

PENGARUH KEMIRINGAN VERTIKAL DAN *HORIZONTAL FRAME SWIVEL BOGIE* TERHADAP KEKUATAN *FRAME LOWBED TRAILER* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Maulana Tri Sasmita Adi¹, Mohammad Miftachul Munir^{2*}, Pranowo Sidi¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik
 Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: m.munir@ppns.ac.id

Abstrak

Lowbed trailer merupakan kendaraan khusus yang dirancang untuk mengangkut muatan berat dengan struktur rangka yang kokoh dan stabil. Salah satu komponen pentingnya adalah *frame swivel bogie*, yang berfungsi mendistribusikan beban secara merata ke roda sekaligus memberikan fleksibilitas gerak pada berbagai kondisi medan. Variasi sudut kemiringan *vertikal (pitch)* dan *horizontal (roll)* pada *frame swivel bogie* dapat memengaruhi distribusi beban, meningkatkan tegangan pada struktur, serta berpotensi menimbulkan kegagalan jika melebihi batas toleransi material. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kemiringan *vertikal* 5° dan *horizontal* 6° terhadap kekuatan struktur *lowbed trailer* menggunakan metode elemen hingga *Finite Element Method (FEM)*. Material yang digunakan adalah baja SM490YA yang memiliki kekuatan tarik tinggi, ketahanan deformasi, serta resistensi korosi yang baik, sehingga sesuai untuk penggunaan di lingkungan ekstrem seperti pertambangan dan konstruksi. Analisis dilakukan melalui pemodelan 3D menggunakan Autodesk Fusion 360 dan simulasi pembebanan statik untuk memperoleh distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan memengaruhi pola tegangan dan deformasi secara signifikan, meskipun nilai tegangan maksimum (159,97 MPa) masih berada di bawah batas tegangan izin material (243,33 MPa). Temuan ini memberikan wawasan teknis mengenai batas toleransi desain, sekaligus menjadi acuan dalam optimalisasi struktur *lowbed trailer* untuk meningkatkan kinerja, keamanan, dan umur pakai pada kondisi operasi nyata.

Kata kunci: analisis tegangan, *lowbed trailer*, metode elemen hingga, *swivel bogie*, SM490YA

Abstract

The *lowbed trailer* is a specialized vehicle designed for transporting heavy loads, featuring a robust and stable structural frame. One of its critical components is the *swivel bogie frame*, which functions to evenly distribute loads to the wheels while providing movement flexibility under various terrain conditions. Variations in *vertical (pitch)* and *horizontal (roll)* inclination angles of the *swivel bogie* can influence load distribution, increase structural stress, and potentially lead to failure if material tolerance limits are exceeded. This study aims to analyze the effects of a 5° *vertical* inclination and a 6° *horizontal* inclination on the structural strength of the *lowbed trailer* using the *Finite Element Method (FEM)*. The material used is SM490YA steel, which offers high tensile strength, excellent deformation resistance, and superior corrosion resistance, making it suitable for extreme environments such as mining and construction. The analysis was conducted through 3D modeling using Autodesk Fusion 360 and static load simulation to evaluate stress distribution, deformation, and safety factors within the frame structure. The results indicate that inclination angles significantly affect stress and deformation patterns, although the maximum stress value (159.97 MPa) remains below the allowable stress limit (243.33 MPa). These findings provide

valuable technical insights into design tolerance limits and serve as a reference for optimizing lowbed trailer structures to enhance performance, safety, and service life under real-world operating conditions.

Keywords: *finite element method, lowbed trailer, swivel bogie, SM490YA, stress analysis*

PENDAHULUAN

Perkembangan sektor konstruksi dan pertambangan di Indonesia mendorong kebutuhan akan sarana transportasi yang mampu mengangkut muatan dengan bobot besar dan berdimensi khusus. Salah satu moda transportasi yang banyak digunakan untuk keperluan tersebut adalah *lowbed trailer*. *Lowbed trailer* merupakan jenis kendaraan semi-trailer dengan dek yang dirancang rendah mendekati permukaan tanah sehingga memungkinkan pengangkutan alat berat seperti ekskavator, *bulldozer*, *crane*, atau mesin industri dengan dimensi tinggi dan berat yang melebihi batas kapasitas kendaraan angkutan konvensional.

Karakteristik *lowbed trailer* yang memiliki *ground clearance* rendah memberikan keuntungan dalam stabilitas dan kemudahan proses bongkar muat, namun juga menuntut perancangan struktur rangka (*frame*) yang kuat dan andal. Desain rangka yang baik harus mampu mendistribusikan beban secara merata untuk menghindari kegagalan struktur, retakan, maupun deformasi berlebih saat beroperasi di medan berat.

Penelitian dan analisis terhadap kekuatan rangka *lowbed trailer* menjadi penting untuk menjamin keselamatan, efisiensi biaya, serta umur pakai kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis teknik seperti metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk memodelkan beban kerja dan mendeteksi titik-titik kritis pada struktur rangka. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat memberikan masukan bagi pengembangan desain *lowbed trailer* yang lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan industri alat berat di Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) *Lowbed Trailer*

Lowbed trailer merupakan jenis truk yang digunakan untuk mengangkut muatan alat berat dan membutuhkan struktur yang kokoh dan terdiri dari komponen utama seperti *chassis*, suspensi, ban, dan lantai (Safitri, 2024). Truk ini dirancang dengan struktur sasis yang rendah dan lebar, sehingga mempermudah proses pemuatan dan penurunan muatan. Selain itu, truk ini dilengkapi dengan sistem pengereman yang canggih serta sistem kontrol yang mendukung kemudahan pengoperasian.

(B) *Swivel Bogie*

Bogie adalah struktur yang terdiri dari dua atau lebih set roda yang terhubung melalui rangka, dilengkapi dengan sistem suspensi, pengereman, serta dapat mencakup perangkat penggerak dan antiselip. Keseluruhan sistem ini berfungsi sebagai penopang rangka utama badan truk. *Bogie* memiliki beberapa komponen utama, antara lain: rangka *bogie* (*bogie frame*), *bolster*, perangkat roda (*wheel set*), suspensi primer, suspensi sekunder, *axle box*, *bearing*, sepatu rem, sistem pengereman, serta perangkat pendukung lainnya (Monalisa et al., 2022).

(C) Material

Dalam penelitian ini, jenis baja karbon yang digunakan adalah SM490YA, yang mematuhi standar JIS G3106. Jenis baja karbon ini memiliki sifat las yang baik karena termasuk dalam kategori HSLA (*High Strength Low Alloy*) atau memiliki campuran karbon yang rendah. Baja ini sering digunakan dalam pembuatan konstruksi, karena memiliki kekuatan dan kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan baja karbon umumnya. Dalam penelitian ini, SM490YA digunakan untuk konstruksi *frame swivel bogie lowbed trailer* (Wahyudi et al., 2024). Komposisi kimia material ini mencakup karbon (maksimum 0,18%), silikon (maksimum 0,55%), mangan (maksimum 1,60%), fosfor (maksimum 0,035%), dan sulfur (maksimum 0,035%), memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan dan kemampuan las. Sifat mekaniknya meliputi tegangan tarik 490–610 MPa, tegangan luluh minimum 365 MPa, dan perpanjangan sekitar 17–21% tergantung pada ketebalan material.

(D) Tumpuan

Tumpuan adalah elemen tempat suatu konstruksi diletakkan untuk mendukung struktur dalam menyalurkan gaya-gaya yang bekerja menuju pondasi. Dalam mekanika rekayasa, terdapat tiga jenis tumpuan utama, yaitu sendi, rol, dan jepit. Sifat gaya reaksi yang muncul pada sebuah benda yang menerima beban dipengaruhi oleh cara benda tersebut ditumpu atau dihubungkan dengan elemen lain. Terdapat beberapa pengaturan tumpuan yang dapat diterapkan pada sebuah struktur.

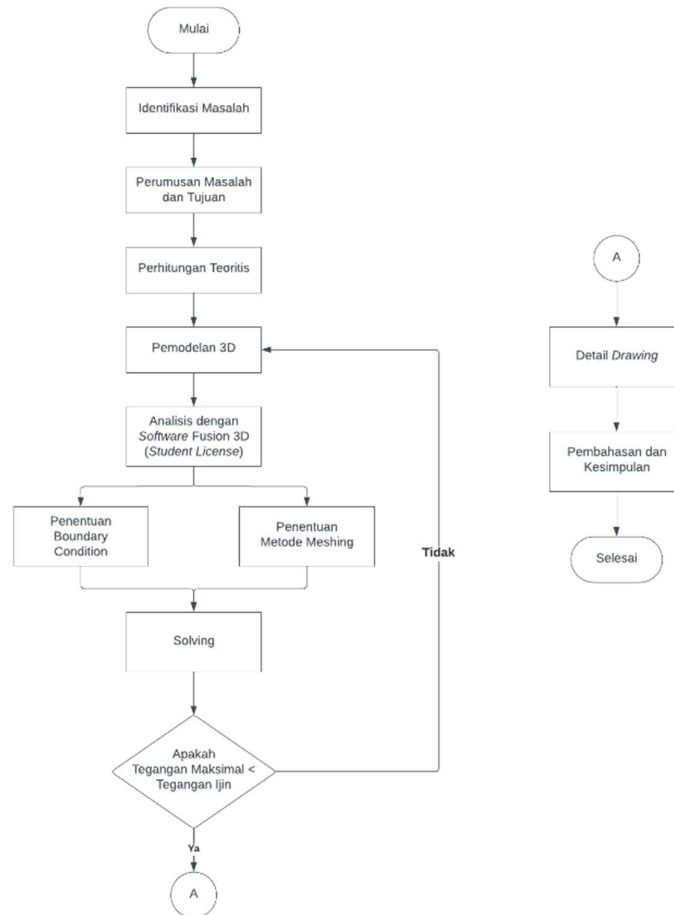
METODE**(A) Metode Elemen Hingga**

Metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) merupakan salah satu teknik simulasi numerik yang digunakan untuk memperkirakan respon atau perilaku suatu struktur dalam kondisi tertentu. Teknik ini dilakukan dengan membagi struktur atau komponen menjadi elemen-elemen kecil yang bersifat diskrit, yang jumlahnya terbatas (Aiyubi, 2009).

Pada struktur dengan geometri yang kompleks, seperti yang memiliki pembebanan yang rumit, penyelesaian permasalahan sering kali sulit dilakukan dengan analisis matematika konvensional. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan untuk mengetahui nilai atau besaran pada setiap titik struktur yang dianalisis. Oleh karena itu, formulasi metode elemen hingga menjadi solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Prinsip dasar metode elemen hingga adalah membagi beban kerja (kontinum) menjadi elemen-elemen diskrit, sehingga reaksi terhadap beban pada kondisi batas tertentu dapat dihitung dengan lebih sederhana. Proses pembagian struktur menjadi elemen-elemen kecil ini dikenal sebagai *meshing*. Seiring dengan perkembangan teknologi, tersedia berbagai perangkat lunak analisis elemen hingga *Finite Element Analysis* (FEA) yang memungkinkan perancangan komponen dan sistem dilakukan dengan lebih mudah dan efisien. Keberadaan perangkat lunak ini tidak hanya mengurangi tingkat kesulitan dalam perhitungan, tetapi juga menghemat waktu, terutama dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan persamaan

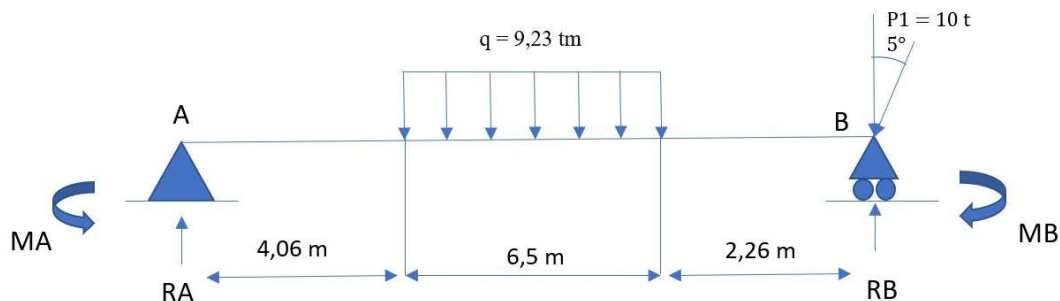
diferensial yang memerlukan literasi berulang hingga mencapai hasil yang akurat. Dengan bantuan teknologi, proses analisis menjadi lebih sederhana, cepat, dan akurat.



Gambar 1. Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Perhitungan Teoritis



Gambar 2. Pembebanan pada Main Beam

Material yang digunakan dalam pembuatan main beam adalah material *high tensile strength steel* SM490YA dengan material properties yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. *Material Properties*

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	7850	Kg/m ³
<i>Yield Strength</i>	365	MPa
<i>Tensile Strength</i>	490-610	MPa
<i>Young Modulus</i>	205	GPa

Berdasarkan Gambar 2 diketahui nilai M_{max} pada jarak $x = 2,77$ momen maksimum titik 2,77 m dari titik C.

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= RVA(x + x) - q \cdot x \cdot \frac{1}{2}x \dots\dots\dots(1) \\
 &= 104,1 + 25,62 \cdot (2,77) - 4,615 \cdot (2,77)^2 \\
 &= 104,1 + 70,96 - 35,39 \\
 &= 139,67 \text{ t.m}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan nilai tegangan maksimum maka dibutuhkan nilai inersia pada profil yang dipakai. Persamaan nilai momen inersia adalah sebagai berikut:

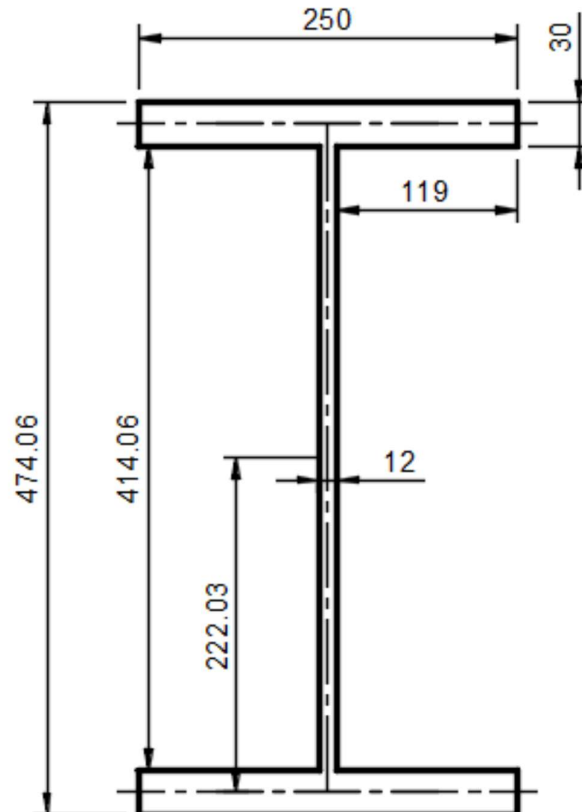
$$I = \frac{bh^3}{12} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

b : sisi horizontal sumbu y

h : sisi tegak dari sumbu x

Desain awal main beam dari profil yang digunakan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** *Profil Main Beam*

Momen inersianya adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{250.474.06^3}{12}$$

$$= 0.002219 \text{ m}^4$$

Dengan diketahui nilai momen maksimum sebesar 150.83 t.m dan jarak dari sumbu yang ditinjau terhadap garis netral menuju titik tengah dari penampang adalah 237.028 mm atau 0.24 m. Maka perhitungan tegangan maksimum yang terjadi pada *main beam* adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{\max} = \frac{M.c}{I} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

M : momen yang bekerja
c : jarak dari sumbu yang ditinjau
I : momen inersia

Sehingga,

$$\sigma_{\max} = \frac{150.83 \cdot 0.24}{0.002219}$$

$$= 16.313,294 \text{ t/m}^2$$

$$= 159,97 \text{ MPa}$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai tegangan izin atau tegangan yang tidak boleh dilampaui oleh bagian manapun pada suatu struktur adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{izin}} = \frac{\text{Yield Strength}(\sigma_y)}{\text{Safety Factor (SF)}} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana:

σ_{izin} : tegangan izin
 σ_y : *yield strength*
SF : *safety factor*

Diketahui nilai *yield strength* pada material SM490YA adalah 365 MPa dan nilai *safety factor* nya adalah sebesar 1,5. Sehingga perhitungan nilai tegangan izinnya adalah sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{izin}} = \frac{365}{1.5} \dots\dots\dots(5)$$

$$= 243,333 \text{ MPa}$$

Untuk menghitung nilai defleksi yang terjadi pada penampang *main beam*, data yang diketahui adalah sebagai berikut:

- (1) Jenis beban: Beban merata $q = 9,23 \text{ ton/m} = 90.498 \text{ N/m}$
- (2) Panjang beban: 6,5 m (antara titik C dan D)
- (3) Reaksi tumpuan:
 - RVA = 25,78 ton = 252.904 N
 - RVB = 34,20 ton = 335.700 N
- (4) Modulus elastisitas: $E = 200 \text{ GPa} = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
- (5) Momen inersia: $I = 0,002219 \text{ m}^4$
- (6) $EI = 200 \times 10^9 \times 0,002219 = 443.800.000 \text{ Nm}^2$
- (7) Panjang total bentang: 12,82 m

Untuk mengetahui nilai defleksi yang terjadi digunakan rumus sebagai berikut:

- (1) Momen lentur pada segmen beban merata (antara titik C dan D) ditentukan dengan:

$$M(x) = RA(x + 4,06) - \left(\frac{q}{2}\right)x^2 \dots\dots\dots (6)$$

- (2) Metode Integral Ganda:

a. Turunan kedua defleksi:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{RA}{2}(x - 4,06)^2 - \left(\frac{q}{2}\right)x^2 \dots\dots\dots (7)$$

b. Turunan pertama (integrasi ke 1):

$$EI \frac{dy}{dx} = \left(\frac{RA}{2}\right)(x - 4,06)^2 - \left(\frac{q}{6}\right)x^3 + C_1 \dots\dots\dots (8)$$

- (3) Fungsi Defleksi (integrasi ke 2):

$$EIy(x) = \left(\frac{RA}{6}\right)(x - 4,06)^3 - \left(\frac{q}{24}\right)x^4 + C_1x + C_2 \dots\dots\dots (9)$$

- (4) Perhitungan Defleksi Maksimum:

Titik tengah beban berada pada $x = 2,79$ m dari titik C

$$(2,79 + 4,06)^3 = 321,41$$

$$(2,79)^4 = 60,59$$

$$\frac{RA}{6} \cdot 321,41 = \frac{252,904}{6} \cdot 321,41 = 42,150 \cdot 321,41 = 13.547.431$$

$$\frac{q}{24} \cdot 60,59 = \frac{90.546}{24} \cdot 60,59 = 228.590$$

$$EIy = 13.547.431 - 228.590 = 13.318.841 \text{ Nm}^3$$

- (5) Maka Defleksi Maksimum:

$$y = \frac{13.318.841}{443.800.000} = 0,03 \text{ m} = 30 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, didapatkan nilai defleksi maksimum dari main beam sebesar 30 mm.

Pembuatan model 3D dari struktur *chassis lowbed trailer* menggunakan *software Autodesk Fusion 360 student version* dengan mengacu pada *original drawing* dari *lowbed trailer dolly 120 ton* sesuai dengan *original detail drawing* pada Gambar 4.

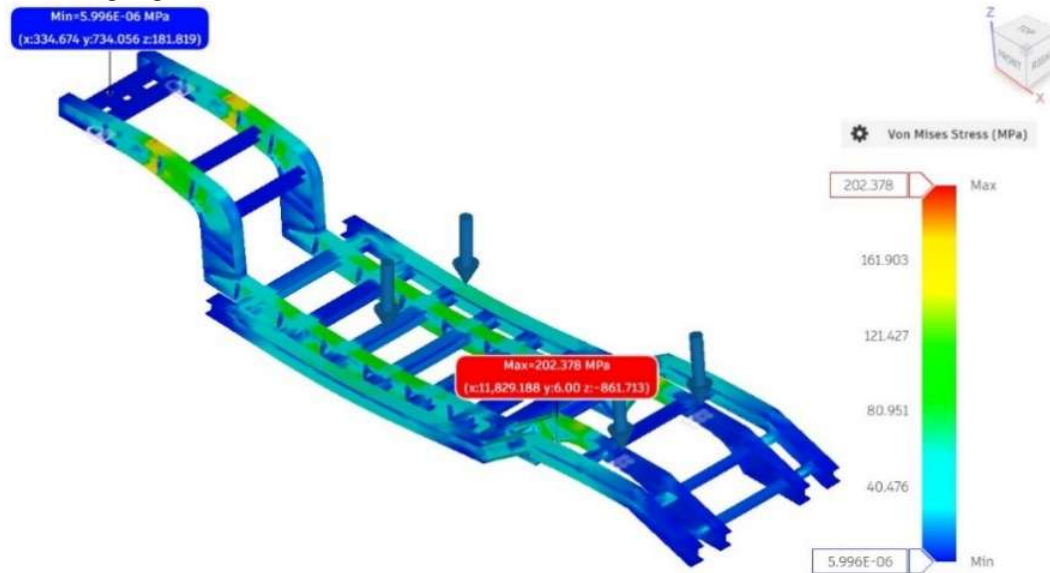


Gambar 4. 3D Modeling Lowbed Trailer

(B) Analisis dengan Software

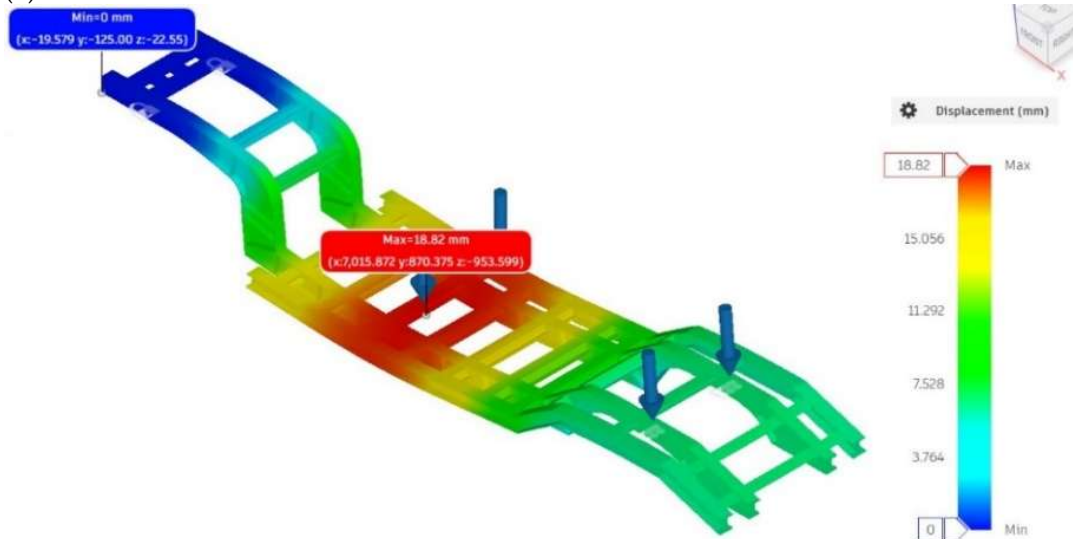
Berdasarkan dari simulasi pembebanan yang dilakukan didapatkan hasil analisis berupa tegangan *von mises*, defleksi dan juga hasil *convergence plot* sebagai berikut:

(1) Tegangan Von Mises

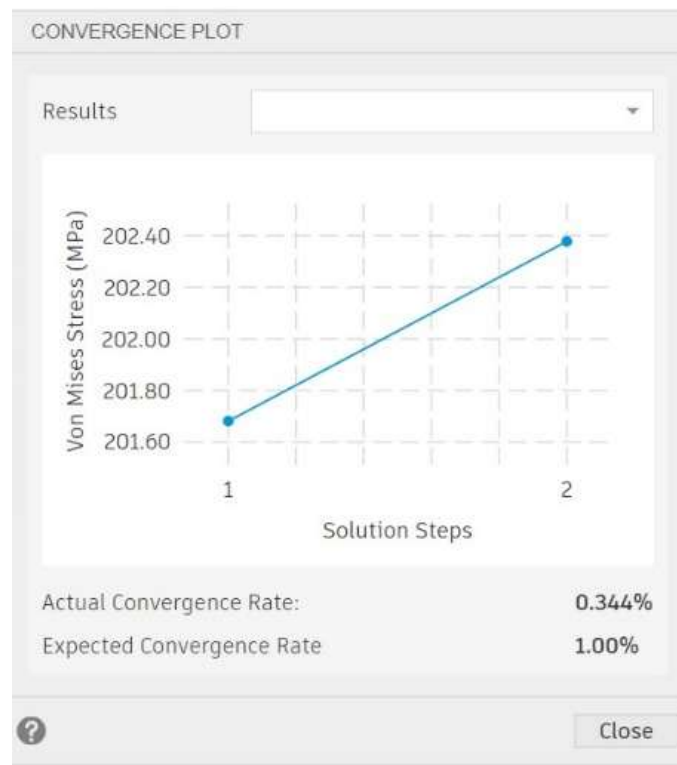


Gambar 5. Tegangan Von Mises Lowbed Trailer

(2) Defleksi



Gambar 6. Defleksi Lowbed Trailer

(3) *Convergence Plot***Gambar 7.** *Convergence Plot***KESIMPULAN**

Diketahui pada hasil perhitungan teoritis didapatkan hasil maksimum sebesar 159,97 MPa yang masih dibawah tegangan izin yaitu sebesar 243,333 MPa. Sehingga berdasarkan perhitungan teoritis dapat dinyatakan aman untuk menampung muatan sebesar 120 ton.

Beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah dengan mengeksplorasi variasi bentuk dan struktur sasis *lowbed trailer* lainnya, sehingga desain sasis yang disimulasikan menjadi lebih beragam. Selain itu, analisis menggunakan metode elemen hingga sebaiknya tidak hanya terbatas pada analisis tegangan statis (*static stress*), tetapi juga dikembangkan ke jenis analisis lain, agar diperoleh hasil perbandingan sistem analisis yang lebih bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu menjadi sumber perlindungan dan kekuatan bagi penulis dalam segala proses terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Bapak Moh. Miftachul Munir, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I atas bimbingan, arahan, waktu, tenaga, serta ilmu yang diberikan dalam membimbing penulis. Bapak Pranowo Sidi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing II atas bimbingan, arahan, waktu, tenaga, serta ilmu yang diberikan dalam membimbing penulis. Keluarga, teman, dan kolega terdekat, atas segala bentuk dukungan, bantuan, saran, dan doa yang secara ikhlas diberikan kepada penulis.

REFERENSI

- Aiyubi. (2009) Mesh Refinement dalam FEM, *aiyubi.wordpress.com*.
<https://aiyubi.wordpress.com/2009/01/23/test/>
- Monalisa, R. L., Yuwono, I., Salim, A. T. A., Utomo, A. P., & Mahfud, M. Z. (2022). Analisis Kekuatan Struktur Bogie *Frame* Kereta Ukur pada Kondisi Exceptional Loads. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 6(2), 16-28.
- Safitri, R. (2024). Analisis Fatigue Life Terhadap Zona Pengelasan pada Struktur Chassis *Lowbed trailer* dengan Metode Elemen Hingga. *Inovtek Polbeng*, 14(2), 108-116.
- Wahyudi, M. T., Valentino, L. E., & Pratiwi, W. D. (2024). Analisis Pengaruh Variasi Filler dan Kuat Arus Pengelasan Dissimilar SM490YA dengan Cast Steel terhadap Ketangguhan. *Jurnal Teknologi Maritim*, 7(2), 40-53.