

Desain Dan Simulasi Distribusi Panas Pada Oven Untuk Proses *Powder coating* Menggunakan Ansys Fluent

Mohammad Febri Nurrohman^{1,*}, Gerald Adityo Pohan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Powder coating
Distribusi Panas
Desain Oven
Ansys Fluent

ABSTRAK

Proses *powder coating* membutuhkan suhu tinggi yang merata agar lapisan cat dapat melekat secara optimal dan tahan lama. Ketidakseimbangan distribusi panas dalam oven seringkali menyebabkan cacat pada permukaan seperti gelembung atau pengelupasan. Penelitian ini merancang dan mensimulasikan oven *powder coating* menggunakan *Software Autodesk Inventor* untuk pembuatan model 3D dan *Ansys Fluent* untuk menganalisis distribusi panas. Model oven berukuran 100 cm × 100 cm × 100 cm diuji dengan lima variasi posisi pemanas, yaitu di bagian belakang, samping kiri, samping kanan, bawah, dan atas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan pemanas di bagian belakang menghasilkan distribusi panas paling merata dengan suhu rata-rata 186,995°C dan selisih temperatur hanya 0,420°C. Sementara itu, pemanas di samping kiri dan kanan menunjukkan ketidakseimbangan distribusi panas yang signifikan dengan selisih mencapai 1,655°C. Penelitian ini membuktikan bahwa posisi pemanas berperan penting dalam menciptakan pemanasan yang efisien dan merata. Penerapan simulasi CFD melalui *Ansys Fluent* dapat mengoptimalkan desain oven dan meningkatkan kualitas proses *powder coating* di industri manufaktur.

* Corresponding author:

Mohammad Febri Nurrohman (email: febrimohammad07@gmail.com)

Diterima: 11 Agustus 2025

Disetujui: 12 September 2025

Dipublikasikan: 11 November 2025

1 Pendahuluan

Powder coating merupakan metode finishing yang banyak digunakan dalam industri manufaktur untuk memberikan perlindungan dan nilai estetika pada produk logam. Teknik ini melibatkan aplikasi cat bubuk pada permukaan objek yang kemudian dipanaskan dalam oven untuk membentuk lapisan coating yang tahan lama. Keberhasilan proses *powder coating* sangat bergantung pada desain oven yang digunakan, karena pengaturan suhu dan distribusi panas yang merata merupakan faktor kritis untuk mencapai hasil optimal [1][2].

Desain oven yang efektif tidak hanya mempengaruhi kualitas lapisan *powder coating*, tetapi juga berpengaruh pada efisiensi energi dan waktu siklus produksi. Dalam lingkungan industri yang kompetitif, pengurangan waktu siklus dan konsumsi energi menjadi elemen penting untuk meningkatkan produktivitas sambil mengurangi biaya operasional [3]. Oleh karena itu, analisis dan simulasi desain oven yang ada menjadi langkah penting untuk menemukan solusi yang lebih baik.

Ansys Fluent merupakan *Software* simulasi yang sering digunakan untuk menganalisis aliran fluida serta transfer panas. Melalui *Ansys Fluent*, para insinyur dapat memodelkan dan mengevaluasi berbagai parameter desain oven, salah satunya distribusi panas, serta efisiensi pemanasan di dalam ruangan [4]. Simulasi ini memungkinkan identifikasi potensi masalah dalam rancangan oven sebelum fase implementasi fisik, sehingga dapat meminimalisir risiko kesalahan serta biaya yang tidak perlu.

Salah satu tantangan utama dalam proses *powder coating* adalah memastikan bahwa semua bagian objek menerima perlakuan panas yang merata. Ketidakteraturan suhu dapat menyebabkan cacat coating seperti gelembung atau pengelupasan [5]. Dengan demikian, merancang oven yang mampu memastikan distribusi suhu optimal menjadi sangat penting.

Analisis perpindahan panas diperlukan untuk mencegah konsentrasi panas pada area atau sudut tertentu ruang pengeringan yang dapat menyebabkan overheating pada beberapa area sementara area lain tetap pada suhu rendah (distribusi panas tidak merata) [1]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, oven *powder coating* umumnya dirancang untuk mencapai suhu operasi sekitar 180°C, namun masih terbatas analisis mendalam tentang distribusi suhu pada berbagai desain oven pada suhu tersebut.

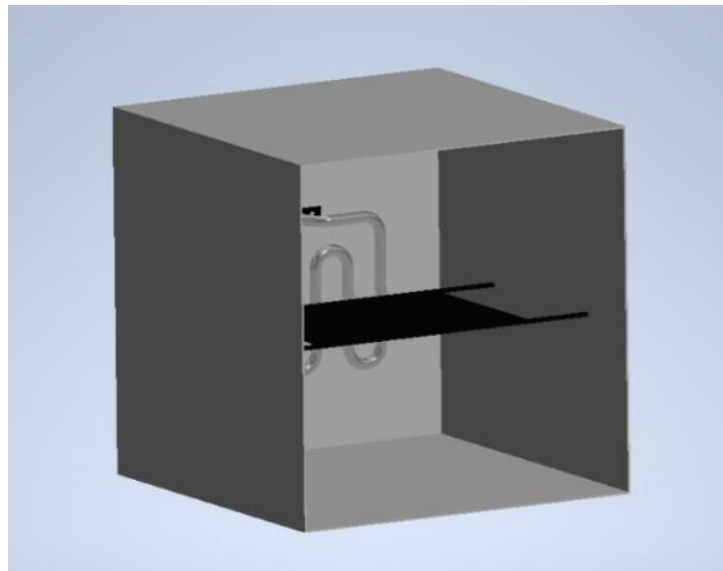
Berdasarkan penelitian sebelumnya dilakukan mengenai simulasi distribusi panas dalam oven menggunakan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) dan melakukan simulasi CFD distribusi temperatur pada pengering biji kopi dengan sistem konveksi paksa, menunjukkan bahwa desain sistem konveksi yang tepat dapat mencapai distribusi temperatur yang lebih seragam [6].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan distribusi panas pada oven *powder coating* menggunakan *Ansys Fluent* guna mengoptimalkan proses pemanasan dan meningkatkan kualitas coating. Fokus penelitian adalah menganalisis pengaruh posisi pemanas yang berbeda terhadap keseragaman suhu di dalam ruang oven.

2 Metode Penelitian

2.1 Model Geometri

Desain oven menggunakan *Autodesk inventor* dengan ukuran 100cm x 100cm x 100cm berbentuk kubus. Oven menggunakan plat baja dan dilengkapi dengan elemen pemanas. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 1 Desain oven

Desain geometri untuk oven *powder coating* ini memiliki bentuk dasar balok persegi, rancangan ini memenuhi kebutuhan dalam proses *powder coating*, yang mencakup pemanasan agar serbuk cat dapat melekat dan mencair dengan merata pada permukaan objek kerja. Ruang di dalam oven terdapat rak horizontal yang berfungsi sebagai peletakan benda kerja dan membantu penyebaran panas yang merata.

Elemen pemanas dirancang di seluruh bagian sisi oven belakang, kiri, kanan, atas, dan bawah dengan bentuk yang menyerupai huruf “U” atau “Ω”. Penempatan ini dilakukan untuk memastikan penyebaran panas mana yang lebih merata. Dinding oven dibuat dengan bahan isolasi guna mempertahankan stabilitas suhu dan efisiensi energi sepanjang proses pemanasan.

2.2 Simulasi CFD

Simulasi CFD ini menggunakan *Ansys Fluent* untuk melihat persebaran panas di dalam ruang oven yang dihasilkan oleh elemen pemanas. Berikut model simulasi dan batas kondisi yang digunakan untuk simulasi CFD dapat dilihat sebagai berikut :

a. Model simulasi

Simulasi CFD dilakukan menggunakan *Ansys Fluent* dengan pengaturan model sebagai berikut :

Tabel 1 Model simulasi

Model	Jenis kondisi
Jenis analisis	3D Steady-State
Model aliran	Laminar
Model perpindahan panas	<i>Energy equation</i> aktif
Model radiasi	<i>Surface-to-Surface (S2S)</i>

b. Kondisi Batas

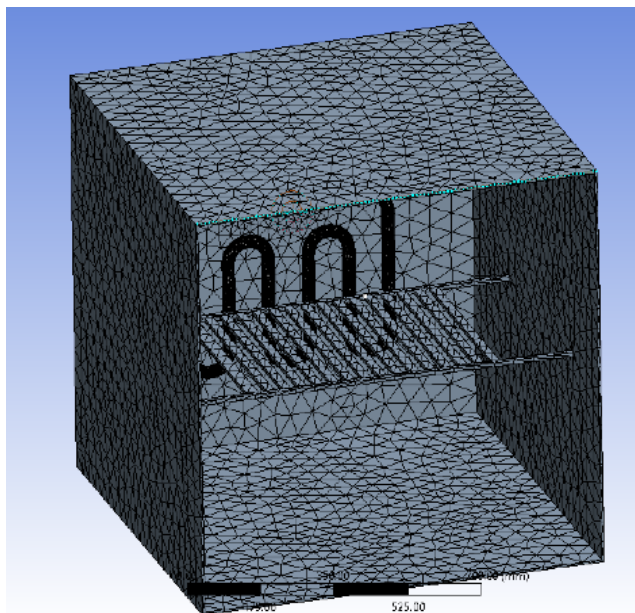
Kondisi batas ini adalah data yang disajikan pada batas domain simulasi untuk menetapkan cara fluida atau struktur berhubungan dengan lingkungan sekitarnya. Kondisi simulasi yang diterapkan dalam simulasi CFD ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2 Kondisi batas

Komponen	Tipe Kondisi	Kondisi Termal	Nilai
Dinding Oven (Luar)	<i>Wall</i>	Suhu Konstan	25°C
Dinding Oven (Dalam)	<i>Wall</i>	<i>Coupled</i>	-
Elemen Pemanas	<i>Wall</i>	Suhu Konstan	100°C – 200°C
Domain Udara	<i>Fluid</i>	-	Ideal Gas

c. *Meshing*

Pada penelitian ini menggunakan mesh dengan ukuran 10mm menghasilkan 41514 node dan 176579 elemen dan Berdasarkan hasil *Grid Independence Study*, *Mesh* sedang dengan 176.579 elemen dipilih karena perubahan temperatur rata-rata hanya 0,08% dibanding *Mesh* halus dan akurasi yang memadai untuk analisa Teknik.



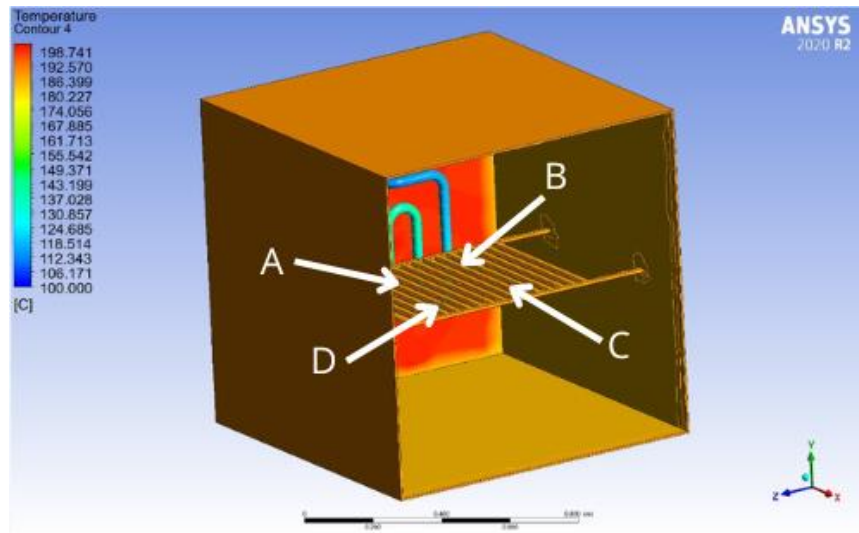
Gambar 2 *Meshing*

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Data hasil simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan fitur *Ansys Fluent* pada *Software Ansys Workbench* dengan bertujuan untuk mengetahui distribusi panas di dalam ruang oven yang menggunakan pemanas *Heater* dengan suhu yang bisa mencapai 200°C. Hasil dari simulasi masing – masing rancangan adalah sebagai berikut :

1. Simulasi pemanas belakang



Gambar 3 Simulasi 1

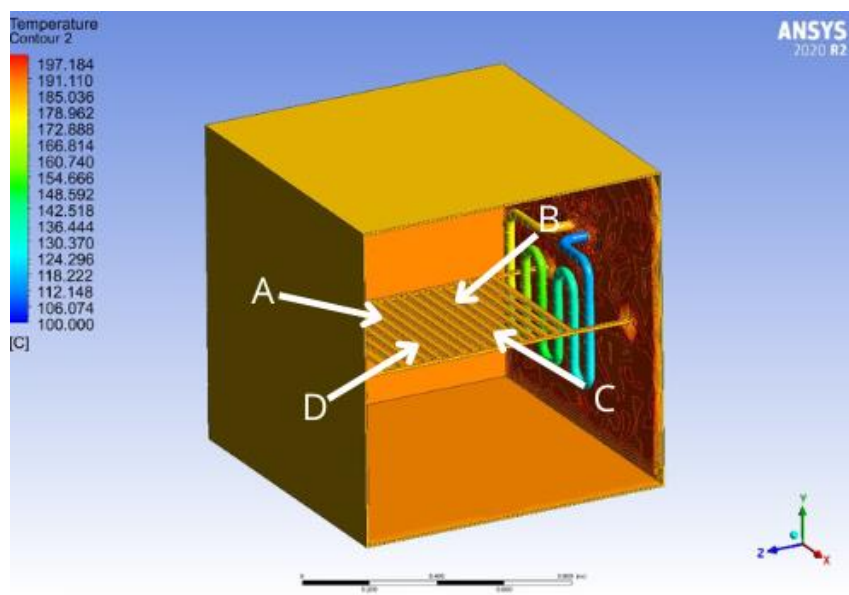
Pada konfigurasi yang pertama, elemen pemanas ditempatkan di belakang ruang oven. Melihat pola suhu yang terlihat, area dengan suhu tertinggi terfokus di bagian belakang, tepat di sekeliling elemen pemanas, dengan angka maksimum mencapai sekitar 198,741 °C.

Tabel 3 Hasil simulasi

Point parameter				
Point	Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)	Sumbu Z (m)	Temperatur (°C)
A	0,41748	0,460000	-0,364862	187,215°C
B	0,651593	0,460000	-0,364862	187,190°C
C	0,651593	0,460000	-0,602949	186,795°C
D	0,420996	0,460000	-0,602949	186,818°C

Pada Simulasi 1, titik A, B, C, dan D masing-masing mengukur suhu 187,215°C, 187,190°C, 186,795°C, dan 186,818°C. Berdasarkan data ini, ada perbedaan suhu maksimum dan minimum sebesar 0,420°C, yang menunjukkan bahwa panas tersebar luas di ruang oven. Temperatur rata-rata keempat titik adalah 186,995°C, yang juga cukup tinggi. Ini menunjukkan bahwa konfigurasi dalam Simulasi 1 melakukan distribusi panas yang seragam dengan sangat baik.

2. Simulasi pemanas kanan



Gambar 4 Simulasi 2

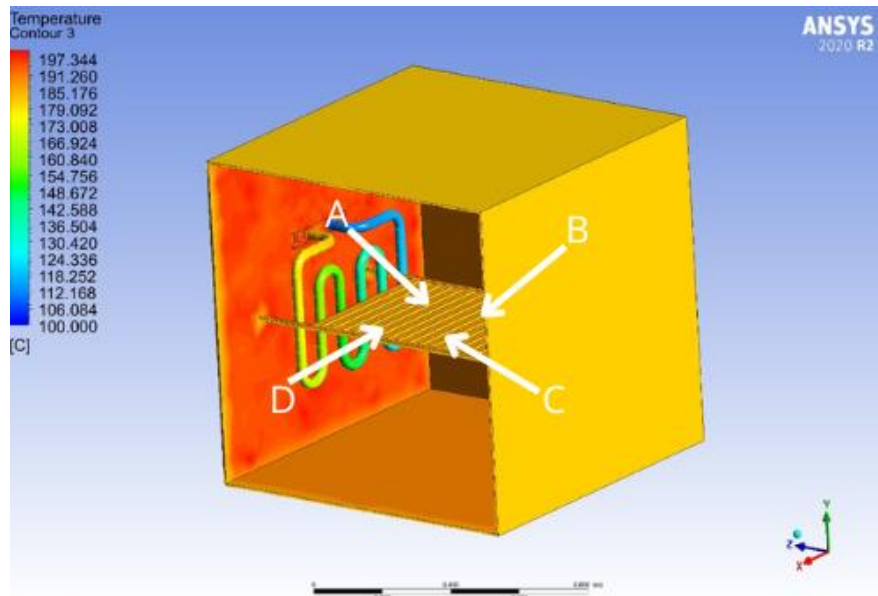
Dalam konfigurasi kedua, elemen pemanas dipasang di sisi kanan ruang oven. Simulasi menunjukkan bahwa suhu tinggi terkonsentrasi terutama di sisi kanan oven, dengan suhu maksimum sekitar 197,184 °C. Distribusi panas cenderung berlangsung secara horizontal, di mana suhu menurun drastis menuju sisi kiri oven.

Tabel 4 Hasil simulasi

Point parameter				
Point	Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)	Sumbu Z (m)	Temperatur (°C)
A	0,41748	0,460000	-0,364862	184,16°C
B	0,651593	0,460000	-0,364862	185,815°C
C	0,651593	0,460000	-0,602949	185,75°C
D	0,420996	0,460000	-0,602949	184,33°C

Konfigurasi ini kurang ideal untuk mencapai pemerataan dan efisiensi panas. Pada Simulasi 2, emperturnya berada pada 184,160°C hingga 185,815°C, dengan perbedaan suhu maksimum dan minimum 1,655°C, yang menunjukkan distribusi panas yang tidak teratur di oven. Temperatur rata-ratanya juga lebih rendah daripada simulasi lainnya, yaitu 184,99°C.

3. Simulasi pemanas kiri



Gambar 5 Simulasi 3

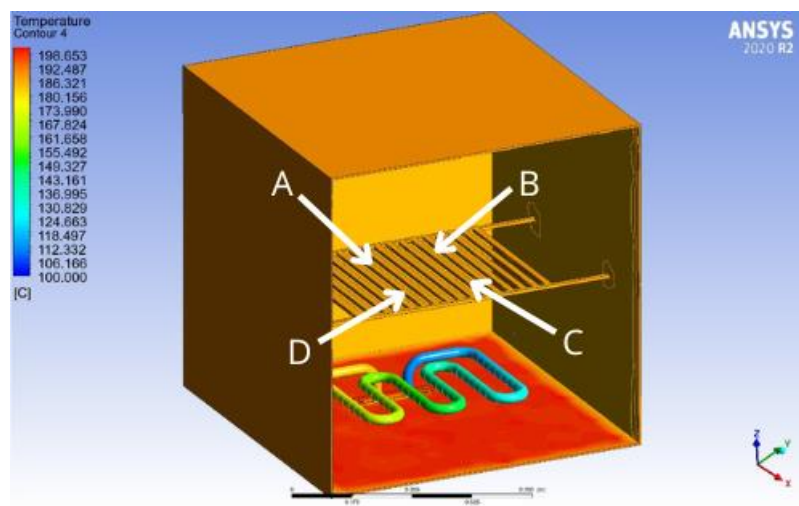
Variasi ketiga menempatkan elemen pemanas di sisi kiri oven. Pola penyebaran suhu yang muncul menunjukkan kemiripan dengan pengaturan pemanas di sebelah kanan. Suhu tinggi terlihat terfokus di sisi pemanas dengan angka puncak sebesar 197,344 °C, sementara area di sisi kanan menunjukkan penurunan suhu yang cukup signifikan.

Tabel 5 Hasil Simulasi

Point parameter				
Point	Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)	Sumbu Z (m)	Temperatur (°C)
A	0,41748	0,460000	-0,364862	185,173°C
B	0,651593	0,460000	-0,364862	184,463°C
C	0,651593	0,460000	-0,602949	184,325°C
D	0,420996	0,460000	-0,602949	185,185°C

Pada Simulasi 3, perbedaan suhu antara titik-titik pengamatan adalah 0,860°C, dan suhu rata-rata adalah 184,786°C. Distribusi panas lebih merata dibandingkan dengan Simulasi 2, tetapi ada variasi suhu yang signifikan. Akibatnya, konfigurasi ini dianggap kurang optimal dibandingkan dengan konfigurasi lainnya.

4. Simulasi pemanas bawah



Gambar 6 Simulasi 4

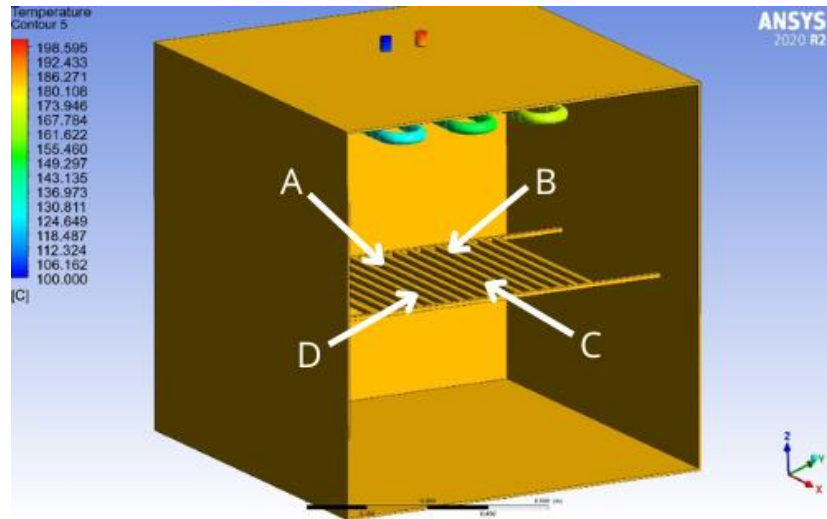
Variasi keempat menaruh elemen pemanas di bagian bawah ruang oven. Hasil dari kontur suhu menunjukkan bahwa panas tersebar lebih merata secara horizontal di dasar oven berkat konveksi alami yang mengalir ke atas. Suhu tertinggi mencapai 198,653 °C di sekitar elemen pemanas.

Tabel 6 Hasil simulasi

Point parameter				
Point	Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)	Sumbu Z (m)	Temperatur (°C)
A	0,41748	0,460000	-0,364862	187,185°C
B	0,651593	0,460000	-0,364862	186,583°C
C	0,651593	0,460000	-0,602949	187,233°C
D	0,420996	0,460000	-0,602949	187,205°C

Dengan perbedaan suhu sebesar 0,650°C antara titik tertinggi dan terendah, Simulasi 4 menunjukkan distribusi panas yang baik. Temperatur rata-ratanya adalah 187,052°C, hampir sama dengan hasil Simulasi 1, tetapi masih ada sedikit ketidakaturan dibandingkan dengan Simulasi 1.

5. Simulasi pemanas atas



Gambar 7 Simulasi 5

Dalam variasi kelima, elemen pemanas diletakkan di bagian atas ruang oven. Simulasi menunjukkan bahwa suhu tinggi terkumpul di area atas, dengan puncak mencapai sekitar 198,595 °C, sedangkan suhu semakin menurun ke bagian bawah oven.

Tabel 7 Hasil simulasi

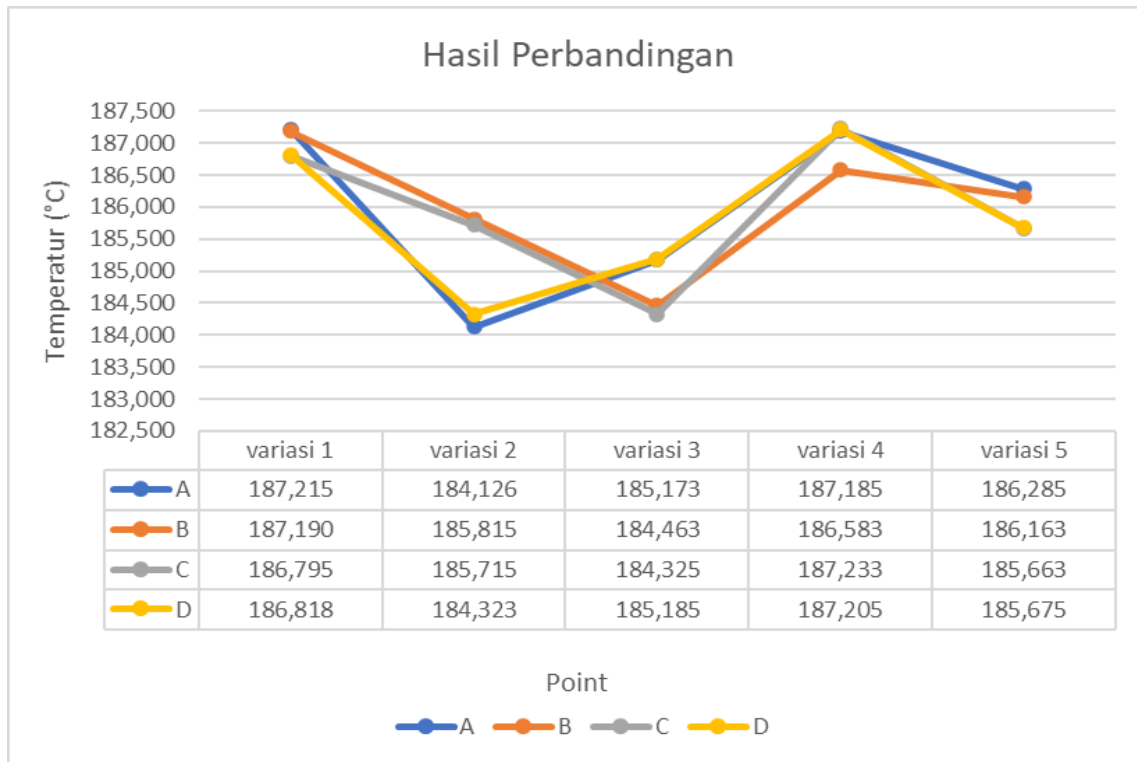
Point parameter				
Point	Sumbu X (m)	Sumbu Y (m)	Sumbu Z (m)	Temperatur (°C)
A	0,41748	0,460000	-0,364862	186,285°C
B	0,651593	0,460000	-0,364862	186,163°C
C	0,651593	0,460000	-0,602949	185,663°C
D	0,420996	0,460000	-0,602949	185,675°C

Pada Simulasi 5, distribusi suhu menunjukkan hasil yang cukup baik, dengan rata-rata 185,947°C dan selisih maksimum 0,622°C. Konfigurasi ini menunjukkan efisiensi distribusi panas yang cukup merata, tetapi sedikit lebih rendah dari segi suhu dibandingkan dengan Simulasi 1 dan 4.

3.2 Pembahasan

Tabel 8 Hasil perbandingan

Point	Temperatur (°C)				
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5
A	187,215°C	184,16°C	185,173°C	187,185°C	186,285°C
B	187,190°C	185,815°C	184,463°C	186,583°C	186,163°C
C	186,795°C	185,75°C	184,325°C	187,233°C	185,663°C
D	186,818°C	184,33°C	185,185°C	187,205°C	185,675°C
rata-rata	186,995°C	184,99°C	184,786°C	187,052°C	185,947°C



Gambar 8 Grafik perbandingan

Berdasarkan hasil simulasi distribusi panas pada oven *powder coating* menggunakan *Ansys Fluent* dengan lima variasi posisi pemanas yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi pemanas di bagian belakang (Simulasi 1) menunjukkan performa terbaik dengan temperatur rata-rata tertinggi mencapai 186,995°C dan distribusi temperatur paling merata dengan selisih maksimum hanya 0,420°C. Hasil ini menunjukkan bahwa penempatan pemanas di bagian belakang mampu menghasilkan pola distribusi panas yang stabil dan seragam di seluruh ruang oven, yang sangat penting untuk efisiensi proses *powder coating*.

Perbandingan dengan konfigurasi lainnya menunjukkan bahwa pemanas bawah (Simulasi 4) memiliki performa baik kedua dengan temperatur rata-rata 187,052°C, namun distribusi panas kurang merata dengan selisih 0,650°C. Sementara itu, konfigurasi pemanas atas (Simulasi 5) memberikan hasil cukup baik dengan rata-rata 185,947°C dan selisih 0,622°C. Di sisi lain, konfigurasi pemanas samping kiri (Simulasi 3) dan kanan (Simulasi 2) menunjukkan ketidakseimbangan distribusi panas yang signifikan, dimana suhu cenderung lebih tinggi di bagian dekat *Heater* dan lebih rendah di sisi sebaliknya, dengan selisih temperatur masing-masing 0,860°C dan 1,655°C.

Ketidakseimbangan distribusi panas pada konfigurasi pemanas samping dapat menyebabkan pemanasan tidak optimal pada benda kerja yang berada jauh dari sumber panas, berpotensi menimbulkan cacat pada lapisan *powder coating* seperti gelembung atau pengelupasan, serta ketidakseragaman kualitas hasil akhir produk. Model simulasi CFD yang digunakan telah tervalidasi dengan baik melalui *Grid Independence Study* yang menunjukkan akurasi optimal pada *Mesh* 150.000 elemen, dengan Konvergensi residual *energy* mencapai $1,8 \times 10^{-7}$ hingga $3,1 \times 10^{-7}$ dan iterasi Konvergensi stabil antara 795-920 iterasi. Oleh karena itu, untuk aplikasi industri *powder coating*, konfigurasi pemanas di bagian belakang direkomendasikan karena mampu menghasilkan distribusi temperatur paling seragam, memastikan pemanasan optimal di seluruh area kerja, meningkatkan kualitas dan konsistensi lapisan *powder coating*, serta memberikan efisiensi energi terbaik.

4 Kesimpulan

Model oven berbentuk kubus dengan dimensi 100 cm × 100 cm × 100 cm dirancang untuk merepresentasikan ruang pemanasan standar yang umum digunakan dalam industri manufaktur ringan. Setelah proses pemodelan geometris selesai, simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dilakukan menggunakan *Ansys Fluent* untuk menganalisis distribusi panas dalam oven. Proses simulasi ini melibatkan penyusunan mesh

domain simulasi sebanyak 176.579 elemen, yang telah melalui proses validasi mesh melalui Grid Independence Study. Hasil validasi menunjukkan bahwa konfigurasi mesh ini memberikan akurasi tinggi dengan perubahan hasil hanya 0,08% dibanding mesh halus, serta menghasilkan residual energi di bawah 1×10^{-6} tepatnya sekitar 10^{-7} . Hal ini menunjukkan bahwa model telah mencapai konvergensi numerik dan memberikan jaminan terhadap keandalan hasil simulasi.

Salah satu temuan utama dalam simulasi ini adalah pengaruh signifikan dari posisi pemanas (heater) terhadap sebaran suhu di dalam ruang oven. Ketika pemanas diletakkan di bagian belakang, distribusi suhu di dalam oven menunjukkan performa paling optimal. Nilai rata-rata suhu yang tercapai sebesar 186,995°C, dengan perbedaan suhu antar titik pengamatan hanya 0,420°C, yang mengindikasikan distribusi panas sangat merata dan minim gradien termal. Hal ini menjadikan konfigurasi ini sebagai yang paling efisien untuk mendukung proses *powder coating* secara seragam di seluruh permukaan benda kerja. Sebaliknya, ketika pemanas ditempatkan di sisi kiri maupun kanan, performa distribusi panas menurun signifikan. Perbedaan suhu di dalam oven meningkat hingga 1,655°C, yang mengindikasikan adanya zona panas (hot spot) dan zona dingin (cold spot) dalam ruang pemanasan. Ketimpangan ini berisiko menyebabkan cacat visual dan struktural pada lapisan cat, seperti pengelupasan, ketidakterikatan sempurna, atau tekstur yang tidak konsisten.

Sementara itu, konfigurasi pemanas yang diletakkan di atas maupun bawah oven menunjukkan performa distribusi suhu yang cukup baik namun belum sebaik konfigurasi belakang. Kedua posisi ini menghasilkan perbedaan suhu sekitar 0,650°C, dan suhu rata-rata yang cukup mendekati konfigurasi optimal. Meskipun demikian, ketidakmerataan vertikal masih ditemukan pada posisi ini akibat efek gravitasi dan pergerakan fluida panas yang cenderung naik ke atas secara alami (konveksi bebas). Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penempatan pemanas di bagian belakang oven merupakan konfigurasi paling efisien untuk menghasilkan distribusi panas yang stabil dan merata di dalam oven *powder coating*.

5 Referensi

- [1] M. Miftahuddin and D. Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, “Supriyono 1] , Tri Mulyanto 2].”
- [2] A. B. Aji, A. W. B. Santosa, and I. P. Mulyatno, “Analisa Pengaruh Variasi Ketebalan Serta Jenis Coating Pada Pelat Baja SS400 Terhadap Laju Korosi dan Uji Adhesi,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 12IS 2, 2024.
- [3] A. R. Wardana, A. Mukhtar, and A. Burhanuddin, “JOURNAL OF APPLIED MECHANICAL ENGINEERING AND RENEWABLE ENERGY (JAMERE) Analisis Persebaran Panas Pada Mesin Oven Pengereng Kerupuk Dengan Burner Sederhana Berbasis Computational Fluid Dynamics,” vol. 4, no. 2, pp. 15–24, 2024.
- [4] G. Bahari, I. I. Septhia, H. I. Aris, P. P. I. Ayu, R. Krisnaputra, and W. J. Bimo, “Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk Optimalisasi Proses Perekatan pada Oven Bambu Laminasi,” *Infotekmesin*, vol. 16, no. 01, pp. 232–240, 2025.
- [5] D. Al Dzikri, R. Dewi Anjani, K. H. Jl Ronggowaluyo, T. Timur, and K. Karawang, “Pengaruh Variasi Temperature Pengerengan *Powder coating* Terhadap Daya Rekat Lapisan Cat Pada Mild Steel ST37,” *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 8, no. 21, pp. 53–63, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7272803>
- [6] H. Pasaribu, P. Lumbangaol, H. S. Siagian, R. A. M Napitupulu, P. Siagian, and E. Yohanes Setyawan, “Simulasi CFD Distribusi Temperatur pada Pengereng Biji Kopi dengan Sistem Konveksi Paksa,” vol. 5, no. 1, 2023.