

## **Analisis Numerik Geometri Inlet dan Parameter Udara pada Pengereng *Rotary Drum* Limbah Kepala Ikan**

**Mustaza Ma'a<sup>1)</sup>, Jupri Yanda Zaira<sup>2)</sup>, Ayu Mustika<sup>3)</sup>, Muhammad Rifki<sup>4)</sup>, Rizky Fahreza<sup>5)</sup>, Rahmat Olvaries<sup>6)</sup>**

*Program Studi D4 Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Caltex Riau,  
Jalan Umban Sari, No 1, Pekanbaru 28265, Indonesia<sup>1),2),3),4),5),6)</sup>  
E-Mail : mustaza@pcr.ac.id<sup>1)\*</sup>*

### **ABSTRAK**

Peningkatan volume limbah kepala ikan di Indonesia yang mencapai 30-40% dari total berat tangkapan memerlukan penanganan yang efektif untuk mencegah pembusukan akibat kadar air yang tinggi. Namun, efisiensi mesin pengereng *rotary drum* sering terkendala oleh distribusi panas yang tidak merata dan aliran udara yang kurang optimal. Penelitian ini mengevaluasi kinerja aerodinamika dan termal mesin menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan membandingkan variasi temperatur (80°C, 100°C, 120°C), diameter pipa (100 mm, 125 mm, 150 mm), dan kecepatan aliran (2 m/s, 5 m/s, 8 m/s). Hasil simulasi menunjukkan bahwa diameter pipa 125 mm menghasilkan aliran yang paling stabil, temperatur 120°C menghasilkan panas yang paling homogen, serta kecepatan 5 m/s menjadi parameter operasional yang optimal untuk menjaga *residence time* ideal. Secara keseluruhan, kombinasi parameter tersebut merupakan konfigurasi desain terbaik untuk meningkatkan efisiensi energi dan kualitas pengeringan dalam industri pengolahan limbah perikanan.

Kata kunci: CFD, Pengereng *Rotary Drum*, Limbah Ikan, Analisis Termal, Dinamika Fluida.

### **ABSTRACT**

*The increasing volume of fish head waste in Indonesia, which accounts for 30-40% of the total catch weight, necessitates effective handling to prevent decomposition due to high moisture content. However, the efficiency of rotary drum dryers is often hindered by uneven heat distribution and suboptimal airflow. This study evaluates the aerodynamic and thermal performance of the machine using Computational Fluid Dynamics (CFD) by comparing variations in temperature (80°C, 100°C, 120°C), pipe diameters (100 mm, 125 mm, 150 mm), and inlet velocities (2 m/s, 5 m/s, 8 m/s). Simulation results indicate that a 125 mm pipe diameter provides the most stable flow, a temperature of 120°C yields the most homogeneous heat distribution, and a velocity of 5 m/s is the optimal operating parameter for maintaining ideal residence time. Overall, this parameter combination represents the best design configuration to enhance energy efficiency and drying quality in the fish waste processing industry.*

Keywords: CFD, Rotary Drum Dryer, Fish Head Waste, Thermal Analysis, Fluid Dynamics.

### **1. Pendahuluan**

Indonesia merupakan negara dengan potensi produksi perikanan yang sangat besar. Seiring dengan hal tersebut, volume limbah perikanan yang dihasilkan pun turut meningkat. Studi menunjukkan bahwa limbah perikanan, termasuk kepala, tulang, dan jeroan, dapat mencapai 30-40% dari total berat

ikan hasil tangkapan (Mahargiani, 2022). Limbah kepala ikan ini memiliki nilai ekonomis yang tinggi jika dimanfaatkan kembali karena masih mengandung nutrisi penting, seperti protein yang kadarnya dapat mencapai 62% jika diolah menjadi tepung ikan (Erlambang et al., 2022). Meskipun demikian, pemanfaatan limbah ini sering terkendala oleh karakteristik fisiknya yang

*\*Corresponding author*

memiliki kadar air tinggi, sehingga sangat rentan mengalami pembusukan jika tidak segera ditangani (Aisyah et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan proses pengeringan yang cepat dan efektif sebagai langkah krusial untuk menurunkan kadar air tersebut sebelum terjadi pembusukan.

Sebagai upaya mengatasi kendala kadar air tersebut, metode pengeringan konvensional dengan sinar matahari (*sun drying*) menjadi pilihan utama yang umum digunakan oleh masyarakat. Namun, metode ini memiliki berbagai kelemahan, antara lain ketergantungan penuh pada kondisi cuaca, waktu pengeringan yang lama, serta risiko kontaminasi debu dan serangga yang dapat menurunkan higienitas produk (Swastawati, 2020). Selain itu, pengeringan tradisional yang tidak terkontrol sering menyebabkan fenomena *case hardening*, di mana bagian luar bahan sudah kering, namun bagian dalamnya masih basah (Jurnal Perikanan Unram, 2023). Oleh karena itu, penerapan teknologi mesin pengering mekanis, seperti tipe rotary drum, menjadi solusi untuk menjamin kontinuitas produksi dan mutu produk (Yuliana & Hardi, 2023).

Meskipun mesin pengering *rotary drum* untuk limbah kepala ikan telah dirancang dan dibangun, efisiensi kinerjanya sangat bergantung pada parameter termal dan karakteristik aliran fluida di dalam ruang pengering. Permasalahan yang sering timbul pada alat pengering tipe ini adalah distribusi panas yang tidak merata dan aliran udara yang tidak optimal, yang dapat menyebabkan pemborosan energi atau pengeringan yang tidak merata. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Herman (2025) berfokus pada rancang bangun fisik alat, tetapi belum menyertakan analisis numerik terkait karakteristik aliran fluida. Sementara itu, penelitian lain seperti Huda & Alexandro (2022) lebih menitikberatkan pada analisis getaran mekanis, sedangkan Syani & Hastuti (2021) berfokus pada sistem kontrol otomatis tanpa meninjau secara rinci aspek termodinamika fluida. Sebagian besar penelitian terdahulu belum memecahkan

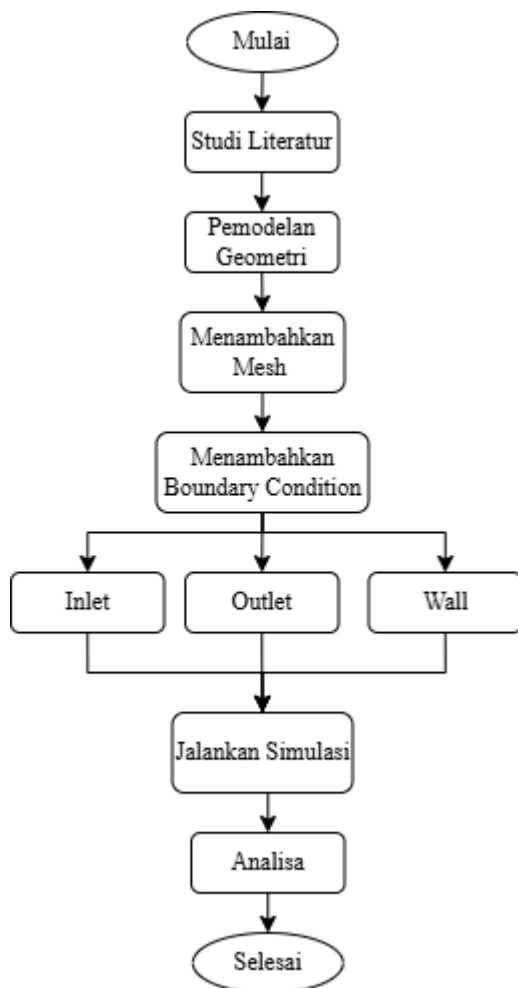
masalah terkait ketidakstabilan aliran udara peniup dan fluktuasi temperatur di dalam ruang pengering. Hal ini menunjukkan adanya celah penelitian (*gap*) mengenai optimasi aliran udara dan distribusi termal pada mesin pengering tersebut yang belum terjamah.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengevaluasi kinerja mesin tanpa perlu melakukan modifikasi fisik yang mahal secara berulang. Sebagaimana dibuktikan oleh Alkindi dkk. (2015), simulasi CFD efektif digunakan untuk memprediksi pola aliran udara panas guna meningkatkan efisiensi alat pengering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh tiga variabel utama terhadap efisiensi distribusi panas di dalam tabung pengering, yaitu: (1) variasi temperatur fluida masuk dengan rentang simulasi 80°C, 100°C, dan 120°C; (2) variasi diameter pipa penyalur dengan ukuran 100 mm, 125 mm, dan 150 mm; serta (3) variasi kecepatan aliran fluida sebesar 3 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s. Analisis komparatif ketiga variasi tersebut akan digunakan untuk menentukan konfigurasi desain yang paling optimal. Dalam menentukan konfigurasi optimal tersebut, parameter hasil yang dievaluasi meliputi waktu tinggal (*residence time*) udara panas di dalam drum dan efektivitas sirkulasi aliran. Kedua parameter ini krusial untuk dipahami karena secara langsung memengaruhi efisiensi perpindahan panas dan keseragaman pengeringan limbah kepala ikan.

Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada studi optimasi numerik yang spesifik untuk mesin pengering limbah kepala ikan dengan mengintegrasikan analisis geometri saluran masuk (*inlet*) dan parameter operasional termal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa rekomendasi parameter desain yang valid, sehingga mampu meningkatkan efisiensi energi dan keseragaman proses pengeringan di industri pengolahan limbah perikanan.

## 2. Metodologi

Metodologi penelitian ini menggunakan pendekatan studi numerik (*numerical study*) untuk menganalisis karakteristik aliran dan perpindahan panas pada mesin pengering. Guna memastikan proses penelitian berjalan secara terstruktur, rangkaian kegiatan yang meliputi tahap pemodelan geometri, diskretisasi (*meshing*), hingga analisis data disusun dalam alur kerja yang sistematis sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian (*Flowchart*)

Data geometri dan spesifikasi alat mengacu pada rancang bangun mesin pengering limbah kepala ikan yang dikembangkan oleh Herman (2025). Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak. Tahap perancangan geometri 3D dilakukan menggunakan SolidWorks, sedangkan proses diskretisasi (*meshing*) dan penyelesaian persamaan fluida dilakukan

menggunakan *Computational Fluid Dynamics*. Geometri ruang pengering dimodelkan sebagai drum silinder dengan panjang 800 mm dan diameter 10 inci. Model kemudian dibagi menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) menggunakan metode volume hingga (*Finite Volume Method*) untuk memperoleh akurasi perhitungan yang tinggi di area inlet dan dinding tabung.

Penelitian ini membandingkan kinerja mesin melalui tiga skenario simulasi utama. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variasi temperatur fluida masuk, variasi ukuran pipa penyalur udara, serta variasi kecepatan fluida atau uap panas yang masuk. Simulasi variasi temperatur dilakukan pada temperatur udara inlet sebesar 80°C, 100°C, dan 120°C. Variasi ini bertujuan untuk melihat distribusi panas yang dihasilkan serta risiko *overheating* pada material. Lalu yang kedua, variasi diameter pipa penyalur. Ukuran diameter inlet disimulasikan pada 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Variasi ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh luas penampang masuk terhadap tekanan dan pola semburan aliran udara pengering di dalam drum. Terakhir, variasi kecepatan aliran fluida: Kecepatan udara masuk divariasikan pada 2 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s. Variasi ini bertujuan untuk mengevaluasi waktu tinggal (*residence time*) udara panas dan efektivitas sirkulasi di seluruh ruang pengering.

Semua analisis dilakukan dengan menetapkan kondisi batas (*boundary conditions*) pada model CFD. Inlet ditetapkan sebagai *Velocity Inlet*. Nilai temperatur dan kecepatan disesuaikan dengan variabel penelitian di atas (misalnya pada skenario pertama diatur 80°C dengan kecepatan konstan). Dinding tabung diasumsikan adiabatik (tidak ada perpindahan panas keluar dari dinding) dengan kondisi tanpa slip (*no-slip condition*). Data hasil simulasi kemudian dianalisis untuk menentukan konfigurasi parameter terbaik yang memberikan efisiensi distribusi panas dan aliran fluida yang optimal.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini memaparkan hasil simulasi numerik yang dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mesin pengering limbah kepala ikan. Analisis dilakukan berdasarkan tiga variabel utama yang telah ditentukan dalam metodologi, yaitu variasi temperatur fluida, variasi diameter pipa penyalur, dan variasi kecepatan aliran fluida. Tujuan utama dari analisis ini adalah menentukan konfigurasi parameter desain yang paling optimal untuk menjamin efisiensi termal dan keseragaman proses pengeringan. Metode optimasi dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan studi parametrik, yaitu dengan mensimulasikan beberapa skenario variasi parameter operasional dan geometri secara komparatif untuk mengidentifikasi kombinasi terbaik berdasarkan kestabilan aliran, homogenitas temperatur, dan *residence time* yang ideal.

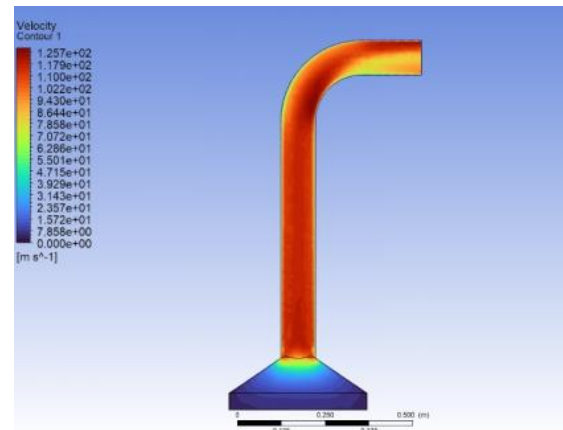
#### 3.1. Analisis Pengaruh Variasi Diameter Pipa Penyalur

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan untuk menganalisis distribusi kecepatan fluida pada pipa dengan variasi diameter 100 mm, 125 mm, dan 150 mm. Ketiga model memiliki geometri dan sudut belokan yang sama, tetapi berbeda dalam ukuran diameter jalur utama aliran. Hasil ditampilkan dalam bentuk kontur kecepatan sehingga pola aliran serta daerah percepatan maupun perlambatan dapat diamati secara visual.

Pada konfigurasi pertama dengan diameter pipa 100 mm, distribusi kecepatan menunjukkan peningkatan nilai kecepatan yang cukup tinggi di sepanjang jalur aliran. Nilai kecepatan maksimum mencapai sekitar 125 m/s, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan kedua model lainnya. Fenomena ini terjadi karena luas penampang yang lebih kecil menyebabkan percepatan fluida meningkat sesuai dengan prinsip kontinuitas.

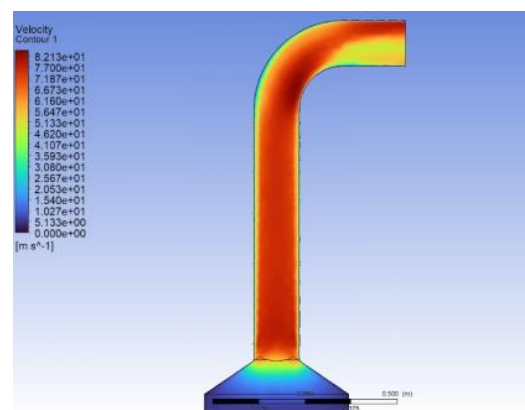
Optimasi geometri dalam penelitian ini difokuskan pada bagian pipa penyalur utama (*inlet pipe*) mesin pengering. Bagian ini

memegang peranan krusial karena geometri dan diameter pipa tersebut secara langsung menentukan karakteristik tekanan, kecepatan dan pola distribusi udara panas sebelum memasuki ruang drum utama pengeringan. Karakteristik aliran udara yang melewati pipa berdiameter 100 mm dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kontur kecepatan pada *inlet* pipa berdiameter 100 mm

Bagian belokan menunjukkan gradien kecepatan yang sangat tajam. Pada sisi luar tikungan terbentuk zona percepatan, sedangkan pada sisi dalam tampak pola perlambatan fluida. Kondisi ini berpotensi menimbulkan turbulensi lokal atau *secondary flow* yang dapat meningkatkan rugi-rugi tekanan (*pressure loss*). Dari visualisasi kontur terlihat bahwa sebagian besar aliran bersifat turbulen, dengan area stagnasi yang relatif kecil hanya pada bagian inlet yang melebar.

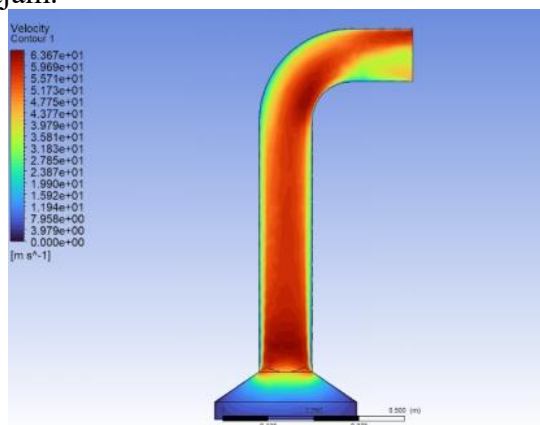


Gambar 3. Kontur kecepatan dengan inlet pipa berdiameter 125 mm

Simulasi kedua menggunakan diameter pipa 125 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pada variasi ini, kecepatan fluida menurun dibandingkan dengan model pertama, dengan nilai kecepatan tertinggi berada pada kisaran sekitar 82 m/s. Aliran terlihat lebih stabil dan distribusi kecepatan lebih merata di sepanjang pipa.

Walaupun pola percepatan di area tikungan masih terlihat, gradien kecepatan tidak sekuat pada diameter 100 mm. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan diameter dapat mengurangi efek turbulensi dan memperhalus pola aliran. Zona stagnasi pada inlet masih muncul, namun ukurannya lebih kecil dan aliran lebih cepat mencapai kestabilan. Secara keseluruhan, model ini menunjukkan keseimbangan yang lebih baik antara kecepatan aliran dan kestabilan fluida.

Pada konfigurasi ketiga dengan diameter 150 mm, kecepatan fluida mengalami penurunan signifikan, dengan nilai tertinggi sekitar 63 m/s, seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Penyebaran kecepatan terlihat jauh lebih homogen dan aliran di tikungan lebih halus tanpa perubahan gradien yang terlalu tajam.



Gambar 4. Kontur kecepatan dengan inlet pipa berdiameter 150 mm

Dengan diameter yang besar, fluida memiliki ruang yang lebih luas untuk bergerak, sehingga energi kinetik aliran berkurang. Meskipun kondisi ini dapat mengurangi turbulensi dan rugi tekanan, kecepatan aliran menjadi lebih rendah dari target desain fluida bertekanan. Area stagnasi pada bagian inlet masih terlihat, tetapi

alirannya cepat menyebar secara merata tanpa pola pusaran yang berlebihan. Perbandingan kinerja ketiga variasi diameter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi diameter

Diameter (mm)	Kecepatan Maksimum (m/s)	Turbulensi di Tikungan	Stabilitas Aliran
100	~125	Tinggi	Rendah
125	~82	Sedang	Baik
150	~63	Rendah	Sangat Baik

Berdasarkan hasil komparasi studi parametrik, diameter 125 mm menunjukkan performa aliran yang paling optimal. Dimensi ini dipilih karena mampu menjaga kecepatan udara pengering pada 82 m/s yang merupakan titik keseimbangan terbaik untuk mencegah retensi kelembapan di dalam drum sekaligus mempertahankan distribusi aliran yang stabil tanpa turbulensi berlebihan. Diameter 100 mm menghasilkan kecepatan tertinggi, namun pola aliran cenderung tidak stabil dan berisiko mengalami *pressure drop* yang lebih besar. Sebaliknya, diameter 150 mm memberikan stabilitas yang lebih baik, tetapi kecepatan fluida menjadi terlalu rendah untuk sistem yang membutuhkan efisiensi aliran. Hasil analisis ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Dzul Imran Ismail (2025) yang menyatakan bahwa untuk aplikasi yang memerlukan aliran stabil dengan kerugian energi minimal dan turbulensi, pipa berdiameter lebih besar lebih disarankan. Namun, jika kecepatan aliran yang lebih tinggi diinginkan untuk dinamika fluida tertentu, pipa berdiameter lebih kecil mungkin lebih sesuai.

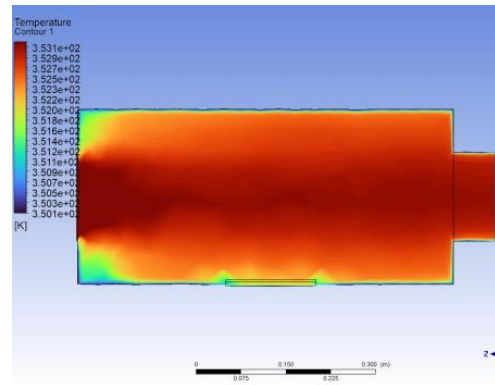
Dengan demikian, diameter 125 mm dipilih sebagai opsi paling ideal karena memberikan keseimbangan terbaik antara kecepatan aliran, efisiensi sistem, dan kestabilan fluida di dalam pipa.

### 3.2. Analisis Pengaruh Variasi Temperatur

Simulasi menganalisis distribusi temperatur udara panas dalam ruang

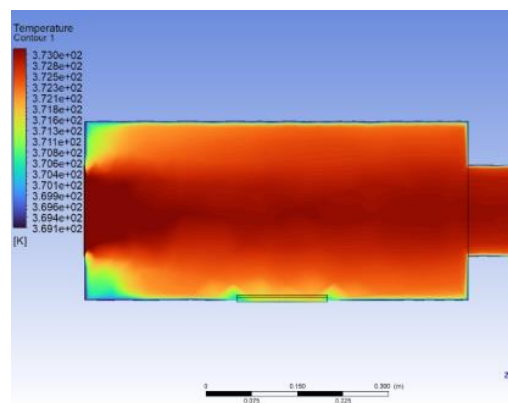
pengering pada tiga variasi temperatur inlet: 80 °C, 100 °C, dan 120 °C. Berbeda dengan analisis sebelumnya yang berfokus pada komponen pipa penyalur, domain komputasi yang ditampilkan pada subbab ini adalah ruang interior tabung pengering (*main drum cylinder*) yang bergerak secara aksial menuju saluran keluar (outlet) di sisi kanan. Fokus pengujian pada domain ini adalah untuk mengamati sebaran panas, uniformitas kontur, serta implikasinya terhadap laju evaporasi. Temuan ini disejajarkan dengan dua jurnal akses terbuka yang relevan: studi CFD–eksperimental pada pengeringan pisang (Mutabilwa & Nwaigwe, 2020) dan pemodelan distribusi temperatur–kadar air pada pengeringan jagung dengan uap panas super (Kimwa et al., 2023). Keduanya menegaskan bahwa peningkatan temperatur udara pengering memperbesar driving force termal, memperluas zona bertemperatur tinggi, dan mempercepat penurunan kadar air, dengan syarat kontrol proses untuk menjaga mutu produk

Pada variasi pertama dengan temperatur udara panas 80 °C (350,1–353,1 K), distribusi temperatur menunjukkan sebaran panas yang terbatas. Panas cenderung terkonsentrasi di bagian tengah ruang pengering, sementara sisi tabung relatif lebih dingin. Laju perpindahan panas (*heat transfer rate*) dalam analisis ini ditinjau berdasarkan perbedaan temperatur antara aliran udara pengering dan asumsi temperatur awal. Berdasarkan hukum pendinginan Newton, selisih temperatur yang kecil pada temperatur *inlet* 80 °C menghasilkan *driving force* yang rendah, sehingga perpindahan panas konvektif ke material berlangsung lambat. Kondisi ini menyebabkan proses evaporasi berlangsung lebih lambat dan tidak merata, sehingga waktu pengeringan menjadi lebih lama. Visualisasi distribusi kontur temperatur pada domain ruang pengering ini ditunjukkan pada Gambar 5. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Mutabilwa dan Nwaigwe (2020), yang melaporkan bahwa pada temperatur rendah, distribusi panas kurang homogen dan laju pengeringan menjadi tidak efisien.



Gambar 5. Kontur temperatur pada temperatur 80 °C

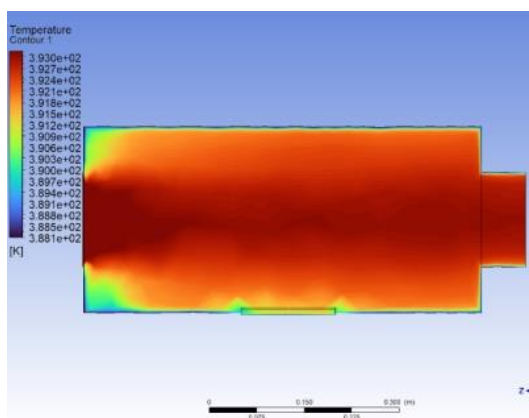
Pada konfigurasi kedua dengan temperatur udara panas 100 °C (369.1–373.0 K), distribusi temperatur mulai menunjukkan perbaikan dibandingkan dengan temperatur 80 °C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Warna kontur yang lebih hangat menyebar ke sisi tabung, menandakan bahwa panas menjangkau area yang lebih luas. Zona stagnasi berkurang dan gradien temperatur lebih halus, sehingga evaporasi air berlangsung lebih efisien dan kualitas pengeringan menjadi lebih konsisten. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kimwa et al. (2023), yang menegaskan bahwa peningkatan temperatur pengering meningkatkan jangkauan panas dan mempercepat penurunan kadar air, sekaligus mengurangi ketidakteraturan distribusi temperatur.



Gambar 6. Temperature Contour pada temperatur 100 °C

Pada variasi ketiga dengan temperatur udara panas 120 °C (388.1–393.0 K), kontur temperatur menunjukkan performa termal

yang paling optimal, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Warna merah mendominasi hampir seluruh volume ruang pengering, menandakan sebaran panas yang sangat merata. Zona dingin hampir tidak terlihat, sehingga evaporasi air berlangsung lebih cepat dan waktu pengeringan menjadi lebih singkat. Kondisi ini sangat ideal untuk sistem pengeringan intensif, meskipun kontrol temperatur tetap diperlukan agar tidak terjadi *over-drying* yang dapat menurunkan kualitas produk. Temuan ini konsisten dengan penelitian Mutabilwa dan Nwaigwe (2020) serta Kimwa et al. (2023), yang menekankan bahwa operasi pada temperatur lebih tinggi meningkatkan laju pengeringan dan keseragaman distribusi temperatur, namun harus diimbangi dengan pengendalian proses untuk menjaga mutu produk.



Gambar 7. Kontur temperatur pada temperatur 120 °C

Tabel 2 menunjukkan perbandingan kinerja tiga variasi temperatur. Berdasarkan hasil simulasi distribusi temperatur dari tiga variasi temperatur udara panas, dapat disimpulkan bahwa temperatur 120 °C merupakan pilihan yang paling optimal untuk proses pengeringan. Pada temperatur ini, kontur temperatur menunjukkan sebaran panas yang sangat merata dengan dominasi warna merah di hampir seluruh volume ruang pengering, menandakan bahwa energi termal mampu menjangkau setiap sisi tabung tanpa menyisakan zona dingin. Kondisi tersebut memungkinkan proses evaporasi air berlangsung lebih cepat dan seragam, sehingga

produk dapat mencapai kadar air yang diinginkan dalam waktu lebih singkat. Dibandingkan dengan temperatur 80 °C yang hanya menghasilkan distribusi panas terbatas di bagian tengah, serta temperatur 100 °C yang mulai menunjukkan perbaikan namun belum sepenuhnya merata, temperatur 120 °C jelas memberikan keunggulan dari sisi efisiensi termal dan kualitas distribusi panas. Temuan ini sejalan dengan penelitian Mutabilwa dan Nwaigwe (2020) serta Kimwa et al. (2023), yang menekankan bahwa peningkatan temperatur udara pengering mempercepat laju pengeringan dan meningkatkan keseragaman distribusi temperatur, meskipun tetap diperlukan pengendalian proses agar tidak terjadi *over-drying* yang dapat menurunkan mutu produk. Dengan demikian, temperatur 120 °C direkomendasikan sebagai konfigurasi terbaik karena mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan pengeringan, efisiensi energi, dan kualitas hasil akhir, selama parameter operasi dijaga dengan baik.

Tabel 2. Perbandingan kinerja tiga variasi temperatur

Temperatur udara (°C)	Rentang temperatur (K)	Sebaran panas	Catatan mutu
80	350.1-353.1 K	Terbatas	<i>Thermal driving force</i> rendah (laju perpindahan panas lambat dan tidak merata)
100	369.1-373.0 K	Cukup merata	Baik untuk kontrol mutu
120	388.1-393.0 K	Sangat merata	Sangat Baik Perlu kontrol untuk hindari <i>over-drying</i>

### 3.3. Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Fluida

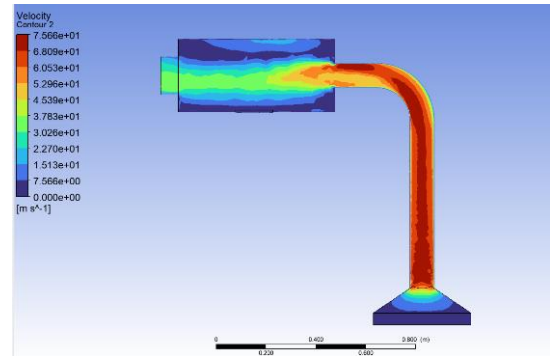
Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan untuk menganalisis distribusi kecepatan fluida di dalam ruang pengering dengan variasi kecepatan inlet sebesar 2 m/s, 5 m/s, dan 8 m/s. Ketiga model

simulasi ini menggunakan geometri ruang pengering dan diameter pipa yang sama, namun dibedakan berdasarkan besaran momentum udara yang disuplai. Variasi 2 m/s ditetapkan sebagai kondisi batas bawah (*baseline*) yang merepresentasikan kecepatan uap panas dari sumber panas konvensional seperti kompor gas atau burner atmosferik. Pengujian pada kecepatan ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sirkulasi udara saat momentum fluida berada pada titik minimum, sebagaimana pendekatan Amanlou & Zomorodian (2010) dalam menganalisis distribusi udara pada kecepatan rendah di ruang tertutup. Lalu, variasi 5 m/s dan 8 m/s digunakan untuk melihat perbedaan hasil simulasi yang ditunjukkan. Pemilihan dua variasi di atas variasi baseline juga dikarenakan kemungkinan penambahan blower hisap pada mesin yang dapat meningkatkan kecepatan fluida. Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk *kontur kecepatan* untuk memvisualisasikan pola aliran, zona percepatan, serta area stagnasi yang terbentuk akibat perbedaan kecepatan masuk.

Pada konfigurasi pertama dengan kecepatan inlet 2 m/s, distribusi aliran menunjukkan pola penyebaran yang relatif lambat saat memasuki ruang drum utama. Nilai kecepatan maksimum yang terukur pada area inlet berada pada kisaran 75 m/s. Karena momentum awal yang rendah, semburan udara (*jet*) mengalami penurunan kecepatan yang drastis begitu lepas dari pipa penyalur. Gambar 8 menunjukkan kontur kecepatan dengan kecepatan inlet sebesar 2 m/s.

Fenomena ini menyebabkan terbentuknya aliran yang kurang bertenaga untuk menjangkau seluruh volume ruang pengering. Sebagaimana prinsip mekanika fluida, kecepatan yang rendah menghasilkan bilangan Reynolds yang lebih kecil. Meskipun aliran bersifat turbulen, momentum fluida yang dihasilkan tidak cukup kuat untuk mempertahankan penetrasi aliran ke seluruh volume drum (Cengel & Ghajar, 2020). Akibatnya, pada sudut-sudut terjauh drum terlihat adanya potensi zona stagnasi (*dead zone*) yang cukup luas. Kondisi ini

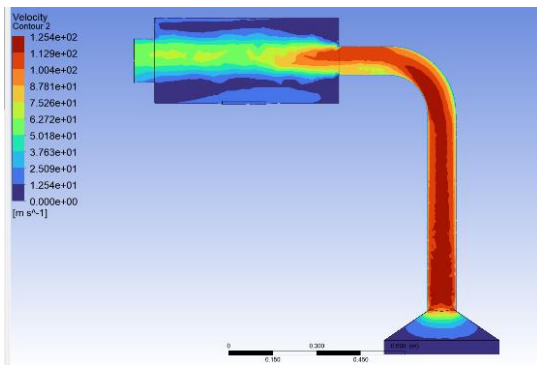
kurang menguntungkan karena dapat menyebabkan proses pengeringan menjadi tidak merata, di mana uap air dari limbah ikan tidak dapat terbawa keluar secara efektif akibat minimnya sirkulasi udara.



Gambar 8. Kontur kecepatan dengan kecepatan *inlet* sebesar 2 m/s

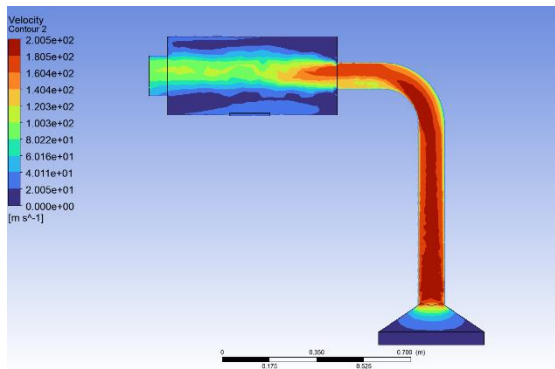
Simulasi kedua dilakukan dengan meningkatkan kecepatan inlet menjadi 5 m/s. Gambar 9 menunjukkan hasil simulasi kontur kecepatan untuk kecepatan inlet sebesar 5 m/s. Pada variasi ini, terlihat peningkatan penetrasi aliran yang signifikan dibandingkan dengan model pertama, dengan nilai kecepatan maksimum mencapai sekitar 125 m/s. Aliran udara terlihat lebih stabil, dengan profil aliran berkecepatan tinggi yang ditunjukkan oleh sebaran kontur berwarna hijau kekuningan pada kisaran 6,2 m/s hingga 7,5 m/s. Kecepatan tersebut konsisten memanjang di sepanjang koridor tengah drum sebelum menyebar secara seragam ke dinding tabung.

Pola aliran pada variasi ini menunjukkan keseimbangan yang baik. Momentum fluida cukup kuat untuk menciptakan turbulensi yang dibutuhkan guna memecah lapisan batas termal pada material, tetapi tidak terlalu ekstrem sehingga aliran udara masih memiliki waktu tinggal (*residence time*) yang cukup di dalam drum. Nilai estimasi waktu tinggal ini didapatkan melalui perhitungan rasio antara panjang ruang pengering dan kecepatan aksial rata-rata udara pengering yang dihasilkan simulasi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kecepatan pada level ini mampu meningkatkan efektivitas pencampuran (*mixing*) udara panas tanpa menimbulkan kekacauan aliran yang berlebihan.



Gambar 9. Kontur kecepatan dengan kecepatan inlet sebesar 5 m/s

Pada konfigurasi ketiga dengan kecepatan inlet 8 m/s, karakteristik aliran didominasi oleh efek jet berkecepatan tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 10. Nilai kecepatan maksimum melonjak hingga kisaran 200 m/s, yang merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan dua variasi lainnya. Semburan udara bergerak lurus dengan kuat menuju dinding seberang drum, dengan penyebaran lateral yang minim pada bagian awal.



Gambar 10. Kontur kecepatan dengan kecepatan inlet sebesar 8 m/s

Meskipun energi kinetik aliran sangat tinggi, kondisi ini justru berpotensi menimbulkan fenomena *channeling* atau jalur pintas, di mana udara panas bergerak terlalu cepat menuju outlet tanpa sempat berinteraksi secara maksimal dengan keseluruhan tumpukan limbah ikan. Kecepatan yang terlalu tinggi ini menyebabkan waktu tinggal udara di dalam drum menjadi sangat singkat (Mujumdar, 2014). Selain itu, gradien kecepatan yang sangat tajam di sekitar dinding pipa berpotensi meningkatkan rugi-rugi

tekanan (*pressure loss*) yang akan membebani kinerja *blower*.

Tabel 3. Perbandingan kinerja tiga variasi kecepatan inlet

Kecepatan Inlet (m/s)	Pola Aliran & Turbulensi	Stabilitas & Waktu Tinggal (Residence Time)	Kesimpulan Kinerja
2 m/s	Lemah, banyak zona stagnasi	Waktu tinggal tinggi, sirkulasi udara(tidak merata)	Kurang Efektif
5 m/s	Stabil, penetrasi aliran seragam	Optimal	Seimbang stabilitas aliran dan waktu kontak termal
8 m/s	Sangat tinggi, efek jet kuat	Rendah, udara lewat terlalu cepat	Tidak Efisien

Tabel 3 menunjukkan perbandingan kinerja ketiga variasi kecepatan inlet. Berdasarkan studi parametrik komparatif pada Tabel 3, variasi kecepatan 5 m/s menunjukkan kinerja aliran yang paling optimal. Penentuan kondisi optimal ini didasarkan pada pertimbangan keseimbangan (*trade-off*) antara profil distribusi kecepatan dan waktu tinggal (*residence time*). Kecepatan 2 m/s dinilai tidak memenuhi kriteria karena memicu stagnasi aliran, sedangkan kecepatan 8 m/s dihindari karena menyebabkan aliran terpusat (*channelling*) yang memperpendek waktu kontak termal. Oleh karena itu, kecepatan 5 m/s dipilih karena mampu mendistribusikan udara panas secara merata ke seluruh ruang drum dengan *residence time* yang lebih memadai untuk proses evaporasi.

Variasi 2 m/s dinilai kurang efektif karena alirannya terlalu lemah untuk mencegah pembentukan zona mati, sedangkan variasi 8 m/s, meskipun memiliki turbulensi tinggi, cenderung kurang efisien karena waktu kontak antara udara panas dan material menjadi terlalu singkat. Dengan demikian, kecepatan 5 m/s dipilih sebagai parameter

desain yang paling ideal karena memberikan keseimbangan terbaik antara efisiensi perpindahan panas, distribusi aliran, dan waktu operasional pengeringan.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisis numerik menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada mesin pengering limbah kepala ikan, diperoleh bahwa geometri pipa penyalur, temperatur inlet, dan kecepatan aliran udara berpengaruh signifikan terhadap kinerja termal dan aliran fluida. Diameter pipa 125 mm menunjukkan performa aliran yang paling baik, temperatur inlet 120°C memberikan distribusi panas yang paling merata, dan kecepatan aliran 5 m/s menghasilkan keseimbangan optimal antara distribusi panas dan waktu tinggal aliran. Secara keseluruhan, kombinasi parameter tersebut direkomendasikan sebagai konfigurasi desain terbaik untuk meningkatkan efisiensi energi dan kualitas proses pengeringan.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dan penyempurnaan desain mesin pengering ini, disarankan untuk melakukan validasi eksperimental dengan membuat purwarupa (prototype) fisik berdasarkan parameter optimal yang ditemukan (diameter 125 mm, 120°C, 5 m/s) guna memverifikasi hasil simulasi numerik dengan data riil di lapangan. Lalu mengembangkan simulasi yang lebih kompleks dengan melibatkan pemodelan *multiphase* (fasa jamak) untuk menganalisis perpindahan massa (pengurangan kadar air) dari limbah ikan secara spesifik, bukan hanya aliran udara panasnya. Serta menerapkan sistem kontrol otomatis berbasis PID atau mikrokontroler untuk menjaga kestabilan temperatur pada 120°C, mengingat fluktuasi temperatur yang berlebihan dapat merusak kandungan protein dalam tepung ikan.

#### Daftar Pustaka

Alkindi, M., Setyawan, E. Y., & Sutjahjo, D. H. (2018). Analisis Laju Aliran Udara Pada Alat Pengering Kerupuk Kempang Tipe Rak Menggunakan *Computational*

*Fluid Dynamics* (CFD). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), 1-8.

Amanlou, Y., & Zomorodian, A. (2010). Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer. *Journal of Food Engineering*, 101(1), 8-15.

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2020). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.

Defraeye, T. (2014). Advanced computational modelling for drying processes – A review. *Applied Energy*, 131, 323-344.

Erlambang, V., Adeyani, N. P., Broto, R. T. W., & Arifan, F. (2022). Edukasi Pemanfaatan Limbah Perikanan Pada Pembuatan Tepung Ikan di Desa Karya Makmur. *Inisiatif: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 67-70.

Herman. (2025). *Rancang Bangun Mesin Pengering Limbah Kepala Ikan Tipe Rotary Drum*. Laporan Tugas Akhir. Pekanbaru: Politeknik Caltex Riau.

Huda, F., & Alexandro, G. (2022). Analisis Getaran untuk Mendeteksi Kerusakan Bearing pada Drum Cylinder Dryer 1 Area Paper Machine-5. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 1-9.

Jangam, S. V., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2010). *Drying of Foods, Vegetables and Fruits*. Singapore: National University of Singapore.

Kimwa, S., et al. (2023). Computational modeling of spatial variation in moisture content and temperature distribution in corn at different superheated steam temperatures. *Cogent Engineering*, 10(1), 2216864.

Mahargiani, M., & Yulistiani, R. (2022). Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan Tenggiri Sebagai Tepung Sumber Kalsium Dengan Metode Basa. *Jurnal Teknologi Pangan*, 14(1), 12-20.

Mujumdar, A. S. (Ed.). (2014). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). Boca Raton: CRC Press.

Mutabilwa, P. X., & Nwaigwe, K. N. (2020). Experimental evaluation of drying of banana using a double-pass solar

collector (DPSC) and theoretical analysis using a CFD model. *Cogent Engineering*, 7(1), 1789363.

- Swastawati, F., Boesono, H., & Susanto, E. (2020). Penerapan Teknologi Asap Cair pada Pengolahan Ikan Asap di Sentra Pengasapan Ikan. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 9(1), 1-6.
- Syani, I., & Hastuti, H. (2021). Rancang Bangun Alat Pengering Ikan Teri Mandiri Otomatis Berbasis Arduino Uno. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 2(2), 136-141.
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method* (2nd ed.). Pearson Education.
- Yuliana, P., & Hardi, S. (2023). Performansi Mesin Pengering Tipe Rotary Dryer pada Pengeringan Jagung. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 12(1), 45-54.