

Analisis Kekuatan *Frame Trailer* menggunakan *Finite Element Methode* (FEA)

Sihnta Gracea Lawolo^{1*}, Iwan Gusniar Nugraha², Reza Setiawan³, Candan Tabayyun⁴, Ardiansyah Arum⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang

*Penulis Korespondensi, email: sihntalawolo@gmail.com

Received: 20/05/2025

Revised: 11/06/2025

Accepted: 11/06/2025

Abstract. Water transportation is a crucial mode in supporting human mobility and logistics, especially in coastal, archipelagic, and marine tourism areas. In the distribution process, trailers serve as vital components used to carry heavy loads to and from ships. Therefore, it is essential to design a trailer frame structure that is strong, safe, and efficient. This study aims to analyze the strength of the trailer frame structure using a numerical approach based on Finite Element Analysis (FEA). The modeling was carried out using SolidWorks software to create the trailer frame geometry, which was then simulated under static loading and boundary conditions reflecting actual working situations. Three Types of materials were analyzed: AISI 316 Stainless Steel, AISI 444 Stainless Steel, and ASTM A653 Type B Galvanized Steel. The main parameters evaluated included von Mises stress, total displacement, and safety factor. Simulation results show that all materials remained within the elastic range, with the highest maximum stress of 204.970 MPa occurring in AISI 316 Stainless Steel, which is still below the yield strength limit of each material. The highest total displacement of 5.473 mm was also observed in AISI 316, while AISI 444 and ASTM A653 exhibited displacements of 5.280 mm. In terms of structural safety, AISI 316 Stainless Steel demonstrated the highest safety factor of 2.015, followed by ASTM A653 at 1.843, and AISI 444 at 1.497. Based on the analysis, AISI 316 Stainless Steel is the most optimal material for the trailer frame structure, showing the best performance in bearing static loads, low deformation, and high safety levels. Further research is recommended to consider dynamic loading, physical experimental testing, as well as cost and environmental aspects for a more comprehensive material selection.

Keywords: Water transportation, Finite element analysis, Trailer frame

Abstrak. Transportasi air merupakan salah satu moda yang krusial dalam mendukung mobilitas manusia maupun logistik, khususnya di wilayah perairan pesisir, kepulauan, dan wisata bahari. Dalam proses distribusi tersebut, *trailer* menjadi salah satu komponen vital yang digunakan untuk membawa muatan berat dari dan menuju kapal. Oleh karena itu, diperlukan perancangan struktur rangka *trailer* yang kuat, aman, dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka *trailer* menggunakan pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*). Pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk membuat geometri rangka *trailer*, yang kemudian disimulasikan melalui pemberian pembebanan statik dan kondisi batas yang mencerminkan situasi kerja aktual. Tiga jenis material dianalisis, yaitu AISI 316 *Stainless Steel*, AISI 444 *Stainless Steel*, dan ASTM A653 *Type B Galvanized Steel*. Parameter utama yang dievaluasi meliputi tegangan von Mises, deformasi total (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa seluruh material masih berada pada kondisi elastis, dengan nilai tegangan maksimum tertinggi sebesar 204,970 MPa pada AISI 316 *Stainless Steel*, yang masih berada di bawah batas *yield strength* masing-masing material. Nilai deformasi total tertinggi sebesar 5,473 mm juga terjadi pada AISI 316, sedangkan AISI 444 dan ASTM A653 menunjukkan nilai deformasi sebesar 5,280 mm. Dari sisi keamanan struktural, AISI 316 *Stainless Steel* memiliki nilai *safety factor* tertinggi sebesar 2,015, diikuti oleh ASTM A653 dengan 1,843, dan AISI 444 sebesar 1,497. Dari hasil analisis AISI 316 *Stainless Steel* merupakan material paling optimal digunakan untuk struktur rangka *trailer*, dengan kinerja terbaik dalam menahan beban statik, deformasi rendah, serta tingkat keamanan yang tinggi. Penelitian lanjutan disarankan untuk mempertimbangkan pembebanan dinamis, uji eksperimental secara fisik, serta analisis aspek biaya dan lingkungan untuk pemilihan material yang lebih komprehensif.

Kata Kunci: Transportasi air, Analisis elemen hingga, Rangka *trailer*

I. PENDAHULUAN

Transportasi air merupakan salah satu moda yang krusial dalam mendukung mobilitas manusia maupun logistik, khususnya di wilayah perairan pesisir, kepulauan, dan wisata bahari [1]. Salah satu sarana transportasi yang umum digunakan dalam konteks tersebut adalah *speed boat*, yang berfungsi untuk mempercepat perpindahan orang atau barang, serta sering dimanfaatkan oleh wisatawan dan pelaut untuk aktivitas seperti memancing maupun transportasi antar pulau [2].

Namun demikian, mobilitas *speed boat* tidak hanya terjadi di atas permukaan air. Proses pemindahan dari daratan menuju perairan memerlukan media transportasi darat yang andal, salah satunya adalah *trailer*. *Trailer* merupakan komponen penting yang berperan sebagai alat angkut *speed boat* dari darat ke air. Beban total yang ditanggung *trailer*, terutama pada rangka utamanya (*frame trailer*), dapat mencapai hingga 1 Ton, atau sekitar 10.000 N bergantung pada ukuran dan kapasitas *speed boat* [3]. Oleh karena itu, kekuatan dan kekakuan struktur *frame trailer* menjadi aspek krusial dalam menjamin keselamatan, efisiensi, dan keandalan transportasi.

Dalam perancangannya, *frame trailer* harus mampu menahan beban statik yang timbul akibat bobot total *speed boat*, distribusi berat muatan, serta gaya-gaya diam yang bekerja saat *trailer* dalam kondisi diam atau saat proses pemindahan perlahan menuju air. Beban statik ini menjadi perhatian utama karena langsung memengaruhi kapasitas struktur dalam menopang beban tanpa menyebabkan deformasi berlebih atau kegagalan lokal [4]. Untuk menjawab tantangan tersebut, analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEA*) menjadi pendekatan yang banyak digunakan dalam bidang rekayasa teknik dengan penggunaan *SolidWorks*. FEA memungkinkan simulasi perilaku mekanik struktur terhadap beban kerja dengan memperhatikan sifat-sifat material yang digunakan. Melalui pendekatan ini, distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dapat dianalisis secara mendalam sebelum dilakukan proses manufaktur [5].

Berdasarkan pendahuluan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis statik terhadap struktur *frame trailer* guna mengevaluasi distribusi tegangan *von mises*, deformasi, serta faktor keamanan (*safety factor*) dari berbagai variasi material yang digunakan. Adapun material yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi AISI 316 *Stainless Steel* dikenal karena ketahanan korosi yang sangat baik, terutama dalam lingkungan yang mengandung klorida, berkat kandungan molibdenumnya. Material ini juga memiliki kekuatan tarik sekitar 515 MPa dan kekuatan luluh sekitar 205 MPa, dengan elongasi sekitar 40%, menjadikannya cocok untuk aplikasi struktural di lingkungan agresif [6], AISI 444 yaitu *Stainless Steel* ferritik dengan kandungan kromium tinggi dan molibdenum, memberikan ketahanan korosi yang baik, terutama terhadap pitting dan korosi celah. Material ini sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap air minum dan lingkungan yang mengandung klorida [7], dan ASTM A653 *Type B* merupakan baja galvanis yang umum digunakan dalam aplikasi struktural karena kombinasi kekuatan tarik yang baik dan ketahanan korosi yang diberikan oleh lapisan seng. Material ini sering digunakan dalam konstruksi bangunan dan aplikasi luar ruangan [8]. Dari masing-masing material tersebut memiliki karakteristik mekanik dan ketahanan korosi yang berbeda-beda, serta umum digunakan dalam aplikasi struktural dan lingkungan terbuka. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh gambaran komprehensif mengenai perilaku struktural *frame trailer* di bawah kondisi pembebanan statik. Hasil analisis ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan desain yang lebih optimal, baik dari sisi kekuatan, efisiensi berat, maupun ketahanan terhadap beban kerja, sehingga mendukung implementasi *trailer* yang lebih kuat, ringan, dan andal dalam penggunaannya di lapangan.

II. METODOLOGI

Metodologi penelitian ini disusun untuk memberikan gambaran sistematis mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses

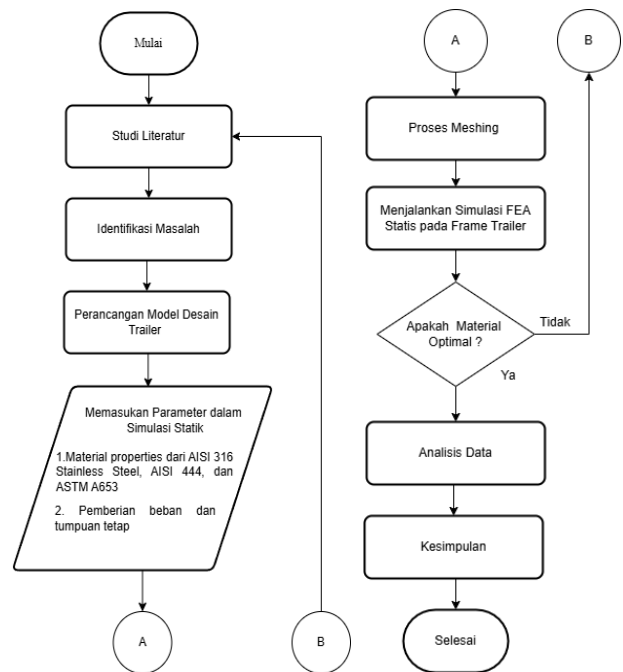
analisis kekuatan struktur rangka *trailer* menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*). Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengevaluasi respons struktur terhadap pembebanan statik, sehingga dapat diketahui perilaku tegangan *von mises*, deformasi, dan faktor keamanannya terhadap masing-masing variasi material.

Penelitian ini dilakukan secara numerik dengan menggunakan perangkat lunak berbasis CAD dan CAE, yaitu *SolidWorks*, sebagai media untuk pemodelan desain serta simulasi analisis elemen hingga. Objek yang dianalisis merupakan struktur rangka dari sebuah *trailer*, yang dirancang untuk menahan beban berat secara statik selama proses transportasi.

Dalam proses ini, beberapa tahap penting dilakukan, dimulai dari pembuatan model geometri rangka *trailer*, penentuan spesifikasi material yang digunakan, pemberian beban dan batasan (*loads and boundary conditions*), hingga proses *meshing* untuk membagi model ke dalam elemen-elemen kecil sebagai dasar perhitungan FEA. Tiga jenis material digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini, yaitu AISI 316 *Stainless Steel*, AISI 444, dan ASTM A653. Masing-masing material memiliki karakteristik mekanik dan ketahanan terhadap korosi yang berbeda, yang dapat memengaruhi hasil analisis struktural.



Gambar 1. Desain 3D *frame trailer*



Gambar 2. Diagram alir penelitian analisis statik pada *frame trailer*

A. *Material properties*

Dalam penelitian ini, digunakan tiga jenis material berbeda untuk *frame trailer*, yaitu AISI 316 *Stainless Steel*, AISI 444 *Stainless Steel*, dan ASTM A653 *Type B Galvanized Steel*. Ketiga material ini dipilih karena memiliki sifat mekanik dan ketahanan korosi yang umum digunakan dalam aplikasi struktural luar ruangan seperti *trailer*, serta mewakili jenis material dari kelompok baja tahan karat dan baja galvanis.

Pemilihan variasi material ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh karakteristik mekanik masing-masing terhadap kekuatan struktur rangka *trailer* di bawah pembebanan statik. Berikut adalah sifat mekanik dari masing-masing material yang digunakan dalam simulasi dengan *material properties* dapat dilihat pada Tabel (1-3).

Tabel 1. *Material properties* AISI 316 *Stainless Steel*

Parameter	Nilai	
<i>Density</i>	8000 kg/m ³	[9]
<i>Modulus of Elasticity</i>	193.000 N/mm ² (Mpa)	
<i>Poisson Ratio</i>	0.29	

<i>Yield Strength</i>	415 N/mm ² (MPa)	
<i>Tensile Strength</i>	620 N/mm ² (Mpa)	

Tabel 2. *Material properties* AISI 444 Stainless Steel

Parameter	Nilai	
<i>Density</i>	7.700 kg/m ³	[10]
<i>Modulus of Elasticity</i>	200.000 N/mm ² (Mpa)	
<i>Poisson Ratio</i>	0.28	
<i>Yield Strength</i>	310 N/mm ² (MPa)	
<i>Tensile Strength</i>	470 N/mm ² (Mpa)	

Tabel 3. *Material properties* ASTM A653 Type B Galvanized Steel

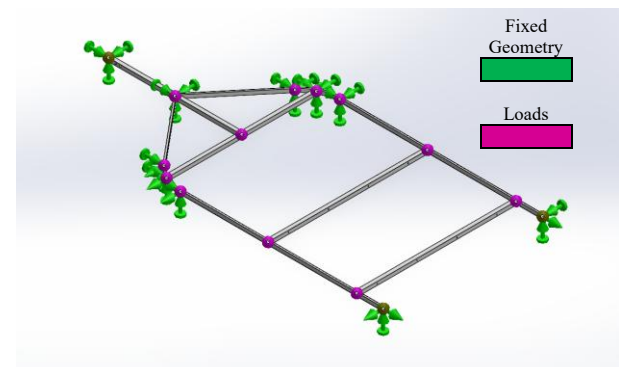
Parameter	Nilai	
<i>Density</i>	7.850 kg/m ³	[11]
<i>Modulus of Elasticity</i>	200.000 N/mm ² (Mpa)	
<i>Poisson Ratio</i>	0.30	
<i>Yield Strength</i>	205 - 380 N/mm ² (MPa)	
<i>Tensile Strength</i>	270 - 410 N/mm ² (Mpa)	

B. Pemberian beban dan tumpuan tetap

Dalam simulasi metode elemen hingga, pada beban yang kerja (*loading*) diberikan pada posisi dibagian *frame* tengah dan kondisi batas (*boundary conditions*) merupakan tahap krusial yang menentukan akurasi dan relevansi hasil analisis [12]. Penerapan gaya luar serta penahanan gerak pada bagian tertentu dari struktur harus menggambarkan kondisi nyata yang akan dialami oleh komponen saat digunakan. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan struktur dalam menahan beban, menganalisis distribusi tegangan yang timbul, serta memprediksi deformasi yang mungkin terjadi [13]. Dalam visualisasi hasil analisis elemen hingga pada gambar tersebut, area berwarna ungu menunjukkan lokasi penerapan

beban eksternal pada struktur. Warna ini digunakan untuk membedakan area yang mengalami gaya atau tekanan tertentu. Sementara itu, area berwarna hijau menunjukkan bagian struktur yang dikenai kondisi batas tetap (*fixed geometry*), di mana perpindahan atau deformasi dicegah secara penuh. Penggunaan skema warna ini bertujuan untuk mempermudah interpretasi distribusi beban dan kondisi pengekan dalam model, sehingga membantu dalam evaluasi respons struktural secara menyeluruh [14].

Pada penelitian ini, jenis pembebanan atau gaya yang terjadi merupakan pembebanan statik, yang merepresentasikan kondisi struktur saat menerima beban tetap dari massa muatan di atas rangka *trailer*. Sedangkan kondisi batas ditentukan untuk membatasi pergerakan pada titik-titik tertentu yang berfungsi sebagai tumpuan tetap dalam sistem. Penentuan beban dan batasan ini disesuaikan dengan konfigurasi penggunaan aktual di lapangan, sehingga hasil simulasi dapat memberikan gambaran perilaku mekanik struktur secara realistis dan akurat yang dapat dilihat pada Gambar 3.



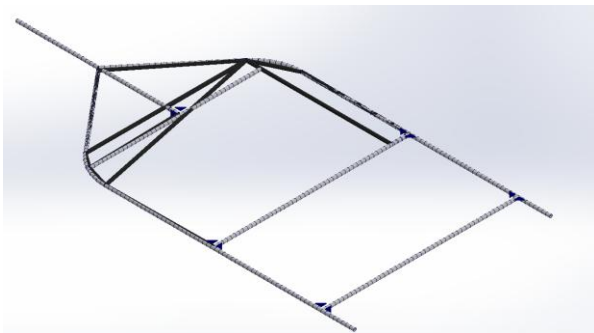
Gambar 1. Pemberian *loads* dan *boundary conditions* pada *frame trailer*

C. Proses meshing

Setelah model geometri, material, pembebanan, dan batasan ditentukan, langkah selanjutnya dalam analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) adalah melakukan proses *meshing*. *Meshing* merupakan proses membagi model geometri kompleks menjadi elemen-elemen kecil dan saling terhubung yang disebut elemen hingga (*finite elements*) [15]. Elemen-elemen ini digunakan untuk menyederhanakan perhitungan dalam analisis numerik, sehingga distribusi tegangan, deformasi,

dan parameter mekanik lainnya dapat dianalisis secara mendetail dan akurat.

Tingkat ketelitian hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas dan kerapatan *mesh* yang digunakan. *Mesh* yang terlalu kasar dapat menghasilkan estimasi yang tidak akurat, sedangkan *mesh* yang terlalu halus dapat meningkatkan waktu komputasi secara signifikan. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan ukuran elemen yang tepat dan konsisten agar didapatkan hasil simulasi yang efisien namun tetap representatif terhadap perilaku struktur. Adapun untuk Gambar dari *Meshing* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Proses *meshing* pada *frame trailer*

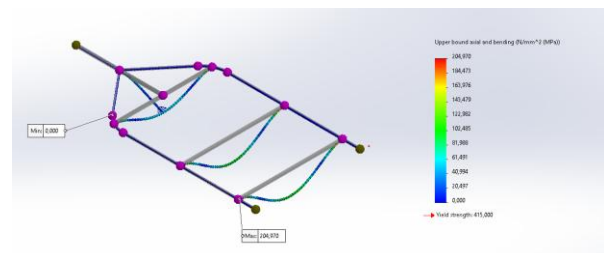
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEA*) terhadap struktur rangka *trailer* yang telah dimodelkan sebelumnya. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak berbasis FEA untuk mengevaluasi karakteristik mekanik dari tiga jenis material berbeda, yaitu AISI 316 *Stainless Steel*, AISI 444, dan ASTM A653 *Type B Galvanized Steel*.

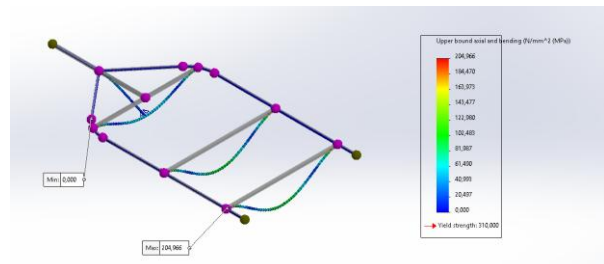
Hasil yang dianalisis mencakup tegangan *von mises*, deformasi total (*displacement*), dan faktor keamanan (*safety factor*) sebagai parameter utama dalam menilai performa struktural dari *frame trailer*. Ketiga parameter tersebut dibandingkan untuk masing-masing variasi material guna menentukan material yang paling optimal dari sisi kekuatan, ketahanan deformasi, serta efisiensi keamanan terhadap beban statik yang diberikan.

A. *Von mises stress*

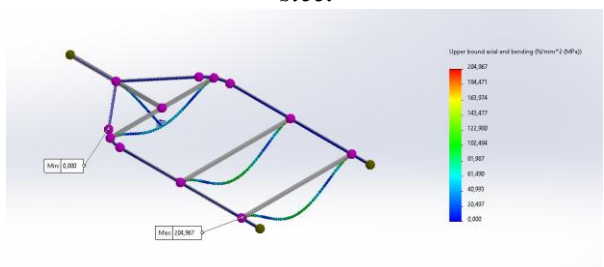
Tegangan *von mises* digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi kemampuan material menahan tegangan kombinasi akibat beban kerja. Tegangan ini memperhitungkan komponen tegangan utama dalam suatu elemen dan merepresentasikan batas maksimum sebelum material mengalami plastisitas [16]. Hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan tertinggi terjadi pada area sambungan antara batang utama dan penopang tengah rangka *trailer*. Nilai tegangan tertinggi dari masing-masing material dapat dilihat pada Gambar (5-7).



Gambar 3. *Von mises stress* pada material AISI 316 *stainless steel*



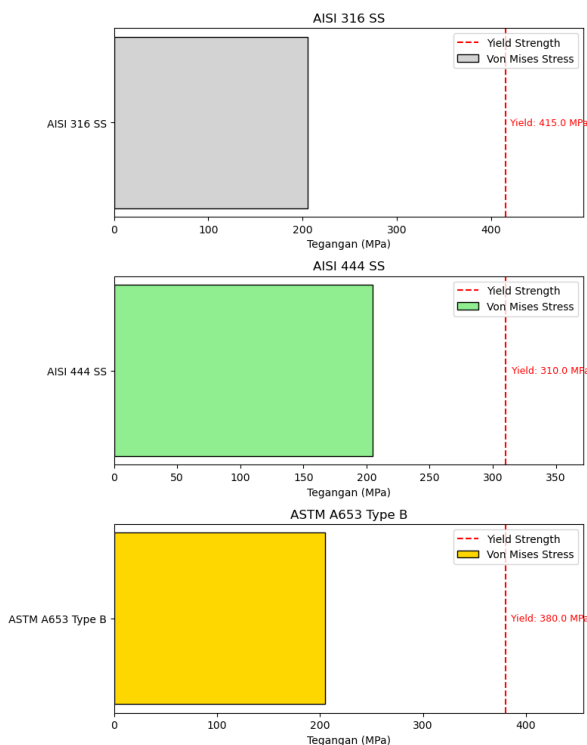
Gambar 4. *Von mises stress* AISI 444 *stainless steel*



Gambar 5. *Von mises stress* ASTM A653 *Type B galvanized steel*

Tabel 4. Hasil analisis *von mises stress* pada variasi material dari *frame trailer*

Material	Yield Strength (Mpa)	Maksimum <i>von mises stress</i> (Mpa)
AISI 316 Stainless Steel	415 N/mm ² (MPa)	204,970 N/mm ² (MPa)
AISI 444 Stainless Steel	310 N/mm ² (Mpa)	204,966 N/mm ² (MPa)
ASTM A653 Type B Galvanized Steel	380 N/mm ² (Mpa)	204,967 N/mm ² (MPa)



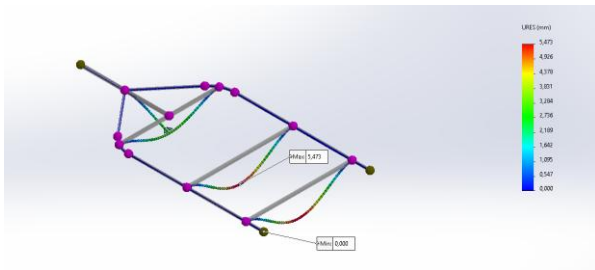
Grafik 1. Perbandingan *von mises stress* terhadap variasi material pada *frame trailer*

Grafik 1 menunjukkan perbandingan antara nilai tegangan *von mises maksimum* yang dihasilkan dari simulasi pembebanan statik dengan nilai tegangan leleh (*yield strength*) dari tiga jenis material yang digunakan, yaitu AISI 316 Stainless Steel, AISI 444 Stainless Steel, dan ASTM A653 Type B

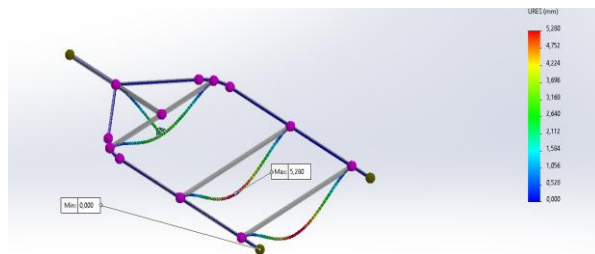
Galvanized Steel. Hasil analisis memperlihatkan bahwa nilai tegangan *von mises* tertinggi yang terjadi pada seluruh variasi material berada jauh di bawah batas *yield strength* masing-masing, dengan nilai tertinggi sebesar 204,970 MPa pada material AISI 316. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga material masih bekerja dalam daerah elastis, sehingga tidak mengalami deformasi plastis. Dengan demikian, dari sisi ketahanan terhadap tegangan, seluruh material memenuhi syarat kelayakan struktural dan mampu menahan beban kerja statik tanpa melebihi batas elastisitasnya. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim (2017), AISI 316 memiliki ketahanan termal dan mekanik yang stabil pada kondisi pembebanan jangka panjang, yang mendukung hasil simulasi ini bahwa material tersebut tetap berada dalam batas elastis [17].

B. Displacement

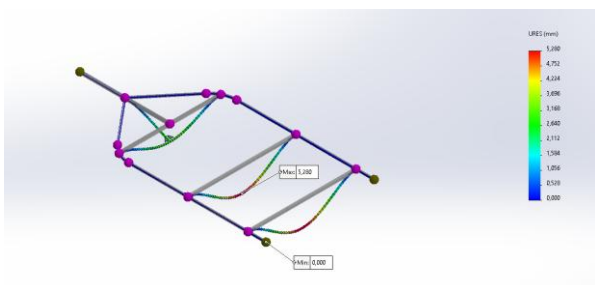
Deformasi total merupakan parameter penting dalam analisis struktural yang menggambarkan seberapa besar perubahan bentuk atau pergeseran yang terjadi pada struktur akibat pembebanan yang diterimanya [18]. Dalam analisis kekuatan *frame trailer*, deformasi total menjadi indikator untuk menilai seberapa jauh struktur mengalami perpindahan dari posisi awalnya ketika diberi beban statik. Meskipun suatu struktur dapat menahan beban tanpa mengalami kegagalan material, deformasi yang berlebihan tetap dapat mengganggu fungsionalitas dan kestabilan struktur secara keseluruhan, terutama dalam sistem transportasi seperti *trailer*. Oleh karena itu, analisis deformasi total diperlukan untuk memastikan bahwa pergeseran yang terjadi masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan, sehingga struktur tetap aman dan berfungsi optimal. Dalam penelitian ini, deformasi total dianalisis untuk masing-masing variasi material, yaitu AISI 316 Stainless Steel, AISI 444 Stainless Steel, dan ASTM A653 Type B Galvanized Steel, guna mengetahui pengaruh sifat elastis material terhadap kemampuan struktur dalam menahan perpindahan akibat pembebanan statik. Adapun gambar dari simulasinya dapat dilihat dari Gambar (8-10).



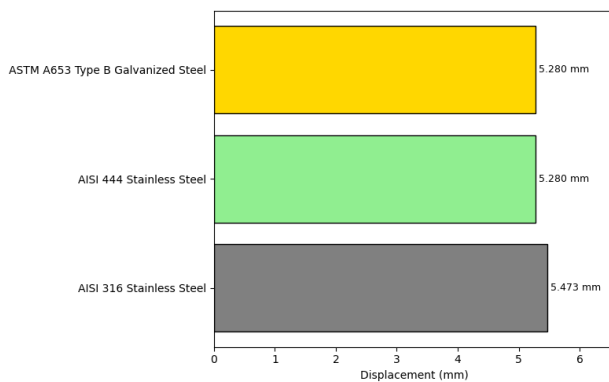
Gambar 6. Displacement pada material AISI 316 Stainless Steel



Gambar 7. Displacement pada material AISI 444 Stainless Steel



Gambar 8. Displacement ASTM A653 Type B Galvanized Steel



Grafik 2. Perbandingan displacement terhadap variasi material pada frame trailer

Tabel 5. Perbandingan displacement terhadap variasi material pada frame trailer

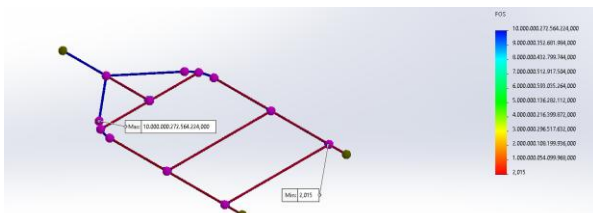
Material	Displacement (mm)
AISI 316 Stainless Steel	5,473
AISI 444 Stainless Steel	5,280
ASTM A653 Type B Galvanized Steel	5,280

Grafik 2 tersebut menunjukkan perbandingan nilai displacement maksimum pada struktur rangka trailer yang dianalisis menggunakan tiga jenis material berbeda, yaitu AISI 316 Stainless Steel, AISI 444 Stainless Steel, dan ASTM A653 Type B Galvanized Steel. Hasil simulasi menunjukkan bahwa material AISI 316 Stainless Steel menghasilkan displacement tertinggi sebesar 5,473 mm, sedangkan AISI 444 dan ASTM A653 menunjukkan nilai yang sama yaitu sebesar 5,280 mm [19]. Perbedaan nilai displacement ini menunjukkan bahwa AISI 316 memiliki tingkat kelenturan sedikit lebih tinggi dibandingkan dua material lainnya, yang mengindikasikan bahwa material ini lebih responsif terhadap deformasi akibat pembebanan statik. Meskipun demikian, seluruh nilai displacement yang diperoleh masih berada dalam batas yang dapat diterima secara struktural, sehingga ketiga material layak dipertimbangkan berdasarkan kriteria deformasi.

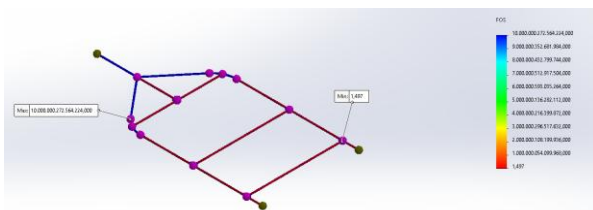
C. Safety Factor

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan salah satu parameter krusial dalam evaluasi kekuatan struktural, karena mencerminkan sejauh mana suatu struktur mampu menahan beban melebihi kondisi kerja normalnya tanpa mengalami kegagalan. Dalam rekayasa teknik, faktor keamanan digunakan sebagai tolok ukur ketahanan struktural terhadap ketidakpastian, baik yang berasal dari variasi material, kondisi lingkungan, maupun kemungkinan kesalahan dalam proses perancangan dan manufaktur [20]. Nilai faktor keamanan diperoleh dari perbandingan antara kekuatan luluh (*yield strength*) material dengan tegangan maksimum (*maximum von Mises stress*) yang terjadi pada struktur akibat pembebanan. Semakin

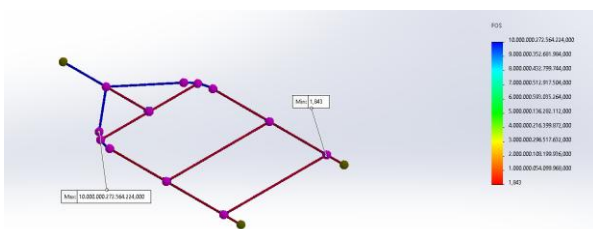
tinggi nilai faktor keamanan, maka semakin besar margin aman yang dimiliki struktur terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan plastis [21]. Dalam penelitian ini, analisis faktor keamanan dilakukan terhadap *frame trailer* dengan tiga jenis variasi material, yaitu AISI 316 *Stainless Steel*, AISI 444 *Stainless Steel*, dan ASTM A653 *Type B Galvanized Steel* yang dapat dilihat pada Gambar (11-13). Tujuannya adalah untuk membandingkan performa masing-masing material dalam hal tingkat keamanan yang diberikan ketika struktur menerima beban statik. Analisis ini menjadi dasar penting dalam memilih material yang tidak hanya kuat, tetapi juga andal dan aman dalam jangka panjang.



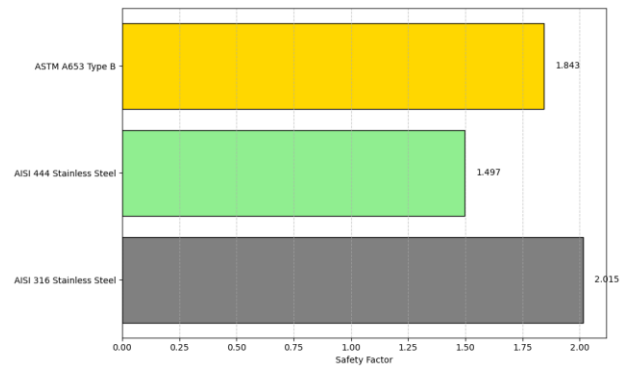
Gambar 9. *Safety factor* pada material AISI 316 *Stainless Steel*



Gambar 10. *Safety factor* pada material AISI 444 *Stainless Steel*



Gambar 11. *Safety factor* ASTM A653 *Type B Galvanized Steel*



Grafik 3. Perbandingan *safety factor* terhadap variasi material pada *frame trailer*

Tabel 6. Perbandingan *safety factor* terhadap variasi material pada *frame trailer*

Material	<i>Safety Factor</i>
AISI 316 <i>Stainless Steel</i>	2,015
AISI 444 <i>Stainless Steel</i>	1,497
ASTM A653 <i>Type B Galvanized Steel</i>	1,843

Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) terhadap struktur rangka *trailer* dengan tiga variasi material, dapat disimpulkan bahwa jenis material memiliki pengaruh signifikan terhadap performa mekanik struktur. Tiga parameter utama yang dianalisis mencakup tegangan *von mises*, deformasi total (displacement), dan faktor keamanan (*safety factor*).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dilihat, hasil tegangan *von mises* menunjukkan bahwa seluruh material memiliki nilai tegangan maksimum yang berada di bawah batas *yield strength* masing-masing, sehingga seluruhnya berada dalam kondisi elastis. Nilai tegangan maksimum tertinggi dicapai oleh AISI 316 *Stainless Steel* sebesar 204,970 MPa, diikuti AISI 444 dan ASTM A653 dengan nilai yang sangat berdekatan. Sedangkan, pada parameter deformasi, AISI 316 *Stainless Steel* mengalami deformasi tertinggi sebesar 5,473 mm, sedangkan AISI 444 dan ASTM

A653 menunjukkan deformasi sebesar 5,280 mm. Hal ini mencerminkan bahwa AISI 316 memiliki kekakuan yang lebih rendah dibandingkan dua material lainnya, sesuai dengan nilai modulus elastisitasnya.

Dan dilihat pada analisis faktor keamanan, AISI 316 *Stainless Steel* menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai 2,015, menunjukkan margin keamanan yang tinggi. ASTM A653 berada di posisi kedua dengan nilai 1,843, dan AISI 444 menunjukkan nilai terendah yaitu 1,497, yang mendekati batas minimum aman untuk struktur statik. Oleh karena itu mempertimbangkan ketiga parameter tersebut, AISI 316 *Stainless Steel* dinilai sebagai material yang paling optimal untuk diaplikasikan pada struktur rangka *trailer* karena mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan, deformasi, dan faktor keamanan yang tinggi.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengujian terhadap kondisi pembebanan dinamis guna memperoleh pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai kinerja struktur dalam situasi operasional yang lebih kompleks. Selain itu, analisis terhadap efisiensi biaya juga perlu dipertimbangkan agar solusi yang dihasilkan tidak hanya andal secara teknis, tetapi juga layak secara ekonomis untuk diterapkan dalam skala nyata.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Iwan Nugraha Gusniar, S.T., M.T. dan Bapak Ing. Reza Setiawan, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan jurnal ini. Dukungan dan ilmu yang diberikan telah menjadi landasan penting dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal jariyah dan mendapatkan balasan yang setimpal dari Tuhan Yang Maha Esa.

REFERENSI

- [1] S Fita Kurniawati, "Strategi Peningkatan Transportasi Laut Di Kepulauan Seribu Dalam Perspektif Sistem Pembangunan Wilayah Pesisir Dan Laut Secara Terpadu," *Warta Penelitian Perhubungan*, vol. 22, pp. 841–861, Aug. 2010, doi: <http://dx.doi.org/10.25104/warlit.v22i8.1146>.
- [2] A. Majid Abdullah, dan Iswandi Muhammad, and J. I. Jusuf Abdulrahman Kampus GambesiKota Ternate Selatan, "OPTIMALISASI BIAYA TRANSPORTASI ANTAR PULAU RUTE TIDORE-LOLEO MENGGUNAKAN MODEL TRANSPORTASI METODE VOGEL'S APROXIMATION (STUDI KASUS: *SPEED BOAT* LOLEO-TIDORE)," *CLAPEYRON: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 1, pp. 1–7, 2020, doi: <https://doi.org/10.33387/clapeyron.v1i1.1628.g1268>.
- [3] Ari Wibawa BS and Tania Mushazi, "ANALISA PERUBAHAN KECEPATAN DAN KEKUATAN MEMANJANG AKIBAT PERUBAHAN BENTUK LAMBUNG PADA PATROL *SPEED BOAT* 'GRASS CARP' DI RAWAPENING," *KAPAL: Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, vol. 8, no. 2, pp. 82–88, 2011, doi: <https://doi.org/10.14710/kpl.v8i2.1713>.
- [4] Y. Aji Pranata and L. Elvira Jurusan, "ANALISIS KEGAGALAN STRUKTUR BANGUNAN RUMAH TINGGAL DENGAN METODE ELEMEN HINGGA LINIER," *Jurnal Teknik Sipil (JTS)*, vol. 12, no. 3, pp. 161–172, 2013, doi: <https://doi.org/10.24002/jts.v12i3.624>.
- [5] R. Wibowo and R. Utama Rizky, "Evaluasi Kekuatan dan Keandalan *Frame Table Molding Handle Rem* dengan Simulasi Finite Element Analysis (FEA)," *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (JIPTEK)*, vol. 6, no. 1, pp. 2686–5157, 2024.
- [6] S. J. Gobbi, V. J. Gobbi, and G. Reinke, "Improvement of mechanical properties and corrosion resistance of 316L and 304 *Stainless Steel* by low temperature plasma cementation," *Matéria (Rio de Janeiro)*, vol.

- 25, no. 2, 2020, doi: 10.1590/s1517-707620200002.1036.
- [7] C. Bitondo, A. Bossio, T. Monetta, M. Curioni, and F. Bellucci, "The effect of annealing on the corrosion behaviour of 444 *Stainless Steel* for drinking water applications," *Corros Sci*, vol. 87, pp. 6–10, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.corsci.2014.06.025.
- [8] N. Coni, M. L. Gipiela, A. S. C. M. D'Oliveira, and P. V. P. Marcondes, "Study of the mechanical properties of the hot dip *Galvanized Steel* and galvalume®," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 31, no. 4, pp. 319–326, Dec. 2009, doi: 10.1590/S1678-58782009000400006.
- [9] L. MatWeb, "AISI Type 316 *Stainless Steel*, Annealed Ba," ASM Material Data Sheet (MatWeb – Material Property Data). Accessed: May 18, 2025. [Online]. Available: <https://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ316K>
- [10] MakeItFrom.com, "AISI 444 (S44400) *Stainless Steel*," MakeItFrom – Online Materials Information Resource.
- [11] United States Steel Corporation, "ASTM Designations for Steel Properties of Hot-Dip Galvanized and Galvalume-Coated Steel Sheet," U.S. Steel Technical Bulletin. Accessed: May 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.ussteel.com/documents/40705/43746/ASTM+Designations+for+Steel+Properties.pdf>
- [12] J. A. Martins and E. C. Romão, "The Importance of Accurate Boundary Condition in Obtaining Reliable Shearing Stresses on a Torsional Finite Element Simulation," *Engineering, Technology & Applied Science Research*, vol. 12, no. 3, pp. 8482–8487, Jun. 2022, doi: 10.48084/etasr.4708.
- [13] W. Lee and C. Zhang, "Computational consistency of the material models and boundary conditions for finite element analyses on cantilever beams," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 6, Jun. 2018, doi: 10.1177/1687814018780029.
- [14] M. A. Sabtu, A. E. Admi, M. Mohamed Salleh, S. A. Osman, and S. A. Osman, "Finite Element Analysis of Stress Distribution in AL6061 *Frame Structures* Under Varying Applied Loads," *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 16, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.30880/ijie.2024.16.02.027.
- [15] V. Shukla, A. Abdul, M. Pratap Singh, and A. Kr Srivastava, "Meshing technique in FEA for complex shape model and result optimization," 2019. [Online]. Available: www.IJARIIIT.com
- [16] Y. Huang and J. Jiang, "A Critical Review of von Mises Criterion for Compatible Deformation of Polycrystalline Materials," Feb. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/cryst13020244.
- [17] C. S. Kim, "Variation of Mechanical Characteristics and Microstructural Evolution in AISI 316 Austenitic *Stainless Steel* Subjected to Long-Term Thermal Aging at Elevated Temperature*," *Strength of Materials*, vol. 49, no. 2, pp. 263–271, Mar. 2017, doi: 10.1007/s11223-017-9866-4.
- [18] T.-Y. Wu and E. C. Ting, "Analysis of the changing geometry of flexible structure: 2. Analysis of flexible solid," *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 476, no. 2239, p. 20200045, Jul. 2020, doi: 10.1098/rspa.2020.0045.
- [19] A. S. Patel and A. Srivastava, "Modeling, analysis & optimization of TATA 2518 TC truck chassis *frame* using CAE tools," *Int J Eng Res Technol*, vol. 5, no. 10, 2016.
- [20] A. H.-S. Ang and M. Amin, "Safety Factors and Probability in Structural Design," *Journal of the Structural Division*, vol. 95, no. 7, pp. 1389–1405, Jul. 1969, doi: 10.1061/JSDEAG.0002307.
- [21] C. Şireci, "Safety Factor Approaches for Ductile Materials Under Static Loading," 2018.