

PERANCANGAN STRUKTUR RANGKA MESIN OVEN *ANNAELING COLLAPSIBLE TUBE* DENGAN KONFIGURASI PEMANASAN GANDA LISTRIK DAN GAS

*Muhammad Ferdiansyah¹, Susilo Adi Widyanto², Mochammad Ariyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: Ferdiansyahmuhh@gmail.com

Abstrak

Proses annealing adalah perlakuan panas yang melibatkan pemanasan, penahanan, dan pendinginan lambat untuk meningkatkan sifat material seperti kekuatan, ketangguhan, serta mengurangi tegangan dalam. Proses ini sangat penting dalam industri manufaktur logam, khususnya pada produksi kemasan seperti *collapsible tube*, karena mampu mengoptimalkan karakteristik material. Salah satu komponen utama dalam proses ini adalah oven annealing, terutama bagian rangka utamanya yang harus kuat, tahan panas, mampu mendistribusikan beban secara merata, serta memiliki desain yang ringkas dan mudah dioperasikan di lingkungan industri yang terbatas ruang. Penelitian ini berfokus pada identifikasi tahapan dalam perancangan rangka utama oven dengan mempertimbangkan berbagai aspek penting untuk memastikan keandalan teknis dan operasional. Proses penelitian mencakup pengumpulan data melalui observasi mesin sejenis dan permintaan pengguna, analisis kebutuhan desain, pengembangan konsep, pemodelan 3D, pemilihan material, serta pengujian desain menggunakan *Solidworks Finite Element Analysis (FEA)*. Hasil menunjukkan adanya tujuh tahapan utama yang saling terkait dalam proses perancangan. Pertimbangan penting mencakup kondisi operasi, pembebanan, perawatan, dan keandalan struktur. Aspek keselamatan dinilai melalui nilai *Safety Factor* dari hasil simulasi. Dokumen teknis akhir meliputi gambar teknik dan spesifikasi material yang sesuai dengan hasil analisis dan kebutuhan operasional.

Kata kunci: *annealing*; desain rangka; *finite element analysis*; oven industry; perancangan teknik

Abstract

Annealing is a heat treatment process involving heating, holding, and slow cooling to improve material properties such as strength, toughness, and reduce internal stress. It plays a vital role in metal manufacturing, especially in packaging production like collapsible tubes, by optimizing material characteristics. A key component in this process is the annealing oven, particularly its main frame, which must be strong, heat-resistant, capable of evenly distributing loads, compact, and easy to operate in space-limited industrial settings. This study focuses on identifying the stages in designing the oven's main frame, considering critical factors to ensure technical and operational reliability. The research includes data collection through machine observation and user requirements, design need analysis, conceptual design development, 3D modeling, material selection, and design testing using Solidworks Finite Element Analysis (FEA). Results show seven interrelated stages in the frame design process, each influencing the next. Key considerations include operational conditions, load distribution, maintenance, and structural reliability. Safety aspects are evaluated through the Safety Factor from simulation results. The final output includes technical documents such as engineering drawings and material specifications, ensuring the design aligns with simulation and operational requirements.

Keywords: *annealing*; *finite element analysis*; industrial oven; main frame design; technical design

1. Pendahuluan

Proses annealing adalah teknik perlakuan panas yang penting dalam industri manufaktur, khususnya untuk logam dan material sejenis yang bisa merekayasa sifat material [1]. Proses ini melibatkan pemanasan material hingga suhu tertentu, mempertahankannya, lalu mendinginkannya secara perlahan guna meningkatkan sifat mekanis [2]. Manfaatnya meliputi peningkatan kekuatan, ketangguhan, kemampuan kerja, serta pengurangan tegangan internal yang timbul selama pembentukan material [3]. Dalam konteks industri, seperti pada produksi *aluminium collapsible tube* untuk kemasan obat, kualitas dan performa material sangat dipengaruhi oleh proses ini [4].

Mesin oven annealing berperan penting dalam pelaksanaan proses tersebut baik pencapaian suhu hingga waktu penahanan yang mana kedua hal tersebut di pengaruhi oleh jenis aluminium yang berkisar pada suhu 300°C – 450°C [5]. Mesin oven *annealing* tersusun atas banyak komponen bergantung pada jenis metode yang digunakan, dengan komponen utama dari mesin ini adalah rangka utama, yang menopang seluruh struktur termasuk ruang pemanas dan

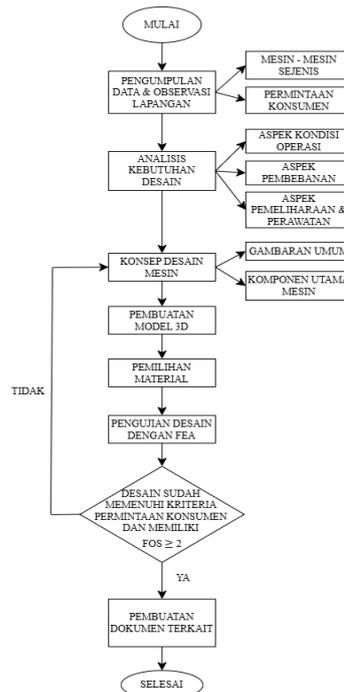
feeding mechanism yang digunakan [6]. Dengan demikian rangka harus mampu menahan beban mekanis serta tahan terhadap suhu tinggi yang dapat memengaruhi kekuatan dan dimensi material akibat ekspansi termal [7].

Desain rangka harus mempertimbangkan kekuatan, ketahanan panas, distribusi beban yang merata, efisiensi ruang, kemudahan perawatan, desain yang kompak dan kuat memungkinkan mesin digunakan dalam ruang terbatas, sekaligus memastikan operasi jangka panjang tanpa gangguan [8]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang struktur rangka utama yang optimal dari segi efisiensi, kekuatan, dan keamanan proses manufaktur.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1. Metode Penelitian

Secara umum, penelitian dilakukan dengan memanfaatkan informasi yang tersedia baik melalui pencarian lapangan maupun dengan studi literatur, lalu informasi tersebut dianalisis menjadi pedoman dalam pembuatan rancangan dengan memanfaatkan permodelan perangkat lunak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir pada Gambar di atas, metodologi perancangan oven *annealing* terdiri dari dari tujuh tahapan. Pertama, pengumpulan data dan observasi mencakup spesifikasi mesin sejenis dan kebutuhan konsumen. Kedua, analisis kebutuhan desain, meliputi analisis pada kondisi operasi, beban struktural, serta aspek pemeliharaan dan perawatan. Ketiga, perancangan konsep mesin, mencakup gambaran umum dan identifikasi komponen utama. Keempat, pembuatan model 3D menggunakan *Solidworks 2020*. Kelima, pemilihan material, terutama untuk rangka utama. Keenam, pengujian desain dengan *finite element analysis* (FEA) untuk memastikan kekuatan struktur dan memenuhi *factor of safety* ≥ 2 . Jika lolos, tahap ketujuh adalah pembuatan dokumen teknis, seperti *engineering drawing*, *simulation report*, dan *specification sheet*. Jika tidak, desain yang dibuat dikaji ulang untuk memperbaiki kekurangan yang ada.

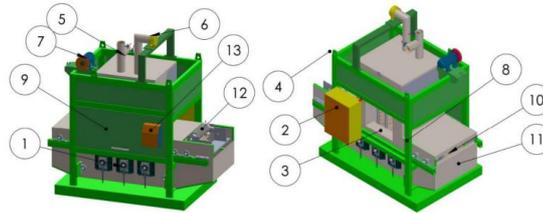
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Kebutuhan Desain

Terdapat tiga aspek utama dalam analisis perancangan oven *annealing*. Pertama, Aspek Kondisi Operasi, yang fokus pada kondisi saat mesin beroperasi, meliputi pemilihan material yang tahan terhadap *fatigue* dan temperatur tinggi, geometri yang mendukung fleksibilitas, serta sistem pendistribusian yang mendukung kecepatan dan kapasitas produksi. Kedua, Aspek Kondisi Pembebanan, yang mencakup perhitungan beban pada rangka mesin dan arah pembebanan. Analisis ini mencakup pembebanan dari komponen mesin seperti sistem penggerak, ruang pembakaran, serta bracket dan subframe. Ketiga, Aspek Kondisi Perawatan & Pemeliharaan, yang fokus pada kemudahan perbaikan, aksesibilitas pemeliharaan rutin, dan keterjangkauan suku cadang untuk penggantian saat kerusakan.

3.2 Model 3D Mesin Oven *Annealing*

Setelah mendapatkan semua informasi yang diperlukan, dapat dibuatlah model tiga dimensi dari rancangan mesin oven *annealing* secara keseluruhan dengan menggunakan *software computer aided design Solidworks 2020*. Hasil permodelan tiga tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Keterangan :

- | | | |
|---------------------|-------------------|---------------------|
| 1) Shaft Assembly | 5) Gas By-pass | 9) Panel Cover |
| 2) Electrical Panel | 6) Blower | 10) Conveyor Belt |
| 3) Heating Chamber | 7) Electric Motor | 11) Heat Insulation |
| 4) Gas Circulation | 8) Main Frame | 12) Vacuum Feeder |
| | | 13) Control Box |

Gambar 2. Full-Assembly Oven *Annealing*

Mesin oven *annealing* tersebut dirancang dengan spesifikasi dasar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Dasar Mesin Oven *Annealing*

No	Parameter	Keterangan
1.	Dimensi Total Maksimum (PxLxT)	2000 mm x 2000 mm x 2000 mm
2.	Sumber Pemanasan	Gas & Elektrik
3.	Diameter Spesimen Tabung	OD 13 -16 mm
4.	Panjang Tabung	85 – 102 mm
5.	Kecepatan Produksi	60 Tabung/menit
6.	Sumber Penggerak	Motor AC 0,75 kW 1-Phase
7.	Jenis Rangka	Tubular-Hollow Mild Carbon Steel
8.	Tipe Konveyor	Bucket Stainless Steel
9.	Rentang Suhu Operasi	450 – 550°C
10.	Sistem Kontrol	PID Temperature Control & VFD Motor Speed Control

Adapun perhitungan terkait konsep desain terkait perhitungan besar daya pemanasan yang dibutuhkan, kecepatan motor yang dibutuhkan dan panjang lintasan konveyor.

A. Perhitungan Kecepatan Motor

Kecepatan motor dapat dicari dengan mengetahui frekuensi pada VFD dan juga jumlah kutub yang dimiliki pada motor yang digunakan.

$$n = \frac{120 \times f}{P}$$

$$n = \frac{120 \times 10,2}{4}$$

$$n = 306 \text{ rpm} \times \frac{1}{100} = 3,06 \text{ rpm}$$

B. Kebutuhan Panjang Lintasan

Panjang lintasan yang dibutuhkan dapat dicari dengan mengetahui banyak roda gigi, nilai pitch roda gigi dan jarak antar poros.

$$Lp = \left(N + \frac{2L}{P} \right) \times P$$

$$Lp_{1-11} = \left(15 + \frac{2 \left(\frac{6.008,18}{1000} \right)}{0,0095} \right) \times 0,0095$$

$$Lp = \left(15 + \frac{2(6,008)}{0,0095} \right) \times 0,0095$$

$$Lp = 12,14 \text{ m}$$

C. Kekuatan Rantai Konveyor

Besar kekuatan pada rantai yang dibutuhkan berdasarkan pada sistem distribusi yang digunakan.

$$T = \left(\frac{16,7 \times Q}{v \times \eta_2} + 2,1 \times M \times F1 \right) L \times \frac{g}{1000}$$

$$T = \left(\frac{16,7 \times 36}{0,096 \times 0,3} + 2,1 \times 171 \times 1 \right) 12,4 \times \frac{9,8}{1000}$$

$$T = 2580,36 \text{ N}$$

Dengan

$$Frec = T \times Ks \times Ke$$

$$Frec = 2580,36 \times 3 \times 1,5$$

$$Frec = 11611,3 \text{ N} = 1,16 \text{ kN}$$

D. Besar Torsi Pada Motor Listrik

Besar torsi yang dihasilkan dapat diketahui dengan memiliki nilai daya motor, kecepatan sudut dan besar rasio reduksi roda gigi.

$$\tau_m = \frac{P}{\omega} \times \frac{1}{R}$$

$$\tau_m = \frac{P}{\omega} \times \frac{1}{R}$$

$$\tau_m = \frac{750}{148,7} \times \frac{1}{1/100}$$

$$\tau_m = 504,4 \text{ N.m}$$

E. Perhitungan Besar Daya Pemanasan

Besar kebutuhan daya pemanasan dapat diketahui dengan mengetahui besar massa obyek pemanasan, koefisien pemanasan, lama waktu pemanasan dan perbedaan temperatur. Dengan besar daya total merupakan sumasi dari panas statik dan dinamik.

Daya untuk memanaskan bucket conveyor

$$P_{\text{Bucket Conveyor}} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

$$P_{\text{Bucket Conveyor}} = \frac{(258 \times 0,50) \cdot (500) \cdot (450 - 27)}{(3600)}$$

$$P_{\text{Bucket Conveyor}} = 7.578,75 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{Bucket Conveyor}} = 7,60 \text{ KWatt}$$

Daya untuk memanaskan collapsible tube

$$P_{\text{Collapsibletube}} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

$$P_{\text{Collapsibletube}} = \frac{(581 \times 0,01) \cdot (900) \cdot (450 - 27)}{(3600)}$$

$$P_{\text{Collapsibletube}} = 3.072,02 \text{ Watt}$$

$$P_{\text{Collapsibletube}} = 3,10 \text{ KWatt}$$

Daya pemanasan statik pada chamber

$$P_{\text{chamber,dinamis}} = \frac{\dot{m} \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

$$P_{\text{chamber,dinamis}} = \frac{(\dot{V} \cdot \rho) \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

$$P_{\text{chamber,dinamis}} = \frac{(4,7 \times 1,29) \cdot 1005 \cdot (450 - 27)}{(3600)}$$

$$P_{\text{chamber,dinamis}} = 715,96 \text{ Watt} = 0,72 \text{ Kwatt}$$

Daya pemanasan dinamik pada chamber

$$P_{\text{chamber,statis}} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{t}$$

$$P_{\text{chamber,statis}} = \frac{(1,1 \times 1,29) \cdot 1005 \cdot (450 - 27)}{3600}$$

$$P_{\text{chamber,statis}} = 167,56 \text{ watt} = 0,17 \text{ Kwatt}$$

Daya Pemanasan Total

$$P_{Pemanas\ Elektrik} = P_{BC} + P_{CT} + P_{Cd} + P_{Cs}$$

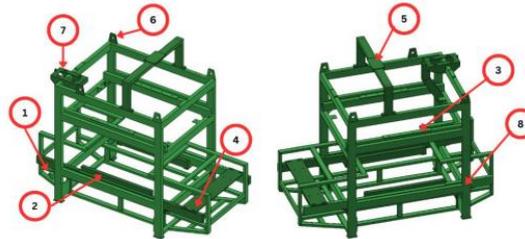
$$P_{Pemanas\ Elektrik} = 7,60 + 3,10 + 0,72 + 0,17\text{ Kwatt}$$

$$P_{Pemanas\ Elektrik} = 11,59\text{ Kwatt} + 30\% (\text{safety})$$

$$P_{Pemanas\ Elektrik} = 15,07\text{ Kwatt}$$

3.3 Struktur Rangka Utama

Pembuatan struktur beserta geometri rangka utama pada mesin oven *annealing* berdasarkan pada hasil pertimbangan – pertimbangan dan analisis yang sudah dilakukan sebelumnya. Struktur rangka utama tersusun atas beberapa komponen yang dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Keterangan :

- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1) Wiring Panel Bracket | 5) Blower Bracket |
| 2) Bottom Sub-frame | 6) Hook Latch |
| 3) Upper Sub-frame | 7) Motor Bracket |
| 4) Vacuum Assy Bracket | 8) Mainframe |

Gambar 3. Sub-Assembly Main Frame Oven Annealing

3.4 Karakteristik Material Yang Digunakan

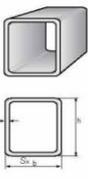
Berdasarkan hasil pemilihan material, main frame paling cocok menggunakan *mild carbon steel* karena memiliki keseimbangan sifat kekuatan, ketahanan, kelenturan, serta kemampuan fabrikasi yang baik, terutama dalam proses pengelasan [9]. Berikut adalah informasi detail mengenai material yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi Properti Material Mild Carbon Steel

<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>Imperial</i>
Density	7,78 g/cc	0,284 lb/in ³
<i>Mechanical Properties</i>	<i>Metric</i>	<i>Imperial</i>
Hardness, Brinell		126
Hardness, Knopp		145
Hardness, Rockwell B		71
Hardness, Vickers		131
Tensile Strength, Ultimate	440 MPa	63800 psi
Tensile Strength, Yield	370 MPa	53700 psi
Elongation at Break		15%
Reduction of Area		40%
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio		0,290
Machinability		70%
<i>Electrical Properties</i>	<i>Metric</i>	
Electrical Resistivity @0°C		0.0000159 Ω-cm
@100°C		0.0000219 Ω-cm
@200°C		0.0000293 Ω-cm

Dengan jenis besi struktural yang digunakan adalah berjenis *hollow steel* dengan dimensi 40 mm x 80 mm x 3 mm, untuk spesifikasi detail dapat dilihat pada Gambar 4.

Standard Dimensional Tolerance JIS G 3466

Rectangular Tube Pipe			Square Tube Pipe		
Size (mm)	Thickness (mm)		Size (mm)	Thickness (mm)	
40 x 30	1.0 ~ 3.0		20 x 20	1.0 ~ 2.0	
50 x 30	1.8 ~ 3.2		25 x 25	1.0 ~ 2.0	
60 x 40	2.0 ~ 3.5		30 x 30	1.0 ~ 3.2	
75 x 45	2.0 ~ 3.5		40 x 40	1.8 ~ 3.5	
80 x 40	2.0 ~ 3.8		50 x 50	2.0 ~ 3.8	
100 x 50	2.0 ~ 4.0		60 x 60	2.0 ~ 4.0	
			75 x 75	2.0 ~ 4.0	
			100 x 100	2.8 ~ 4.5	

Chemical Composition	
* Phosphor (P)	: 0.05 % max
* Sulphur (S)	: 0.05 % max

Mechanical Properties	
* Tensile Strength	: 294 N/mm ² min
* Elongation	: 21% min

Tolerance	
* Thickness < 3 mm	: ± 0.3 mm
3 mm ≤ t ≤ 12 mm	: ± 10 %
* Length	: ± 2 %
* Side Length < 100 mm	: ± 1.5 mm
≥ 100 mm	: ± 10 %
* Corner between two side	: ± 1.5°
* Standard length of pipe	: 6000 mm

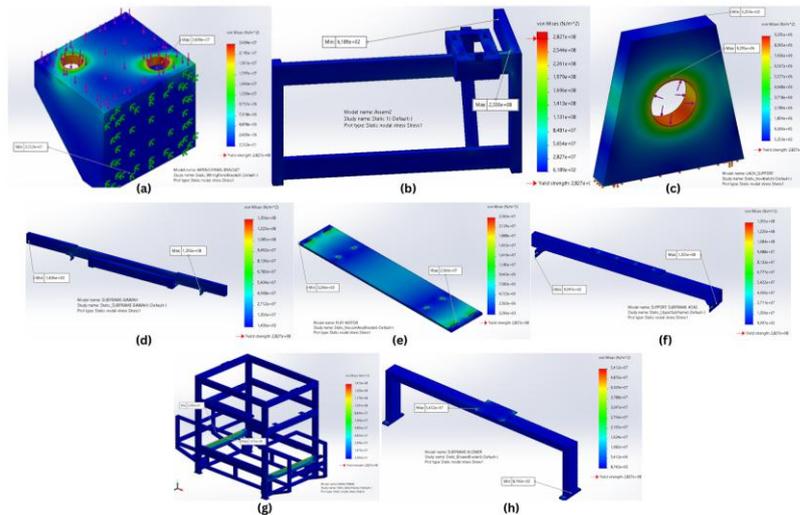
NOTE : Non standard size are available upon request and subject to minimum quantity.

Gambar 4. Spesifikasi Besi Hollow JIS G3466

Berdasarkan pada informasi tersebut, didapat untuk *tensile strenght* dari besi hollow 40 x 80 x 3 mm adalah $2,94 \times 10^8$ N/m² dengan nilai elongasi minimum pada 21% [10].

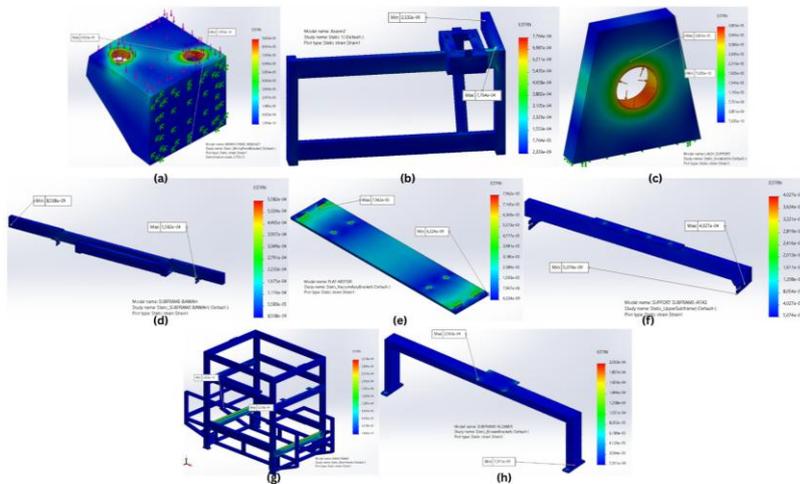
3.5 Hasil Simulasi Finite Element Analysis

Simulasi dilakukan dengan *software Solidworks Simulations Premium*, dengan hasil akhir yang dicari adalah *Von-Misses Stress, Displacement, Strain* dan *Factor of Safety*.



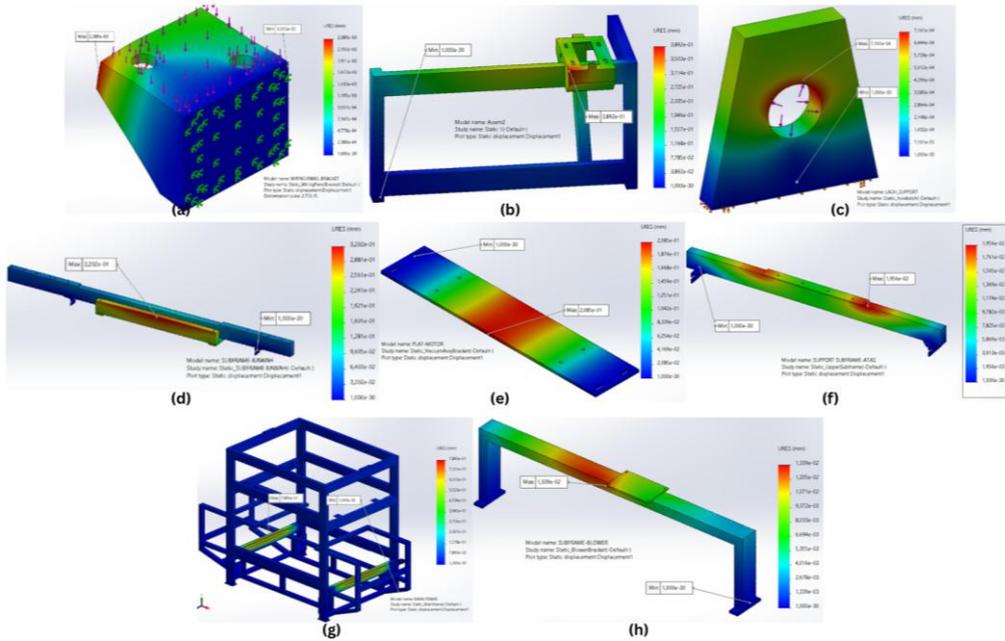
Gambar 5. Hasil *Von-Misses Stress* pada (a) *Wiring Panel Bracket*, (b) *Motor Bracket*, (c) *Hooklatch*, (d) *Bottom Sub-frame*, (e) *Vaccum Assy Bracket*, (f) *Upper Sub-frame*, (g) *Main Frame*, (h) *Blower Bracket*

Berdasarkan pada Gambar 5, berdasarkan pada hasil analisis *von-misses stress* yang telah dilakukan pada tiap – tiap komponen penyusun didapat bahwa nilai *stress* yang terjadi masih di bawah nilai *yield strenght* yang dimiliki oleh material yang digunakan yaitu $2,87 \times 10^8$ N/m².



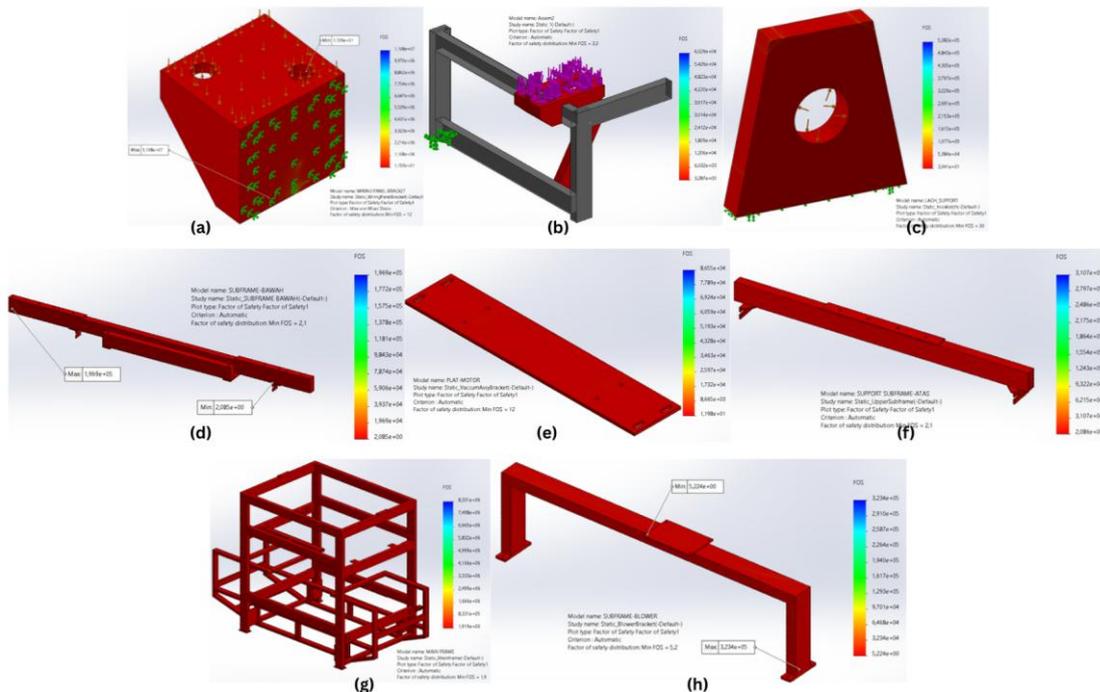
Gambar 6. Hasil *Equivalent Strain* pada (a) *Wiring Panel Bracket*, (b) *Motor Bracket*, (c) *Hooklatch*, (d) *Bottom Sub-frame*, (e) *Vaccum Assy Bracket*, (f) *Upper Sub-frame*, (g) *Main Frame*, (h) *Blower Bracket*

Bedasarkan pada hasil *equivalent strain* yang ditunjukkan pada Gambar 6, didapat nilai *strain* terbesar di angka 0,00038 yaitu pada komponen *hooklatch*.



Gambar 7. Hasil *Displacement Analysis* Pada (a) *Wiring Panel Bracket*, (b) *Motor Bracket*, (c) *Hooklatch*, (d) *Bottom Sub-frame*, (e) *Vaccum Assy Bracket*, (f) *Upper Sub-frame*, (g) *Main Frame*, (h) *Blower Bracket*

Bedasarkan pada hasil *displacement analysis* yang sudah dilakukan seperti pada Gambar 7, diketahui *displacement* terbesar terjadi pada komponen *motor bracket* dengan nilai perubahan sebesar 0,32 mm.



Gambar 8. Hasil *Safety Factor Analysis* Pada (a) *Wiring Panel Bracket*, (b) *Motor Bracket*, (c) *Hooklatch*, (d) *Bottom Sub-frame*, (e) *Vaccum Assy Bracket*, (f) *Upper Sub-frame*, (g) *Main Frame*, (h) *Blower Bracket*

Bedasarkan pada hasil analisis *safety factor* yang sudah dilakukan pada tiap – tiap komponen seperti pada Gambar 7, didapat bahwa tiap – tiap komponen telah memiliki angka faktor keamanan > 2 dan tidak perlu adanya perbaikan desain.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian yang sudah dilakukan terkait perancangan struktur rangka oven *annealing collapsible tube*, sebagai berikut:

- a. Proses perancangan struktur rangka oven *annealing collapsible tube* terdiri dari tujuh tahapan. Tahap pertama adalah pengumpulan data dari mesin-mesin sejenis serta observasi lapangan untuk mengidentifikasi kebutuhan konsumen. Tahap kedua adalah analisis kebutuhan desain yang mencakup aspek-aspek penting yang harus diperhatikan pada mesin. Selanjutnya, tahap ketiga yaitu perancangan konsep mesin dengan membuat gambaran umum, menentukan komponen utama, dan menyiapkan perhitungan yang relevan. Tahap keempat adalah pembuatan model tiga dimensi berdasarkan konsep desain yang telah dibuat. Kemudian, tahap kelima meliputi pemilihan material yang sesuai dengan kondisi kerja rangka utama, berdasarkan teori dan langkah-langkah yang berlaku. Tahap keenam adalah pengujian model tiga dimensi rangka utama sebagai bentuk evaluasi kelayakan desain menggunakan parameter hasil dan batas nilai yang ditentukan, terutama faktor keamanan (*safety factor*). Terakhir, tahap ketujuh adalah pembuatan dokumen-dokumen teknis yang berkaitan dengan hasil perancangan.
- b. Selama proses perancangan struktur rangka, terdapat beberapa pertimbangan utama yang dilakukan. Pertama, mempertimbangkan aspek kondisi operasi, pembebanan, serta perawatan dan pemeliharaan, yang berpengaruh terhadap pemilihan jenis material, jenis besi struktural, dan ketebalannya. Selanjutnya, dilakukan pertimbangan terkait kebutuhan pada komponen penting yang diperoleh melalui perhitungan teknis menggunakan persamaan yang relevan. Terakhir, aspek keamanan desain juga menjadi perhatian utama, yang dianalisis melalui simulasi FEA menggunakan perangkat lunak SolidWorks Simulation Premium.
- c. Sebagai bentuk pemberkasan terkait rancangan yang telah dibuat, didapatkan beberapa dokumen – dokumen sebagai bentuk hasil dari perancangan yang telah dibuat. Meliputi engineering drawing, laporan simulasi FEA dan lembar spesifikasi teknis.

5. Daftar Pustaka

- [1.] Rohman HF, Gunawan, D, Umardani, Yusuf. PENGARUH PROSES HEAT TREATMENT ANNEALING TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN NILAI KEKERASAN PADA SAMBUNGAN LAS THERMITE BAJA NP-42. Jurnal Teknik Mesin. 2014;2(3).
- [2.] Fathoni IN, Ardhi RP, Wulandari I, Nikolas R, Dimaz M. Simulasi Proses Continouus Annealing untuk Perbaikan Sifat Mekanik Baja Lembaran Canai Dingin JIS G3141 SPCE di PT Krakatau Steel. 2021;04(02).
- [3.] Trihutomo P. PENGARUH PROSES ANNEALING PADA HASIL PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH.
- [4.] Adi SN, Widyanto SA. Analisis Penyebab Cacat Produk Aluminium Collapsible Tube Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis. 2023;11(3).
- [5.] Velmanirajan K, Anuradha K. *Aluminium and Its Interlinking Properties*. In: Omar Cooke K, editor. *Aluminium Alloys and Composites*. IntechOpen; 2020 [cited 2025 Jun 3]. Available from: <https://www.intechopen.com/books/aluminium-alloys-and-composites/aluminium-and-its-interlinking-properties>
- [6.] Kumbhar SV, Salotagi MM. *Technological Developments in Annealing Furnaces for Performance Improvement*. 2017;3(3).
- [7.] Aprizal A, Arifin Y. Rancang Bangun dan Pengujian Oven Pemanas Baja Kapasitas 1200oc. JUTIN. 2024 Jul 10;7(3):1501–8.
- [8.] Soleh A, Soedarmadji W, Effendy M. PERANCANGAN MESIN OVEN HEAT TREATMENT DENGAN KAPASITAS 1200 WATT SKALA PRAKTIKUM. jmmt. 2022 Sep 29;3(2):69–77.
- [9.] AZoM. AISI 1020 Low Carbon/Low Tensile Steel. 2012 Jul 5 [diakses 16 Mei 2025]. Tersedia dari: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6114>
- [10.] PT Steel Pipe Industry of Indonesia Tbk (Spindo). Tersedia dari: <https://www.spindo.com/> [Diakses 16 Mei 2025].