



Desain dan Analisis Tegangan Rangka *Frame Base Car* Terhadap *Ladle Transfer Car* Menggunakan Software *Solidworks*

Hilmi Humada^{1*}, Budi Yuwono², dan Fitri Wijayanti²

¹Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Abstrak

Ladle transfer car adalah sebuah alat pengantar material yang digunakan dalam pabrik pembuatan baja pengecoran. Desain ladle transfer car dilakukan karena proses distribusi material sebelumnya dilakukan menggunakan hoist crane dan mekanisme penuangannya masih manual yang membuat pengoperasiannya sulit dilakukan dan kurang efisien dalam segi waktu. Proses analisis ini dilakukan untuk melihat desain rangka frame base car layak untuk digunakan dan aman untuk dioperasikan. Analisis beban statis dilakukan menggunakan software solidworks. Material rangka yang digunakan yaitu profil baja h-beam SS400 dengan ukuran 100 mm x 100 mm x 6 mm x 8 mm dan besi siku SS400 dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 5 mm. Beban yang digunakan yaitu 11738,9403 N yang merupakan beban sub assembly frame ladle transfer beserta cairan aluminiumnya. Analisis desain, perhitungan teoritis, simulasi tegangan maksimum rangka dan analisis faktor keamanan dilakukan untuk memvalidasi bahwa proses desain rangka aman untuk digunakan. Hasil dari pengerjaan terhadap frame 1 sampai frame 8 didapatkan nilai tegangan maksimal terbesar masih dibawah nilai tegangan izin material berturut-turut sebesar 102,2452 MPa dan 122,5 MPa.

Kata-kata kunci: Ladle transfer car, Rangka, SS400, Solidworks.

Abstract

A ladle transfer car is a material delivery tool used in foundry steelmaking plants. The design of the ladle transfer car was carried out because the material distribution process was previously carried out using a hoist crane and the pouring mechanism was still manual which made the operation difficult to do and less efficient in terms of time. This analysis process is carried out to see the frame design of the base car frame is suitable for use and safe to operate. Static load analysis is performed using solidworks software. The frame material used is an SS400 h-beam steel profile with a size of 100 mm x 100 mm x 6 mm x 8 mm and an SS400 elbow iron with a size of 40 mm x 40 mm x 5 mm. The load used is 11738.9403 N which is the load of the sub assembly frame ladle transfer along with the aluminum liquid. Design analysis, theoretical analysis, simulation of the maximum voltage of the frame and analysis of safety factors are carried out to validate that the frame design process is safe to use. The results of the work on frames 1 to frame 8 obtained the largest maximum voltage value still below the material clearance voltage values of 102.2452 MPa and 122.5 MPa respectively.

Keywords: Ladle transfer car, Frame, SS400, Solidworks.

* Corresponding author E-mail address: hilmi.humada.tm19@mhs.pnj.ac.id

1. PENDAHULUAN

Saat ini dunia industri otomotif sudah berkembang dengan pesat. Dengan demikian diperlukan proses produksi yang efektif untuk memenuhi permintaan *customer* berupa kebutuhan *part-part* otomotif. Produk *part-part* otomotif terbuat dari bahan baku cairan aluminium, yang disebut aluminium *casting*. Sebelum proses produksi dimulai terdapat proses distribusi transfer material cairan aluminium dimana dilakukan peleburan terhadap *raw material* (aluminium ingot) di dalam tungku *melting* kemudian dituang ke dalam *ladle transfer* dan dipindahkan dengan diangkat oleh *hoist crane* dan cairan aluminium tersebut ditransfer menuju tungku *holding* pada setiap mesin *gravity casting* untuk dituangkan [1]. Proses distribusi tersebut kurang efektif dari segi waktu dan biaya operasional.

Pada PT X dibutuhkan *ladle transfer car* untuk memfasilitasi proses distribusi cairan aluminium dengan mengedepankan *safety* bagi operator dan juga *safety* di area proses pendistribusian serta mampu mengantarkan cairan aluminium seefisien dan secepat mungkin. Baik secara teknis dan fungsional tipe *ladle transfer car* harus *self-propelled* dan harus memiliki sistem penggerak yakni motor listrik yang dilengkapi dengan sistem rem dan harus mudah dilepas dari *gear box* selama proses *maintainance* [2].

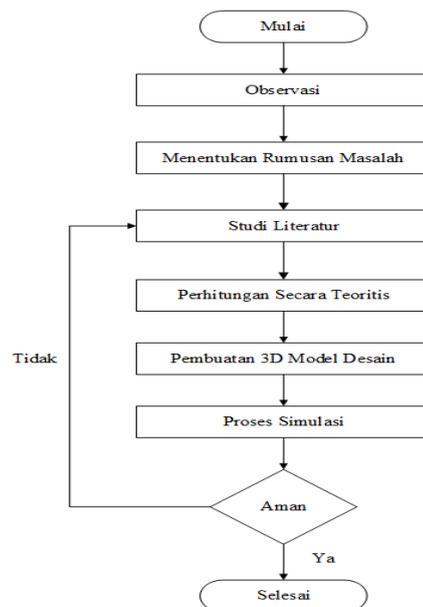
Dalam proses desain *ladle transfer car* juga ditambahkan fitur penuangan menggunakan motor listrik yang dapat memudahkan penuangan cairan aluminium sebelumnya yang masih manual. *Ladle transfer car* ini didesain dengan menyesuaikan kebutuhan dan spesifikasi dari perusahaan serta ketersediaan material di pasaran. Material yang dipilih untuk *frame base car* adalah SS400 untuk membuat desain struktur rangka yang kuat, kokoh, dan mudah didapat karena tersedia di pasaran. sesuai dengan namanya *structural steel*, SS400 ini biasa digunakan pada baja struktur atau baja konstruksi. Material SS400 memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) yang relatif tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengangkat beban yang dengan kapasitas yang cukup besar. Analisis tegangan dengan meletakkan beban pada rangka *frame base car* juga dilakukan agar dapat memastikan bahwa hasil desain aman untuk digunakan.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan hasil desain rangka *frame base car* dengan material SS400.
2. Mendapatkan hasil perhitungan teoritis terhadap rangka *frame base car* bahwa rangka aman ketika diberi pembebanan.
3. Mendapatkan hasil dari simulasi *software solidworks*, bahwa hasil simulasi tegangan maksimum pada rangka masih dibawah tegangan izin material dan dinyatakan aman.

2. METODE Pengerjaan

Pada pengerjaan ini, dilakukan metodologi pengerjaan seperti pada diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

Melakukan obeservasi di lapangan dengan mengamati proses distribusi transfer material cairan aluminium yang berada di *casting plant*. Mengkaji lebih dalam mengenai topik permasalahan yang sudah didapat dari hasil observasi serta melakukan studi literatur, untuk mempelajari dan memahami fungsi dan teknis dari *ladle transfer car*. Selanjutnya melakukan perhitungan teoritis pada setiap batang menggunakan rumus-rumus yang relevan sesuai topik pembahasan. Kemudian simulasi pembebanan menggunakan *software solidworks* untuk memvalidasi analisis yang dilakukan terhadap *frame base car* dinyatakan aman.

Material yang digunakan pada struktur *frame base car* adalah SS400. Spesifikasi material pada SS400 dapat dilihat pada tabel 1.

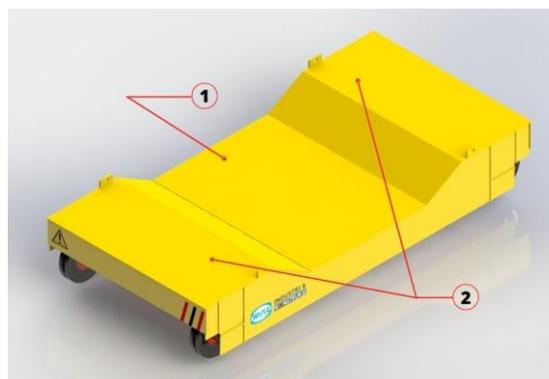
Table 1. *Material Properties* SS400

No.	Properties	Value
1.	Density	7,85 g/cm ³
2.	Tensile strength	510 MPa
3.	Yield strength	245 MPa
4.	Poisson's ratio	0,3
5.	Elastic modulus	215 GPa
6.	Shear modulus	80 GPa

Analisis tegangan pada pengerjaan ini menggunakan perangkat lunak *solidworks Solidworks* adalah aplikasi desain 3D CAD (*computer aided design*) *software* yang dijalankan pada sistem *windows* komputer [3]. Hasil yang didapat dari simulasi *software solidworks* dapat berupa tegangan, deformasi, dan faktor keamanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan ini, penulis membahas analisis tegangan yang terjadi pada rangka *frame base car* saat dikenai pembebanan. Terdapat 2 perletakan beban pada *frame base car* seperti pada Gambar 2. berikut,



Gambar 2. Perletakan beban pada rangka

Keterangan beban:

1. Beban seluruh komponen *sub assembly frame ladle transfer* beserta cairan aluminiumnya. Dilakukan pengukuran berat komponen terlebih dahulu seperti tabel 2. antara lain:

Tabel 2. Berat Komponen Pada *Sub Assembly Frame Ladle Transfer*

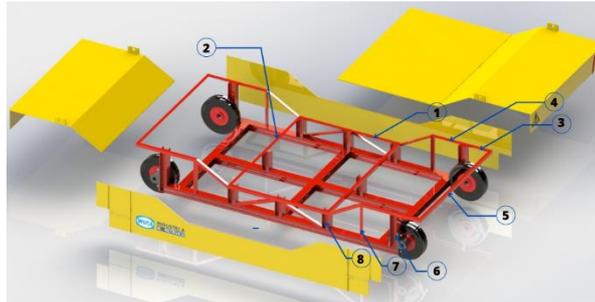
No.	Komponen	Jumlah	Massa (Kg)
1	<i>Ladle transfer</i>	1	500 kg
2	Cairan aluminium		300 kg
3	<i>Frame</i>	1	359,21 kg
4	Motor listrik	1	6,3 kg

5	<i>Gear box</i>	1	15 kg
6	Poros	2	8,68 kg
7	<i>Bearing</i>	2	1 kg
8	<i>Housing Bearing</i>	2	6,44 kg
Massa total		1196,63 kg	

2. Beban 2 orang. Menurut artikel dari BMC *Public Health* rata-rata berat badan orang dewasa secara global adalah 62 kg [4]

Rangka *Frame Base Car*

Pada *Frame base car* ini terdapat beberapa bagian yang dijabarkan sebagai berikut.



Gambar 3. Komponen Pada *Frame Base Car*

Keterangan bagian:

1. *Frame* tengah atas kanan sisi kanan (besi siku).
2. *Frame* tengah atas depan sisi depan (besi siku).
3. *Frame* atas penghujung kanan sisi kanan (besi siku).
4. *Frame* atas penahan *cover* plat belakang atas sisi kanan (besi siku).
5. *Frame* atas penghujung belakang (besi siku).
6. *Frame* vertikal penghujung belakang sisi kiri (*h-beam*).
7. *Frame* vertikal penahan belakang *cover* plat atas sisi kiri (besi siku).
8. *Frame* vertikal tumpuan kanan sisi kiri (*h-beam*).

Beban yang diterima pada rangka *frame base car* adalah beban dari keseluruhan komponen *sub assembly frame ladle transfer* dan cairan aluminium serta beban dari berat 2 manusia. Pemberian beban yang terjadi adalah beban merata seperti pada gambar 1., maka gaya yang terjadi pada satu batang adalah

$$F = \frac{m \times g}{8} \quad (1)$$

Persamaan (1) adalah persamaan yang menyatakan gaya benda dari rumus massa objek dikali dengan gaya gravitasi [5], lalu dibagi dengan jumlah batang yang menerima beban

$$F = \frac{m \times g}{8}$$

$$F = \frac{1196,63 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{8}$$

$$F = 1467,3675 \text{ N}$$

Sementara beban 2 orang memiliki F sebesar:

$$F = m \times g$$

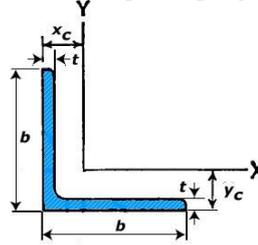
$$F = 124 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F = 1216,0246 \text{ N}$$

Setelah mengetahui beban yang ditopang oleh rangka *frame base car*, selanjutnya adalah melakukan perhitungan rangka.

Perhitungan Rangka Tegangan Maksimum dan Tegangan Tekan

Rangka yang dipakai adalah profil besi siku dengan dimensi 50 x 50 x 5 [mm], lalu menghitung momen inersia besi siku menggunakan persamaan 2. Untuk luas penampang dari besi siku adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Penampang Besi Siku

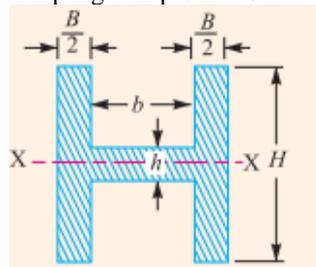
$$I = \frac{1}{3} \times [b^4 - (b - t) \times (b - t)^3] - A(b - xc)^2 \quad (2)$$

$$A = 375 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{1}{3} \times [40^4 - (40 - 5) \times (40 - 5)^3] - 375 (40 - 11,8333)^2$$

$$I = 55613,8792 \text{ mm}^4$$

Selanjutnya menghitung momen inersia pada profil baja *h-beam* ukuran 100 mm x 100 mm x 6 mm x 8 mm dengan persamaan (3). Untuk luas penampang dari profil *h-beam* adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Penampang H-Beam

$$I = \frac{2BH^3 + bh^3}{12} \quad (2)$$

$$A = 2104 \text{ mm}^2$$

$$I = \frac{2.16.100^3 + 84.6^3}{12}$$

$$I = 1334845,333 \text{ mm}^4$$

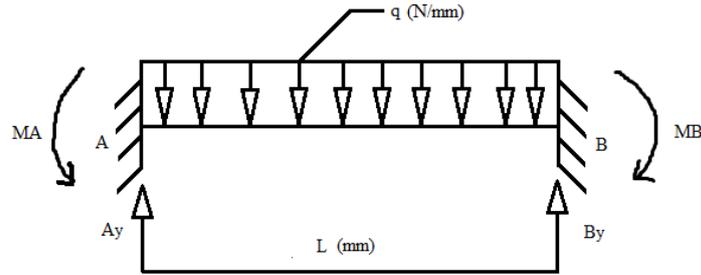
Berikutnya mencari tegangan maksimum, namun terlebih dahulu menghitung tegangan izin yang sesuai dengan jenis material yang dipakai, untuk *frame base car* menggunakan material SS400.

$$\text{Tegangan Izin } (\sigma_{izin}) = \frac{\text{Tegangan luluh}}{\text{Faktor Keamanan}} \quad (3)$$

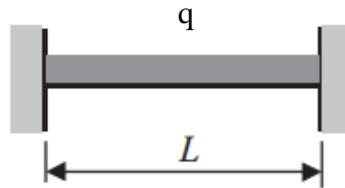
$$\text{Tegangan Izin } (\sigma_{izin}) = \frac{245 \text{ Mpa}}{2}$$

$$\text{Tegangan Izin } (\sigma_{izin}) = 122,5 \text{ Mpa}$$

Pada batang di bawah ini peninjauan per batang rangka *frame base car* dilakukan dari titik B, sehingga diperoleh diagram benda bebas seperti di bawah ini.

Gambar 6. Diagram Benda Bebas *Beam*

Lalu pada rangka *frame base car*, momen maksimum *bending* yang dipakai yaitu jenis beban merata dengan tumpuan jepit-jepit didapatkan dengan rumus seperti di bawah ini [6].

Gambar 7. Momen Maksimum *Bending* Tumpuan Jepit- Jepit

$$M_{\text{maks}} = \frac{q \times L^2}{12} \quad (4)$$

Tabel 3. Perhitungan rangka *frame base car* per batang

No.	Part Frame Base Car	L (mm)	F (N)	q (N/mm)	M maks (Nmm)	σ_{maks}
1.	Frame tengah atas kanan sisi kanan (besi siku)	554,02	1467,3675	2,6485	67745,9118	34,5223
2.	Frame tengah atas depan sisi depan (besi siku)	894	1467,3675	1,6413	109318,8787	55,7072
3.	Frame atas penghujung kanan sisi kanan (besi siku)	330	1216,0246	3,6849	200644,059	102,2452
4.	Frame atas penahan cover plat belakang atas sisi kanan (besi siku)	410,97	1216,0246	2,9589	41645,8024	21,2220
5.	Frame atas penghujung belakang (besi siku)	1896	1216,0246	0,6413	192131,8868	97,9075
6.	Frame vertikal penghujung belakang sisi kiri (<i>h-beam</i>)	600	1216,0246	-	-	0,5779
7.	Frame vertikal penahan belakang cover plat atas sisi kiri (besi siku)	500	1216,0246	-	-	3,2427
8.	Frame vertikal tumpuan kanan sisi kiri (<i>h-beam</i>)	250	11738,9403	-	-	5,5793

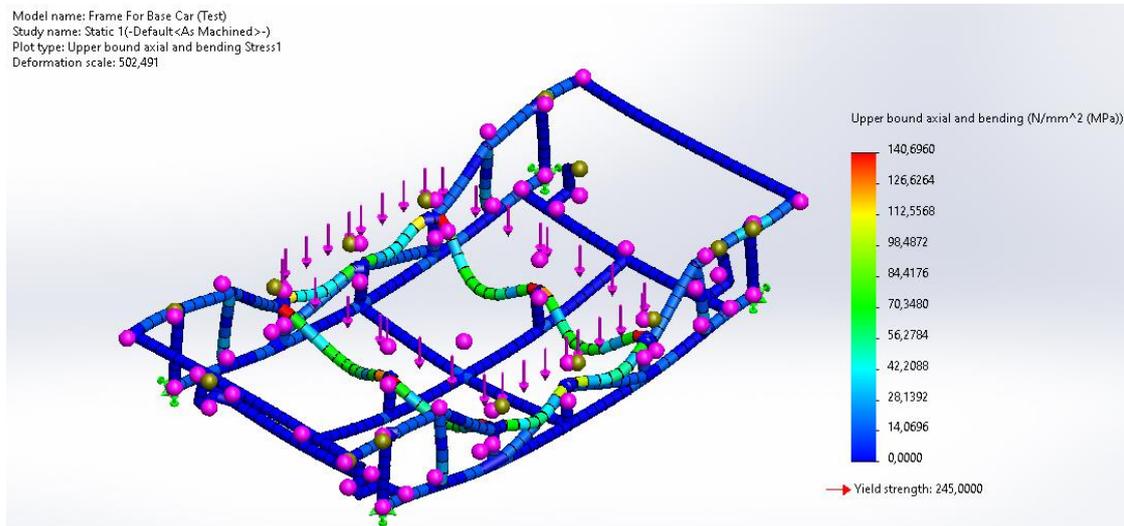
Berdasarkan data hasil perhitungan pada tabel 3. Bahwa tegangan lentur dan tegangan tekan maksimal pada setiap batang rangka profil besi siku dan *h-beam* tidak melebihi tegangan izin dari material SS400 yaitu 122,5 MPa. Maka hasil perhitungan pembebanan rangka *frame base car* dapat dinyatakan aman.

Simulasi Rangka Menggunakan Solidworks

Setelah melakukan perhitungan terhadap rangka, tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi menggunakan *solidworks*. Gaya yang bekerja sebesar 11738,9403 N dan gaya yang bekerja adalah gaya total yang diberi pada setiap batang seperti gambar 7., seperti dijelaskan sebagai berikut.

1. Tegangan (*Stress max: upper bound axial and bending*)

Pertama dilakukan proses simulasi dengan memberikan beban sebesar 11738,9403 N pada rangka. Fokus pemberian beban diterapkan pada area tengah seperti yang telah ditunjukkan Gambar 2.

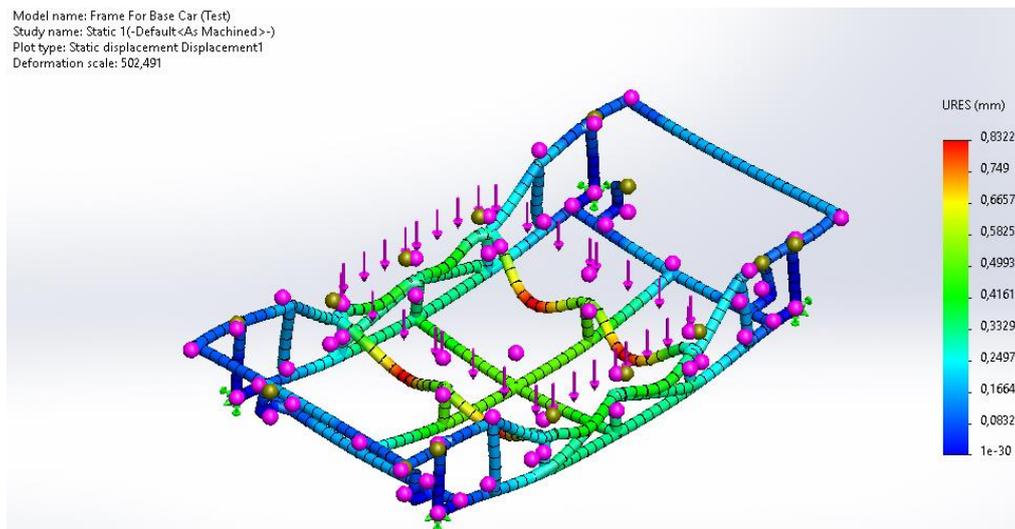


Gambar 8. Hasil Simulasi Tegangan

Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil tegangan maksimal sebesar 140,6960 MPa. Rangka dinyatakan aman karena nilai tegangan maskimal masih dibawah nilai tegangan luluh (*yield strength*) material SS400 yakni 245 MPa.

2. Deformasi (*Displacement*)

Tahap kedua adalah deformasi. Deformasi adalah perubahan bentuk pada suatu benda ketika diberikan gaya. Terlihat perubahan bentuk pada rangka saat dikenai pembebanan.

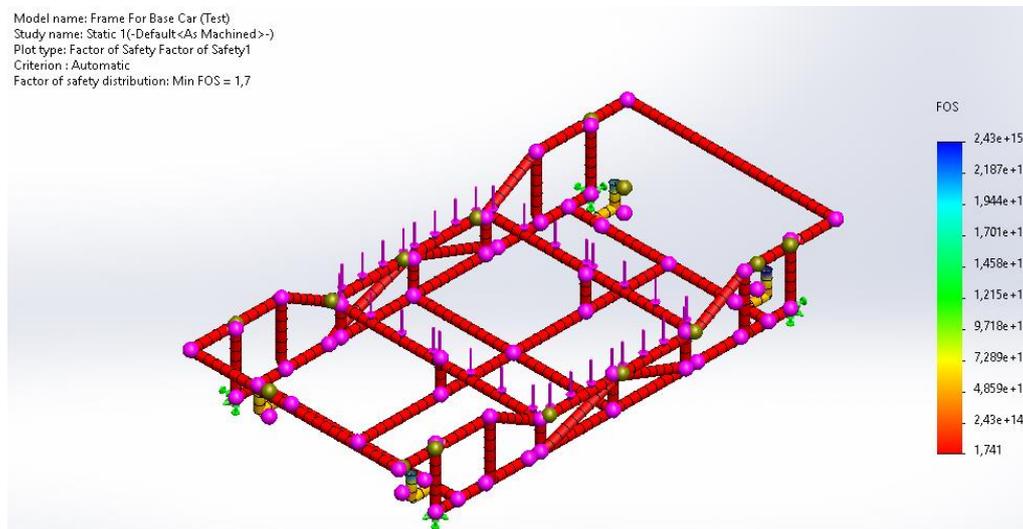


Gambar 9. Hasil Simulasi Deformasi

Hasil simulasi berikutnya yaitu deformasi (*displacement*). Didapatkan hasil deformasi pada rangka ketika diberi pembebanan total sebesar 11738,9403 N adalah 0,8332 mm. Angka tersebut relatif kecil sehingga hasil deformasi dinyatakan aman

3. Faktor Keamanan

Tahap ketiga adalah faktor keamanan. Dalam suatu benda apabila hasil faktor keamanan sudah melebihi satu, maka benda tersebut dinyatakan aman.



Gambar 10. Hasil Simulasi Faktor Keamanan

Hasil simulasi faktor keamanan pada rangka didapatkan sebesar 1,7. Angka tersebut sudah berada di nilai aman faktor keamanan karena sudah melewati nilai faktor keamanan beban statis sebesar 1,2 [7]. Maka dapat dinyatakan rangka *frame base car* bersifat aman.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis desain rangka *frame base car* terhadap tegangan maksimum rangka, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan SS400 pada rangka sangat cocok, karena memiliki nilai tegangan izin dan tegangan luluh material yang tinggi
2. Dari proses perhitungan teoritis, rangka *frame base car* masih dalam keadaan aman ketika diberi pembebanan berupa gaya yang bekerja pada rangka tersebut. Terlihat hasil tegangan yang terbesar akibat pembebanan masih dibawah tegangan izin material yang digunakan pada rangka.
3. Proses simulasi menunjukkan hasil dari tegangan maksimal masih dibawah tegangan luluh material (*yield strength*) SS400 berturut-turut sebesar, 140,6960 MPa dan 245 MPa. Hasil deformasi pun relatif kecil karena hanya didapatkan nilai maksimal sebesar 0,8322 serta faktor keamanan bernilai 1,7.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing industri serta karyawan-karyawan industri atas ilmu yang diberikan selama periode praktik kerja lapangan. Berkat arahan dan bimbingan selama periode magang, penulis bisa mengerjakan dan menyelesaikan pengerjaan dalam kegiatan ilmiah ini.

REFERENSI

- [1] N. P. Gudadhe, A. Lodhi, O. Bajaj, N. Chandnani, and S. Khajanchi, "Design and Analysis of an Automated Ladle Transport Vehicle," *IJSRD-International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 4, no. 04, 2016, [Online]. Available: www.ijrd.com
- [2] P. Bawiskar, S. Kamble, and K. Bhole, "Design of tilting ladle transfer car for steel Industries," *World Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 4, 2012, Accessed: Aug. 01, 2022. [Online]. Available: ISSN: 2231 - 2587
- [3] T. Almatarr, *Learn SolidWorks 2020 : a hands-on guide to becoming an accomplished SolidWorks associate and professional*. birmingham: Packt Publishing Ltd., 2019. [Online]. Available: www.packt.com
- [4] S. C. Walpole, D. Prieto-Merino, P. Edwards, J. Cleland, G. Stevens, and I. Roberts, "The weight of nations: An estimation of adult human biomass," *BMC Public Health*, vol. 12, no. 1, 2012, doi: 10.1186/1471-2458-12-439.
- [5] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook Of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., 2005.
- [6] E. Oberg and C. J. McCauley, *Machinery's handbook : a reference book for the mechanical engineer, designer, manufacturing engineer, draftsman, toolmaker, and machinist*. Industrial Press, 2012.
- [7] R. Kresna, N. Suprpto, and L. A. Nendra Wibawa, "Desain dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang Menggunakan Metode Elemen Hingga," *JURNAL TEKNIK MESIN - ITI*, vol. 5, no. 1, 2021.