

## ANALISIS PENGARUH JARAK GADING TERHADAP KEKUATAN MEMANJANG KAPAL FERRY RO-RO 5000 GT

Amalia Ika Wulandari<sup>1\*</sup>, Alamsyah<sup>2</sup>, Nova Aprilia Dewi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Kalimantan

\*amaliaikaw@lecturer.itk.ac.id

### Abstract

One factor that affects the strength of the ship the frame spacing. The development of construction no longer regulates the frame spacing, so ship designers plan the optimal frame spacing with the maximum ultimate stress on the plate according to classification rules. The vessel's boundary moment must be equal to or greater than 1.2 times the vertical bending moment (sagging and hogging), so that the total moment of the ship can be calculated based on BKI rules. The actual frame spacing in ferry ro-ro 5000 GT is 600 mm. The purpose of study was to determine the effect of frame spacing on the ultimate strength of ship and determine the optimal frame spacing. The result obtained ultimate strength for frame spacing of 700 mm at hogging condition is at a moment of  $1.88 \times 10^{12}$  Nmm and sagging conditions at  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm. The ultimate strength for frame spacing of 800 mm at hogging condition is at a moment of  $1.87 \times 10^{12}$  Nmm and sagging conditions at  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm. The ultimate strength for frame spacing of 900 mm at hogging condition is at a moment of  $1.85 \times 10^{12}$  Nmm and sagging conditions at  $-1.32 \times 10^{12}$  Nmm. The ultimate strength for frame spacing of 1000 mm at hogging condition is at a moment of  $1.79 \times 10^{12}$  Nmm and sagging conditions at  $-1.32 \times 10^{12}$  Nmm. The optimal frame spacing is at variation of 700 mm frame spacing with a ultimate moment at hogging conditions of  $1.88 \times 10^{12}$  Nmm and at sagging condition at  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm.

Keywords : Frame Spacing, Hogging, Momen Ultimate, Sagging, Ultimate Strength

### Abstrak

Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan kapal adalah jarak gading. Perkembangan konstruksi tidak lagi mengatur jarak gading, sehingga para perancang kapal merencanakan jarak gading optimal dengan batasan tegangan maksimum pada pelat menurut aturan klasifikasi. Momen batas struktur kapal harus sama dengan atau lebih besar dari 1.2 kali momen lentur vertikal (*sagging* dan *hogging*), sehingga momen total kapal dapat dihitung berdasarkan aturan BKI. Adapun jarak gading aktual pada kapal *ferry ro-ro* 5000 GT pada penelitian ini sebesar 600 mm. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jarak gading terhadap kekuatan memanjang kapal dan mengetahui jarak gading optimal. Metode yang digunakan yakni FEM (*Finite Element Method*) dengan variasi jarak gading pada kapal *ferry ro-ro*. Hasil penelitian didapatkan kekuatan batas untuk jarak gading 700 mm pada kondisi *hogging* berada pada momen sebesar  $1.88 \times 10^{12}$  Nmm dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm. Kekuatan batas untuk jarak gading 800 mm pada kondisi *hogging* berada pada momen sebesar  $1.87 \times 10^{12}$  Nmm dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm. Kekuatan batas untuk jarak gading 900 mm pada kondisi *hogging* berada pada momen sebesar  $1.85 \times 10^{12}$  Nmm dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-1.32 \times 10^{12}$  Nmm. Kekuatan batas untuk jarak gading 1000 mm pada kondisi *hogging* berada pada momen sebesar  $1.79 \times 10^{12}$  Nmm dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-1.32 \times 10^{12}$  Nmm. Jarak gading optimal berada pada variasi jarak gading 700 mm dengan momen batas pada kondisi *hogging* sebesar  $1.88 \times 10^{12}$  Nmm dan pada kondisi *sagging* sebesar  $-1.33 \times 10^{12}$  Nmm.

Kata kunci : *Hogging*, *Jarak Gading*, *Kekuatan Batas*, *Momen Batas*, *Sagging*

## 1. Pendahuluan

Kekuatan konstruksi kapal merupakan salah satu aspek teknis yang turut mempengaruhi tingkat keamanan kapal disaat berlayar baik kondisi laut yang tenang maupun bergelombang. Masalah utama dalam konstruksi kapal ialah membuat suatu yang kokoh dan kuat dengan berat konstruksi yang seringan mungkin. Konstruksi yang kuat dan kokoh merupakan suatu konstruksi yang tidak mudah patah dan tidak dapat berubah bentuk saat menerima beban. Kapal akan mengalami berbagai beban antara lain beban *internal* yang disebabkan oleh pembebanan yang ada dikapal dan beban *external* seperti gelombang laut serta posisi kapal terhadap gelombang itu sendiri dan angin. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan kapal adalah jarak gading. Perkembangan konstruksi tidak lagi mengatur jarak gading, sehingga para perancang kapal merencanakan jarak gading yang optimal dengan batasan tegangan maksimum pada pelat menurut aturan klasifikasi. Momen batas struktur kapal harus sama dengan atau lebih besar dari 1.2 kali momen lentur vertikal (*sagging* dan *hogging*), sehingga momen total kapal dapat dihitung berdasarkan aturan BKI.

Masalah yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh jarak gading terhadap kekuatan memanjang kapal. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh jarak gading terhadap kekuatan memanjang kapal dan mengetahui jarak gading optimal untuk kapal *ferry ro-ro* dengan panjang 100 meter.

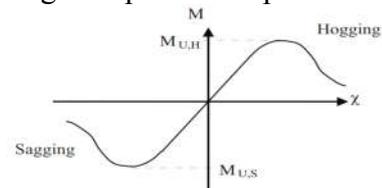
## 2. Tinjauan Pustaka

Kapal *ro-ro* merupakan kapal yang dirancang untuk memuat kendaraan yang dapat berjalan masuk atau keluar kapal dengan penggeraknya sendiri, sehingga kapal disebut kapal *roll on-roll off (Ro-Ro)*. Ro-ro dapat mengangkut truk, penumpang dan mobil. Karakteristik dari kapal ini antara lain, memiliki akses *ramp* pada *bow* dan *stren*, memiliki geladak kendaraan dengan lajur yang panjang dan memiliki banyak ventilator pada atas *deck* sebagai tempat pembuangan asap kendaraan bongkar [1]. Setiap *deck* pada kapal *ferry* digunakan

untuk muatan yang berbeda-beda, misalnya *deck* pada bagian bawah untuk membawa mobil atau kendaraan bermotor berikut *cargo*. Kendaraan bermotor dan *cargo* dimasukkan melalui *ramp door* (pintu rampa) dengan sistem *roll on-roll off (Ro-Ro)* [5].

Kekuatan memanjang kapal adalah perhitungan kekuatan kapal secara memanjang untuk menopang beban yang berasal dari muatan dan kapal itu sendiri kekitak berlayar pada kondisi air tenang maupun bergelombang. Kekuatan memanjang merupakan salah satu persyaratan klasifikasi (BKI) untuk kapal-kapal dengan panjang lebih dari 65 m [7].

Momen lentur terjadi ketika gaya diterapkan pada suatu struktur dari titik acuan tertentu hingga menyebabkan efek lentur (*bending*) pada struktur tersebut. Jika struktur tidak tertahan maka akan menyebabkan struktur berputar pada titik tertentu [2]. Adapun hubungan antara kekuatan batas momen lentur dengan kelengkungan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Kekuatan Momen Lentur dan Kelengkungan (BKI, 2019)

Kekuatan batas kapal ( $M_u$ ) dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 berikut.

$$yR \leq M_u / M_t \quad (1)$$

dimana  $M_t$  adalah momen lentur batas total vertikal dan  $yR$  adalah faktor keamanan untuk kekuatan batas lentur vertikal (1.2) [2].

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan dan beban tarik. Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 berikut.

$$FS = \sigma_{ultimate} / \sigma_{ijin} \quad (2)$$

dimana nilai faktor keamanan (*factor of safety*) harus lebih besar dari satu [11].

Berdasarkan *rules* BKI Vol II *Section 5.C.1.1* untuk mencari tegangan *ultimate* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 berikut [2].

$$\sigma_p = C_s \times \sigma_{p0} \quad (3)$$

dimana :

$\sigma_p$  = Tegangan memanjang kapal yang diijinkan (N/mm<sup>2</sup>)

$C_s = 0.5 + (5/3 \cdot x/L)$  untuk  $0 \leq x/L < 0,30$   
 = 1,0 untuk  $0,30 \leq x/L \leq 0,70$

=  $5/3 (1.3 - x/L)$  untuk  $0,70 < x/L \leq 1,0$

$\sigma_{p0} = 18,5$  untuk  $L \leq 90$  m

=  $175/k$  untuk  $L \geq 90$  m

**3. Metoda Penelitian**

Metode pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode kuantitatif dengan kapal *ferry ro-ro*. Data yang didapatkan akan digunakan untuk proses pemodelan saat melakukan analisis.

**4. Hasil & Pembahasan**

Penelitian ini menggunakan model pada bagian midship kapal dengan menggunakan *frame 80-85*. Penelitian ini menunjukkan hasil perhitungan kekuatan didapatkan menggunakan *NLFEA* pada *hull girder* dari kapal *ferry ro-ro* pada kondisi *hogging* dan *sagging*. Pada kondisi *hogging*, penampang bagian *deck* mengalami tarik dan pada bagian *bottom* mengalami tekan. Sedangkan pada kondisi *sagging*, penampang bagian *deck* mengalami tekan dan pada bagian *bottom* mengalami tarik.

Parameter perhitungan kekuatan memanjang kapal terdiri dari tegangan, momen inersia dan modulus penampang yang harus melewati nilai batas yang diijinkan BKI. Pada penelitian ini, perhitungan kekuatan memanjang hanya dilakukan dengan dua parameter yaitu nilai tegangan dan perbandingan momen total dengan momen *ultimate*.

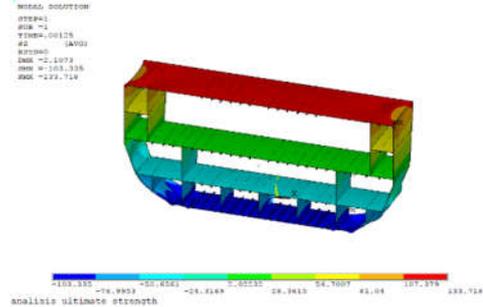
Pada analisis kekuatan batas untuk setiap variasi jarak gading dengan memasukkan nilai momen maksimum sebesar  $2.8 \times 10^{14}$  Nmm lalu dilakukan simulasi pada *software* dengan menghasilkan nilai tegangan pada tabel 1.

Tabel 1. Tegangan Hasil Simulasi Untuk Setiap Variasi Jarak Gading

Jarak Gading (mm)	Kondisi Hogging (N/mm <sup>2</sup> )	Kondisi Sagging (N/mm <sup>2</sup> )
700	133.718	57.5591

800	134.787	59.6341
900	141.175	136.20
1000	151.379	227.505

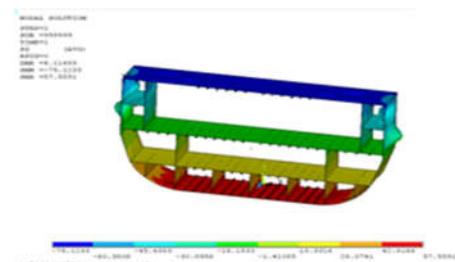
Simulasi pada *software* menghasilkan kontur untuk jarak gading 700 mm yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Deformasi Ketika Hogging Pada Variasi Jarak Gading 700 mm

Berdasarkan Gambar 3 di atas diketahui bahwa hasil simulasi menghasilkan tegangan untuk kondisi *hogging* sebesar 133.718 N/mm<sup>2</sup> pada *deck* sedangkan pada bagian *bottom* menghasilkan tegangan sebesar -103.335 N/mm<sup>2</sup>. Pada kondisi *hogging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tarikan dan pada bagian *bottom* akan mengalami tekan. Sehingga besaran nilai tegangan yang terjadi akan berbeda.

Adapun tegangan yang bekerja pada kondisi *sagging* sebesar 57.5591 N/mm<sup>2</sup> pada *bottom* sedangkan pada bagian *deck* sebesar -75.1233 N/mm<sup>2</sup> seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Deformasi Ketika Sagging Pada Variasi Jarak Gading 700 mm

Pada kondisi *sagging*, penampang bagian *deck* akan mengalami tekanan dan pada bagian *bottom* akan mengalami tarikan. Sehingga besaran nilai tegangan yang terjadi akan berbeda.

Setelah mendapatkan tegangan yang diijinkan bekerja pada konstruksi atau tegangan maksimum, selanjutnya melakukan perhitungan *safety factor* pada kondisi

*hogging* dan *sagging* pada setiap variasi jarak gading harus memiliki nilai lebih besar dari satu. Berdasarkan perhitungan *safety factor* untuk setiap variasi jarak gading dapat dilihat pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Perhitungan Safety Factor Pada Kondisi Hogging Untuk Setiap Variasi Jarak Gading

Jarak Gading (mm)	Tegangan Ijin (N/mm <sup>2</sup> )	Tegangan Ultimate (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor	Ket
700	133.718	257.35	1.92	pass
800	134.787	257.35	1.90	pass
900	141.175	257.35	1.82	pass
1000	151.379	257.35	1.70	pass

Tabel 3. Perhitungan Safety Factor Pada Kondisi Sagging Untuk Setiap Variasi Jarak Gading

Jarak Gading (mm)	Tegangan Ijin (N/mm <sup>2</sup> )	Tegangan Ultimate (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor	Ket
700	57.5591	257.35	4.47	pass
800	59.6341	257.35	4.31	pass
900	136.20	257.35	1.88	pass
1000	227.505	257.35	1.13	pass

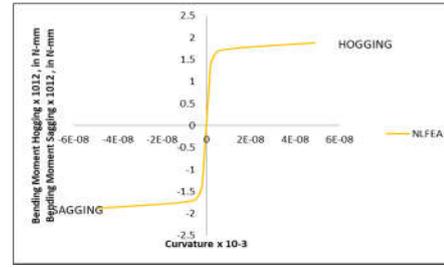
Jadi, berdasar perhitungan *safety factor* untuk semua variasi jarak gading pada kondisi *hogging* dan *sagging* memiliki nilai lebih besar dari satu, maka tegangan yang bekerja pada konstruksi masih diperbolehkan.

Hasil analisis kekuatan batas momen lentur vertikal pada *hull girder* dengan metode *NLFEA* menggunakan *software* berbasis elemen hingga diperoleh nilai momen batas pada kondisi *hogging* dan *sagging* dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Momen Lentur Vertikal

Jarak Gading (mm)	Momen Batas (Nmm) Pada Kondisi Hogging	Momen Batas (Nmm) Pada Kondisi Sagging
700	1.88 x 10 <sup>12</sup>	-1.33 x 10 <sup>12</sup>
800	1.87 x 10 <sup>12</sup>	-1.33 x 10 <sup>12</sup>
900	1.85 x 10 <sup>12</sup>	-1.32 x 10 <sup>12</sup>
1000	1.79 x 10 <sup>12</sup>	-1.32 x 10 <sup>12</sup>

Adapun hubungan antara lain kekuatan batas dan *curvature* atau kelengkungan dengan menggunakan metode *NLFEA* yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Momen Kelengkungan Kapal Ro-Ro Pada Jarak Gading 700 mm

Pada kondisi *hogging*, Gambar 5 menjelaskan tentang momen lentur batas vertikal dari 0 Nmm sampai 1.33 x 10<sup>12</sup> Nmm kapal dalam kondisi masih *linier*, selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak *linier*. Ketika kapal ro-ro dengan besar momen lentur 1.88 x 10<sup>12</sup> Nmm telah mencapai momen *ultimate*. Pada kondisi *sagging* ketika kapal ro-ro dengan besar momen lentur -1.33 x 10<sup>12</sup> Nmm telah mencapai momen *ultimate*.

Sesuai *rules* BKI Vol II *Section 5* bahwa faktor keamanan untuk kekuatan batas lentur vertikal (1.2 untuk kondisi *sagging* dan *hogging*) harus lebih kecil atau sama dengan momen batas dibagi momen lentur batas total vertikal. Setelah dilakukan perhitungan momen total (MT) saat *hogging* bernilai 1.81 x 10<sup>12</sup> Nmm dan pada saat *sagging* bernilai -2.15 x 10<sup>11</sup> Nmm. Dengan memakai Persamaan 1 maka didapatkan perhitungan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Perhitungan Faktor Keamanan Untuk Kekuatan Batas Lentur Vertikal Pada Kondisi Hogging

Jarak Gading (mm)	y/R	Mu/Mt	Keterangan
700	1.2	9.82	Memenuhi
800	1.2	9.77	Memenuhi
900	1.2	9.67	Memenuhi
1000	1.2	9.35	Memenuhi

Tabel 5. Perhitungan Faktor Keamanan Untuk Kekuatan Batas Lentur Vertikal Pada Kondisi Sagging

Jarak Gading (mm)	y/R	Mu/Mt	Keterangan
700	1.2	4.20	Memenuhi
800	1.2	4.20	Memenuhi
900	1.2	4.17	Memenuhi
1000	1.2	4.17	Memenuhi

\*Lanjutan Tabel 5

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui kekuatan memanjang kapal *ferry ro-ro* dan mengetahui jarak gading optimal untuk kapal *ferry ro-ro* dengan panjang 100 meter, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hubungan antara kekuatan batas dengan perubahan jarak gading pada kapal *ferry ro-ro* 5000 GT bahwa semakin rapat jarak gading maka momen batas yang dihasilkan semakin besar.
2. Jarak gading optimal untuk kapal *ferry ro-ro* 5000 GT berada pada jarak gading 700 mm, jika dilihat dari nilai momen batas yang dihasilkan saat beroperasi pada kondisi *sagging* dan *hogging*.

## 6. Saran

Adapun saran yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat melakukan analisis kembali dengan menggunakan variasi jarak gading yang berbeda.
2. Dapat dilakukan analisis dengan menggunakan metode lain.

## 7. Daftar Pustaka

- [1] Aden, Nanda, Ahmad Fauzan Zakki, Good Rindo. "Analisa Perubahan Jarak Gading Kapal Pada Struktur Kapal Ro-Ro 5000 GT untuk mendapatkan desain optimim", Vol.5, No.4, pp. 698, Oktober,2017.
- [2] BKI. "Rules for Hull". *Part. I. Vol II*. Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia. 2019.
- [3] Hidayat, Tsany Naufal. "Analisa Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling Pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV". Surabaya: Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. 2017, pp. 6-33.
- [4] Lestari, Putri Ayu. "Analisis Pengaruh Modulus Penampang Terhadap Kekuatan Batas Kapal Double Hull Tanker". Gowa: Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin. 2018, pp. 6-22.
- [5] Lily Muzdalifah, D. Chrismianto. "Analisa Keselamatan Kapal Ferry Ro-Ro Ditinjau Dari Damage Stability Probabilistik". Jurnal Teknik Perkapalan, Vol 4, No. 2, April.2016.
- [6] Rizkiani, Tsumiratin. "Analisa Kekuatan Batas Kapal VLCC", Gowa: Departemen Teknik Kelautan Universitas Hasanuddin. 2018, pp. 7-21
- [7] Pramono, Dwi Rendra, asjhar Imron, M. Nurul Misbah. "Analisa Kekuatan Memanjang Floating Dock Konversi Dari Tongkang dengan Metode Elemen Hingga", Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. Jurnal Teknik ITS, Vol 5, No. 2, 2016, pp. G149-G150.
- [8] Rohmadhana, Febriani. "Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Penyebrangan (KMP) Tipe Ro- Ro untuk Rute Ketapang-Gilimanuk"; Surabaya: Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.2016, pp. 4-28.
- [9] Santosa, Budi, "Kekuatan Kapal", Semarang: Universitas Diponegoro. 2013.
- [10] Wulandari, Amalia Ika, Ganding Sitepu, Muhammad Zubair Muis Alie. "Analisis Jarak Gading dan Kekuatan Batas struktur Kapal Ferry Ro-Ro", J. Wave. Vol.13, No.1, Juli.2019.
- [11] Yunanto, Wahyu Dwi, I. P. "Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck Pada Kapal Dengan Metode Elemen Hingga", Jurnal Teknik Perkapalan, Vol 2 No. 3, Agustus.2014.