

Variasi Pembebanan Menggunakan Autodesk Inventor Pada Spreader Bar

Renaldi Nainggolan^{*1}, Windy Stefani, S.T., M.Eng^{*} and Veryawan Nanda Perkasa, S.T., M.Han.^{*}

^{*} Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: renaldinainggolan017@gmail.com

Abstrak

Pengangkatan komponen yang besar dan berat merupakan pekerjaan yang sering dilakukan dalam industri galangan kapal, dan *spreader bar* berperan penting menjaga agar beban terdistribusi merata dan stabil selama proses *lifting* berlangsung. Penelitian ini menganalisis kekuatan struktur *spreader bar* berbahan ASTM A36 Steel terhadap lima variasi beban (40, 60, 80, 150, dan 200 ton) menggunakan simulasi *static analysis* pada Autodesk Inventor, dengan parameter *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Factor Of Safety* (FoS). Untuk mendekati kondisi kerja sebenarnya, hasil statis dikoreksi menggunakan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) sebesar 1,10 untuk beban 40–80 ton dan 1,05 untuk beban 150–200 ton. Hasil simulasi statis menunjukkan tegangan dan *Displacement* meningkat seiring bertambahnya beban, sementara FoS menurun, pada 40–80 ton tegangan berkisar 52,04–108 MPa dengan FoS di atas 1,9 (aman), pada 150 ton tegangan 202,6 MPa dengan FoS 1,02 (masih aman), dan pada 200 ton tegangan 270,1 MPa dengan FoS 0,77 (tidak aman). Setelah memperhitungkan efek dinamis, beban 40–80 ton tetap aman dengan FoS di atas 1,7, namun FoS pada beban 150 ton turun menjadi 0,97 sehingga kondisi berubah menjadi tidak aman, dan FoS pada 200 ton semakin kecil yaitu 0,73. Dengan demikian, batas beban aman yang direkomendasikan setelah memperhitungkan faktor dinamis adalah 80 ton, lebih rendah dari batas 150 ton yang diperoleh dari analisis statis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan praktis dalam perancangan dan evaluasi kekuatan *spreader bar* pada kegiatan pengangkatan di industri galangan kapal dan konstruksi.

Kata kunci: *Spreader Bar, Von mises stress, Displacement, Factor Of Safety*

Abstract

The lifting of large and heavy components is a common activity in the shipbuilding industry, and a spreader bar plays an important role in keeping the load evenly distributed and stable during the lifting process. This study analyzes the structural strength of a spreader bar made of ASTM A36 Steel under five load variations (40, 60, 80, 150, and 200 tons) using static analysis simulation in Autodesk Inventor; evaluating Von Mises Stress, Displacement, and Factor of Safety (FoS). To better represent real operating conditions, the static results were then corrected using a Dynamic Amplification Factor (DAF) of 1.10 for loads of 40–80 tons and 1.05 for loads of 150–200 tons. The static simulation shows stress and displacement increasing with load while FoS decreases; at 40–80 tons the stress ranges from 52.04–108 MPa with FoS above 1.9 (safe), at 150 tons the stress is 202.6 MPa with FoS 1.02 (still safe), and at 200 tons the stress reaches 270.1 MPa with FoS 0.77 (unsafe). After including dynamic effects, the 40–80 ton loads remain safe with FoS above 1.7, but the FoS at 150 tons drops to 0.97, turning that condition unsafe, while the FoS at 200 tons falls further to 0.73. Accordingly, the recommended safe load limit after accounting for dynamic effects is 80 tons, lower than the 150-ton limit obtained from static analysis. These results are expected to serve as a practical reference for the design and strength evaluation of spreader bars used in lifting operations in the shipbuilding and construction industries.

Keywords : *Spreader Bar, Von mises stress, Displacement, Factor Of Safety*

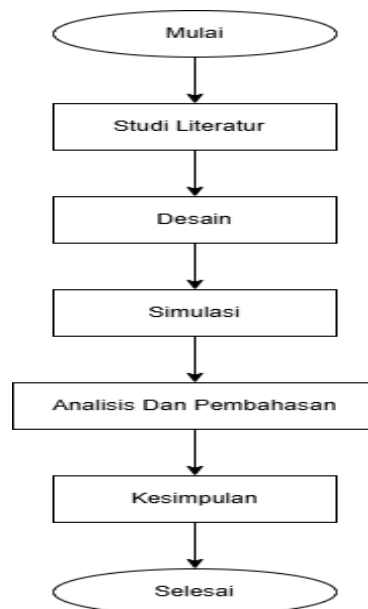
1. Pendahuluan

Proses pengangkatan material dan komponen konstruksi dengan kapasitas besar merupakan kegiatan yang sering dilakukan pada industri galangan kapal. Dalam pelaksanaannya, *Spreader Bar* digunakan sebagai alat bantu pengangkatan untuk menyalurkan beban secara lebih merata sehingga kestabilan beban dapat terjaga selama proses lifting berlangsung. Karena berfungsi sebagai komponen yang menerima dan menyalurkan beban angkat, *Spreader Bar* harus memiliki kekuatan yang memadai agar tidak mengalami deformasi berlebih maupun kegagalan struktur saat digunakan.

Seiring meningkatnya kebutuhan pengangkatan komponen dengan kapasitas yang lebih besar, beban yang bekerja pada *Spreader Bar* juga akan meningkat. Kondisi tersebut menyebabkan tegangan dan deformasi yang terjadi pada struktur menjadi lebih besar, sehingga diperlukan evaluasi terhadap kemampuan struktur dalam menahan variasi pembebanan yang diberikan. Apabila kapasitas struktur tidak diketahui secara pasti, penggunaan *Spreader Bar* berpotensi menimbulkan risiko kerusakan peralatan, kegagalan pengangkatan, keterlambatan pekerjaan, serta membahayakan keselamatan pekerja di area operasional[1].

Dalam analisis struktur teknik, terdapat tiga parameter utama yang sering digunakan untuk mengevaluasi kekuatan suatu struktur yaitu tegangan (*Stress*), perpindahan (*Displacement*) dan faktor keamanan (*Safety Factor*)[2]. Tegangan merupakan besarnya gaya yang bekerja pada suatu luas penampang material, sedangkan *Displacement* merupakan perubahan posisi atau deformasi yang terjadi pada struktur akibat adanya pembebanan. Nilai *Stress* dan *Displacement* yang terlalu besar dapat menunjukkan bahwa suatu struktur tidak mampu menahan beban yang diberikan sehingga berpotensi mengalami kerusakan atau kegagalan[3]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap nilai tegangan (*Von mises stress*), perpindahan (*Displacement*), dan faktor keamanan (*Factor Of Safety*) pada struktur *Spreader Bar* menggunakan Autodesk Inventor berdasarkan analisis statis, yang kemudian dikoreksi dengan mempertimbangkan pengaruh beban dinamis melalui *Dynamic Amplification Factor* (DAF), serta mengevaluasi tingkat keamanan struktur dan menentukan batas pembebanan yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisis tersebut. Agar penelitian lebih terarah, maka analisis yang dilakukan dibatasi pada *Spreader Bar* dengan variasi pembebanan 40 Ton, 60 Ton, 80 Ton, 150 Ton dan 200 Ton[4], melalui perangkat lunak Autodesk Inventor. Beban yang diberikan dianggap statis dengan beberapa variasi sesuai kebutuhan analisis, lalu yang dilihat adalah nilai tegangan, perpindahan dan faktor keamanannya menggunakan bantuan Autodesk Inventor. Untuk bagian sling sendiri tidak ikut dibahas secara detail, baik dari segi kekuatan maupun cara kerjanya, jadi dianggap bekerja normal dan tidak bermasalah saat menyalurkan beban. Selain itu, hal-hal seperti kelelahan material, korosi, atau pengaruh lingkungan juga tidak dibahas dalam penelitian ini. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kekuatan struktur *Spreader Bar* serta dapat menjadi referensi dalam proses perancangan maupun evaluasi alat pengangkat di bidang industri Fabrikasi dan Galangan Kapal.

2. Metodologi Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Studi Literatur

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk mempelajari *Spreader Bar* sehingga mengetahui fungsinya. Penulis juga meninjau beberapa penelitian sebelumnya yang membahas analisis struktur dengan metode simulasi, hal ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran metode analisis yang tepat, *Spreader Bar* berfungsi untuk mengurangi gaya tekan pada objek yang diangkat[5]. Selain itu, penelitian dari Isna Dewi Assa Ashariyani dkk, juga menjelaskan bahwa analisis struktur perlu dilakukan untuk mengetahui nilai *Stress*, *Displacement*, dan *Factor Of Safety* agar struktur *Spreader Bar* tetap aman saat menerima pembebanan[6]. Penelitian lain pada *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace* menunjukkan bahwa *Spreader Bar* digunakan pada proses pengangkatan *pressure vessel* dengan metode *Finite Element Analysis (FEA)* untuk mengetahui distribusi tegangan dan *Displacement* pada struktur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi masih berada di bawah kekuatan material sehingga struktur dinyatakan aman digunakan dalam proses lifting[7]. Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa analisis struktur pada *Spreader Bar* sangat penting dilakukan untuk memastikan distribusi beban tetap aman serta mengurangi risiko kegagalan struktur selama proses pengangkatan berlangsung. Pengumpulan data pada penelitian ini diperoleh dari Perusahaan, tempat penulis melaksanakan kegiatan magang, yang meliputi data *2D detailing* dari *Spreader Bar*, serta informasi pendukung lainnya Data yang digunakan berupa ukuran dan dimensi profil, yang kemudian dijadikan acuan dalam proses pemodelan. Data tersebut dipilih agar model yang dibuat bisa digunakan untuk keperluan analisis. Untuk material yang digunakan dalam perancangan *Spreader Bar* ini yaitu jenis *ASTM A36 – Steel*. *ASTM A36 - Steel* merupakan pilihan tepat, karena memiliki ketahanan luluh dan tarik yang memadai untuk menopang barang berat[8].

Tabel 1.

Spesifikasi Dimensi Utama *Spreader Bar*

Data Utama <i>Spreader Bar</i>	
Panjang	3600 mm
Diameter Luar	168.3 mm
Ketebalan	10,97 mm
Berat	150.109 Kg

Tabel 2.

Spreader Bar Part List

No	Profile	Dimensi (mm)	Qty	Material
1	Pipe 6" Sch 80	3600 × 168.3 × 10,97	1	<i>A36 - Steel</i>
2	<i>Pad Eye</i> 01	500 × 300 × 30	2	<i>A36 - Steel</i>
3	<i>Pad Eye</i> 02	250 × 166 × 30	2	<i>A36 - Steel</i>
4	<i>Stiffener Plate</i>	207 × 20 × 10	8	<i>A36 - Steel</i>

a. Gaya Angkat (Lifting Load)

Beban yang diangkat harus terlebih dahulu dikonversikan menjadi gaya. Besarnya gaya yang bekerja dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$F = m \times g \quad (1)$$

F = Gaya (N)

M = massa (Kg)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²).

b. Beban Dinamis (*Dynamic Load*)

Beban yang bekerja pada proses pengangkatan (*lifting*) tidak sepenuhnya bersifat statis, karena terdapat pengaruh dinamis akibat variasi kecepatan hoisting maupun pergerakan crane selama proses pengangkatan berlangsung. Untuk memperhitungkan pengaruh tersebut, gaya statis yang telah diperoleh pada persamaan (1) dikalikan dengan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) mengacu pada [5]. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$F_{dinamis} = F_{statis} \times DAF \quad (2)$$

$F_{dinamis}$ = Gaya dinamis (N)
 F_{statis} = Gaya statis (N)
 DAF = *Dynamic Amplification Factor*

Nilai *DAF* ditentukan berdasarkan kategori *Static Hook Load* (SHL) untuk pengangkatan di darat (*onshore*) menurut ketentuan DNV, yaitu $DAF = 1,10$ untuk SHL 3–100 ton dan $DAF = 1,05$ untuk SHL 100–300 ton. Berdasarkan ketentuan tersebut, variasi beban 40, 60, dan 80 ton pada penelitian ini menggunakan *DAF* sebesar 1,10, sedangkan beban 150 dan 200 ton menggunakan *DAF* sebesar 1,05.

c. *Von mises stress*

Nilai tegangan ini digunakan untuk membandingkan kondisi tegangan yang terjadi pada struktur dengan kekuatan luluh material. Apabila nilai Tegangan *Von Mises* masih berada di bawah tegangan luluh material, maka struktur dapat dinyatakan aman terhadap pembebanan yang diberikan. Rumus tegangan *Von Mises* ditunjukkan sebagai berikut.

$$\sigma_v = \frac{\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}{2} \quad (3)$$

σ_v = Tegangan Von Mises
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan utama

d. Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan besarnya gaya yang bekerja pada suatu luas penampang material. Nilai tegangan digunakan untuk mengetahui kemampuan material dalam menahan beban yang diterima. Semakin besar gaya yang bekerja pada suatu penampang, maka tegangan yang terjadi juga akan semakin besar. Besarnya tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

σ = Tegangan (Pa atau MPa)
 F = Gaya (N)
 A = Luas penampang (mm²)

e. Displacement

Displacement adalah perubahan posisi atau deformasi yang terjadi pada struktur akibat pembebanan.

f. Faktor Keamanan (*Factor Of Safety*)

Factor of safety merupakan perbandingan antara kekuatan luluh material (*Yield Strength*) dengan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur untuk menunjukkan tingkat keamanan struktur dalam menerima pembebanan. Jika suatu produk memiliki nilai kurang dari 1 maka produk tersebut tidak layak untuk digunakan[9].

$$FoS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{Max}} \quad (5)$$

FoS = Factor Of Safety

σ_y = Yield Strength material

σ_{max} = Tegangan maksimum

2.2 Desain

Seiring dengan perkembangan teknologi, proses perancangan saat ini sudah banyak dibantu oleh perangkat lunak berbasis komputer yang mampu meningkatkan efisiensi serta ketelitian dalam proses pemodelan [10]. Pada penelitian ini proses pemodelan dilakukan menggunakan *software* Autodesk Inventor sebagai alat bantu dalam membuat model tiga dimensi dari struktur *Spreader Bar*. Penggunaan *software* ini mempermudah proses penggambaran bentuk dan dimensi struktur sehingga model yang dihasilkan dapat mendekati kondisi sebenarnya. Selain itu, Autodesk Inventor juga memiliki berbagai fitur yang dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap respon struktur ketika menerima beban.

2.2.1 Perbandingan Autodesk Inventor dengan Software CAD/CAE Lain

Autodesk Inventor sebagai alat bantu simulasi pada penelitian ini, dilakukan perbandingan dengan beberapa *software* CAD/CAE lain yang umum digunakan dalam pemodelan dan analisis struktur, yaitu *SolidWorks*, *ANSYS Mechanical*, *Abaqus*, dan *AutoCAD*. Studi perbandingan kemampuan *Finite Element Analysis* pada beberapa *software* tersebut menunjukkan bahwa kemampuan analisisnya secara umum relatif setara [11]. Ringkasan kelebihan dan kekurangan masing-masing *software* dari sisi pemodelan maupun simulasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3.

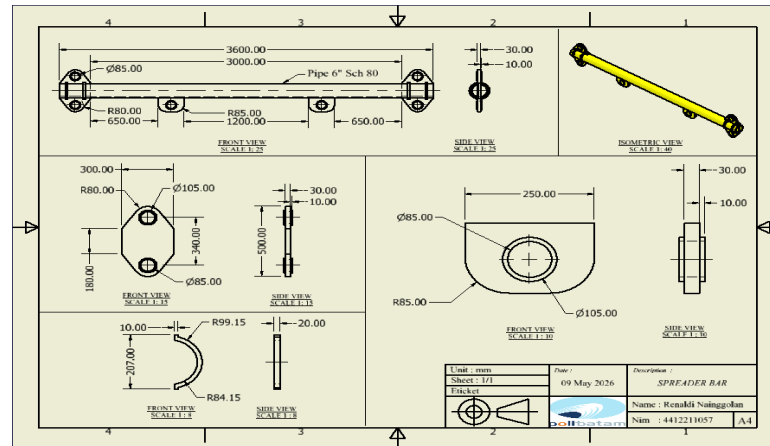
Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan Software CAD/CAE dalam Pemodelan dan Simulasi

No	Software	Kelebihan (Pemodelan & Simulasi)	Kekurangan (Pemodelan & Simulasi)	Sumber
1	Autodesk Inventor	Pemodelan parametrik 3D menyatu langsung dengan modul simulasi, sehingga proses desain dan analisis kekuatan struktur dapat dilakukan dalam satu platform yang sama	Tidak mampu melakukan analisis akustik; kemampuan analisis nonlinier dan multiphysics lebih terbatas dibanding ANSYS atau Abaqus.	[11]
2	SolidWorks	Antarmuka intuitif dan mudah dipelajari, kuat untuk pemodelan part dan assembly, serta modul Simulation bawaan dilaporkan menghasilkan nilai yang mendekati benchmark industri.	Tidak mampu melakukan analisis akustik, elektromagnetik, aliran fluida, maupun interaksi fluida-struktur; tidak tersedia versi gratis.	[11]
3	ANSYS Mechanical	Bersifat mandiri (self-contained) dan mendukung hampir seluruh jenis analisis: linier, nonlinier, transien, frekuensi natural, buckling, akustik, elektromagnetik, hingga interaksi fluida-struktur; banyak dipakai pada riset akademik dengan akurasi tinggi.	Kurva belajar lebih tinggi karena berfokus pada analisis, bukan pemodelan awal; versi gratis dibatasi jumlah node/mesh.	[11]
4	Abaqus (CAE)	Dilengkapi solver implicit untuk analisis statis dan solver explicit untuk sistem nonlinier dengan beban transien/impact yang kompleks.	Proses kerja terpisah antar modul pra-proses dan pasca-proses sehingga kurang menyatu dibanding <i>software</i> berbasis CAD parametrik; lisensi berbayar dengan versi gratis terbatas.	[11]
5	AutoCAD	Ringan dan menjadi standar industri untuk pembuatan gambar teknik 2D.	Kemampuan pemodelan 3D sangat terbatas dibanding solid modelling parametrik seperti Inventor/SolidWorks, dan tidak memiliki modul simulasi/FEA struktural.	[12]

Untuk memperkuat alasan pemilihan Autodesk Inventor dipilih sebagai perangkat lunak pada penelitian ini karena mampu menggabungkan proses pemodelan tiga dimensi dan analisis struktur dalam satu aplikasi. Hal tersebut memudahkan proses analisis karena model yang telah dibuat dapat langsung digunakan untuk simulasi tanpa perlu dipindahkan ke perangkat lunak lain, sehingga kemungkinan terjadinya kesalahan akibat perpindahan data dapat dikurangi, serta keterbatasan penulis dalam mengoperasikan perangkat lunak analisis lainnya. Penulis memiliki pengalaman menggunakan Autodesk Inventor, AutoCAD, dan SolidWorks, namun penguasaan terhadap Autodesk Inventor lebih baik dibandingkan perangkat lunak lainnya. Oleh karena itu, Autodesk Inventor dipilih agar proses pemodelan dan simulasi dapat dilakukan secara optimal sesuai dengan kemampuan yang dimiliki, tanpa mengurangi tujuan dan kualitas penelitian.

2.2.2 Detail Spreader Bar

Dari gambar kerja dibawah dapat dilihat bahwa *Spreader Bar* memiliki Panjang 3600 mm dengan panjang efektif 3000 mm (jarak antar titik angkat kedua ujung). Struktur utama menggunakan pipa 6 inch *Schedule 80* yang berfungsi sebagai elemen penahan utama beban.

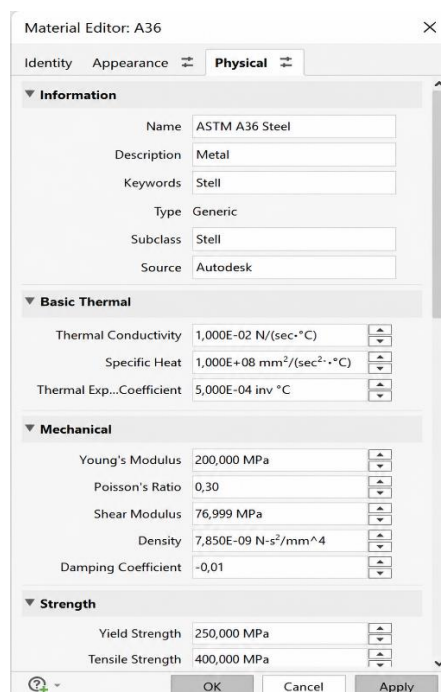


Gambar 2: Detail Spreader Bar

2.3 Simulasi

2.3.1 Spesifikasi Material A36 Pada Autodesk Inventor

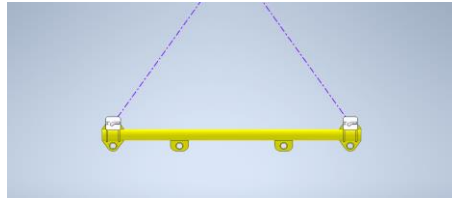
Pada tahap selanjutnya adalah penentuan material yang akan digunakan di software Autodesk Inventor. Pada perancangan ini dipilih material ASTM A36 – Steel, seperti Gambar 3 menunjukkan spesifikasi material ASTM A36 -Steel pada software Autodesk Inventor.



Gambar 3: Spesifikasi Material A36 - Steel pada Software Autodesk Inventor

2.3.2 Pemberian Tumpuan (Fixed Constraint)

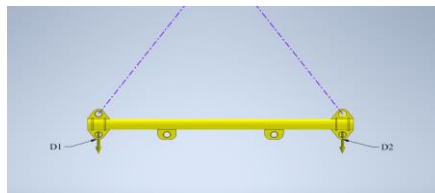
Pada proses simulasi, tumpuan (*fixed constraint*) diberikan pada bagian tertentu dari struktur untuk menahan pergerakan maupun putaran benda sehingga kondisi kerja dapat menyerupai keadaan sebenarnya saat *Spreader Bar* digunakan. Pemberian tumpuan ini bertujuan agar struktur tetap stabil ketika menerima pembebanan serta membantu memperoleh hasil analisis yang lebih akurat.



Gambar 4: Pemberian Tumpuan (*Fixed Constraint*)

2.3.3 Pemberian Lokasi Beban (*Force*)

Pemberian beban (*force*) dilakukan pada titik atau bagian struktur yang menerima gaya angkat sesuai dengan kondisi kerja sebenarnya. Penempatan beban ini disesuaikan dengan arah dan besar gaya yang bekerja agar hasil simulasi dapat menunjukkan distribusi tegangan, perpindahan, serta tingkat keamanan struktur. Variasi beban yang digunakan terdiri dari 40 ton, 60 ton, 80 ton, 150 ton dan 200 ton. Dapat dilihat dengan tanda panah yang berwarna hijau mengarah kebawah.

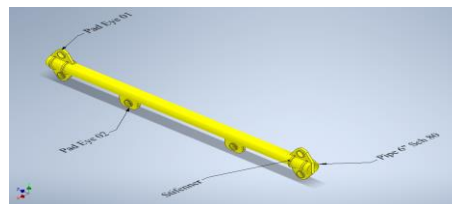


Gambar 5: Pemberian Lokasi Beban (*Force*)

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Desain Pemodelan 3D

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pemodelan tiga dimensi (3D) *Spreader Bar* yang dibuat menggunakan Autodesk Inventor. yang telah dirakit sesuai dengan dimensi perancangan. Pemodelan 3D ini digunakan sebagai dasar dalam proses simulasi untuk menganalisis respon struktur terhadap variasi pembebanan yang diberikan.

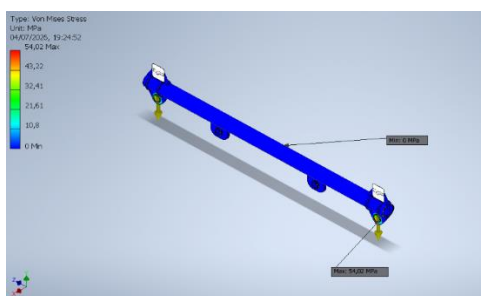


Gambar 6: Desain Pemodelan 3D

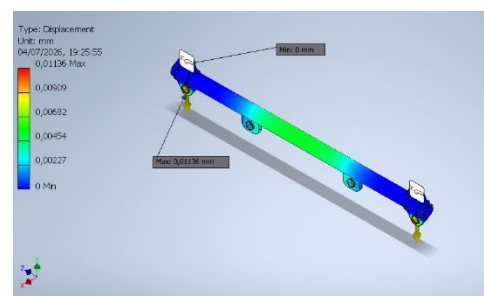
3.2 Hasil Pengujian Menggunakan Autodesk Inventor

Tahapan pemberian pengujian beban akan menghasilkan nilai analisis seperti *Von mises stress*, *Displacement* dan *Factor Of Safety*. Pemberian pengujian diberikan dengan beban 40 Ton, 60 Ton, 80 Ton, 150 Ton, 200 Ton.

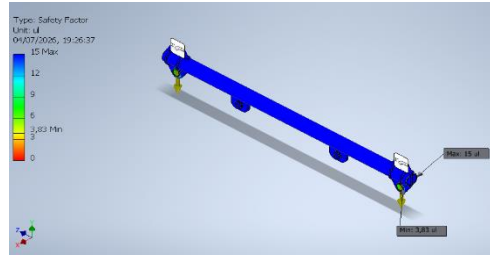
A. Beban 40 Ton



Gambar 7: 40.000 kg (40 Ton) *Von mises stress*



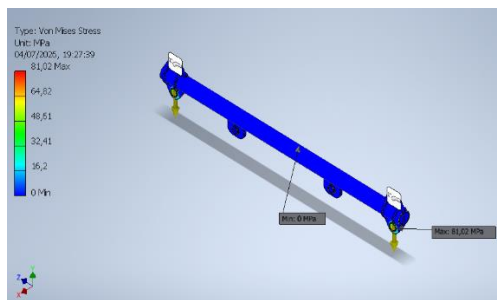
Gambar 8: 40.000 kg (40 Ton) *Displacement*



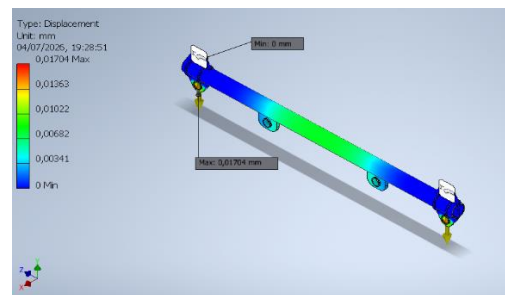
Gambar 9: 40.000 kg (40 Ton) *Factor Of Safety*

Berdasarkan hasil simulasi Autodesk Inventor, pada pembebanan 40 ton diperoleh nilai *Von mises stress* maksimum sebesar 52,04 MPa, *Displacement* maksimum sebesar 0,011 mm, dan *Factor Of Safety* sebesar 3,83. Nilai tegangan tersebut masih berada jauh di bawah tegangan luluh (*Yield Strength*) material ASTM A36 sebesar 250 MPa, sehingga struktur masih bekerja pada daerah elastis dan belum mengalami deformasi permanen. Nilai *Displacement* yang relatif kecil menunjukkan bahwa struktur Spreader Bar memiliki kekakuan yang baik sehingga deformasi yang terjadi akibat pembebanan masih sangat rendah. Selain itu, nilai *Factor Of Safety* sebesar 3,83 menunjukkan bahwa struktur masih memiliki cadangan kekuatan yang cukup besar untuk menahan pembebanan 40 ton.

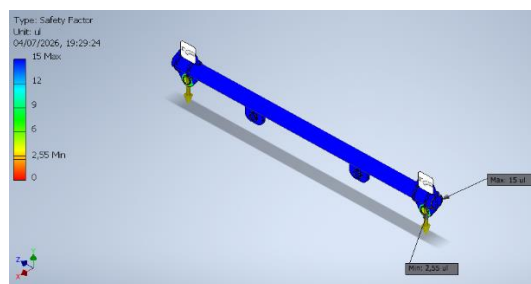
B. Beban 60 Ton



Gambar 10: 60.000 kg (60 Ton) *Von mises stress*



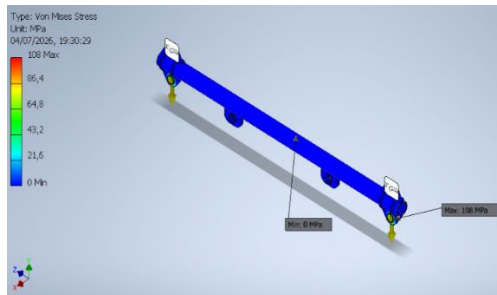
Gambar 11: 60.000 kg (60 Ton) *Displacement*



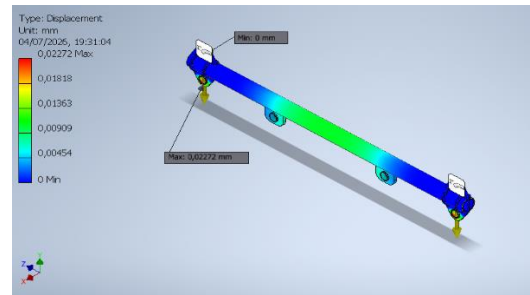
Gambar 12: 60.000 kg (60 Ton) *Factor Of Safety*

Pada pembebanan 60 ton diperoleh nilai *Von mises stress* maksimum sebesar 81,02 MPa, *Displacement* sebesar 0,017 mm, dan *Factor Of Safety* sebesar 2,55. Dibandingkan dengan pembebanan 40 ton, nilai tegangan dan *Displacement* mengalami peningkatan, sedangkan nilai *Factor Of Safety* mengalami penurunan. Peningkatan tegangan terjadi karena semakin besar gaya yang bekerja pada struktur sehingga beban yang diterima oleh setiap komponen juga meningkat. Walaupun demikian, nilai tegangan masih berada di bawah batas luluh material ASTM A36 sehingga struktur masih dinyatakan aman digunakan. Nilai *Displacement* yang masih rendah menunjukkan bahwa deformasi struktur belum mempengaruhi fungsi *Spreader Bar* secara signifikan.

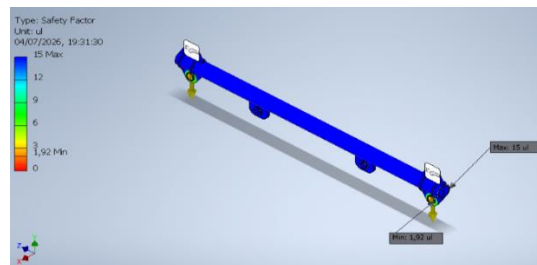
C. Beban 80 Ton



Gambar 13: 80.000 kg (80 Ton) *Von mises stress*



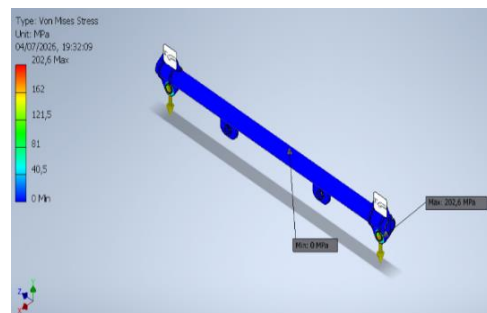
Gambar 14: 80.000 kg (80 Ton) *Displacement*



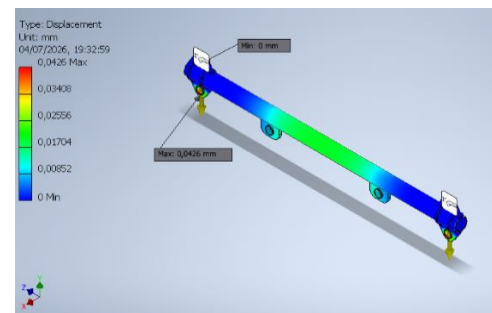
Gambar 15: 80.000 kg (80 Ton) *Factor Of Safety*

Hasil simulasi pada pembebanan 80 ton menunjukkan nilai *Von mises stress* maksimum sebesar 108 MPa, *Displacement* sebesar 0,022 mm, dan *Factor Of Safety* sebesar 1,92. Nilai tegangan meningkat dibandingkan pembebanan sebelumnya sebagai akibat bertambahnya gaya yang diterima struktur, meskipun tegangan dan *Displacement* mengalami peningkatan, nilai tegangan maksimum masih berada di bawah *Yield Strength* material ASTM A36 sehingga struktur masih berada pada kondisi elastis. Namun demikian, penurunan nilai *Factor Of Safety* menjadi 1,92 menunjukkan bahwa cadangan kekuatan struktur mulai berkurang sehingga perlu diperhatikan apabila pembebanan terus ditingkatkan.

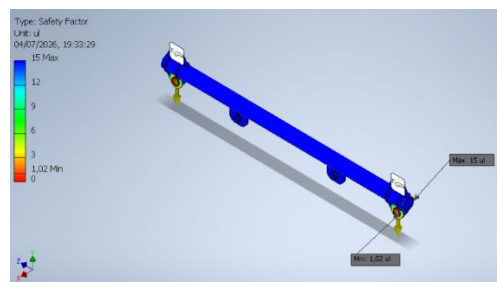
D. Beban 150 Ton



Gambar 16: 150.000 kg (150 Ton) *Von mises stress*



Gambar 17: 150.000 kg (150 Ton) *Displacement*

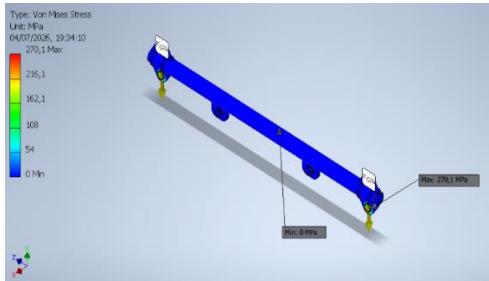


Gambar 18: 150.000 kg (150 Ton) *Factor Of Safety*

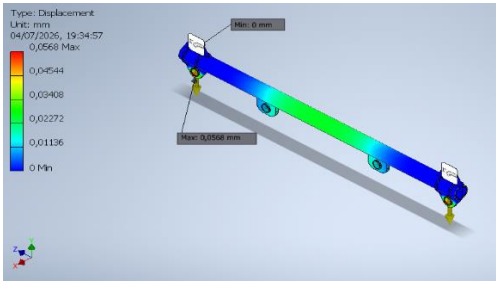
Pada pembebanan 150 ton diperoleh nilai *Von mises stress* maksimum sebesar 202,60 MPa, *Displacement* maksimum sebesar 0,042 mm, dan *Factor Of Safety* sebesar 1,02. Nilai tegangan yang diperoleh sudah mendekati tegangan luluh material ASTM A36 sehingga kemampuan struktur dalam menahan beban hampir mencapai batas

yang diizinkan. *Displacement* yang meningkat menunjukkan bahwa deformasi struktur semakin besar akibat peningkatan pembebanan, meskipun nilainya masih relatif kecil. Nilai *Factor Of Safety* sebesar 1,02 mengindikasikan bahwa struktur masih dapat digunakan, tetapi hanya memiliki cadangan kekuatan yang sangat kecil. Oleh karena itu, pembebanan 150 ton dapat dianggap sebagai kondisi batas aman operasi berdasarkan hasil simulasi.

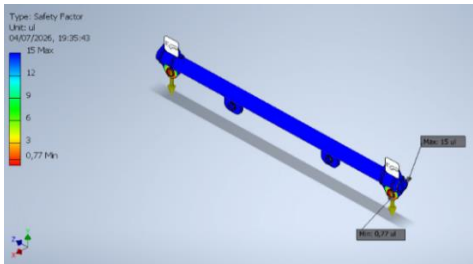
E. Beban 200 Ton



Gambar 19: 200.000 kg (200 Ton) *Von mises stress*



Gambar 20: 200.000 kg (200 Ton) *Displacement*



Gambar 21: 200.000 kg (200 Ton) *Factor Of Safety*

Hasil simulasi pada pembebanan 200 ton menunjukkan nilai *Von mises stress* maksimum sebesar 270,10 MPa, *Displacement* sebesar 0,056 mm, dan *Factor Of Safety* sebesar 0,77. Nilai tegangan tersebut telah melebihi *Yield Strength* material ASTM A36 sebesar 250 MPa sehingga material diperkirakan mulai mengalami deformasi apabila pembebanan tersebut diterapkan. Nilai *Displacement* merupakan yang terbesar dibandingkan seluruh variasi pembebanan, menunjukkan bahwa deformasi struktur semakin meningkat seiring bertambahnya gaya yang diterima. Selain itu, nilai *Factor Of Safety* yang lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa struktur sudah tidak memiliki cadangan kekuatan yang cukup untuk menahan beban tersebut. Dengan demikian, pembebanan 200 ton dinyatakan tidak aman karena berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.

3.3 Rekapitulasi Hasil Simulasi Autodesk Inventor

Tabel 4.

Hasil simulasi *Spreader Bar*

Varias Beban (Ton)	Gaya (N)	<i>Von mises stress</i> (Mpa)	<i>Displacement</i> Maksimum (mm)	<i>Factor Of Safety</i>	Keterangan
40	392.400	52,04	0,011	3,83	Aman
60	588.600	81,02	0,017	2,55	Aman
80	784.800	108,00	0,022	1,92	Aman
150	1.471.500	202,60	0,042	1,02	Aman
200	1.962.000	270,10	0,056	0,77	Tidak Aman

3.4 Pengaruh Beban Dinamis

Hasil pada Tabel 4 diperoleh dengan mengasumsikan beban bersifat statis. Untuk memperhitungkan pengaruh dinamis selama proses *lifting*, gaya statis pada setiap variasi beban dikalikan dengan *Dynamic Amplification Factor* (DAF) sesuai persamaan (2), yaitu DAF = 1,10 untuk beban 40, 60, dan 80 ton, serta DAF = 1,05 untuk beban 150 dan 200 ton. Karena hubungan antara gaya, tegangan, *Displacement*, dan *Factor Of Safety* bersifat linier pada

analisis *static structural* di Autodesk Inventor, nilai *Von mises stress* dan *Displacement* hasil simulasi statis dapat diskalakan langsung dengan mengalikan nilai DAF, sedangkan *Factor Of Safety* diperoleh dengan membagi nilai *Factor Of Safety* statis dengan DAF. Hasil estimasi beban dinamis ditunjukkan pada Tabel 5.

Rincian perhitungan estimasi beban dinamis untuk setiap variasi beban ditunjukkan sebagai berikut.

3.4.1 Beban 40 Ton (DAF = 1,10)

$$F_{dinamis} = 392.400 \text{ N} \times 1,10 = 431.640 \text{ N}$$

$$\sigma_{dinamis} = 52,04 \text{ MPa} \times 1,10 = 57,24 \text{ MPa}$$

$$Displacement_{dinamis} = 0,011 \text{ mm} \times 1,10 = 0,0121 \text{ mm}$$

$$FOS_{dinamis} = 3,83 \div 1,10 = 3,48 \rightarrow \text{Aman}$$

3.4.2 Beban 60 Ton (DAF = 1,10)

$$F_{dinamis} = 588.600 \text{ N} \times 1,10 = 647.460 \text{ N}$$

$$\sigma_{dinamis} = 81,02 \text{ MPa} \times 1,10 = 89,12 \text{ MPa}$$

$$Displacement_{dinamis} = 0,017 \text{ mm} \times 1,10 = 0,0187 \text{ mm}$$

$$FOS_{dinamis} = 2,55 \div 1,10 = 2,32 \rightarrow \text{Aman}$$

3.4.3 Beban 80 Ton (DAF = 1,10)

$$F_{dinamis} = 784.800 \text{ N} \times 1,10 = 863.280 \text{ N}$$

$$\sigma_{dinamis} = 108,00 \text{ MPa} \times 1,10 = 118,80 \text{ MPa}$$

$$Displacement_{dinamis} = 0,022 \text{ mm} \times 1,10 = 0,0242 \text{ mm}$$

$$FOS_{dinamis} = 1,92 \div 1,10 = 1,75 \rightarrow \text{Aman}$$

3.4.4 Beban 150 Ton (DAF = 1,05)

$$F_{dinamis} = 1.471.500 \text{ N} \times 1,05 = 1.545.075 \text{ N}$$

$$\sigma_{dinamis} = 202,60 \text{ MPa} \times 1,05 = 212,73 \text{ MPa}$$

$$Displacement_{dinamis} = 0,042 \text{ mm} \times 1,05 = 0,0441 \text{ mm}$$

$$FOS_{dinamis} = 1,02 \div 1,05 = 0,97 \rightarrow \text{Tidak Aman}$$

3.4.5 Beban 200 Ton (DAF = 1,05)

$$F_{dinamis} = 1.962.000 \text{ N} \times 1,05 = 2.060.100 \text{ N}$$

$$\sigma_{dinamis} = 270,10 \text{ MPa} \times 1,05 = 283,61 \text{ MPa}$$

$$Displacement_{dinamis} = 0,056 \text{ mm} \times 1,05 = 0,0588 \text{ mm}$$

$$FOS_{dinamis} = 0,77 \div 1,05 = 0,73 \rightarrow \text{Tidak Aman}$$

Tabel 5.

Hasil Beban Dinamis Spreader Bar

Beban (Ton)	DAF	Gaya Dinamis (N)	Stress Dinamis (MPa)	Displacement Dinamis (mm)	FoS Dinamis	Keterangan
40	1,10	431.640	57,24	0,0121	3,48	Aman
60	1,10	647.460	89,12	0,0187	2,32	Aman
80	1,10	863.280	118,80	0,0242	1,75	Aman
150	1,05	1.545.075	212,73	0,0441	0,97	Tidak Aman
200	1,05	2.060.100	283,61	0,0588	0,73	Tidak Aman

Setelah memperhitungkan faktor dinamis, beban 40, 60, dan 80 ton tetap berada pada kondisi aman dengan *Factor Of Safety* di atas 1,7. Namun demikian, pada beban 150 ton, *Factor Of Safety* turun menjadi 0,97, yang berarti kondisi yang sebelumnya dinyatakan aman pada analisis statis berubah menjadi tidak aman ketika efek dinamis diikutsertakan. Pada beban 200 ton, *Factor Of Safety* dinamis semakin kecil yaitu 0,73, mempertegas bahwa kapasitas tersebut tidak layak digunakan. Berdasarkan hasil ini, batas beban aman yang direkomendasikan setelah memperhitungkan efek dinamis adalah 80 ton, lebih rendah dibandingkan batas 150 ton yang diperoleh dari analisis statis semata. Hasil ini menunjukkan pentingnya memasukkan faktor dinamis dalam evaluasi kekuatan *spreader bar* agar perancangan tidak hanya mengandalkan asumsi pembebanan statis.

4. Kesimpulan

Hasil simulasi statis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan pada *spreader bar*, semakin tinggi nilai tegangan *Von Mises* dan *Displacement* yang terjadi, sementara *Factor Of Safety* justru terus menurun. Pada rentang beban 40 hingga 80 ton, tegangan yang terjadi masih jauh di bawah batas luluh material ASTM A36, sehingga struktur dinyatakan aman. Pada beban 150 ton, hasil analisis statis masih menunjukkan kondisi aman dengan *Factor Of Safety* 1,02, sementara pada beban 200 ton tegangan mencapai 270,1 MPa dengan *Factor Of Safety* hanya 0,77 sehingga struktur dinyatakan tidak aman. Setelah beban statis dikoreksi dengan *Dynamic Amplification Factor* (DAF), beban 40 hingga 80 ton tetap berada pada kondisi aman dengan *Factor Of Safety* di atas 1,7. Namun, pada beban 150 ton *Factor Of Safety* dinamis turun menjadi 0,97 sehingga kondisi yang semula dinyatakan aman berubah menjadi tidak aman, dan pada beban 200 ton *Factor Of Safety* dinamis semakin kecil yaitu 0,73.

Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa batas beban aman *spreader bar* yang diteliti, setelah memperhitungkan pengaruh beban dinamis, adalah 80 ton, lebih rendah daripada batas 150 ton yang diperoleh dari analisis statis. Penggunaan pada beban 150 ton dan 200 ton tidak direkomendasikan karena berisiko menyebabkan kegagalan struktur. Temuan ini menegaskan pentingnya memasukkan faktor dinamis dalam evaluasi kekuatan *spreader bar*, serta pentingnya mengetahui batas kapasitas aktual suatu *spreader bar* sebelum digunakan di lapangan, agar risiko kerusakan alat maupun kecelakaan kerja saat proses pengangkatan dapat diminimalkan.

5. Daftar Pustaka

- [1] L. Sim, F. Ljubinkovi, J. Conde, and H. Gerv, "A methodology to assess structural design efficiency," vol. 58, no. August, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.105366.
- [2] A. D. Tripamungkas, "Analisis Tegangan Regangan pada Balok Beton Bertulang Menggunakan Metode Elemen Hingga," vol. 9, no. 2, pp. 34–37, 2023.
- [3] S. Rangka, G. Terhadap, and P. Hoist, "Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha," vol. 13, no. 2, pp. 224–234, 2025.
- [4] C. Outline, *1 Basic design of the ship*. doi: 10.1016/B978-0-08-097239-8.00001-5.
- [5] "dnv-rules-for-planning-and-execution-of-marine-operations-part-2-chapter-5a-lifting_compress.pdf."
- [6] I. Dewi, A. Ashariyani, P. Sidi, and N. Ardi, "Perancangan Spreader bar sebagai Alat Bantu Pengangkatan pada Proses Erection," 2023.
- [7] B. Kusuma, F. Hasibuan, A. Rahman, and E. Chandra, "Advanced Design and Simulation of Spreader Bar for Safe Lifting of 80 Tons Pressure Vessel by Using Finite Element Analysis," vol. 69, no. 1, pp. 18–30, 2025.
- [8] H. Hendaryati, M. I. Mamungkas, I. S. Aisyah, and M. H. Rusmana, "Pengaruh variasi ketebalan plat alumunium 2024 T42 terhadap kekuatan tarik dan macrography pada proses resistance spot welding The effect of variations in thickness of 2024 T42 aluminum plate on tensile strength and

macrography in the process of resistance spot welding,” vol. 3, pp. 96–107, 2024, doi: 10.37373/jttm.v3i2.299.

- [9] J. Teknologi, “STUDI KEKUATAN SUPPORT S TRUCTURE (L EG) P ADA K ONSTRUKSI,” vol. 4, no. 2, pp. 45–51, 2022.
- [10] S. G. De Ravé and E. G. De Ravé, “Enhancing Efficiency and Creativity in Mechanical Drafting : A Comparative Study of General-Purpose CAD Versus Specialized Toolsets,” 2025.
- [11] I. O. P. C. Series and M. Science, “Comparative analysis of CAD software packages for engineering design,” 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1155/1/012083.
- [12] A. Suardi *et al.*, “PowerPlant,” no. 4, 2017.