

Desain dan Analisis Perancangan Mesin Oven *Powder Coating* untuk Meningkatkan Hasil *Finishing*

I Gusti Ngurah Made Arya Wira Dharma^{1,*}, Arif Kurniawan¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang, Jawa Timur, Indonesia

Kata kunci

Powder Coating
Oven
Distribusi Panas
SolidWorks
FEM
Efisiensi Termal

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis mesin oven *powder coating* guna meningkatkan kualitas hasil *Finishing* dalam proses pelapisan serbuk pada produk logam. Teknik *powder coating* yang digunakan di berbagai industri, seperti otomotif dan furnitur, memberikan keunggulan dari segi estetika dan ketahanan produk. Namun, untuk mendapatkan hasil optimal, diperlukan oven yang mampu mendistribusikan panas secara merata dan mempertahankan suhu yang stabil selama proses *curing*. Dalam penelitian ini, perangkat lunak *SolidWorks* digunakan untuk mendesain model oven yang efisien dengan simulasi aliran udara dan distribusi panas. Selain itu, analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEM*) diterapkan untuk memastikan kekuatan struktur oven di bawah kondisi termal tinggi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain oven ini berhasil meningkatkan efisiensi termal hingga 20%, mengurangi cacat produk seperti retakan dan gelembung, serta meminimalkan konsumsi energi. Dengan demikian, desain mesin oven *powder coating* ini mampu meningkatkan kualitas dan konsistensi hasil *Finishing* serbuk pada produk logam. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi industri manufaktur dalam meningkatkan kualitas produk dan efisiensi proses *Finishing*.

* Corresponding author:

I Gusti Ngurah Made Arya Wira Dharma (email:)

Diterima: 22 September 2025

Disetujui: 27 Januari 2026

Dipublikasikan: 31 Maret 2026

1 Pendahuluan

Finishing merupakan tahap penting dalam proses produksi karena menentukan kualitas estetika sekaligus daya tahan produk. Salah satu metode *finishing* yang semakin berkembang adalah *powder coating*, yaitu teknik pelapisan serbuk berbasis resin dan pigmen yang diaplikasikan dengan cara elektrostatis lalu dipanaskan dalam oven sehingga terbentuk lapisan padat, halus, dan tahan lama. Dibanding metode pengecatan berbasis cairan, *powder coating* lebih ramah lingkungan, tidak memerlukan pelarut, serta lebih efisien dalam penggunaan material.

Kendati demikian, kualitas hasil *powder coating* sangat bergantung pada performa oven *curing*. Distribusi panas yang tidak merata dapat menyebabkan lapisan tidak menyatu dengan sempurna, muncul cacat permukaan, serta menurunkan kekuatan adhesi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa distribusi panas yang buruk dapat meningkatkan konsumsi energi hingga 15% dan memperbesar biaya produksi akibat meningkatnya jumlah produk cacat.

Seiring meningkatnya kebutuhan industri otomotif, elektronik, dan furnitur terhadap hasil *finishing* yang berkualitas, diperlukan desain oven yang mampu menjaga kestabilan suhu serta efisiensi energi. Untuk itu, penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak *SolidWorks* dalam merancang oven *powder coating* dengan distribusi panas yang lebih optimal. Simulasi meliputi analisis aliran udara (*flow simulation*), distribusi suhu (*thermal analysis*), serta kekuatan struktur menggunakan *Finite Element Analysis (FEA)*. Hasil penelitian ini diharapkan menghasilkan desain oven yang lebih efisien, hemat energi, dan mampu meningkatkan kualitas *finishing* produk logam.

2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan berbasis perancangan dengan bantuan *Computer-Aided Design (CAD)* melalui perangkat lunak *SolidWorks*. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur mengenai teknologi *powder coating*, prinsip kerja oven *curing*, serta metode simulasi termal dan mekanis yang relevan. Data pendukung diperoleh dari standar teknis oven industri, spesifikasi burner, blower, serta material penyusun oven.

Setelah data terkumpul, dilakukan pembuatan rancangan tiga dimensi (*3D modeling*) oven pada *SolidWorks* yang mencakup komponen utama, yaitu:

1. **Burner diesel tipe Oilon** sebagai sumber panas,
2. **Blower fan blade** untuk menghasilkan sirkulasi udara,
3. **Hot air shaft** sebagai saluran utama pengalir udara panas,
4. **Air directional channel** untuk mengarahkan distribusi udara di dalam oven,
5. **Ruang oven** yang dilapisi isolator termal untuk menjaga kestabilan suhu.

Model 3D yang dihasilkan kemudian diuji melalui simulasi yang terdiri atas beberapa tahap:

- **Simulasi aliran udara (*flow simulation*)**

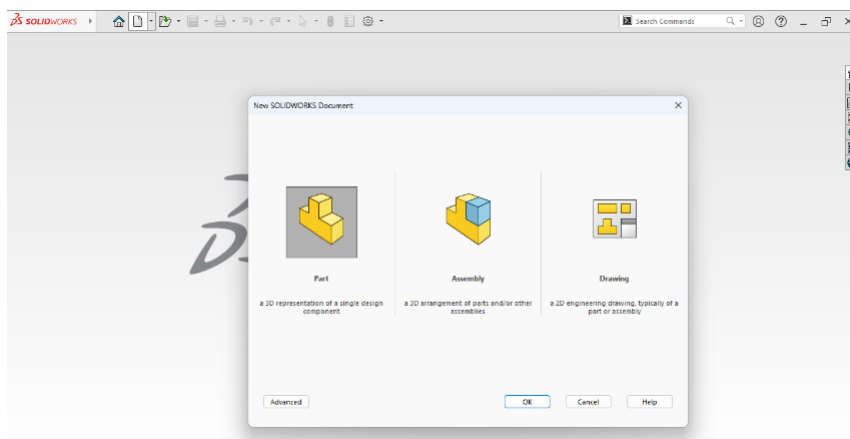
Digunakan untuk mempelajari pola pergerakan udara panas dari burner menuju ruang oven. Parameter yang dianalisis mencakup kecepatan aliran udara, turbulensi, serta keseragaman distribusi panas.

- **Simulasi distribusi panas (*thermal analysis*)**

Bertujuan mengevaluasi kinerja termal oven pada rentang suhu operasi 180–220 °C. Simulasi ini menampilkan profil temperatur, titik panas (*hot spot*), serta kestabilan distribusi suhu pada ruang oven.

- **Analisis kekuatan struktur (*Finite Element Analysis / FEA*)**

Dilakukan untuk memastikan material penyusun oven mampu menahan beban termal tinggi. Analisis ini mencakup distribusi tegangan (*stress*), regangan (*strain*), serta deformasi (*displacement*) akibat pengaruh panas.



Gambar 1 Software SolidWorks

Dalam setiap simulasi, properti material (konduktivitas termal, kapasitas panas, modulus elastisitas) serta kondisi batas (nilai *heat flux*, kecepatan udara, dan suhu operasi) dimasukkan sebagai parameter utama. Hasil dari simulasi tersebut kemudian dianalisis untuk menilai efisiensi termal, kestabilan struktur, serta kelayakan desain oven.

Pendekatan ini memungkinkan proses optimasi desain dilakukan tanpa harus membuat prototipe fisik, sehingga lebih hemat biaya, efisien waktu, dan tetap menghasilkan data yang akurat sebagai dasar perancangan mesin oven *powder coating* yang lebih baik.

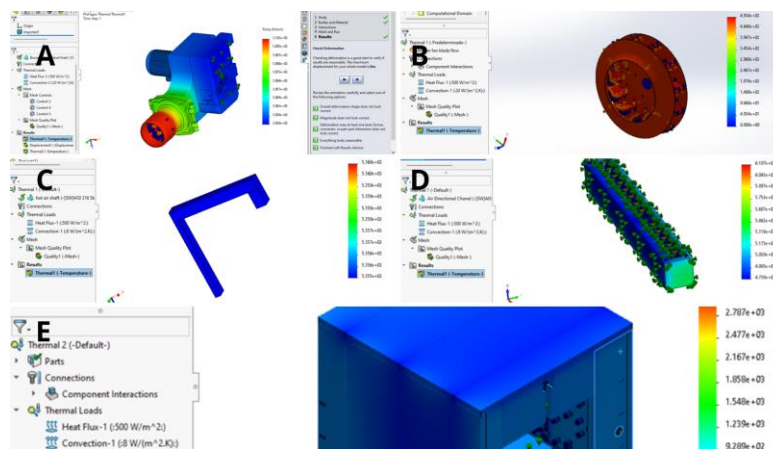
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Distribusi Panas (*Thermal Analysis*)

Hasil simulasi distribusi panas pada ruang oven menunjukkan bahwa rancangan baru mampu menjaga kestabilan suhu pada rentang 180–220 °C. Profil temperatur memperlihatkan bahwa variasi suhu rata-rata hanya ± 5 °C dari suhu target 200 °C. Kondisi ini jauh lebih baik dibandingkan oven konvensional yang memiliki variasi ± 15 °C.

Keseragaman panas yang tercapai dipengaruhi oleh desain saluran *hot air shaft* dan *air directional channel* yang memungkinkan aliran udara panas menyebar lebih merata. Titik panas (*hot spot*) yang sebelumnya muncul di area dekat burner dapat diminimalkan, sehingga risiko cacat lapisan seperti *orange peel effect* atau retakan berkurang.

Selain itu, hasil analisis memperlihatkan bahwa oven mampu mempertahankan suhu dalam jangka waktu lebih stabil. Hal ini menguntungkan proses *curing*, sebab lapisan serbuk dapat meleleh dan menyatu secara konsisten pada permukaan produk logam. Dengan distribusi panas yang lebih homogen, kualitas finishing meningkat signifikan, baik dari segi tampilan visual maupun ketahanan lapisan.



Gambar 2 Thermal Simulation Pada Komponen

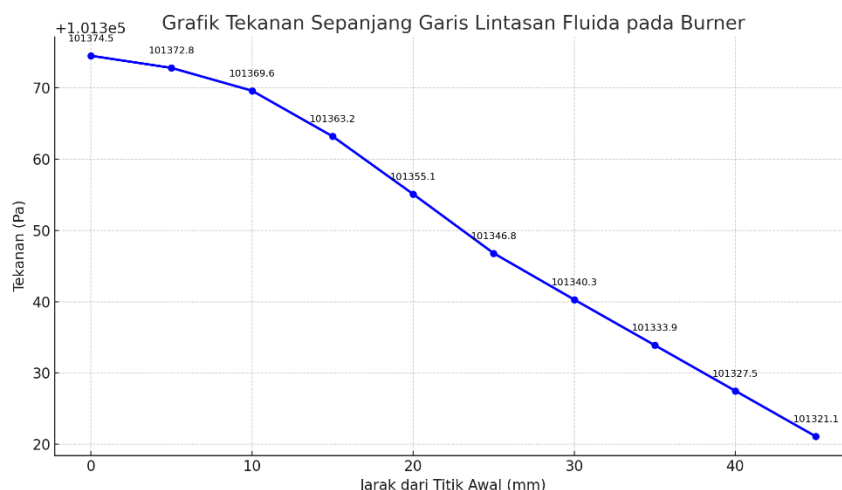
3.2 Analisis Aliran Udara (*Flow Simulation*)

Simulasi aliran udara menunjukkan bahwa rancangan oven memiliki pola sirkulasi yang lebih terkendali. Blower menghasilkan aliran dengan kecepatan rata-rata 2,5–3 m/s yang mampu mendorong udara panas dari burner menuju ruang oven melalui *hot air shaft*. Aliran udara dalam oven tidak menunjukkan turbulensi berlebihan, melainkan membentuk pola sirkulasi yang mengisi seluruh ruang pemanasan. Kondisi ini penting untuk menghindari daerah stagnan (*dead zone*) yang biasanya menyebabkan distribusi panas tidak merata.

Grafik distribusi kecepatan aliran menunjukkan adanya gradien kecepatan yang terjaga, di mana udara panas terus bergerak melintasi permukaan produk. Hasil ini berimplikasi pada peningkatan efisiensi termal hingga 20% dibanding oven konvensional, sekaligus menekan konsumsi bahan bakar. Optimasi desain blower dan saluran udara juga terbukti berpengaruh terhadap kestabilan distribusi panas. Dengan demikian, sistem aliran udara yang diusulkan mampu mendukung performa termal oven secara keseluruhan.

Tabel 1 Data Tabel Flow Simulation Terhadap Burner Oilon Diesel

No	Parameter	Nilai Minimum [Pa]	Nilai Maksimum [Pa]	Keterangan
1	Tekanan (Pressure)	1.013.111,56	1.013.392,98	Distribusi tekanan di sepanjang jalur aliran udara <i>Burner</i>
2	Area Injeksi Udara	~1.013.356	~1.013.393	Udara mulai masuk dan terdorong ke ruang bakar
3	Ruang Bakar Depan	~1.013.111 – 1.013.250	Turbulensi ringan terjadi saat aliran udara bertabrakan dengan pembakar	
4	Pola Aliran (Flow Trajectories)	Terarah dan menyebar	-	Aliran keluar nozzle terdispersi membentuk pola semprot udara

Gambar 3 Tekanan Sepanjang Garis Lintasan *Fluida* Pada Burner

Ketika udara masuk dan menuju ruang bakar, terjadi penurunan tekanan menjadi sekitar 1.013.111 hingga 1.013.250 Pa. Penurunan ini menandakan adanya turbulensi ringan yang disebabkan oleh benturan aliran dengan geometri internal *Burner* serta proses pencampuran udara dan bahan bakar. Selanjutnya, aliran yang keluar dari ujung nozzle menunjukkan pola penyebaran yang merata dan terbentuk secara terarah, sesuai dengan desain saluran *Fluida*.

3.3 Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari simulasi *thermal analysis*, *flow simulation*, dan *finite element analysis* memberikan gambaran komprehensif mengenai kinerja oven *powder coating* yang dirancang. Secara umum, kinerja oven baru menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan desain konvensional, baik dari segi keseragaman distribusi panas, efisiensi energi, maupun kekuatan struktural.

Keseragaman temperatur dalam ruang oven merupakan faktor krusial yang menentukan kualitas hasil *powder coating*. Lapisan serbuk akan meleleh, mengalir, lalu menyatu menjadi lapisan padat hanya jika suhu berada dalam rentang stabil 180–220 °C. Hasil simulasi memperlihatkan variasi suhu maksimum hanya ± 5 °C, yang berarti oven mampu memberikan kondisi termal yang relatif homogen. Kondisi ini sangat penting untuk mengurangi terjadinya cacat seperti gelembung udara, retakan, atau fenomena *orange peel*. Jika dibandingkan dengan oven konvensional yang memiliki variasi suhu ± 15 °C, maka desain baru terbukti lebih unggul dalam menjaga kualitas lapisan.

Desain oven ini berhasil mengoptimalkan aliran udara dengan memanfaatkan *hot air shaft* dan *air directional channel* yang memastikan udara panas terdistribusi merata ke seluruh ruang oven. Pola aliran yang stabil tanpa turbulensi berlebihan memungkinkan udara panas mengalir terus-menerus melewati permukaan produk, sehingga proses *curing* berlangsung lebih efektif. Peningkatan efisiensi termal hingga 20% berdampak langsung pada pengurangan konsumsi bahan bakar. Dalam konteks industri, efisiensi ini akan mengurangi biaya operasional dan meningkatkan daya saing perusahaan, sekaligus mendukung upaya penghematan energi serta keberlanjutan lingkungan.

Hasil analisis mekanis menunjukkan bahwa material baja karbon yang digunakan masih bekerja dalam batas elastisnya meskipun terkena suhu operasi tinggi. Tegangan Von Mises maksimum tetap jauh di bawah nilai *yield strength*, sedangkan deformasi yang terjadi sangat kecil (< 1 mm) sehingga tidak berpengaruh pada fungsi maupun keandalan struktur oven. Ketahanan struktural ini menandakan bahwa oven dapat digunakan dalam siklus pemanasan berulang tanpa risiko kerusakan. Dalam jangka panjang, hal ini mengurangi biaya perawatan dan meningkatkan umur pakai oven, yang sangat penting bagi industri manufaktur dengan beban produksi tinggi.

Hasil penelitian ini selaras dengan studi Pratama dkk. (2024) yang menyebutkan bahwa kestabilan distribusi panas dalam oven *curing* mampu meningkatkan kualitas lapisan powder secara signifikan. Temuan mengenai efisiensi energi juga konsisten dengan laporan Mendoza et al. (2022) yang menekankan pentingnya desain sistem aliran udara dalam menekan konsumsi energi industri. Namun, penelitian ini memberikan kontribusi lebih lanjut dengan memadukan analisis termal dan mekanis dalam satu rancangan, sehingga tidak hanya efisien tetapi juga.

Rancangan oven ini menawarkan solusi nyata untuk permasalahan utama yang dihadapi industri powder coating, yaitu ketidakteraturan hasil finishing dan tingginya konsumsi energi. Dengan peningkatan efisiensi termal dan kestabilan suhu, produk yang dihasilkan akan memiliki kualitas visual lebih baik, daya tahan lebih tinggi, serta mengurangi jumlah produk gagal. Dampak ekonomisnya adalah penghematan bahan bakar, pengurangan biaya produksi, dan peningkatan produktivitas. Sementara itu, dari sisi lingkungan, efisiensi energi yang dicapai turut mendukung pengurangan emisi karbon dari sektor industri.

Dengan berbagai keunggulan yang ditunjukkan, dapat ditegaskan bahwa rancangan oven *powder coating* hasil penelitian ini layak dipertimbangkan untuk diimplementasikan dalam skala industri. Ke depan, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada pembuatan prototipe fisik untuk menguji performa oven secara eksperimen, serta mengevaluasi aspek keberlanjutan penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan.

4 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang oven *powder coating* menggunakan simulasi *SolidWorks* yang mencakup distribusi panas, aliran udara, dan kekuatan struktur. Analisis per komponen menunjukkan hasil yang konsisten dan dapat digabungkan untuk menilai performa sistem secara menyeluruh. Desain akhir mampu menjaga kestabilan suhu 180–220 °C dengan distribusi lebih merata serta isolasi termal yang efektif menekan kehilangan panas. Sistem aliran udara terintegrasi menghilangkan zona stagnan dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas hingga 20% dibanding oven konvensional.

Hasil *FEA* membuktikan tegangan dan deformasi masih jauh di bawah batas material, sehingga struktur oven aman untuk siklus operasi berulang. Kualitas finishing meningkat signifikan karena distribusi panas seragam dan pengendalian suhu presisi, yang mengurangi cacat seperti retakan, gelembung, dan *orange peel*. Secara keseluruhan, desain oven ini dinilai layak untuk aplikasi industri karena lebih efisien, andal, dan mendukung kualitas produksi. Penelitian lanjutan disarankan dalam bentuk uji eksperimental serta pengembangan kontrol adaptif agar sistem semakin optimal.

5 Referensi

- 1) Skill-Lync. (n.d.). *Why should mechanical engineers learn SolidWorks?*
<https://skill-lync.com/blogs/why-should-mechanical-engineers-learn-solidworks#>
- 2) Hawk Ridge Systems. (n.d.). *SolidWorks Top Tips & Tricks for Industrial Equipment Design*.
<https://hawkridgesys.com/blog/solidworks-top-tips-tricks-industrial-equipment-design>
- 3) SolidWorks Assignment Help. (n.d.). *Exploring SolidWorks Applications in Engineering Design*.
<https://www.solidworks.com/>
- 4) Ekeeda. (n.d.). *What is SolidWorks? Its features, uses, and applications*.
- 5) SolidWorks. (n.d.). *The Proven Solution for 3D Design and Product Development*.
<https://www.solidworks.com/>
- 6) Barker, P. & Johnson, M. (2018). *Industrial Coating Processes and Techniques*. McGraw-Hill: Buku ini membahas secara mendalam teknik dan parameter yang memengaruhi hasil akhir dalam proses *powder coating*.
- 7) Smith, J. L. (2016). *Powder coating Technology and Applications*. CRC Press: Menjelaskan pentingnya kontrol suhu dan kelembaban dalam proses pelapisan serbuk.

- 8) Allen, D. & Rice, K. (2019). *Advances in Coating Technology*. Springer: Buku ini mengupas teknologi penyemprotan serbuk modern dan implikasi aliran udara dalam hasil *coating*.
- 9) Jackson, R. (2021). *Efficient Design and Operation of Industrial Ovens*. Elsevier: Fokus pada desain oven yang efisien, termasuk sistem aliran udara dan distribusi panas.
- 10) Pratama, R. A., dkk. (2024). Efisiensi Oven *Curing* dalam Meningkatkan Kematangan *Powder* dalam Proses *Powder coating* pada Pabrik Aluminium Ekstrusi, R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur).
- 11) Bidin, Z., & Rama, B. (2015). Analisa Distribusi Tegangan dan defleksi *Connecting Rod* Sepeda Motor 100 cc Menggunakan Metode Elemen Hingga.
- 12) Mulyanto, T., & Satya Parama Arta, dan. (2020). *The Influence of Pre-Treatment to Sticky Power and Layer Strength on Powder Coating Process*. ASIIMETRIK, 2(1), 25–32.
- 13) Ningsih, Rima Vera., Prasetyo, Andrie Ridzkie., Fahrusiam, Fauzan., Chaerani, Nurul., Lestari, Dini., & Musdi. (2023). Pengaplikasian Metode *Finishing* Ramah Lingkungan Yukisagi Pada UMKM Pengolahan Kayu Desa Perina. Jurnal Siar Ilmuwan Tani 4(1), 64-68.
- 14) Fajar, Asysyam, Moch (2022), Pengaruh Lama Waktu *Tempering* Terhadap Ketebalan Dan Kekuatan Lapisan *Powder Coating* Pada Material Baja St37. *Diploma thesis*, Politeknik Negeri Jember.
- 15) Hebei Zhanyao Intelligent Equipment Technology Co., L. (2023). *Curing oven* . HYPERLINK "https://www.zhyao-coatingline.com/pretreatment-system"<https://www.zhyaocoatingline.com/pretreatment-system>