



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Respon Struktur Kapal Perintis 750 DWT Terhadap Beban Gelombang di Perairan Indonesia

Betari Afwa Risetia<sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>1)</sup> Muhammad Iqbal<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275  
<sup>\*)</sup>e-mail :betariafwa@gmail.com

### Abstrak

Kapal perintis dibangun oleh pemerintah untuk memenuhi kebutuhan pelayaran nasional. Kelayakan struktur kapal sangat diperlukan agar dapat beroperasi dengan aman. Pada penelitian yang telah ada sebelumnya, dilakukan analisa respon struktur pada kapal berupa tegangan terhadap beban gelombang di laut Atlantik Utara dan perairan Indonesia. Analisa ini bertujuan untuk mencari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada kapal perintis tipe 750 DWT saat kondisi saggings dan hogging di dua perairan. Software FEM yang digunakan adalah Ansys Hydrodynamic Response untuk menganalisa respon gerak kapal dan respon struktur kapal dengan menggunakan Solidworks. Hasil yang didapat dari simulasi berupa nilai tegangan maksimum di Atlantik Utara pada kondisi saggings sebesar 71,71 MPa, dan untuk hogging sebesar 48,45 MPa. Sedangkan nilai tegangan maksimum di perairan Indonesia pada kondisi saggings adalah 58,30 MPa, dan hogging sebesar 38,71 MPa. Selain itu juga dilakukan perhitungan tegangan ijin berdasarkan rules dengan hasil sebesar 197,03 MPa. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan maksimum di dua perairan setiap kondisi telah memenuhi tegangan yang diijinkan.

Kata Kunci : Tegangan, FEM, Respon Struktur, Solidworks

### 1. PENDAHULUAN

Pemerintah, khususnya kementerian perhubungan membangun kapal perintis untuk mendukung sektor maritim di Indonesia. Kapal perintis merupakan jenis kapal penumpang dan barang. Kapal Perintis adalah kapal yang memiliki tugas menghubungkan daerah masih tertinggal dan/atau wilayah terpencil dan/atau daerah yang memerlukan angkutan perairan pelabuhan [1].

Sebuah kapal agar dapat beroperasi dengan baik maka harus didesain dengan struktur yang mampu bertahan serta layak untuk mengurangi kerusakan struktur akibat beban yang berasal dari luar kapal maupun beban dari kapal itu sendiri. Salah satunya adalah respon struktur terhadap beban gelombang di perairan. Tiap daerah perairan memiliki beban gelombang yang berbeda.

Penelitian mengenai perbandingan respon struktur terhadap beban gelombang antara laut Atlantik Utara dan perairan Indonesia telah banyak dilakukan sebelumnya. Beberapa penelitian yang menjadi pedoman yaitu, penelitian mengenai respon struktur kapal tanker yang dilakukan dengan kapal tanker 149 m memiliki tegangan sebesar 163 MPa saat kondisi saggings perairan atlantik utara, 115 MPa saat kondisi hogging perairan atlantik utara, 60,4 MPa kondisi saggings perairan Indonesia, dan 54 MPa kondisi hogging perairan Indonesia [2]. Penelitian lainnya merupakan respon struktur kapal bulk carrier dengan hasil kondisi *saggings* pada *north atlantic waterways* adalah 34.5 MPa, kondisi *saggings* pada *Indonesian waterways* adalah 20 MPa, pada kondisi *hogging* di *north atlantic waterways* adalah 64.5 MPa, kondisi *saggings* pada *Indonesian waterways* adalah 20 MPa [3]. Dan

terdapat penelitian terkait respon struktur kapal ro-ro passenger 99 m dengan hasil kondisi *Sagging North Atlantic Ocean* sebesar 160 MPa, kondisi *Hogging North Atlantic Ocean* sebesar 114 MPa, kondisi *Sagging Indonesian Waterways* sebesar 61,8 MPa dan kondisi *Hogging Indonesian Waterways* sebesar 70,2 MPa [4].

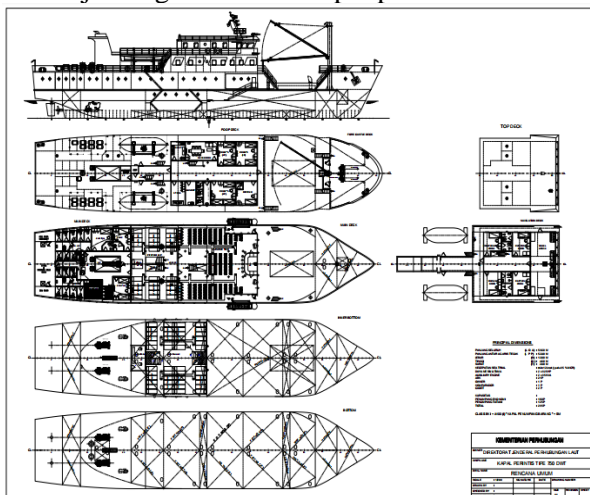
Analisa respon struktur terhadap beban gelombang yang akan dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan kapal perintis dengan bobot 750 DWT. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari nilai tegangan maksimum yang terjadi pada kondisi *sagging* dan *hogging* antara perairan atlantik utara dan perairan Indonesia. Selain itu untuk mengetahui apakah hasil tegangan yang ada telah memenuhi tegangan ijin atau tidak.

## 2. METODE

### 2.1. Objek Penelitian

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari lapangan berupa data kapal dan data sekunder dari studi literatur berupa tinggi gelombang yang berasal dari IACS Rec.34 *Standard Wave Data*, jurnal serta sumber lainnya.

Kapal yang digunakan sebagai objek adalah kapal perintis tipe 750 DWT. Gambar 1 menunjukkan gambar data kapal perintis.



Gambar 1. Rancangan Umum Kapal

Data kapal yang digunakan memiliki ukuran utama yaitu:

Panjang seluruh (LOA)	: 58.5 meter
Panjang antara garis tegak (LPP)	: 52.3 meter
Lebar (B)	: 12 meter
Tinggi (H)	: 4.5 meter
Sarat (T)	: 2.9 meter
Kecepatan (Vs)	: 12 knot

Tabel 1 Menunjukkan Data sekunder berupa data tinggi gelombang kedua wilayah perairan,

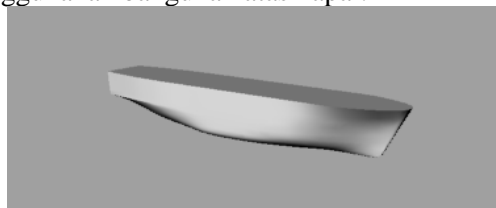
yaitu wilayah Atlantik Utara dan Indonesia. Data tinggi gelombang kedua wilayah dibutuhkan untuk perhitungan beban gelombang yang mengakibatkan respon struktur kapal.

Tabel 1. Data Tinggi Gelombang

Wilayah Perairan	Tinggi Gelombang
Atlantik Utara	10.75 m
Indonesia	3.75 m

### 2.2. Permodelan dan *Meshing* Kapal

Data penelitian yang telah diperoleh diolah menjadi model lambung kapal dalam bentuk 3D. Proses permodelan dibantu dengan *software* Rhinoceros. Permodelan dibuat tanpa menggunakan bangunan atas kapal.

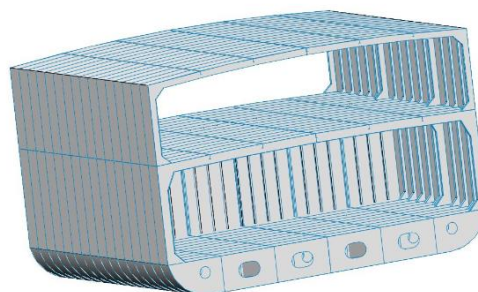


Gambar 2. Permodelan kapal perintis 750 DWT dengan Rhinoceros

Model 3D pada gambar 2 kemudian disimpan dalam bentuk igs. Setelah itu pada *software* FEM Ansys Hydrodynamic Response model diproses menjadi geometri.

Geometri pada *software* digunakan untuk menganalisa respon kapal berupa gerak dengan memasukan data gelombang dari masing-masing wilayah perairan untuk dicari nilai akselerasi maksimum kapal dari tiap sudut hadap pada 45°, 90°, 135°, dan 180°.

Permodelan selanjutnya adalah proses pembuatan model struktur di bagian tengah kapal yang terdapat pada gambar 3. Permodelan ini mengambil bagian tengah kapal berdasarkan data desain konstruksi yang berasal dari frame 37 sampai frame 53. Permodelan struktur dibantu dengan *software* Solidworks.



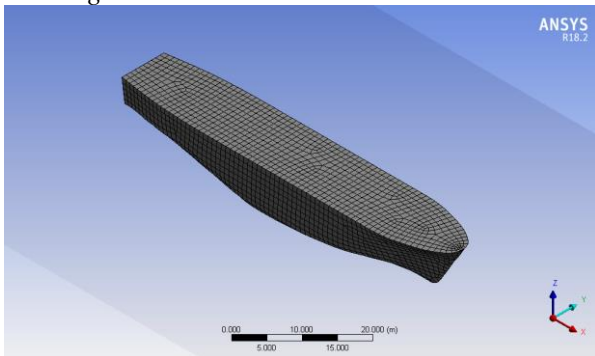
Gambar 3. Struktur Bagian Tengah Kapal

Struktur ini digunakan untuk menganalisa respon struktur kapal dengan menggunakan simulasi pada *software* FEM Solidworks. Respon struktur yang dicari berupa hasil tegangan

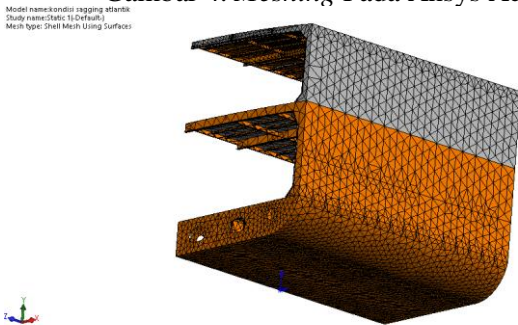
maksimum yang terjadi di tiap kondisi antara kedua wilayah perairan.

Tahapan selanjutnya setelah permodelan kapal adalah membagi *body* menjadi elemen-elemen, dihubungkan oleh *node*, dan mendapatkan pemecahan yang mendekati disebut *finite element mesh*. Proses pembuatan mesh disebut *mesh generation* [5].

Proses *meshing* menentukan kualitas hasil analisis. Semakin kecil komponen mesh semakin tinggi tingkat konvergensi simulasi tersebut. Namun, semakin banyak komponen mesh akan semakin lama pula proses *running* suatu simulasi. Gambar 4 menunjukkan hasil *meshing* pada Ansys Aqwa sedangkan gambar 5 merupakan hasil *meshing* di Solidworks.



Gambar 4. *Meshing* Pada Ansys Aqwa



Gambar 5. *Meshing* Pada Solidworks

### 2.3. Finite Element Method

*Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga) biasa dipandang sebagai perluasan dari metode perpindahan ke masalah continuum berdimensi dua dan tiga seperti plat, struktur selaput (*shell*) dan benda pejal. Dalam metode ini, kontinum sebenarnya diganti dengan sebuah struktur ideal ekuivalen yang terdiri dari elemen-elemen unik (*discrete element*). Elemen ini disebut elemen berhingga dan dihubungkan bersama-sama di sejumlah titik simpul. Penyelesaian dari metode elemen hingga umumnya menggunakan metode matriks [6].

Analisa pada penelitian ini menggunakan metode penelitian-penelitian sebelumnya yaitu analisa linear statik. Pada saat proses analisa ini

mengasumsikan ketika benda atau model diberi beban maksimal dengan pendekatan statis. Beban-beban statis yaitu, beban-beban yang berubah hanya apabila berat total kapal berubah, atau perubahan pada kapalnya sendiri. Ini terdiri dari; berat kapal beserta seluruh isinya dan beban dari gaya tekan ke atas [7].

### 2.4. Penentuan Material

Penentuan material diperlukan dalam proses analisa respon struktur. Jenis material yang akan digunakan untuk struktur pada penelitian kali ini adalah baja ASTM A36. baja ASTM A36 memiliki ketentuan sebagai berikut:

Type	: Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion	: Max Von Mises Stress
Elastic Modulus	: 200 GPa
Poisson's Ratio	: 0,26 N/A
Shear Modulus	: 79.3 GPa
Mass Density	: 7850 kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	: 400 MPa
Yield Strength	: 250 MPa

### 2.5. Asumsi Pembebanan

Pembebanan yaitu pada saat kapal terkena gelombang, terdapat beban-beban yang terjadi. Setiap bagian dari lambung bergantung pada beban-beban eksternal yang terdiri dari tekanan fluida pada permukaan lambung, gaya gravitasi, dan gaya inersia yang disebabkan oleh gerakan elastis dan kaku dari bagian itu sendiri. tekanan fluida diintegrasikan pada permukaan lambung untuk menentukan gaya hidrodinamik, yang kemudian dapat ditambahkan ke gaya gravitasi dan inersia untuk mendapatkan gaya eksternal total yang bekerja pada bagian tersebut [8].

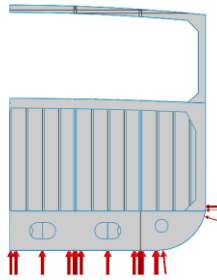
Untuk itu, pada proses analisa ditambahkan beban-beban berikut.

#### a. Beban Hidrostatik

Pembebanan hidrostatik adalah tekanan dari air laut yang menjadi beban eksternal struktur kapal. Untuk menghitung tekanan dari air laut digunakan pendekatan fisika yaitu:

$$P_h = \rho \times g \times h \quad (1)$$

Dimana  $P_h$  adalah tekanan hidrostatik dalam N/m<sup>2</sup>,  $\rho$  adalah massa jenis air laut massa (1025 kg/m<sup>3</sup>).  $G$  adalah percepatan gravitasi (9,8 m/s), dan  $h$  adalah kedalaman permukaan dalam meter. Panah merah pada gambar 6 menunjukkan pembebanan hidrostatik.

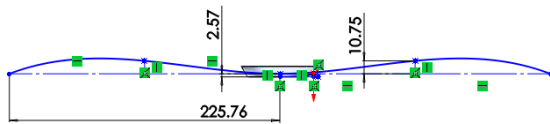


Gambar 6. Pembebanan hidrostatik

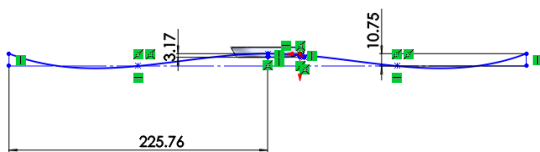
Kedalaman permukaan air laut disesuaikan dengan tinggi kondisi gelombang kedua perairan pada midship kapal. Tinggi gelombang tiap kondisi di dua perairan ditentukan dengan menggunakan plot gelombang.

Plot gelombang dibuat berdasarkan data gelombang berupa panjang dan tinggi gelombang dengan menggunakan Solidworks. Setelah itu, sesuaikan tinggi dari posisi gelombang hingga berat bagian kapal yang terkena gelombang sama dengan *displacement* untuk menentukan tinggi kedalaman permukaan.

Berdasarkan plot gelombang perairan atlantik utara, tinggi gelombang pada saat kondisi sagging adalah 2.57 meter. Gambar 7 menunjukkan plot gelombang kondisi sagging. Sedangkan gambar 8 menunjukkan plot tinggi gelombang di kondisi hogging 3.17 meter.

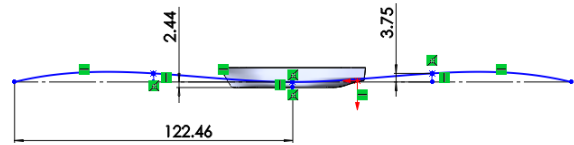


Gambar 7. Plot Gelombang Kondisi Sagging di Perairan Atlantik Utara

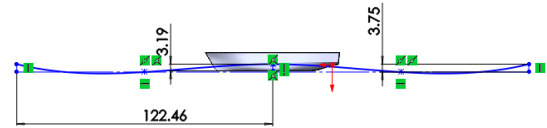


Gambar 8. Plot Gelombang Kondisi Hogging di Perairan Atlantik Utara

Berdasarkan plot gelombang di perairan Indonesia, tinggi gelombang saat kondisi sagging adalah 2.44 meter. Plot gelombang ditunjukkan oleh gambar 9. Sedangkan tinggi gelombang di kondisi hogging sebesar 3.19 meter ditunjukkan oleh gambar 10.



Gambar 9. Plot Gelombang Kondisi Sagging di Perairan Indonesia

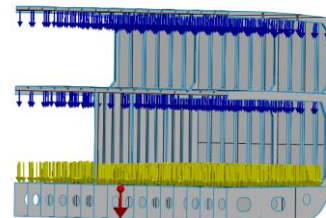


Gambar 10. Plot Gelombang Kondisi Hogging di Perairan Indonesia

#### b. Beban Muatan

Berdasarkan gambar 7, pembebanan ini terdiri dari beban muatan internal kapal, yang ditunjukkan panah warna kuning. Selain itu ada beban orang dan berat kapal kosong diwakili panah warna biru, serta gravitasi dengan panah merah.

Untuk muatan geladak sesuai dengan regulasi BKI'19 Vol.II Sec.31 A.5 beban muatan geladak kapal adalah  $25 \text{ kN/m}^2$ . Asumsi beban orang pada kapal perintis 750 DWT adalah  $500 \text{ N/m}^2$ . Pada pembebanan ini juga dimasukan percepatan gravitasi  $9,8 \text{ m/s}$ .



Gambar 11. Pembebanan Muatan

#### c. Beban Inersia

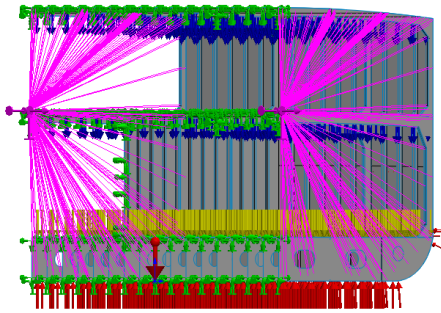
Beban inersia dapat diturunkan berdasarkan percepatan dari gerakan kapal [9]. Beban Inersia merupakan pembebanan dari percepatan yang tercipta akibat permukaan kapal yang terkena gelombang perairan yang telah diolah dengan program ansys. Hasil analisis pada ansys aqwa dimasukan sesuai arah gerak kapal. Pembebanan percepatan dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 12. Pembebanan percepatan

## 2.6. Boundary Condition

Tahapan berikutnya yaitu pemberian batas (*boundary condition*) di tiap ujung struktur. Pemberian *boundary condition* pada studi statik berlaku sebagai tumpuan model struktur sebelum dianalisa [3]. Batas yang diberikan sesuai dengan arah gerak kapal yaitu translasi dan rotasi. Gambar 9 adalah gambar struktur setelah diberi batas.

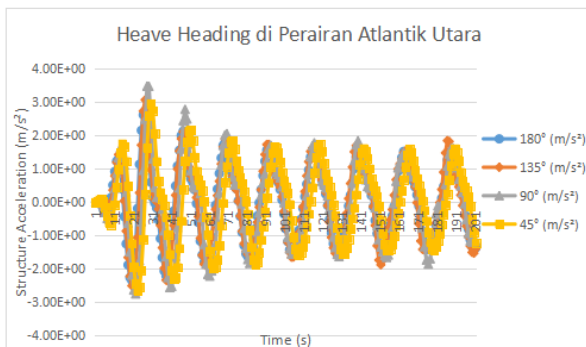


Gambar 13. Model Struktur Setelah diberikan *Boundary Condition*

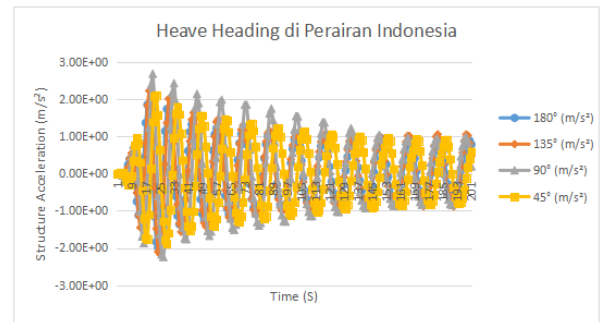
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Perhitungan Beban Gelombang

Berdasarkan Perhitungan yang dilakukan pada program Ansys AQWA, hasil perhitungan akselerasi dengan gerak dari tiap sudut yang diambil adalah nilai yang paling tinggi atau maksimum. Berikut adalah hasil dari perhitungan beban gelombang di kedua perairan berupa grafik dan tabel.



Gambar 14. Grafik *Heave Heading* di Perairan Atlantik Utara



Gambar 15. Grafik *Heave Heading* di Perairan Indonesia

Gambar grafik 14 dan 15 memperlihatkan hasil berupa respon gerak kapal dari tiap sudut. Gerakan paling besar terjadi pada gerakan translasi, yaitu *heave*. Bentuk percepatan *heave* antara sudut 45°, 90°, 135°, dan 180° tidak terlalu memiliki perbedaan yang berbeda.

Tabel 2. Nilai Akselerasi Maksimum Perairan Atlantik Utara

Sudut	<i>Heave</i> (m/s <sup>2</sup> )
45°	2,97
90°	3,49
135°	3,07
180°	2,74

Berdasarkan tabel 2, akselerasi terbesar *heave* yang terjadi pada sudut 90°. Dengan nilai maksimum *heave* adalah 3,49 m/s<sup>2</sup>.

Tabel 3. Nilai Akselerasi Maksimum Perairan Indonesia

Sudut	<i>Heave</i> (m/s <sup>2</sup> )
45°	2,11
90°	2,69
135°	2,23
180°	1,86

Berdasarkan tabel 3, akselerasi terbesar *heave* yang terjadi pada sudut 90°. Dengan nilai maksimum *heave* 2,69 m/s<sup>2</sup>.

Hasil running respon akselerasi dari beban gelombang pada program Ansys Aqwa menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara beban gelombang di perairan atlantik utara dan indonesia. Melalui tabel 2 dan 3, beban gelombang di perairan atlantik utara memiliki nilai maksimum yang lebih besar dibandingkan beban gelombang di perairan indonesia.

Dengan hasil perhitungan respon gerak kapal ini, selanjutnya hasil nilai maksimum yang telah ada akan digunakan sebagai beban untuk menganalisa respon struktur kapal dan mencari nilai tegangan maksimum setiap kondisi.

### 3.2. Hasil Perhitungan Tegangan Maksimum

Tegangan maksimum didapat dari perhitungan di program Solidworks, dimana

struktur bagian tengah kapal mengalami kondisi sagging dan hogging di dua perairan yang berbeda (Atlantik Utara dan Indonesia).

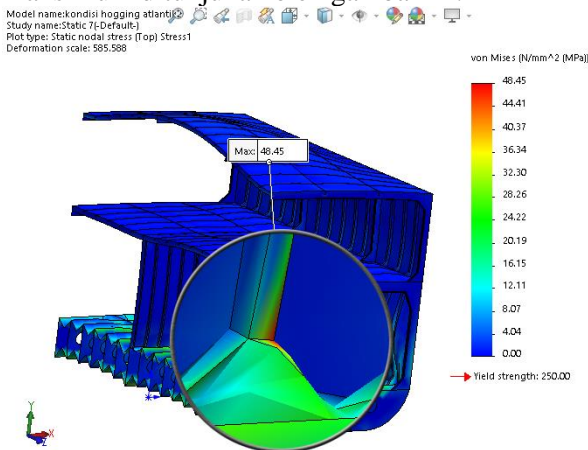
Tabel 4. Hasil Tegangan Maksimum Kapal Perintis 750 DWT

Kondisi	Atlantik Utara	Indonesia
Sagging	71,71 MPa	58,30 MPa
Hogging	48,45 MPa	38,71 MPa

Berdasarkan tabel 4, Tegangan maksimum kapal perintis 750 DWT antara perairan Atlantik Utara dan Indonesia terdapat perbedaan nilai. Nilai tegangan maksimum di perairan Atlantik Utara lebih besar daripada nilai tegangan maksimum di perairan Indonesia. Berikut adalah hasil analisa tegangan maksimum di dua perairan.

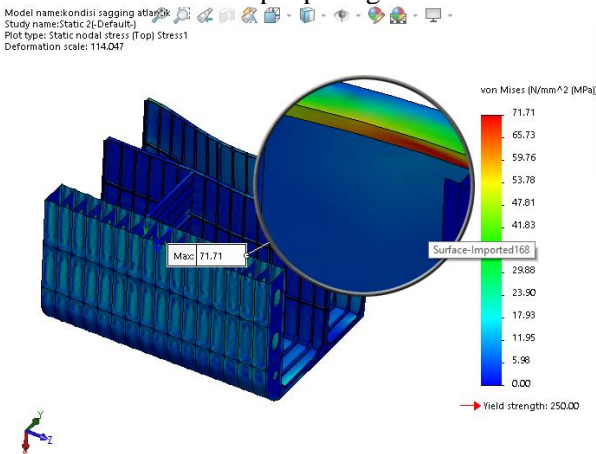
a. Perairan Atlantik Utara

Tegangan maksimum di perairan Atlantik Utara terjadi saat *heave* pada sudut 90°. Hasil tegangan maksimum bagian tengah kapal pada kondisi hogging di perairan Atlantik Utara yaitu sebesar 48,45 MPa. Gambar hasil tegangan maksimum ditunjukkan oleh gambar 14.



Gambar 16. Hasil Tegangan maksimum Kondisi Hogging di Perairan Atlantik Utara

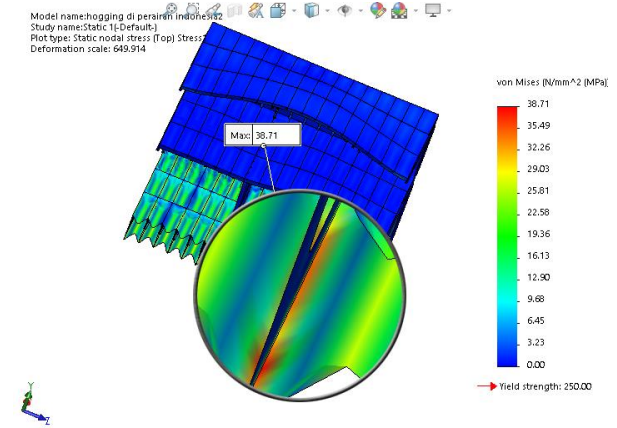
Hasil tegangan maksimum bagian tengah kapal pada kondisi sagging di perairan Atlantik Utara yaitu sebesar 71,71 MPa. Hasil Simulasi analisa terdapat pada gambar 15.



Gambar 17. Hasil Tegangan maksimum Kondisi Sagging di Perairan Atlantik Utara

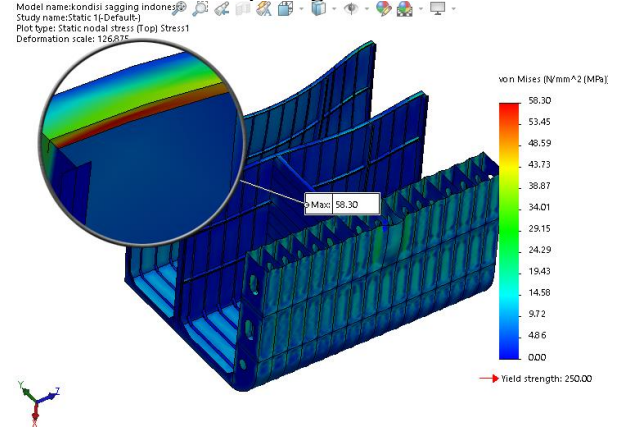
b. Perairan Indonesia

Tegangan maksimum di perairan Indonesia terjadi saat *heave* pada sudut 90°. Berdasarkan hasil yang ada pada gambar 16, tegangan maksimum bagian tengah kapal pada kondisi hogging di perairan Indonesia yaitu sebesar 38,71 MPa.



Gambar 18. Hasil Tegangan Maksimum Kondisi Hogging di Perairan Indonesia

Hasil tegangan maksimum bagian tengah kapal pada kondisi sagging di perairan Indonesia yaitu sebesar 58,30 MPa. Gambar hasil tegangan maksimum termuat pada gambar 17.



Gambar 19. Hasil Tegangan Maksimum Kondisi Sagging di Perairan Indonesia

Dari hasil yang telah ada Perairan Indonesia memiliki tegangan maksimum yang lebih kecil daripada tegangan maksimum di perairan Atlantik Utara. Hal ini terjadi disebabkan perairan Atlantik Utara memiliki tinggi gelombang yang lebih besar daripada tinggi gelombang perairan di Indonesia. Selain Tegangan maksimum, terdapat hasil deformasi yang terjadi pada struktur bagian tengah kapal.

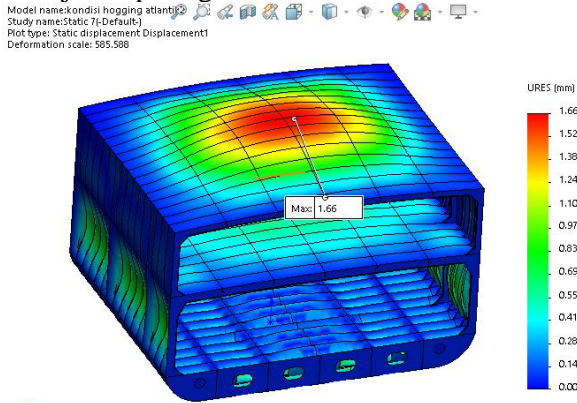
3.3. Hasil Perhitungan Deformasi Maksimum

Dari proses simulasi pada program Solidworks, terdapat hasil deformasi yang terjadi pada saat tegangan maksimum di dua kondisi (sagging dan hogging), di antara dua Perairan

(Atlantik Utara dan Indonesia). Nilai deformasi yang ditampilkan adalah deformasi maksimum.

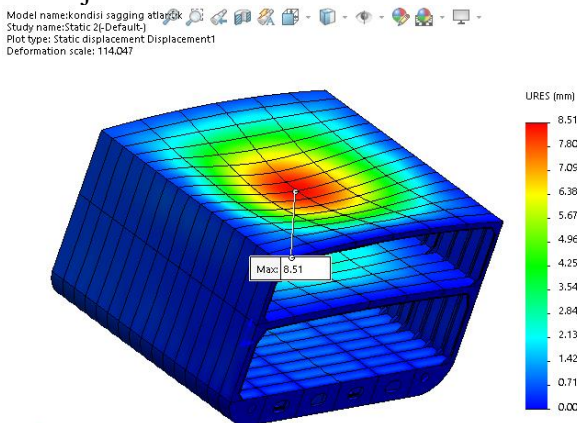
a. Deformasi Perairan Atlantik Utara

Hasil deformasi maksimum bagian tengah kapal pada kondisi hogging di perairan Atlantik Utara yaitu sebesar 1,66 mm. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 20. Hasil Deformasi Maksimum Kondisi Hogging di Perairan Atlantik Utara

Hasil deformasi maksimum bagian tengah kapal pada kondisi hogging di perairan Atlantik Utara yaitu sebesar 8,51 mm. Gambar 19 menunjukkan bentuk deformasi.

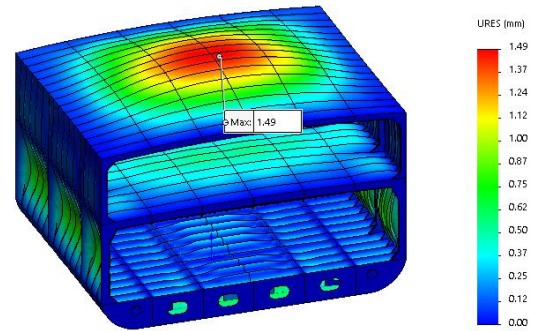


Gambar 21. Hasil Deformasi Maksimum Kondisi Sagging di Perairan Atlantik Utara

b. Deformasi di Perairan Indonesia

Berdasarkan gambar 20, hasil deformasi maksimum bagian tengah kapal pada kondisi hogging di perairan Indonesia yaitu sebesar 1,49 mm.

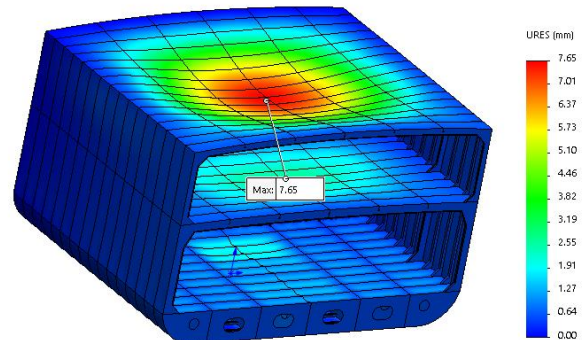
Model name:hogging di perairan indonesia  
Study name:Static 1(-Default-)  
Plot type: Static displacement Displacement1  
Deformation scale: 614.914



Gambar 22. Hasil Deformasi Maksimum Kondisi Hogging di Perairan Indonesia

Hasil deformasi maksimum bagian tengah kapal pada kondisi sagging di perairan Indonesia yaitu sebesar 7,65 mm. Gambar deformasi yang dihasil terdapat pada gambar 21.

Model name:kondisi sagging indonesia  
Study name:Static 1(-Default-)  
Plot type: Static displacement Displacement1  
Deformation scale: 126.075



Gambar 22. Hasil Deformasi Maksimum Kondisi Sagging di Perairan Indonesia

### 3.4. Hasil Perhitungan Tegangan Ijin

Tahapan berikutnya adalah perhitungan tegangan ijin. Untuk desain bagian-bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (allowable stress) dibuat benar-benar lebih rendah daripada kekuatan ultimat yang diperoleh dari yang disebut pengujian "statis" tersebut di atas [10]. Perhitungan tegangan ijin pada struktur kapal perintis 750 DWT di Tugas Akhir ini berdasarkan regulasi BKI'19 Vol.II Sec.5 C.1.1 yaitu:

$$\sigma_p = C_s \cdot \sigma_{po} \quad (2)$$

Dimana  $\sigma_p$  adalah tegangan kapal yang diijinkan dalam MPa,  $C_s$  adalah 1,0 untuk  $0.3 \leq x/L \leq 0.7$ .  $\sigma_{po}$  adalah  $18,5 \cdot \sqrt{L} / k$  untuk  $L \leq 90$  meter. k adalah 0,72 [11].

Maka,

$$\sigma_p = 1.(18,5. \frac{\sqrt{58.5}}{0,72}) = 197,03$$

Tegangan ijin adalah 197,03 MPa. Tegangan maksimum dikatakan memenuhi pada pengukuran ini apabila bernilai tidak lebih dari tegangan ijin. Jadi, hasil perhitungan tegangan ijin kapal perintis 750 DWT adalah:

Tabel 5. Perhitungan Tegangan ijin

Wilayah Perairan	Kondisi	$\sigma_{maks}$	$\sigma_{ijin}$	Ket
Atlantik Utara	Sagging	71,71	197,03	Memenuhi
Indonesia	Hogging	48,45	197,03	Memenuhi
	Sagging	58,30	197,03	Memenuhi
	Hogging	38,71	197,03	Memenuhi

Tabel 5 menunjukkan hasil dari perhitungan tegangan ijin, dimana tegangan maksimum pada model struktur kapal perintis 750 DWT memenuhi syarat tegangan ijin menurut standar BKI dan pada wilayah perairan Atlantik Utara di kondisi sagging tidak memenuhi tegangan yang diijinkan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perhitungan yang telah ada maka dapat disimpulkan pada model struktur bagian tengah kapal perintis 750 DWT tegangan maksimum yang terjadi pada kondisi Sagging perairan Atlantik Utara yaitu 71,71 MPa. tegangan maksimum yang terjadi pada kondisi Hogging perairan Atlantik Utara yaitu 48,45 MPa. Pada semua kondisi tegangan maksimum di perairan Atlantik Utara telah memenuhi  $\sigma_{ijin}$  sebesar 197,03 MPa.

Tegangan maksimum yang terjadi di perairan Indonesia yaitu pada kondisi sagging 48,45 Mpa, dan pada kondisi Hogging sebesar 38,71 MPa. Semua kondisi pada perairan Indonesia telah memenuhi tegangan yang diijinkan regulasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Anonim, *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 48*. 2018.

[2] M. Darmastuti, A. F. Zakki, and G. Rindo, "Analisa Respon Struktur pada Kapal Oil Tanker 149 m dengan Beban Kombinasi di Perairan Indonesia dan Atlantik Utara," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 7, no. 4, pp. 194–202, 2019.

[3] F. D. Siregar, A. F. Zakki, and I. P. Mulyatno, "Analisa Perbandingan Desain Konstruksi Kapal Bulk Carrier di Perairan North Atlantic Ocean dan Indonesian Waterways Dengan Menggunakan

Regulasi BKI," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 6, no. 1, pp. 232–241, 2017.

[4] K. A. Santosa, A. F. Zakki, W. Amiruddin, and S. Makmun, "Analisa Perbandingan Respon Struktur Kapal Ro-Ro Passenger 99 M Di North Atlantic Ocean & Indonesian Waterways Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 837–848, 2017.

[5] J. Fish and T. Belytschko, *A First Course in Finite Elements*. England: John Wiley and Sons, 2007.

[6] O. C. Zienkiewicz and R. L. Taylor, *The Finite Element Method Fifth edition Volume 1: The Basis*, vol. 1. Massachussets: Butterworth-Heinemann, 2000.

[7] D. M. Rosyid and D. Setyawan, *Kekuatan Struktur Kapal*. Jakarta: Pradnya Paramita, 2000.

[8] R. Bhattacharyya, *Dynamics of marine vehicles*. New York: John Wiley and Sons, 1978.

[9] D. GL, "Wave Loads," in *Class Guideline*, no. January, 2018.

[10] E. Popov, *Mekanika Teknik*, Edisi II. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1996.

[11] Anonim, *BKI Rules for Hull (Pt.1, Vol.II) 2019 ed.*, vol. II. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia, 2019.