

ANALISIS KEKUATAN MEMANJANG AKIBAT PERUBAHAN PANJANG pada KAPAL FERRY Ro-Ro 687 GT

Alamsyah¹, Amalia Ika Wulandari¹, Ayuna Noor Aini¹

¹Teknik Perkapalan, Jurusan Sains Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan.
Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur,
Indonesia 76127

Email: alamsyah@lecturer.itk.ac.id, amaliaikaw@lecturer.itk.ac.id, 09161022@student.itk.ac.id

Abstrak

Kekuatan struktur konstruksi merupakan salah satu aspek teknis yang turut mempengaruhi tingkat keamanan kapal. Secara teoritis, penambahan panjang pada kapal akan berpengaruh pada kekuatan memanjang kapal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui analisa kekuatan memanjang kapal feri ro-ro 687 GT menggunakan aplikasi berbasis finite element method. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu non-linier finite element method (NLFEA). Hasil yang didapatkan pada kondisi hogging yakni tegangan di deck senilai 60.95 N/mm² dan di bottom senilai -68.71 N/mm². Sedangkan pada kondisi sagging menghasilkan tegangan di deck senilai 43.81 N/mm² dan di bottom senilai -47.34 N/mm². Untuk momen ultimate pada kondisi hogging yakni bernilai 1.49 x 1012 Nmm dan momen total bernilai 0.16 x 1012 Nmm. Sedangkan pada kondisi sagging, momen ultimate bernilai -1.42 x 1012 Nmm dan momen total bernilai -0.15 x 1012 Nmm. Kekuatan memanjang akibat perubahan panjang pada kapal memenuhi persyaratan Rules BKI dengan faktor keamanan diatas 1.1 untuk kondisi sagging dan 1.21 untuk kondisi hogging.

Kata kunci : Kekuatan Memanjang, Momen Curvature, Ferry Ro-Ro, hogging, sagging

Abstract

The strength of the construction structure is one of the technical aspects that also influences the level of ship safety. Theoretically, increasing length to the ship will affect the longitudinal strength of the ship. The purpose of this study was to determine the longitudinal strength analysis of the ferry ro-ro 687 GT using the finite element method based application. The method used in this research is the nonlinear finite element method (NLFEA). The results obtained in the hogging conditions are the stress on the deck worth 60.95 N / mm² and at the bottom worth -68.71 N / mm². Whereas the sagging conditions produce a deck stress of 43.81 N / mm² and a bottom value of -47.34 N / mm². For the ultimate moment in the hogging condition which is worth 1.49 x 1012 Nmm and the total moment is worth 0.16 x 1012 Nmm. Whereas in the sagging condition, the ultimate moment is worth -1.42 x 1012 Nmm and the total moment is worth -0.15 x 1012 Nmm. Longitudinal strength due to changes in length of the ship fulfill the requirements of BKI Rules with safety factors above 1.1 for sagging conditions and 1.21 for hogging conditions.

Keywords: Longitudinal Strength, Moment Curvature, Ro-Ro, hogging, sagging

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan atau negara maritim dimana peran transportasi laut sangat penting bagi kehidupan. Kelebihan kapal sebagai alat transportasi laut yaitu dapat menjangkau sampai pulau-pulau kecil dengan biaya yang relatif murah dibandingkan dengan transportasi udara. Kekuatan struktur konstruksi kapal merupakan salah satu aspek teknis yang turut mempengaruhi tingkat keamanan kapal disaat beroperasi[1].

Sebuah kapal tipe penumpang barang sesuai keinginan pemilik kapal diperpanjang 12 meter, sehingga panjang kapal semula 62,68 m bertambah menjadi 74,68 m. Penambahan panjang dilakukan pada dasarnya bertujuan untuk menambah daya tampung

muatan guna meningkatkan keuntungan. Secara teoritis penambahan ini akan berpengaruh pada kekuatan memanjang kapal, dimana momen lentur kapal akan membesar yang tentunya akan merubah tegangan kapal sehingga tegangan yang bekerja di kapal akan menjadi lebih besar dari tegangan sebelum terjadi penambahan panjang.

Maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui langkah pemodelan *midship section* kapal feri ro-ro menggunakan aplikasi berbasis *finite element method*, dan mengetahui analisa kekuatan memanjang kapal feri ro-ro menggunakan aplikasi berbasis *finite element method* [3]. Dengan membatasi masalah dalam penelitian yaitu mengabaikan ketidaksempurnaan awal, retak dan cacat pengelasan, menghitung kekuatan memanjang kapal dalam lima jarak gading besar pada

tengah kapal dengan kondisi *sagging* dan *hogging*, menganalisis menggunakan metode *Non-Linear Finite Element Method (NLFEA)*.

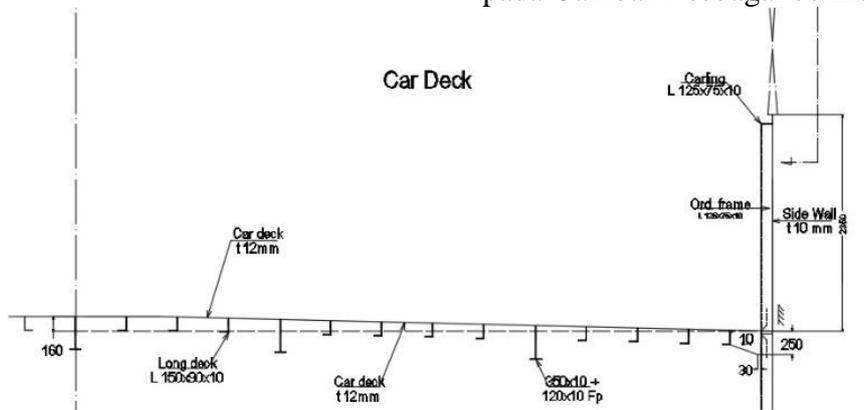
1.1 Data Kapal

Data kapal yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh atau dikumpulkan peneliti dari berbagai sumber yang telah ada. Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, laporan, jurnal, dan lain-lain yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti. Adapun data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data dari kapal ro-ro 687 GT, yaitu : *Hull*

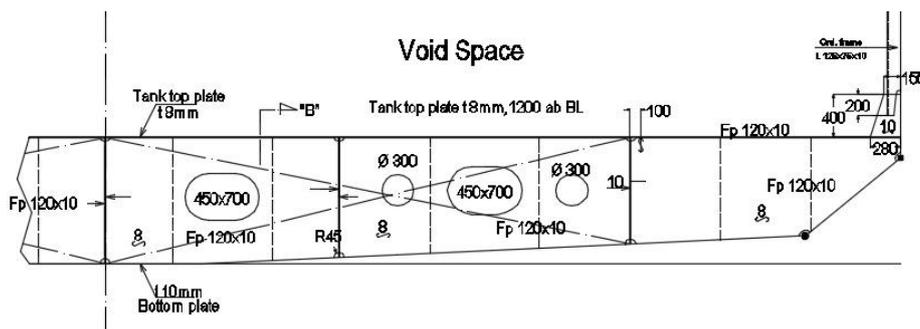
- Panjang Sebelum Modifikasi = 62,68 m
- Panjang Setelah Modifikasi = 74,68 m
- Lebar = 15,00 m
- Tinggi = 3,50 m
- Double Bottom* = 1,20 m
- Sarat = 2,40 m
- Ukuran *frame*
 - *Base line* = 120 x 10 mm
 - *Double bottom* = 120 x 10 mm
 - *Tween deck* = 150 x 90 x 10 mm
 - *Main deck* = 80 x 80 x 8 mm
 - *Transverse frame* = 120 x 10 mm

2. Gambar konstruksi *midship* kapal ro-ro. Konstruksi *midship* kapal feri ro-ro 687 GT pada bagian geladak kendaraan dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Geladak RoRo

Konstruksi *midship* kapal feri ro-ro 687 GT pada bagian *bottom* dapat dilihat pada Gambar 1.2 sebagai berikut.



Gambar 2. Pelat Alas Ro-Ro

Dimensi plat pada alas:

1. Panjang Pelat : 1100 mm
2. Lebar : 1500 mm
3. Tebal Pelat : 10 mm

3. Tebal Pelat : 8 mm

Dimensi plat pada geladak:

1. Panjang Pelat : 1100 mm
2. Lebar : 1500 mm

2. METODE

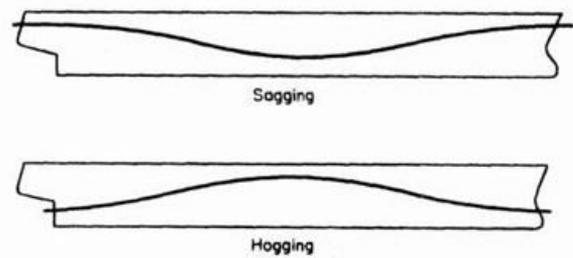
Data material yang digunakan untuk struktur kapal ro-ro adalah menggunakan baja *ASTM A514* dengan spesifikasi sebagai berikut [4]:

<i>Elastic Modulus</i>	=	210 x 10 ³
		N/mm ² (30,3 x 10 ³ ksi)
<i>Yield Strength</i>	=	690 N/mm ² (100 ksi)
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	=	938 N/mm ² (136 ksi)
<i>Stain at rupture (ε max)</i>	=	63% (0,63)
<i>Poison ratio</i>	=	0.3

2.1 Kekuatan Memanjang Kapal

Ketika kapal berlayar di laut lepas, keadaan lingkungan akan menjadi suatu hambatan yang akan menguji kekuatan struktur kapal tersebut. Mulai dari kerasnya ombak yang akan menabrak kapal yang akan membuat struktur kapal bergerak liar. Suatu saat haluan kapal akan terangkat ke atas sebelum kemudian dihempaskan hingga terbenam oleh permukaan air. Jika kita mengabaikan efek inersia, maka beban yang bekerja pada kapal hanya berasal dari dua jenis saja yaitu gravitasi dan tekanan air. Kondisi ideal dimana gravitasi dan tekanan air akan saling menghilangkan merupakan suatu kondisi yang mustahil ditemui. Bahkan ketika berada di air tenang, gravitasi dan tekanan air akan mempunyai nilai yang berbeda dan perbedaannya akan semakin besar pada perairan yang tidak tenang. Hal ini akan menyebabkan perbedaan beban sepanjang badan kapal yang membuat badan kapal menjadi melengkung. Jika hal ini terus terjadi berulang – ulang maka akan menimbulkan kegagalan pada struktur kapal [5].

Untuk mencegah hal ini, perlu diperhatikan kondisi dimana puncak gelombang ada di bagian tengah kapal atau disebut juga kondisi *hogging* dan yang kedua ketika puncak gelombang ada di bagian ujung kapal atau kondisi *sagging*. Berikut adalah ilustrasi kondisi *sagging* dan *hogging* yang terjadi pada kapal dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.

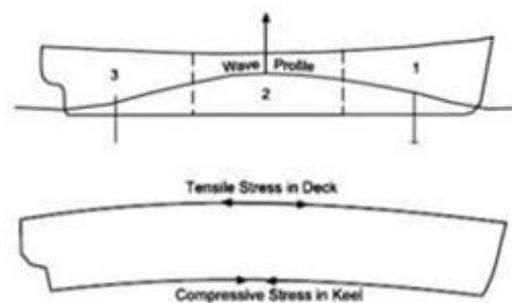


Gambar 3. Kondisi *Sagging* dan *Hogging*

Efek deformasi *ship shaped structure* akibat beban gelombang yang ditinjau dengan mengibaratkan sebuah kapal bergerak pada gelombang regular dimana panjang gelombangnya sama dengan panjang kapal. Hal ini menyebabkan *vertical bending moment*. Jika *hull* diibaratkan sebagai *beam*, maka kondisi yang terjadi [6].

2.2 Kondisi *Hogging*

Deformasi pada kapal berbentuk cembung. Pada kondisi ini, meskipun berat total seimbang dengan *buoyancy*, terdapat kelebihan *buoyancy* pada *midship* dan kelebihan berat pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah bawah dan pada bagian *midship* bergerak ke atas. Ilustrasi tegangan yang terjadi pada kapal saat kondisi *hogging* dapat dilihat pada Gambar 4 sebagai berikut.

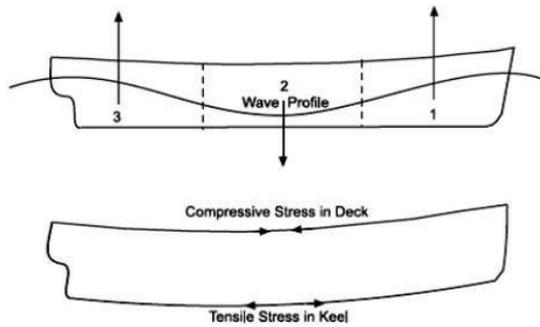


Gambar 4. Kondisi *Hogging*

2.3 Kondisi *Sagging*

Deformasi pada kapal berbentuk cekung. Terdapat kelebihan berat pada *midship* dan kelebihan *bouyancy* pada *bow* dan *stern*. Situasi ini menyebabkan kecenderungan ujung kapal bergerak ke arah atas dan pada bagian *midship* bergerak ke bawah. Ilustrasi tegangan

yang terjadi pada kapal saat kondisi *sagging* dapat dilihat pada Gambar 1.5 sebagai berikut.



Gambar 5. Kondisi *Sagging*

2.4 Tegangan

Tegangan adalah gaya persatuan luas. Ketika sebuah benda dikenai gaya, tegangan adalah perbandingan antara besar gaya terhadap luas dimana gaya tersebut dikenakan. Jika gaya yang dikenakan tegak lurus terhadap permukaan benda (luas yang akan diperhitungkan), maka tegangan tersebut adalah tegangan normal. Jika gaya yang dikenakan ke benda berarah tangensial terhadap permukaan benda tegangan tersebut adalah tegangan geser.

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Dimana:

F = Gaya (N)

A = Luas Penampang (m^2)

σ = Tegangan (N/m^2)

Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang benda, maka disebut tegangan tarik. Jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda maka tegangan tersebut disebut tegangan tekan. Terdapat berbagai macam jenis tegangan meliputi tegangan normal, tegangan puntir, tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan lengkung.

2.5 Momen Lentur

Momen lentur suatu komponen struktur harus mampu memikul beban aksial (tarik/tekan) serta momen lentur. Apabila besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil dibandingkan momen lentur yang bekerja, maka efek dari gaya aksial tersebut dapat

diabaikan dan komponen struktur tersebut dapat didesain sebagai komponen balok lentur. Namun apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen struktur tersebut dinamakan balok-kolom (*beam-column*). Apabila sebuah balok dibebani oleh beberapa buah gaya atau kopel maka akan tercipta sejumlah tegangan dan regangan internal. Untuk menentukan berbagai tegangan dan regangan tersebut, harus dicari terlebih dahulu gaya internal (*internal forces*) dan kopel internal yang bekerja pada penampang balok. Gaya internal yang bekerja pada penampang-penampang balok diantaranya gaya geser (V) dan momen lentur (M). Momen lentur adalah jumlah aljabar dari semua komponen momen gaya luar yang bekerja pada segmen yang terisolasi. Besar M dapat ditentukan dengan persamaan keseimbangan statis [7].

$$\sum M = 0 \tag{2}$$

$$\sum M_o = M - R_{1x} + P_1(x - a) + P_2(x - b) = 0 \tag{3}$$

atau

$$M = R_{1x} - P_1(x - a) - P_2(x - b) \tag{4}$$

2.6 Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan

Kekuatan-batas kapal (M_u) harus dihitung dengan metode *NLFEA* atau metode buckling dan harus memenuhi kriteria seperti persamaan di bawah ini.

$$\gamma_R = \frac{M_u}{M_T} \tag{5}$$

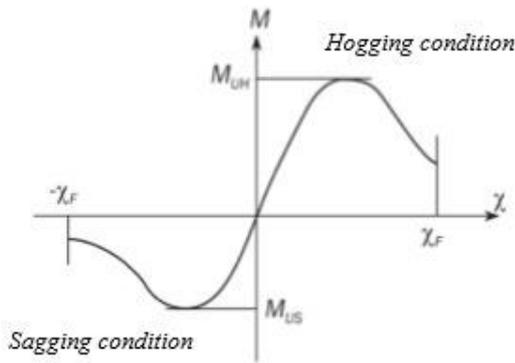
dimana:

M_t = momen lentur-batas total vertical.

γ_R = faktor keamanan untuk kekuatan-batas lentur vertikal (1,1 untuk kondisi *sagging* dan 1,21 untuk kondisi

hogging).

Berikut adalah grafik hubungan antara momen lentur dengan kecekungan pada Gambar 1.6 sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik Kekuatan Momen Lentur Dan Kelengkungan [2]

Hubungan antara kekuatan-batas momen lentur dan kelengkungan ditunjukkan pada Gambar 2.9. Nilai kelengkungan yang positif menunjukkan kondisi *hogging* dan nilai kelengkungan yang negatif menunjukkan kondisi *sagging*. Tegangan lentur maksimum (σ_{max}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$\sigma_{maks} = \frac{M}{S} \tag{6}$$

Dimana:

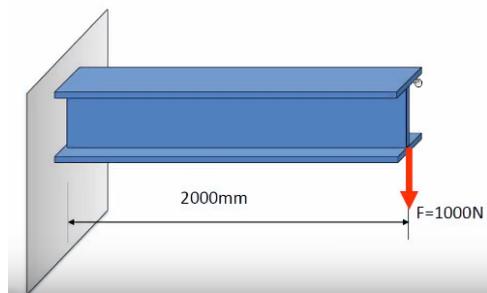
S = Modulus penampang.

3. Hasil dan Pembahasan

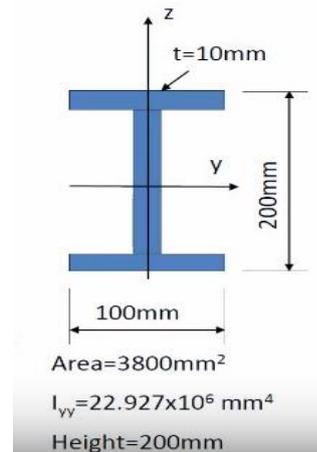
Hasil dari penelitian ini yaitu

3.1 Validasi

Validasi aplikasi berbasis *finite element method* dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan hasil perhitungan. Dalam hal ini dilakukan analisa pada *beam cantilever* sederhana yang diberi beban tekan pada salah satu ujung *beam* searah dengan sumbu vertikal dengan bentuk, dimensi, dan pembebanan seperti pada Gambar 7 dan 8 dibawah ini.

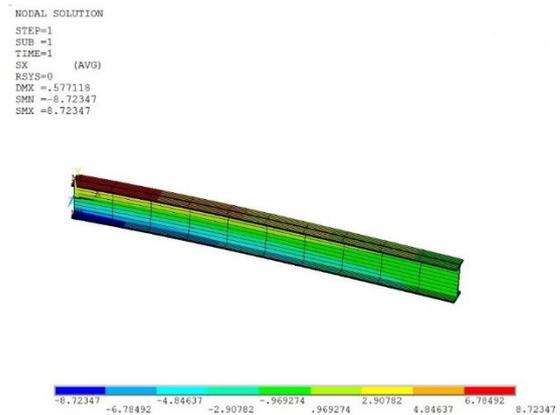


Gambar 7. Balok Untuk Perhitungan Validasi



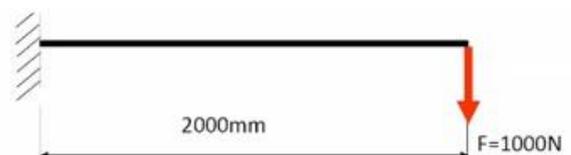
Gambar 8. Dimensi Balok

Hasil simulasi menggunakan aplikasi berbasis *finite element method* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini :



Gambar 9. Hasil Simulasi Balok

Pada hasil simulasi tersebut, tegangan maksimum yang terjadi yaitu 8.72 N/mm^2 . Diagram bebas balok yang diberi beban 1000 N pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Diagram Bebas Balok

Sedangkan hasil perhitungan manual yaitu sebagai berikut: Pada balok tersebut diberi gaya kebawah sebesar 1000 N diujung balok dengan panjang balok 2000 mm. Diasumsikan, momen yang terjadi kearah

kanan atau searah jarum jam terletak diatas tumpuan, dan terdapat gaya keatas sebesar RA yang terdapat diujung tumpuan. Sehingga perhitungan momen menjadi

$$M_A + (F \times 2000 \text{ mm}) + (R_A \times 0 \text{ mm}) = 0$$

$$M_A = - (1000 \text{ N} \times 2000 \text{ mm})$$

$$M_A = -2 \times 10^6 \text{ Nmm}$$

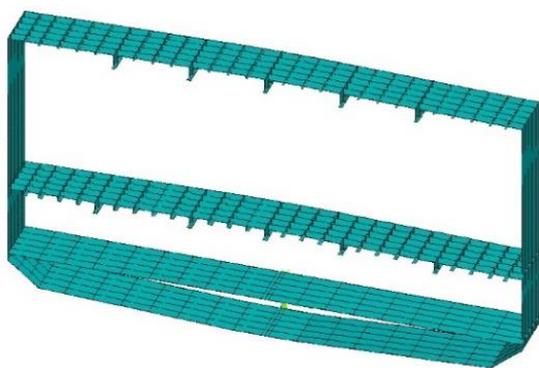
Untuk mencari tegangan, dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M_A \times y}{I} = \frac{2 \times 10^6 \times 100}{22,927 \times 10^6} = 8.723 \text{ N/mm}^2$$

Karena nilai tegangan hasil simulasi senilai dengan tegangan hasil perhitungan, maka error yang terjadi bernilai 0 %.

1.1 Pemodelan Bagian Midship Kapal

Pemodelan kapal ro-ro yang mengalami penambahan panjang 12 m dari 62,68 m menjadi 74,68 m dilakukan menggunakan aplikasi berbasis *finite element method*, dengan memasukkan data desain konstruksi melintang bagian *midship* kapal dan memodelkan kapal menjadi *hull girder* bagian midship dengan 5 jarak gading. Gambar *hull girder* yang telah dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. Hull Girder Yang Telah Dimodelkan

1.2 Proses Meshing dan Pemberian Tumpuan

Meshing pada model dilakukan dengan memberikan nilai 100 pada *element size*. Lalu meletakkan kondisi tumpuan pada ujung depan (fore) struktur dengan kondisi tumpuan hanya arah rotasi $y = 0$ dan sebagai tempat pemberian beban sedangkan pada bagian belakang (aft)

kondisi tumpuan diikat *full* atau *all dof* sehingga bagian belakang terkunci full.

1.3 Pemberian beban

Berikut ini adalah memberikan beban pada struktur hull girder 3 dimensi di node bagian depan yang diikat yang dimana tumpuannya hanya rotasi arah y (ROTY) yang diikat. Dalam kasus ini ada 2 kasus yang akan diperhitungkan yaitu kondisi hull girder pada saat *sagging* dan *hogging*, dimana beban yang dimasukkan adalah momen arah x dengan nilai beban yang sama sebesar 5×10^{13} Nmm pada saat *sagging* dan -5×10^{13} Nmm pada saat *hogging*.

1.4 Cara Memusatkan Beban Bekerja Ke Titik Massa/Netral Axis (Rigid Region)

Hal ini sangat menentukan keberhasilan proses running di ANSYS atau sebagai pelengkap dari kondisi syarat batas pada saat menghitung kekuatan dengan menggunakan metode NLFEA di aplikasi. Dalam hal ini constrain/tumpuan pada struktur yang dibuat di ANSYS terdapat 2 sisi yaitu bagian depan dan belakang, sehingga kita perlu melakukan Rigid Region sebanyak 2 kali yaitu untuk arah depan (fore) dan belakang (aft) sesuai dengan titik pusat sumbu netral axis yang telah ditentukan sebelumnya. Adapun number nodes yang dimasukkan adalah number node pada bagian depan dan number node pada bagian belakang dan beban yang telah diberi tumpuan. Sehingga model yang telah dilakukan *rigid region* dapat dilihat pada Gambar 11 sebagai berikut.

Gambar 11 Model Yang Telah Diberi Tumpuan, Beban, dan Dipustakan Bebannya

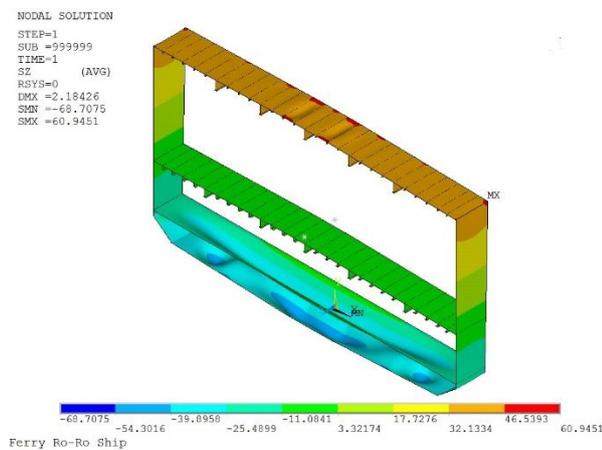
1.5 Hasil Analisa Tegangan dan Momen Total

Parameter perhitungan kekuatan memanjang pada kapal terdiri dari tegangan, momen inersia dan modulus penampang yang

harus melewati batas nilai yang diijinkan oleh *rules* BKI. Pada penelitian ini, perhitungan kekuatan memanjang hanya dilakukan dengan 2 parameter yaitu nilai tegangan dan perbandingan momen total dengan momen *ultimate*.

1.5.1 Analisa tegangan

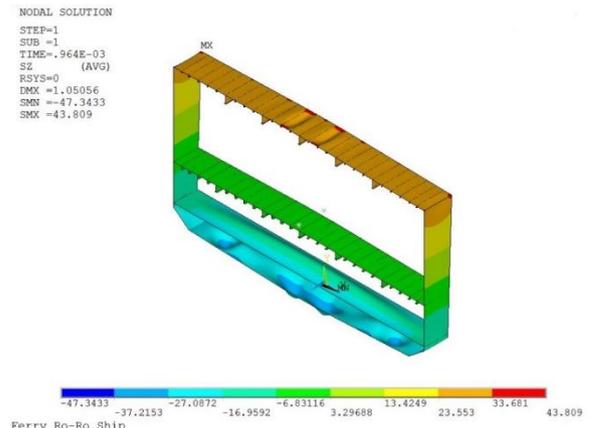
Setelah dilakukan pemodelan, maka dilakukanlah analisis kekuatan batas dengan memasukan nilai momen total sebesar 5×10^{13} Nmm lalu disimulasikan dan menghasilkan *contour* deformasi pada kondisi *hogging* seperti pada Gambar 3.7 sebagai berikut:



Gambar 12. Deformasi ketika *Hogging*

Hasil simulasi menghasilkan tegangan untuk kondisi *hogging* sebesar 60.95 N/mm^2 pada *deck* sedangkan pada bagian *bottom* menghasilkan tegangan -68.71 N/mm^2 . Pada kondisi *hogging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tarik dan dibagian *bottom* akan mengalami tekan. Sehingga besaran nilai tegangan yang terjadi akan berbeda. Pada Gambar 12 juga menunjukkan adanya deformasi yang terjadi pada struktur berupa terjadinya *buckling* terhadap beberapa bagian pada *deck* dan *bottom*.

Sedangkan tampilan *countour* deformasi pada kondisi *sagging* dapat dilihat pada Gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Deformasi ketika *Sagging*

Hasil simulasi menghasilkan tegangan untuk kondisi *sagging* sebesar 43.81 N/mm^2 pada *deck* sedangkan pada bagian *bottom* menghasilkan tegangan -47.34 N/mm^2 . Pada kondisi *sagging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tekan dan dibagian *bottom* akan mengalami tarik. Sehingga besaran nilai tegangan yang terjadi akan berbeda. Pada Gambar 4.33 juga menunjukkan adanya deformasi yang terjadi pada struktur berupa terjadinya *buckling* terhadap beberapa bagian pada *deck* dan *bottom*.

Sesuai *rules* BKI Vol.II Section 5 C.1.1 tegangan yang diijinkan untuk *longitudinal bending stress* yaitu

$$\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{po}$$

Dimana :

σ_p = tegangan ijin *longitudinal bending stress*
Cs = 1

$$\sigma_p = 18.5 \frac{\sqrt{I}}{k} = 18.5 \times \frac{\sqrt{74.68}}{0.694} = 230.36 \text{ N/mm}^2$$

Sehingga $\sigma_p = c_s \cdot \sigma_{po} = 1 \times 230.36 = 230.36 \text{ N/mm}^2$. Karena tegangan yang dihasilkan aplikasi berbasis *finite element method* pada saat *hogging* dan *sagging* untuk bagian *deck* dan *bottom* lebih kecil dibandingkan tegangan yang diijinkan BKI maka masih diijinkan adanya perubahan tegangan akibat perubahan panjang pada kapal.

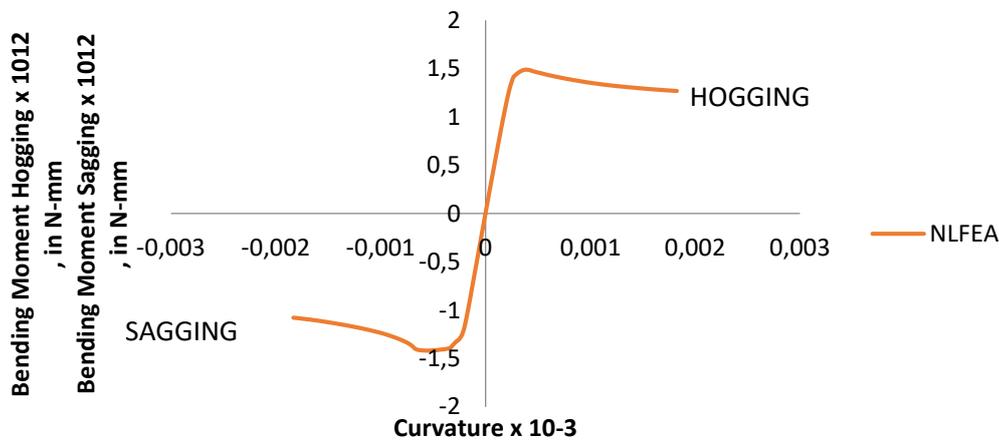
1.5.2 Analisa Momen dan Grafik *Curvature*

Penelitian ini menunjukkan hasil perhitungan kekuatan didapatkan menggunakan *NLFEA* pada *hull girder* kapal ro-ro pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Untuk

menganalisis kapal yang menjadi objek penelitian, diawali dengan memodifikasi sebuah kapal menjadi *hull girder* sehingga menjadi lebih sederhana. Pada kondisi *hogging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tarik dan dibagian *bottom* akan mengalami tekan. Sedangkan pada kondisi *sagging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tekan dan bagian *bottom* akan mengalami tarik. Adanya bentuk kondisi *sagging* dan *hogging* mengakibatkan deformasi pada bagian *deck* dan *bottom*

mengalami perubahan bentuk, dimana *stiffener* dan pelat yang terdapat pada bagian tersebut mengalami tekuk.

Hasil analisis kekuatan batas momen lentur vertikal kapal dengan metode *NLFEA* diperoleh nilai kekuatan batas kapal ketika mengalami *hogging* sebesar 1.49×10^{12} Nmm dan pada saat *sagging* sebesar -1.42×10^{12} Nmm. Adapun hubungan antara nilai kekuatan batas dan *curvature* atau kelengkungan dengan menggunakan metode *NLFEA* dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 14. Momen Kelengkungan Kapal Ro-Ro

Pada kondisi *hogging*, Gambar 3.9 menjelaskan tentang momen lentur-batas vertikal dari 0 Nmm sampai 1.47×10^{12} Nmm kapal dalam kondisi masih linear, selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak linear. Ketika kapal ro-ro dengan besar momen lentur 1.49×10^{12} Nmm telah mencapai momen ultimate yang membuat struktur mengalami buckling. Pada kondisi *sagging* momen lentur-batas vertikal dari 0 Nmm sampai -1.39×10^{12} Nmm kapal dalam kondisi masih linear, selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak linear. Ketika kapal dengan besar momen lentur -1.42×10^{12} Nmm telah mencapai momen *ultimate*.

Sesuai *rules* BKI Vol. II Section 5, bahwa faktor keamanan untuk kekuatan-batas lentur vertikal (1,1 untuk kondisi *sagging* dan 1,21 untuk kondisi *hogging*) harus lebih kecil atau sama dengan momen batas dibagi momen lentur-batas total vertikal. Setelah dilakukan

perhitungan momen total (MT) saat *hogging* bernilai 0.16×10^{12} Nmm dan pada saat *sagging* bernilai -0.15×10^{12} Nmm. Dengan memakai rumus 2.11, maka didapatkan untuk kondisi *hogging*:

$$\gamma_R \leq \frac{Mu}{Mt}$$

$$1.21 \leq \frac{1.49 \times 10^{12}}{0.16 \times 10^{12}}$$

$$1.21 \leq 9.31$$

Sedangkan untuk kondisi *sagging*:

$$\gamma_R \leq \frac{Mu}{Mt}$$

$$1.1 \leq \frac{-1.42 \times 10^{12}}{-0.155 \times 10^{12}}$$

$$1.1 \leq 9.16$$

Karena nilai γ_R lebih kecil dibandingkan perbandingan momen *ultimate* dengan momen total pada kondisi *hogging* dan *sagging*, maka masih dapat diijinkan adanya perubahan momen akibat perubahan panjang pada kapal.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu: Pada kondisi *hogging* menghasilkan tegangan sebesar 60.95 N/mm^2 pada *deck* sedangkan pada bagian *bottom* menghasilkan tegangan -68.71 N/mm^2 . Tegangan ini memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai tegangan yang diijinkan. Pada kondisi *sagging* menghasilkan tegangan sebesar 43.81 N/mm^2 pada *deck* sedangkan pada bagian *bottom* menghasilkan tegangan -47.34 N/mm^2 . Tegangan ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan nilai tegangan yang diijinkan. Pada kondisi *hogging*, perbandingan momen *ultimate* senilai $1.49 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dengan momen total senilai bernilai $0.16 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ lebih besar dari nilai kekuatan batas lentur vertikal yaitu 1.21. Pada kondisi *sagging*, perbandingan momen *ultimate* senilai $-1.42 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ dengan momen total senilai bernilai $-0.15 \times 10^{12} \text{ Nmm}$ lebih besar dari nilai kekuatan batas lentur vertikal yaitu 1.1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin berterima kasih kepada orang tua atas bantuan dan semangat, rekan-rekan di Teknik Perkapalan, serta seluruh dosen di Progam Studi Teknik Perkapalan Institut Teknologi Kalimantan atas segala dukungan dan bimbingannya. Selain itu, penulis juga ingin berterima kasih untuk semua pihak dalam penyelesaian jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aden, Nanda, Ahmad Fauzan Zakki, Good Rindo. (2017), "Analisa Pengaruh Perubahan Jarak Gading Kapal Pada Struktur Kekuatan Kapal Ro-Ro 500 GT Untuk Mendapatkan Desain Optimal", Kota Semarang: Departemen Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro
- [2] Aisyah, N. (2018), "Analisa Kekuatan *Deck* Kapal Tongkang Nania 10070 DWT Dengan Variasi Pembebanan Dan Tipe Elemen Yang Berbeda". Balikpapan: Teknik Perkapalan Institut Teknologi Kalimantan.
- [3] Hidayat, Tsany Naufal. (2017), "Analisa Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling Pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV". Surabaya: Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [4] Mairuhu, Thomas. (2011), "Kekuatan Struktur Konstruksi Kapal Akibat Penambahan Panjang", Ambon: Teknik Perkapalan Universitas Pattimura
- [5] Mubarak, Azhar Aras, Ganding Sitepu, Muhammad Zubair Muis Alie. (2018), "Kekuatan Batas Lambung Kapal dalam Menahan Momen Lentur Vertikal", Kabupaten Gowa: Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
- [6] Prakoso, Resha Buddy. Deddy Chrismianto, Wilma Amiruddin. (2015), "Analisa Kekuatan Konstruksi Memanjang, Stabilitas Dan Olah Gerak Kapal Kmp. Lema Ro-Ro 750 Gt Untuk Pelayaran Sorong – Waigeo". Semarang: Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro
- [7] Saputra, Herman. (2012), "Analisa Stabilitas Dan Kekuatan Transversal Kapal Penumpang 94 Pax Penyeberangan Muara Angke Ke Pulau Tidung", Depok: Teknik Perkapalan Universitas Indonesia.
- [8] Wijana, Made, A.A.Alit Triadi, Firza Febriandi. (2014), "Aplikasi Break Even Point Pada Sistem Operasional Kapal Motor Penyeberangan Roditha PT. ASDP INDONESIA FERRY (PERSERO) Cabang Lembar", Mataram: Teknik Mesin Universitas Mataram