

Analisis Kekuatan Drawbridge Compact Indexer Pabrik Kelapa Sawit dengan SolidWorks Simulation

Sandi Kurniawan^{a,*}

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Informasi Naskah/ Article

History

Received : 16 Agustus 2022
Revised : 22 September 2022
Accepted : 20 Mei 2025
Published : 22 Mei 2025

Kata Kunci/Keywords

Compact indexer;
Drawbridge;
Stress;
Safety factor;
Static simulation

Abstract

One of the ways to increase the efficiency of palm oil mills is in the sterilization process with the development of a compact indexer system in the cage transfer process. In the compact indexer system, a drawbridge is added to the transfer carriage structure as a connecting bridge with the sterilizer and tipper. In the improvement of transfer carriage, the drawbridge design must be able to support the load from the cage when it rests on the drawbridge. Based on the case that occurred at PT. XYZ in West Kalimantan, there was damage to the drawbridge structure which may be caused by operator error in operating the system or calculation error in design. So related to the design process design in this study, the analysis was carried out to determine the maximum stress on the drawbridge when resisting static loading by the cage and the value of safety factor the drawbridge design. The analysis was carried out using the static simulation feature in SolidWorks to determine the resistance and strength of the structure to the given static loading, because in the previous design process only used AutoCad 2D and no loading simulation was performed. The results of the analysis is that the maximum von Mises Stress value on the drawbridge structure due to static loading is $1,02 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ which causes the structure to deform by 0.222 mm. The deformation that occurs is an elastic deformation because the von Mises Stress is below the yield strength of ASTM A36 material of $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Based on 7 static loading simulation positions, it was found that the drawbridge did not meet the safety factor. The drawbridge design does not meet the safety factor in the first simulation with a safety factor value of 0.8 and the sixth simulation with a safety factor value of 0.85 and the seventh simulation with a safety factor value of 0.92. The part that needs improvement to increase the safety factor of the drawbridge is the end of the drawbridge which rests on the sterilizer rail.

1. Pendahuluan

Indonesia adalah negara dengan total luas perkebunan kelapa sawit terbesar, dan salah satu produsen *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di dunia. Meski merupakan negara dengan produksi CPO terbesar namun efisiensi pabrik kelapa sawit di Indonesia sangat rendah khususnya di daerah Sumatera yang hanya mencapai 2% sampai dengan 4% [1]. Efisiensi tertinggi pabrik kelapa sawit di Indonesia berkisar sekitar 14% sampai dengan 17%, dan mayoritas pabrik tersebut berlokasi di Kalimantan, hal ini terjadi karena pabrik yang berlokasi di Kalimantan relatif baru dan menggunakan mesin dan teknologi produksi yang lebih maju [2]. Salah satu pembaharuan teknologi pada pabrik kelapa sawit saat ini diterapkannya sistem *indexer* pada proses perebusan atau *sterilization*. Sistem *indexer* yang memiliki efisiensi lebih baik dibandingkan sistem lama seperti *capstand*. Sistem *indexer* memiliki keunggulan dalam hal biaya operasional yang lebih murah dan faktor keamanan dan keselamatan kerja yang lebih baik [3].

*Penulis Korespondensi

E-mail: sandikrnwn@gmail.com (Sandi Kurniawan)

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



Berdasarkan keunggulan sistem *indexer pada penelitian* sebelumnya, selanjutnya dikembangkan sistem *compact indexer* yang lebih sederhana dan ringkas agar kebutuhan lahan untuk pembangunan pabrik kelapa sawit dapat diminimalisir. Salah satu perbedaan sistem *compact indexer* dengan *indexer* konvensional adalah pada sistem *compact indexer*, *cage* langsung masuk ke *tipper* dan *sterilizer* tanpa harus menunggu di *buffer area*. Sehingga dalam sistem *compact indexer*, *transfer carriage* memiliki peranan selain sebagai pembawa *cage*, namun juga menjadi jembatan penghubung dengan *sterilizer* dan *tipper* dalam proses pemindahan *cage* dengan adanya penambahan *drawbridge*.

Berdasarkan pengaplikasian sistem *compact indexer* di PT. XYZ di Kalimantan Barat, terjadi kasus kerusakan pada struktur *drawbridge* dalam waktu kurang lebih setahun setelah *commissioning* pabrik berjalan. Kemungkinan penyebab kerusakan pada kasus ini adalah kesalahan operator dalam pengoperasian atau juga kesalahan perhitungan dalam perancangan desain. Terkait dengan proses perancangan, pada pembuatan awal desain *drawbridge* hanya dilakukan desain menggunakan *AutoCad 2D* dan belum dilakukan simulasi pembebanan untuk mengetahui kekuatan *drawbridge*. Maka untuk dapat menjawab kemungkinan kesalahan dalam perancangan *drawbridge*, dalam penelitian ini dilakukan analisis kembali mengenai kekuatan struktur *drawbridge* saat menerima pembebanan statis. Analisis kekuatan dilakukan dengan tujuan mengetahui nilai tegangan (*stress*) pada struktur apakah melebihi batas *yield strength* yang diperbolehkan sesuai spesifikasi material yang digunakan, besarnya nilai *stress* yang terjadi pada struktur selama masih berada di bawah nilai *yield strength* material maka deformasi dapat kembali ke bentuk semula dan aman digunakan [4].

Untuk mengetahui kekuatan *drawbridge* dilakukan analisis tegangan dan faktor keamanan menggunakan simulasi *static SolidWorks*. *Solidworks* merupakan program desain berbasis *parametrik* dan memiliki fitur menu untuk melakukan analisis [5]. Simulasi ini dilakukan dalam upaya mencegah terjadinya kegagalan pada desain yang dibuat dan mengetahui letak titik kritis pada struktur *drawbridge*. Dalam proses simulasi *static*, *SolidWorks* akan menampilkan hasil berupa data terkait tegangan (*stress*) maksimum pada struktur, regangan (*strain*), dan *displacement* [6]. Data dari tegangan maksimum yang terjadi pada struktur dapat menjadi acuan utama dalam menentukan *safety factor*, yaitu dengan membagi *yield strength* yang diizinkan dengan tegangan maksimum yang terjadi [7].

2.1 Static Simulation Solidworks

Solidworks simulation merupakan *toolbar* pada *software solidWorks* yang digunakan untuk proses analisis mengenai sifat suatu material, simulasi aliran, dan perpindahan panas, serta lain sebagainya [8]. *SolidWorks Simulation* menggunakan metode *finite element analysis* (FEA) untuk mengetahui respon *part* dan *assembly* akibat pembebanan linear [9]. Salah satu jenis simulasi yang terdapat pada *SolidWorks* adalah simulasi *static*. Simulasi *static* memungkinkan desainer untuk memvalidasi kekuatan pada desain yang dibuat dengan lebih mudah.

Simulasi *static SolidWorks* dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam beban, diantaranya adalah gaya, tekanan, gravitasi, sentrifugal, suhu, dan beban impor dari studi simulasi lainnya. Simulasi ini dilakukan dalam upaya mencegah terjadinya kegagalan pada desain yang dibuat dan mengetahui letak titik kritis pada struktur *drawbridge*. Dalam proses simulasi *static*, *SolidWorks* akan menampilkan hasil berupa data terkait tegangan (*stress*) maksimum pada struktur, regangan (*strain*), dan *displacement* [6]. Data dari tegangan maksimum yang terjadi pada struktur dapat menjadi acuan utama dalam menentukan *safety factor*, yaitu dengan membagi *yield strength* yang diizinkan dengan tegangan maksimum yang terjadi [7].

Simulasi ini dapat dijadikan sebagai parameter untuk memastikan suatu desain apakah mengalami kegagalan pada operasional dibawah standar pembebanan, memastikan dan merancang perbaikan desain untuk meningkatkan faktor keamanan, dan memastikan desain tidak melebihi spesifikasi yang dibutuhkan karena menimbulkan kerugian dari sisi biaya produksi.

2.2 Perhitungan Beban

Pembebanan utama pada *drawbridge* berasal dari berat *cage* dan berat buah kelapa sawit dalam proses *loading* dan *unloading cage* dari dan menuju ke *tipper* dan *sterilizer*. Untuk menghitung berat suatu benda dapat dilakukan dengan menggunakan Rumus 1 atau 2 berikut [10].

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

atau

$$W = (v \times \rho) \times g \quad (2)$$

Dimana:

W = Gaya Berat Suatu Benda (N)

m = Massa Benda (kg)

g = Percepatan Gravitasi (9,8 m/s²)

v = Volume Benda (m³)

ρ = Density Material (kg/m³)

2.3 Perhitungan Safety Factor

Faktor keamanan sangat ditentukan pada besarnya tegangan yang diizinkan untuk menilai suatu material masih berada dalam daerah elastis linier untuk mencegah terjadinya deformasi permanen. Penentuan tegangan izin dapat diperhitungkan berdasarkan tegangan luluh maupun tegangan ultimate. Penentuan faktor keamanan berdasarkan tegangan luluh adalah sebagai berikut ini:

$$\sigma_{Izin} = \frac{\sigma_Y}{n} \quad (3)$$

Dimana:

σ_{Izin} = Tegangan pada struktur (N/mm²)

σ_Y = Tegangan luluh (N/mm²)

n = Faktor keamanan.

2. Metode dan Bahan

Penelitian kekuatan *drawbridge* dilakukan dengan melakukan simulasi *static* pada *software SolidWorks 2018*. Simulasi dengan menggunakan *software SolidWorks* merupakan metode analisis secara *numeric*, dalam perkembangannya disebut sebagai Metode Elemen Hingga (*Finite Elements Method*). Tujuan utama dari analisis dengan metode ini adalah untuk memperoleh pendekatan tegangan dan *deformasi* yang terjadi pada struktur [9].

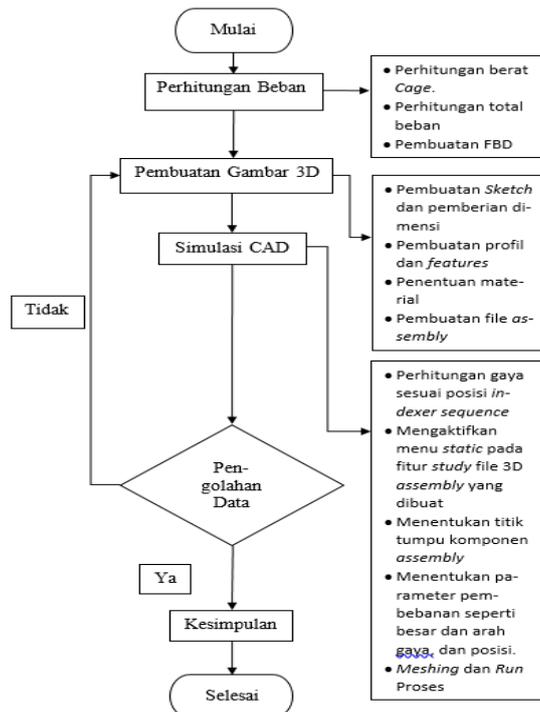
Parameter yang digunakan dalam proses analisis antara lain:

- Berat total beban yang diterima *drawbridge*, berat beban yang diterima oleh *drawbridge* berasal dari berat tandan buah segar yang dijatuhkan dari *weighing hopper* kedalam *cage* ditambah berat dari struktur *cage*.
- Posisi beban pada *drawbridge*, posisi beban pada *drawbridge* dipengaruhi pergerakan *cage* akibat dorongan *indexer*. Berdasarkan simulasi pergerakan *cage* diketahui terjadi 7 posisi pembebanan statis.

2.1 Metode Analisis Static

Urutan proses analisis *static* pada *SolidWorks* adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Tahap pertama dimulai dengan perhitungan pembebanan pada *drawbridge*, besarnya pembebanan pada *drawbridge* adalah berat total *cage* dan buah kelapa sawit yang terisi di dalamnya. Sedangkan posisi beban dan jenis pembebanan pada struktur *drawbridge* ditentukan berdasarkan siklus pergerakan *cage* ketika melintasi *drawbridge* dan selanjutnya dibuat dalam bentuk *free body diagram*.

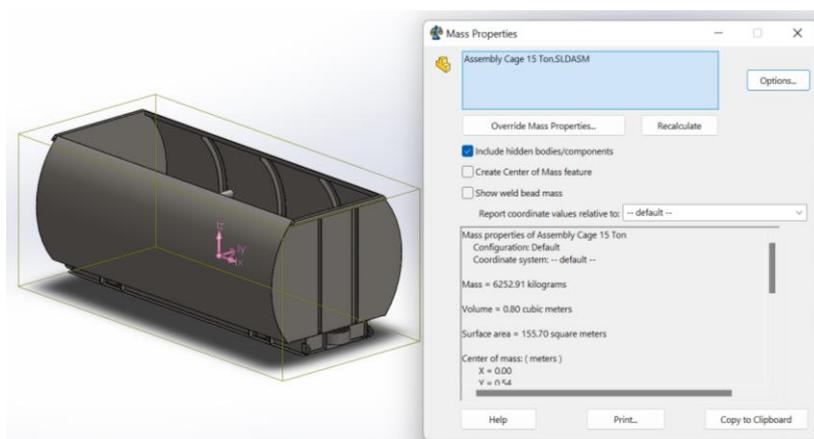
Langkah kedua adalah pembuatan gambar 3D *drawbridge*, pada tahap ini dibuat bentuk, ukuran, dan *assembly drawbridge* sesuai desain yang akan dianalisa, selanjutnya di tentukan jenis material yang digunakan dalam proses fabrikasi *drawbridge*. Sebagai parameter dalam analisis desain struktur, digunakan material ASTM A36 untuk struktur *drawbridge*, dengan spesifikasi *yield strength* sebesar 250 N/mm² [11]. Langkah ketiga adalah simulasi, pada tahap ini dilakukan penentuan parameter simulasi seperti besar gaya, arah dan posisi gaya, serta tumpuan struktur. Dalam tahap analisis simulasi ini kita mempelajari tentang respon struktur *drawbridge* terhadap gaya normal yang diaplikasikan pada *drawbridge* [12]. Hal ini dianalisa lebih lanjut untuk terkait *stress* dan *safety factor*, selanjutnya adalah proses penyimpulan dari hasil simulasi yang diperoleh.



Gambar 1. Metode analisis *static*

2.2 Perhitungan beban

Berat beban yang diterima oleh *drawbridge* berasal dari berat tandan buah segar yang dijatuhkan dari *weighing hopper* kedalam *cake* ditambah berat dari struktur *cake*. Total berat tandan buah segar yang dijatuhkan telah diatur menggunakan sensor dari *loadcell* sehingga konsisten seberat 15 ton. Untuk berat struktur dari *cake* dilakukan perhitungan sesuai dengan desain dan material yang digunakan. Perhitungan dilakukan menggunakan *software SolidWorks*. Membuat 3D dari desain *cake* yang digunakan, dimulai dengan membuat bagian-bagian *cake* satu persatu kemudian disatukan menjadi sebuah bentuk *assembly*. Untuk menghitung berat dapat menggunakan menu *evaluate*, dan kemudian pilih *mass properties*, maka *SolidWorks* akan menampilkan parameter untuk pengukuran berat desain yang dibuat diantaranya adalah volume, luas area, dan berat total. Dari desain yang dibuat diperoleh hasil sebagai berikut ini.



Gambar 2. Perhitungan berat *cake* pada *solidworks*

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan *software* diperoleh berat total dari *cake* sebesar 6.252,91 kg atau dilakukan pembulatan menjadi 6.253 kg. Dengan demikian berat keseluruhan dari *cake* dan isinya adalah sebagai berikut.

$$W_{tot} = W_1 + W_2 \quad (4)$$

$$W_{tot} = 15.000 + 6.253 = 21.253 \text{ kg}$$

Dimana:

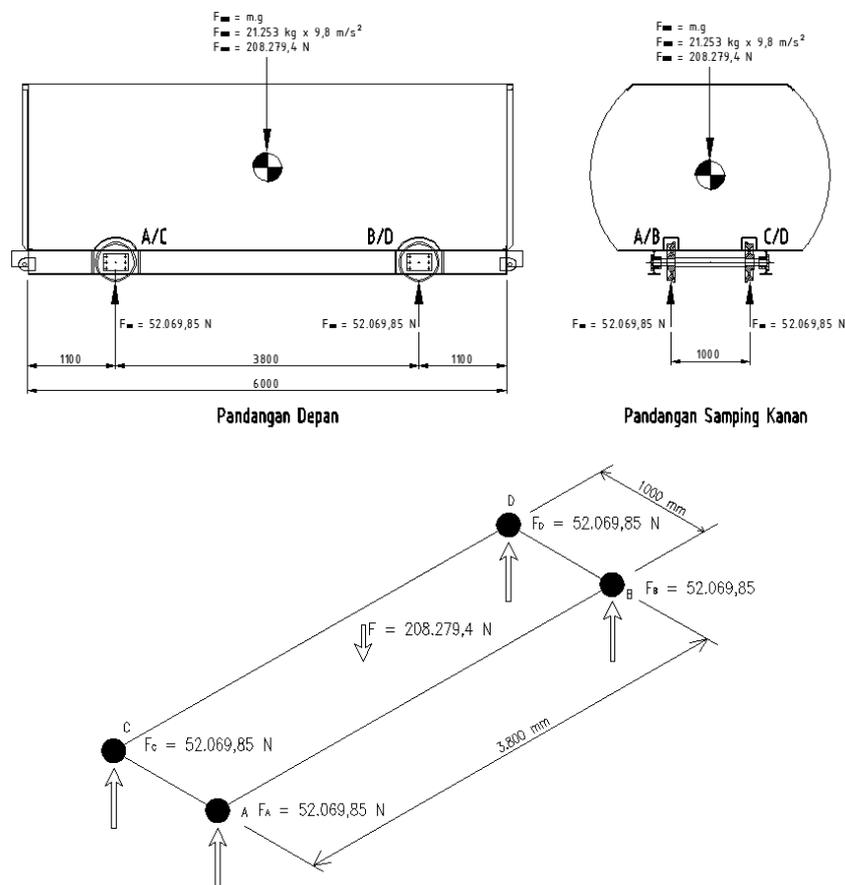
W_{tot} = Total berat keseluruhan (kg)

W_1 = Berat cage (kg)

W_2 = Berat isi cage (kg)

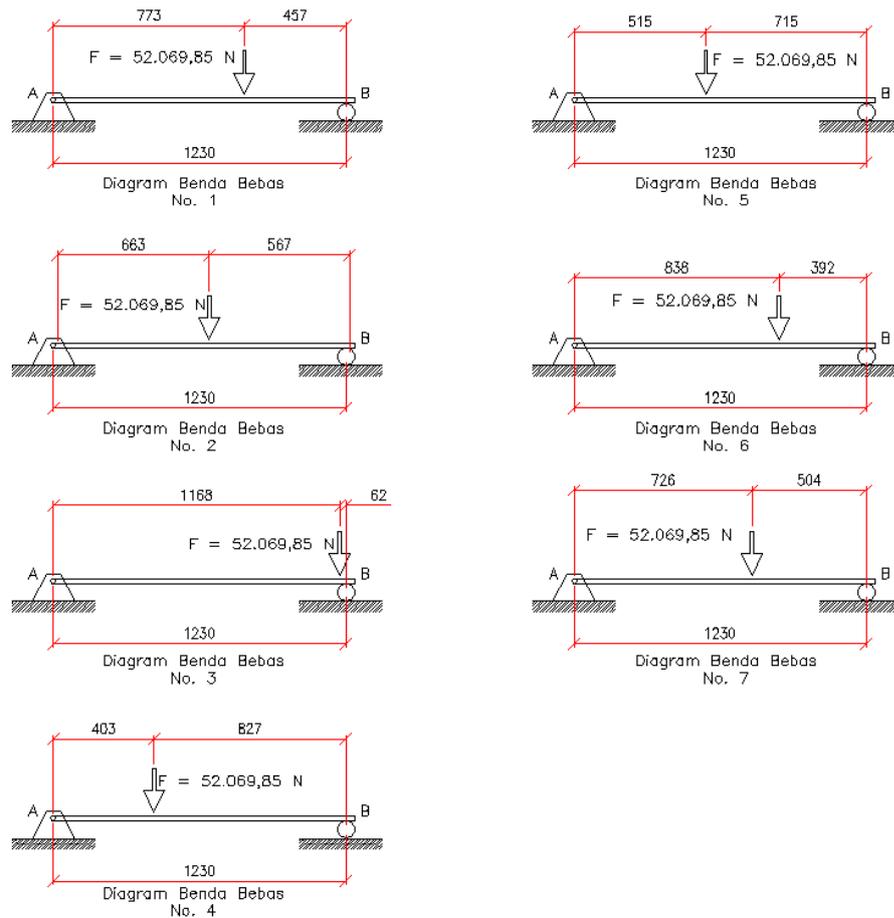
2.3 Penentuan Diagram Benda Bebas

Setelah perhitungan total berat dari *cage* dan isinya, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan besarnya gaya yang bekerja pada setiap roda *cage* ketika melintas di atas *drawbridge*. Hal ini dilakukan karena tidak semua roda *cage* berhenti di atas struktur *drawbridge* ketika proses *loading* dan *unloading cage* pada area *tipper* dan *sterilizer*. Berdasarkan gambar *cage* yang digunakan maka diagram benda bebas untuk *cage* dapat digambarkan sebagai berikut ini.



Gambar 3. Diagram Benda Bebas *Cage*

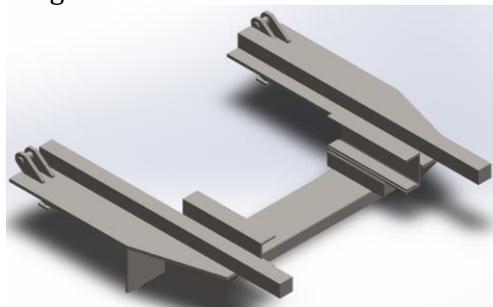
Berdasarkan gambar 3 diatas dapat disimpulkan bahwa besarnya gaya yang bekerja pada setiap roda *cage* adalah sebesar 52.069,85 N. Sedangkan untuk titik pembebanan *drawbridge* oleh roda *cage* saat berhenti di atas *drawbridge* disimulasikan 7 titik pembebanan sesuai pemberhentian roda *cage*. Adapun diagram benda bebas untuk posisi pembebanan pada *drawbridge* seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Diagram Benda Bebas *Drawbridge*

2.4 Pembuatan gambar 3D drawbridge

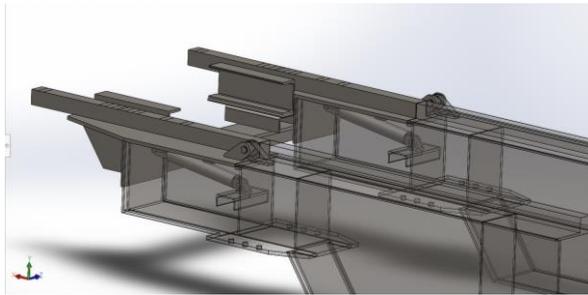
Kekuatan struktur material dapat dikalkulasi dengan menggunakan percobaan *numeric*. Salah satu caranya dengan menggunakan *software SoliWorks*, metode ini memberikan akurasi yang baik terhadap hasil pengujian [13]. Adapun proses ini diawali dengan pembuatan gambar 3D *drawbridge*, pemilihan material pada gambar, selanjutnya dilakukan *assembly* pada setiap komponennya. Selanjutnya ditentukan *fixture advisor* untuk menentukan jenis tumpuan pada struktur [14]. Proses pembuatan 3D diawali dengan membuat *sketch* pada *SolidWorks* berdasarkan bentuk dan ukuran desain *drawbridge* pada gambar *AutoCad* untuk PT. XYZ. Tahap pembuatan *sketch* diawali dengan sebuah garis dan bentuk yang ditentukan ukuran dari bentuk tersebut. Adapun bentuk *drawbridge* yang dianalisis ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 5. Model 3 dimensi *drawbridge*

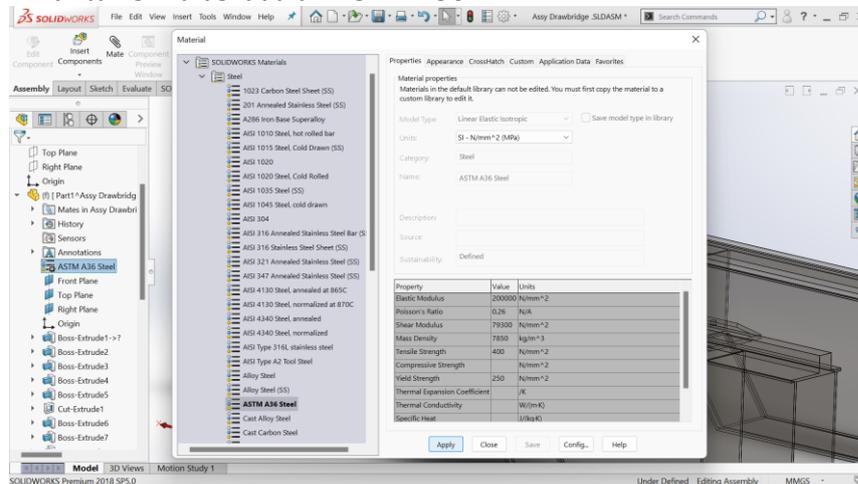
Selanjutnya pembuatan gambar 3D untuk simulasi instalasi *drawbridge* pada *transfer carriage*. Gambar instalasi inilah yang nantinya akan digunakan sebagai bahan untuk simulasi. Proses ini dilakukan dengan membuat bentuk 3D dari bagian *transfer carriage* yang terhubung dengan

drawbridge, selanjutnya kedua komponen disatukan menggunakan fitur *match* pada tahap *assembly* seperti ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 6. Assembly drawbridge pada transfer carriage

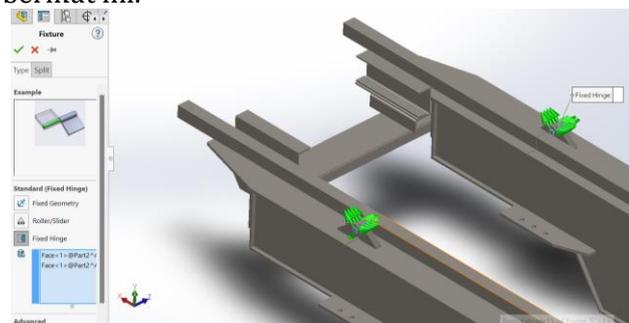
Setelah proses *assembly* selesai, ditentukan jenis material untuk setiap komponen-komponen dalam *assembly* tersebut. Tahapan ini dilakukan dengan menentukan jenis material dari setiap komponen melalui fitur menu *edit material* pada setiap *Three Items* masing-masing komponen. Jenis material yang dipilih untuk simulasi adalah ASTM A36.



Gambar 7. Fitur edit material

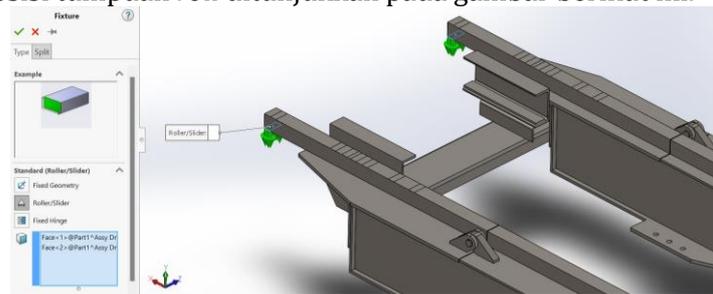
2.5 Proses Simulasi *Static*

Proses simulasi dimulai dengan mengaktifkan *toolbar Solidwork simulation*, dan selanjutnya dilakukan pembuatan *new study* terkait simulasi *static*. Setelah proses awal tersebut kemudian dilanjutkan pada tahapan pemilihan parameter yang akan digunakan. Yang pertama adalah penentuan *fixtures advisor* yang digunakan untuk menentukan titik tumpuan pada struktur *drawbridge*, dan selanjutnya penentuan *external loads advisor* untuk menentukan jenis gaya, arah dan besar gaya yang bekerja. Penentuan *fixture advisor* dimulai dengan menentukan jenis tumpuan yang digunakan, pada simulasi ini digunakan tumpuan pin pada engsel *drawbridge*, dan tumpuan *roll* pada ujung *drawbridge*. Posisi tumpuan pin berada di *shaft* engsel *drawbridge*, posisi tumpuan pin ditunjukkan pada gambar berikut ini.



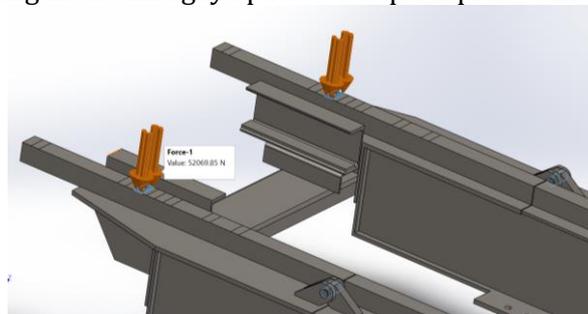
Gambar 8. Posisi tumpuan pin

Sedangkan untuk posisi tumpuan *roll* berada pada ujung *drawbridge* dan menumpu pada rel *sterilizer* sepanjang 35 mm. Posisi tumpuan *roll* ditunjukkan pada gambar berikut ini.



Gambar 9. Tumpuan Roll *Drawbridge*

External Loads Advisor digunakan untuk menentukan jenis gaya, besar, dan arahnya. Pada simulasi ini dibuat gaya yang bekerja pada struktur *drawbridge* sebesar 52.069,85 N pada setiap area *drawbridge*. Untuk setiap area yang menerima gaya sebelumnya ditentukan terlebih dahulu jarak lokasi pembebanan terhadap *shaft* sesuai gambar 4, berikut ditunjukkan gambar contoh posisi permukaan *drawbridge* yang menerima gaya pada statis pada proses analisis pembebanan.

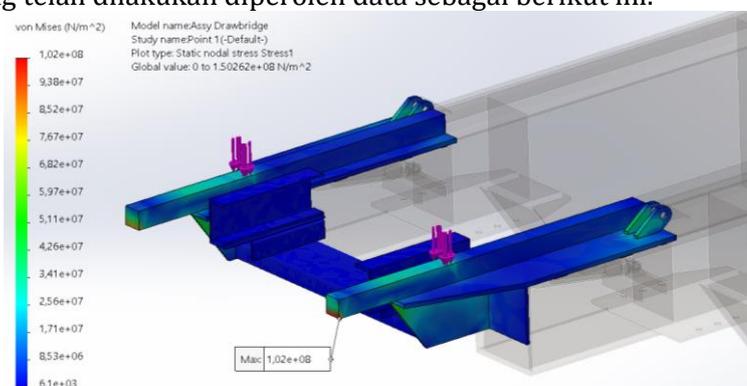


Gambar 10. Posisi dan arah gaya statis

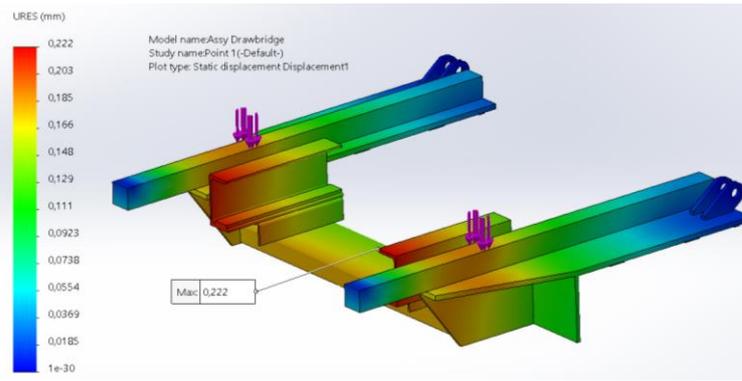
Berdasarkan gambar 10 diatas ditunjukkan gaya 1 yang bekerja pada setiap permukaan *drawbridge* ditunjukkan pada anak panah sebesar 52069,85 N. Gaya menumpu pada dua bagian *drawbridge* yang ditunjuk dengan simbol panah, dan arah gaya sesuai dengan arah tanda panah tersebut.

2.6 Pengujian simulasi *static*

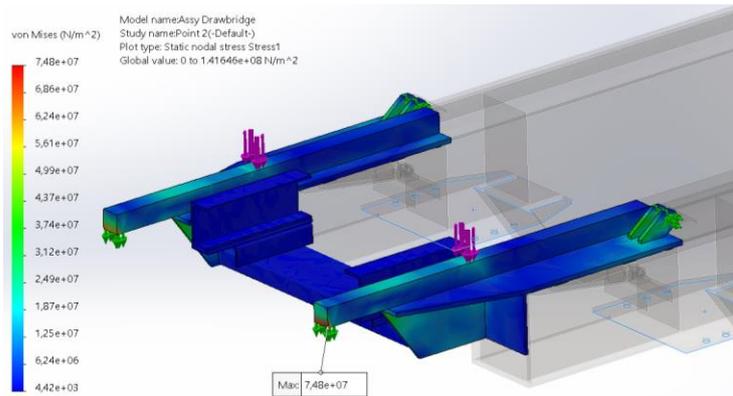
Pada tahap ini dilakukan pengujian *static* untuk setiap posisi pembebanan. Pengujian *static* bertujuan untuk mengetahui besarnya *von Mises Stress* pada material, dan *displacement* pada struktur *drawbridge*, serta faktor keamanan [15]. Pengujian *static* dilakukan dalam 7 variasi jarak beban statis sesuai dengan data. Proses ini dapat dilakukan setelah semua variable analisis diinput seperti besar gaya, posisi gaya, dan arah gaya, serta tumpuan pada struktur yang menerima pembebanan. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut ini.



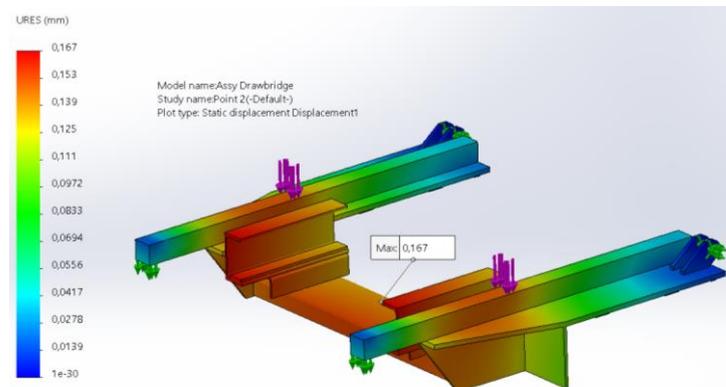
Gambar 11. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi pertama



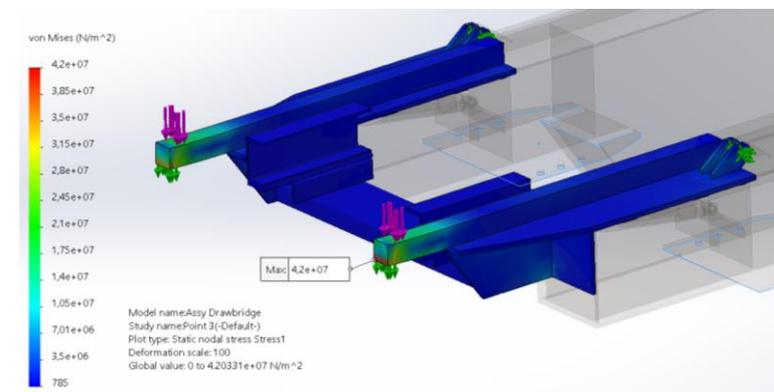
Gambar 12. Hasil simulasi *displacement* simulasi pertama



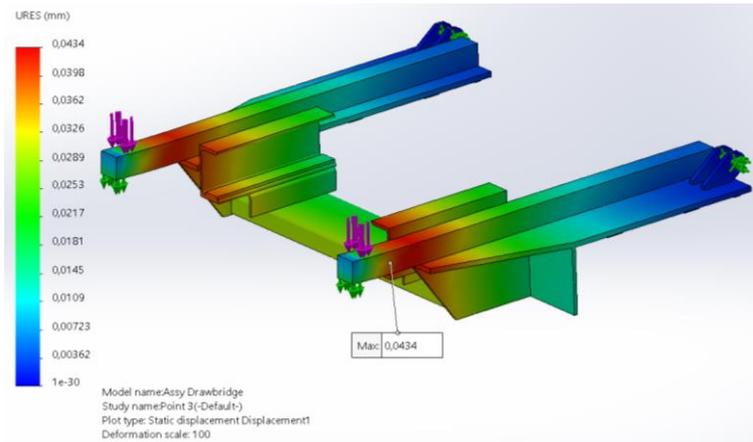
Gambar 13. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi kedua



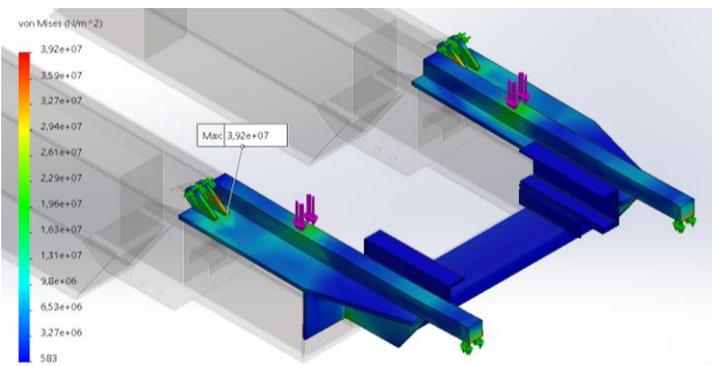
Gambar 14. Hasil simulasi *displacement* simulasi kedua



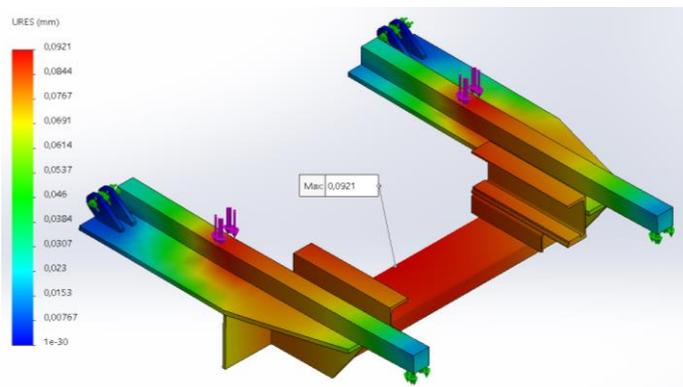
Gambar 15. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi ketiga



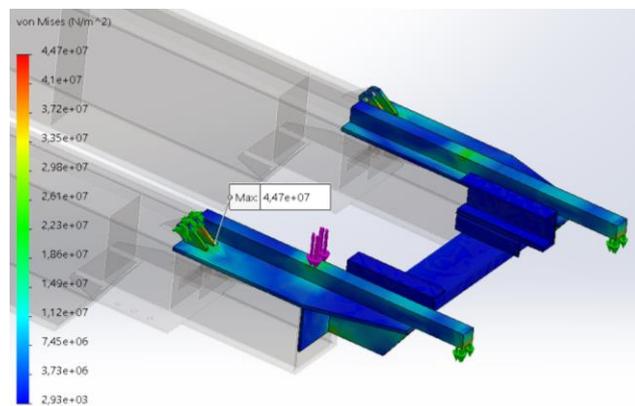
Gambar 16. Hasil simulasi *displacement* simulasi ketiga



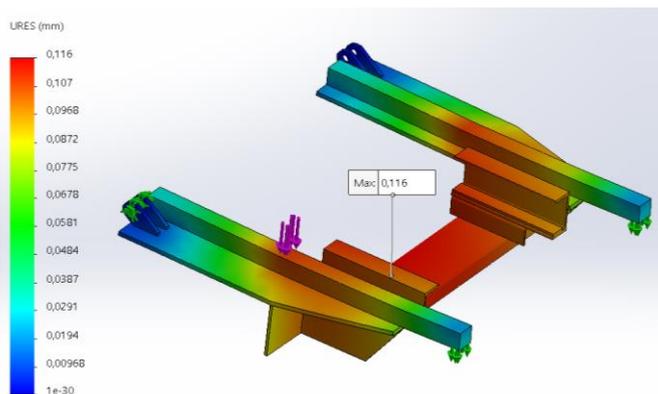
Gambar 17. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi keempat



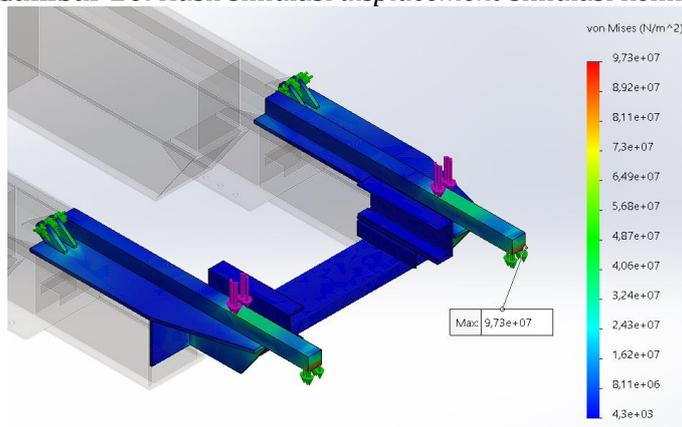
Gambar 18. Hasil simulasi *displacement* simulasi keempat



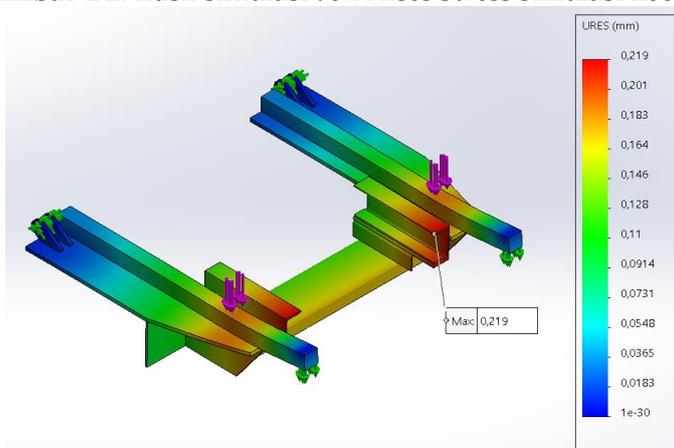
Gambar 19. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi kelima



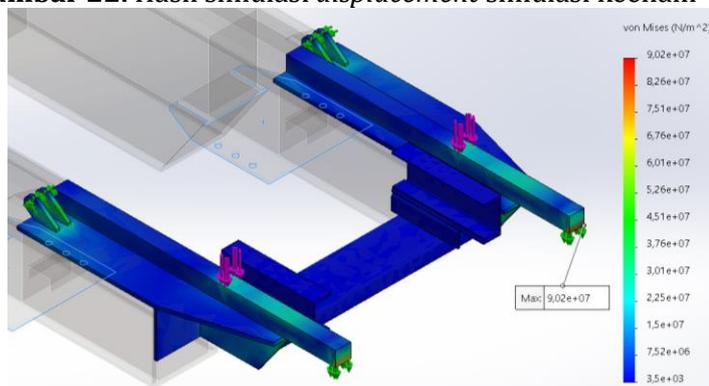
Gambar 20. Hasil simulasi *displacement* simulasi kelima



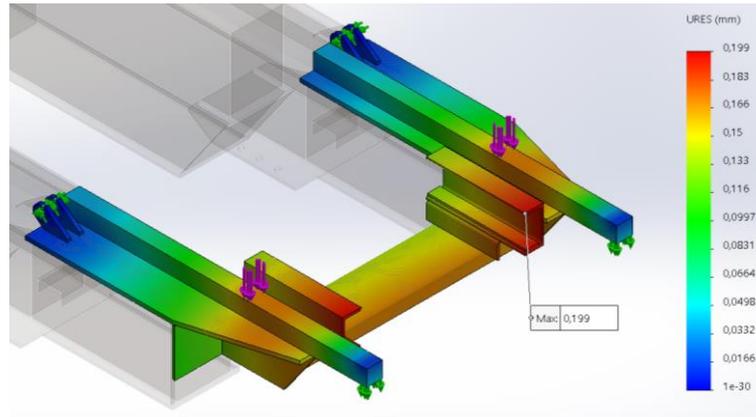
Gambar 21. Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi keenam



Gambar 22. Hasil simulasi *displacement* simulasi keenam



Gambar 23 . Hasil simulasi *von Mises Stress* simulasi ketujuh



Gambar 24. Hasil simulasi *displacement* simulasi ketujuh

Tabel 1. Hasil simulasi *static solidworks*

<i>Simulation</i>	<i>von Mises Stress</i> (N/m^2)	<i>Displacement</i> (mm)
1	$1,02 \times 10^8$	0,222
2	$0,748 \times 10^8$	0,167
3	$0,42 \times 10^8$	0,043
4	$0,392 \times 10^8$	0,092
5	$0,447 \times 10^8$	0,116
6	$0,973 \times 10^8$	0,219
7	$0,902 \times 10^8$	0,199

2.7 Penentuan Factor of safety

Setelah data mengenai *von Mises Stress* hasil pembebanan *drawbridge* diketahui, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan tingkat faktor keamanan desain *drawbridge* tersebut. Faktor keamanan dihitung dengan membagi *yield strength* material dengan tegangan *Von Mises Stress* [16]. Faktor keamanan untuk desain *drawbridge* ditentukan sebesar 3. Yang berarti batas maksimum dari tegangan yang diizinkan terjadi pada struktur *drawbridge* adalah $1/3$ *yield strength* bahan material yang digunakan. Sehingga struktur *drawbridge* dikatakan memenuhi faktor keamanan apabila dalam simulasi pembebanan yang dilakukan mengalami tegangan maksimum sama atau kurang dari tegangan yang diizinkan.

Tahap pertama perhitungan faktor keamanan adalah menghitung batas maksimum tegangan atau *stress* yang diizinkan terjadi pada *drawbridge*. Perhitungan batas maksimum *stress* yang diizinkan terjadi pada struktur *drawbridge* adalah sebagai berikut.

$$\sigma_{Izin} = \frac{\sigma_y}{n}$$

$$\sigma_{Izin} = \frac{2,5 \times 10^8 N/m^2}{3}$$

$$\sigma_{Izin} = 0,83 \times 10^8 N/m^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas maka batas maksimum tegangan yang diizinkan terjadi pada *drawbridge* akibat pembebanan statis adalah sebesar $0,83 \times 10^8 N/m^2$. Sehingga perhitungan nilai *safety factor* untuk setiap simulasi posisi pembebanan sesuai data *von Mises Stress* yang diperoleh pada tabel 1 dilakukan perhitungan menggunakan sebagai berikut ini.

$$sf = \frac{\sigma_{Izin}}{\sigma_{Aktual}}$$

$$n_1 = \frac{0,83 \times 10^8 N/m^2}{1,02 \times 10^8 N/m^2} = 0,8$$

$$n_2 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,748 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 1,1$$

$$n_3 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,42 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 1,9$$

$$n_4 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,392 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 2,1$$

$$n_5 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,447 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 1,7$$

$$n_6 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,973 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 0,85$$

$$n_7 = \frac{0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2}{0,902 \times 10^8 \text{ N/m}^2} = 0,92.$$

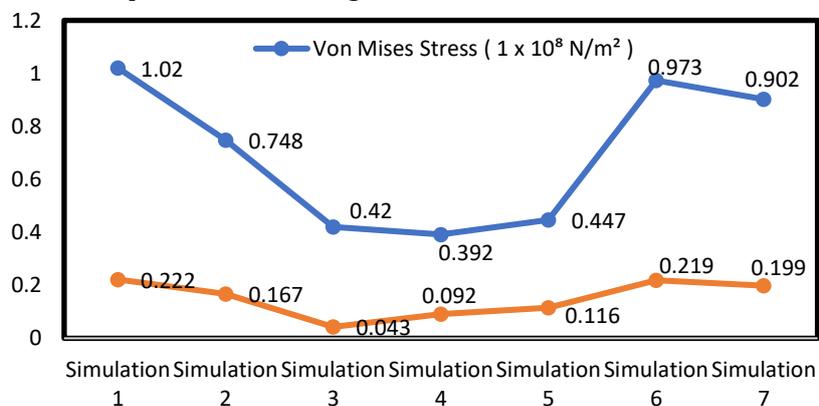
3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi pembebanan statis menggunakan *software solidworks* didapatkan hasil analisis terkait *stress*, *displacement* dan *safety factor* sebagai berikut.

3.1 Simulasi Pembebanan Statis Terhadap Drawbridge

Pembebanan berdampak pada terjadinya tegangan dan deformasi pada struktur *drawbridge*. Sehingga untuk mengetahui dampak tersebut dilakukan pembuatan 3D atas desain *drawbridge* yang digunakan PT. XYZ dan selanjutnya dilakukan simulasi pembebanan statis menggunakan *software SolidWorks*. Berdasarkan simulasi pembebanan statis yang dilakukan dengan *SolidWorks* diperoleh data mengenai besarnya *von Mises Stress* dan *displacement* atau deformasi yang terjadi pada struktur *drawbridge*. *Von Mises Stress* digunakan untuk memprediksi tingkat keluluan material terhadap kondisi pembebanan yang diberikan. Sedangkan deformasi adalah perubahan bentuk yang terjadi pada struktur *drawbridge* akibat dari pembebanan yang diberikan.

Perubahan bentuk atau deformasi pada suatu material dapat terjadi secara permanen dan sementara. Deformasi permanen atau deformasi *plastis* terjadi ketika *stress* akibat pembebanan melebihi *yield strength* material yang digunakan. Sedangkan deformasi elastis hanya terjadi sementara selama pembebanan berlangsung dan kembali ke bentuk semula ketika beban telah dihilangkan. Deformasi ini terjadi selama nilai *stress* pembebanan belum mencapai atau melampaui nilai titik luluh material. Data mengenai hasil simulasi *static* pada desain *drawbridge* yang dilakukan dengan *SolidWorks* ditampilkan dalam bentuk grafik berikut ini.



Gambar 25. Grafik hasil simulasi *static*

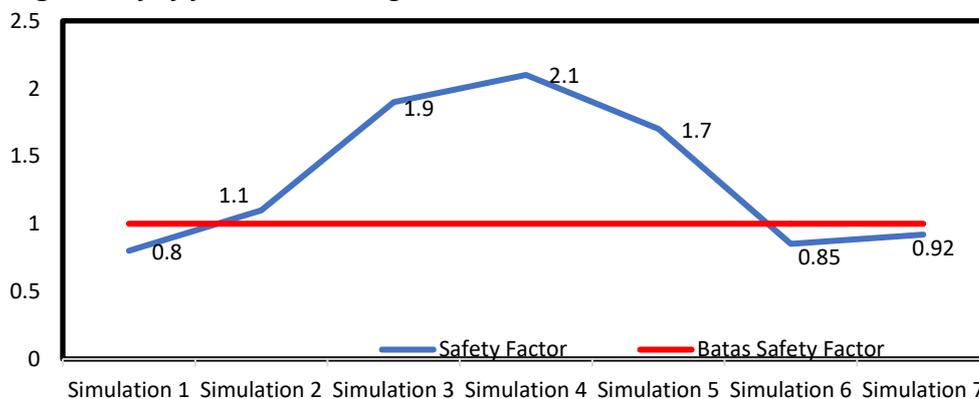
Berdasarkan gambar 25 grafik mengenai hasil simulasi *static* yang dilakukan dapat diketahui besarnya *von Mises Stress* dan *displacement* yang terjadi pada struktur *drawbridge* setelah menerima pembebanan statis pada 7 posisi yang berbeda. Berdasarkan 7 kali simulasi yang dilakukan dengan *force* 52069,85 N pada struktur *drawbridge* diketahui *von Mises Stress* terbesar yang terjadi pada struktur *drawbridge* terjadi pada simulasi pertama dimana posisi roda *cake* pada simulasi ini berjarak 773 mm dari titik tumpu pada *shaft* engsel. Pada simulasi pertama struktur *drawbridge* mengalami *von Mises Stress* maksimum sebesar $1,02 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan deformasi sebesar 0,222 mm.

Sedangkan untuk *stress* terkecil terjadi pada simulasi keempat, dimana posisi roda *cake* berjarak 403 mm dari titik tumpu pada *shaft* engsel dan lebih dekat dengan daripada simulasi pertama. Pada simulasi ini *drawbridge* mengalami *von Mises Stress* sebesar $0,392 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan mengakibatkan *displacement* sebesar 0,092 mm. Meski demikian untuk *displacement* terkecil terjadi pada simulasi ketiga dimana *drawbridge* mengalami deformasi sebesar 0,043 mm. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada struktur *drawbridge* adalah deformasi elastis karena *stress* maksimum yang terjadi akibat pembebanan masih berada dibawah *yield strength* material ASTM A36 sebesar $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

3.2 Faktor Keamanan Desain Drawbridge

Safety factor atau faktor keamanan menunjukkan tingkat keamanan suatu desain ketika menerima pembebanan. *Safety factor* merupakan perbandingan antara *stress* yang diizinkan dan *stress* maksimum yang terjadi akibat pembebanan. Pada analisis kekuatan *drawbridge* ditentukan bahwa nilai *stress* yang diizinkan adalah sebesar $0,83 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ atau sebesar 1/3 dari nilai *yield strength* material yang digunakan. Sehingga apabila saat pembebanan *drawbridge* mengalami *stress* maksimum melebihi nilai tersebut maka desain *drawbridge* dapat dikatakan tidak aman.

Berdasarkan hasil perhitungan faktor keamanan yang telah dilakukan pada tujuh simulasi posisi pembebanan statis pada *drawbridge*, diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 26 mengenai grafik *safety factor drawbridge* berikut ini.



Gambar 26. Grafik *safety factor drawbridge*

Sesuai gambar 26 diketahui bahwa terdapat tiga simulasi yang menunjukkan desain *drawbridge* berada dibawah batas keamanan yang disyaratkan. Ketiganya merupakan simulasi pertama dengan nilai *safety factor* 0,8 dan simulasi keenam dengan nilai *safety factor* 0,85 serta simulasi ketujuh dengan nilai *safety factor* 0,92. Bagian struktur *drawbridge* yang tidak memenuhi *safety factor* dari ketiga simulasi tersebut adalah pada bagian ujung *drawbridge* yang bertumpu pada rel *sterilizer*. Hal ini ditunjukkan dengan bagian yang mengalami *stress* terbesar dari ketiga simulasi tersebut berada diposisi ujung *drawbridge*. Sehingga perlu dilakukan perbaikan desain pada bagian tersebut untuk memperkuat bagian ujung *drawbridge* agar dapat meningkatkan faktor keamanan *drawbridge*

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis mengenai pembebanan statis pada *drawbridge* yang dilakukan dengan menggunakan *software SolidWorks*, dapat disimpulkan mengenai kekuatan dan faktor keamanan *drawbridge* sebagai berikut:

1. Berdasarkan simulasi pembebanan statis yang diberikan kepada struktur *drawbridge* dengan *force* dari setiap roda *cage* sebesar 52069,85 N, menyebabkan struktur *drawbridge* mengalami deformasi sebesar 0,222 mm dan *von Mises Stress* yang terjadi pada struktur sebesar $1,02 \times 10^8$ N/m². Hal ini berarti deformasi yang terjadi merupakan deformasi elastis karena *von Mises Stress* masih berada dibawah *yield strength* material ASTM A36 sebesar $2,5 \times 10^8$ N/m². Sehingga struktur *drawbridge* seharusnya dapat kembali ke bentuk semula apabila roda *cage* tidak lagi bertumpu pada *drawbridge*.
2. Terdapat tiga simulasi yang menunjukkan desain *drawbridge* tidak memenuhi faktor keamanan. Ketiganya merupakan simulasi pertama dengan nilai *safety factor* 0,8 dan simulasi keenam dengan nilai *safety factor* 0,85 serta simulasi ketujuh dengan nilai *safety factor* 0,92. Berdasarkan simulasi *SolidWorks*, bagian struktur yang berada dibawah faktor keamanan adalah bagian ujung *drawbridge* yang bertumpu pada rel *sterilizer* sepanjang 35 mm. Sehingga bagian tersebut perlu dilakukan *improvement* untuk meningkatkan faktor keamanan desain..

Referensi

- [1] N. Jelita, Harianto and A. Rifin, "Efisiensi Teknis, Perubahan Teknologi, dan Produktivitas Faktor Total Pabrik Kelapa Sawit di Indonesia.," *Jurnal Ekonomi Pertanian dan Agribisnis (JEPA)*, vol. IV, pp. 210-218, 2020.
- [2] A. Rifin, "Efisiensi Perusahaan Crude Palm Oil (CPO) di Indonesia," *Jurnal Manajemen & Bisnis*, vol. XIV, pp. 103-108, 2017.
- [3] A. B. Rantawi, "Analisa Penggunaan Indexer/Push Link Chain sebagai Pengganti Capstan di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit," *Jurnal Citra Widya Edukasi*, vol. III, pp. 44-51, 2011.
- [4] E. Prasetyo, R. Hermawan, M. N. I. Ridho and I. I. Hajar, "Analisis Kekuatan Rangka pada Mesin Transverse Ducting Flange (TDF) Menggunakan Software Solid Works," *Rekayasa*, vol. XIII, no. 3, pp. 299-306, 2020.
- [5] I. N. A. A. Saputra, K. R. Dantes and P. I. N. Nugraha, "Analisis Tegangan Statik Pada Rancangan Frame Mobil Listrik Ganesha Sakti (GASKI) Menggunakan Software Solidwork 2014," *JJTM*, vol. VI, no. 2, pp. 113-120, 2018.
- [6] M. Hayder, U. Virgo and C. Gordon, "Static and Buckling Studies of a Safety Ladder by SolidWorks Simulation," *European International Journal of Science and Technology*, vol. VIII, no. 9, pp. 1-7, 2019.
- [7] I. Sungkono, H. Irawan and D. A. Patriawan, "Analisis Desain Ranka dan Penggerak Alat Pembulat Adonan Kosmetik Sistem Putaran Eksentrik Menggunakan Solidwork," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII*, Surabaya, 2019.
- [8] A. M. Rifa'i, "Proses Pembuatan Mediapembelajaran Dudukan Mesin Perombakan," *SNISTEK*, pp. 542-547, 2022
- [9] E. Siswono and M. Mulyadi, "Static Analysis of Frame Structure of Post-Stroke Patients Tricycle Design with Material Type Variations," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur)*, vol. IV, no. 2, pp. 107-117, 2019.
- [10] H. F. Firmansyah, T. Nabila, M. F. Soffa and E. Y. Fahmi, "Analisis Perhitungan Gaya Berat pada Tongkat Gayung Lipat untuk Mengetahui Efektifitas Pengungkit Jenis Tiga," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. IX, pp. 87-96, 2021.
- [11] H. Pranoto, B. Darmono and G. Widyaputra, "Strength Analysis of the Frame Structure with the Impact Load Between the ASTM A36 and JIS G3101 Materials in the Electric Car E-Falco," *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials (IJATEC)*, vol. III, no. 1, pp. 26-38, 2022.
- [12] G. V. Gheorghie, C. Persu, I. Gageanu and D. Cujbescu, "Structural and Modal Analysis in SolidWorks of Basic Structure of Equipment to Prepare Germinative Bed in Strips," *Engineering for Rural Development*, pp. 818-826, 2018.

- [13] R. M. Bisono, N. Hafidhoh and A. T. A. Salim, "Strength Analysis of Frame Structure Loading in Planning Using Solidworks Static Simulation Study," *Biomedical and Mechanical Engineering Journal (BIOMEJ)*, vol. I, no. 2, pp. 26-32, 2021.
- [14] F. Y. Sulisty, A. Nugroho and S. Bakhri, "3D Modelling and Static Structural Analysis of Bottom Reflector Experimental Power Reactor (RDE) using Solidworks Software," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. MCXCVIII, no. 2, pp. 1-7, 2018.
- [15] D. Cekus, R. Gnatowska, P. Kwiaton and M. Sofer, "Simulation Research of A Wind Turbine Using SolidWorks Software," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. MCCCXCVIII, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [16] L. A. N. Wibawa and K. Diharjo, "Desain, Pemilihan Material, dan Faktor Keamanan Stasiun Pengisian Gawai Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Jurnal Teknologi*, vol. XI, no. 2, pp. 97-102, 2019.