



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh Perubahan Jarak Gading Kapal Pada Struktur Kekuatan Kapal Ro-Ro 500 GT Untuk Mendapatkan Desain Optimal

Nanda Aden¹, Ahmad Fauzan Zakki¹, Good Rindo¹

¹Lab. Konstruksi & Struktur Kapal Departemen Teknik Perkapalan,
Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email: nanda9.aden5@gmail.com

Abstrak

Tol Laut merupakan program pemerintah Jokowi. Dalam menunjang program Tol Laut, kapal merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan. Untuk menopang beban, kapal membutuhkan konstruksi yang kuat. Struktur konstruksi kapal akan mengalami berbagai beban diantaranya beban internal dan beban eksternal. Salah satu bagian yang mempengaruhi konstruksi kapal adalah jarak gading kapal. Pemilihan desain dan material yang lebih efisien dengan membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat namun memiliki berat yang relatif lebih ringan dilakukan perusahaan galangan kapal. Salah satunya adalah dengan mengatur jarak gading. Dalam hal ini jarak gading awalnya memiliki jarak 0,5 meter kemudian jarak gading menjadi 0,6 meter. Perubahan tersebut memperingan konstruksi kapal, namun tetap menjaga kuatnya konstruksi kapal. Penelitian ini menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga yaitu *software patran* untuk pembuatan model dan *software nastran* untuk menganalisa model kapal yang sudah dibuat. Analisa tersebut bertujuan untuk mengetahui berat konstruksi, tegangan dan deformasi dari konstruksi kapal. Analisa tegangan maksimum dan deformasi menggunakan Tekanan hidrostatik, Momen Air Tenang, Momen Sagging, dan Momen Hogging. Hasil analisa berat yang dilakukan pada kapal Ro-ro menunjukkan bahwa berat Kapal Ro-ro desain baru mempunyai berat lebih ringan daripada kapal desain lama sebesar 27,2%. Pada analisa tegangan menunjukkan jika jarak gading bertambah maka tegangan juga bertambah, tetapi semua hasil nilai tegangan maksimum yang didapatkan lebih kecil dari pada batas tegangan izin yang ditetapkan BKI. Sehingga penelitian ini mendapatkan desain baru yang lebih ringan dan tegangan maksimum masih sesuai dengan peraturan.

Kata Kunci: Ro-Ro, Sistem Penggadingan, Metode Element Hingga, Nilai Tegangan, Berat Konstruksi

Abstract

Tol Laut is program of Jokowi's government. To Support the program, ship is the important factor to be noticed. Ship as an inter-island connectivity tool is essential in facilitating human activity. To sustain the load, ship requires strong construction. The structure of the ship construction will sustain various loads, including internal and external loads. One of the part that can influence ship construction is frame spacing. The selection of design and materials that more efficient to create a sturdy and robust construction but has a relatively light weight done shipyard company. One of them is to set the frame spacing. In this case frame spacing initially has a distance of 0.5 meters then the distance of frame spacing to 0.6 meters. The changes are expected to lighten the construction of the ship, while still keeping strong of ship construction and staying in BKI rules. The research uses software based on finite element method that is Patran Software to model making and Nastran Software to analyze ship model which have been made. The analysis aims to determine weight construction, tension and

deformation of ship construction. The analysis uses both hydrostatic load and Moment from Longitudinal Strength. The results of heavy analysis performed on Ro-ro vessels show the weight of the new model vessels lighter than the old design vessels of 27.2%. In the stress analysis indicates if the frame spacing increases then the tensor also increases, but all the result of the maximum tensor value is smaller than the limit of permit tensor by BKI rule. So this research gets a lighter new design and maximum tensor is still in accordance with the rules.

Keyword: *Ro-ro, framing System, Finit Element, Stress Value*

1. PENDAHULUAN

Tol Laut merupakan program pemerintah Jokowi, Program tersebut untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Program Tol Laut akan membuat akselerasi konektivitas antar pulau.

Dalam menunjang program Tol Laut, kapal merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan. Kapal sebagai alat konektivitas antar pulau sangat penting dalam mempermudah aktivitas manusia di daerah atau provinsi yang harus menggunakan transportasi laut sebagai penunjangnya. Dalam mendukung proyek tol laut Direktorat Jendral Perhubungan Laut Kementerian Perhubungan akan membangun 188 kapal.

Untuk menopang beban, kapal membutuhkan konstruksi yang kuat. Struktur konstruksi kapal akan mengalami berbagai beban antara lain beban internal yang disebabkan oleh pembebanan yang ada dikapal seperti pembebanan muatan, abk, provision, bahan bakar, minyak pelumas dan lainnya, lalu beban eksternal seperti gelombang laut serta posisi kapal terhadap gelombang laut itu sendiri dan juga angin.

Pemilihan desain dan material yang lebih efisien dengan membuat suatu konstruksi yang kokoh dan kuat namun memiliki berat yang relatif lebih ringan dilakukan perusahaan galangan kapal dalam perancangan dan pembuatan kapal baru. Salah satunya adalah dengan mengatur jarak gading. Jarak gading tentunya mempunyai kekurangan dan kelebihan masing-masing.

Perusahaan galangan ingin merubah jarak gading, dimana perubahan tersebut diharapkan dapat memperingan konstruksi kapal, namun tetap menjaga kuatnya konstruksi kapal dan kesesuaian peraturan BKI. Dalam melakukan perubahan tersebut, perlu dikaji lebih dalam agar sebelum diterapkan dapat diketahui kebenarannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ro-ro (Roll On-Roll Off)

Kapal *Ro-Ro* adalah kapal yang bisa memuat kendaraan yang berjalan masuk ke dalam kapal dengan penggerakannya sendiri dan bisa keluar dengan sendiri juga, sehingga disebut sebagai kapal *roll on - roll off* atau disingkat *Ro-Ro*. Oleh karena itu, kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa yang dihubungkan dengan *moveble bridge* atau dermaga apung ke dermaga. [1]

Kapal *Ro-Ro* mempunyai fungsi untuk menghubungkan selat sebagai penyambung perhubungan darat yang terputus karena adanya selat. Oleh karena itu kapal ini dilengkapi dengan fasilitas kendaraan, misal: mobil, truk, bus bahkan sarana tempat gerbong kereta api. Sehingga kapal ini mempunyai rancangan khusus agarkan mapu membawa kargo roda seperti mobil, truk, trailer. Kapal ini tentu berbeda dengan istilah *lo-lo (lift on-lift off)* kapal ini menggunakan derek dalam memuat atau membongkar muatan. Kapal *Ro-Ro* ini memiliki *built-in landai* agarkan kargo bekerja secara efisien (berguling di) dan (berguling dari) kapal saat di berada di pelabuhan. Sementara itu kapal feri yang mempunyai ukuran kapal lebih kecil dari kapal *Ro-Ro* yang biasanya beroperasi di sungai dan hanya pada jarak pendek masih sering dijumpai memiliki *built-in landau*.

Selain itu kapal ini mengangkut sepeda motor serta penumpang jalan kaki. Angkutan ini merupakan pilihan populer antara Jawa dengan Sumatera di Merak-Bakauheni, antara Jawa dengan Madura dan antara Jawa dengan Bali.

2.2 Metode Elemen Hingga

Analisa kekuatan sebuah struktur telah menjadi bagian penting dalam alur kerja pengembangan desain dan produk. Pada awalnya analisa kekuatan dilakukan dengan menggunakan rumusan-rumusan teoritis yang telah banyak tercantum pada buku-buku panduan mekanika struktur dan teknik. Tetapi hal tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah

harusnya dilakukan penyederhanaan-penyederhanaan serta pengidealisan kondisi-kondisi yang akan dianalisa agar dapat dimasukkan ke dalam rumusan teoritis tersebut. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya akurasi dan ketepatan hasil analisa yang dihasilkan serta akan sangat sulit diaplikasikan pada bentuk struktur yang kompleks.

Untuk mengatasi hal tersebut dikembangkanlah berbagai macam metode analisa yang dapat mengatasi hal tersebut. Salah satu metode tersebut adalah metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan. [2]

2.2 Pemodelan Elemen Hingga

Pada saat ini pemodelan elemen hingga telah dilakukan dengan bantuan perangkat lunak dan computer. Walaupun telah dimudahkan dengan piranti lunak tersebut tetapi tetap ada beberapa langkah yang harus dilakukan dalam melakukan pembuatan model untuk dianalisa dengan menggunakan metode elemen hingga.

Tahapan langkah tersebut dapat dijelaskan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

1. Pembuatan geometri awal struktur yang akan dianalisa.
2. Penentuan jumlah elemen yang akan diberikan pada model geometri tersebut.
3. Pembuatan elemen dari hasil pemodelan geometri struktur yang akan dianalisa (*mesh generation*).
4. Pemberian kondisi batas (*constraint/boundary condition*)
Kondisi batas diperlukan untuk menentukan bagaimana model tersebut tertumpu padaudukannya dalam kondisi nyata. Hal ini sangat menentukan bagaimana hasil dari analisa model geometri tersebut. Berbagai macam kondisi batas yang biasa digunakan antara lain *fixed-fixed*, *fixed-free*, *free*, dsb.
5. Penentuan jenis material dan properti dari material yang digunakan, hal ini berkenaan dengan massa jenis dari material tersebut, modulus elastisitas (*young modulus*, *E*), *poisson's ratio*, dll.
6. Pemberian kondisi pembebanan (*loading condition*).

Kondisi pembebanan yang diberikan pada model struktur bergantung pada kondisi nyatanya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sedekat mungkin dengan kondisi nyatanya. Beban yang biasa digunakan antara lain gaya, momen, atau tekanan baik statik maupun dinamik.

7. Analisa

Langkah ini merupakan langkah terakhir dalam tahapan analisa metode elemen hingga. Analisa dilakukan dengan bantuan perangkat lunak FEM (*Finite Element Method*). Jenis analisa yang dapat dilakukan juga bervariasi dari jenis analisa statik, dinamik, *buckling*, maupun analisa perpindahan panas. [3]

2.3 Tegangan Geser

Tegangan geser (bahasa Inggris: shear stress), diberi lambang τ (Yunani: tau), didefinisikan sebagai

komponen tegangan coplanar dengan penampang melintang sebuah benda. Tegangan geser timbul dari komponen vektor gaya paralel ke penampang melintang. tegangan normal, di sisi lain, muncul dari komponen vektor gaya tegak lurus dari penampang melintang bahan.

Rumus untuk menghitung tegangan geser rata-rata adalah gaya dibagi luas:

$$\tau = \frac{F}{A},$$

di mana:

τ = tegangan geser;

F = gaya yang diterapkan;

A = luas *cross-sectional* bahan dengan luas paralel dengan vektor gaya yang diterapkan. [8]

2.4 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*). [6]

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, dinotasikan dengan *M*. Besar *M* dapat ditentukan dengan persamaan keseimbangan statis.

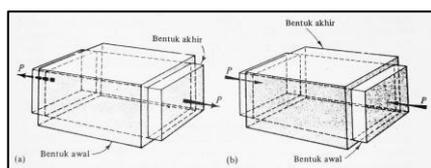
$$\Sigma M = 0$$

$$\Sigma M_o = M - R_1x + P_1(x-a) + P_2(x-b) = 0$$

$$\text{atau } M = R_1x - P_1(x-a) - P_2(x-b)$$

2.5 Perbandingan Poisson (*Poisson's Ratio*)

Salah satu karakteristik penting yang perlu diperhatikan dalam melakukan analisa menggunakan metode elemen hingga adalah diketahuinya perbandingan Poisson dari material tersebut. Perbandingan Poisson menunjukkan perbandingan antara regangan lateral dan aksial dari suatu bahan material. Dari hal tersebut dapat diperlihatkan bahwa pada suatu benda padat jika dihadapkan pada suatu gaya tarik aksial maka benda tersebut akan menyusut secara lateral dan sebaliknya saat ditekan benda padat tersebut akan menuai ke samping seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 berikut ini,



Gambar 1. Penyusutan dan pemuai lateral dari benda-benda yang mengalami efek dari Poisson [5]

2.6 Modulus Penampang Kapal

Modulus penampang merupakan nilai suatu perbandingan antara momen inersia suatu

penampang terhadap sumbu yang melalui titik berat penampang (sumbu netral) dengan jarak terjauh dari ujung penampang ke titik berat penampang tersebut. Dalam perhitungan modulus penampang melintang suatu kapal, harus terlebih dahulu diketahui momen inersia total dari penampang tersebut, sehingga perlu dihitung momen inersia pada setiap penampang melintang atau elemen-elemen konstruksi (momen inersia pribadi). Modulus penampang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$W = \frac{I}{Z}$$

Untuk :

I - momen inersia total

Z - jarak terjauh dari sumbu netral

ke bagian konstruksi [4]

2.7 Beban Pada Kapal

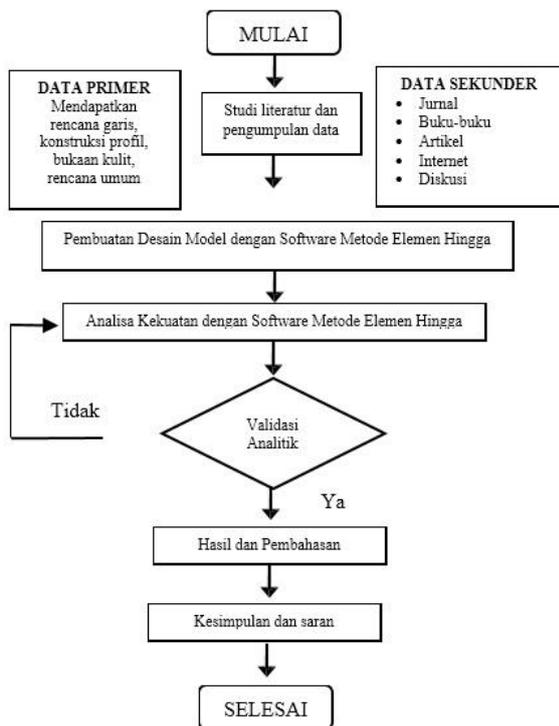
Kapal dibuat untuk mengangkut barang dan penumpang melalui air dan juga untuk bekerja pada waktu berlabuh dan docking, kapal mendapat beban yang tidak berubah-ubah besarnya, tetapi pada waktu berlayar dan bekerja beban yang diterima selalu berubah-ubah. perubahan beban ini ada yang terjadi dengan cepat, tetapi ada yang terjadi perlahan-lahan. jadi secara umum, beban yang diterima kapal dapat kita golongan menjadi beban statis (tetap), beban statis semu (quasi statis), beban dinamis. [7]

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian seperti buku konstruksi kapal. Setelah data terkumpul dilakukan perhitungan sistem penggadingannya menggunakan 2 variasi rules. Setelah perhitungan selesai, selanjutnya dibuat modelnya menggunakan software berbasis metode element hingga. Selanjutnya adalah proses validasi model, apabila model valid dilanjutkan analisa kekuatan model. Dari hasil analisa didapatkan nilai

tegangan yang dilanjutkan dengan kesimpulan dan saran.



Gambar. 2 Diagram alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ukuran Utama Kapal

Tipe kapal	: Ro-Ro 500 GT
Length Over All (LOA)	: 45,50 m
LPP	: 40,15 m
Lebar (B)	: 12,00 m
Tinggi (H)	: 3,20 m
Sarat (T)	: 2,15 m
<i>Coefficient Block (CB)</i>	: 0,645
Kecepatan Dinas	: 12,00 Knot

4.2 Konstruksi Kapal Desain lama dengan jarak gading 0,5 meter

Tabel. 1 Ukuran Profil jarak gading 0,5 meter

No.	Nama	Ukuran
1	Main Frame Atas	L 65 x 65 x 6
2	Main Frame Bawah	L 75 x 75 x 75
3	Web Frame Atas	PL 300 x 10 FP 100 x 12
4	Web Frame Bawah	PL 250 x 8 FP 100 x 8
5	Side Stranger	PL 250 x 8 FP 100 x 8
6	Deck Beam Geladak Windlass	L 75 x 75 x 75
7	Strong Beam Geladak Windlass	PL 250 x 8 FP 100 x 8
8	Center Deck Girder Geladak Windlass	PL 250 x 8 FP 100 x 8
9	Side Deck Girder Geladak Windlass	PL 250 x 8 FP 100 x 8
10	Deck Beam Car Deck	L 75 x 75 x 75
11	Strong Beam Car Deck	PL 250 x 8 FP 100 x 8
12	Center Car Deck Girder	PL 400 x 8 FP 200 x 8
13	Side Car Deck Girder	PL 400 x 8 FP 200 x 8
14	Stiffener Sekat Atas	L 65 x 65 x 6
15	Web Stiffener Sekat Atas	PL 300 x 10 FP 100 x 12
16	Stiffener Sekat Bawah	L 75 x 75 x 75
17	Web Stiffener Sekat Bawah	PL 250 x 8 FP 100 x 8

Tabel. 2 Tebal pelat jarak gading 0,5 meter

No.	Nama	Tebal
1	Pelat Geladak Windlass	10
2	Pelat Geladak Mobil	10
3	Pelat Geladak Double Bottom	8
4	Pelat Double Bottom	10
5	Pelat Sisi	8
6	Center Girder	10
7	Side Girder	8
8	Solid Floor	10
9	Open Floor	10
10	Water Tight	8

4.3 Perhitungan Tekanan

Tekanan Hidrostatik Air Laut

$$P = \rho g h$$

ρ = massa jenis air laut (1025 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

h = kedalaman permukaan (3,4 m)

$$P = 1025 \times 9,8 \times 3,2$$

$$= 32144$$

4.4 Penentuan *Inertial Loads*

Pada kapal mengalami gaya inersia yaitu gaya grafitasi. *Input Inertial Loads* bertujuan untuk memberikan gaya tekan ke bawah sebesar gaya gravitasi bumi yaitu 9,8 Newton.

4.5 Hasil Analisa Kapal

4.5.1 Perbandingan Berat Konstruksi

Pada kapal desain jarak gading lama dan desain modifikasi mempunyai jarak gadig sehingga mengakibatkan perubahan berat konstruksi. Perubahan berat konstruksi tersebut dikarenakan berkurangnya gading-gading yang menjadi struktur konstruksi kekuatan kapal. Pada model jarak gading lama memiliki 71 pasang gading dan pada model modifikasi memiliki 59 pasang gading, sehingga selisih pasang gading desain jarak gading lama dengan desain modifikasi sebanyak 12 pasang gading. Perubahan jumlah gading mengakibatkan berkurangnya berat kosntruksi pada kapal desain modifikasi.

Tabel 2. Berat Konstruksi

Model	Berat Konstruksi (Ton)
Konstruksi Lama	356.9
Konstruksi Modifikasi	259.8
Selisih Berat	97.1

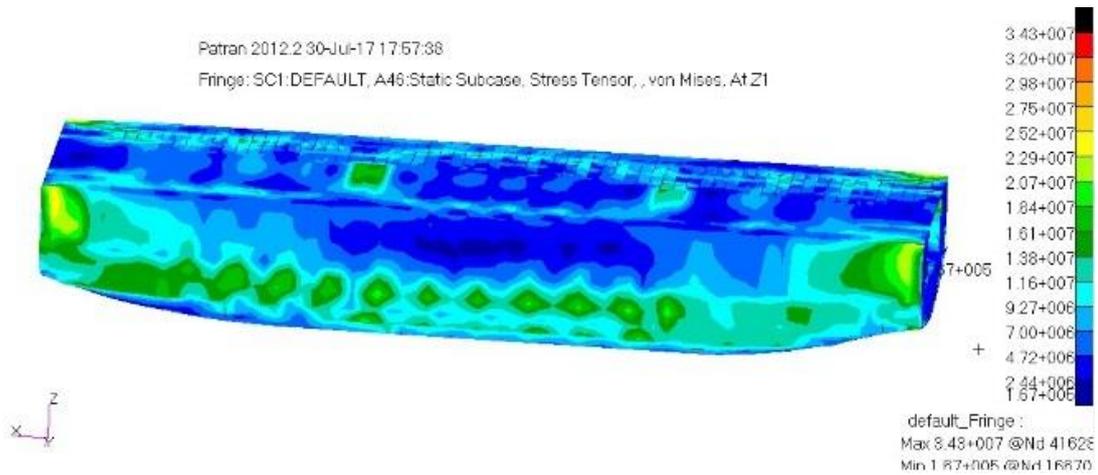
Pada desain jarak gading lama dengan desain jarak gading modifikasi mempunyai selisih 97,1 Ton atau setara dengan pengurangan

berat sebesar 27,2% terhadap berat desain jarak gading lama.

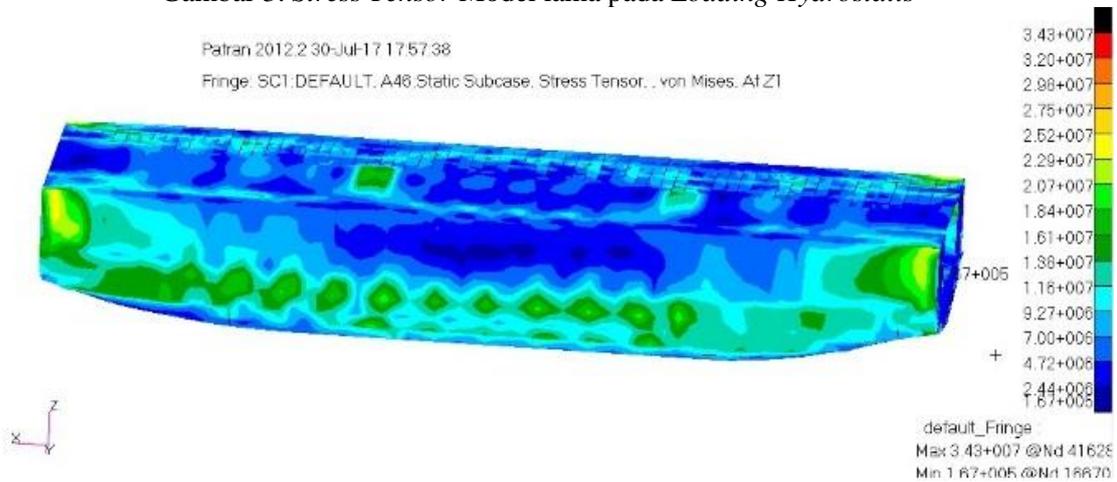
4.5.2 Perbandingan Tegangan

1) Tegangan pada *Loading Hydrostatis*

Tegangan maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar 3,4Mpa. Tegangan maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar 3,43Mpa.



Gambar 3. *Stress Tensor Model lama pada Loading Hydrostatis*

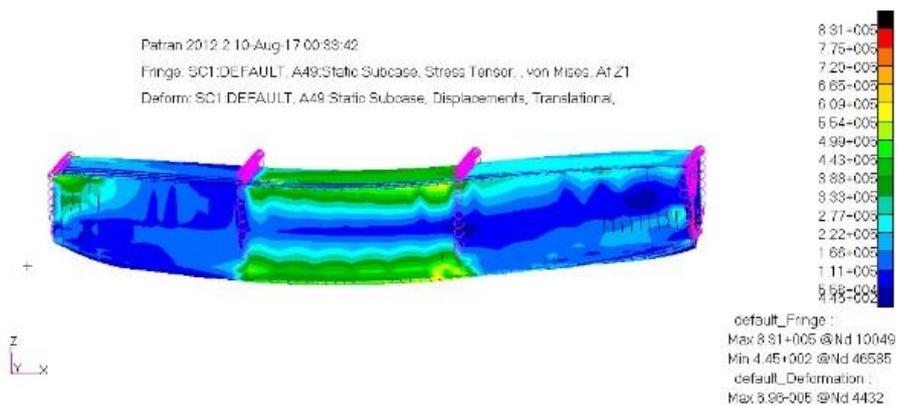


Gambar 4. *Stress Tensor Model Modifikasi pada Loading Hydrostatis*

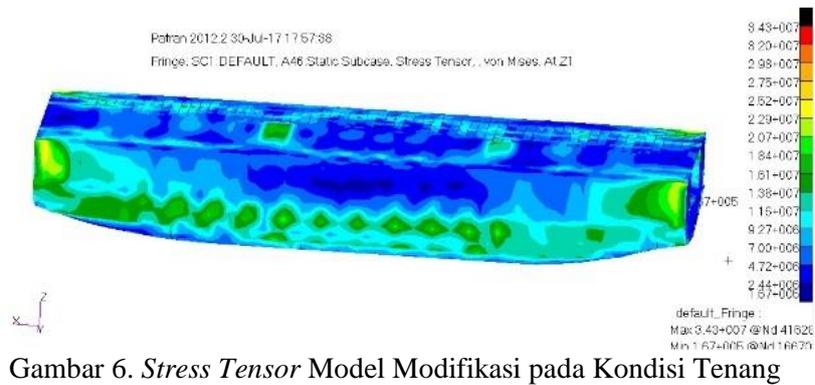
2) Tegangan pada Kondisi Tenang

Tegangan maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $8,31 \times 10^{-5}$ Pa. Tegangan

maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $1,16 \times 10^{-6}$ Pa.



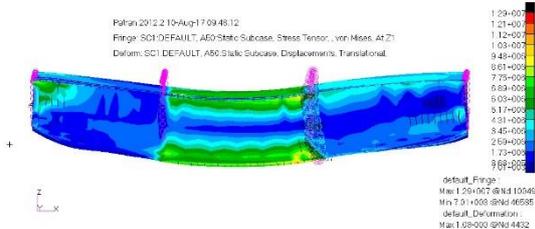
Gambar 5. *Stress Tensor Model Jarak gading lama pada Kondisi Tenang*



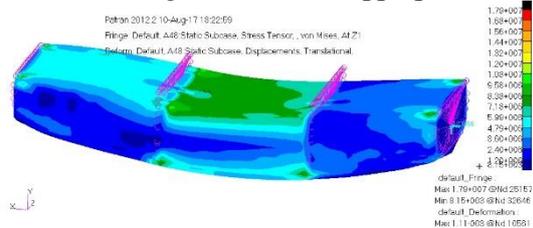
Gambar 6. *Stress Tensor Model Modifikasi pada Kondisi Tenang*

3) Tegangan pada Kondisi Sagging

Tegangan maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $1,29 \cdot 10^{-7} \text{Pa}$. Tegangan maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $1,79 \cdot 10^{-7} \text{Pa}$.



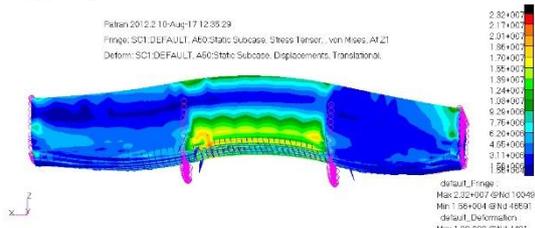
Gambar 7. *Stress Tensor Model Jarak gading lama pada Kondisi Sagging*



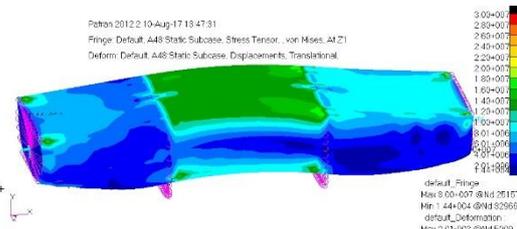
Gambar 8. *Stress Tensor Model Modifikasi pada Kondisi Sagging*

3) Tegangan pada Kondisi Hogging

Tegangan maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $3,23 \cdot 10^{-7} \text{Pa}$. Tegangan maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $3,00 \cdot 10^{-7} \text{Pa}$.



Gambar 9. *Stress Tensor Model Jarak gading lama pada Kondisi Hogging*

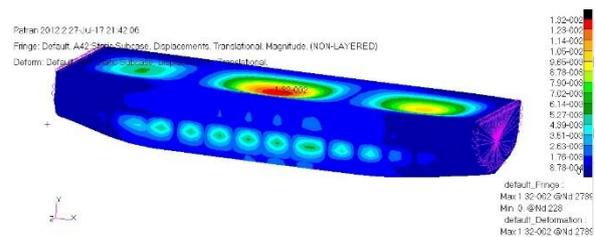


Gambar 10. *Stress Tensor Model Modifikasi pada Kondisi Hogging*

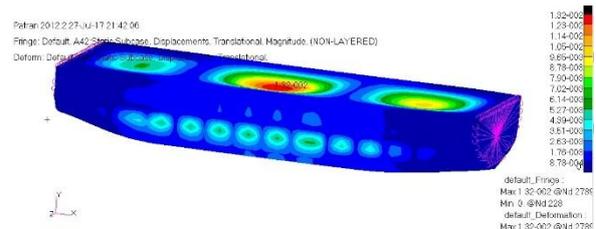
4.5.3. Perbandingan Deformasi

1) Deformasi pada Loading Hidrostatik

Deformasi maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar 13,2 milimeter. Deformasi maksimal pada model kapal modifikasi sebesar 13,2 milimeter.



Gambar 11. *Displacement Model Jarak gading lama pada Loading Hydrostatik*

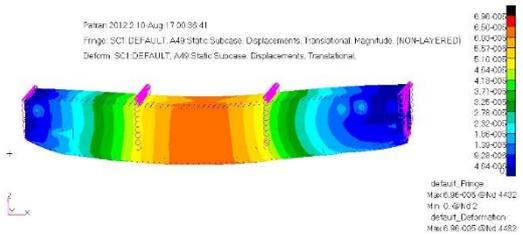


Gambar 12. *Displacement Model Modifikasi pada Loading Hydrostatik*

2) Deformasi pada Kondisi Tenang

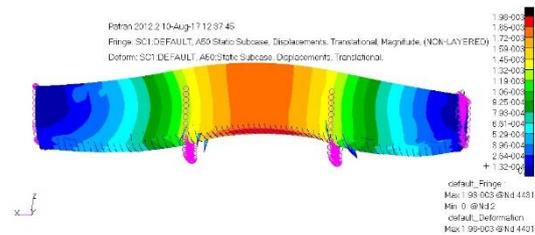
Deformasi maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $6,96 \cdot 10^{-5}$ meter.

Deformasi maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $7,11 \times 10^{-5}$ meter.

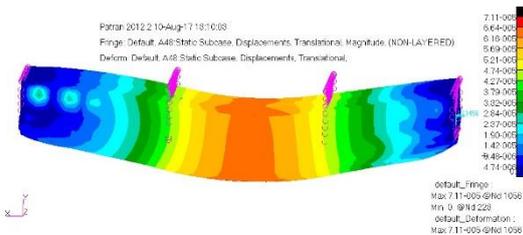


Gambar 13. Displacement Model Jarak gading lama pada Kondisi Tenang

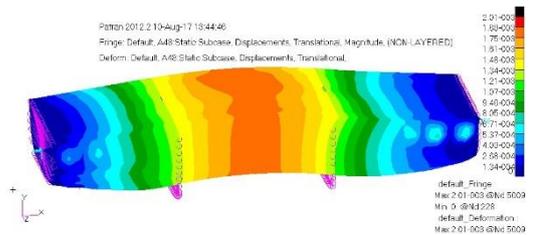
Deformasi maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $2,01 \times 10^{-3}$ meter.



Gambar 17. Displacement Model Jarak gading lama pada Kondisi Hogging



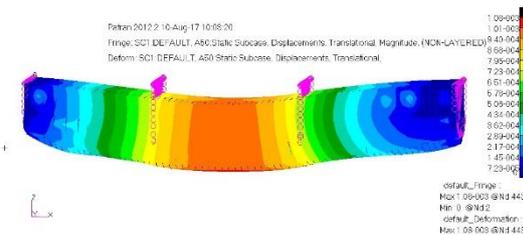
Gambar 14. Displacement Model Modifikasi pada Kondisi Tenang



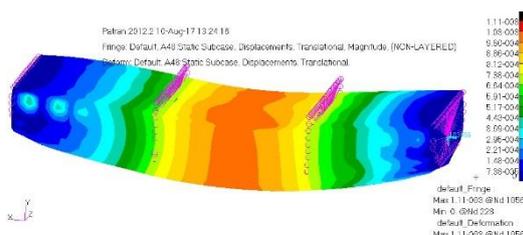
Gambar 18. Displacement Model Modifikasi pada Kondisi Hogging

3) Deformasi pada Kondisi Sagging

Deformasi maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $1,08 \times 10^{-3}$ meter. Deformasi maksimal pada model kapal modifikasi sebesar $1,1 \times 10^{-3}$ meter.



Gambar 15. Displacement Model Jarak gading lama pada Kondisi Sagging



Gambar 16. Displacement Model Modifikasi pada Kondisi Sagging

4) Deformasi pada Kondisi Hogging

Deformasi maksimal pada model kapal jarak gading lama sebesar $1,98 \times 10^{-3}$ meter.

3. Perhitungan Safety Factor

Berikut ini tabel perhitungan *Safety Factor* menurut kriteria bahan dan standart BKI pada kapal model lama ($a = 0,5m$) dengan kapal model modifikasi ($a = 0,6 m$)

Tabel 3. Perhitungan *Safety Factor* menurut tegangan ijin

Kondisi Pembebanan	Model	Tegangan Max (Pa)	Tegangan Ijin (Pa)	Safety Factor	Ket.
Hydrostatis	Lama	$3,44 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	3,41	Baik
	Modifikasi	$3,53 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	3,32	Baik
Tenang	Lama	$8,31 \times 10^5$	$1,17 \times 10^8$	14,11	Baik
	Modifikasi	$1,16 \times 10^6$	$1,17 \times 10^8$	8,88	Baik
Sagging	Lama	$1,29 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	9,09	Baik
	Modifikasi	$1,79 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	6,85	Baik
Hogging	Lama	$3,23 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	5,05	Baik
	Modifikasi	$3,00 \times 10^7$	$1,17 \times 10^8$	3,91	Baik

Tabel 4. Perhitungan *Safety Factor* menurut kriteria bahan

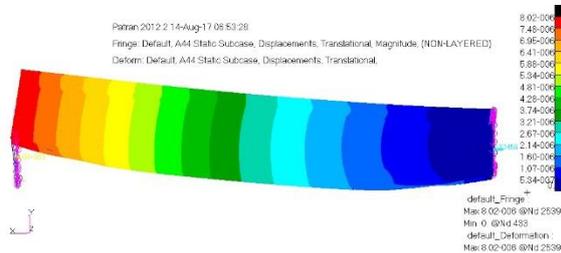
Kondisi Pembebanan	Model	Tegangan Max (Pa)	Tegangan Izin (Pa)	Safety Factor	Ket.
Hydrostatis	Lama	3,44x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	11,63	Baik
	Modifikasi	3,53x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	11,33	Baik
Tenang	Lama	8,31x10 ⁵	4,00x10 ⁻⁸	48,13	Baik
	Modifikasi	1,16x10 ⁶	4,00x10 ⁻⁸	30,30	Baik
Sagging	Lama	1,29x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	31,01	Baik
	Modifikasi	1,79x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	23,39	Baik
Hogging	Lama	3,23x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	17,24	Baik
	Modifikasi	3,00x10 ⁷	4,00x10 ⁻⁸	13,33	Baik

4.6 Validasi Software

Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validitasnya harus dibawah 10% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid.

$$V_{max} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

Gambar 7. Validasi Software



Tabel 5. Hasil validasi

Hasil Deformasi (meter)		Persentase Validitas
Software	Mekanika Teknik	
1,23.105	1,20.105	97,72%

Dari tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa model sudah valid.

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- 1) Kedua model mempunyai perbedaan pada jarak gading sehingga mempengaruhi banyaknya pasang gading pada setiap model. Pada model jarak gading lama memiliki 71 pasang gading dan pada model modifikasi memiliki 59 pasang gading, sehingga selisih pasang gading desain jarak gading lama dengan

desain modifikasi sebanyak 12 pasang gading.

- 2) Berat konstruksi pada model jarak gading lama mempunyai berat 356,9 Ton, dan pada model jarak gading modifikasi mempunyai berat 259,8 Ton. Sehingga berat konstruksi modifikasi lebih ringan dengan selisih 97,1 Ton dengan persentase sebesar 27,2% terhadap berat desain jarak gading lama.
- 3) Dalam penelitian tersebut, model desain jarak gading lama ataupun model yang sudah dimodifikasi memenuhi kekuatan safety factor. Pada analisa beban *hydrostatis* dan *longitudinal strength* menunjukkan jika jarak gading bertambah 0,1 meter maka safety factor masih tetap masuk tetapi mengalami pengurangan.

5.2 Saran

1. Pemodelan dengan menggunakan metode Elemen hingga sangat bergantung kepada jumlah elemen yang dipergunakan dan kesesuaian pemberian *constraint* dan *load* sesuai tempatnya pada suatu model. Sehingga untuk mendapatkan hasil pemodelan yang lebih baik hendaknya pembuatan model dilakukan dengan pembagian *mesh* yang lebih banyak lagi, terutama pada daerah yang menjadi mengalami pemusatan tegangan. Dengan demikian hasil yang akan didapat mendekati kondisi sesungguhnya.
2. Perlu dilakukan kajian ekonomi dari struktur konstruksi keua model tersebut, sehingga dapat diketahui berapa biaya yang dapat dihemat dengan menggunakan konstruksi modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. "Kapal Ro-Ro". 3 November 2016. https://id.wikipedia.org/wiki/Kapal_Ro-Ro
- [2] Ross, C.T.F. 1985. *Finite Element Methods in Structural Mechanic*. Chicherter: Ellis Horwood Ltd.
- [3] Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.
- [4] Rosyid, D.M, *Kekuatan Struktur Kapal*, Pranya Paramita, Jakarta, 2000.

- [5] Popov, E.P., 1978. *Mechanics of Material, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [6] Setiawan, Agus. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.
- [7] Arif, MS. "Beban yang Berkerja pada Kapal". 10 Februari 2016.
<http://dosenkapal.com/2016/02/beban-yang-bekerja-pada-kapal/>
- [8] Anonim. "Tegangan Geser". 2 September 2016.
https://id.wikipedia.org/wiki/Tegangan_geser