

## **Analisis Kekuatan Struktur pada Desain *Traction Rod* Kereta Api Lokomotif dengan Metode *Finite Element Analysis* (FEA)**

<sup>1)</sup>Irsad Makhbulloh Ilyasa, <sup>2)\*</sup>Ignatius Aris Hendaryanto, <sup>3)</sup>Handoko, <sup>4)</sup>Agustinus Winarno

<sup>1,2,3,4)</sup>Program Studi Teknologi Rekayasa Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur  
Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

\*Email: aris.hendaryanto@ugm.ac.id

Diterima: 06 September 2024, Disetujui: 29 November 2024, Diterbitkan: 01 Desember 2024

### **ABSTRACT**

*The structural strength of locomotive bogies is crucial for bearing operational loads and absorbing engine vibrations to efficiently transmit torque to the train wheels. The traction rod, a critical component in this system, plays a key role in transferring power from the main engine to the locomotive wheels. With the CC300 locomotive engine producing 2.200 hp, the traction rod experiences significant loads, necessitating regular maintenance. Given that this component is currently imported, the company is striving to redesign the traction rod to ensure strong structural integrity for local production, reducing dependency on imports and optimizing maintenance costs. The redesign involves adding structures to the existing design to even out stress distribution and enhance safety factors. Finite Element Analysis (FEA) is utilized to compare the structural strength between the original and redesigned designs, resulting in significant improvements in load-bearing capacity and deformation reduction. Simulation results show variations in stress, deformation, and safety factors among the original design, the redesign by the company, and the redesign by the researchers. The original design exhibits a stress of 194,64 MPa, deformation of 4,2817 mm, and a safety factor of 1,2844. The company's redesign achieves a stress of 438,37 MPa, deformation of 3.4356 mm, with a safety factor of 0,5703. Meanwhile, the researchers' redesign shows a stress of 154,05 MPa, deformation of 4,4812 mm, and a safety factor of 1,6288.*

**Keywords:** *Traction Rod, Locomotive, Train, Finite Element Analysis, Bogie*

### **ABSTRAK**

Kekuatan struktur pada *bogie* lokomotif sangat penting untuk menanggung beban operasional dan mengabsorpsi getaran mesin penggerak agar torsi dapat ditransmisikan ke roda-roda kereta dengan efisien. *Traction rod* sebagai bagian krusial dalam sistem ini, berperan mentransfer tenaga dari mesin utama ke roda-roda lokomotif. Dengan daya mesin lokomotif CC300 sebesar 2.200 hp, *traction rod* mengalami beban yang signifikan, memerlukan perawatan berkala. Mengingat komponen ini saat ini diimpor, perusahaan dihadapkan dalam berupaya merancang ulang *traction rod* yang memiliki kekuatan struktur yang baik agar dapat diproduksi lokal, mengurangi ketergantungan pada impor dan mengoptimalkan biaya perawatan. Perancangan ulang dilakukan dengan menambahkan struktur pada desain sebelumnya untuk meratakan distribusi tegangan dan meningkatkan faktor keamanan. Metode *Finite Element Analysis* (FEA) digunakan untuk membandingkan kekuatan struktur antara desain sebelum dan *sesudah redesign*, menghasilkan peningkatan signifikan pada kemampuan menahan beban serta pengurangan deformasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain *traction rod* yang sudah ada memiliki nilai tegangan, deformasi, dan faktor keamanan yang berbeda antara desain lama, desain dari pihak perusahaan, dan desain dari peneliti. Desain lama memiliki tegangan sebesar 194,64 MPa, deformasi 4,2817 mm, dan faktor keamanan 1,2844. Redesign dari pihak perusahaan mencapai tegangan 438,37 MPa, deformasi 3,4356 mm, dengan faktor keamanan 0,5703. Sementara itu, *redesign* dari peneliti memiliki tegangan 154,05 MPa, deformasi 4,4812 mm, dan faktor keamanan 1,6288.

**Kata Kunci:** *Traction Rod, Lokomotif, Kereta Api, Finite Element Analysis, Bogie.*

## I. Pendahuluan

PT INKA (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang manufaktur kereta api terbesar di asia tenggara. Salah satu produk yang diproduksi oleh PT INKA adalah lokomotif dan gerbong kereta api. Material yang digunakan bermacam-macam, mulai dari *mild steel*, *carbon steel*, *stainless steel*, hingga paduan aluminium. Jenis dari material yang digunakan disesuaikan dengan masing-masing kegunaan dan bagiannya di kereta api. Karakteristik dan sifat material sangat mempengaruhi kekuatan material tersebut untuk menahan suatu beban.

Lokomotif kereta api adalah kendaraan yang digunakan untuk menggerakkan kereta api melalui rel. Lokomotif ini merupakan sumber tenaga utama yang digunakan untuk menarik atau mendorong rangkaian kereta api. Lokomotif kereta api dapat beroperasi dengan berbagai sumber tenaga, seperti mesin diesel, mesin uap, ataupun listrik. Lokomotif merupakan bagian yang sangat penting dalam susunan kereta. Lokomotif harus mampu menanggung beban berat yang beroperasi dengan waktu yang lama. Oleh karena itu, dalam merancang lokomotif, diperlukan analisis yang lebih mendalam dibandingkan dengan kendaraan darat lainnya.

Salah satu aspek penting dalam perancangan lokomotif adalah struktur rangka bogie, yang membutuhkan perancangan produk sesuai standar manufaktur kereta api. Bogie harus mampu menanggung beban aksial dan gaya tekan-tarik yang dihasilkan oleh muatan dan tumbukan selama operasi. Kekuatan struktural bogie, termasuk komponen *traction rod*, yang berfungsi untuk mentransfer tenaga dari mesin utama ke roda-roda, krusial untuk memastikan traksi, keandalan, dan keselamatan operasi kereta api.

*Bogie* merupakan komponen yang paling krusial dalam keselamatan kereta api. Beban dan getaran yang dihasilkan oleh mesin penggerak akan diabsorpsi oleh *bogie*, sehingga torsi mesin penggerak dapat ditransmisikan ke roda-roda pada rangkaian kereta api. Fungsi utama *bogie* adalah memastikan kontak yang stabil antara roda dan rel, terutama saat kereta melintasi tikungan. Salah satu pendukung keamanan kekuatan struktur komponen *bogie* adalah *traction rod*. *Traction rod* bertugas untuk mentransfer tenaga

dari mesin utama ke roda-roda lokomotif, memungkinkan kereta untuk bergerak maju atau mundur dengan efisien. Kinerja *traction rod* memiliki dampak langsung terhadap traksi, keandalan, dan keselamatan operasi kereta api secara keseluruhan. Dalam kondisi operasional yang berat dan lama, *traction rod* sering kali mengalami beban cukup berat yang dapat menyebabkan keausan material, distribusi tegangan tidak merata dan kegagalan struktural

Daya mesin lokomotif CC300 sebesar 2.200 hp yang ditransmisikan pada bogie lokomotif mengibatkan rangkaian pada komponen pendukung *bogie* mengalami penahanan beban yang cukup besar sehingga perlu dilakukan beberapa perawatan yang berkala. Perusahaan dihadapkan tuntutan untuk merancang ulang *traction rod* pada lokomotif diesel hidraulik tipe CC300. Komponen *traction rod* saat ini merupakan komponen *import* dari luar negeri, dan mengingat setiap lokomotif memiliki 12 *traction rod*, hal ini berpotensi mengakibatkan banyaknya penggantian komponen selama perawatan yang dapat mengakibatkan biaya *import* yang berlebihan. Oleh karena itu, perusahaan sedang melakukan beberapa perancangan ulang *traction rod* agar dapat diproduksi secara lokal.

Penelitian riset ini bertujuan untuk mengembangkan produk yang telah ada dengan cara rekayasa *geometry* dan struktur agar didapat efek penguatan sehingga dapat meningkatkan faktor keamanan yang telah ada. Metode yang digunakan adalah optimalisasi desain serta melakukan pengujian statik terhadap prototipe yang telah dimodifikasi. Tujuan *redesign traction rod* adalah untuk menghasilkan perancangan yang dapat mengurangi resiko kerusakan serta menghasilkan perancangan yang dapat meningkatkan kekuatan struktur pada *bogie* sehingga *bogie* dapat menahan torsi mesin penggerak dengan optimal. Perbaikan desain diharapkan dapat memenuhi tujuan diatas.

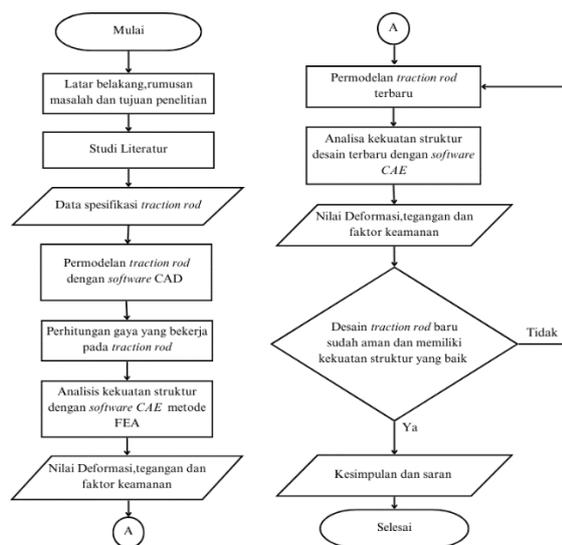
Model *redesign traction rod* dirancang oleh pihak PT INKA dan peneliti dengan menambahkan berbagai struktur pada desain sebelumnya. Penelitian ini berfokus pada perbandingan analisis kekuatan struktur dari desain sebelum dan sesudah *redesign* guna untuk menjadi verifikasi awal dalam tahap rancangan sebelum produksi lokal serta perbaikan pada komponen *traction rod* yang

sudah ada. Metode FEA (*Finite Element Analysis*) menjadi acuan untuk mempertimbangkan hasil analisis kekuatan struktur pada model yang sudah ada dengan model *redesign traction rod*. Tujuan dari FEA adalah untuk memperoleh nilai pendekatan numerik sehingga dapat diselesaikan dengan bantuan komputer, maka FEA dapat dikatakan bersifat *computer oriented* (Moaveni, Saeed. 2008).

Metode FEA (*Finite Element Analysis*) digunakan untuk menentukan nilai deformasi, tegangan dan faktor keamanan ketika diberikan pembebanan. Nilai tegangan maksimum dari analisis statis ini sebagai parameter yang dapat ditahan oleh struktur *traction rod*, sehingga akan diperoleh struktur *traction rod* yang lebih tahan deformasi dan aman digunakan untuk menahan beban yang diterima selama beroperasi.

## II. Metode Penelitian

Diagram alir adalah diagram yang biasanya mewakili sebuah proses, sistem, atau algoritma komputer dan umum digunakan untuk mendokumentasikan, merencanakan, menyempurnakan, atau menggambarkan sebuah alur kerja dengan banyak langkah. Penelitian analisis kekuatan struktur *traction rod* ini melalui beberapa tahapan yang dijelaskan melalui diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

*Traction rod* lokomotif CC300 memiliki data spesifikasi dengan material

SS400 dan bermassa 143,07 Kg yang diperoleh melalui perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*). Dimensi permodelan *traction rod* CC300 ini merujuk teknis pada PT INKA sebagai berikut



Gambar 2. Traction Rod Lokomotif CC300

Material yang digunakan sebagai bahan dasar *traction rod* adalah baja SS400 dengan standar JIS (Japanese Industrial Standard). Baja SS400 adalah jenis baja karbon rendah yang mempunyai kadar karbon dibawah 0,3% dan silikon 0,5%. Bahan SS400 adalah jenis baja karbon struktural yang banyak digunakan dalam industri konstruksi (*Krakatau Steel, 2019*). Berikut tabel spesifikasi material SS400 yang digunakan pada proses simulasi

Tabel 1. Spesifikasi Material SS400

Material Properti	Jenis
	SS400 (JIS G310)
Young Modulus	2,10E+05 MPa
Shear Modulus	7,7E+04 MPa
Poison's Ratio	0,3
Density	7,85E-06 kg/mm <sup>3</sup>
Yield Stress	250 MPa
Ultimate Stress	400 MPa

Dalam menentukan faktor keamanan suatu struktur yang akan dirancang dapat menggunakan aturan berikut: (Budynas & Nisbett 2014)

### 1. Material Ulet

- Perancangan struktur yang menanggung beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap seluruh data perancangan, faktor keamanan ( $\eta$ ) yang dianjurkan adalah antara 1,25 hingga 2,0.
- Perancangan elemen mesin yang mengalami beban dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata pada data

perancangan, nilai faktor keamanan ( $\eta$ ) yang direkomendasikan berkisar antara 2,0 hingga 2,5.

- c. Perancangan struktur statis atau elemen mesin yang terkena beban dinamis, dengan adanya ketidakpastian terkait beban, sifat bahan, analisis tegangan, atau kondisi lingkungan, faktor keamanan ( $\eta$ ) yang disarankan berada dalam rentang 2,5 hingga 4,0.
  - d. Perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menghadapi beban dinamis dengan ketidakpastian yang signifikan mengenai beberapa faktor seperti kombinasi bahan, sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan, faktor keamanan ( $\eta$ ) yang dianjurkan adalah 4,0 atau lebih.
2. Material Getas
- a. Perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan tinggi terhadap seluruh data perancangan, nilai faktor keamanan yang direkomendasikan untuk bahan-bahan getas adalah antara 3,0 hingga 4,0.

Nilai faktor keamanan (*safety factor*) dibagi menjadi tiga kategori, seperti yang tertera dalam tabel berikut:

Tabel 2. Nilai Angka Keamanan (Dobrovolsky 1968)

Penerapan	Safety Factor (SF)
Beban Statis	1,25-2
Beban Dinamis	2-3
Beban Kejut	3-5

*Traction rod* menggunakan material SS400 yang mempunyai sedikit kandungan silikon dan baja karbon rendah sebesar 0,3%. Baja karbon rendah memiliki karakteristik yang ulet dan tangguh. *Traction rod* pada beban aktual dihadapkan pada beban dinamis namun pada simulasi ini dilakukan analisis statis dikarenakan keterbatasan data yang ada. Dengan spesifikasi *traction rod* yang ada, minimal *safety factor* untuk mendapatkan kekuatan struktur yang aman pada keadaan pembenanan statis yaitu 1,25-2

Hasil dari simulasi ini meliputi nilai *deformation*, *equivalent stress* dan *safety factor*. Dari beberapa sumber literatur yang ada parameter kekuatan struktur ini dapat dikatakan berhasil ketika hasil nilai dari *equivalent stress* tidak melebihi nilai *yield strenght* dari material dan nilai *safety factor* tidak kurang dari 1,25 pada pembebanan statis

Perhitungan beban statis dalam penelitian ini meliputi beban vertikal dan longitudinal yang mengikuti standar beban uji standar UIC 155 (*Union Internationale des Chemins de Fer*). Beban tersebut yang dihasilkan dari bogie akan disalurkan pada spring dan *traction rod* dengan kondisi pembebanan sebagai berikut:

Tabel 3. Kondisi Pembebanan

No	Kondisi	Total	Satuan
1	Jumlah <i>traction rod</i> pada lokomotif	12	pcs
2	Massa bogie	19.000	Kg
3	Beban lokomotif	10.000	Kg

Beban pada *traction rod* terdiri dari arah vertikal ( $F_x$ ) dan arah longitudinal ( $F_z$ ). Gaya vertikal merupakan beban yang paling dominan. Secara keseluruhan, gaya vertikal dipengaruhi oleh beban yang diterapkan oleh lokomotif, kereta, dan gerbong. Beban arah vertikal dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_y = \frac{1,3 (Mv - 2Mb)}{nt} \times g$$

Dimana :

$F_y$  : Gaya vertikal pada setiap *traction rod* (N)

$Mv$  : Massa lokomotif ( $9 \times 10^4$  kg)

$Mb$  : Massa bogie Motor ( $1 \times 10^4$  kg)

$g$  : Gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$nt$  : Jumlah *traction rod* pada bogie (12)

Jadi gaya vertikal disetiap *traction rod* pada bogie sebesar 74392,5 N

Gaya longitudinal merujuk pada gaya yang bekerja sepanjang arah panjang bogie, yang melibatkan gaya tarikan dan dorongan saat kereta bergerak maju atau mundur. Dalam menghitung beban arah longitudinal akibat reaksi *carbody* dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$F_x = 0.1 (F_y + M_b \times g)$$

Dimana :

$F_x$  : Gaya longitudinal (N)

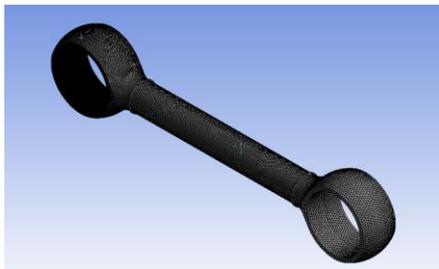
$F_y$  : Gaya vertikal pada setiap *traction rod* (N)

$M_b$  : Massa *bogie* ( $1 \times 10^4$  kg)

$g$  : Gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

Jadi gaya longitudinal disetiap *tractiod rod* pada *bogie* sebesar 17249.25 N

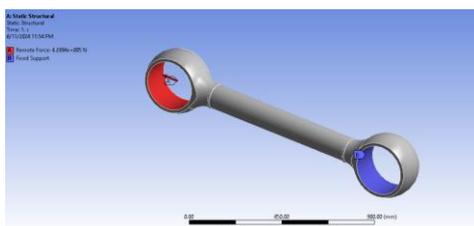
Proses mengetahui kekuatan struktur dapat dilihat melalui nilai tegangan, deformasi dan factor keamanan yang diperoleh melalui software CAE (*Computer Aided Engineering*). Proses simulasi pada software melalui tiga tahapan, meliputi *preprocessing* (Pembuatan *geometry traction rod*, *meshing*, dan penentuan *boundary conditions*), *processing* (*Setup* dan *solutions*), dan *postprocessing* (*result*)



Gambar 3. *Traction Rod Lokomotif CC300*

Kualitas pada hasil *mesh* ini ditentukan dengan *mesh metric skewness*. Kualitas dari *mesh* ini akan menentukan keakuratan hasil analisis yang dihasilkan pada simulasi. Tipe element *mesh* yang digunakan yaitu *hexdominan* dengan dimensi sebesar 5 mm pada bagian batang dan 10 mm dibagian ujung.

Pada tahapan *boundary condition* diberikan *name selection* yang terdapat *fixed suport* dan *remote force*. *Fixed support* digunakan untuk meletakkan titik tumpuan dan *remote force* digunakan untuk memberikan titik beban pada komponen, Letak *fixed suport* dan *remote force* dapat dilihat pada gambar sebagai berikut.



Gambar 4. *Traction Rod Lokomotif CC300*

Hasil dari simulasi ini berupa nilai deformasi, tegangan dan faktor keamanan dengan melihat perbandingan dari pengaruh material yang akan digunakan. *Redesign* model *geometry* memungkinkan perancangan *traction rod* yang dapat menahan fenomena statis yang terjadi. Setelah dilakukan simulasi pada desain sebelum dan sesudah *redesign* maka akan dilakukan perbandingan pada hasil dari nilai deformasi, tegangan dan factor. Jika hasil *redesign* aman dan dapat menahan beban maka akan dilanjutkan pada penulisan hasil dan pembahasan.

### III. Hasil Dan Pembahasan

Bab ini membahas hasil simulasi *static structural* yang mencakup nilai tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dari beberapa desain *traction rod* menggunakan software CAE (*Computer Aided Engineering*). Simulasi dilakukan pada desain awal, *redesign* perusahaan, dan *redesign* peneliti dengan penambahan struktur. Analisis dilakukan pada pembebanan gaya vertikal dan longitudinal untuk menentukan desain yang paling kuat dan optimal. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan, deformasi dan *safety factor*, hasil simulasi akan dilakukan perbandingan dengan beberapa syarat. Desain yang tidak memenuhi beberapa syarat perlu adanya tindakan perbaikan struktur dan perancangan ulang komponen.

Tabel 4. *Rancangan Desain Traction Rod*

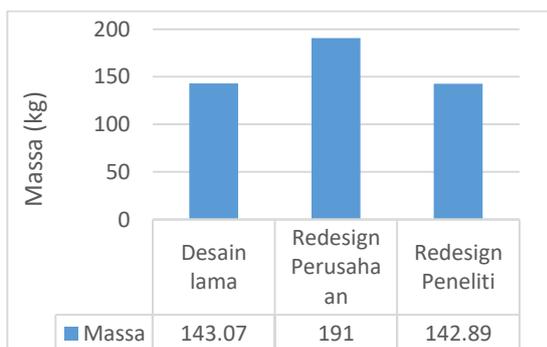
Desain	Hasil
<i>Traction rod awal</i>	
<i>Redesign Perusahaan</i>	

Redesign Peneliti



Studi ini menganalisis redesain *traction rod* pada lokomotif DH CC300 dengan membandingkan desain lama, *redesign* perusahaan, dan *redesign* peneliti. Tujuannya adalah meningkatkan efisiensi, kinerja, dan mengurangi risiko kegagalan komponen, dengan fokus pada parameter struktural, keandalan, dan efisiensi energi melalui simulasi struktural statis. Penelitian ini diharapkan dapat memandu pengembangan teknologi yang mendukung operasional lokomotif CC300 pada kecepatan lebih dari 90 km/jam.

Dalam penilaian optimal salah satu parameternya dengan melihat massa pada design komponen tersebut. Pada gambar 5 grafik perbandingan massa menunjukkan bahwa rancangan *redesign* dari pihak perusahaan memiliki massa yang paling besar diantara *redesign* yang lainnya dan dapat disimpulkan *redesign* dari peneliti lebih optimal dikarenakan memiliki massa paling kecil sebesar 142,89 kg



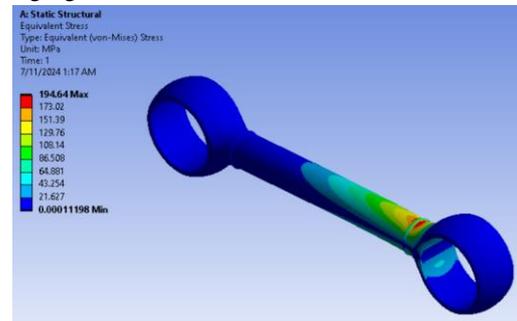
Gambar 5. Grafik Perbandingan Massa Redesign Traction Rod

Hasil simulasi FEA (*Finite Element Analysis*) dengan beban yang telah diberikan pada *traction rod* awal dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Simulasi Traction Rod Awal

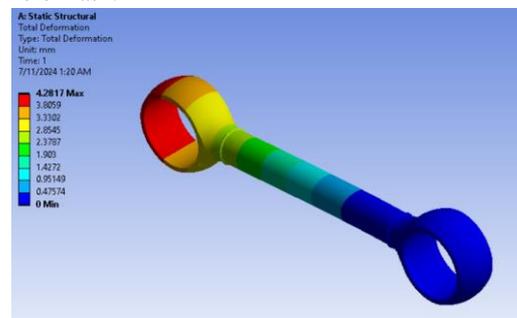
**Traction Rod Awal**

Tegangan :



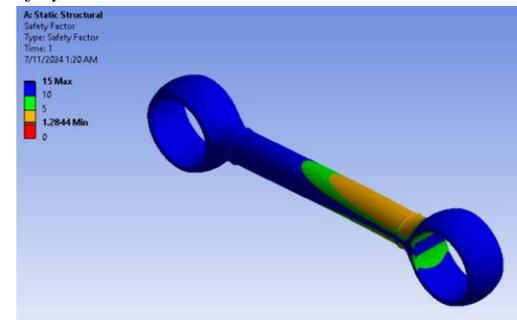
Max 194,64 MPa

Deformasi :



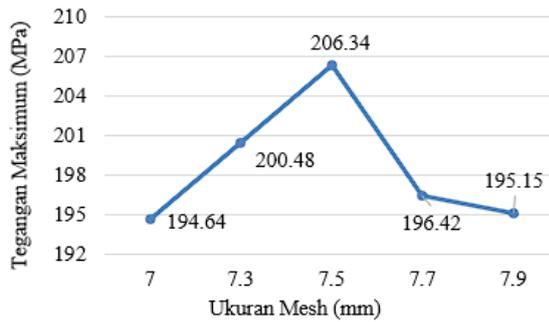
Max 4,2817 mm

Safety Factor



SF = 1,28441

Uji konvergensi dilakukan untuk menentukan ukuran elemen yang paling efektif dengan mempertimbangkan keseimbangan antara beban komputasi dan keakuratan hasil. Hasil konvergensi menunjukkan bahwa ukuran *mesh* 7 sudah mendekati akurasi analisis, karena perbedaan nilai antar ukuran *mesh* tidak signifikan.



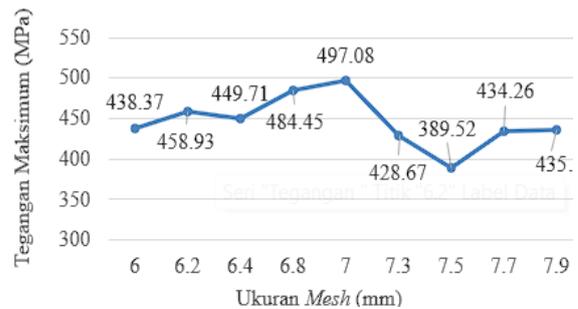
Gambar 6. Grafik Uji Konvergensi Mesh Traction Rod Awal

Hasil simulasi FEA (*Finite Element Analysis*) dengan beban yang telah diberikan pada *redesign traction rod* perusahaan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Simulasi Redesign Traction Rod Perusahaan

Redesign Traction Rod Perusahaan	
Tegangan :	<p>Max 438,37 MPa</p>
Deformasi :	<p>Max 3,4356 mm</p>
Safety Factor	<p>SF = 0,5703</p>

Hasil konvergensi *redesign traction rod* perusahaan menunjukkan bahwa ukuran *mesh* 6 sudah mendekati akurasi analisis, karena perbedaan nilai antar ukuran *mesh* tidak signifikan. Ukuran *mesh* 6,8 mm hingga 7,9 mm menghasilkan fluktuasi nilai yang cukup besar



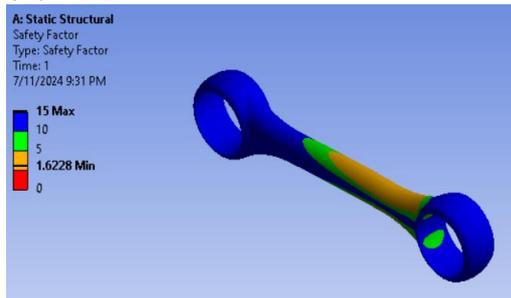
Gambar 7. Grafik Uji Konvergensi Mesh Redesign Traction rod Perusahaan

Hasil simulasi FEA (*Finite Element Analysis*) dengan beban yang telah diberikan menggambarkan distribusi tegangan dengan menggunakan representasi warna, dimana warna merah menunjukkan tegangan maksimum dan warna biru menunjukkan tegangan minimum pada. Hasil simulasi *redesign traction rod* peneliti dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Simulasi Redesign Traction Rod Peneliti

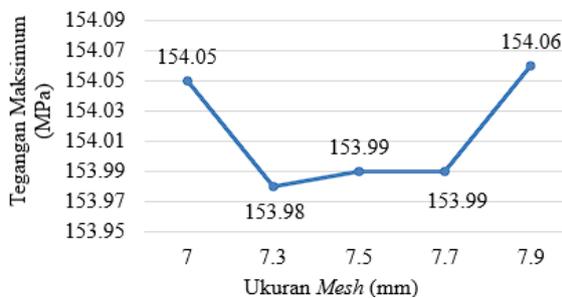
Redesign Traction Rod Peneliti	
Tegangan :	<p>Max 154,05 MPa</p>
Deformasi :	<p>Max 4,4812 mm</p>

Safety Factor :



SF = 1,6288

Hasil konvergensi *redesign traction rod* peneliti menunjukkan bahwa ukuran *mesh* 7 sudah mendekati akurasi analisis, karena perbedaan nilai antar ukuran *mesh* tidak signifikan.



Gambar 8. Grafik Uji Konvergensi Mesh Redesign Traction Rod Peneliti

### Perbandingan Hasil Analisis

Simulasi *static structural* pada ketiga desain *traction rod*, dengan *output* yang meliputi nilai tegangan, deformasi, dan faktor keamanan, dilakukan analisis perbandingan hasil simulasi dengan nilai bervariasi yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan Hasil Simulasi Desain Traction Rod

Model	Deformasi	Tegangan	Faktor Keamanan
Traction Rod	4,2817 mm	194,64 MPa	1,2844
Redesign Perusahaan	3,4356 mm	438,37 MPa	0,5703
Redesign Peneliti	4,4812 mm	154,05 MPa	1,6288

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai tegangan pada *redesign* perusahaan mencapai 438,37 MPa, melebihi nilai desain *traction rod* lainnya.

*Redesign* peneliti menunjukkan keunggulan dalam nilai tegangan dengan mencapai 154 MPa, yang tidak mendekati batas kekuatan luluh (*yield strength*) material sebesar 250 MPa. *Redesign* peneliti juga menunjukkan keunggulan dalam faktor keamanan dengan nilai 1,6288, lebih tinggi daripada desain lainnya. Nilai deformasi pada desain *traction rod*, *redesign* perusahaan, dan *redesign* peneliti memiliki perbandingan secara berurutan 1,2 : 1 : 1,2. Dalam konteks ini, *redesign* perusahaan menunjukkan keunggulan dalam nilai deformasi dengan menghasilkan nilai yang lebih rendah, yakni 3,4356 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan yang diterapkan perusahaan pada *redesign traction rod* digunakan untuk mengurangi dampak deformasi yang mungkin terjadi selama operasi

Tabel 9. Perbandingan Tegangan Maksimum Terhadap Tegangan Batas dan Faktor Keamanan

Model	Tegangan Maksimum ( $\sigma_{max}$ )	Tegangan Batas ( $\sigma_{yield}$ )	Faktor Keamanan	Syarat $\sigma_{max} < \sigma_{yield}$ SF 1,25
Traction Rod	194,64 MPa	250 MPa	1,2899	Memenuhi
Redesign Perusahaan	438,37 MPa	250 MPa	0,5703	Tidak Memenuhi
Redesign Peneliti	154,05 MPa	250 MPa	1,6288	Memenuhi

Dalam memvalidasi kekuatan struktur dapat menggunakan beberapa syarat sesuai pada tabel 7, dikarenakan material SS400 memiliki kriteria material yang ulet maka dapat diberikan batasan factor keamanan dengan SF sebesar 1,25-2,00 (Budynas & Nisbett 2014). Sesuai dengan hipotesis, syarat perancangan dapat dikatakan memiliki kekuatan struktur yang baik ketika tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) lebih kecil dari tegangan batas ( $\sigma_{yield}$ ) material. Kasus ini dapat dilihat dari redesign dari pihak perusahaan yang mencapai tegangan melebihi dari tegangan batas ( $\sigma_{yield}$ ) material SS400. Akibatnya nilai deformasi mencapai 3,4356 MPa dan faktor keamanan mendekati nilai 0 yang dapat dikatakan perancangan rawan dalam hal kelayakan dipakai.

#### IV. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian analisis kekuatan struktur pada desain *traction rod* lokomotif diesel hidrolik tipe CC 300 sebagai berikut:

*Redesign traction rod* pada lokomotif diesel hidrolik tipe CC 300 melibatkan penambahan struktur pada desain lama untuk meratakan distribusi tegangan dan meningkatkan faktor keamanan, dengan tiga varian yang dibandingkan: desain awal, *redesign* perusahaan, dan *redesign* peneliti. Analisis menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA) pada software *Computer Aided Engineering* (CAE) dengan beban vertikal 74392,5 N dan longitudinal 17249,25 N menunjukkan bahwa *redesign* peneliti mampu menahan beban lebih besar dan lebih efisien dengan massa lebih kecil dibandingkan desain lainnya. Hasil simulasi menunjukkan desain awal memiliki tegangan 194,64 MPa, deformasi 4,2817 mm, dan faktor keamanan 1,2844. *Redesign* perusahaan mencatat tegangan 438,37 MPa, deformasi 3,4356 mm, dan faktor keamanan 0,5703, sedangkan *redesign* peneliti mencatat tegangan 154,05 MPa, deformasi 4,4812 mm, dan faktor keamanan 1,6288. *Redesign* peneliti unggul dalam nilai tegangan dan faktor keamanan serta menunjukkan pengurangan deformasi, menandakan peningkatan daya tahan terhadap beban operasional. *Redesign* dari penelitian ini diharapkan dapat berpotensi menggantikan komponen import dengan produksi lokal dan memenuhi tuntutan perusahaan

#### Daftar Pustaka

- Abbas, H., Juma, D., dan Ma'ruf, R. J. 2020. Penerapan Metode Elemen Hingga Untuk Desain Dan Analisis Pembebanan Rangka Chassis Mobil Model Tubular Space Frame. ILTEK: Jurnal Teknologi, 15(02), 96-102.
- Bagaskoro, W. (2017). *Analisis Tegangan Dan Kekuatan Rangka Bogie Lokomotif Cc Dh Serta Kaitannya Dengan Retakan Pada Rangka Bogie Krdi*. [online] <https://digilib.itb.ac.id/gdl/view/17586>.
- Budynas, R. and Nisbett, K. (2014). *Shigley's Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- Carlbon, P.F. (2001). *Multibody System Dynamics*, 6(3), pp.291–300. doi:<https://doi.org/10.1023/a:1012072405882>.
- Dobrovolsky, V. dan Zablonky, K. 1968. *Machine Elements*. Moskow: Mir Publisher.
- Ferdinand Pierre Beer, Russel, E. and Dewolf, J.T. (2006). *Mechanics of materials : in SI units*. Boston Etc.: Mcgraw-Hill.
- Gere, J.M. and Timoshenko, S.P. (1991). *Mechanics of Materials. Springer eBooks*. Springer Nature. doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4899-3124-5>.
- Gere, J.M. and Goodno, B.J. (2013). *Mechanics of materials*. Stamford, Conn: Cengage Learning.
- Hibbeler, R. (2011). *Mechanic of Material*. America: Pearson Prentice Hall
- Iwnicki, S. (2006). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. CRC Press.
- Iqbal Dumyati and Soffan Nurhaji (2023). Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023. *Quantum Teknika*, 5(1), pp.26–30. doi:<https://doi.org/10.18196/jqt.v5i1.19012>.
- Kahnert, P. (2015). *Master's Thesis Development and Optimisation of Innovative Running Gear Concepts for an Ultra-High-Speed Train*. [online] Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:893813/FULLTEXT01.pdf> [Accessed 29 Mar. 2024].
- Li, H., Zheng, X., Dai, W. and Qiu, Y. (2022). Prediction of Ride Comfort of High-Speed Trains Based on Train Seat–Human Body Coupled Dynamics Model. 12(24), pp.12900–12900. doi:<https://doi.org/10.3390/app122412900>
- Mădălina Dumitriu and Ioana Izabela Apostol (2023). The Effect of the Traction Rod on the Vertical Vibration Behavior of the Railway Vehicle

- Carbody. *Vehicles*, 5(4), pp.1482–1504. doi:<https://doi.org/10.3390/vehicles5040081>.
- R.S.Khurma, & J.K.Gupta. (2005). *Machine Design* (Vol. 14). Ram Nagar, New Delhi, India: EURASIA PUBLISHING HOUSE (PVT.) LTD.
- Spesifikasi Teknik Lokomotif Diesel Hidrolik CC300 300, PT INKA, Madiun, 2023
- Tri Rahayu, and Arfis A. “Sistem Pemeliharaan Rel Kereta Api Koridor Palang Parasamia - Jembatan Sei Piring.” *Jurnal VORTEKS*, vol. 2, no. 2, 15 Oct. 2021, pp. 100–104, <https://doi.org/10.54123/vorteks.v2i2.87>. Accessed 29 May 2024.
- Vahid Bokaeian, Mohammad Ali Rezvani and Arcos, R. (2020). A numerical and scaled experimental study on ride comfort enhancement of a high-speed rail vehicle through optimizing traction rod stiffness. *Journal of Vibration and Control*, 27(21-22), pp.2548–2563. doi:<https://doi.org/10.1177/1077546320961923>.
- Vahid Bokaeian, Mohammad Ali Rezvani and Arcos, R. (2020). Nonlinear impact of traction rod on the dynamics of a high-speed rail vehicle carbody. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34(12), pp.4989–5003. doi:<https://doi.org/10.1007/s12206-020-1104-5>.
- Wicaksono, A. A. 2019. *Perancangan dan Analisis Rangka Mesin CNC Milling 3 Axis untuk Pembuatan Emboss Cap Kulit Pada Industri Kecil dan Menengah di Yogyakarta Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Widiantoro, H., Devi Eka Septiyani Arifin, Dibyo Setiawan and Azdane Peprial Indika P (2023). Analisis kekuatan *fishing tools holder 50.000 lbs* menggunakan metode *finite element*.
- Winarno, I. and Marliana, E. (2023). Analisa Kegagalan Struktur Material Swing Arm Pada Sepeda Motor Honda Supra X 125r Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Senakama: Prosiding Seminar Nasional Karya Ilmiah Mahasiswa*,
- [online] 2(1), pp.179–195. Available at: <https://conference.untag-sby.ac.id/index.php/sentek/article/view/2094> [Accessed 28 Mar. 2024].
- Wu, J. and Qiu, Y. (2020). Analysis of ride comfort of high-speed train based on a train-seat-human model in the vertical direction. *Vehicle System Dynamics*, pp.1–27. doi:<https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1794014>.