

ANALISIS KEKUATAN BATAS TERHADAP PERUBAHAN JARAK GADING PADA KAPAL FERRY *ROLL ON- ROLL OF* DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Amalia Ika Wulandari¹, Taufik Hidayat², Yosi Mutya Nadayo³

¹ Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan dan Kemaritiman, Institut Teknologi Kalimantan, Jl. Soekarno-Hatta Km. 15. Karang Joang, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia 76127

Email: amaliaikaw@lecturer.itk.ac.id¹, taufik.hidayat@lecturer.tk.ac.id², 09161028@student.itk.ac.id³

Abstrak

Salah satu aspek yang harus diperhatikan saat proses perancangan kapal yaitu kekuatan konstruksi kapal yang sangat mempengaruhi tingkat keamanan kapal saat beroperasi di laut. Maka dari itu pemilihan desain dan material harus efisien agar konstruksi tetap kuat namun memiliki berat yang relatif lebih ringan dan sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui permodelan kapal KMP. Batumandi dengan perubahan jarak gading menggunakan software *Finite Elemen Method*, mengetahui nilai tegangan maksimum di setiap variasi jarak gading, mengetahui hubungan antara kekuatan batas dengan perubahan jarak gading pada kapal KMP. Batumandi, dan mengetahui jarak gading optimal untuk kapal KMP. Batumandi saat beroperasi pada kondisi *sagging* dan *hogging*. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan maksimum pada variasi jarak gading 600 mm yaitu 161.488 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 132.439 N/mm² pada kondisi *hogging*, pada jarak gading 800 mm yaitu 187.444 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 134.787 N/mm² pada kondisi *hogging*, dan pada jarak gading 1000 mm yaitu 227.505 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 151.379 N/mm² pada kondisi *hogging*. Hubungan antara kekuatan batas dengan perubahan jarak gading pada kapal KMP. Batumandi bahwa semakin besar jarak gading maka kekuatan batas yang didapatkan juga semakin kecil dan 600 mm merupakan jarak gading optimal untuk kapal KMP. Batumandi.

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

Abstract

One aspect that must be considered during the ship design process is the strength of ship construction which greatly influences the level of safety of the ship when operating at sea. Therefore the design and material selection must be efficient so that construction remains strong but has a relatively light weight and complies with the BKI regulations. The purpose of this study was to determine modelling process of the KMP. Batumandi with changes in frame spacing using Finite Element Method software, knowing the maximum stress value in each frame spacing variation, knowing the relationship between the strength of the limit with frame spacing changes on the KMP. Batumandi, and know the optimal frame spacing for the KMP. Batumandi when operating in *sagging* and *hogging* conditions. The results obtained maximum stress value (Ultimate Strength) in frame spacing variation of 600 mm is 161,488 N/mm² in *sagging* conditions and 132,439 N/mm² in *hogging* conditions, at a frame spacing of 800 mm that is 187.444 N/mm² in *sagging* conditions and 134,787 N/mm² in *hogging* conditions, and at frame spacing of 1000 mm, is 227.505 N/mm² in *sagging* conditions and 151,379 N/mm² in *hogging* conditions. Relationship between boundary strength and frame spacing change on KMP. Batumandi that the greater frame spacing the strength limit obtained also decreases, and 600 mm is the optimal frame spacing for the KMP. Batumandi.

Keywords: Frame Spacing, *Hogging*, Moment Ultimate, *Sagging*, Ultimate Strength

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara maritim terbesar jika dilihat dari persentase antara perairan dan daratannya. Dimana perairan Indonesia memiliki persentase sekitar 63,21% dari luasan wilayah Indonesia secara keseluruhan. Letak geografis yang strategis ini

maka Indonesia ditetapkan sebagai poros maritim dunia.

Sebagai negara maritim, kapal menjadi salah satu transportasi alternatif di Indonesia. Transportasi laut ini digunakan sebagai penunjang konektivitas antar pulau yang mempermudah aktivitas masyarakat di daerah atau provinsi juga untuk menjangkau pulau-pulau kecil dengan biaya yang relatif murah

dibandingkan dengan transportasi udara. Seperti yang telah diketahui, distribusi barang dan penumpang hampir 85% menggunakan sarana angkutan laut sehingga transportasi yang paling relevan adalah kapal dengan jenis KMP (Kapal Motor Penyebrangan).

Tingginya angka pengguna/penumpang kapal KMP (Kapal Motor Penyebrangan) semakin banyak pula perancangan sebuah kapal yang dilakukan. Proses perancangan kapal mencakup berbagai aspek, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu kekuatan konstruksi kapal yang sangat mempengaruhi tingkat keamanan kapal saat beroperasi di kondisi laut yang tenang maupun bergelombang. Konstruksi kapal akan mengalami beban internal dan external, maka untuk menahan beban tersebut kapal membutuhkan konstruksi yang kuat. Pemilihan desain dan material harus efisien agar konstruksi tetap kokoh dan kuat namun memiliki berat yang relatif lebih ringan dan sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia. Kekuatan kapal dapat ditinjau dengan melihat tegangan maksimum dan momen batas berdasarkan aturan klasifikasi.

Tujuan Penelitian ini Mengetahui permodelan kapal KMP. Batumandi dengan perubahan jarak gading menggunakan software *Non Linear Finite Elemen Analysis*, Mengetahui permodelan kapal KMP. Batumandi dengan perubahan jarak gading menggunakan software *Non Linear Finite Elemen Analysis*, Mengetahui hubungan antara kekuatan batas dengan perubahan jarak gading pada kapal KMP. Batumandi mengetahui jarak gading optimal untuk kapal KMP. Batumandi saat beroperasi pada kondisi *sagging* dan *hogging*.

2. METODE

Dijelaskan mengenai teori-teori terkait yang bersumber dari buku, jurnal, ataupun artikel yang berfungsi sebagai dasar dalam melakukan pengerjaan tugas akhir. Tujuannya agar dapat memahami konsep atau teori penyelesaian permasalahan yang ada

2.1 Kapal Motor Penyebrangan

Kapal Motor Penyebrangan (KMP) adalah tipe kapal yang digunakan sebagai angkutan penyebrangan antar pulau yang mengangkut kendaraan, barang, dan penumpang. Jangkauan penyebrangan kapal tipe KMP adalah dalam tujuan jarak dekat sehingga sering disebut sebagai transportasi pantai, sungai, dan danau [2]. Selain mengangkut penumpang, KMP biasa juga digunakan untuk mengangkut barang-barang kebutuhan mendesak seperti sayuran, daging, dan bahan makanan lainnya yang dikemas dalam kontainer yang berpendingin (*refrigerated container*). Selain itu ada kapalnya kapal ini mengangkut barang-barangcurah lainnya yang berkapasitas sedikit seperti biji-bijian yang dikemas dalam goni ataupun wadah tertutup lainnya. Ada beberapa tipe KMP yang ada di Indonesia, sala satunya adalah Kapal *Roll On- Roll Of*.

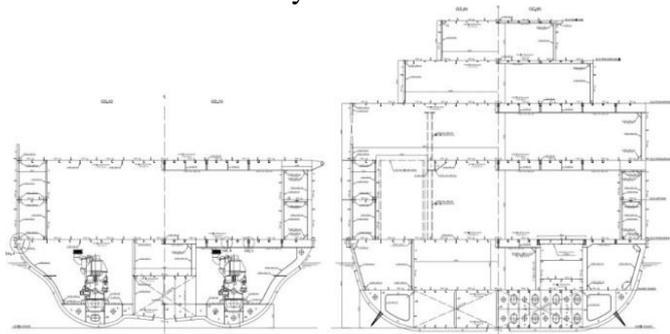
Data yang didapat akan digunakan untuk proses pemodelan saat melakukan analisis, data ini bersumber dari Kementerian Perhubungan Direktorat Jenderal Perhubungan Darat DITLASDP. Data yang diperoleh antara lain:

Tabel 1. Ukuran Utama kapal KMP.Batumandi

Ukuran Utama Kapal	Satuan	
LOA	109,4	m
LPP	99,2	m
B	19,6	m
Bwl	18,94	m
H	5,6	m
T	4,1	m
Vt	16	Knot
Mesin utama	2x3500	HP
mesin bantu	4x392	kW/490kVA
Bow Thruster	1x600	kW
ABK	30	Orang
Penumpang	812	Orang
Kendaraan maksimum	26	Unit
	2	Unit
	37	Unit

	77	Unit
Beban Trailer 40	40	Ton
Beban Tronton	30	Ton
Beban Truk Medium	10	Ton
Beban Sedan	1,6	Ton

Untuk detail gambar data konstruksi kapal KMP. Batumandi yaitu:



Gambar 1. Konstruksi Midship KMP. Batumandi

2.2 Kekuatan Kostruksi Memanjang

Kekuatan memanjang (*longitudinal strength*) pada kapal adalah perhitungan kekuatan kapal secara membujur untuk menopang beban muatan dan beban kapal itu sendiri ketika berlayar pada kondisi air tenang maupun air bergelombang. Kekuatan memanjang (*longitudinal strength*) menjadi salah satu persyaratan klasifikasi untuk kapal-kapal dengan panjang lebih dari 65 m [6]. 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* seperti ilustrasi yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Kondisi *Sagging* dan *Hogging*[5]

Pada kondisi *sagging* dan *hogging* seluruh bagian dari kapal akan mendapatkan beban yang berasal dari gaya eksternal yang bekerja pada struktur kapal. Gaya eksternal ini tersusun dari tekanan fluida, gravitasi, dan inersia akibat gerakan elastis dan kaku dari struktur kapal. Integrasi dari total gaya eksternal yang bekerja sepanjang struktur kapal akan menghasilkan nilai *shear force*, sedangkan integrasi dari *shear force* akan menghasilkan bending moment [4].

2.3 Tegangan

Penyusunan Tegangan adalah gaya persatuan luas ketika sebuah benda dikenai gaya. Tegangan merupakan 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. Apabila gaya tersebut menyebabkan pertambahan panjang benda, maka disebut tegangan tensile. Jika gaya menyebabkan berkurangnya panjang benda maka tegangan tersebut disebut tegangan kompresional. Terdapat berbagai macam jenis tegangan meliputi tegangan normal, tegangan puntir, tegangan tarik, tegangan tekan dan tegangan lengkung.

Tegangan yang mengakibatkan suatu konstruksi mengalami deformasi yang besar, dimana diformasi yang terjadi tersebut merupakan batas konstruksi masih aman dalam mengatasi beban yang terjadi atau yang bekerja itulah yang disebut tegangan izin. Kriteria konstruksi disebut masih aman apabila tegangan maksimum yang terjadi pada konstruksi tersebut masih lebih kecil dari tegangan izin yang telah ditentukan. Berdasarkan Rules BKI Vol II Section 5.C.1.1 untuk mencari tegangan ijin dapat dihitung menggunakan Persamaan 1 [1].

$$\sigma = C_s \times \sigma_0 \tag{1}$$

dimana:

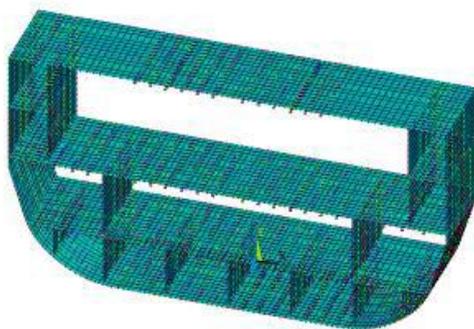
σ_p = Tegangan memanjang kapal yang diijinkan (N/mm²)

$$\begin{aligned}
 C_s &= 0.5 + (5/3)(x/L) & ; & \quad 0 \leq x/L < 0,30 \\
 &= 1,0 & ; & \quad 0,30 \leq x/L \leq 0,70 \\
 &= (5/3) [1,3 - (x/L)] & ; & \quad 0,70 < x/L \leq 1,0 \\
 \sigma_{p0} &= 18,5 (\sqrt{L})/k & ; & \quad L \leq 90 \text{ m} \\
 &= 175/k & ; & \quad L \geq 90 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Isi metode dapat menggunakan sub bab jika diperlukan. Isi metode dapat menggunakan sub bab jika diperlukan.

2.4 Metodologi Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian kuantitatif yaitu dengan mengambil Kapal Ferry Ro-Ro. Kemudian dilakukan investigasi untuk mengetahui bentuk *longitudinal deck* dan *inner bottom*. Setelah mengetahui ukuran utama kapal maka dilakukan pemodelan *midship* pada kapal ferry untuk mengetahui tekuk pada kapal terhadap perubahan jarak gading.



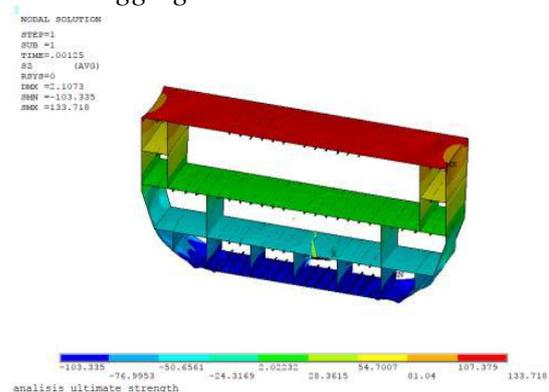
Gambar 3. Pemodelan Midship dengan Ansys

Dilakukan pemodelan seperti pada Gambar 2 dengan mengambil ukuran pada midship Kapal Ferry Ro-Ro kemudian memvariasikan jarak gading untuk mengetahui untuk mengetahui tekuk pada variasi jarak gading dan kapan kondisi tekuk optimal pada variasi jarak gading. Hasil dari NLFEA berupa nilai tegangan maksimal dan momen untuk mengetahui kekuatan batas pada kapal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

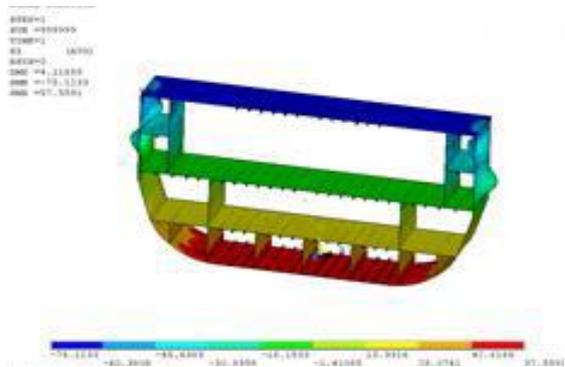
Setelah dilakukan permodelan bagian midship section menggunakan software berbasis elemen hingga dengan variasi nilai jarak gading 600 mm, 800 mm, 1000 mm dan beban yang sama yaitu 2.8E+14 maka didapatkan tegangan maksimum yang dilihat dari nilai SMX pada *countur deformasi* hasil runing ANSYS dan momen batas (*ultimate*) yang dilihat dari grafik *curve curvature*.

Berikut simulasi pada software pada kondisi *hogging*:



Gambar 4. Deformasi pada saat hogging

Pada kondisi *hogging*, penampang bagian deck akan mengalami tarikan dan pada bagian *bottom* akan mengalami tekan. Sehingga besaran nilai tegangan yang terjadi akan berbeda. Sedangkan untuk tampilan simulasi pada software pada kondisi *sagging*



Gambar 6. Deformasi pada saat sagging

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

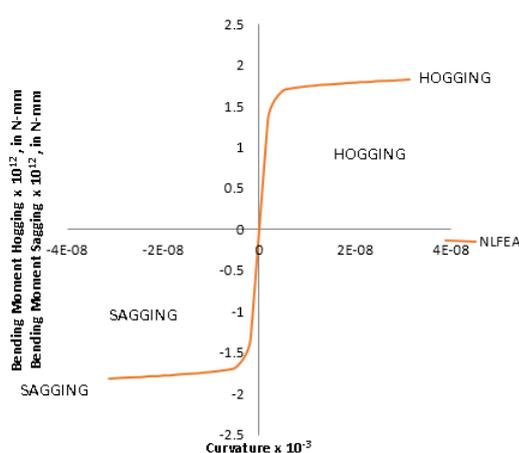
berbeda. Nilai Tegangan Maksimum (SMX) yang dihasilkan oleh software *finite element method* pada Countur Deformasi pada tiap variasi jarak gading dengan nilai Tegangan Ijin dan Tegangan Maksimum yang dihitung maka didapatkan data sebagai berikut

Tabel 1. Data Tegangan Maksimum dan Tegangan Ijin

Variasi Jarak Gading	Tegangan Maksimum		Tegangan	Safety Factor		Ket
	<i>Sagging</i>	<i>Hogging</i>	<i>Ultimate</i>	<i>Sagging</i>	<i>Hogging</i>	
600mm	161.488 N/mm ²	132.439 N/mm ²	257.35 N/mm ²	1.593	1.94	OK
800mm	187.444 N/mm ²	134.787 N/mm ²	257.35 N/mm ²	1.373	1.909	OK
1000mm	227.505 N/mm ²	151.379 N/mm ²	257.35 N/mm ²	1.131	1.700	OK

Dari data Tabel 1 dapat diketahui nilai *Safety Factor* pada masing-masing jarak gading lebih besar dari satu. Berdasarkan rules BKI, maka tegangan yang bekerja pada konstruksi masih diperbolehkan.

Setelah dilakukan permodelan dan olah data didapatkan *Curve Curvature* yaitu hubungan antara nilai kekuatan batas dan curvature atau kelengkungan dengan menggunakan metode NLFEA pada setiap variasi jarak gading dengan beban 2.8×10^{14} yang dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini



Gambar 7. Grafik Momen Kelengkungan Kapal Ferry-Ro-Ro

Pada kondisi *hogging*, Gambar 7 menjelaskan tentang momen lentur-batas vertikal dari 0 Nmm sampai 1.34×10^{12} Nmm

kapal dalam kondisi masih linear, selanjutnya kapal sudah berada pada kondisi tidak linear. Ketika kapal dengan besar momen lentur 1.83×10^{12} Nmm telah mencapai momen ultimate. Sedangkan pada kondisi *sagging* ketika kapal dengan besar momen lentur batas vertikal -1.34×10^{12} 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 atau:

$$\gamma R \leq \frac{Mu}{Mt} \tag{2}$$

Berdasarkan data perhitungan momen total (MT) adalah -3.16×10^{11} Nmm saat *sagging* dan 3.35×10^{11} Nmm pada saat *hogging* maka hasil perhitungan γR pada masing-masing variasi jarak gading pada kondisi *sagging* dan *hogging* dapat dilihat seperti Tabel 2.

Tabel 2. Data Perhitungan $\gamma R \leq Mu/Mt$

Variasi Jarak Gading	Momen Batas (N.mm)		<i>Sagging</i>	<i>Hogging</i>	KET
	<i>Sagging</i>	<i>Hogging</i>			
600 mm	-1.34×10^{12}	1.83×10^{12}	$\gamma R \geq 1.2$	$\gamma R \geq 1.2$	MEMENUHI
800 mm	-1.33×10^{12}	1.82×10^{12}	4.24	5.47	MEMENUHI
1000 mm	-1.32×10^{12}	1.79×10^{12}	4.20	5.44	MEMENUHI

Hubungan Kekuatan Batas Dengan Tegangan Maksimum. Tegangan Maksimum terkecil ada pada jarak gading 600 mm, dimana semakin kecil jarak gading semakin kecil juga tegangan maksimum yang dapat mempengaruhi kekuatan batas pada konstruksi memanjang kapal.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

Permodelan kapal KMP. Batumandi dengan beban yang sama pada variasi jarak

gading 600mm, 800mm, dan 1000mm akan menghasilkan grafik momen batas dan grafik tegangan yang berbeda.

Nilai tegangan maksimum pada variasi jarak gading 600 yaitu 161.488 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 132.439 N/mm² pada kondisi *hogging*, pada jarak gading 800 yaitu 59.6341 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 134.787 N/mm² pada kondisi *hogging*, dan pada jarak gading 1000 yaitu 227.505 N/mm² pada kondisi *sagging* dan 151.379 N/mm² pada kondisi *hogging*. Dengan besar nilai tegangan *ultimate* yang diijinkan yaitu 257.35 N/mm² didapatkan nilai *safety factor* untuk variasi jarak gading 600mm yaitu 1.593 pada kondisi *sagging* dan 1.94 pada kondisi *hogging*, untuk variasi jarak gading 800mm yaitu 4.315 pada kondisi *sagging* dan 1.909 pada kondisi *hogging*, dan untuk variasi jarak gading 1000mm yaitu 1.131 pada kondisi *sagging* dan 1.700 pada kondisi *hogging* maka nilai tegangan maksimum pada masing-masing variasi jarak gading di kondisi *sagging* dan *hogging* masih di iijinkan.

Hubungan antara kekuatan batas dengan perubahan jarak gading pada kapal KMP. Batumandi bahwa semakin besar jarak gading maka kekuatan batas yang didapatkan juga semakin kecil.

Jarak gading 600 mm merupakan jarak optimal untuk kapal KMP. Batumandi jika dilihat dari tegangan maksimum dan momen batas yang dihasilkan saat beroperasi pada kondisi *sagging* dan *hogging*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Volume II. 2019. “*Rule Construction of Hull for Sea Going Steel Ship*”.
- [2] Fatahilah, Zainal Arifin. (2013), “Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi *Landing Craft Tank (LCT)* menjadi *Self Propelled Oil Barge (SPOB)*”, Surabaya.:FTK-ITS.
- [3] Hermawan, M.B., Yudo, H., dan Fauzan, A. (2018), “Analisa Kekuatan Kontruksi Memanjang pada Kapal Ikan Mini Purse Seine Tradisional Dengan Kapal Sesuai Aturan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI)”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 6, No.1, hal. 219.
- [4] Hidayat, T.N. (2017), “Analisa Kekuatan Memanjang dan Longitudinal Buckling pada Kapal Survei Seismik Geomarin IV”, *Final Project*, Surabaya.: FTK-ITS.
- [5] IACS. 2016. “*Requirements Concerning of Strength of Ship*”.
- [6] Irwan. (2017), “Analisis Kekuatan Puntiran Longitudinal Kapal yang Dimodifikasi Dari General Cargo ke Kontainer”, *Final Project*, Makassar.: FT-UNHAS.
- [7] Malruhu, T. (2011), “Kekuatan Struktur Konstruksi Kapal Akibat Penambahan Panjang”, *Jurnal TEKNOLOGI*, Vol. 8, No.1, hal. 835-843.
- [8] Panggabean, D.S.P., Zakki, A.F., dan Arswendo, B. (2015), “Perbandingan Penggunaan Material Isotropi dan Orthotropi Pada Metode Elemen Hingga Untuk Analisa Kekuatan Kapal Fiberglass”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 3, No.2, hal. 264-265.
- [9] Rohmadhana, F. (2016), “Analisis Teknis dan Ekonomis Konversi Landing Craft Tank (LCT) Menjadi Kapal Motor Peyebrangan (KMP) Tipe Ro-ro Untuk Rute Ktapang (Kabupaten Banyuwangi) – Gilimanuk (Kabupaten Jembrana)”, *Final Project*, Surabaya.: FTK-ITS
- [10] Samuel., Hasi, E.S., dan Stratudaku, A.R. (2014), “Karakteristik KM. ZAISAN

STAR Akibat Perubahan Muatan”, *Kapal*,
Vol. 11, No.1, hal. 28.

- [11] Wahyu Dwi Yunanto, I. P. (2013).
Analisa Kekuatan Konstruksi Car Deck
Pada Kapal "Kapal Ropax 5000 GT"
Dengan Metode Elemen Hingga. *Staff
Pengajar S1 Teknik Perkapalan,
Mahasiswa S1 Teknik Perkapalan,
Universitas Diponegoro*, 8.