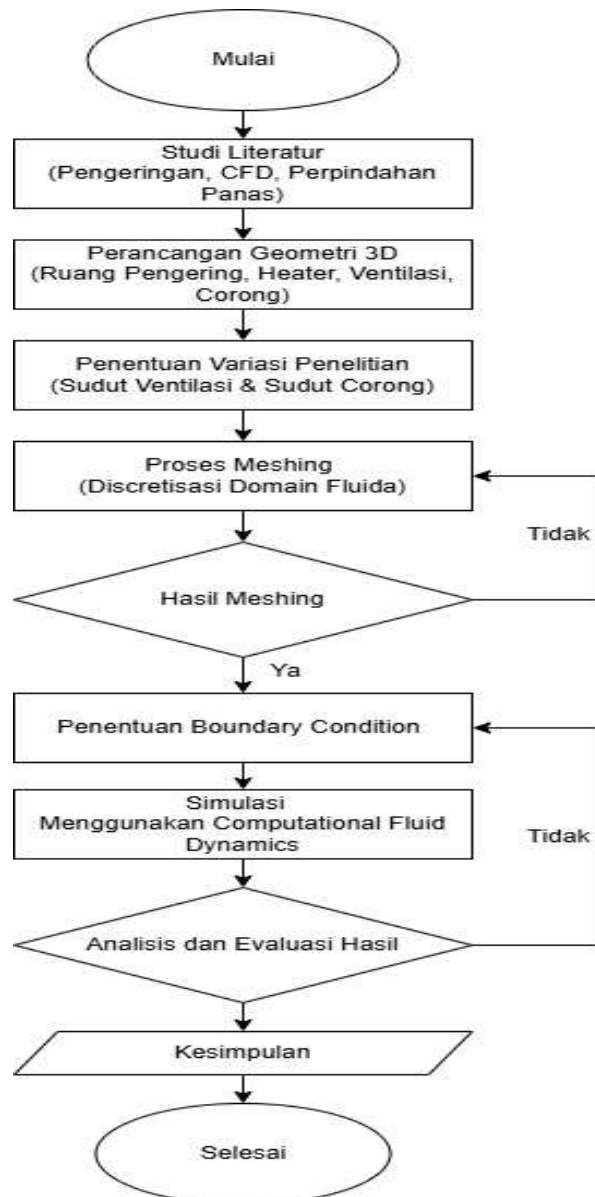
Untuk itu maka penting dilakukan penelitian variasi sudut ventilasi dan kemiringan corong terhadap distribusi panas mesin pengering biji kakao. Dari penelitian sebelumnya didapatkan celah bahwa belum ada dilakukan penelitian dengan variasi sudut ventilasi dan kemiringan corong tersebut. Untuk itulah diusulkan penelitian ini. Berdasarkan celah penelitian tersebut, studi ini diarahkan untuk meningkatkan pemerataan panas pada mesin pengering biji coklat dengan menggunakan simulasi computational fluid dynamics (CFD). Variabel yang diuji adalah sudut ventilasi dan kemiringan corong, yang divariasikan secara sistematis untuk melihat pengaruhnya. Pendekatan ini memanfaatkan prinsip analisis termal dan pemodelan CFD yang sebelumnya telah efektif digunakan pada pengering kakao dan pengering tenaga surya. Namun, penelitian ini secara khusus meninjau bagaimana kombinasi sudut ventilasi dan kemiringan corong memengaruhi pola

aliran udara, sebaran temperatur, serta area yang berpotensi menjadi zona kritis di sekitar lapisan biji. Dari sini diharapkan dapat ditentukan bentuk dan konfigurasi yang mampu menghasilkan distribusi temperatur paling merata di dalam ruang pengering.

## 2. MATERIAL DAN METODE

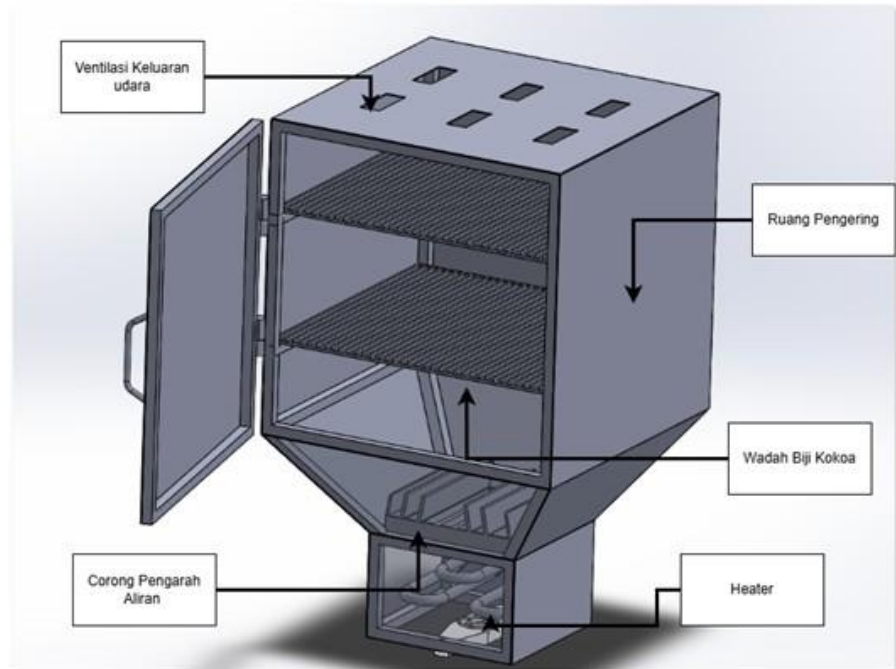
### 2.1 Diagram Alir

Diagram ini menunjukkan langkah-langkah yang digunakan dalam simulasi, termasuk pembuatan model, meshing, menentukan kondisi batas, dan menghasilkan hasilnya.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

## 2.2 Desain Alat dan Penjelasan



**Gambar 2.** Desain Mesin Pengering Biji Coklat

Mesin pengering biji coklat yang digunakan pada penelitian ini merupakan alat pengering tipe pemanas udara panas (*hot air dryer*) dengan sistem sirkulasi udara paksa. Desain alat terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu:

### 1. Ruang Pengering

Berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pengeringan biji coklat. Ruang ini dirancang tertutup untuk meminimalkan kehilangan panas dan menjaga kestabilan temperatur selama proses berlangsung.

### 2. Heater (Sumber Panas)

Heater berfungsi sebagai sumber panas yang menghasilkan udara panas dengan suhu tertentu. Udara panas ini dialirkan menuju ruang pengering melalui saluran masuk.

### 3. Corong Pengarah Aliran

Corong berfungsi mengarahkan aliran udara panas agar terdistribusi ke seluruh bagian ruang pengering. Kemiringan corong divariasikan untuk mengkaji pengaruhnya terhadap pola aliran dan pemerataan suhu.

### 4. Ventilasi Keluaran Udara

Ventilasi berfungsi sebagai jalur keluarnya udara setelah melewati ruang pengering. Sudut ventilasi divariasikan untuk mengatur arah dan kecepatan aliran udara keluar.

Desain alat dimodelkan secara tiga dimensi dan diasumsikan bersifat kaku (*rigid body*), sedangkan fluida kerja berupa udara dianggap homogen dan isotropik.

## 2.3 Persamaan Pengatur (*Governing Equations*)

Simulasi CFD pada penelitian ini didasarkan pada penyelesaian persamaan dasar mekanika fluida dan perpindahan panas. Aliran udara diasumsikan bersifat *steady-state*, *incompressible*, dan turbulen. Persamaan pengatur yang digunakan meliputi:

### 1. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas menyatakan hukum kekekalan massa, yang dirumuskan sebagai:

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

dimana  $\mathbf{v}$  adalah vektor kecepatan fluida.

## 2. Persamaan Momentum

Persamaan momentum menggambarkan keseimbangan gaya pada fluida dan diturunkan dari hukum kedua Newton:

$$\rho(\mathbf{v} \cdot \nabla)\mathbf{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{F} \quad (2)$$

dimana:

$\rho = \text{densitas fluida (kg/m}^3\text{)}$

$p = \text{tekanan (Pa)}$

$\mu = \text{viskositas dinamik (Pa} \cdot \text{s)}$

$\mathbf{F} = \text{gaya luar (N)}$

## 3. Persamaan Energi

Persamaan energi digunakan untuk menganalisis distribusi temperatur akibat perpindahan panas:

$$\rho c_p (\mathbf{v} \cdot \nabla T) = k \nabla^2 T \quad (3)$$

dimana:

$c_p = \text{kalar jenis fluida (J/kg} \cdot \text{K)}$

$T = \text{temperatur (K)}$

$k = \text{konduktivitas termal (W/m} \cdot \text{K)}$

## 2.4 Variasi Penelitian

Studi ini menerapkan berbagai variasi untuk menganalisis dampak modifikasi geometris terhadap sifat aliran dan pola distribusi panas dalam sistem. Variasi yang diterapkan meliputi penyesuaian sudut ventilasi dan sudut corong. Pada variasi sudut ventilasi, sudut diatur pada 45°, 60°, dan 80°, dengan suhu pemanas dijaga konstan pada 50°C, sementara parameter lain tetap stabil untuk memungkinkan pengamatan yang jelas terhadap efek sudut ventilasi. Adapun variasi sudut kemiringan corong, geometri corong diubah menjadi sudut 103°, 114°, dan 121° secara berturut-turut. Simulasi untuk variasi corong ini dilakukan pada suhu pemanas 80°C, dengan tujuan menilai bagaimana percepatan aliran dan pola tekanan memengaruhi keseragaman suhu di dalam ruang pengeringan.

## 2.5 Parameter yang di Analisis

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi distribusi suhu di dalam ruang pengeringan, pola aliran udara panas, dan tingkat pemerataan panas (*thermal uniformity*). Temuan dari evaluasi ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan sudut ventilasi dan konfigurasi kemiringan corong yang paling efektif, dengan tujuan meningkatkan kinerja proses pengeringan biji coklat.

# 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

## 3.1 Pembahasan Sudut Ventilasi

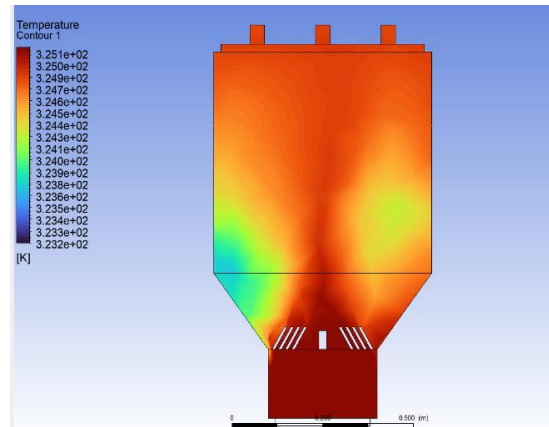
### 1. Sudut 45 derajat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada suhu heater 50 °C, distribusi temperatur di dalam ruang pengering berada pada rentang 317–323 K. Zona bersuhu rendah ditunjukkan oleh warna hijau–biru, sedangkan zona bersuhu tinggi terkonsentrasi di sekitar pemanas. Aliran udara dingin yang masuk dari sisi kanan menyerap panas dan bergerak ke arah kiri, menandakan terjadinya proses perpindahan panas secara konveksi. Distribusi temperatur di bagian tengah ruang relatif merata, yang menunjukkan pencampuran udara panas dan dingin berlangsung efektif. Kemiringan ventilasi 45° berperan dalam mengarahkan aliran

panas secara diagonal, sehingga meningkatkan pemerataan temperatur dan menghasilkan distribusi suhu yang stabil di dalam ruang pengering.

## 2. Sudut 60 Derajat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kemiringan ventilasi 60° dan suhu heater 50 °C, distribusi temperatur berada pada rentang 317–323 K. Zona bersuhu rendah ditunjukkan oleh warna hijau–biru, sedangkan suhu tertinggi terkonsentrasi di sekitar pemanas. Aliran udara dingin masuk dari sisi kanan dan menyerap panas ke arah kiri, menandakan terjadinya perpindahan panas secara konveksi. Arah aliran yang cenderung lebih vertikal akibat kemiringan 60° meningkatkan pencampuran udara, sehingga distribusi temperatur tetap stabil dan proses

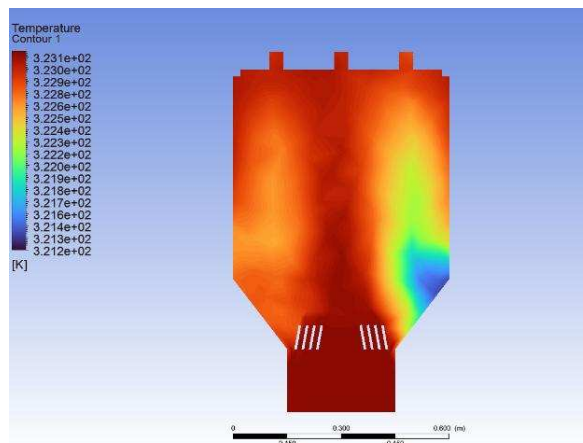


**Gambar 3.** Sudut Ventilasi 45 Derajat

pengeringan berlangsung cukup merata di dalam ruang pengering.

## 3. Sudut Ventilasi 80 Derajat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kemiringan ventilasi 80° dan suhu heater 50 °C, distribusi temperatur berada pada rentang 321–323 K. Zona bersuhu rendah ditunjukkan oleh warna biru–hijau, sedangkan suhu tertinggi terkonsentrasi di sekitar heater. Udara dingin masuk dari sisi kanan dan menyerap panas ke arah kiri, menunjukkan terjadinya perpindahan panas secara konveksi. Arah aliran yang semakin vertikal akibat kemiringan 80° menyebabkan penyebaran panas ke samping berkurang, sehingga zona panas menjadi lebih terkonsentrasi. Meskipun demikian, suhu di dalam ruang pengering tetap stabil, namun tingkat pemerataan panas lebih rendah dibandingkan kemiringan ventilasi yang lebih kecil.



**Gambar 5.** Sudut Ventilasi 80 Derajat

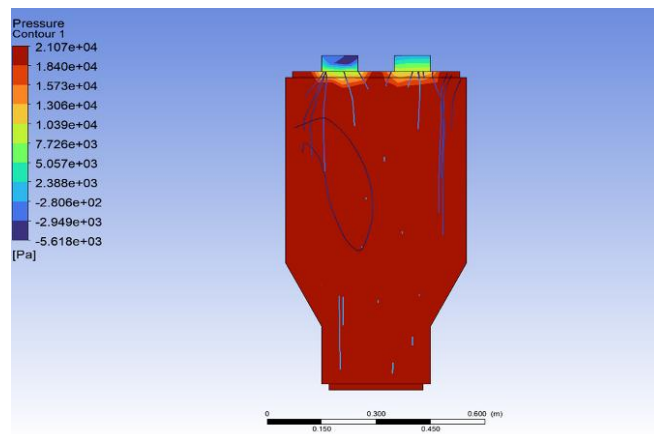
### 3.2 Variasi Corong Ruang Pengering

#### 1. Variasi Sudut Ruang Pengering 104 Derajat

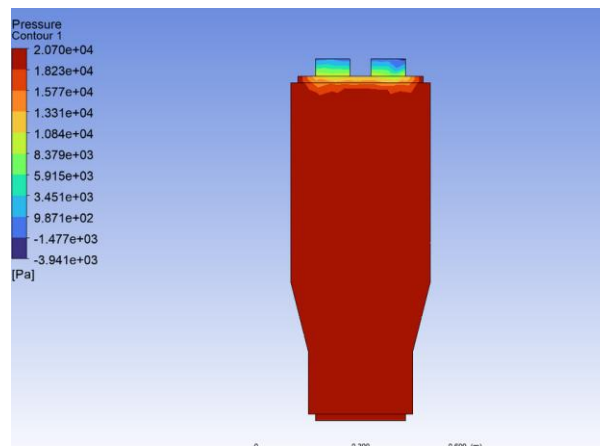
Hasil simulasi menunjukkan bahwa kemiringan corong  $104^\circ$  memengaruhi distribusi tekanan dan arah aliran udara panas di dalam ruang pengering. Tekanan maksimum sebesar  $2,07 \times 10^4$  Pa terjadi di bagian bawah corong akibat perubahan arah aliran yang signifikan, sementara tekanan minimum di area ventilasi mencapai sekitar  $-3,9 \times 10^3$  Pa, yang mengindikasikan percepatan aliran menuju saluran keluaran.

#### 2. Variasi Sudut Ruang Pengering 115 Derajat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kemiringan corong  $115^\circ$ , distribusi tekanan dan arah aliran udara panas mengalami perubahan signifikan dibandingkan sudut yang lebih kecil. Tekanan maksimum mencapai sekitar  $2,10 \times 10^4$  Pa dan tetap terpusat di bagian bawah corong, dengan zona tekanan tinggi yang lebih luas akibat peningkatan sudut kemiringan. Sementara itu, tekanan minimum menurun hingga sekitar  $-5,6 \times 10^3$  Pa di area ventilasi, yang mengindikasikan percepatan aliran udara yang lebih kuat menuju saluran keluaran.



**Gambar 6.** Sudut 104 Derajat Variasi Ruang Pengering

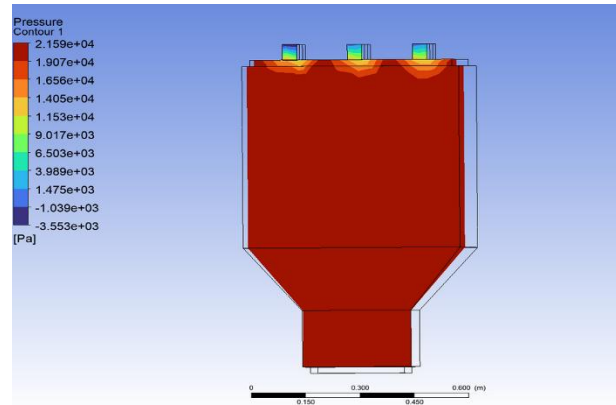


**Gambar 7.** Sudut 115 Derajat Variasi Ruang Pengering

#### 3. Variasi Sudut Ruang Pengering 121 Derajat

Pada kemiringan corong  $121^\circ$ , tekanan maksimum mencapai  $2,16 \times 10^4$  Pa, sedangkan tekanan minimum di area ventilasi turun hingga sekitar  $-3,55 \times 10^3$  Pa. Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran udara panas bergerak lebih vertikal dan

cepat menuju saluran keluaran, sehingga proses pembuangan panas berlangsung lebih efisien.



**Gambar 8.** Sudut 121 Derajat Variasi Ruang Pengering

### 3.3 Pembahasan

Distribusi temperatur pada ruang pengering dilakukan untuk menilai efektivitas penyebaran panas sebagai indikator utama kinerja proses pengeringan, distribusi suhu di dalam ruang pengering dipelajari. Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa, dengan variasi sudut ventilasi dan suhu udara masuk  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , suhu udara di dalam pengering dapat berkisar antara 317 dan 323 K ( $44$  dan  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), yang menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan dapat dipertahankan di dalam ruang tanpa mengalami penurunan yang signifikan [11]. Tingkat pemerataan panas sangat dipengaruhi oleh konfigurasi geometri ventilasi dan corong pengarah aliran, tetapi penyebaran suhu yang relatif homogen menunjukkan proses konveksi paksa yang efektif, di mana udara panas dapat berinteraksi dengan seluruh volume ruang pengering.

Pengaruh variasi sudut ventilasi terhadap distribusi temperatur dijelaskan dari pengaturan sudut ventilasi  $45^{\circ}$ . Sebaran temperatur di dalam ruang pengering tampak paling merata dibandingkan konfigurasi lainnya. Udara panas mengalir secara menyilang dari inlet menuju outlet, sehingga proses pencampuran dengan udara yang lebih dingin berlangsung lebih optimal. Dampaknya, perbedaan temperatur di dalam ruang menjadi relatif kecil, dengan selisih antara suhu tertinggi dan terendah sekitar 6 K. Saat sudut ventilasi diubah menjadi  $60^{\circ}$ , arah aliran udara panas cenderung bergerak lebih tegak. Walaupun suhu ruang masih berada pada kisaran 317–323 K, aliran udara lebih terkonsentrasi di bagian tengah ruang pengering. Kondisi ini tetap menghasilkan distribusi panas yang cukup stabil, namun tingkat pemerataannya tidak sebaik pada sudut  $45^{\circ}$ . Berbeda halnya pada sudut ventilasi  $80^{\circ}$ , di mana udara panas mengalir hampir vertikal dan lebih cepat keluar melalui ventilasi. Kecepatan aliran ini menyebabkan waktu tinggal udara panas di dalam ruang pengering menjadi lebih singkat. Akibatnya, distribusi temperatur menjadi kurang seragam. Panas cenderung menumpuk di area dekat sumber panas, sementara bagian lain menerima panas dalam jumlah yang lebih rendah, meskipun secara umum suhu rata-rata masih sesuai untuk proses pengeringan.

Analisa pola aliran udara akibat variasi sudut ventilasi diamati untuk memahami bagaimana panas bersirkulasi di dalam ruang pengering. Pada sudut ventilasi  $45^{\circ}$ , aliran udara membentuk sirkulasi yang cukup stabil, ditandai dengan pergerakan udara yang menyebar ke berbagai bagian ruang sebelum akhirnya keluar melalui ventilasi. Pola aliran seperti ini memungkinkan panas terdistribusi

secara lebih merata di seluruh ruang pengering. Berbeda dengan itu, pada sudut ventilasi yang lebih besar, aliran udara cenderung bergerak lebih lurus dan langsung menuju ventilasi keluaran. Peningkatan kecepatan aliran menyebabkan udara panas memiliki interaksi yang lebih singkat dengan lingkungan di dalam ruang pengering. Akibatnya, proses pemerataan panas menjadi kurang efektif. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan sudut ventilasi sangat berpengaruh terhadap arah dan kecepatan aliran udara panas, yang pada akhirnya menentukan kualitas distribusi panas di dalam ruang pengering.

Pengaruh kemiringan corong terhadap distribusi tekanan dikaji untuk melihat bagaimana perubahan kemiringan corong memengaruhi percepatan aliran udara panas. Pada kemiringan sekitar  $103^\circ$ , tekanan tertinggi tercatat sebesar  $2,07 \times 10^4$  Pa, sedangkan tekanan terendah berada di kisaran  $-3,9 \times 10^3$  Pa, terutama di sekitar area ventilasi. Perbedaan tekanan ini mengindikasikan adanya perubahan arah aliran yang cukup jelas pada bagian bawah corong. Saat kemiringan corong dinaikkan menjadi kurang lebih  $114^\circ$ , tekanan maksimum meningkat hingga  $2,10 \times 10^4$  Pa, sementara tekanan minimum turun menjadi sekitar  $-5,6 \times 10^3$  Pa. Area dengan tekanan tinggi tampak semakin meluas, yang menandakan bahwa aliran udara mengalami percepatan lebih besar menuju ventilasi keluaran. Pada kemiringan corong paling besar, yaitu sekitar  $121^\circ$ , tekanan maksimum mencapai  $2,16 \times 10^4$  Pa dengan tekanan minimum sekitar  $-3,55 \times 10^3$  Pa. Kondisi ini menunjukkan bahwa aliran udara panas bergerak lebih cepat dan cenderung mengarah vertikal ke atas, sehingga proses pembuangan udara panas melalui ventilasi berlangsung lebih efektif.

Pengaruh kemiringan corong terhadap pemerataan temperatur berdampak langsung pada berapa lama udara panas tinggal di dalam ruang pengering. Kemiringan yang lebih kecil memungkinkan udara panas menyebar lebih luas sebelum keluar dari ruang pengering, yang menghasilkan distribusi temperatur yang lebih merata. Sebaliknya, kemiringan yang lebih besar memungkinkan aliran udara bergerak lebih cepat menuju ventilasi. Meskipun kondisi ini membantu mengeluarkan panas dengan baik, udara panas tidak memiliki waktu yang cukup untuk menyebar dengan baik. Akibatnya, temperatur di ruang pengering cenderung lebih tidak rata.

Tingkat pemerataan suhu, pola aliran udara, dan distribusi tekanan digunakan untuk membandingkan kinerja antar simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi sudut ventilasi  $45^\circ$  menunjukkan kinerja terbaik untuk pemerataan panas, sedangkan konfigurasi sudut ventilasi  $60^\circ$  memberikan distribusi suhu yang stabil dengan arah aliran yang lebih terkontrol. Sudut sekitar  $103^\circ$  adalah sudut terbaik untuk keseimbangan pemerataan panas dan kestabilan aliran udara untuk variasi kemiringan corong. Kemiringan yang lebih tinggi meningkatkan kecepatan aliran dan pembuangan panas, tetapi mengurangi keseragaman distribusi suhu.

Hasil simulasi berimplikasi terhadap desain mesin pengering. Ini akan menunjukkan bahwa kinerja termal mesin pengering biji coklat sangat dipengaruhi oleh geometri ventilasi dan corong yang optimal. Sudut ventilasi yang terlalu besar atau kemiringan corong yang terlalu curam cenderung mempercepat aliran udara keluar tetapi mengorbankan pemerataan panas. Akibatnya, memilih konfigurasi geometri yang tepat sangat penting untuk menghasilkan proses pengeringan yang merata dan efisien.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada variasi sudut ventilasi 45°, 60°, dan 80° dengan suhu pemanas 50 °C, temperatur di dalam ruang pengering berada pada rentang 317–323 K. Sudut ventilasi 45° menghasilkan distribusi temperatur paling merata akibat aliran udara panas yang menyilang dan waktu tinggal udara yang lebih panjang di dalam ruang pengering. Peningkatan sudut ventilasi hingga 80° menyebabkan aliran udara bergerak lebih vertikal dan keluar lebih cepat melalui ventilasi, sehingga zona panas menjadi lebih terkonsentrasi dan tingkat pemerataan temperatur menurun. Analisis variasi kemiringan corong menunjukkan bahwa sudut 104° memberikan keseimbangan terbaik antara distribusi tekanan dan keseragaman temperatur. Pada sudut ini, tekanan maksimum mencapai sekitar  $2,07 \times 10^4$  Pa dan tekanan minimum sekitar  $-3,9 \times 10^3$  Pa, yang mendukung sirkulasi udara panas yang stabil. Peningkatan sudut corong hingga 115° dan 121° meningkatkan percepatan aliran, ditunjukkan oleh penurunan tekanan minimum hingga  $-5,6 \times 10^3$  Pa, namun mengurangi waktu tinggal udara panas sehingga pemerataan temperatur menjadi kurang optimal.

Secara keseluruhan, konfigurasi sudut ventilasi 45° dan kemiringan corong 104° direkomendasikan sebagai desain optimal untuk mesin pengering biji coklat karena mampu menghasilkan distribusi temperatur yang lebih seragam dan aliran udara yang stabil. Hasil penelitian ini menunjukkan dapat dipakai untuk optimasi desain sistem pengering berbasis udara panas, serta dapat menjadi acuan pengembangan mesin pengering biji coklat yang lebih efisien dan aplikatif.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Caltex Riau, atas dukungan fasilitas dan lingkungan akademik yang menunjang pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para dosen pembimbing dan pihak-pihak yang telah memberikan arahan, masukan, serta diskusi ilmiah yang konstruktif selama proses perancangan, simulasi, dan penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga tidak lupa untuk disampaikan kepada Laboratorium CAD/CAM/CAE atas kesempatan, fasilitas, dan bantuan yang diberikan selama penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ayu Sauca Sunia Widyantari, "Proses Fermentasi Terhadap pengolahan Kakao Menjadi Produk Bahan Pangan," *J. Widya Biol.*, vol. 13, no. 02, pp. 83–90, 2023.
- [2] K. Iswari, "Optimasi Pasca Panen untuk Peningkatan Kualitas Biji Kakao : Review Kasma Iswari," *J. Sains Agro*, vol. 8, no. November, pp. 159–171, 2023.
- [3] Zainuri, T. Sjah, N. Prameswari, W. Werdiningsih, and A. Tarmizi, "Good agricultural and postharvest handling practices of Cocoa pods in Lombok to meet Cocoa bean quality for the global market," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 712, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/712/1/012028.
- [4] S. J. Hu, B. Y. Kim, and M. Y. Baik, "Physicochemical properties and antioxidant capacity of raw, roasted and puffed cacao beans," *Food Chem.*,

vol. 194, pp. 1089–1094, 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.08.126.

- [5] K. D. Widnyana, K. A. Yasa, and A. A. N. G. Saptaka, “Pengering Biji Kakao,” *Repos. Politek. Negeri Bali*, pp. 1–6, 2022.
- [6] H. Kidane, I. Farkas, and J. Buzás, “Modeling airflow dynamics in solar drying chambers: a comprehensive review of CFD applications,” *Discov. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 5, 2025, doi: 10.1007/s42452-025-06894-6.
- [7] D. Lasisi and B. Engineering, “A Comparative Study of Effects of Drying Methods on Quality of Cocoa Beans,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 991–996, 2014.
- [8] A. Y. E. Risano, N. Tanti, and M. Efendi, “Perancangan Ulang Alat Pengering Biji Kakao Tipe Rotari Sederhana Pada Usaha Mandiri Di Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 150–158, 2017, doi: 10.24127/trb.v6i2.602.
- [9] E. K. Tarigan, F. H. D. D. Zalukhu, and S. C. HS, “Berbasis Arduino Uno,” *J. Ilmu Tek.*, vol. 14, pp. 55–60, 2019.
- [10] Y. Risano, H. Manalu, and D. Susila, “Analisis Thermal Dan Redesain Alat Pengering Kakao Menggunakan Computational Fluid Dynamics (Cfd) Di Usaha Mandiri Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i2.2444.
- [11] T. Hempijid and C. Kittichaikarn, “Effect of heat sink inlet and outlet flow direction on heat transfer performance,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 164, no. October 2019, p. 114375, 2020, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.114375.