

Analisis Kekuatan Struktur Kapal *Tugboat* Akibat Modifikasi *Deck House*

Hendrian Syah¹, Kharis Abdullah¹ dan Alwi Sina Khaqiqi¹

¹Department of Shipbuilding Engineering, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur

Article Info

Article history:

Received August 5, 2025

Revised September 6, 2025

Accepted September 17, 2025

Keywords:

Tugboat

Modifikasi Deck House

Finite Element Method

Stress

Safety Factor

ABSTRACT

Modifikasi pada struktur *deck house* kapal *tugboat* dilakukan untuk memperbaiki akses tangga menuju ruang *galley* yang terlalu sempit. Namun, perubahan ini dapat memengaruhi kekuatan struktur kapal *tugboat*, khususnya pada *frame* 42 hingga 52. Oleh karena itu, dilakukan analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) berbasis *software* ANSYS. Pemodelan dilakukan dalam dua kondisi, yaitu sebelum dan sesudah modifikasi, dengan pembebanan utama berupa gaya *towing* sebesar 86268.28 N. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum meningkat dari 110.96 MPa menjadi 119.94 MPa, dan deformasi maksimum meningkat dari 0.37071 mm menjadi 0.48341 mm. Meskipun demikian, nilai tegangan tersebut masih berada di bawah tegangan ijin material sebesar 211.5 MPa, dan nilai *safety factor* sebesar 1.8 menunjukkan bahwa struktur tetap aman. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa modifikasi *deck house* tidak menimbulkan risiko kegagalan struktur dan tetap memenuhi standar keselamatan sesuai aturan IRS (*Indian Register of Shipping*).

©2025 This work is licensed under Creative Commons

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

*Corresponding Author:

Kharis Abdullah

Department of Shipbuilding Engineering

Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Surabaya, Indonesia

Email: kharis.abdullah@ppns.ac.id

PENDAHULUAN

Kapal *Tugboat* adalah jenis kapal bantu yang berfungsi untuk menarik atau mendorong kapal-kapal besar di area pelabuhan, memandu kapal melalui perairan berisiko, membantu perbaikan kapal di laut, serta melakukan operasi penyelamatan seperti pemadaman kebakaran dan kegiatan *salvage* (Purwanto, 2023). Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Meskipun berukuran relatif kecil, kapal *tugboat* harus dirancang secara efektif dan efisien agar dapat menjalankan fungsinya secara optimal.



Gambar 1. Kapal *Tugboat*

Di salah satu galangan, ditemukan kasus pada kapal *tugboat* berbendera India yang mengalami kendala pada *opening ladder*, yakni akses tangga menuju ruang galley yang sangat sempit. Secara teknis, ukuran *opening ladder* tersebut sudah mengacu pada standar minimum manhole ISO 5894:1999 untuk tipe O, yaitu 600 mm × 400 mm dan 450 mm × 350 mm (ISO, 2018). Namun, awak kapal yang memiliki tinggi badan di atas rata-rata tetap mengalami kesulitan karena harus membungkuk saat melewati akses tersebut, sehingga meningkatkan risiko keselamatan.

Untuk mengatasi hal ini, dilakukan modifikasi dengan cara memperpanjang *deck house* sebanyak dua *frame* ke arah depan agar dapat memindahkan *opening ladder* ke posisi yang lebih aman. Namun, modifikasi ini

berdampak pada struktur kapal, termasuk adanya perubahan profil dan bracket pada *frame* 42–52, yang berpotensi mempengaruhi kekuatan struktur saat kapal sedang melakukan *towing*.

Permasalahan ini menjadi dasar penting dilakukannya penelitian untuk menganalisis apakah struktur kapal *tugboat* setelah dimodifikasi masih mampu menahan beban *towing* sesuai dengan kondisi aman. Oleh karena itu, Analisis ini menggunakan pendekatan Metode Elemen Hingga (FEM) yang berfungsi untuk mengkaji dan memetakan distribusi tegangan serta deformasi yang terjadi pada struktur kapal (Firmansyah & Pranatal, 2025). Yang sesuai dengan standar perhitungan dari *Indian Register of Shipping (IRS)*, mengingat kapal ini diklasifikasikan dengan IRS karena berbendera India.

Penelitian ini bertujuan untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur kapal sehingga untuk mencegah terjadinya hal tersebut sangat penting untuk melakukan Analisa terhadap respon struktur dan dapat menjamin keamanan terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan selama kapal beroperasi (Siagian, Zakki & Iqbal, 2020). dan mengevaluasi pengaruh modifikasi struktur *deck house* terhadap kekuatan struktur kapal dengan meninjau nilai tegangan maksimum, deformasi, dan *safety factor* berdasarkan batas tegangan yang diizinkan menurut *rules IRS*. Dengan demikian, diharapkan hasil penelitian ini dapat mendukung perencanaan modifikasi yang aman dan sesuai dengan regulasi teknis yang berlaku.

METODE PENELITIAN

1) *Flow Chart* Metodologi Penelitian

Penelitian ini disusun secara sistematis mengikuti tahapan yang tergambar dalam diagram alir Gambar 2. Proses penelitian dimulai dari

pengumpulan data pendukung, kemudian dilanjutkan dengan tahap pengolahan dan analisis data hingga diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil tersebut selanjutnya menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan akhir. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan dan terintegrasi untuk memastikan bahwa hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Selain itu, pendekatan ini juga bertujuan meminimalisir kesalahan dalam interpretasi data serta meningkatkan keakuratan dalam pengambilan keputusan. Dengan menggunakan alur penelitian yang terstruktur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang jelas dan mendalam mengenai permasalahan yang dikaji. Dengan demikian, kontribusi penelitian dapat memberikan manfaat baik secara teoretis maupun praktis dalam bidang terkait.

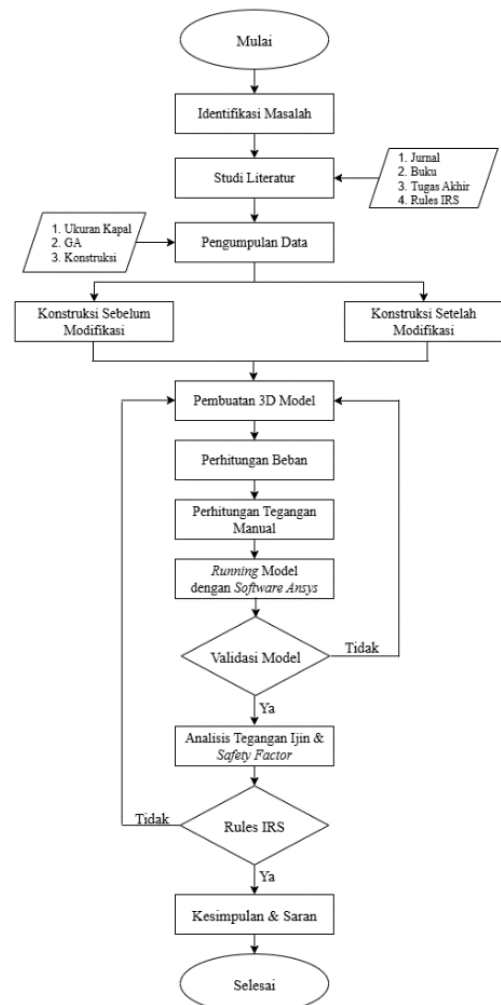
2) Studi Literatur

Proses ini diawali dengan mempelajari sistematika perhitungan yang akan digunakan dalam penelitian, dengan mengacu pada berbagai sumber referensi seperti buku, jurnal ilmiah, dan literatur terkait lainnya. Landasan teori yang digunakan sebagai acuan dalam pengolahan serta analisis data meliputi:

1. *Rules IRS 2024*
2. Teori mekanika Teknik
3. *Software Ansys*

3) Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendukung dalam proses pengerjaan penelitian, sehingga model yang dibuat mendapatkan hasil yang akurat. Data - data tersebut akan digunakan untuk mendukung proses perhitungan, simulasi,



Gambar 2. Flowchart Penelitian

dan pengambilan keputusan dalam penelitian ini. Adapun data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data ukuran kapal
2. *Lines plan*
3. *General arrangement*
4. Gambar konstruksi

4) Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan Model

Pemodelan tiga dimensi dilakukan dengan menggunakan *software Fusion 360*, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk analisis kekuatan struktur melalui simulasi menggunakan *software ANSYS* (Fajri, Mulyatno & Kiryanto, 2023).

2. Pembebanan dan *Running* Analisis

Pembebanan struktur ditentukan berdasarkan hasil perhitungan beban operasional. Analisis kekuatan dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui *software ANSYS 2024 R1* untuk mensimulasikan distribusi tegangan dan deformasi pada area yang telah dimodifikasi. Hasil simulasi dievaluasi dengan membandingkan tegangan yang terjadi terhadap batas tegangan izin material serta nilai faktor keamanan (*safety factor*) guna menilai pengaruh modifikasi terhadap kekuatan struktur utama kapal.

5) Validasi

Validasi adalah Melakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan standar perancangan atau data eksperimen sebagai upaya untuk memvalidasi performa desain. Proses ini berfungsi sebagai tolok ukur dalam menilai apakah hasil analisis mendekati kondisi yang sebenarnya. Validasi dapat dilakukan melalui perbandingan dengan perangkat lunak lain atau menggunakan metode perhitungan manual.

6) Analisis dan Pembahasan

Analisis dalam penelitian ini mengacu pada standar yang ditetapkan oleh *Indian Register of Shipping* (IRS) sebagai pedoman utama untuk menjamin bahwa modifikasi struktur kapal

memenuhi aspek teknis dan keselamatan. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan maksimum, deformasi maksimum, tegangan izin, serta faktor keamanan (*safety factor*) yang dihitung berdasarkan ketentuan IRS. Hasil simulasi metode elemen hingga kemudian dibandingkan dengan batas tegangan dan deformasi yang diizinkan guna memastikan struktur tetap aman dan layak beroperasi.

7) Penarikan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang telah disesuaikan dengan tujuan penelitian. Selain itu, disampaikan pula rekomendasi untuk pengembangan penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan topik ini.

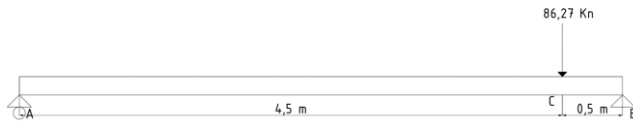
HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Data Kapal

Name	: ASD Tug
Type	: Tugboat
Lenght (LOA)	: 29.00 M
Lenght (LWL)	: 28.30 M
Breadth (MLD)	: 10.50 M
Depth (MLD)	: 4.96 M
Draft	: 4.00 M
Complement	: 8 Person

2) Asumsi Pembebanan

Asumsi pembebanan diperoleh dari gaya tarik *towing winch* yang dihitung secara manual serta berat dari *towing winch* itu sendiri. Asumsi ini kemudian diaplikasikan pada dua model, yaitu sebelum modifikasi *deck house* dan setelah modifikasi *deck house*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Free body diagram

3) Perhitungan Pembebanan

Pada pembebanan ini diasumsikan bahwa *tugboat* sedang menarik kapal tongkang. Gerakan menarik oleh *tugboat* digambarkan bahwa, kapal tongkang yang sebelumnya sudah diikat dengan tali penarik (*tow line*), kemudian tali penarik (*tow line*) ini juga diikatkan pada *towing bolder* pada *tugboat*. Setelah pengikatan tali penarik (*tow line*) sudah siap, maka secara perlahan kapal tongkang ditarik oleh *tugboat* sesuai tujuan yang diinginkan. Untuk perhitungan pembebanannya menggunakan rumus sebagai berikut (Referensi : *Technical Paper Association of Hanseatic Marine Underwriters, Capt.P.Zahalka*) :

$$(t) = \text{BHP} \times 0.9 \times 1.20/100 \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan (1), diperoleh:

$$\begin{aligned} &= 1031.694 \times 0.9 \times 1.20/100 \\ &= 11.142 \text{ Ton} \\ &= 11 \text{ Ton} \end{aligned}$$

Maka didapatkan kapasitas *bollard pull* sebesar 11 ton. Setelah itu menghitung EHP mesin *tugboat* menggunakan pendekatan *watson* dan didapatkan hasilnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{BHP MCR} &= 1031.694 \text{ HP} \\ \text{BHP SCR} &= 876.9401 \text{ HP} \\ \text{SHP} &= 859.4013 \text{ HP} \\ \text{DHP} &= 842.2133 \text{ HP} \\ \text{EHP} &= 519.3328 \text{ HP} \\ \text{EHP} &= \text{RT Service} \times V_s \\ \text{RT Service} &= 51.93328 \text{ Kn} \\ \text{W Towing} &= 34335 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka gaya kapal tunda untuk uji tarikan dengan kapasitas *bollard pull* 11 ton adalah 86268.28 Newton. Hasil tersebut didapatkan dari penambahan RT service dan berat *towing winch*.

4) Analisis Kekuatan

Software ANSYS merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membantu analisis menggunakan metode elemen hingga (Marpaung, 2025). Program ini termasuk salah satu *software* dalam proses analisis yang akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian berikutnya. Adapun tahapan penggunaannya diuraikan sebagai berikut:

1. Proses Pendefinisian Element Type

Jenis elemen yang digunakan dalam pemodelan dapat ditentukan secara spesifik sesuai kebutuhan, dengan mempertimbangkan karakteristik elemen yang paling sesuai dengan kondisi nyata dari struktur yang dianalisis (Purba S.D.A, I.P Mulyatno & A.Firdhaus, 2024).

2. Penentuan *Material Properties*

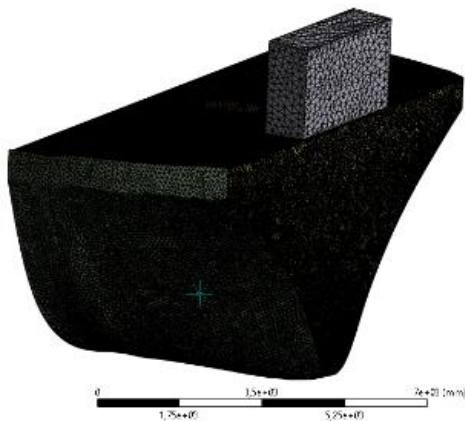
Material properties pada model dapat ditentukan sesuai kebutuhan, dengan mendefinisikan nilai modulus elastisitas dan rasio *Poisson* sesuai spesifikasi yang diinginkan (Pratama & Agusman, 2023). Pada penelitian ini, jenis material yang digunakan adalah baja standar tipe *grade A 131*, dengan spesifikasi material sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Density} &: 7850 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Yield Strenght} &: 235 \text{ MPa} \\ \text{Ultimate Tensile Strenght} &: 400 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Proses *Meshing*

Proses *meshing* merupakan tahapan di mana model dipecah menjadi elemen-

elemen yang saling terhubung melalui *node*, membentuk representasi numerik dari struktur (Wahyudi, Mulyanto & Samuel, 2025). Semakin kecil nilai ukuran elemen yang digunakan, maka hasil *meshing* menjadi lebih halus dan detail. Sebaliknya, jika ukuran elemen yang lebih besar digunakan, hasil *meshing* cenderung kurang akurat. Hasil proses *meshing* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Hasil *meshing*

4. Penentuan *Boundary Condition*

Boundary condition merupakan kondisi batas yang diterapkan pada model untuk merepresentasikan interaksi antara struktur dan lingkungannya, sekaligus menggambarkan bagaimana beban bekerja pada model (Karbala & Nugraha, 2025). Penentuan kondisi batas memiliki peran krusial dalam simulasi, karena secara langsung memengaruhi respons struktural serta hasil akhir dari analisis. Dalam penelitian ini, penerapan *boundary condition* mengacu pada ketentuan dalam *Rules IRS Guidelines on Structural Assessment of Ships Based on Finite Element Method* (Indian Register of Shipping (IRS), 2020) sebagaimana

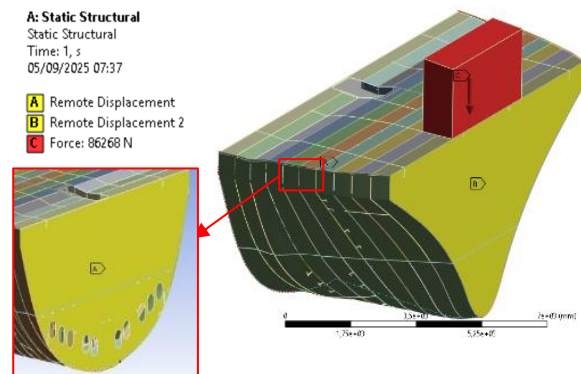
ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Boundary condition*

Lokasi	Translasi		
	X	Y	Z
Aft	-	Fix	Fix
Fore	-	Fix	Fix
Lokasi	Rotasi		
	X	Y	Z
Aft	Fix	-	-
Fore	Fix	-	-

Sumber: *Rules IRS*, 2020

Kondisi batas diterapkan pada kedua sisi model, yaitu bagian depan dan belakang, untuk memastikan representasi kondisi nyata pada struktur kapal secara akurat dalam analisis elemen hingga. Penerapan kondisi batas tersebut divisualisasikan pada Gambar 5.



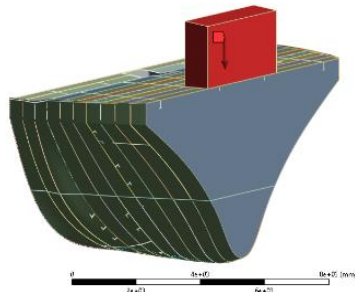
Gambar 4. *Boundary condition*

5. Penginputan Beban

Perhitungan pembebanan menggunakan rumus mekanika teknik (Novian, Zakki & Kiryanto, 2021). Beban yang diterima konstruksi *tugboat* berasal dari berat *towing winch* sebesar 3,5ton dan gaya tarik yang dihasilkan oleh *tugboat* yaitu 51933.28 N. Hasil penjumlahan keduanya memberikan total beban yang diinputkan pada perangkat lunak FEM sebesar 86268,28 N,

sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6.

A: Static Structural
Force
Time: 1, s
05/09/2025 07:39
Force: 86268 N
Components: 0,0,-86268



Gambar 5. Input force

6. General Postprocessing

Dalam tahap *postprocessing* akan dapat diketahui hasil dari *running* perhitungan *software*. Nantinya didapatkan hasil *stress* maksimum.

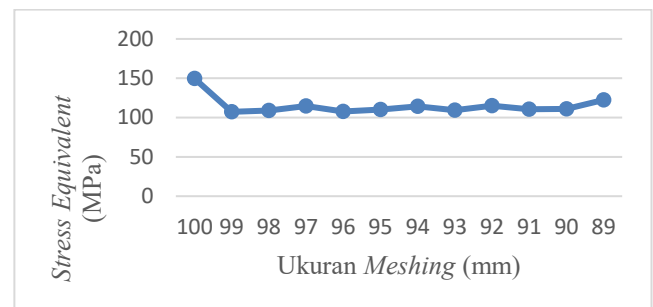
5) Uji Konvergensi

Ukuran *meshing* yang sesuai diperoleh melalui proses uji konvergensi. Pengujian konvergensi *meshing* dilakukan sebagai bentuk validasi proses *meshing*, dengan mempertimbangkan kestabilan nilai defleksi dan hasil tegangan (Arif et al., 2025). Nilai konvergensi diperoleh melalui perbandingan antara hasil tegangan, ukuran *meshing*, dan jumlah elemen yang digunakan. Suatu model dinyatakan telah mencapai kondisi konvergen apabila perbedaan hasil antara *running* satu dengan yang lainnya kurang dari 5% (Cook, 1995).

Tabel 2. Uji konvergensi sebelum modifikasi

Iterasi	Ukuran <i>Meshing</i> (mm)	Tegangan Maksimum FEM (MPa)	Presentase (%)
1	100	149.64	-
2	99	107.27	39.50%
3	98	108.8	1.41%

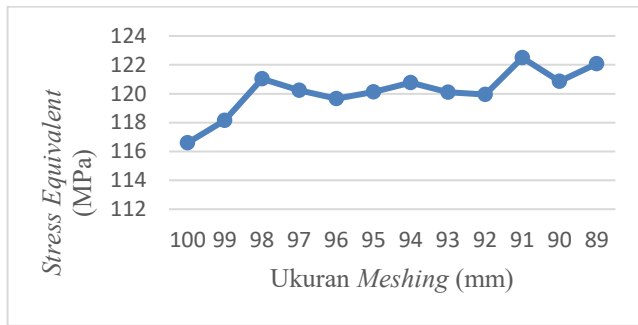
Iterasi	Ukuran <i>Meshing</i> (mm)	Tegangan Maksimum FEM (MPa)	Presentase (%)
4	97	114.68	5.13%
5	96	107.82	6.36%
6	95	110.11	2.08%
7	94	114.25	3.62%
8	93	109.18	4.64%
9	92	115.05	5.10%
10	91	110.4	4.21%
11	90	110.96	0.50%
12	89	122.35	9.31%



Gambar 6. Grafik uji konvergensi

Tabel 3. Uji konvergensi setelah modifikasi

Iterasi	Ukuran <i>Meshing</i> (mm)	Tegangan Maksimum FEM (MPa)	Presentase (%)
1	100	116.6	-
2	99	118.16	1.32%
3	98	121.04	2.38%
4	97	120.23	0.67%
5	96	119.65	0.48%
6	95	120.13	0.40%
7	94	120.76	0.52%
8	93	120.11	0.54%
9	92	119.94	0.14%
10	91	122.49	2.12%
11	90	120.86	1.35%
12	89	122.08	1.00%



Gambar 7. Grafik uji konvergensi

Dari Tabel 2 dan Gambar 7 didapatkan hasil bahwa *meshing* model telah mencapai konvergen pada ukuran *meshing* 90 mm dan didapatkan nilai sebesar 0.50 % sedangkan pada Tabel 3 dan Gambar 8 didapatkan hasil bahwa *meshing* model telah mencapai konvergen pada ukuran *meshing* 92 mm dan didapatkan nilai sebesar 0.14 % dan dapat dikatakan bahwa model telah konvergen karena kurang dari 5 %.

6) Validasi

Salah satu metode validasi yang umum digunakan adalah dengan membandingkan hasil tegangan yang diperoleh dari analisis menggunakan *software* dengan hasil perhitungan manual. Perbandingan ini menunjukkan sejauh mana penyimpangan antara model numerik dan pendekatan analitik, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk menyimpulkan tingkat keandalan model.

Adapun perhitungan tegangan ekuivalen (*equivalent stress*) dalam penelitian ini menggunakan kriteria *Von Mises* (Budynas & Nisbett, 2015), yaitu:

$$\tau_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2)$$

Dimana :

σ = Tegangan Normal (N/m²)

τ = Tegangan geser (N/m²)

τ_v = Tegangan ekuivalen (N/m²)

Persamaan (2) diperoleh dari teori kegagalan *von Mises* yang menjelaskan bahwa suatu material akan mengalami leleh apabila energi distorsi maksimum akibat kombinasi tegangan normal dan tegangan geser melampaui batas leleh material (Budynas & Nisbett, 2015).

Tabel 4. Validasi

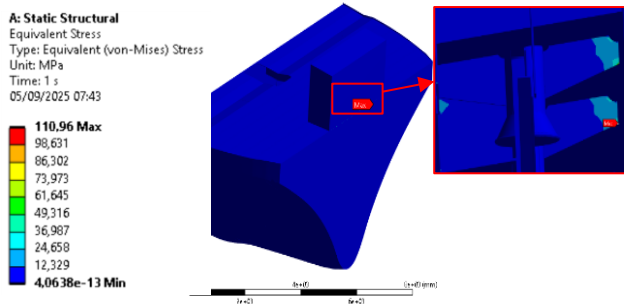
Kondisi	Analitik (Mpa)	Software FEM (Mpa)	Validasi (%)
Sebelum Modifikasi	116.33	110.96	95.38 %
Sesudah Modifikasi	116.33	119.94	96.99 %

Berdasarkan hasil perbandingan antara perhitungan manual dan hasil analisis menggunakan *software* FEM yang ditunjukkan pada Tabel 4, diperoleh persentase validasi yang masih berada di bawah 10%. Presentasse ini mengadopsi dari sumber yaitu (Budi et al., 2023) yang menganalisis kekuatan konstruksi kapal *tugboat* dari perhitungan teori dan simulasi FEM. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model tersebut telah memenuhi kriteria valid dan dapat diterima.

7) Hasil Analisis

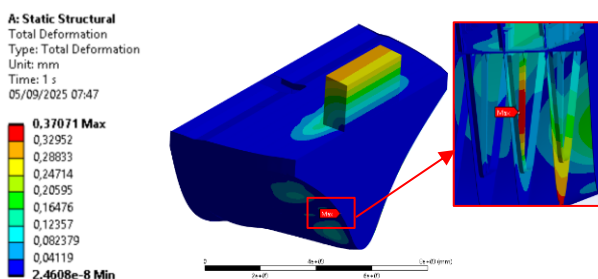
a. Kondisi Sebelum Modifikasi Deck House

Pada model konstruksi sebelum modifikasi telah dilakukan beberapa kali simulasi dengan variasi ukuran *meshing* yang berbeda. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, ukuran *meshing* 90 mm memberikan hasil yang paling mendekati dengan perhitungan manual. Rincian hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada uraian berikut.



Gambar 8. Hasil tegangan ekuivalen sebelum modifikasi *deck house*

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 9, diketahui bahwa tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi sebesar 110.96 MPa yang terletak pada bagian *bracket* pondasi *towing winch*, sedangkan tegangan ekuivalen minimum tercatat sebesar 4.0638×10^{-13} MPa.



Gambar 9. Hasil deformasi sebelum modifikasi *deck house*

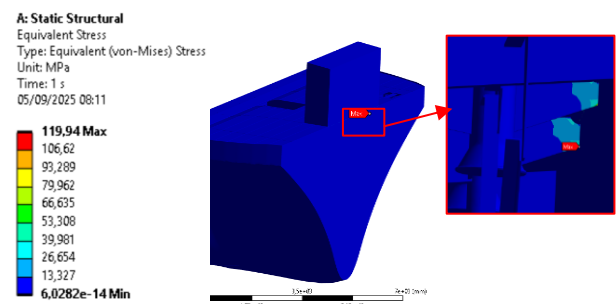
Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 10, diperoleh nilai deformasi maksimum sebesar 0.37071 mm yang terletak pada bagian *frame* 50, sedangkan deformasi minimum tercatat sebesar 2.4608×10^{-8} mm.

b. Kondisi Sebelum Modifikasi *Deck House*

Pada model konstruksi setelah modifikasi telah dilakukan beberapa kali simulasi dengan

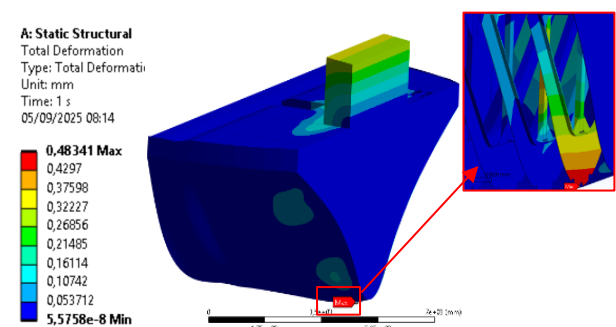
variasi ukuran *meshing* yang berbeda.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, ukuran *meshing* 92 mm memberikan hasil yang paling mendekati dengan perhitungan manual. Rincian hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada uraian berikut.



Gambar 10. Hasil tegangan ekuivalen setelah modifikasi *deck house*

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 11, diketahui bahwa tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi sebesar 119.94 MPa yang terletak pada bagian *bracket* pondasi *towing winch*, sedangkan tegangan ekuivalen minimum tercatat sebesar 6.0282×10^{-14} MPa.



Gambar 11. Hasil deformasi setelah modifikasi *deck house*

Berdasarkan hasil simulasi yang ditampilkan pada Gambar 12, diperoleh nilai

deformasi maksimum sebesar 0.48341 mm yang terletak pada bagian *frame* 51, sedangkan deformasi minimum tercatat sebesar 5.5758×10^{-8} mm.

8) Analisis Tegangan Ijin Menurut Rules IRS

Untuk mengetahui nilai dari tegangan yang terjadi pada model yang dianalisis dapat menggunakan rumus sesuai *rules* IRS Part 5 Chapter 7 sec 3 sebagai berikut (Indian Register of Shipping (IRS), 2024), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (3).

$$\sigma_e = 0,9 \cdot \sigma_y \quad (3)$$

Dimana :

σ_e = Tegangan ekuivalen

σ_y = *Yield stress* material

Nilai tegangan maksimum material yang diperoleh adalah 211.5 MPa. Hal ini berarti bahwa tegangan yang dihasilkan dari analisis tidak boleh melampaui batas 211.5 MPa sebagai tegangan yang diizinkan. Pengecekan dilakukan dengan cara membandingkan kekuatan maksimal dengan tegangan ijin material sesuai aturan *rules* (Shidqi, Good & Yudo, 2024).

Tabel 5. Tegangan ijin

Kondisi	Tegangan Ijin (MPa)	Tegangan Maksimum (MPa)	Keterangan
Sebelum Modifikasi	211.5	110.96	Memenuhi
Sesudah Modifikasi	211.5	119.94	Memenuhi

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum masih berada di bawah tegangan ijin sebesar 211.5 MPa. Pada kondisi sebelum modifikasi tegangan maksimum bernilai sebesar 110.96 MPa, sedangkan setelah modifikasi

bernilai sebesar 119.94 MPa. Kedua kondisi tersebut masih berada dalam batas aman sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh *rules* IRS.

9) Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan merupakan ukuran kemampuan suatu material dalam menahan berbagai jenis beban dari luar, baik beban tekan (*compressive load*) maupun beban tarik (*tensile load*) (Anfara & Pranatal, 2024). Suatu struktur dapat dinyatakan aman apabila nilai *safety factor* (Sf) ≥ 1 (Pratama, Yudo & Mulyanto, 2020). Untuk memastikan struktur memenuhi syarat keamanan, nilai *safety factor* dapat dihitung menggunakan rumus, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (4).

$$SF = \frac{\sigma_{izin}}{\sigma_{terjadi}} \geq 1 \quad (4)$$

Tabel 6. *Safety factory*

Kondisi	Tegangan Ijin (MPa)	Tegangan Maksimum (MPa)	FS	Ket
Sebelum Modifikasi	211.5	110.96	1.9	Aman
Sesudah Modifikasi	211.5	119.94	1.8	Aman

Dari perhitungan faktor keamanan yang ditunjukkan pada Tabel 6, diperoleh hasil bahwa sebelum modifikasi sebesar 1.9, sedangkan setelah modifikasi di dapatkan hasil nilai *safety factor* sebesar 1.8. Meskipun terjadi sedikit penurunan nilai *safety factor* dibandingkan sebelum modifikasi, nilai SF setelah modifikasi masih lebih besar dari satu, yang berarti struktur tetap berada dalam kondisi aman terhadap beban kerja yang dikenakan.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis kekuatan struktur kapal *tugboat* akibat modifikasi pada bagian *deck house*, dapat disimpulkan bahwa modifikasi tersebut memberikan pengaruh terhadap nilai tegangan dan deformasi maksimum struktur. Tegangan maksimum mengalami peningkatan dari 110.96 MPa menjadi 119.94 MPa, begitu pula dengan deformasi yang naik dari 0.37071 mm menjadi 0.48341 mm. Meskipun terjadi kenaikan, nilai-nilai tersebut masih berada di bawah batas tegangan ijin material sebesar 211.5 MPa sesuai aturan Rules IRS, sehingga struktur dinyatakan aman secara teknis. Selain itu, nilai safety factor sebesar 1.8 menunjukkan bahwa struktur memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban kerja, karena berada di atas batas minimum yang disyaratkan (≥ 1). Dengan demikian, modifikasi *deck house* pada kapal *tugboat* tidak menimbulkan risiko kegagalan struktur dan memenuhi kriteria kekuatan teknis yang dipersyaratkan untuk pengoperasian secara aman.

REFERENCES

- Karbala & Nugraha, A.F., 2025, 'Analisa Kekuatan Shackle Pada Proses Docking Undocking di Galangan Kapal Menggunakan Metode FEM (Finite Element Method)', *Innovative: Journal of Social Science Research*, 5(3), 4163–4176. <https://doi.org/10.31004/innovative.v5i3.19341>
- Anfara, A.A. & Pranatal, E., 2024, 'Analisis Kekuatan Pondasi Towing winch Kapal OSV S-140 Menggunakan Metode FEM', *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan IV (SENASTITAN IV)*, Surabaya, 2 Maret 2024. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. ISSN 2775-5630.
- Arif, M. N., Bahatmaka, A., Handiko, Y. D., Rinonggo, M. D., & Imran, A. I., 2025, Analisa Kekuatan Rangka Pada Struktur Geladak Kendaraan SHIP-BUS Menggunakan Finite Element Method. *ENTHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 10(2), 75–87. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v9i4>
- Budi, S.S., Sanjaya, F.L., Fatkhurrozak, F., Syarifudin, & Ariyanto, N.A., 2023, 'Analisis Perpindahan Gaya SideLoad Pegas Suspensi Tipe C Menggunakan Finite Element Method (FEM)', *Infotekmesin*, 14(2), pp. 208–213. doi:10.35970/infotekmesin.v14i2.1783.
- Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. (2015) *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 10th ed. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 978-0-07-339820-4.
- Cook, R.D., 1995, *Finite Element Modeling for Stress Analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Fajri, K., Mulyatno, I.P. & Kiryanto, 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.
- Indian Register of Shipping (IRS), 2020, *IRS-G-DES-05 - Guidelines on Structural Assessment of Ships based on Finite Element Method*. December. pp. 1–95.
- Siagian, J.M.G., Zakki, A.F. and Iqbal, M., 2020, 'Kajian kekuatan struktur dan buckling pada Livestock Carrier Catamaran 1500 DWT dengan metode elemen hingga', *Jurnal*

- Teknik Perkapalan*, 8(3), pp. 360–367.
- Purwanto, A., 2023, Optimalisasi dalam rekrutmen kapal jenis Azimuth Stern Drive (ASD) terhadap keselamatan olah gerak kapal (MV. Jawar Karbala). *Karya Ilmiah Terapan*. Balai Besar Pendidikan Penyebaran dan Peningkatan Ilmu Pelayaran (BP3IP), Jakarta.
- Marpaung, S., 2025, Simulasi numerik dan analisis kekuatan tarik belah komposit laminat jute/epoksi dengan Ansys Workbench 2022. *Skripsi. Fakultas Teknik*, Universitas Medan Area, Medan.
- Novian, A.B., Zakki, A.F. & Kiryanto, 2021, Analisis kekuatan struktur stern ramp door dengan variasi bentuk clevis pada kapal ferry ro-ro 600 GT. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 9(2), pp.173–182.
- Pratama, A. & Agusman, D., 2023, ‘Analysis Kekuatan Kontruksi Rangka Pada Perancangan Design Belt Conveyor Menggunakan Ansys Workbench’, *Jurnal Sain dan Teknik*, 5(1), 12–22.
- Pratama, M.H., Yudo, H. & Mulyanto, I.P., 2020, Analisis kekuatan konstruksi car deck kapal penyeberangan 1000 GT akibat perubahan muatan dengan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 8(3), pp.426–434.
- Purba, S.D.A., Mulyatno, I.P. & Firdhaus, A., 2024, Analisis hull strength kapal ikan 5 GT bahan fiberglass menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(2), pp.1–8.
- Indian Register of Shipping (IRS) 2024, *Rules and Regulations for the Construction and Classification of Steel Ships*, July 2024 edition, Indian Register of Shipping, Mumbai.
- Firmansyah, M.F. & Pranatal, E., 2025, Analisis kekuatan struktur deck akibat penambahan boat crane pada kapal Fast Utility Vessel 40 m dengan metode FEM analysis. In: *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan V (SENASTITAN V)*, Surabaya, 15 Maret 2025. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Shidqi, M.I., Rindo, G. & Yudo, H., 2023, Analisa kekuatan konstruksi pada kendaraan amfibi pengangkut artileri (KAPA) menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 11(2), pp.31–38.
- ISO, 2018, *ISO 5894:2018 Ships and marine technology — Manholes with bolted covers*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Wahyudi, P.A.D., Mulyatno, I.P. & Samuel, 2025. Kajian kekuatan konstruksi car deck dengan finite element method pada kapal Ro-Ro 2919 GT. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 13(2), pp.1–11.