

Analisis Kekuatan *Sideboard* pada Kapal Tongkang dengan Variasi *Stanchion* Menggunakan Simulasi FEM (*Solidwork Simulation*)

Mezio Aransyah^{*1}, Yusuf Nurhuda^{*2} and Nurman Pamungkas^{*3}

* Politeknik Negeri Batam
Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Perkapalan
Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia
¹E-mail: mezioaransyah553@gmail.com

Abstrak

Sideboard merupakan bagian penting dari struktur kapal tongkang yang berfungsi menahan tekanan lateral dari muatan curah seperti batubara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan kekuatan *sideboard* dengan tiga variasi *stanchion*, yaitu *H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam*, guna menentukan desain yang paling efisien dan aman terhadap tekanan muatan. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) melalui *SolidWorks Simulation* dengan material baja ASTM A36 dan beban tekanan *lateral non uniform* maksimum 0,02119 N/mm² (Mpa) akibat tumpukan batubara setinggi 3,6 meter. Hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh model *sideboard* memenuhi batas keamanan dengan faktor keamanan di atas 1.5 dan *deformasi* dibawah 5mm. Model H Beam memiliki tegangan maksimum terendah sebesar 27.7 Mpa dengan *deformasi* 1.27 mm, faktor keamanan 9 namun bobotnya paling berat 10.49 ton. Model T Beam menunjukkan tegangan sebesar 68.7 Mpa, *deformasi* 0.659 mm, faktor keamanan 3.6, dengan bobot 9.73 ton. Sementara itu, Model L Beam memberikan hasil paling efisien dengan tegangan 95 Mpa, *deformasi* 0.882 mm, faktor keamanan 2.6, dengan bobot paling ringan yaitu 9.28 ton. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *stanchion* L Beam merupakan desain *sideboard* paling optimal karena memiliki efisiensi massa tertinggi (lebih ringan $\pm 11,5\%$), biaya material lebih rendah

Kata kunci: *Sideboard*, Kapal Tongkang, *H beam*, *T beam*, *L beam*, *Finite Element Method (FEM)*

Abstract

Sideboard is an important part of the barge structure that functions to withstand lateral pressure from bulk cargo such as coal. This study aims to analyze and compare the strength of the *sideboard* with three variations of *stanchions*, namely *H Beam*, *T Beam*, and *L Beam*, to determine the most efficient and safe design against cargo pressure. The analysis was carried out using the finite element method through *SolidWorks Simulation* with ASTM A36 steel material and a maximum non-uniform lateral pressure load of 0.02119 N/mm² (Mpa) due to a 3.6 meter high coal pile. The analysis results show that all *sideboard* models meet the safety limit with a safety factor above 1.5 and deformation below 5mm. The H Beam model has the lowest maximum stress of 27.7 Mpa with a deformation of 1.27 mm, a safety factor of 9 but its weight is the heaviest at 10.49 tons. The T Beam model shows a stress of 68.7 Mpa, a deformation of 0.659 mm, a safety factor of 3.6, with a weight of 9.73 tons. Meanwhile, the L Beam Model provides the most efficient results with a stress of 95 Mpa, deformation of 0.882 mm, a safety factor of 2.6, with the lightest weight of 9.28 tons. From these results, it can be concluded that the L Beam *stanchion* is the most optimal *sideboard* design because it has the highest mass efficiency (lighter by $\pm 11.5\%$), lower material costs

Keywords : *Sideboard*, Barge ship, *H beam*, *T beam*, *L beam*, *Finite Element Method (FEM)*

1 Pendahuluan

Kapal tongkang merupakan kapal niaga tanpa mesin penggerak yang umum digunakan untuk pengangkutan muatan curah, seperti batu bara, karena konstruksinya yang sederhana dan kapasitas angkutnya yang besar. [1] Salah satu bagian penting pada kapal tongkang adalah *sideboard* yang berfungsi menahan tekanan lateral muatan serta mencegah terjadinya tumpahan saat pelayaran maupun bongkar muat. [2] Kekuatan *sideboard* sangat dipengaruhi oleh konfigurasi *stanchion* sebagai penyangga vertikal pelat. Dalam industri galangan kapal,

tipe *stanchion* seperti *H beam*, *T beam*, dan *L beam* banyak digunakan. Namun, hingga saat ini belum terdapat ketentuan baku dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) maupun lembaga klasifikasi internasional terkait pemilihannya. Sehingga diperlukan analisis kekuatan *sideboard* dengan variasi tipe *stanchion* menggunakan metode FEM (*Finite Element Method*) sebagai dasar perancangan yang lebih aman dan efisien

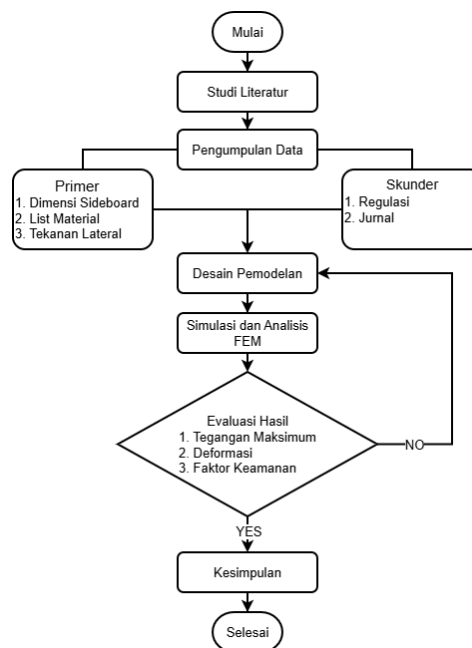
Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana perbandingan nilai tegangan maksimum, deformasi, berat struktur, serta faktor keamanan pada *sideboard* kapal tongkang dengan variasi tipe *stanchion H beam*, *T beam*, dan *L beam* akibat beban tekanan lateral muatan batu bara. Selain itu, perbandingan performa struktural dari ketiga tipe *stanchion* tersebut dalam menahan beban statis juga menjadi permasalahan utama yang dikaji dalam penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan tegangan maksimum, deformasi, berat *sideboard*, serta faktor keamanan *sideboard* kapal tongkang dengan tiga variasi tipe *stanchion*, yaitu *H beam*, *T beam*, dan *L beam*, menggunakan pendekatan FEM (*Finite Element Method*). Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan teknis dalam pemilihan tipe *stanchion* yang paling efisien dan aman untuk perancangan *sideboard* kapal tongkang terhadap tekanan muatan curah.

Untuk menjaga fokus penelitian, studi ini dibatasi pada analisis struktur *sideboard* kapal tongkang bagian *after* dengan dimensi yang mengacu pada hasil pemodelan. Pembebanan diasumsikan bersifat statis dan merata yang mewakili tekanan lateral dari tumpukan batu bara setinggi 3,6 meter. Penelitian ini tidak mempertimbangkan pengaruh gelombang, arus, angin, maupun kondisi dinamis lainnya, serta mengabaikan seluruh aspek pengelasan.

2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori rekayasa teknik (*engineering design*) yang bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur *sideboard* kapal tongkang pengangkut batu bara dengan variasi jenis *stanchion*, yaitu *H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam*, terhadap tekanan *lateral* dari muatan batu bara. Analisis dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak *Solidwork Simulation*



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berikut adalah penjelasan langkah langkah pada setiap tahapan proses berdasarkan diagram alir diatas penelitian ini:

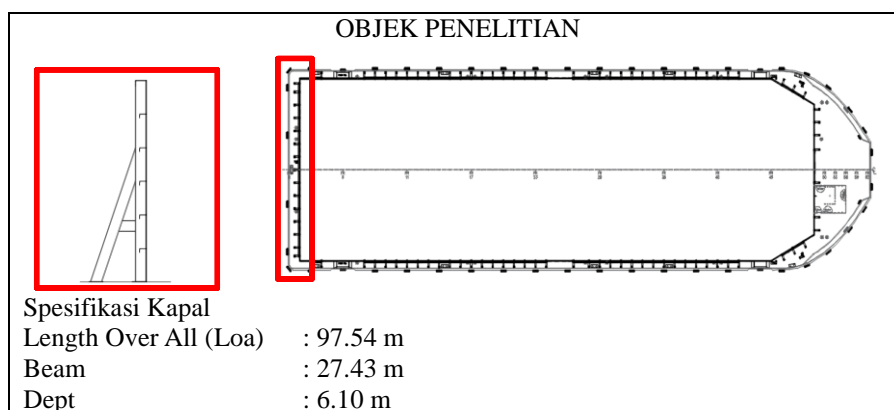
2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperkuat pemahaman terhadap penelitian yang dibahas. Berdasarkan jurnal dan *rules* yang menjelaskan tentang *sideboard*, karakteristik dari tipe tipe *stanchion*, teori mengenai elastisitas tegangan dan memahami perilaku struktur pada saat di beri beban, Untuk proses analisis, digunakan

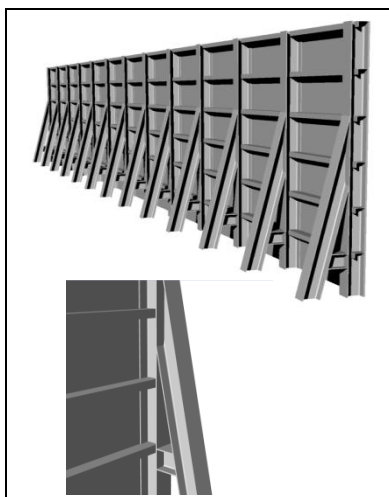
metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*), sehingga prinsip-prinsip dasar metode ini juga dipelajari. Terakhir, standar teknis dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) turut dikaji, khususnya yang berkaitan dengan batas tegangan yang diizinkan dan nilai minimum faktor keamanan yang harus dipenuhi dalam perancangan struktur kapal.

2.2 Pengumpulan Data

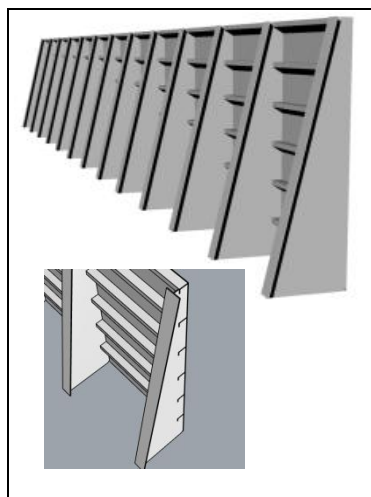
Tahap ini melakukan pengumpulan data, Data yang dikumpulkan mencakup data *primer* dan data *sekunder*. Data *primer* merupakan data yang dibutuhkan secara langsung dalam proses perancangan dan simulasi, seperti dimensi *sideboard* dan tekanan *lateral* pada panel *sideboard*, profil *H beam*, *T beam*, dan *L beam*, serta informasi mengenai jenis material yang digunakan. Selain itu, informasi pembebanan dan kondisi batas juga termasuk dalam data *primer*, karena akan menjadi input utama dalam analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM). Sementara itu, Data *sekunder* diperoleh melalui studi literatur dan referensi teknis yang relevan, mencakup teori dasar elastisitas, metode *rankine*, metode elemen hingga, serta standar struktur dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI). Data *sekunder* ini berperan sebagai dasar untuk memastikan bahwa perancangan struktur yang dilakukan sesuai dengan teori dan standar yang berlaku



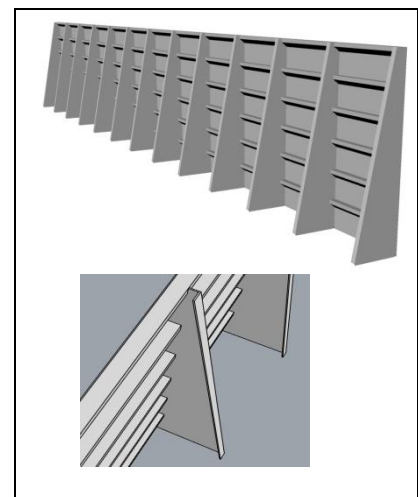
Gambar 2. Objek Penelitian



Gambar 3. Stanchion H Beam



Gambar 4. Stanchion T Beam



Gambar 5. Stanchion L Beam

2.3 Desain Pemodelan

Proses desain pemodelan geometri *sideboard* dilakukan dalam tiga tahap:

1. Perancangan 2D menggunakan *software AutoCAD* untuk mendefinisikan sketsa awal
2. Pembuatan model 3D menggunakan *software Rhinoceros* yang memvisualisasikan bentuk *sideboard* dengan variasi *stanchion H beam*, *T beam*, dan *L beam*
3. Impor model 3D ke *software solidwork simulation* untuk dilakukan analisis FEM

2.4 Simulasi dan Analisis FEM

Tahap analisis pada struktur *sideboard* dilakukan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)* yang dijalankan melalui perangkat lunak *finite element method (FEM)*. Dalam proses ini, beban yang diberikan diasumsikan bekerja secara *statik*, dan merata di seluruh permukaan bagian dalam pelat *sideboard*. Beban tersebut mewakili tekanan dari tumpukan batu bara jenis *Bituminous* dengan massa jenis 800-1200 kg/m³. Adapun Material yang digunakan pada struktur *sideboard* adalah material baja karbon jenis ASTM A36 *Mild Steel Grade A* dengan Modulus elastisitas (Young's Modulus) 200.000 MPa, Tegangan luluh (Yield Strength) 250 MPa yang umum digunakan dalam konstruksi maritim. Pada simulasi, bagian-bagian tertentu dari struktur seperti sisi bawah dan tepi *sideboard* yang menyatu dengan lambung kapal dianggap sebagai tumpuan tetap (*fixed support*). Ini artinya, bagian tersebut tidak bergerak dan menjadi titik penahan utama dari struktur. Simulasi dilakukan dengan pendekatan *linier elastik*, yang artinya hanya menghitung respon struktur saat masih dalam kondisi elastis (belum mengalami kerusakan atau deformasi permanen). Efek kelelahan, getaran, maupun beban dinamis tidak dimasukkan dalam perhitungan, agar proses analisis tetap fokus dan efisien.

Untuk menentukan apakah desain *sideboard* ini aman dan layak, digunakan 2 tolak ukur utama:

1. Tegangan maksimum tidak boleh melebihi dari tegangan izin diatur dalam BKI part 1, Vol II Sec 31, B.4

$$\text{Rumus : } \sigma_{\text{Izin}} = \frac{\sigma_{\text{yield}}}{SF} \dots (1)$$

Keterangan:

σ_{yield} = Tegangan luluh material

SF = *Safety Factor*

Jika nilai *safety factor* lebih dari 1.5 maka struktur dianggap aman

2. Faktor keamanan menurut mott dalam buku "*Machine Elements in Mechanical Design*" minimal harus 1.25 – 2.00 sebagai batas aman desain teknik pada umumnya.

$$\text{Rumus : } \text{SAFETY FACTOR} = \frac{\sigma_{\text{yield}}}{\sigma_{\text{max}}} \dots (2)$$

Keterangan:

σ_{yield} = Tegangan luluh material

σ_{max} = Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur

Jika nilai *safety factor* lebih dari 1.5 maka struktur dianggap aman

Dengan kriteria ini, analisis bertujuan untuk memastikan bahwa struktur *sideboard* dengan variasi antara *stanchion H beam*, *T beam*, dan *L beam* mampu menahan beban batu bara secara aman tanpa mengalami kerusakan atau deformasi berlebih

2.5 Evaluasi Hasil

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi hasil yang sudah di analisis, evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai nilai seperti tegangan maksimum dan faktor keamanan terhadap batas yang sudah ditentukan. Jika nilai tegangan yang muncul lebih rendah dari tegangan izin, deformasi masih dalam batas wajar (maksimal 5 mm), dan faktor keamanan di atas 1.5 – 2.00, maka desain dianggap aman dan layak digunakan. Namun, jika ada parameter yang melebihi batas tersebut, maka struktur perlu dievaluasi ulang, baik dengan mengubah ketebalan pelat, bentuk *stanchion*, atau kondisi batasnya. Dengan pendekatan ini, evaluasi dilakukan secara objektif untuk memastikan bahwa desain *sideboard* tidak hanya kuat secara teoritis, tetapi juga aman digunakan dalam kondisi nyata di lapangan.

2.6 Hasil & Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh ringkasan hasil penelitian ini berupa *output* dari struktur *sideboard* dengan variasi antara *stanchion H beam*, *T beam*, dan *L beam*, mencakup nilai tegangan maksimum, deformasi total, berat *stanchion*, dan nilai faktor keamanan. Selain itu, penelitian ini juga memberikan rekomendasi teknis yang dapat digunakan sebagai acuan dalam perancangan struktur sejenis di masa mendatang.

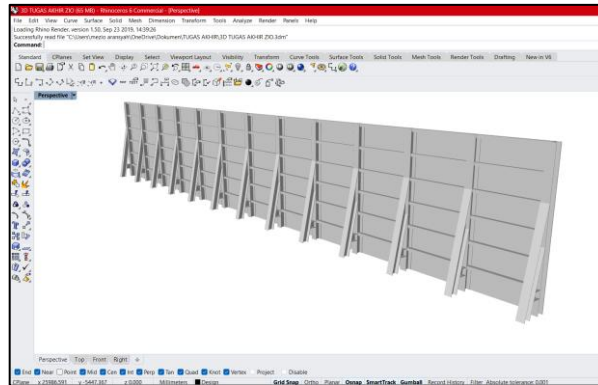
3 Analisis dan Pembahasan

Analisis ini dilakukan dengan membandingkan ketiga desain dari jenis *sideboard H beam*, *T beam*, dan *L beam*. Penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan struktur *sideboard* kapal tongkang yang menggunakan variasi bentuk *stanchion*, yaitu *H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam*. Fokus analisis diarahkan untuk melihat perbedaan distribusi tegangan, deformasi, faktor keamanan, serta efisiensi berat konstruksi pada tiap desain. Melalui perbandingan tersebut diharapkan dapat diperoleh rancangan *stanchion* yang lebih efisien, memiliki bobot lebih ringan, namun tetap memenuhi kekuatan dan keselamatan struktur, dengan bantuan

simulasi menggunakan *FEM*.

3.1 Modelling 3D Sideboard

Pemodelan *sideboard* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Rhinoceros* karena dapat mempercepat proses pemodelan 3D serta memiliki akurasi *geometri* yang tinggi, mendukung berbagai format ekspor, serta ringan digunakan. Pada tahap ini, *sideboard* dimodelkan dengan variasi bentuk *stanchion* yaitu *H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam*, sehingga dapat dilakukan perbandingan terhadap respon struktur yang dihasilkan, Model kemudian diekspor ke format STEP untuk diimpor ke perangkat lunak *Solidworks* untuk analisis *Finite Element Method* (FEM). Berikut adalah model dari *Rhinoceros*



Gambar 6. Pembuatan Model Stanchion H beam di Rhinoceros

3.2 Beban yang Digunakan

Beban yang digunakan dalam analisis ini adalah batubara dengan massa jenis 1200 kg/m^3 . Beban tersebut, ketika dikonversikan menjadi tekanan lateral (*lateral pressure*), menghasilkan nilai tekanan maksimum sebesar 0.02119 N/mm^2 pada dasar *sideboard*. Tekanan ini berbentuk distribusi segitiga, dengan nilai nol di permukaan timbunan batubara hingga mencapai maksimum di dasar *sideboard*. Besarnya tekanan lateral ini diperoleh dari hasil perhitungan dengan mempertimbangkan tinggi tumpukan batubara 3.6 m dan koefisien tekanan lateral sebesar 0.5 . Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai beban *input* pada simulasi *FEM* untuk menganalisis kekuatan *sideboard* kapal tongkang.

$$p_{max} = k \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad \dots (3)$$

Keterangan:

p_{max} = Tekanan lateral maksimum

k = Koefisien Tekanan Lateral

ρ = Massa jenis batu bara

g = Gravitasi

h = tinggi tumpukan batu bara

3.4 Setup Simulasi FEM di Solidwork

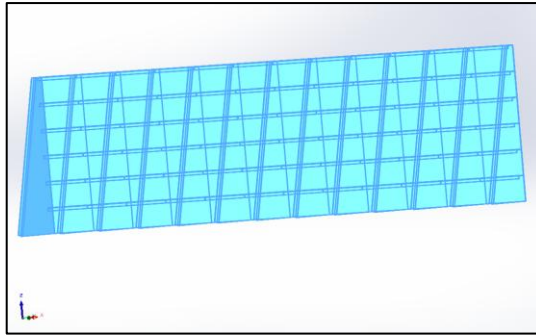
Untuk memperoleh hasil analisis yang representatif, dilakukan pengaturan parameter simulasi pada masing-masing variasi desain *sideboard* dengan *stanchion H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam*. *Setup* dalam perangkat lunak *SolidWorks Simulation* terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu pemilihan material, koneksi antar komponen (*body connection*), penentuan batasan geometri (*fixture*), pembebanan, serta pengaturan *mesh*

1. Material

Material yang digunakan pada analisis ini adalah baja A36

2. Koneksi Antar Komponen (Body Connection)

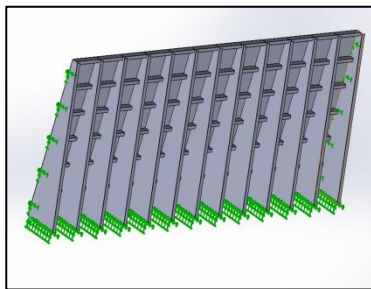
Stanchion H Beam, *T Beam*, dan *L Beam* dikoneksikan dengan pelat *sideboard* menggunakan *Bonded Contact*. Dengan pengaturan ini diasumsikan tidak terdapat pergerakan relatif antar komponen, sehingga sesuai dengan kondisi nyata di lapangan dimana sambungan dilakukan dengan pengelasan.



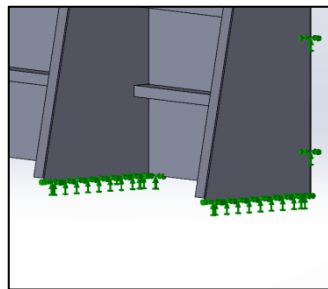
Gambar 7. Body Connection Pada Stanchion L Beam

3. Batasan Geometri (Fixed Geometry)

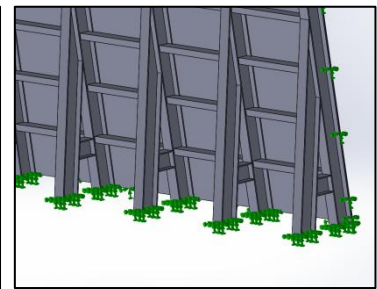
Batasan (*fixed geometry*) ditempatkan pada sisi bawah *sideboard* yang terhubung dengan struktur utama lambung kapal. Hal ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi tumpuan yang kaku sehingga *sideboard* dapat merepresentasikan keterikatannya terhadap struktur kapal.



Gambar 8. Fixed L Beam



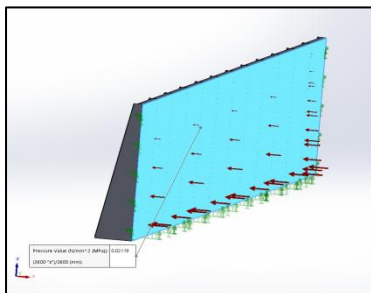
Gambar 9. Fixed T Beam



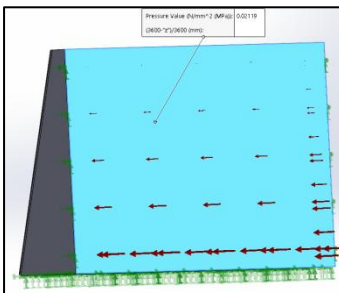
Gambar 10. Fixed H Beam

4. Pembebanan

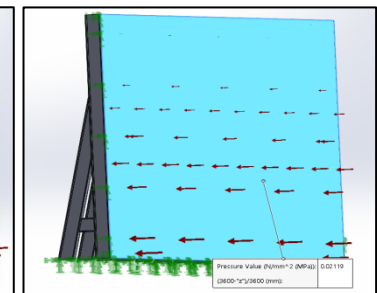
Beban yang diberikan adalah akibat muatan batubara dengan massa jenis 1200 kg/m^3 , tinggi tumpukan 3.6 m , dan koefisien tekanan lateral sebesar 0.5 . Tekanan maksimum yang bekerja pada dasar *sideboard* tersebut jika di konversikan menjadi tekanan (*pressure*), Menghasilkan nilai sebesar $0.02119 \text{ N/mm}^2 / (\text{Mpa})$



Gambar 11. Pressure pada L Beam



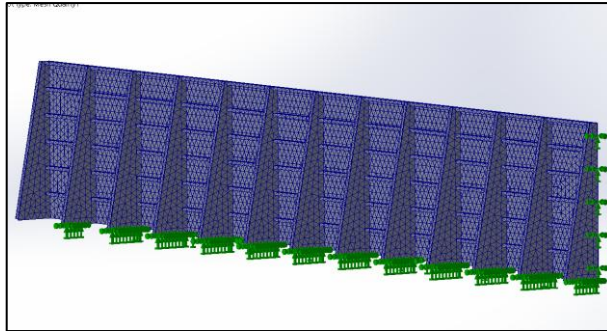
Gambar 12. Pressure pada T Beam



Gambar 13. Pressure Pada H Beam

5. Pengaturan *Mesh*

Untuk mendapatkan distribusi *mesh* yang optimal. *Mesh quality* diatur pada *high quality* untuk memastikan elemen-elemen *mesh* memiliki kualitas terbaik, yang mendukung akurasi dalam analisis. Dalam kualitas *mesh* tersebut, sistem akan secara otomatis membagi model menjadi elemen-elemen Tetrahedral berbasis *solidmesh* yang sesuai untuk geometri tiga dimensi. Tiap elemen tersebut kemudian dihitung berdasarkan metode elemen hingga (*finite element method*). Untuk menghindari ketidakakuratan akibat elemen yang terdistorsi, opsi "*Issue warning for distorted elements*" diaktifkan. Hal ini memastikan bahwa selama proses *meshing*, *Solidworks* akan memberikan peringatan jika terdapat elemen yang bentuknya menyimpang terlalu jauh dari ideal.

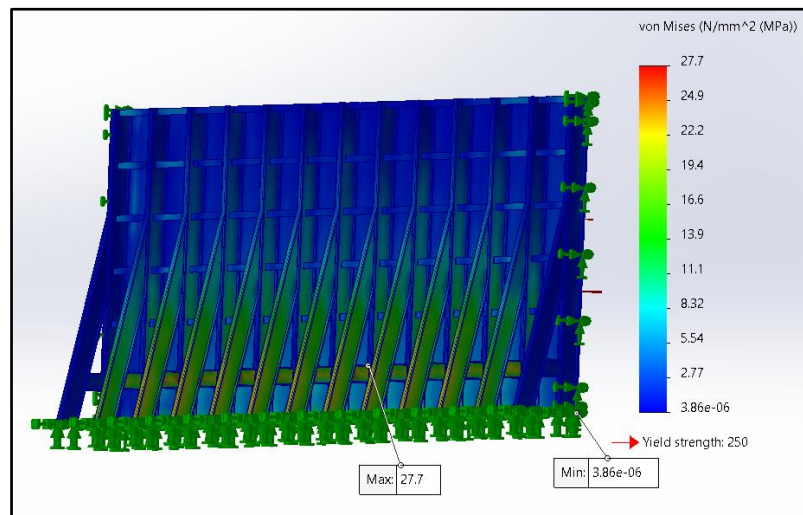


Gambar 14. Pengaturan mesh Pada Stanchion L Beam

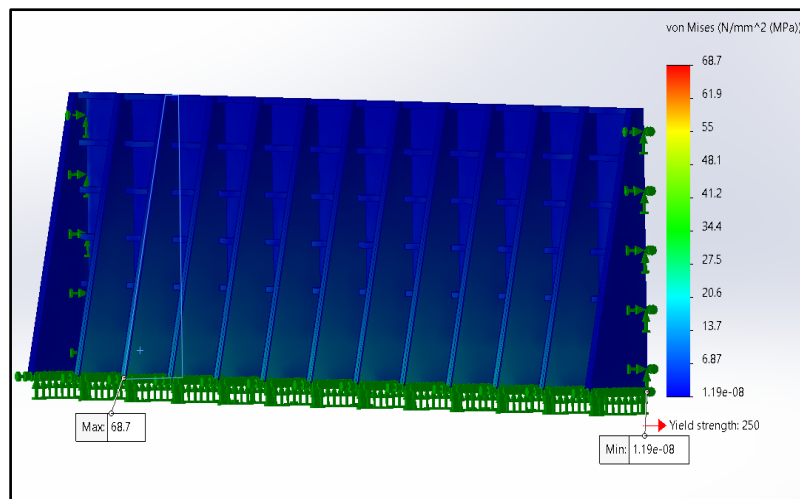
4 Hasil dan Pembahasan

Setelah seluruh tahapan *setup* simulasi dilakukan, analisis kekuatan *sideboard* dengan variasi *stanchion H Beam*, *T Beam*, dan *L Beam* dijalankan menggunakan metode FEM di *SolidWorks Simulation*. Hasil analisis ditinjau dari tiga parameter utama, yaitu:

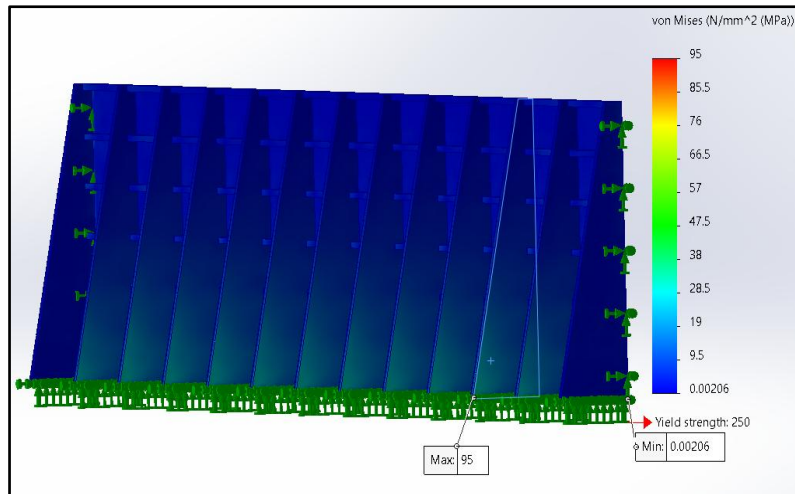
1. Tegangan *Von Mises*, untuk mengevaluasi apakah tegangan yang terjadi masih berada di bawah tegangan Izin



Gambar 15. Von Mises Stanchion H Beam

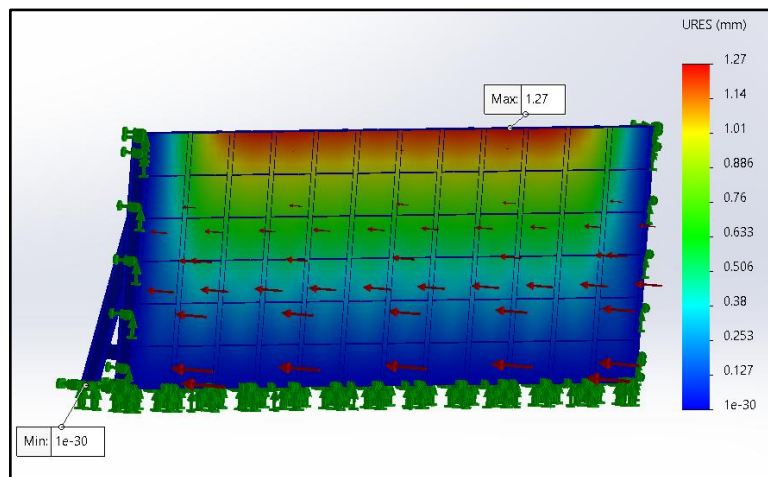


Gambar 16. Von Mises Stanchion T Beam

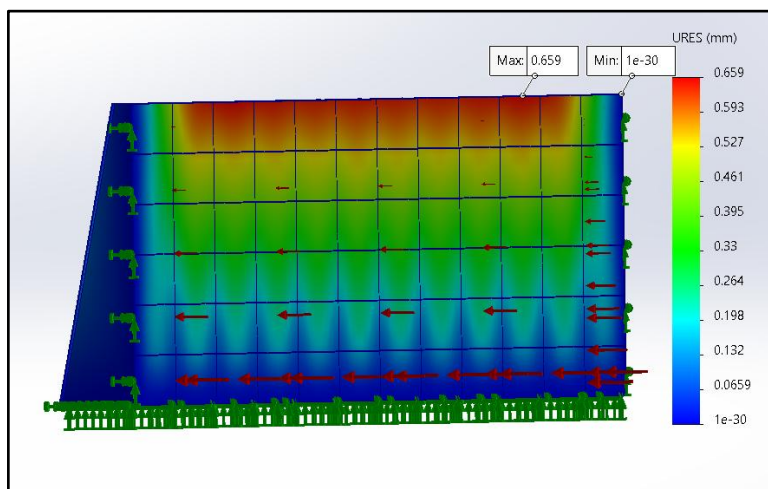


Gambar 17. Von Mises Stanchion L Beam

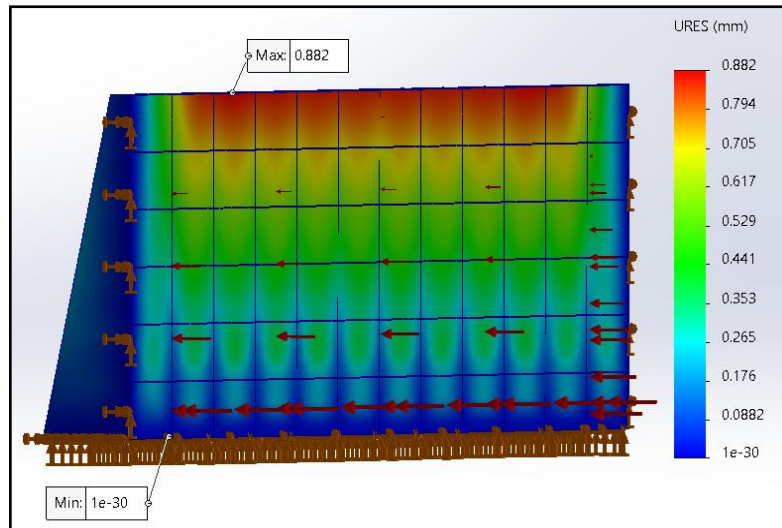
2. Deformasi Total, untuk mengetahui besarnya perubahan bentuk *sideboard* akibat pembebanan.



Gambar 18. Deformasi Stanchion H Beam



Gambar 19. Deformasi Stanchion T Beam



Gambar 20. Deformasi Stanchion L Beam

3. Faktor Keamanan (*Safety Factor*) dihitung dari perbandingan tegangan luluh terhadap tegangan maksimum.

Visualisasi hasil analisis berupa distribusi tegangan, *deformasi*, dan faktor keamanan ditampilkan dalam lampiran. Perbandingan hasil antar variasi stanchion kemudian disajikan dalam bentuk tabel agar dapat ditentukan konfigurasi *sideboard* yang paling efisien, yaitu yang memiliki kekuatan memadai dengan massa struktur yang lebih ringan

Tabel 3.5.1 Perbandingan Analisis

Model Sideboard	Hasil Tegangan (Mpa)	Tegangan Izin (Mpa)	Safety Factor	Standard	Deformasi (< 5mm)	Berat Total (Ton)	Status
STANCHION H BEAM	27.7	166.7	9.0	>1.5	1.27	10.49	Memenuhi
STANCHION T BEAM	68.7	166.7	3.6	>1.5	0.659	9.73	Memenuhi
STANCHION L BEAM	95	166.7	2.6	>1.5	0.882	9.28	Memenuhi

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, *Stanchion L beam* direkomendasikan sebagai desain *sideboard* yang paling optimal. Desain ini memberikan efisiensi massa yang signifikan, yaitu 9.28 ton dibandingkan 10.49 ton pada model *Stanchion H beam*, sehingga terjadi pengurangan berat sekitar 1.21 ton ($\pm 11.5\%$). Walaupun lebih ringan, model ini tetap memenuhi standar keselamatan dengan faktor keamanan 2.6 (>1.5) dan deformasi maksimum 0.882 mm (<5 mm), menunjukkan bahwa kekuatan dan kekakuannya masih sangat memadai untuk kondisi operasional. Efisiensi massa ini berdampak langsung pada penurunan biaya material dan waktu pengerjaan, sehingga secara keseluruhan menurunkan biaya produksi dan meningkatkan keuntungan perusahaan.

Daftar Pustaka

- [1] Riyanto, N. S., Yudo, H., & Trimulyono, A. (2020). Analisa Kekuatan Deck Akibat Perubahan Muatan Pada Tongkang TK. NELLY-34. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 454-460.
- [2] Alam, A., Wulandari, A. I., Oktavaro, N. S., Pawara, M. U., & Riyadi, M. (2022). The Fatigue Life Assessment of Sideboard on Deck Barge Using Finite Element Methods. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri; Journal of Industrial Research and Innovation*, 16(1), 1-10.
- [3] Fajri, K., Mulyanto, I. P., & Kiryanto, K. (2023). Analisa Kekuatan Deck pada Kapal Landing Craft Tank (LCT) 1100 DWT akibat Perubahan Muatan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(2), 31-38.
- [4] Mulyatno, I. P., & Alan, M. (2012). ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI BRACKET TOWING HOOK PADA TB. BONTANG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DAN RULES BKI. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 9(1), 1-5.
- [5] Pratama, M. H., Yudo, H., & Mulyatno, I. P. (2020). Analisis Kekuatan Konstruksi Car Deck Kapal Penyeberangan 1000GT Akibat Perubahan Muatan Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), 426-434.
- [6] Sutrisno, I., Ramat, M. B., Indarti, R., & Santosa, A. W. B. (2021, August). Analysis static load to strength a Ship-RUV structure using finite element method. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1175, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- [7] Vavrek, E. M., Mott, R. L., & Wang, J. (2014). *Machine Elements in Mechanical Design*, 6e. Estados Unidos: Pearson.
- [8] Trinanda, N. D. (2023). *ANALISIS KEKUATAN KONSTRUKSI SIDEBOARD PADA TONGKANG BATU BARA DENGAN VARIASI JENIS STANCHION DAN POSISI STIFFENER* (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- [9] Das, B. M. (2002). *Principles of Geotechnical Engineering* 7th
- [10] Biro Klasifikasi Indonesia. (2018). *Rules for Hull (Volume II)*. Diakses dari <https://rules.bki.co.id/>

Lampiran 1. Perhitungan

Lampiran 1. Pembebanan

Rumus Tekanan

massa jenis batu bara bituminous : 1.200 kg/m³
tinggi tumpukan batu bara : 3.6 meter
koefisien tekanan lateral : 0.5
Gravitasi : 9.81 m/s²

$p_{max} = k \cdot \rho \cdot g \cdot H$

tekanan maksimal = koefisien x massa x gravitasi x tinggi tumpukan
= 0.5 x 1.200 x 9.81 x 3.6
= 21,189.6 N/m²

Konversi ke N/mm²
1m² = 1,000,000 mm²

tekanan maksimal = $\frac{21,189.6}{1,000,000} = 0.02119$ N/mm²

Gambar 1. Perhitungan Pembebanan

Lampiran 1. Tegangan Izin

Tegangan Izin

σ_{izin} : Tegangan Izin
 σ_{yield} : Tegangan luluh material (250 MPa)
SF : Faktor Keamanan (1.5)

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_{yield}}{SF}$$

tekanan izin = σ_{yield} / SF
= 250 / 1.5
= 166.7 Mpa

Gambar 2. Tegangan Izin

Lampiran 1. *Safety Factor*

Faktor Keamanan

SF : Faktor Keamanan
 σ_{max} : Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur (48.5 Mpa)
 σ_{yield} : Tegangan luluh material (250 Mpa)

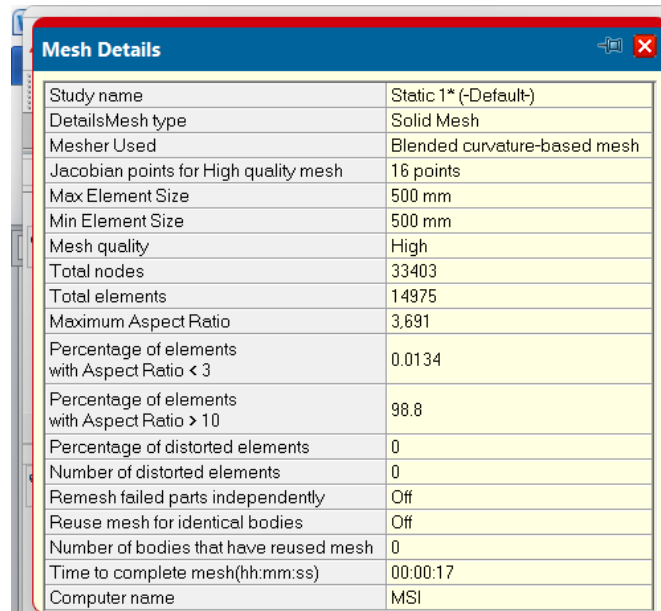
$$SF = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$$

Faktor Keamanan = $\sigma_{yield} / \sigma_{max}$
= 250 / 48.5
= 5.15

Gambar 3. Perhitungan Faktor Keamanan

Lampiran 2. *Mesh Detail*

Lampiran 2. *Mesh Detail Model Stanchion H Beam*



Mesh Details	
Study name	Static 1* (-Default-)
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	500 mm
Min Element Size	500 mm
Mesh quality	High
Total nodes	33403
Total elements	14975
Maximum Aspect Ratio	3,691
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	0.0134
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	98.8
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Remesh failed parts independently	Off
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:17
Computer name	MSI

Gambar 4. Mesh Detail Model Stanchion H beam

Lampiran 2. Mesh Detail Model Stanchion T Beam

Mesh Details	
Study name	Static 5 from [Static 4 from [Static 3 fr
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	400 mm
Min Element Size	400 mm
Mesh quality	High
Total nodes	26349
Total elements	11883
Maximum Aspect Ratio	803.62
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	0
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	99.6
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:14
Computer name	MSI

Gambar 5. Mesh Detail Model Stanchion T beam

Lampiran 2. Mesh Detail Model Stanchion L Beam

Mesh Details	
Study name	Static 3 from [Static 2 from [Static
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	16 points
Max Element Size	275 mm
Min Element Size	275 mm
Mesh quality	High
Total nodes	42437
Total elements	18781
Maximum Aspect Ratio	103.81
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	0
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	99.3
Percentage of distorted elements	0
Number of distorted elements	0
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:18
Computer name	MSI

Gambar 6. Mesh Detail Model Stanchion L beam

Lampiran 3. Spesifikasi Model

MODEL	JENIS STANCHION
<p>SANCHION H BEAM Panjang : 25.4 m Lebar : 0.7 m Tinggi : 3.6 m Berat Total : 10.49 ton Sumber : Model diperoleh dari data desain teknis milik PT</p>	<p>H beam 200mm x 200mm</p>
<p>SANCHION T BEAM Panjang : 25.4 m Lebar : 0.9 m Tinggi : 3.6 m Berat Total : 9.73 ton Sumber : Model diperoleh dari data desain teknis milik PT dan redesign</p>	<p>T beam 700mm x 200mm x 10mm</p>
<p>SANCHION L BEAM Panjang : 25.4 m Lebar : 0.9 m Tinggi : 3.6 m Berat Total : 9.28 ton Sumber : Model diperoleh dari data desain teknis milik PT dan redesign</p>	<p>L beam 700mm x 200mm x 10mm</p>

Tabel 1. Spesifikasi Model