

ANALISIS STRUKTUR *WHEELHOUSE* AKIBAT PERUBAHAN UKURAN *MASTHEAD* PADA KAPAL SPOB 1500-KL

Rizqy Rohman¹, Dhika Aditya Purnomo^{1*}, Fais Hamzah¹

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: adityadhika@ppns.ac.id

Abstrak

Perubahan tinggi *masthead* pada SPOB (*Self-Propelled Oil Barge*) 1500-KL ditingkatkan dari 4525 mm menjadi 7200 mm untuk memenuhi persyaratan pemasangan lampu navigasi sesuai dengan konvensi peraturan internasional untuk mencegah tabrakan di laut COLREG (*Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*). Modifikasi ini meningkatkan beban statis pada struktur *wheelhouse*, sehingga diperlukan evaluasi terhadap integritas strukturnya. Studi ini menganalisis respons struktural *wheelhouse* sebelum dan sesudah perubahan ketinggian *masthead* untuk menentukan apakah desain yang ada masih berada dalam batas aman. Analisis numerik dilakukan menggunakan MEH (Metode Elemen Hingga) dengan perangkat lunak Fusion 360. Simulasi dilakukan untuk dua konfigurasi ketinggian *masthead* 4525 mm (awal) dan 7200 mm (modifikasi) dengan beban angin dari arah depan, belakang, dan samping kapal. Hasil menunjukkan peningkatan tegangan yang signifikan setelah perubahan ketinggian *masthead*. Pada desain awal, nilai tegangan di semua kondisi masih berada dalam batas aman. Namun, pada kondisi yang dimodifikasi, tegangan maksimum mencapai 215,035 MPa di bawah beban angin dari depan, 187,769 MPa dari belakang, dan 140,255 MPa dari samping. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa struktur tidak aman terhadap beban angin dari arah depan dan belakang. Studi ini menyoroti dampak langsung perubahan ketinggian *masthead* terhadap kekuatan *wheelhouse* dan dapat menjadi referensi untuk evaluasi struktural lebih lanjut, termasuk kemungkinan penambahan kekuatan atau redesain.

Kata kunci: analisis struktur, konstruksi *wheelhouse*, *masthead*, MEH, SPOB 1500-KL

Abstract

The *masthead* height on the SPOB (*Self-Propelled Oil Barge*) 1500-KL was increased from 4525 mm to 7200 mm to meet the requirements for navigation light installation in accordance with the Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea. This modification increased the static load on the *wheelhouse* structure, requiring an evaluation of its structural integrity. This study analyzes the structural response of the *wheelhouse* before and after the *masthead* height change to determine whether the existing design remains within safe limits. Numerical analysis using the FEM (Finite Element Method) was conducted with Fusion 360 software. Simulations were performed for two *masthead* configurations 4525 mm (initial) and 7200 mm (modified) under wind loads from the front, rear, and side of the vessel. The results show a significant increase in stress following the *masthead* height change. In the original design, stress values under all conditions were within safe limits. However, in the modified condition, maximum stress reached 215,035 MPa under front wind load, 187,769 MPa under rear wind load, and 140,255 MPa under side wind load. These values indicate that the structure is unsafe under wind loads from the front and rear directions. This study highlights the direct impact of *masthead* height changes on *wheelhouse* strength and serves as a reference for further structural evaluation, including potential reinforcement or redesign.

Keywords: FEM, *masthead*, SPOB 1500-KL, structural analysis, *wheelhouse* construction

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan kebutuhan akan efisiensi operasional dalam industri maritim mendorong adanya peningkatan kualitas desain kapal, baik dari segi performa, keselamatan, maupun kepatuhan terhadap regulasi internasional. Salah satu aspek penting dalam desain kapal adalah struktur *wheelhouse* (anjungan), yang berperan sebagai pusat kendali navigasi dan komunikasi. Posisi strategisnya di atas kapal menjadikan *wheelhouse* sebagai elemen struktural yang harus memiliki kekuatan dan stabilitas tinggi, terutama ketika menerima beban tambahan seperti pemasangan *masthead light*.

Wheelhouse pada kapal *Self-Propelled Oil Barge* (SPOB), yaitu kapal pengangkut minyak dengan sistem propulsi mandiri, harus memenuhi standar teknis dan keselamatan sesuai ketentuan internasional seperti *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*. Dalam penerapannya, penempatan dan ketinggian lampu navigasi harus dirancang sedemikian rupa untuk menjamin visibilitas optimal. Secara khusus, ketika kapal memiliki dua *masthead light*, maka lampu depan harus berada setidaknya 6000 mm di atas geladak dan lampu belakang harus berada 4500 mm lebih tinggi dari lampu depan (COLREG, 1972).

PT XYZ menghadapi tantangan teknis pada proyek SPOB 1500-KL, di mana tinggi *masthead* awal 4525 mm tidak memenuhi ketentuan COLREG. Sebagai respons, tinggi *masthead* ditingkatkan menjadi 7200 mm, yang berdampak langsung pada beban struktural *wheelhouse* sehingga memerlukan analisis ulang kekuatannya.

Dalam konteks ini, evaluasi teknis berbasis *Finite Element Method* (FEM) menjadi pendekatan yang relevan untuk menilai performa struktur terhadap beban tambahan secara akurat. Metode ini memungkinkan simulasi distribusi tegangan dan deformasi pada komponen struktural sebelum proses fabrikasi dilakukan (Pranata, 2024). Penggunaan perangkat lunak seperti Fusion 360 juga memberikan keunggulan dalam integrasi antara pemodelan CAD dan analisis kekuatan, meminimalkan potensi kesalahan desain dan mempercepat pengambilan keputusan teknik.

Meskipun FEM telah banyak digunakan di industri perkapalan, kajian yang mengaitkan perubahan spesifikasi navigasi dengan dampaknya terhadap struktur *wheelhouse* SPOB masih terbatas. Penelitian ini menganalisis dampak peningkatan tinggi *masthead* terhadap kekuatan konstruksi *wheelhouse* dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah perubahan, guna menjadi landasan teknis perancangan ulang dan referensi praktis bagi industri galangan dalam menghadapi perubahan regulasi maritim.

TINJAUAN PUSTAKA

(A) Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan suatu prosedur komputasi berbasis numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang mekanika kontinu, dengan tingkat akurasi yang dapat diterima secara teknis (Pranata, 2024). Dalam metode ini, pelat elastis digantikan oleh model diskret yang terdiri dari elemen-elemen kecil yang saling terhubung di titik simpul (*node*). Hubungan antar simpul ini memungkinkan pemodelan kontinuitas tegangan dan perpindahan dari struktur asli secara mendekati.

Analisis struktur seperti pada *wheelhouse* dapat dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis FEM, misalnya Fusion 360. Proses analisis ini umumnya melalui tahapan berikut:

- (1) Pemodelan Geometri
- (2) Penentuan Studi Analisis
- (3) Penentuan Material
- (4) Proses *Meshing*
- (5) Penerapan Beban dan Kondisi Batas
- (6) *Post-Processing* (Analisis Hasil)

(B) Tegangan Izin

Tegangan adalah besaran fisika yang menggambarkan gaya internal yang bekerja pada tiap satuan luas suatu bidang dalam material, biasanya dinyatakan dalam satuan Newton per meter persegi (N/m²) atau Pascal (Pa) (Nurlina & Riska, 2018). Sedangkan, tegangan izin (*allowable stress*) merupakan batas maksimum tegangan yang diperbolehkan bekerja pada suatu struktur di bawah kondisi pembebanan berkelanjutan, tanpa menimbulkan deformasi permanen ataupun kerusakan pada material tersebut. Tegangan izin pada konstruksi *wheelhouse* ditentukan dalam BKI sebagai berikut (BKI, 2022):

$$\sigma_v \leq \frac{180}{K} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana:

σ_v : tegangan ekuivalen yang diizinkan (MPa)
 K : faktor material

(C) Von-Mises Stress

Von mises stress adalah tegangan ekuivalen yang digunakan untuk memprediksi kapan material mulai mengalami kelelahan plastis, dengan mempertimbangkan kombinasi semua tegangan yang bekerja di material tersebut (Mises, 1928). *Von mises stress* menggabungkan tegangan normal dan tegangan geser dari berbagai arah untuk memberikan tegangan ekuivalen tunggal. Jika tegangan ekuivalen ini melebihi tegangan luluh material, maka material dianggap mengalami deformasi plastis atau kegagalan. Rumus *von misses stress* sebagai berikut:

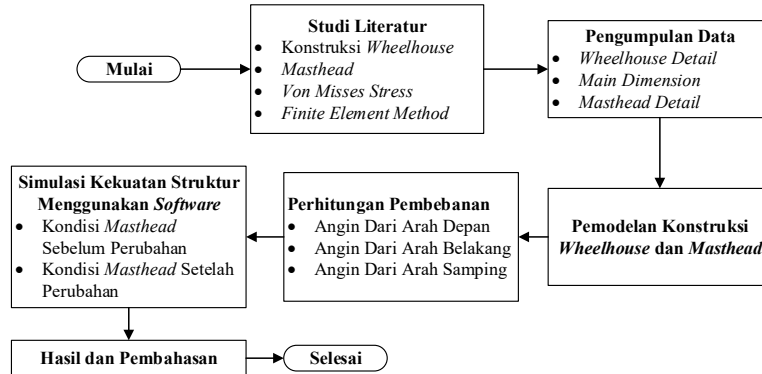
$$\sigma_v = \sqrt{(\sigma_t + \sigma)^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana:

σ_v : tegangan *von misses* (N/mm²)
 σ_t : tegangan aksial (N/mm²)
 σ : tegangan normal (N/mm²)
 τ : tegangan geser (N/mm²)

METODE

Metode penelitian meliputi beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:

**Gambar 1.** Flowchart**(A) Pengumpulan Data**

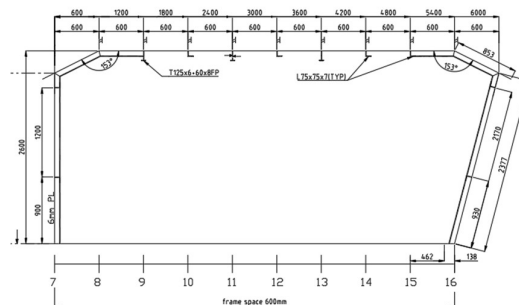
Kapal yang dijadikan objek dalam penelitian ini merupakan kapal jenis SPOB dengan kapasitas 1500 KL. Salah satu data yang digunakan dalam analisis adalah data dimensi utama kapal. Data utama kapal dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Data Utama Kapal

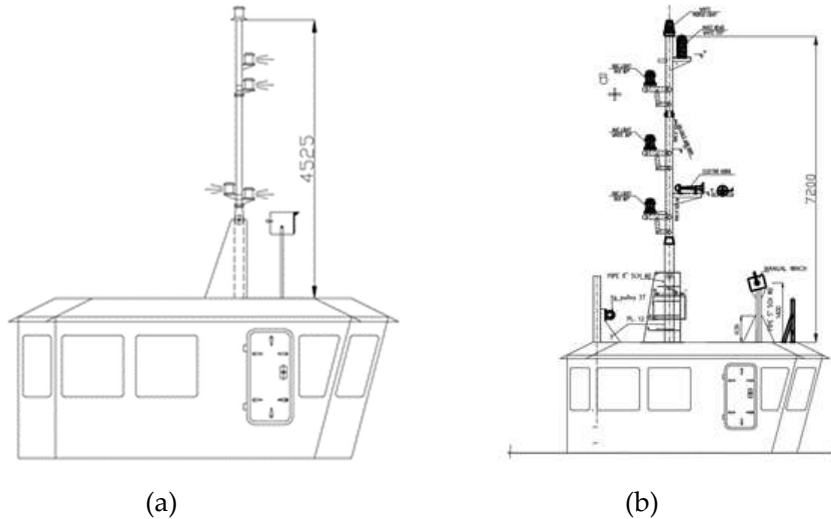
Data Utama Kapal	
Length Over All (LOA)	68.27 m
Length Water Line (LWL)	67.01 m
Length Between Perpendicular (LPP)	64.61 m
Breadth (B)	13.00 m
Height (H)	4.10 m
Draught Max (T)	3.28 m
Blok Coefficient (CB)	0.873 m
Ship Speed (Vs)	9 knots

Tabel 1 memuat data utama kapal SPOB 1500 KL, seperti LOA, LWL, LPP, lebar, tinggi, sarat maksimum, koefisien blok, dan kecepatan. Data ini menjadi acuan perancangan dan analisis *wheelhouse*, khususnya terkait beban dan kestabilan akibat perubahan ukuran *masthead*.

Data lain yang dibutuhkan untuk mendukung penyelesaian penelitian ini adalah data *wheelhouse* detail dari kapal SPOB 1500 KL. Informasi tersebut mencakup *construction profile* pada bagian *wheelhouse*. Pada konstruksi *wheelhouse* ini menggunakan profil T 125x6/FP 60x8 mm dan L 75x75x7 mm sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:

**Gambar 2.** Center Line Section Profile Wheelhouse

Selain itu, juga diperlukan data *masthead* sebelum dan setelah terjadi perubahan. Pengumpulan data ini dilakukan untuk memperoleh informasi yang relevan dan mendukung analisis berdasarkan rumusan masalah serta tujuan penelitian. Gambar *masthead* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:

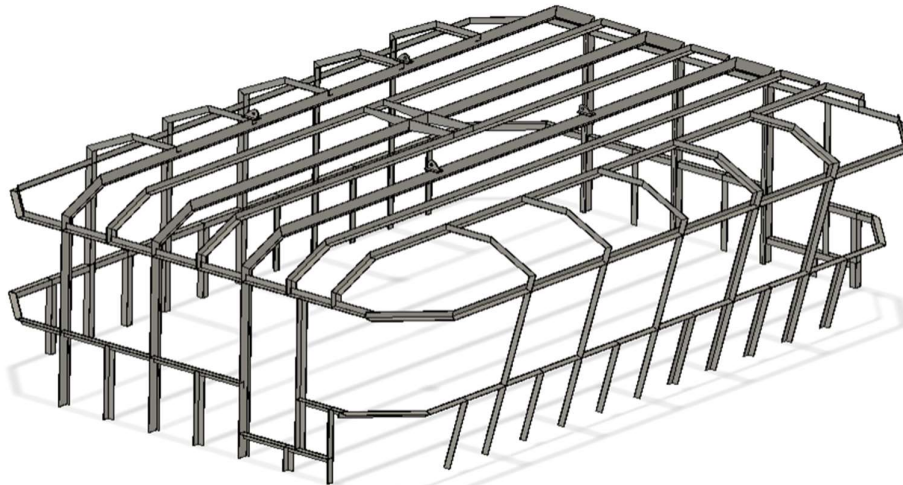


Gambar 3. Tampilan *Masthead*: (a) Sebelum Terjadi Perubahan, (b) Sesudah Terjadi Perubahan

Pada Gambar 3 (a) dan (b) memperlihatkan perubahan ukuran *masthead* yang awalnya 4525 mm menjadi 7200 mm.

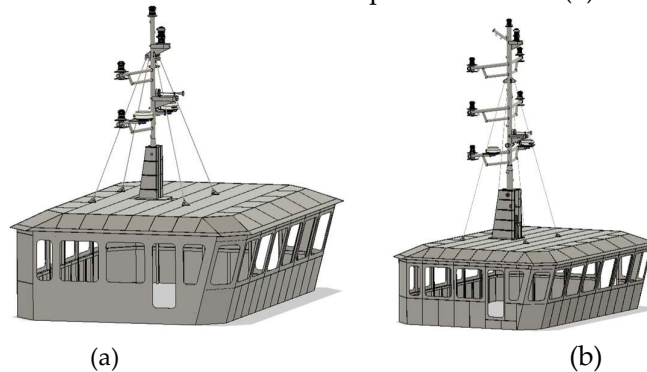
(B) Pemodelan *Wheelhouse* dan *Masthead*

Pemodelan 3D *wheelhouse* dilakukan di Fusion 360 *student version* berdasarkan data gambar konstruksi dan profil pada Gambar 2. Tujuannya menghasilkan geometri representatif agar analisis FEM mencerminkan kondisi aktual. Desain mempertahankan dimensi asli dan posisi di atas *deckhouse* pada garis tengah kapal. Seluruh bagian *wheelhouse* dimodelkan utuh seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. 3D *Wheelhouse Construction*

Tahap berikutnya adalah pemodelan *masthead* di atas *wheelhouse* sebagai penopang peralatan navigasi. Dua versi dibuat, yaitu sebelum dan sesudah perubahan, sesuai kondisi pada Gambar 3 dan divisualisasikan pada Gambar 5 (a) dan (b).



Gambar 5. 3D Wheelhouse: (a) Masthead Sebelum Perubahan, (b) Masthead Setelah Perubahan.

Melalui model ini, dilakukan simulasi pada beberapa skenario yang disebabkan oleh perubahan ukuran *masthead* untuk melihat dampaknya terhadap kekuatan struktur *wheelhouse*. Hasil dari simulasi ini akan digunakan sebagai dasar untuk membandingkan performa masing-masing rancangan dalam hal kekuatan struktur.

(C) Pembebanan

Konstruksi *wheelhouse* menerima beban dari struktur *masthead* dan beban angin. Beban dari *masthead* tidak dihitung secara manual karena sudah terintegrasi dalam model saat simulasi. Beban angin diperhitungkan dari tiga arah, yaitu depan, belakang, dan samping kapal, dengan besarnya dipengaruhi oleh kecepatan angin di wilayah pelayaran. Berdasarkan data, kecepatan angin rata-rata di perairan Samudera Indonesia berada pada kisaran 5 hingga 20 knot (Kurniawan et al., 2011).

Beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Quinones, 2017):

$$F = A \cdot P \cdot Cd \dots \dots \dots (3)$$

Di mana:

- F : beban angin
- A : luas permukaan yang terkena angin (m²)
- P : tekanan udara dinamis (Pa)
- Cd : koefisien drag (1,2)

(1) Beban Angin pada Masthead Awal

Untuk beban angin dari arah depan kapal kecepatan angin ditambahkan dengan kecepatan sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F &= A \cdot P \cdot Cd \\ &= 2,33 \text{ m}^2 \cdot 136,46 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2 \\ &= 381,24 \text{ kg} \\ &= 3739,98 \text{ N (angin dari arah depan)} \end{aligned}$$

Untuk beban angin dari arah belakang kapal dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F &= A \cdot P \cdot Cd \\ &= 2,33 \text{ m}^2 \cdot 64,91 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2 \end{aligned}$$

$$= 181,34 \text{ kg}$$

$$= 1778,95 \text{ N (angin dari arah belakang)}$$

Untuk beban angin dari arah samping kapal dapat dihitung sebagai berikut:

$$F = A \cdot P \cdot Cd$$

$$= 1,499 \text{ m}^2 \cdot 64,91 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2$$

$$= 116,82 \text{ kg}$$

$$= 1146,02 \text{ N (angin dari arah belakang)}$$

(2) Beban Angin pada *Masthead* Baru

Untuk beban angin dari arah depan kapal kecepatan angin ditambahkan dengan kecepatan kapal sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$F = A \cdot P \cdot Cd$$

$$= 4,786 \text{ m}^2 \cdot 136,46 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2$$

$$= 783,7 \text{ kg}$$

$$= 7687,88 \text{ N (angin dari arah depan)}$$

Untuk beban angin dari arah belakang kapal dapat dihitung sebagai berikut:

$$F = A \cdot P \cdot Cd$$

$$= 4,786 \text{ m}^2 \cdot 64,91 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2$$

$$= 372,76 \text{ kg}$$

$$= 3656,78 \text{ N (angin dari arah belakang)}$$

Untuk beban angin dari arah samping kapal dapat dihitung sebagai berikut:

$$F = A \cdot P \cdot Cd$$

$$= 3,279 \text{ m}^2 \cdot 64,91 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,2$$

$$= 255,42 \text{ kg}$$

$$= 2505,67 \text{ N (angin dari arah belakang)}$$

(D) Simulasi Kekuatan Struktur *Wheelhouse*

(1) *Study Materials*

Material yang digunakan dalam pemodelan disesuaikan dengan kondisi aktual pada konstruksi kapal SPOB 1500 KL. Dalam hal ini, digunakan baja tipe ASTM A36 sebagai material utama. ASTM A36 merupakan jenis baja grade A yang umum digunakan dalam konstruksi kapal karena memiliki kekuatan tarik yang baik, kemampuan fabrikasi yang tinggi, serta ketahanan terhadap beban dinamis dan lingkungan maritim.

(2) *Structural Constraints*

Jenis batasan atau *constraints* yang diterapkan pada model adalah *fixed support* atau tumpuan jepit. *Fixed support* ini diletakkan pada bagian permukaan bawah *wheelhouse*, yang diasumsikan sebagai area yang terhubung langsung dengan struktur utama kapal.

(3) *Load Conditions*

Kondisi pembebanan (*load conditions*) dalam analisis terdiri dari tiga skenario utama, yaitu beban angin yang datang dari arah depan kapal (*bow*), arah belakang kapal (*stern*), dan arah samping kapal (*beam*). Nilai dan arah beban angin yang digunakan dalam simulasi disesuaikan dengan perhitungan yang telah dijelaskan pada Subbab (C) Pembebanan, sehingga dapat mencerminkan kondisi ekstrem yang mungkin terjadi di laut.

(4) *Contact*

Kontak pada struktur *wheelhouse* dan *masthead* menggunakan *bonded* agar terhubung kaku tanpa pergerakan relatif. Pada lubang eyelug dan tali penahan *masthead* digunakan *separation* untuk memungkinkan tali bergerak bebas namun tetap tidak menembus geometri lubang, sehingga simulasi respons terhadap beban angin lebih realistis.

(5) *Meshing*

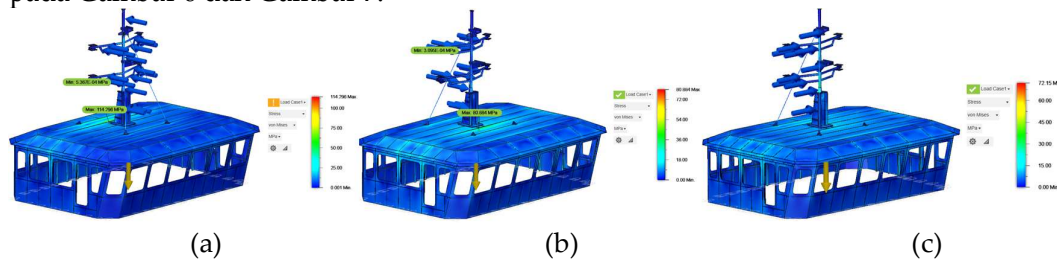
Proses *meshing* dilakukan dengan metode *model-based size*, yaitu pembuatan elemen *mesh* yang menyesuaikan secara proporsional terhadap ukuran dan kompleksitas geometri. Ukuran elemen ditentukan sebesar 6% dari dimensi referensi model, yang bertujuan untuk menghasilkan keseimbangan antara ketelitian analisis dan efisiensi waktu komputasi.

(6) *Solve*

Tahap *solve* dilakukan setelah pengaturan model selesai, mencakup material, beban, batasan, kontak, dan *meshing*. Proses ini menghitung respons struktur seperti distribusi tegangan dan *safety factor* yang menjadi dasar perbandingan performa antar desain *masthead*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

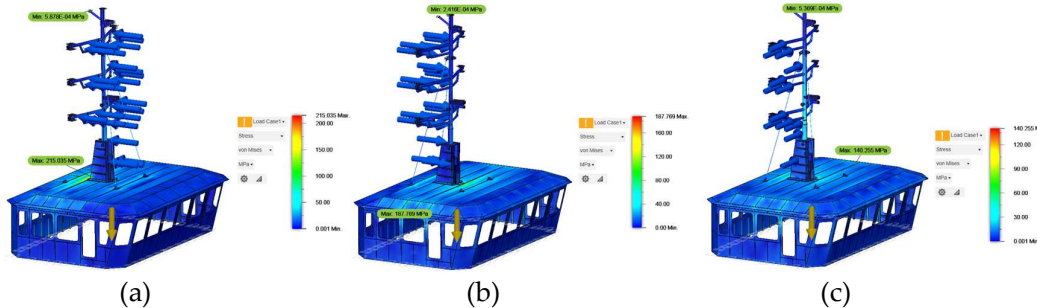
Hasil simulasi *software* menunjukkan distribusi tegangan maksimum pada area tertentu, mencerminkan respons material terhadap beban. Terlihat konsentrasi tegangan pada titik-titik yang perlu diperhatikan dalam evaluasi kekuatan, seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7:



Gambar 6. Distribusi Tegangan pada *Wheelhouse* dan *Masthead* Lama: (a) Angin dari Arah Depan, (b) Angin dari Arah Belakang, (c) Angin dari Arah Samping

Gambar 6 menunjukkan *static stress analysis wheelhouse* dengan *masthead* lama di Fusion 360. Tegangan maksimum terjadi pada beban angin depan sebesar 114,296 MPa di pelat *top deck* belakang *masthead*, diikuti angin belakang 80,884 MPa dan angin samping 72,15 MPa.

Selanjutnya, Gambar 7 di bawah ini memperlihatkan hasil distribusi tegangan pada model *wheelhouse* dengan *masthead* baru.



Gambar 7. Distribusi Tegangan pada *Wheelhouse* dan *Masthead* Baru: (a) Angin dari Arah Depan, (b) Angin dari Arah Belakang, (c) Angin dari Arah Samping.

Gambar 7 menunjukkan *static stress analysis wheelhouse* dengan *masthead* baru di Fusion 360. Tegangan maksimum terjadi pada beban angin depan sebesar 215,035 MPa di pelat *top deck* belakang *masthead*, diikuti angin belakang 187,769 MPa dan angin samping 140,255 MPa.

Selanjutnya, untuk memudahkan analisis, Tabel 2 menyajikan rekap nilai *maximum stress* tiap skenario pembebanan, sehingga performa struktural kedua model dapat dibandingkan secara ringkas dan jelas. Rekapitulasi hasil *maximum stress* tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. *Simulation Result*

<i>Static Stress Analysis Results</i>				
<i>Model</i>	<i>Load Case</i>	<i>Max Stress (MPa)</i>	<i>Allowable Stress (MPa)</i>	<i>Keterangan</i>
1	1	114,296	180	Aman
	2	80,884	180	Aman
	3	72,15	180	Aman
2	1	215,035	180	Tidak Aman
	2	187,769	180	Tidak Aman
	3	140,255	180	Aman

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa pada model simulasi 1, yaitu *wheelhouse* dengan *masthead* lama, seluruh kondisi pembebanan dari berbagai arah masih berada dalam batas aman, karena nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak melebihi tegangan izin material ASTM A36.

Namun, pada model simulasi 2, yaitu *wheelhouse* dengan *masthead* baru, terjadi peningkatan tegangan yang signifikan, terutama pada kondisi pembebanan angin dari arah depan dan belakang kapal. Nilai tegangan maksimum yang diperoleh pada dua kondisi tersebut melebihi batas tegangan yang diizinkan, sehingga struktur dinyatakan tidak aman terhadap beban yang dikenakan.

Peningkatan tegangan ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan dimensi atau geometri *masthead* yang menyebabkan distribusi beban menjadi lebih terkonsentrasi pada area tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan pada komponen di atas struktur *wheelhouse*, seperti *masthead*, dapat secara langsung memengaruhi integritas struktural keseluruhan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi ulang terhadap desain

konstruksi *wheelhouse* agar mampu menahan beban tambahan akibat perubahan tersebut.

KESIMPULAN

Hasil analisis model *wheelhouse* dengan *masthead* lama menunjukkan performa struktural yang aman terhadap seluruh kondisi pembebanan angin. Nilai tegangan maksimum tertinggi terjadi pada pembebanan angin dari arah depan sebesar 114,296 MPa, diikuti oleh arah belakang sebesar 80,884 MPa, dan arah samping sebesar 72,15 MPa. Seluruh nilai tersebut masih berada di bawah tegangan izin material ASTM A36, sehingga struktur dapat dinyatakan dalam kondisi aman.

Sebaliknya, pada model dengan *masthead* baru, terjadi peningkatan tegangan maksimum secara signifikan. Tegangan tertinggi tercatat sebesar 215,035 MPa akibat beban angin dari arah depan, dan 187,769 MPa dari arah belakang. Kedua nilai tersebut telah melebihi tegangan izin dari BKI, yaitu 180 MPa, yang mengindikasikan bahwa struktur tidak memenuhi kriteria kekuatan dan berisiko mengalami kegagalan.

Perubahan dimensi *masthead* menyebabkan konsentrasi tegangan meningkat pada area pelat *top deck* di belakang *masthead*. Oleh karena itu, setiap perubahan geometri pada komponen tambahan seperti *masthead* perlu disertai evaluasi ulang struktur, termasuk pertimbangan penguatan melalui peningkatan ketebalan pelat, penggantian material, atau modifikasi desain agar tetap memenuhi persyaratan keselamatan dan kekuatan struktur sesuai standar yang berlaku.

REFERENSI

- BKI. (2022). Peraturan Lambung (Konsolidasi 2022, Vol. 2). *Biro Klasifikasi Indonesia*. www.bki.co.id
- COLREG. (1972). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea. *Afcon*. https://www.afcan.org/dossiers_reglementation/colreg_gb/annex_1.html
- Kurniawan, D. (2022). Dasar-Dasar Teknik Konstruksi Kapal (N. Widianingsih, Ed.). *Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi*.
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., & Suratno, S. (2011). Variasi Bulanan Gelombang Laut Di Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*. 12(3). Doi:10.31172/jmg.v12i3.104
- Mises, R. V. (1928). Mechanik der plastischen Formänderung von Kristallen. *ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift Für Angewandte Mathematik Und Mechanik*. 8(3), 161–185. Doi:10.1002/zamm.19280080302
- Nurlina, N., & Riska, R. (2018). Fisika Dasar I (Muh. Fakhruddin, Ed.). *LPP Unismuh Makassar*.
- Pranata, Y. A. (2024). Metode Elemen Hingga (E. Risanto, Ed.; 1st ed.). ANDI.
- Quinones, J. (2017). Cara Menghitung Beban Angin. *WikiHow*. <https://id.wikihow.com/Menghitung-Beban-Angin>
- Suharto, D. D. (2020). Prinsip Pengenalan Bagian - Bagian Kapal. *Zifatama Jawara*.
- Tjahjono, Anang., Anggriawan, D. O., & Anisah, I. (2018). Structure Analysis of Masthead Light Using Finite Element Method. *International Conference on Applied Science and Technology (ICAST), Engineering Science*. 105–108.