



Desain Rekayasa dan Analisis FEA *Indirect Rotary Dryer* untuk Pengeringan Bahan Baku *Refuse Derived Fuel*

Yosian Bagas Mahendra Febriansyah^{1*}, Arif Rahman Saleh², Sigit Mujiarto³

¹⁻³ Universitas Tidar, Indonesia

*Korespondensi penulis: bagasmahendra@students.untidar.ac.id

Abstract. One form of waste-to-energy processing derived from municipal solid waste is Refuse Derived Fuel (RDF). Various drying technologies are commonly used for RDF drying. One practical example is the use of an oil tube rotary dryer as an alternative to a steam tube rotary dryer, primarily for several key reasons. First, the use of thermal oil as the heat transfer medium does not require high pressure, unlike the steam tube rotary dryer, resulting in a simpler design composition. This study was conducted to determine the design and structural strength analysis of an oil tube rotary dryer machine using SolidWorks software. The operation begins with heating the thermal oil in the heating unit until it reaches the desired operating temperature. The heated oil is then circulated in a closed system into the tubes inside the drying drum. Simultaneously, RDF with an initial moisture content of 55% is fed through the inlet housing into the shell. The oil temperature used for heating is around 150°C, with a total of 65 tubes each measuring 1.25 inches in diameter and 10 meters in length, arranged inside the shell. The structural analysis results of the oil tube rotary dryer show a maximum von Mises stress of $9.371 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ and a minimum value of $9.628 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. The highest stress occurs at the sharp edge of the support roller where no contact exists, which can be ignored as it represents stress singularity. The displacement analysis shows a maximum value of $1.026 \times 10^1 \text{ mm}$ and a minimum value of $1.000 \times 10^{-30} \text{ mm}$. The highest displacement value occurs due to the centrifugal force acting on the rotary drum/shell. The safety factor analysis, based on the average probe result, is 2.3. Therefore, the simulation results indicate that the design is structurally safe and can proceed to the manufacturing process.

Keywords: Design; FEA Analysis; Oil Tube; Refuse Derived Fuel; Rotary Dryer

Abstrak. Salah satu bentuk pengolahan limbah menjadi energi yang berasal dari limbah padat perkotaan adalah sampah bahan bakar turunan atau *Refuse Derived Fuel* (RDF). Terdapat berbagai teknologi pengeringan yang biasanya digunakan untuk pengeringan RDF. Contoh penerapannya adalah *oil tube rotary dryer* sebagai alternatif dari *steam tube rotary dryer* karena sejumlah alasan utama. Pertama, penggunaan *oil engine* sebagai material penghantar panas tidak membutuhkan tekanan tinggi seperti pada *steam tube rotary dryer* sehingga komposisi desain yang tidak serumit *steam tube rotary dryer*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perancangan dan analisis kekuatan struktur mesin *oil tube rotary dryer* yang dilakukan melalui *software Solidworks*. Cara kerja mesin dimulai dari pemanasan *thermal oil* di unit pemanas hingga mencapai suhu operasi yang diinginkan. *Oil* panas kemudian disirkulasikan secara tertutup ke dalam tube di dalam drum pengering. Pada saat yang sama, RDF dengan kadar air awal 55% dimasukkan melalui *inlet housing* ke dalam *shell*. Suhu yang bekerja pada *oil* untuk memanaskan sekitar 150°C, jumlah total tube 65 buah berdiameter 1,25 inch, dan panjang pipa 10 m yang tersusun di dalam *shell*. Hasil analisis struktur mesin *oil tube rotary dryer* berdasarkan simulasi didapatkan *stress (von mises)* dengan nilai tertinggi $9,371 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Sedangkan nilai terendah $9,628 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut terjadi pada sudut tajam bagian support roller yang tidak terdapat kontak, sehingga hal ini dapat diabaikan karena merupakan *stress singularity*. Hasil simulasi *displacement* dengan nilai tertinggi $1,026 \times 10^1 \text{ N/m}^2$. Sedangkan nilai terendah $1,000 \times 10^{-30} \text{ N/m}^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut merupakan penerapan dari gaya *centrifugal* yang terjadi pada drum/shell rotary. Hasil simulasi Safety factor yaitu mengacu pada rata-rata *probe result* adalah 2,3. Sehingga dari hasil simulasi tersebut dapat dikatakan aman untuk dilanjutkan ke proses manufacturing.

Kata Kunci: Analisis FEA; Oil Tube; Perancangan; Refuse Derived Fuel; Rotary Dryer

1. LATAR BELAKANG

Salah satu bentuk pengolahan limbah menjadi energi yang berasal dari limbah padat perkotaan adalah sampah bahan bakar turunan atau *Refuse Derived Fuel* (RDF). Secara umum, RDF mengacu pada fraksi sampah berkalori tinggi yang dipisahkan dari limbah proses rumah tangga, komersial, atau industri. Limbah padat perkotaan dipilah kemudian dibagi menjadi 2 jenis yaitu limbah combustible dan non-combustible. RDF sendiri terdiri dari komponen-komponen yang mudah terbakar seperti sampah plastik, kertas, karton, tekstil, kayu dan bahan organik lainnya. Berbagai penelitian tentang RDF telah dilakukan untuk menilai kesesuaian bahan baku sebagai RDF, proses pemanfaatan/pengguna akhir termasuk kalorisasi termokimia proses mengubah bahan bakar menjadi energi yang berguna (Aluri et al., 2018). Mengulas bahan bakar alternatif yang digunakan di industri semen termasuk RDF, ditemukan bahwa substitusi bahan bakar mengakibatkan manfaat tambahan yang maksimal berupa pengurangan biaya dan emisi CO₂, dengan tetap mempertimbangkan permasalahan utama untuk RDF adalah memenuhi batas kandungan klorin (Cl) (Chatziaras et al., 2016). RDF untuk standar Jepang, RDF harus memiliki kadar air kurang dari 20% dengan nilai kalor lebih dari 12.500 kJ/kg, maka dari itu dibutuhkan mesin pengering yang optimal agar RDF yang digunakan dapat bekerja optimal (Widowati, 2023). Terdapat berbagai teknologi pengeringan yang biasanya digunakan untuk pengeringan RDF. Terdapat *direct drying* adalah metode pengeringan yang menggunakan panas secara langsung pada material untuk menghilangkan kelembapan. Tipe selanjutnya, yaitu *indirect drying*, melibatkan pengeringan material tanpa kontak langsung dengan sumber panas, memanfaatkan panas dari permukaan yang dipanaskan (Asadi, 2016).

Salah satu contoh penerapannya adalah *steam tube rotary dryer* yang memanfaatkan pipa-pipa yang berisi uap panas dalam drum untuk mendistribusikan panas, *steam tube rotary dryer* termasuk ke dalam kategori *indirect rotary dryer* menggunakan uap panas untuk biomassa didapat hasil bahwa nilai kapasitas penguapan kuadrat menurun (Havlík & Dlouhý, 2020) Pada penelitian ini difokuskan pada *oil tube rotary dryer* sebagai alternatif dari *steam tube rotary dryer* karena sejumlah alasan utama. Pertama, penggunaan *oil engine* sebagai material penghantar panas tidak membutuhkan tekanan tinggi seperti pada *steam tube rotary dryer* sehingga komposisi desain yang tidak serumit *steam tube rotary dryer*. Kedua, menawarkan fleksibilitas yang lebih besar dalam pengaturan suhu, sehingga cocok untuk material yang sensitif terhadap suhu tinggi, dalam hal ini cocok untuk aplikasi pada pengeringan bahan baku RDF. Prinsip kerja *oil tube rotary dryer* hampir sama dengan *steam tube rotary dryer* yaitu sebuah mesin *indirect rotary dryer*. Pada mesin *indirect rotary dryer* panas yang digunakan sebagai pengeringan ditransfer melalui dinding logam pipa yang

mengalir di sepanjang drum *shell*, panas berpindah melalui konduksi dan radiasi dari dinding logam pipa ke material. Hal yang membedakan adalah fluida pemanas yang digunakan adalah *oil*/minyak.

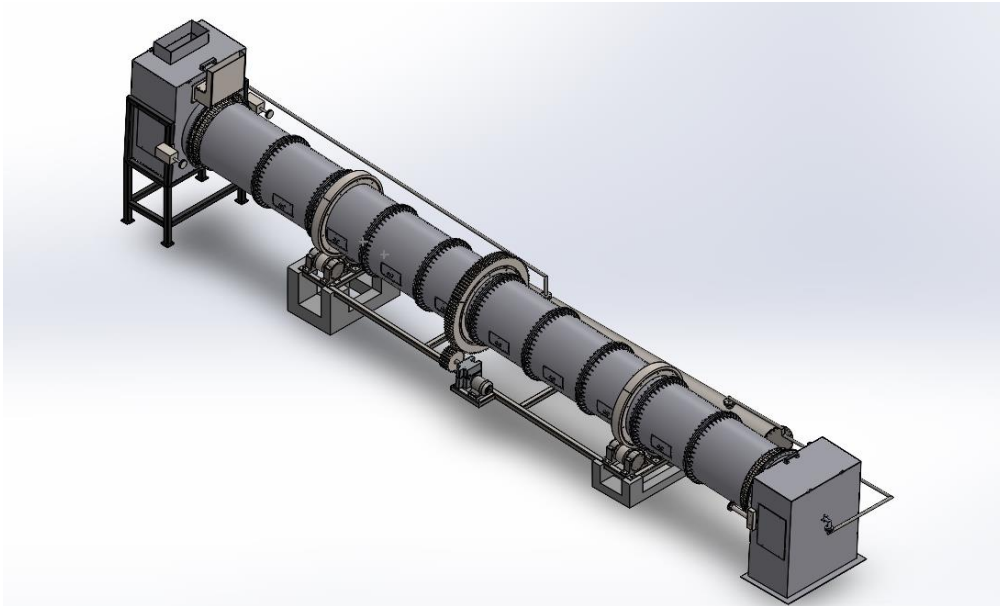
Pada mesin *oil tube rotary dryer* yang ada di Kecamatan Mungkid, Kabupaten Magelang masih memiliki kekurangan dalam hal efisiensi dikarenakan berbagai hal, seperti konfigurasi *tube* yang digunakan sebagai penghantar panas berada di luar *shell* sehingga efisiensi panas berkurang. Efisiensi perpindahan panas dapat dimaksimalkan dengan mengisolasi ruang perpindahan panas agar fluida pemanas bekerja dengan maksimal/tidak banyak panas yang terbuang. Hal ini dibuktikan dengan jurnal yang membahas pengaruh kondisi batas terhadap efisiensi perpindahan panas terbukti secara eksperimen dengan kondisi batas sempurna meningkatkan efisiensi perpindahan panas (Käufer et al., 2023). Tidak adanya *seal* sebagai penahan kebocoran panas dan udara pada bagian *shell*. Pada mesin *rotary dryer* terdapat *gap* antara *shell* dan bagian statis *housing*, sehingga hal ini sama halnya dengan kondisi batas terbuka yang menyebabkan ketidakstabilan termal (Gómez-de la Cruz et al., 2022).

2. METODE PENELITIAN

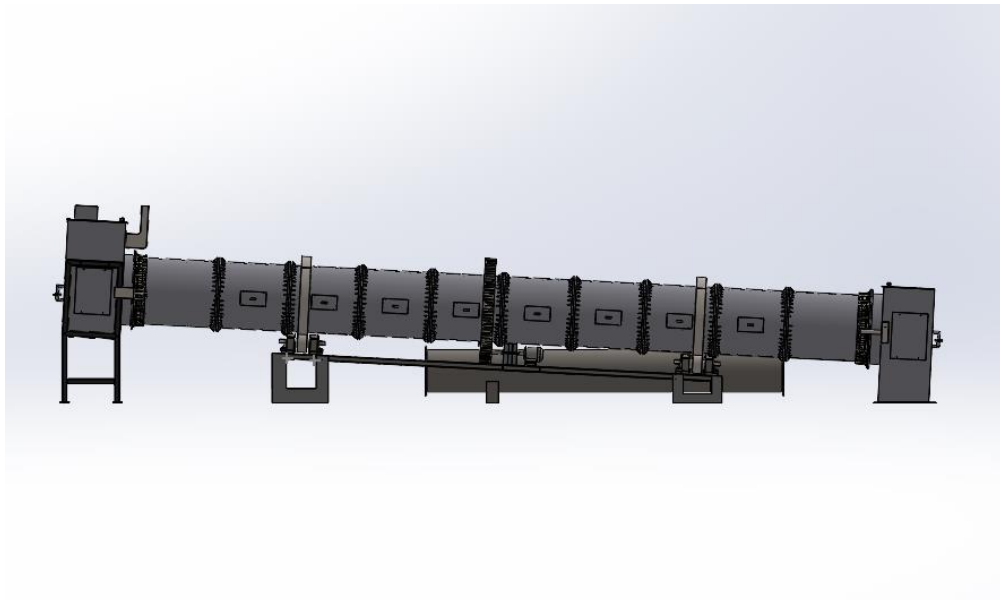
Metode penelitian ini adalah membuat model desain dan menganalisis struktur FEA mesin *indirect rotary dryer* dengan *thermal oil* sebagai penghantar panas. Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama yaitu membuat model desain mesin *indirect rotary dryer* dengan *software* Solidworks. Pembuatan model desain meliputi semua komponen yang dibutuhkan serta memilih material yang sesuai pada setiap komponen. Selanjutnya melakukan *Meshing* untuk memecahkan geometri menjadi elemen-elemen kecil. Selanjutnya menentukan *Boundary Condition* untuk mengetahui kondisi batas dari desain tersebut. Selanjutnya melakukan analisis struktur FEA yang digunakan dalam rekayasa struktur untuk menilai kekuatan dan stabilitas desain dan mengidentifikasi potensi titik kegagalan. Hasil Simulasi FEA didapatkan meliputi Pengujian *thermal stress* untuk mengetahui tegangan *thermal* dan memastikan di bawah nilai *yeild strength*, pengujian *displacement* untuk mengetahui pergeseran dan memastikan tidak melebihi batas toleransi, pengujian *safety factor* untuk mengetahui faktor keamanan dan memastikan memenuhi faktor keamanan yang disarankan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui konsep desain, dan analisis kekuatan struktur *thermal* mesin *indirect rotary dryer*. Konsep desain dari mesin *indirect rotary dryer* dibuat menggunakan *software* Solidworks. Simulasi FEA yang akan dilakukan juga menggunakan *software* Solidworks (*static* dan *thermal*) Konsep desain ini merupakan desain *assembly* yang merupakan penggabungan dari beberapa desain *part*. Konsep desain mesin *oil tube rotary dryer* dapat ditunjukkan pada Gambar 1. dan Gambar 2.



Gambar 1. Tampilan *isometric* konsep desain



Gambar 2. Konsep desain pada tampilan samping

Desain assembly tersebut terdiri dari berbagai macam komponen, komponen mesin oil tube rotary dryer ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Komponen mesin oil tube rotary dryer

Komponen	Jumlah	Keterangan
<i>Shell</i>	10	Terdapat 2 jenis yaitu <i>shell</i> bagian ujung dan tengah, masing-masing dihubungkan dengan baut, pada bagian <i>shell</i> tengah memiliki tutup yang bisa dibuka untuk maintenance
<i>Inlet Housing</i>	1	Pada bagian <i>inlet</i> terdapat sistem swivel joint, <i>hopper</i> untuk masuknya material RDF, penyangga <i>hopper</i> , dan terdapat <i>exhaust system</i>
<i>Outlet Housing</i>	1	Bagian <i>outlet</i> menampung hasil RDF kering. Pada bagian ini terdapat sistem <i>swivel joint</i> untuk memasukkan <i>oil</i>
<i>Tube</i>	1	<i>Tube</i> sebagai tempat mengalirnya <i>oil</i> penghantar panas
<i>Leaf Seal</i>	45 × 2	<i>Seal</i> pencegah kebocoran karena terdapat <i>gap/celah</i> antara <i>shell</i> dengan <i>housing system</i>
<i>Hopper</i>	1	Sebagai tempat menyalurkan material ke dalam silinder <i>drum/shell</i>
<i>Support Roller</i>	4	<i>Trunnion support roller</i> sebagai penopang berat <i>shell</i>
<i>Thrust Roller</i>	4	<i>Thrust roller</i> sebagai penahan gaya aksial silinder <i>drum</i>
<i>Girth Gear</i>	1	Terdapat 2 <i>gear</i> yaitu <i>girth gear</i> kecil dan besar, <i>girth gear</i> besar menempel pada silinder <i>drum</i> , sedangkan <i>girth gear</i> kecil terhubung dengan poros penggerak
<i>Tyre</i>	2	<i>Tyre</i> menempel pada silinder <i>drum</i> sebagai bantalan/tumpuan yang bergesekan dengan <i>support roller</i> dan <i>thrust roller</i>
Frame Penyangga	1	Frame penyangga <i>inlet housing</i> digunakan sebagai penopang dari sistem <i>inlet</i> dan <i>frame</i> penyangga utama sebagai tempat penopang <i>support roller</i> , <i>thrust roller</i> , <i>speed reducer</i> , dan motor penggerak.
Struktur tumpuan utama	2	Tumpuan utama merupakan penyangga <i>frame</i> utama yang menjadi penopang utama mesin <i>oil tube rotary dryer</i>
Rumah <i>Bearing Support Roller</i>	4 set	Sebagai tempat <i>bearing support roller</i> dan poros <i>trunnion</i>
<i>Bearing Support Roller</i>	8	<i>Bearing</i> menjadi bantalan poros <i>support roller</i>
<i>Bearing Thrust Roller</i>	4	<i>Bearing</i> menjadi bantalan poros <i>thrust roller</i>
<i>Swivel Joint</i>	1	<i>Swivel joint</i> memungkinkan menghubungkan komponen yang berputar dengan komponen yang diam
<i>Exhaust System</i>	1	<i>Exhaust system</i> sebagai komponen pembuangan uap panas hasil dari transfer panas
<i>Speed reducer</i>	1	<i>Speed reducer</i> merubah putaran tinggi dari motor penggerak menjadi putaran rendah
Motor Penggerak	1	Sebagai penggerak poros yang akan dihubungkan ke <i>girth gear</i> besar untuk memutar silinder <i>drum</i>
Tangki Penyimpanan <i>Oil</i>	1	Tempat <i>oil</i> ditampung dan dipompa ke silinder <i>drum</i>
Pipa Distribusi	2	Mendistribusikan dari tangki ke komponen <i>tube</i> dan sebaliknya

Prinsip kerja mesin oil tube rotary dryer adalah memanfaatkan panas tidak langsung dari thermal oil yang bersirkulasi di dalam tube untuk mengeringkan material RDF (Refuse Derived Fuel) yang berada di dalam shell. Thermal oil dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu operasi sekitar 150 °C menggunakan burner, kemudian dialirkan melalui pipa-pipa (tube) berdiameter 1,25 inch dengan jumlah total 62 buah dan panjang masing-masing 10 meter yang tersusun di bagian dalam drum. Panas dari thermal oil ini berpindah melalui dinding tube dan diteruskan ke RDF yang berada di ruang shell. Dengan demikian, RDF tidak bersentuhan langsung dengan api maupun gas hasil pembakaran, sehingga proses pengeringan berlangsung lebih aman, bersih, dan terkendali.

Cara kerja mesin dimulai dari pemanasan *thermal oil* di unit pemanas hingga mencapai suhu operasi yang diinginkan. *Oil* panas kemudian disirkulasikan secara tertutup ke dalam tube di dalam drum pengering. Pada saat yang sama, RDF dengan kadar air awal 55% dimasukkan melalui inlet housing ke dalam shell. Drum pengering berbentuk silinder besar dengan diameter luar 960 mm dan kemiringan 3° agar material dapat bergerak secara gravitasi dari inlet menuju outlet. Selama berputar dengan kecepatan rendah (3 rpm), RDF akan terangkat oleh flight (sirip pengaduk) yang terpasang di bagian dalam shell lalu dijatuhkan kembali, sehingga material terus bergulir dan bercampur. Mekanisme ini memperluas kontak antara RDF dengan permukaan tube yang panas, sehingga panas dapat terserap lebih merata ke seluruh material.

Analisis struktural FEA digunakan dalam rekayasa struktur untuk menilai kekuatan dan stabilitas desain dan mengidentifikasi potensi titik kegagalan. Analisis *thermal structure* digunakan untuk menganalisis tekanan *thermal* pada komponen yang terkena suhu pemanasan. Tahapan dalam melakukan simulasi analisis struktur FEA mesin *oil tube rotary dryer* dengan *software* Solidworks sebagai berikut:

a) Menentukan material

Untuk melakukan simulasi FEA langkah pertama yaitu menentukan material yang akan digunakan pada mesin *oil tube rotary dryer*. Pada proses pemilihan material dipilih yang sesuai akan kekuatan dari kondisi yang akan digunakan. Penentuan material pada *software* Solidworks pada pilihan *apply material*.

Komponen alat *oil tube rotary dryer* terdiri dari beberapa material. Jenis-jenis material yang digunakan dalam perancangan mesin *oil tube rotary dryer* dapat dilihat pada Tabel 2.

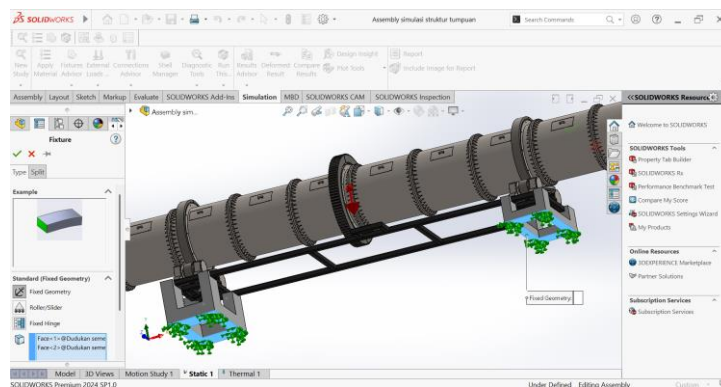
Tabel 2. Material pada komponen alat

Komponen	Material
Shell	Baja Paduan SA387
Inlet Housing	Stainless Steel AISI 304
Outlet Housing	Stainless Steel AISI 304
Tube	Copper C12200
Leaf Seal	Stainless Steel AISI 304
Hopper	Stainless Steel AISI 304
Support Roller	Baja Paduan AISI 4340
Thrust Roller	Baja Paduan AISI 4340
Girth Gear	Baja Paduan AISI 4340
Tyre	Baja Paduan AISI 4340
Struktur Penyangga	Gray Cast Iron
Engsel	Stainless Steel AISI 304
Rumah Bearing Support Roller	Stainless Steel AISI 304
Trunnion Support Roller	Baja Paduan AISI 4340
Thrust Roller	Baja Paduan AISI 4340
Struktur tumpuan utama	Concrete
Swivel Joint	Stainless Steel AISI 304
Exhaust System	Stainless Steel AISI 304
Gear Box	Baja Paduan AISI 4340
Motor Penggerak	Stainless Steel AISI 304
Tangki Penyimpanan Oil	Baja Paduan AISI 1015
Pipa Distribusi	Stainless Steel AISI 304

b. Boundary Conditions

Dalam simulasi *Finite Element Methode* (FEA), *boundary conditions* atau kondisi batas merepresentasikan bagaimana objek tersebut berinteraksi dengan lingkungannya di dunia nyata. Kondisi ini mendefinisikan dukungan, pergerakan, gaya, atau nilai-nilai fisik seperti suhu dan tekanan yang diterapkan pada mesin *oil tube rotary dryer* yang sedang dianalisis, sehingga memungkinkan perolehan hasil simulasi yang akurat dan realistis.

1. Menentukan *constraint*/titik tumpu (*fixed support*) yang menjadi tumpuan dari mesin *oil tube rotary dryer*. Memilih *fixed support* pada bagian *face* dasar kedua tumpuan utama yang terbuat dari semen cor. Penentuan *fixed support* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penerapan *fixed support*

2. Penerapan beban yang bekerja

Beban yang bekerja pada mesin *rotary dryer* adalah beban dari material RDF yang dikeringkan sebesar 400 kg, beban untuk *oil tube* penghantar panas sebesar 812 kg, dan beban gravitasi $9,81\text{m/s}^2$. Total beban/distribusi massa yang bekerja yaitu 3000 kg.

3. Pergerakan yang terjadi

Terdapat gerakan rotasi dengan kecepatan putar 3 RPM.

4. Thermal effect

Efek panas yang diakibatkan dari pengeringan RDF disimulasikan pada bagian dalam *face shell* dengan suhu 150 derajat celcius, dan terdapat konveksi yang mengalir ke bagian *face* luar *shell* dengan koefisien konveksi $5\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ dan *ambient temperature* 30°C .

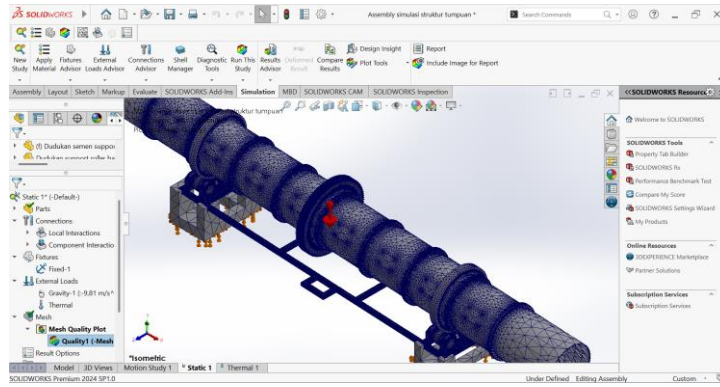
c) Connections

Dalam simulasi *Finite Element Analysis* (FEA), *connections* merupakan model yang mendefinisikan bagaimana dua atau lebih komponen mesin terhubung satu sama lain, serta bagaimana mereka berinteraksi. Koneksi yang akurat sesuai kejadian langsung sangat penting untuk menentukan perilaku struktural dunia nyata dengan presisi.

Connections yang diatur pada simulasi ini terdapat 2 jenis yaitu *global interaction* dan *local interactions*. Pada *global interaction* diatur untuk semua hubungan antar komponen *bonded* (terikat), sama halnya dengan dilas. Pada *local interactions* diatur hubungan antar komponen sebagai *contact*, mengatur bagian tumpuan pada penyangga *rotary* dengan *trunnion* dan bagian penyangga *rotary* terhadap *thrust roller* sebagai penahan gaya aksial.

d) Meshing

Meshing adalah proses membagi model 3D menjadi elemen-elemen kecil yang disebut *finite elements* (elemen hingga). Setiap elemen dihubungkan oleh titik-titik yang disebut *nodes* (titik simpul). Dengan membagi model menjadi banyak elemen, *software* FEA dapat menyelesaikan persamaan matematis yang menggambarkan perilaku struktur di bawah beban tertentu (gaya, panas, tekanan, dsb). Pada simulasi *static structure* ukuran meshing default yang digunakan adalah 224 mm dan lebih kecil pada bagian-bagian kritis seperti penyangga, *support roller*, *thrust roller*, dan penyangga utama. Hasil meshing dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



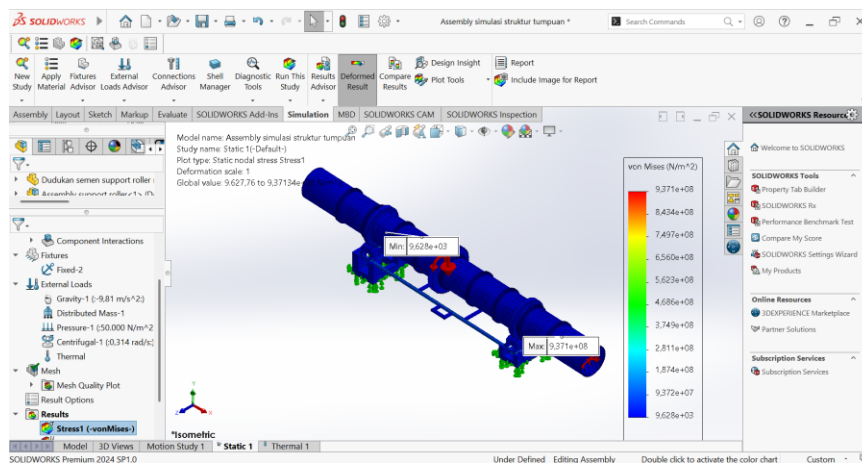
Gambar 4. Hasil meshing

Pada hasil *meshing* yang ditunjukkan pada gambar terlihat bahwa *meshing* halus berada di bagian tumpuan struktur *tyre rotary, thrust roller*, dan *trunnion support roller*. Hal ini merupakan hal yang baik karena bagian tersebut sangat penting karena terjadinya kontak dan dibutuhkan *meshing* halus agar hasil simulasi menjadi maksimal. Di bagian sambungan baut antar shell juga terlihat sudah halus yang merupakan komponen penting agar shell aman ketika digunakan.

Setelah proses *running simulation* maka akan didapatkan hasil dari nilai *thermal stress*, *displacement*, dan *safety factor*. Hasil Simulasi FEA didapatkan sebagai berikut:

1. Analisis Von Misses Stress

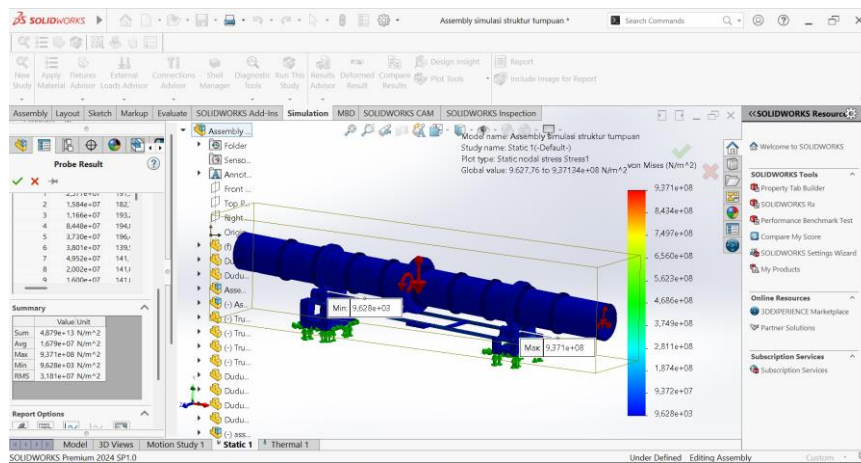
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan hasil dari analisis *von misses stress* pada mesin *oil tube rotary dryer*. Hasil dari pengujian analisis *stress* pada mesin *oil tube rotary dryer* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Von Misses Stress

Berdasarkan simulasi *stress (von mises)* yang ditampilkan pada gambar didapatkan nilai tertinggi adalah $9,371 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Sedangkan nilai terendah $9,628 \times 10^3 \text{ N/m}^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut terjadi pada sudut tajam bagian support roller yang tidak terdapat kontak, sehingga hal ini dapat diabaikan karena merupakan *stress singularity*. *Stress*

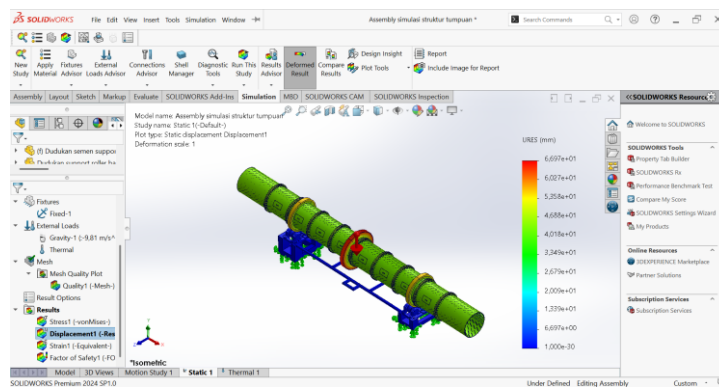
singularity adalah kondisi di mana tegangan (*stress*) hasil simulasi menjadi sangat besar secara tidak realistis pada titik atau elemen tertentu. Biasanya terjadi bukan karena material gagal sungguhan, melainkan karena masalah numerik atau geometri dalam model seperti sudut tajam. Terdapat bukti pendukung juga bahwa hal ini merupakan *stress singularity* yaitu pada *probe result* (kumpulan nodes), didapat hasil rata-rata stress $1,679 \times 10^7 \text{ N/m}^2$. Hasil probe dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Probe result stress

2. Analisis Displacement

Berdasarkan hasil pengujian berikut hasil dari pengujian analisis *displacement* pada mesin *oil tube rotary dryer* dapat dilihat pada Gambar 7.

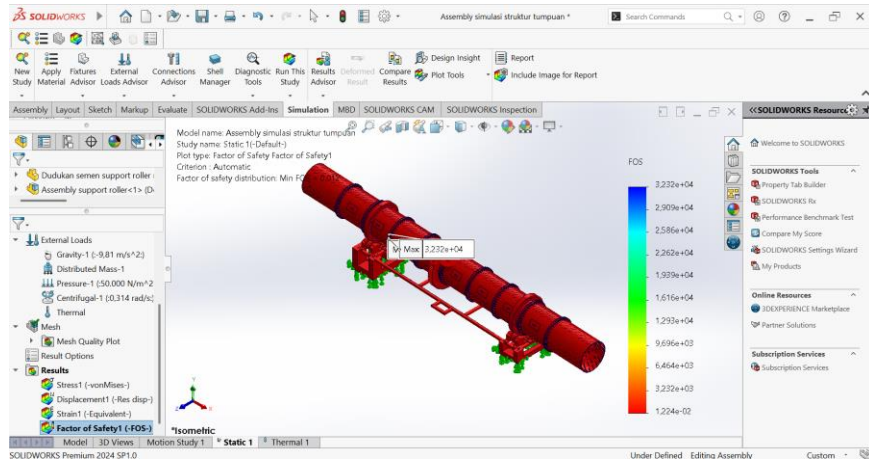


Gambar 7. Hasil analisis displacement

Berdasarkan simulasi *stress (von misses)* yang ditampilkan pada gambar didapatkan nilai tertinggi adalah $1,026 \times 10^1 \text{ N/m}^2$. Sedangkan nilai terendah $1,000 \times 10^{-30} \text{ N/m}^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut merupakan penerapan dari gaya *centrifugal* yang terjadi pada *drum/shell rotary*, jadi hal ini wajar dan pada bagian struktur tumpuan tidak terdapat *displacement* yang mengkhawatirkan. Hasil ini menunjukkan bahwa hasil simulasi yang baik dan aman.

3. Analisis *Safety Factor*

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan hasil dari analisis *safety factor* pada mesin *oil tube rotary dryer*. Berikut hasil dari pengujian analisis *safety factor* pada mesin *oil tube rotary dryer* dapat dilihat pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Hasil analisis *safety factor*

Hasil *Factor of Safety* (FOS) berdasarkan gambar didapatkan nilai tertinggi $3,232 \times 10^4 N/m^2$ dan nilai terendah $1,224 \times 10^{-2} N/m^2$. Nilai *safety factor* ini tidak lepas dari adanya *stress singularity* yang ada pada simulasi *von mises stress*, jika kita mengacu pada *probe result* (kumpulan nodes) didapat rata-rata 2,3. Hal ini menjadikan *safety factor* aman dan dapat dilanjutkan untuk proses *manufacturing*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil analisis struktur mesin *oil tube rotary dryer* berdasarkan simulasi didapatkan *stress (von mises)* dengan nilai tertinggi $9,371 \times 10^8 N/m^2$. Sedangkan nilai terendah $9,628 \times 10^3 N/m^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut terjadi pada sudut tajam bagian support roller yang tidak terdapat kontak, sehingga hal ini dapat diabaikan karena merupakan *stress singularity*. Hasil simulasi *displacement* dengan nilai tertinggi $1,026 \times 10^1 N/m^2$. Sedangkan nilai terendah $1,000 \times 10^{-30} N/m^2$. Nilai tertinggi dari hasil simulasi tersebut merupakan penerapan dari gaya *centrifugal* yang terjadi pada *drum/shell rotary*. Hasil simulasi *Safety factor* yaitu mengacu pada rata-rata *probe result* adalah 2,3. Sehingga dari hasil simulasi tersebut dapat dikatakan aman untuk dilanjutkan ke proses *manufacturing*.

Saran

(1) Perlu pembahasan yang lebih rinci terkait komponen listrik dan sistem kelistrikan yang dibutuhkan. (2) Ketersediaan komponen bisa disesuaikan sesuai spesifikasi yang

dibutuhkan sehingga jenis komponen tidak terikat. (3) Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai analisis dalam sistem pemanasan sehingga dapat mendapatkan hasil yang lebih detail. (4) Diharapkan dapat dilanjutkan ke proses pembuatan alat.

DAFTAR REFERENSI

- Aluri, S., Syed, A., Flick, D. W., Muzzy, J. D., Sievers, C., & Agrawal, P. K. (2018). Pyrolysis and gasification studies of model refuse derived fuel (RDF) using thermogravimetric analysis. *Fuel Processing Technology*, 179, 154–166.
- Asadi, F. (2016). *Drying of Refuse-Derived Fuel (RDF)*. <http://www.usn.no>
- ASTM International. (n.d.). www.astm.org
- Battaia, O., Dolgui, A., Heragu, S. S., Meerkov, S. M., & Tiwari, M. K. (2018). Design for manufacturing and assembly/disassembly: joint design of products and production systems. In *International Journal of Production Research* (Vol. 56, Issue 24, pp. 7181–7189). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1549795>
- Chaerul, M., & Wardhani, A. K. (2020). *Jurnal Presipitasi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan dengan Proses Biodrying: Review*. 17(1), 62–74.
- Chatziaras, N., Psomopoulos, C. S., & Themelis, N. J. (2016). Use of waste derived fuels in cement industry: a review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 27(2), 178–193.
- Donoso-García, P., Henríquez-Vargas, L., González, J., Díaz, I., & Fuentes, I. (2024). A Study for Estimating the Overall Heat Transfer Coefficient in a Pilot-Scale Indirect Rotary Dryer. *Processes*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/pr12020357>
- Dwi Atmajayani, R. (2018). 84 Implementasi Penggunaan Aplikasi AutoCAD dalam Meningkatkan Kompetensi Dasar Menggambar teknik bagi Masyarakat. *BRILIANT: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 3(2). <https://doi.org/10.28926/briliant>
- Fadila Rania, M., Gede Eka Lesmana, I., Maulana, E., Sawah, J., & Jakarta Selatan, J. (2019). *Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Kabupaten Tegal sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis*. 13(1). <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek>
- Feeco, I. (2024). *The FEECO Rotary Dryer Handbook*. FEECO.
- Gómez-de la Cruz, F. J., Palomar-Torres, A., Palomar-Carnicero, J. M., & Cruz-Peragón, F. (2022). Energy and exergy analysis during drying in rotary dryers from finite control volumes: Applications to the drying of olive stone. *Applied Thermal Engineering*, 200. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117699>
- Hadiwijaya, L., & Fikri, M. (2018). 51-File Submission-36-1-10-20200813. *Jurnal Techno Bahari*, 5(2), 9–15.
- Havlík, J., & Dlouhý, T. (2020). Indirect dryers for biomass drying—comparison of experimental characteristics for drum and rotary configurations. *ChemEngineering*, 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.3390/chemengineering4010018>

- Id, O., & Singh Rathore, A. (2025). Applied Finite Element Methods (FEM) in Industrial Engineering. In *Advanced Research Publications Journal of Advanced Research in Mechanical Engineering and Technology* (Vol. 12, Issue 7).
- Käufer, T., Vieweg, P. P., Schumacher, J., & Cierpka, C. (2023). Thermal boundary condition studies in large aspect ratio Rayleigh–Bénard convection. *European Journal of Mechanics, B/Fluids*, 101, 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.euromechflu.2023.06.003>
- Kuzio, I., Gursky, V., Krot, P., Zimroz, R., & Sorokina, T. (2022). Experimental Study of the Rolling Friction Coefficient in Highly Loaded Supports of Rotary Kilns. In *Structural Integrity* (Vol. 25, pp. 267–282). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91847-7_25
- Nugraha, A. S., Mayang, S., Ridwan, D., Isya, A., Prasetyo, B. A., & Alayuddin, F. (n.d.). *Designing the Strength of Bolt Nut Connections On The Incenerator Body Wall Plate*.
- Pambudi, A., Marno, & Santoso, A. (2022). *Analisa dan Perhitungan Baut dan Mur Pada Sambungan Kopling Flens*.
- Paramita, W., Hartono, D. M., & Soesilo, T. E. B. (2018). Sustainability of Refuse Derived Fuel Potential from Municipal Solid Waste for Cement's Alternative Fuel in Indonesia (A Case at Jeruklegi Landfill, in Cilacap). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 159(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012027>
- Pirttiniemi, J. (2021). *Development of Design Process Of Rotary Kiln*. LUT University.
- SECTION VIII Rules for Construction of Pressure Vessels ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code*. (n.d.). <https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>
- Septian, B., Aziz, A., Rey, P. D., Studi, P., Mesinfakultas, T., Dan, S., Universitas, T., Assyafi'iyah Jakarta, I., Besar, B., Konversi, T., & Bppt, E. (2021). Design of Heat Exchanger Shell and Tube. *Jurnal Baut Dan Manufaktur*, 03(1).
- Shapoori, M., & Moghimi, H. (2018). Refuse Derived Fuel (RDF) Production from Municipal Wastes (Case Study: Babol City). *Environmental Energy and Economic Research*, 2(2), 137–144. <https://doi.org/10.22097/eeer.2018.149284.1044>
- Technical Datasheet C12200*. (n.d.).
- Thaungwilai, K., Tantilertanant, Y., Singhatanadgit, W., & Singhatanadgid, P. (2023). Finite Element Analysis of the Mechanical Performance of Non-Restorable Crownless Primary Molars Restored with Intracoronary Core-Supported Crowns: A Proposed Treatment Alternative to Extraction for Severe Early Childhood Caries. *Journal of Clinical Medicine*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/jcm12051872>
- Widowati, L. (2023). *Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF) 2023*.
- Zheng, K., Zhang, Y., Zhao, C., & Li, T. (2016). Fault diagnosis for supporting rollers of the rotary kiln using the dynamic model and empirical mode decomposition. *Mechanika*, 22(3), 198–205. <https://doi.org/10.5755/j01.mech.22.3.13072>