

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**



**KELELAHAN DAN INTEGRITAS STRUKTUR KAPAL FERRY Ro-Ro**

**Tahun kedua dari rencana tiga tahun**

**TIM PENGUSUL**

**Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D / 0008067609 (Ketua)**

**Ir. Juswan, MT / 0031126207 (Anggota)**

**Dr. Taufiqur Rachman, ST., MT / 0002086903 (Anggota)**

**Wahyuddin, ST., MT / 0002027203 (Anggota)**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

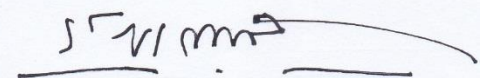
**September 2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Kelelahan dan Integritas Struktur Kapal Ferry Ro-Ro  
**Peneliti/Pelaksana**  
Nama Lengkap : MUHAMMAD ZUBAIR M. ALIE, S.T, M.T, Ph.D  
Perguruan Tinggi : Universitas Hasanuddin  
NIDN : 0008067609  
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala  
Program Studi : Teknik Kelautan  
Nomor HP : 081382815767  
Alamat surel (e-mail) : zubair.m@eng.unhas.ac.id  
**Anggota (1)**  
Nama Lengkap : Ir JUSWAN MT  
NIDN : 0031126207  
Perguruan Tinggi : Universitas Hasanuddin  
**Anggota (2)**  
Nama Lengkap : WAHYUDDIN S.T, M.T  
NIDN : 0002027203  
Perguruan Tinggi : Universitas Hasanuddin  
**Anggota (3)**  
Nama Lengkap : Dr TAUFIQUR RACHMAN S.T, M.T  
NIDN : 0002086903  
Perguruan Tinggi : Universitas Hasanuddin  
**Institusi Mitra (jika ada)**  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 3 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 90,000,000  
Biaya Keseluruhan : Rp 259,024,000



Kab. Gowa, 19 - 11 - 2018  
Ketua,



(MUHAMMAD ZUBAIR M. ALIE, S.T, M.T  
Ph.D)  
NIP/NIK 197506082005011003



## RINGKASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa kelelahan dan integritas struktur kapal Ferry Ro-Ro dan pengaruhnya terhadap kekuatan serta bagaimana perilaku kehancuran progressive dari elemen-elemen pendukung kekuatan kapal yang dianalisa lebih detail dengan menggunakan formulasi terstruktur dan terintegrasi. Penelitian pada tahun ini (tahun pertama), analisa kekuatan kapal difokuskan pada elemen-elemen dari struktur kapal yang mendukung kekuatan longitudinal (arah memanjang) kapal serta bagaimana pengaruhnya terhadap kekuatan kapal secara lokal dan global. Deformasi lokal dari elemen-elemen tersebut dihitung dan diteliti pengaruhnya terhadap kekuatan kapal yang ditunjukkan dalam bentuk hasil analisa yang diperoleh dari elemen hingga dalam bentuk kurva kapasitas momen lentur yang dibandingkan dengan metode formula analitis yang diimplemetasikan pada program FORTRAN. Untuk analisisnya, lambung kapal diidealisasikan sebagai penampang dan dimodelkan dalam bentuk dua dimensi. Perhitungan kekuatan dilakukan dengan mempertimbangkan satu jarak gading yang terletak pada bagian tengah kapal. Penampang kapal tersebut terdiri dari elemen-elemen pendukung yang dinamai pelat dan pelat berpenegar. Selanjutnya, pendefenisian beban yang bekerja pada penampang, kondisi syarat batas, material yang digunakan dan property elemen dimasukkan dalam imput data. Untuk mengetahui dan menganalisa integritas dan kelelahan serta pengaruhnya terhadap kekuatan kapal digunakan metode Smith yang merupakan kombinasi dari teori penampang dan teori balok. Hasil yang diperoleh dikomparasi baik pada kondisi hogging dan sagging. Hasil ini menjadi bahan rujukan atau rekomendasi bagi pihak regulasi lokal.

Kata kunci : Penampang kapal, elemen pendukung, umur lelah, integrasi struktur, kekuatan kapal

## **PRAKATA**

Penelitian ini terdiri atas tiga tahun dimana tahun pertama analisa kekuatan kapal difokuskan pada elemen-elemen dari struktur kapal yang mendukung kekuatan longitudinal (arah memanjang) kapal serta bagaimana pengaruhnya terhadap kekuatan kapal secara lokal dan global. Deformasi lokal dari elemen-elemen tersebut dihitung dan diteliti pengaruhnya terhadap kekuatan kapal yang ditunjukkan dalam bentuk hasil analisa yang diperoleh dari elemen hingga dalam bentuk kurva kapasitas momen lentur yang dibandingkan dengan metode formula analitis yang diimplemetasikan pada program FORTRAN.

Kemudian pada tahun kedua penelitian difokuskan pada analisa elemen-elemen lokal pada konstruksi kapal yang disebabkan oleh retak dan pengaruhnya terhadap kekuatan kapal secara lokal dan global. Analisa dilakukan dengan perhitungan secara numerik dengan bantuan software ANSYS. Hasil yang diperoleh dari metode numerik (ANSYS) dibandingkan dengan formula analitis sebagai bahan komparasi dan/atau validasi.

Pada tahun ketiga, penelitian difokuskan pada analisa kelelahan umur kapal Ro-Ro dan pengaruhnya terhadap kekuatan kapal. Pada tahun ini merupakan tahun terakhir yang merupakan gabungan dari penelitian dari tahun pertama dan tahun kedua. Kompleksitas penelitian pada tahun ketiga sangat banyak dan berjenjang karena yang dianalisa adalah umur kapal Ro-Ro dan bagaimana perilaku hubungan deformasi, tegangan serta momen terhadap kekuatan kapal. Perilaku seperti deformasi dan distribusi tegangan baik pada kondisi hogging dan sagging juga dipaparkan pada tahun ketiga dari penelitian ini.

Akhirnya, analisa kekuatan kapal Ro-Ro yang ditinjau mulai dari tahun pertama, kedua dan ketiga dijadikan sebagai rujukan atau rekomendasi bagi pihak regulasi lokal.

## DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Halaman Pengesahan	ii
Ringkasan	iii
Prakata	iv
Daftar Isi	v
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
Bab 2 Tinjauan Pustaka	3
2.1 State of the Art Bidang yang Diteliti	3
2.2 Perhitungan Kelelahan Struktur	4
2.3 Perhitungan Kekuatan Kapal	8
2.4 Peta Jalan Penelitian	13
Bab 3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	16
3.1 Tujuan Penelitian	16
3.2 Manfaat Penelitian	16
Bab 4 Metode Penelitian	17
4.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	17
4.2 Materi dan Rancangan Penelitian	17
4.3 Analisis Data	17
Bab 5 Hasil yang dicapai	19
Bab 6 Rencana Tahapan Berikutnya	20
Bab 7 Kesimpulan dan Saran	20
Daftar Pustaka	21
Lampiran	23

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Universitas Hasanuddin sebagai institusi pendidikan yang memfokuskan riset penelitian pada bidang maritim, bahkan Rektor Universitas Hasanuddin mengungkapkan bahwa bidang kemaritiman ini sebenarnya sudah jauh hari dicanangkan oleh Unhas dan harapan dari hasil penelitian di bidang maritim tersebut bisa menjadi rujukan internasional, apalagi yang sangat erat kaitannya untuk pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang berbasis dunia kemaritiman terkhusus di bidang teknologi perkapalan. Sejalan dengan penjelasan tersebut, maka teknologi Perkapalan menjadi hal yang sangat penting dan hal ini juga merupakan misi Presiden Republik Indonesia untuk menjadikan Indonesia sebagai poros maritim. Oleh karena itu pentingnya teknologi di bidang perkapalan harus terpenuhi.

Kapal sebagai alat transportasi harus layak dari sisi ekonomi apalagi ditinjau dari kekuatan. Namun, untuk mengetahui kekuatan kapal, maka dilakukan analisa faktor-faktor penyebab kapal menjadi rusak. Salah satu faktor penyebab kegagalan struktur kapal adalah kelelahan (*fatigue*). Kerusakan kapal terjadi terutama akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama ataupun struktur sekunder dan tersier. Dalam hal ini beban gelombang yang bekerja secara terus-menerus dan dapat merupakan fungsi periodik merupakan salah satu penyebab terjadinya kelelahan pada elemen-elemen pendukung struktur kapal baik dalam arah melintang dan memanjang. Selanjutnya kelelahan pada elemen-elemen pendukung kekuatan struktur kapal berdampak pada terciptanya konsentrasi tegangan di sekitar sambungan elemen-elemen tersebut. Umur lelah sangat berkaitan erat dengan adanya ketidakpastian yang cukup berarti. Oleh karena itu, umur lelah dari kapal mutlak dianalisa untuk mengetahui lebih jauh seberapa lama kapal tersebut dapat beroperasi dengan berbagai macam beban eksternal yang bekerja pada kapal tersebut.

Sehingga dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa kelelahan sangat mempengaruhi integritas struktur tidak hanya lokal yang terjadi pada elemen-elemen setempat melainkan juga secara global.

## **1.2. Permasalahan**

Permasalahan yang menjadi fokus utama adalah bagaimana pengaruh kelelahan dan integritas struktur serta perilaku kehancuran progressive dari elemen-elemen pendukungnya terhadap kekuatan kapal.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

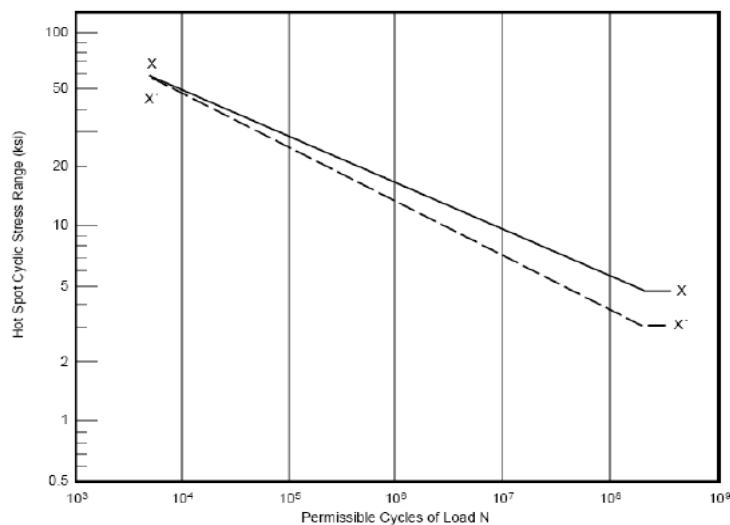
### 2.1. *State of the art* bidang yang diteliti

Analisa kelalahan dilakukan untuk mendapatkan umur kelelahan pada elemen-elemen pendukung struktur kapal yang kritis yang dikenal hot-spot. Hot spot adalah lokasi pada suatu sambungan tubular dimana terjadi tegangan tarik/tekan maksimum. Hot spot dapat didefinisikan sebagai lokasi yang diidentifikasi sebagai tempat kemungkinan terjadinya kegagalan. Jika kegagalan terjadi pada sebuah elemen pendukung kekuatan kapal, maka cenderung akan merambat ke elemen yang lain, sehingga hal ini mempengaruhi kekuatan struktur secara global. Bebarapa peneliti telah melakukan penelitian terkait analisa retak dan umur lelah dari struktur kapal. Leheta et al (2016) mengembangkan sebuah program untuk analisa pertumbuhan fatigue crack pada struktur kapal secara detail, propagasi retak pada kapal tanker dianalisa dengan menggunakan program pengembangan berdasarkan mekanika kepecahan elastic linear dan metode elemen hingga. Kozak et al (2011) memaparkan beberapa pendekatan untuk mengestimasi umur lelah dari elemen-elemen struktur lambung kapal, beberapa pendekatan didasarkan pada tegangan nominan “hot-spot” atau tegangan notch yang menjadi dasar untuk penentuan umur struktur dengan menggunakan kurva tegangan-umur ( $\sigma$ -N). Okawa T dan Sumi Y (2008) telah mengembangkan program simulasi CP-system untuk propagasi retak multiple di dalam sebuah struktur pelat berpenegar tiga-dimensi dimana tebal propagasi retak diformulasikan dalam persoalan dua-dimensi dan perilaku propagasi retak disimulasi dengan analisis elemen hingga secara tahap demi tahap. Sumi Y et al (2013) memberikan rekomendasi praktik untuk pencegahan brittle fracture dan desain crack dari kapal container dan telah diajukan baik untuk bangunan kapal baru maupun kapal yang ada. Meniconi et al (2014) melakukan analisis fatigue dari sebuah reparasi gabuangan yang diterapkan pada lambung kapal dari *Floating Storage and Offloading (FSO) Platform*. Drummen, I et al (2008) memaparkan hasil eksperimen dari kerusakan fatigue diperoleh dengan menggunakan model fleksibel empat segmen dari sebuah desain terbaru kapal kontainer. Leheta et al (2016), Kozak et al (2011), Okawa T dan Sumi Y (2008), Sumi Y et al (2013), Meniconi et al (2014) dan Drummen, I et al

(2008). Secara umum kelelahan yang dihubungkan dengan umur atau usia suatu struktur dianalisa dengan eksperimen dan menggunakan metode numeric atau yang dikenal dengan Metode Elemen Hingga.

## 2.2. Perhitungan Kelelahan Struktur

Kelelahan merupakan parameter yang sangat penting dalam semua perancangan struktur khususnya kapal, karena kelelahan sangat terkait dengan berapa lama sebuah kapal berlayar dengan beban periodik atau berulang. Perhitungan kelelahan dilakukan untuk mendapatkan faktor keamanan yang harus dicapai oleh suatu struktur, selama struktur tersebut beroperasi sesuai dengan perencanaan. Kurva S-N untuk sambungan yang dikenai variasi tegangan akibat beban lingkungan atau beban operasional. Kurva tersebut memberikan hubungan antara range tegangan *hot-spot* dengan jumlah siklus yang diijinkan dan dapat diaplikasikan untuk beban acak.



Gambar 3.1 Kurva S-N untuk Analisis Kelelahan

Kurva diatas dapat didekati dengan suatu persamaan sebagai berikut :

$$N = 2 \times 10^6 \left( \frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (2.1)$$

Hubungan antara tegangan  $\sigma$  yang dihasilkan oleh suatu gaya P yang bekerja pada setiap luas satuan A yang mengalami tegangan yaitu :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{N/m}^2) \quad (2.2)$$

Dimana :  $\sigma$  = Tegangan satuan (N/m<sup>2</sup>)

P = Gaya luar total beban (N)

A = Luas penampang batang (m<sup>2</sup>)

Sesuai hukum Hooke, tegangan sebanding dengan regangan. Hal ini berlaku di dalam batas elastis, perbandingan tegangan satuan  $\sigma$  untuk regangan  $\epsilon$  dari setiap bahan yang diberikan dari hasil eksperimen, memberikan suatu ukuran kekakuannya, yaitu elastisitas yang biasa disebut modulus elastisitas E, yaitu :

$$\text{Modulus Elastisitas} = \frac{\text{tegangan satuan}}{\text{ubah bentuk}} \quad (2.3)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.4)$$

Dalam istilah teknik, regangan adalah ubah bentuk. Jika ubah bentuk total (*total deformation*) yang dihasilkan suatu batang dinyatakan dengan  $\delta$  (*delta*), dan panjang batang adalah L, maka ubah bentuk persatuan panjang yang dinyatakan dengan  $\epsilon$ , maka :

$$\text{Ubah bentuk satuan} = \frac{\text{Ubah bentuk total}}{\text{Panjang}}$$

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.5)$$

Sehingga dapat dirumuskan suatu persamaan untuk menentukan ubah bentuk total  $\delta$  suatu bahan yang mengalami beban aksial P, yaitu :

$$\begin{aligned} \delta &= \epsilon \cdot L \\ &= \frac{\sigma}{E} \cdot L \\ &= \frac{P}{A} \cdot \frac{1}{E} \cdot L \\ \delta &= \frac{PL}{AE} \end{aligned} \quad (2.6)$$

Dimana :  $\delta$  = ubah bentuk aksial total (m)

P = beban aksial total (N)

L = panjang batang (m)

A = luas penampang batang (m<sup>2</sup>)

E = modulus elastisitas bahan (N/m<sup>2</sup>)

$\epsilon$  = ubah bentuk atau regangan

Untuk menentukan umur suatu struktur dapat digunakan metode *spectral fatigue analysis*. adapun langkah-langkah pengerjaan *spectral fatigue analysis* yaitu:

Spektra JONSWAP berdasarkan percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Formula atau persamaan untuk spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[ -1,25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ \frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2} \right] \quad (2.7)$$

Dimana:  $\gamma$  = *peak edness* parameter

$T$  = *shape* parameter

$\tau_a$  = untuk  $\omega \leq \omega_0$

$\tau_b$  = untuk  $\omega \geq \omega_0$

Dengan mempertimbangkan angin dengan kecepatan  $U_\omega$  dan jarak (*fetch*) =  $x$ , sehingga harga rata-rata adalah sebagai berikut:

$T = 2 - 3.33$  merupakan variasi dari 1-7, di perairan Indonesia umumnya nilai  $\gamma$  yang dipakai sebesar 2.5

$$\tau_a = 0.07$$

$$\tau_b = 0.09$$

$$\alpha = 0.76 (x_0)^{-0.22}$$

$$\alpha = 0.0081 \text{ (ketika } x \text{ tidak diketahui)}$$

$$\omega_0 = 2\pi \left( \frac{g}{U_\omega} \right) (x_0)^{-0.33}$$

$$x_0 = \frac{g^x}{U_\omega^2}$$

Respon pada struktur *offshore* akibat gelombang regular dalam tiap-tiap frekuensi, dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai amplitudo pada suatu respon secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang.

*Response Amplitudo Operator* (RAO) merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur *offshore*. RAO disebut sebagai *transfer function* karena RAO merupakan alat untuk menstransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut:

$$Response(\omega) = (RAO) \eta(\omega) \quad (2.8)$$

Dimana,  $\eta$  = amplitudo gelombang, m, ft

$\omega$  = frekuensi, (rad/sec)

*Response spectra* didefinisikan sebagai *response energy density* pada struktur akibat gelombang, dalam hal ini berupa *energy density* spektrum. Untuk system

linear, fungsi dari RAO merupakan fungsi kuadrat. *Response spectra* itu sendiri merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat. Persamaan dari respon spektrum adalah sebagai berikut:

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.9)$$

Dimana:  $S_R$  = respon spektrum, (ft<sup>2</sup>-sec)

$S(\omega)$  = *spectra* gelombang, (ft<sup>2</sup>-sec)

RAO = *response amplitude operator*

$\omega$  = frekuensi, (rad/sec)

Setelah spektrum tegangan didapat langkah selanjutnya dalam mencari umur kelelahan (*fatigue life*) dengan cara seperti dibawah ini:

Mencari *Zero moment* dan *second moment*, semuanya didapat dari perhitungan spektrum tegangan (*stress*).

$$m_0 = \int_0^\infty S_R(\omega) d\omega \quad m_2 = \int_0^\infty \omega^2 S_R(\omega) d\omega \quad (2.10)$$

1) Mencari *mean zero crossing periode* tegangan:

$$T_{Z\sigma} = 2\pi \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (2.11)$$

2) *Stress Significant* :

$$\sigma = \sqrt{4 m_0} \quad (2.12)$$

3) Menentukan nilai *number stress range* dan *number of cycle* kegagalan dari kurva S-N:

$$n = \frac{T}{T_{Z\sigma}} \quad (2.13)$$

4) Setelah itu umur kelelahan (*fatigue life*) bisa didapatkan dari persamaan Miner's:

$$D = \sum \frac{n}{N_i} \quad (2.14)$$

Fatigue life =  $\frac{1}{D}$ , D adalah perhitungan untuk satu tahun

Dimana:  $T_{Z\sigma}$  = periode *mean zero crossing* (s)

n = *number of cycle*

$\sigma_{\text{efr}}$  = tegangan *amplitudo effective* (N/mm<sup>2</sup>)<sup>2</sup>

N = berdasarkan kurva S-N

D = fatigue damage untuk kondisi *sea-states*

### 2.3. Perhitungan Kekuatan Kapal

Pada sisi yang lain, untuk memprediksi kekuatan struktur kapal, beberapa pendekatan dapat dilakukan sebagai berikut:

1. *Closed-form equation with assumed stress distribution at collapse*
2. *Section modulus approach based the critical member strength*
3. *Finite Element Method*

Metode yang pertama (1) sangat sederhana tetapi keakuratannya bergantung pada asumsi distribusi tegangan. *Progressive collapse behavior* yang diikuti oleh *post-ultimate capacity* dari elemen yang tertekuk tidak dapat direfleksikan dengan benar dalam estimasi.

Metode yang kedua (2) telah diterapkan dalam aturan klasifikasi yang ditemukan dalam *Single Step Ultimate Capacity Method* dalam IACS/CSR. Metode ini juga berguna untuk desain tetapi aplikasinya hanya untuk kapal pada kondisi sagging, yang mana *collapse* pada struktur geladak mudah untuk diidentifikasi.

Metode yang keempat (3), FEM, adalah salah satu yang paling berguna untuk mengetahui *nonlinear collapse behavior* dari struktur kapal. Karena perkembangan kemampuan komputasi, banyak peneliti menggunakan *nonlinear Finite Element Analysis* untuk mengestimasi kekuatan kapal, dan selanjutnya dibandingkan dengan solusi analitis.

Penelitian yang terkait dengan perhitungan kekuatan kapal sudah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti; Soares et al (2008) mengevaluasi kemampuan analisa struktur sederhana berdasarkan formulasi Smith untuk memprediksi kuat tarik dari lambung kapal yang rusak. Toh et al (2012) mengembangkan program perhitungan sederhana untuk menghitung kekuatan kapal pada kondisi utuh dan rusak serta reduksi dari kekuatan sisa diinvestigasi. Hasil perhitungan dari metode sederhana dibandingkan dengan hasil *Finite Element* baik pada kondisi utuh maupun kondisi pasca kerusakan. Lee et al (2008) menghitung kekuatan sisa pasca kerusakan tubrukan dengan menggunakan LS-DYNA dan hasilnya dibandingkan dengan hasil eksperimen. Diperoleh bahwa kuat tarik berkurang seiring besarnya kerusakan yang ditimbulkan. Notaro et al (2010) melakukan pengujian dengan menggunakan Finite Element model penuh dari penampang lambung kapal pada kondisi utuh dan rusak. Beberapa faktor yang berpengaruh

seperti model dan kompleksitasnya, asumsi model yang rusak, dan ketidaksempurnaan awal dari model yang diberikan, diinvestigasi pada kapal yang berbeda. Ditemukan bahwa pengaruh panjang kerusakan pada arah vertikal lebih kritis dibandingkan panjang kerusakan pada arah memanjang, dan variasi dari lokasi kerusakan mempengaruhi konsentrasi tegangan pada daerah kerusakan. Pengaruh kerusakan yang tidak simetris terhadap kekuatan sisa struktur lambung kapal juga telah diteliti oleh (Muis Alie, M.Z 2016, b dan c). Serta pengaruh bangunan atas terhadap kekuatan memanjang kapal Ro-Ro juga telah dianalisa oleh Muis Alie, M.Z (2016a).

Perhitungan kekuatan secara umum mengarah kepada hubungan tegangan dan regangan rata-rata dengan pertimbangan *buckling* dan *yielding* dan umumnya adalah fungsi *nonlinear* dan disini diekspresikan dengan persamaan

$$\sigma = f_i(\varepsilon) \quad (2.15)$$

dimana  $f_i(0) = 0$

Gaya aksial  $P$ , momen lentur vertikal  $M_V$ , dan momen lentur horisontal  $M_H$  dapat diperoleh dengan mengintegrasikan tegangan aksial pada seluruh bagian utuh dari penampang kapal yang ditentukan dengan persamaan berikut

$$P = \sum_{i=1}^N \sigma_i A_i \equiv 0 \quad (2.16)$$

$$M_H = \sum_{i=1}^N \sigma_i y_i A_i \quad (2.17)$$

$$M_V = \sum_{i=1}^N \sigma_i z_i A_i \quad (2.18)$$

Dimana  $N$  adalah jumlah elemen yang utuh dan  $A_i$  adalah penampang dari elemen *i-th*. Dengan memasukkan kekakuan *tangential* yang diperoleh sebagai sebuah kemiringan dari hubungan tegangan-regangan dari elemen *i-th* dengan simbol  $D_i$  hubungan *incremental* dari tegangan-regangan aksial diekspresikan dengan persamaan

$$\Delta \sigma = D_i \Delta \varepsilon \left( D_i = \frac{df_i}{d\varepsilon} \right) \quad (2.19)$$

$$\begin{Bmatrix} \Delta P = 0 \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{D}_{AA} & \bar{D}_{AH} & \bar{D}_{AV} \\ \bar{D}_{HA} & \bar{D}_{HH} & \bar{D}_{HV} \\ \bar{D}_{VA} & \bar{D}_{VH} & \bar{D}_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

dimana

$$\begin{aligned} \bar{D}_{AA} &= \sum_{i=1}^N D_i A_i, & \bar{D}_{AH} &= \bar{D}_{HA} = \sum_{i=1}^N D_i y_i A_i \\ \bar{D}_{HH} &= \sum_{i=1}^N D_i y_i^2 A_i, & \bar{D}_{AV} &= \bar{D}_{VA} = \sum_{i=1}^N D_i z_i A_i \\ \bar{D}_{VV} &= \sum_{i=1}^N D_i z_i^2 A_i, & \bar{D}_{HV} &= \bar{D}_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i y_i z_i A_i \end{aligned} \quad (2.21)$$

Hasil dari  $n+1$ -th load step diberikan dengan menambahkan *increments* dan hasilnya menjadi

$$\begin{aligned} P^{n+1} &= P^n + \Delta P = 0, & \varepsilon_0^{n+1} &= \varepsilon_0^n + \Delta \varepsilon_0 \\ M_H^{n+1} &= M_H^n + \Delta M_H, & \phi_H^{n+1} &= \phi_H^n + \Delta \phi_H \\ M_V^{n+1} &= M_V^n + \Delta M_V, & \phi_V^{n+1} &= \phi_V^n + \Delta \phi_V \end{aligned} \quad (2.22)$$

Ekspresi dari gaya aksial *increment*  $\Delta P$  dari persamaan dapat diatur ulang dalam bentuk :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \bar{D}_{AA} \Delta \varepsilon_0 + \bar{D}_{AH} \Delta \phi_H + \bar{D}_{AV} \Delta \phi_V \\ &= \sum_{i=1}^N D_i (\Delta \varepsilon_0 + y_i \Delta \phi_H + z_i \Delta \phi_V) A_i \\ &= \sum_{i=1}^N D_i \{ \Delta \varepsilon_G + (y_i - y_G) \Delta \phi_H + (z_i - z_G) \Delta \phi_V \} A_i \end{aligned} \quad (2.23)$$

dimana

$$\Delta \varepsilon_G = \Delta \varepsilon_0 + y_G \Delta \phi_H + z_G \Delta \phi_V \quad (2.24)$$

Koordinat  $y_G$  dan  $z_G$  adalah koordinat dari titik G dan  $\Delta \varepsilon_G$  adalah *increment* regangan aksial pada titik G yang disebabkan oleh  $\Delta \varepsilon_0$ ,  $\Delta \phi_H$  dan  $\Delta \phi_V$ . Koordinat  $y_G$  dan  $z_G$  diberikan dengan persamaan

$$y_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N y_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \quad (2.25)$$

$$z_G = \frac{\left( \sum_{i=1}^N z_i D_i A_i \right)}{\left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right)} \quad (2.26)$$

Sehingga disederhanakan menjadi

$$\Delta P = \left( \sum_{i=1}^N D_i A_i \right) \Delta \varepsilon_G \quad (2.27)$$

Dengan mengganti  $y_i$  dan  $z_i$  dengan  $(y_i - y_G) + y_G$  dan  $(z_i - z_G) + z_G$ , secara berturut-turut, dan menggunakan  $\Delta \varepsilon_G$  dapat diberikan dalam bentuk

$$\begin{Bmatrix} \Delta P = 0 \\ \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{AA} & 0 & 0 \\ 0 & D_{HH} & D_{HV} \\ 0 & D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \varepsilon_G \\ \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V \end{Bmatrix} \quad (2.28)$$

dimana

$$\begin{aligned} D_{AA} &= \sum_{i=1}^N D_i A_i, & D_{HV} &= D_{VH} = \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)(z_i - z_G) A_i \\ D_{HH} &= \sum_{i=1}^N D_i (y_i - y_G)^2 A_i, & D_{VV} &= \sum_{i=1}^N D_i (z_i - z_G)^2 A_i \end{aligned} \quad (2.29)$$

Beberapa kondisi pembebanan dan/atau batasan dalam menganalisa kekuatan kapal akibat pengaruh propagasi retak dan umur lelah serta kehancuran progressive elemen-elemen pendukung adalah sebagai berikut:

### CASE 1: Hull girder under pure vertical bending moment

Lengkung vertical  $\phi_V$  bertambah pada kondisi  $M_H = 0$

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta \phi_H \\ \Delta \phi_V^0 \end{Bmatrix} \quad (2.30)$$

Dimana superscript '0' menyatakan nilai tertentu. Penyelesaiannya adalah

$$\Delta\phi_H = -\frac{D_{HV}}{D_{HH}}\Delta\phi_V^0, \quad \Delta M_V = \left( D_{VV} - \frac{D_{VH}D_{HV}}{D_{HH}} \right) \Delta\phi_V^0 \quad (2.31)$$

**CASE 2: Hull girder under vertical bending moment, with horizontal curvature constraint**

Lengkung vertikal  $\phi_V$  bertambah pada kondisi  $\phi_H = 0$

$$\begin{Bmatrix} \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ \Delta\phi_V^0 \end{Bmatrix} \quad (2.32)$$

Penyelesaiannya adalah

$$\Delta M_H = D_{HV} \Delta_V^0, \quad \Delta M_V = D_{VV} \Delta_V^0 \quad (2.33)$$

**CASE 3: Hull girder under prescribed biaxial curvatures**

$$\begin{Bmatrix} \Delta M_H \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\phi_H^0 \\ \Delta\phi_V^0 \end{Bmatrix} \quad (2.34)$$

**CASE 4: Hull girder under proportional biaxial moments**

Momen lentur aksial dua arah diterapkan pada penampang kapal dengan rasio konstan dari  $M_V$  dan  $M_H$ . Salah satu dari lengkung  $\phi_H$  atau  $\phi_V$  diambil sebagai parameter kontrol. Sebagai contoh jika  $\phi_V$  digunakan;

$$\begin{Bmatrix} \alpha \Delta M_V \\ \Delta M_V \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{HH} & D_{HV} \\ D_{VH} & D_{VV} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\phi_H \\ \Delta\phi_V^0 \end{Bmatrix} \quad \therefore \alpha = \frac{M_H}{M_V} \quad (2.35)$$

Maka penyelesaiannya adalah

$$\Delta M_V = \frac{\Delta M_H}{\alpha} = \frac{D_{HH} D_{VV} - D_{HV}^2}{D_{HH} - \alpha D_{VH}} \Delta\phi_V^0$$

$$\Delta\phi_H = \frac{\alpha D_{VV} - D_{HV}}{D_{HH} - \alpha D_{VH}} \Delta\phi_V^0 \quad (2.36)$$

Prosedur perhitungan untuk semua kondisi disimpulkan sebagai berikut;

- (1) Penampang kapal dibagi kedalam beberapa bagian yang terdiri dari pelat dan pelat berpenegar.

- (2) Menurunkan hubungan tegangan-regangan rata-rata dari elemen-elemen individu dengan mempertimbangkan pengaruh *buckling* dan *yielding*.
- (3) Menurunkan *tangential axial stiffness* dari elemen-elemen individu  $D_i$  dari kurva tegangan-regangan rata-rata.
- (4) Menghitung posisi dari *instantaneous neutral axis*  $y_G$  dan  $z_G$ .
- (5) Mengevaluasi kekakuan lentur dari penampang terhadap *instantaneous neutral axis*
- (6) Menghitung *unknown increments* pada elemen-elemen individu dari kelengkungan dan/atau momen lentur pada kondisi spesifik.
- (7) Menghitung *strain increment* dalam elemen-elemen individu dari kelengkungan dan *stress increments* dengan menggunakan kemiringan dari kurva tegangan-regangan rata-rata.
- (8) Menambah *increments* dari kelengkungan yang telah diperoleh, momen lentur maupun tegangan dan regangan kedalam nilai-nilai kumulatifnya.
- (9) Menghitung posisi dari sumbu netral untuk nilai-nilai kumulatif dari tegangan dan regangan.
- (10) Melanjutkan proses ke *incremental step* berikutnya.

#### **2.4. Peta Jalan Penelitian**

Peta jalan penelitian dengan judul Pengaruh Propagasi Retak pada Kekuatan Struktur Kapal ini, dapat dilihat dalam posisinya di dalam roadmap judul penelitian program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian ini berada dalam topik nomor 2 yaitu optimasi kekuatan struktur kapal dengan pelaksanaan pada tahun 2017 dengan road map judul penelitian: Kelelahan dan Integritas Struktur Kapal Fery Ro-Ro. Ditunjukkan dalam kotak diarsir merah pada tabel 2.1 dibawah ini:

**Tabel 2.1. Rencana Strategis Riset Unggulan Universitas Hasanuddin Fakultas Teknik Program Studi Teknik Perkapalan Tahun 2016 s/d 2020**

RENCANA STRATEGIS RISET UNGGULAN UNIVERSITAS HASANUDDIN							
FAKULTAS : TEKNIK							
Program Studi : PERKAPALAN							
TOPIK PENELITIAN (2016-2020) TAHUN 2016 - 2020							
NO	TOPIK PENELITIAN/RISET	ROADMAP (JUDUL PENELITIAN) : Pengembangan Angkutan Perairan Antar-Pulau dan Kapal Perikanan					
		2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	Studi jaringan angkutan perairan	Kajian ketersediaan jaringan angkutan penyeberangan di koridor ekonomi Sulawesi	Kajian kebutuhan armada di jaringan angkutan penyeberangan di koridor ekonomi Sulawesi	Kajian kebutuhan fasilitas pelabuhan pada jaringan angkutan penyeberangan yang direkomendasikan	Konsep desain pelabuhan pada jaringan angkutan penyeberangan yang direkomendasikan	Konsep rencana induk pelabuhan pada jaringan angkutan penyeberangan yang direkomendasikan	Studi kelayakan investasi pembangunan pelabuhan pada jaringan angkutan penyeberangan yang direkomendasikan
		Kajian tentang profil gelombang dan karakteristik alam ahur pelayaran penyeberangan	Kajian kebutuhan armada di jaringan angkutan penyeberangan di koridor ekonomi Sulawesi	Pengembangan desain kapal sesuai dengan permintaan jasa angkutan dan sesuai dengan karakteristik alam ahur pelayaran pada lintasan	Detail desain kapal penyeberangan antar pulau yang sesuai dengan karakteristik alam ahur pelayaran	Blueprint desain prototype kapal penyeberangan antar pulau yang mampu beroperasi sesuai dengan karakteristik alam Indonesia	Study kelayakan investasi pembangunan kapal penyeberangan antar pulau yang mampu beroperasi sesuai dengan karakteristik alam
2	Optimasi kekuatan struktur kapal	Analisis beban dinamis dan statis struktur kapal	Modifikasi kapal dan integritas strukturnya	Modifikasi kapal dan integritas strukturnya	Ultimate dan Kelelahan Struktur Kapal	Ultimate dan Kelelahan Struktur Kapal	
		Kelelahan dan integritas Struktur Pinoro.	Kelelahan dan integritas Struktur Pinoro.	Laju korosi dan kekuatan struktur kapal	Laju korosi dan kekuatan struktur kapal	Laju korosi dan kekuatan struktur kapal	
		Teknik Pembangunan kapal rakyat dan integritas struktur kapalnya	Teknik Pembangunan kapal rakyat dan integritas struktur kapalnya	Baja sebagai pengganti lumas atau gading kapal rakyat	Baja sebagai pengganti lumas atau gading kapal rakyat	Baja sebagai pengganti lumas atau gading kapal rakyat	
3	Kajian desain angkutan penyeberangan antar pulau dan hubungannya dengan performa dan keselamatan	Studi Perancangan Kapal Ferry Trimaran Untuk Kawasan Timur Indonesia	Optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau berdasarkan aspek tahanan dan gerak kapal	Optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau berdasarkan aspek stabilitas kapal	Analisis damage stability angkutan penyeberangan antar pulau	Analisis damage stability angkutan penyeberangan antar pulau	Analisis damage stability angkutan penyeberangan antar pulau
				Pengujian model hasil optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau berdasarkan tahanan dan gerak kapal	Pengujian model hasil optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau berdasarkan tahanan dan gerak kapal	Analisa Stabilitas hasil optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau melalui pengujian model	Analisa Stabilitas hasil optimasi geometri lambung angkutan penyeberangan antar pulau melalui pengujian model
			Desain armada perintis antar pulau dalam mendukung sabuk nusantara	Desain armada perintis antar pulau di wilayah perbatasan	Desain armada perintis antar pulau di wilayah perbatasan	Pengujian model armada perintis berdasarkan tahanan dan gerak kapal	Pengujian model armada perintis berdasarkan tahanan dan gerak kapal
				Analisa stabilitas armada perintis antar pulau berdasarkan karakteristik perairan dan cuaca	Analisa stabilitas armada perintis antar pulau berdasarkan karakteristik perairan dan cuaca	Analisis damage stability armada perintis	Analisis damage stability angkutan penyeberangan antar pulau
4	Peningkatan kapasitas industri galangan kapal	Kajian produktifitas, kapasitas industri dan daya saing galangan kapal nasional di koridor ekonomi Sulawesi	Kajian Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas Produksi galangan kapal nasional di koridor ekonomi Sulawesi	Pengembangan model desain cluster industri galangan kapal nasional di koridor ekonomi Sulawesi dengan industri penunjangnya	Desain model cluster industri galangan kapal nasional di koridor ekonomi Sulawesi dengan industri penunjangnya	Implementasi model cluster industri galangan kapal nasional di koridor ekonomi Sulawesi dengan industri penunjangnya	
		Identifikasi industri penunjang galangan kapal dan kapasitasnya	Identifikasi pola rantai pasok material produksi galangan kapal				
		Kajian kebutuhan kapal bangunan baru dan reparasi kapal	Kajian kebutuhan galangan kapal berdasarkan permintaan bangunan				

5	Sistem logistik barang manufaktur dan komersial untuk kawasan timur Indonesia (KTI)		Identifikasi pasar dan trade untuk barang manufaktur dan komersial di KTI	Pengembangan desain model sistem logistik dan distribusi nasional (LDN) untuk sistem logistik barang manufaktur dan komersial	Konsep desain model sistem logistik dan distribusi nasional (LDN) untuk KTI	Blueprint konsep sistem logistik dan distribusi nasional (LDN) yang mencakup sistem logistik barang manufaktur/komersial	desain Konsep kebijakan SLDN dalam kerangka pengentasan kemiskinan
			Kajian besaran permintaan untuk setiap kebutuhan masyarakat akan barang manufaktur dan komersial di KTI				
			Kajian kondisi terkini moda transportasi, lokasi pergudangan dan sistem pendukung logistik nasional di KTI				
6	Kajian desain kapal perikanan dan hubungannya dengan performa kapal	Peningkatan performa kapal perikanan melalui optimasi karakteristik lambung bawah air	Peningkatan performa kapal perikanan melalui optimasi karakteristik lambung bawah air	Studi performa kapal perikanan akibat penambahan komponen lambung kapal	Studi performa kapal perikanan akibat penambahan komponen lambung kapal	Kajian performa kapal akibat penambahan komponen pada lambung kapal melalui pengujian model	Kajian performa kapal akibat penambahan komponen pada lambung kapal melalui pengujian model
			Studi perancangan kapal pengangkut rumput laut untuk meningkatkan efektivitas kemampuan angkut dan waktu panen bagi masyarakat pesisir	Studi perancangan kapal pengangkut rumput laut untuk meningkatkan kemampuan angkut dan efektivitas waktu panen bagi masyarakat pesisir	Studi perancangan kapal bagian perikanan berlambung dua berdasarkan aspek tahanan kapal	Studi stabilitas kapal bagian perikanan berlambung dua	
7	Kajian kelayakan penggunaan bahan alternatif		Baja sebagai bahan lunas kapal perikanan	Baja sebagai bahan lunas kapal perikanan	Prototipe Baja sebagai bahan lunas kapal perikanan	Struktur pondasi mesin mesin geladak kapal perikanan	Struktur pondasi mesin mesin geladak kapal perikanan
			Analisis sifat mekanik dan kimiawi bahan komposit pada lingkungan laut	Bahan komposit sebagai bahan lunas kapal perikanan	Bahan komposit sebagai bahan lunas kapal perikanan	Prototipe Bahan komposit sebagai bahan lunas kapal perikanan	Integritas tsruktur tangki umpam hidup kapal poe and line
8	Peningkatan integritas struktur kapal perikanan		Analisis kekuatan sambungan balok kayu struktur kapal perikanan	Analisis kekuatan sambungan papan kulit kapal perikanan	Struktur linggi propeler, balok mati, tabung buritan, dan kebocoran pada kapal perikanan	Struktur linggi propeler, balok mati, tabung buritan, dan kebocoran pada kapal perikanan	Analisis pondasi motor pada kapal perikanan bermotor ganda
9	Peningkatan kapasitas industri galangan kapal perikanan		Kajian produktifitas, kapasitas industri dan daya saing galangan kapal perikanan di koridor ekonomi sulawesi	Kajian Peningkatan Efisiensi dan Efektivitas Produksi galangan kapal perikanan di koridor ekonomi sulawesi	Pengembangan model desain cluster industri galangan kapal perikanan di koridor ekonomi sulawesi dengan industri penunjangnya	Desain model cluster industri galangan kapal perikanan di koridor ekonomi sulawesi dengan industri penunjangnya	Implementasi model cluster industri galangan kapal perikanan di koridor ekonomi sulawesi dengan industri penunjangnya
			Identifikasi industri penunjang galangan kapal perikanan dan kapasitasnya	Identifikasi pola rantai pasok material produksi galangan kapal perikanan di koridor ekonomi			
			Kajian kebutuhan kapal bangunan baru dan reparasi kapal perikanan	Kajian kebutuhan galangan kapal berdasarkan permintaan bangunan baru dan reparasi kapal perikanan			

## **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **3.1. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisa pengaruh kelelahan dan integritas struktur serta perilaku kehancuran progressive dari elemen-elemen pendukungnya terhadap kekuatan kapal.

### **3.2. Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah perhitungan pengaruh kelelahan dan integritas struktur terhadap kekuatan kapal dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan teori balok dan teori penampang yang terintegrasi serta dapat mengidentifikasi perilaku kehancuran progressive elemen-elemen struktur yang mendukung kekuatan kapal.

## **BAB 4. METODE PENELITIAN**

### **4.1. Waktu dan Lokasi Penelitian**

Waktu penelitian dilakukan dengan durasi delapan bulan. Lokasi penelitian dilakukan di Universitas Hasanuddin Fakultas Teknik di Departemen Teknik Kelautan Kampus Fakultas Teknik Gowa di Laboratorium Riset Analisis Struktur Kelautan.

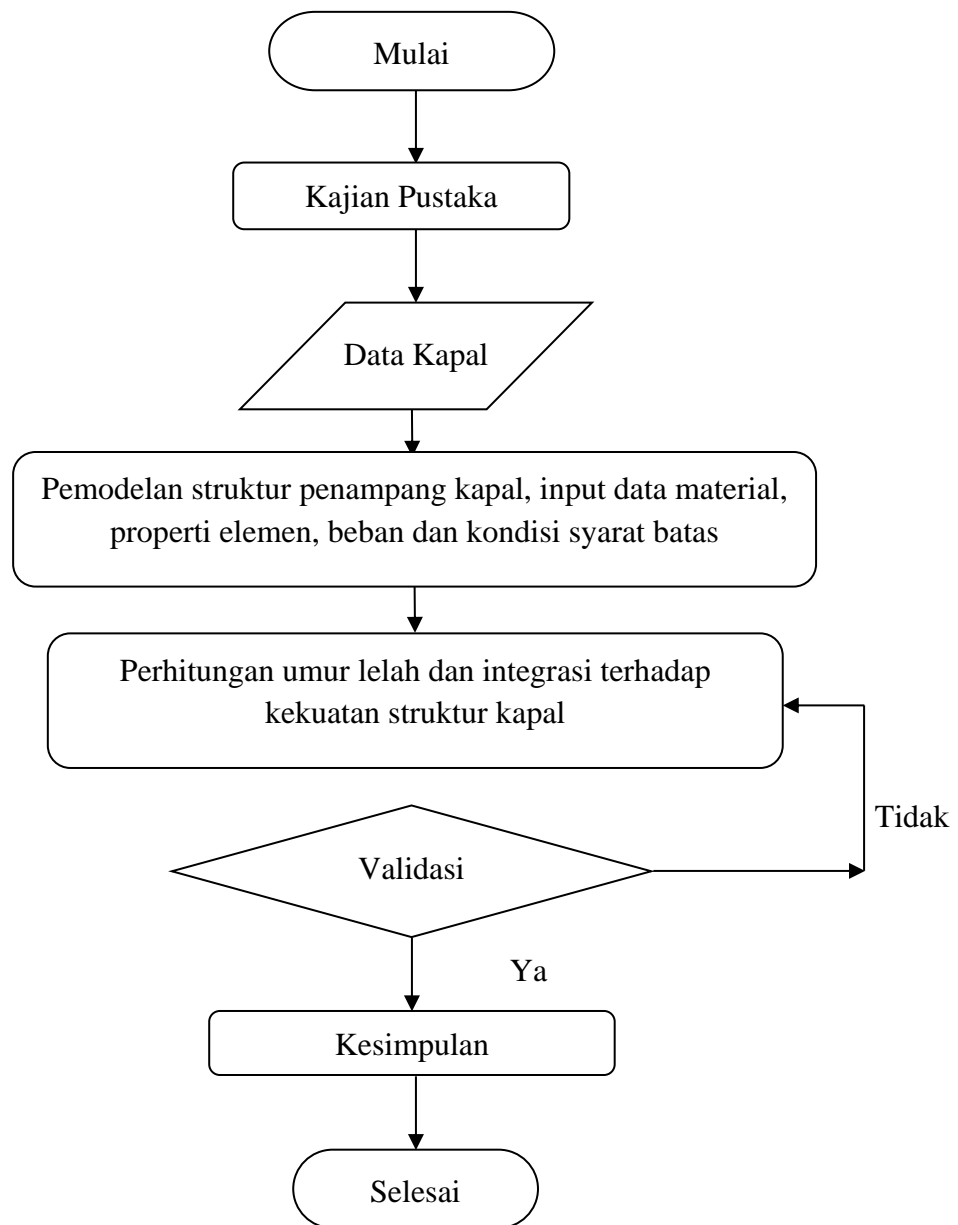
### **4.2. Materi dan Rancangan Penelitian**

Materi penelitian berupa artikel jurnal dan prosiding yang terkait dengan perhitungan kelelahan dan kekuatan struktur kapal. Teknik perhitungan kelelahan struktur dengan formula matematis dan metode numerik atau FEM (*Finite Element Method*).

Rancangan penelitian berupa survey referensi hasil-hasil penelitian kemudian melakukan analisa penggunaan formula matematis yang dikomparasi dengan metode numerik untuk mendapatkan hasil analisa perhitungan kelelahan struktur dengan formula matematis dan metode numerik atau FEM (*Finite Element Method*).

### **4.3. Analisis Data**

Variabel yang diamati pada penelitian ini adalah usia kapal dan besarnya tegangan yang terjadi dengan difokuskan pada pengaruh propagasi retak dan umur lelah terhadap kekuatan kapal serta kehancuran progressive elemen-elemen pendukung kekuatan kapal baik melintang maupun memanjang. Cara pengambilan data adalah melalui simulasi data sekunder ukuran dimensi kapal (panjang, lebar, tinggi), data dimensi pelat dan pelat berpenegar, data material kapal yang digunakan, dan data property elemen (modulus elastisitas, rasio poisson, dan tegangan luluh). Teknik analisis yang dilakukan adalah mengolah data yang telah dikumpulkan dari pustaka, kemudian disimulasikan, untuk menjadi seperangkat hasil dalam bentuk kebenaran hipotesis. Analisis data yang dilakukan berdasarkan bagan alur seperti pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 4.1 Road Map penelitian

## BAB 5. HASIL YANG DICAPAI

1. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu Proceedings of the Twenty-eight (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference dari International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), ISBN 978-1-880653-97-5; ISSN 1098-6189. Prosiding ini juga tercatat di Scimago Journal Rank (SJR). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada lampiran.
2. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 5<sup>th</sup> International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada lampiran.
3. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 5<sup>th</sup> International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada lampiran.
4. Jurnal Internasional Bereputasi yang terindeks SCOPUS, tercatat di Scimago Journal Rank (SJR) yaitu International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE) dengan kualitas Q3 yang sudah *dipublikasi* oleh pihak publisher.
5. Jurnal Nasional Terkreditasi DIKTI, tercatat di DOAJ Makara Journal of Technology yang sudah *dipublikasi* oleh pihak publisher.
6. Buku Ajar dengan Judul **Non-Linear Finite Element Method in Ansys**
7. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 2<sup>nd</sup> EPI International Conference on Science and Engineering 2018 (EICSE 2018). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada lampiran.
8. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 5<sup>th</sup> International Symposium on Material, Mechatronics and Energy (ISMME 2018). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada lampiran.
9. Jurnal Internasional Bereputasi yang terindeks SCOPUS, tercatat di Scimago Journal Rank (SJR) yaitu International Journal of Technology (IJTech) dengan kualitas Q2, yang masih proses *initial screening by secretariat*. Bukti artikel tersebut sudah disubmit dapat dilihat pada bagian lampiran.

## **BAB 6. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA**

Rencana tahapan berikutnya adalah tahun kedua dan tahun ketiga dimana penelitian difokuskan pada analisa elemen-elemen lokal pada konstruksi kapal yang disebabkan oleh retak dan pengaruhnya terhadap kekuatan kapal secara lokal dan global. Analisa dilakukan dengan perhitungan secara numerik dengan bantuan Finite Element Method (FEM) software ANSYS. Penampang kapal dimodelkan di ANSYS dengan mempertimbangkan satu jarak gading sebagai arah memanjang. Kemudian pemodelan kerusakan yang disebabkan oleh retak Hasil yang diperoleh dari metode numerik (ANSYS) dibandingkan dengan formula analitis sebagai bahan komparasi dan/atau validasi. Pada tahun ketiga, penelitian difokuskan pada analisa kelelahan umur kapal Ro-Ro dan pengaruhnya terhadap kekuatan kapal. Pada tahun ini merupakan tahun terakhir yang merupakan gabungan dari penelitian dari tahun pertama dan tahun kedua. Kompleksitas penelitian pada tahun ketiga sangat banyak dan berjenjang karena yang dianalisa adalah umur kapal Ro-Ro dan bagaimana perilaku hubungan deformasi, tegangan serta momen terhadap kekuatan kapal. Perilaku seperti deformasi dan distribusi tegangan baik pada kondisi hogging dan sagging juga dipaparkan pada tahun ketiga dari penelitian ini.

## **BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **7.1. Kesimpulan**

Analisa kekuatan kapal dengan meninjau setiap elemen-elemen pendukung dapat dilakukan dengan perhitungan baik pendekatan formaulasi maupun secara numerik dalam hal ini menggunakan software. Perilaku kehancuran progressive dari setiap elemen-elemen pendukung kekuatan kapal dapat dideteksi dengan menggunakan software karena dapat ditampilkan secara tiga dimensi (3D). Perhitungan kekuatan kapal dengan menggunakan formula matematis menunjukkan bahwa hasil kekuatan kapal dalam bentuk hubungan momen-kelengkungan identik dengan penggunaan metode numerik (software).

### **7.2. Saran**

Penentuan umur lelah dari kapal akan dilanjutkan pada tahun terakhir (tahun ketiga).

## DAFTAR PUSTAKA

1. Leheta, H.W, Elhewy, A.M.H, and Younes, H.A. 2016. Analysis of Fatigue Crack Growth in Ship Structural Details. Polish Maritime Research 23: 71-82.
2. Kozak, J and Gorski, Z. 2011. Fatigue Strength Determination of Ship Structural Joints Part I Analytical Methods for Determining Fatigue Strength of Ship Structure. Polish Maritime Research 18: 28-36.
3. Sumi, Y et al. 2013. Fracture Control of Extremely Thick Welded Steel Plates Applied to the Deck Structure of Large Container Ships. J Mar Sci Technol 18: 497-514.
4. Meniconi, L.CM, Lana, L.DM, Morikawa, S.RK. 2014. Experimental Fatigue and Aging Evaluation of the Composite Patch Repair of a Metallic Ship Hull. Applied Adhesion Science 2: 2-27.
5. Muis Alie, M.Z. 2016. "Residual Strength Analysis of Asymmetrically Damaged Ship Hull Girder Using Beam Finite Element Method," Makara Journal of Technology 20: 7-12.
6. Muis Alie, M.Z and Adiputra, R. 2018. "Investigation of Ship Hull Girder Strength with Grounding Damage," Makara Journal of Technology 22: 88-93.
7. Muis Alie, M.Z. 2016. "The Effect of Symmetrical and Asymmetrical Shapes on Buckling and Fatigue Strength Analysis of Fixed Offshore Platforms," International Journal of Technology 6: 1107-1116.
8. Muis Alie, M.Z. 2018. "Simplified Approach on the Ultimate Hull Girder Strength of Asymmetrically Damaged Ships," International Journal of Offshore and Polar Engineering 28: 200-205.
9. Choung, J et al. 2012. Assessment of Residual Ultimate Strength of an Asymmetrically Damaged Tanker Considering Rotational and Translational Shifts of Neutral Axis Plane. Marine Structure 25: 71-84.
10. Shu, Z and Moan, T. 2012. Ultimate Hull Girder Strength of a Bulk Carrier under Combined Global and Local Loads in the Hogging and Alternate Hold Loading Condition using Nonlinear Finite Element Analysis. J Mar Sci Technol 17: 94-113.
11. Wang, H et al. 2016. Damaged Evaluation of a Simplified Hull Girder Subjected to Underwater Explosion Load : A Semi-Analytical Model. Marine Structure 45: 43-62.

12. Campanile, A et al. 2016. Time-Variant Bulk Carrier Reliability Analysis in Pure bending Intact and Damaged Conditions. *Marine Structure* 46: 193-228.
13. Iijima, K and Fujikubo, M. 2018. Hydro-Elastoplastic Behaviour of VLFS under Extreme Vertical Bending Moment by Segmented Beam Approach. *Marine Structure* 57: 1-17.
14. Kitarovic, S and Zanic, V. 2014. Approximate Approach to Progressive Collapse Analysis of the Monotonous Thin-Walled Structures in Vertical Bending. *Marine Structure* 39: 255-286.
15. Villavicencio, R et al. 2014. Experimental and Numerical Analysis of a Tanker Side Panel Laterally by a Knife Edge Indenter. *Marine Structure* 37: 173-202.

## LAMPIRAN

1. Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu Proceedings of the International Ocean and Polar Engineering Conference dari International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE), ISSN 1098-6189. Prosiding ini juga tercatat di Scimago Journal Rank (SJR) seperti gambar berikut beserta penggalan dari halaman pertama artikel yang telah terbit:

The screenshot shows the Scimago Journal & Country Rank (SJR) website. The main heading is "Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference". The SJR ranking is prominently displayed as "38". The website also shows the H Index, Country (United States), Subject Area and Category (Energy, Engineering, Mechanical Engineering, Ocean Engineering), Publisher, and Publication type (Conferences and Proceedings). The ISSN is 10986189.

*Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference  
Sapporo, Japan, June 10-15, 2018  
Copyright © 2018 by the International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE)  
ISBN 978-1-880653-87-6; ISSN 1098-6189*

[www.isoape.org](http://www.isoape.org)

### The Ultimate Hull Girder Strength Analysis Considering Section Modulus Under Longitudinal Bending

*Muhammad Zubair Muis Alie and Samuel Isaak Latumahina*  
Department of Naval Architect and Ocean Engineering, Engineering Faculty, Hasanuddin University  
Gowa, South Sulawesi, Indonesia

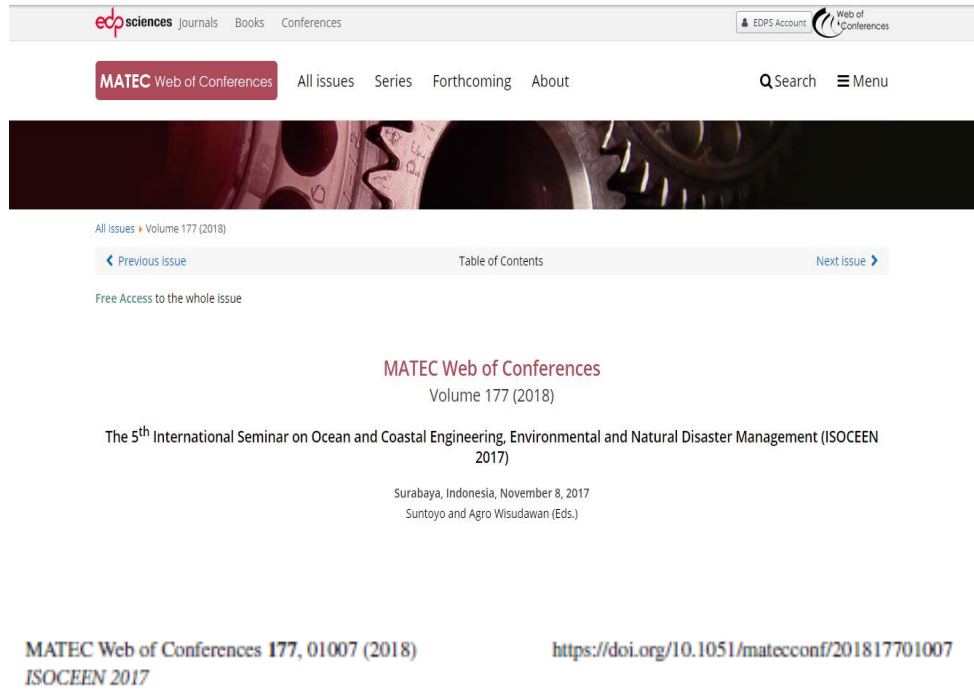
#### ABSTRACT

The objective of the present study is to assess the ultimate hull girder strength taking the section modulus into account under longitudinal bending. A Ro-Ro Ship is taken as object ship. A Ro-Ro Ship has a unique character because most of the longitudinal elements locate above neutral axis. While there are not the longitudinal elements under the neutral axis particularly at the bottom part so that the bottom part consists plate only. The simple expression implemented into in-house program to calculate the section modulus of ship cross section is performed. The cross section is assumed to be remained plane and the simply supported of boundary condition is imposed on plate and stiffened plate elements in the cross section. The vertical bending moments are imposed to both sides of the cross section. The ultimate hull girder strength is calculated by considering the section modulus including their progressive collapse behavior for Ro-Ro ship hull.

**KEY WORDS:** Ship hull; cross section; section modulus; ultimate strength.

of the transient three-dimensional Green function. The time derivative of the velocity potential in Bernoulli's equation was solved with similar source formulation to that of the perturbation velocity potential. Korkut, E et al (2005) carried out measurements of global loads acting on a Ro-Ro model in regular waves for intact and damaged conditions. The stationary model was tested in different wave heights and wave frequencies for the head, beam and stern quartering seas in order to explore the effect of damages and wave heights on the global loads acting on the model. The analysis of the result indicated that the damages had an adverse effect on the loading conditions on the model depending upon the directionality of the waves and frequency range applied. This effect might cause structural damage on the ship and danger the safety of the ship and passenger on board. Kim, D.H and Paik, J.K (2017) developed a fully automated methodology for the optimum design of hull structural scantlings for merchant cargo ships that were modelled by plate-shell finite elements. A full optimization technique with multi-objectives was applied for minimizing structural weight and maximizing structural safety, as per design constraints associated with the ultimate limit states of the plate panels, support members and hull girders. The developed procedure was applied to the

2. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 5<sup>th</sup> International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN). Artikel prosiding tersebut dapat dilihat pada halaman web beserta penggalan dari halaman pertama artikel:



edpsciences journals Books Conferences

EDPS Account Web of Conferences

MATEC Web of Conferences All issues Series Forthcoming About

Q Search Menu

All issues Volume 177 (2018)

Previous Issue Table of Contents Next Issue

Free Access to the whole issue

MATEC Web of Conferences  
Volume 177 (2018)

The 5<sup>th</sup> International Seminar on Ocean and Coastal Engineering, Environmental and Natural Disaster Management (ISOCEEN 2017)

Surabaya, Indonesia, November 8, 2017  
Suntoyo and Agro Wisudawan (Eds.)

MATEC Web of Conferences 177, 01007 (2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817701007>  
ISOCEEN 2017

## Comparative Study of Structural Geometric to the Ultimate Strength on Fixed Jacket Platform

Muhammad Zubair Muis Alie<sup>1,\*</sup>, Icon Yan Franchover Obednego<sup>1</sup>, Achmad Yasir Baeda<sup>1</sup>, Taufiqur Rachman<sup>1</sup>, and Juswan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hasanuddin University, Engineering Faculty, Department of Ocean Engineering, 92172 Gowa, South Sulawesi, Indonesia

**Abstract.** The brace configuration plays an important role to the ultimate strength of fixed jacket platform. The braces against the combined load in vertical and horizontal direction. In the present study, the ultimate strength of the fixed jacket platform is analysed considering the shape of the structural geometric. Four types of brace configuration namely, K, N, X and Y are taken to be assessed. Dimensions of the structure are constant including properties and materials. The boundary conditions are assumed to be fixed at the bottom part. The Non-Linear Finite Element Analysis (NLFEA) is adopted to calculate the ultimate strength of the structure and those results of brace configuration are compared with one another and discussed in the present study.

3. Jurnal Internasional Bereputasi yang terindeks SCOPUS, tercatat di Scimago Journal Rank (SJR) yaitu International Journal of Offshore and Polar Engineering (IJOPE) dengan kualitas Q3 yang sudah *dipublikasi* oleh pihak publisher beserta penggalan halaman pertama artikel yang telah terbit.

The screenshot shows the Scimago Journal & Country Rank website. The main heading is "International Journal of Offshore and Polar Engineering". Below this, there is a table of metadata:

Country	United States - <a href="#">IIII</a> SJR Ranking of United States	<b>34</b> H Index
Subject Area and Category	Engineering Civil and Structural Engineering Mechanical Engineering Ocean Engineering	
Publisher	International Society of Offshore and Polar Engineers	
Publication type	Journals	
ISSN	10535381	
Coverage	1991-ongoing	

At the bottom of the screenshot, there is a cookie notice: "This website uses cookies to ensure you get the best experience on our website" with a "Got it!" button.

International Journal of Offshore and Polar Engineering (ISSN 1053-5381)  
Copyright © by The International Society of Offshore and Polar Engineers  
Vol. 28, No. 2, June 2018, pp. 200–205; <https://doi.org/10.17736/ijope.2018.jc708>

<http://www.isope.org/publications/publications.htm>

## Simplified Approach on the Ultimate Hull Girder Strength of Asymmetrically Damaged Ships

Muhammad Zubair Muis Alie\*  
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Hasanuddin University  
Gowa, South Sulawesi, Indonesia

**The objective of the present study is to investigate the ultimate hull girder strength of an asymmetrically damaged ship under a sagging condition. Two kinds of ships are taken as the object of analysis. The cross section of the ship is considered and assumed to have remained plane. The simply supported boundary condition is applied to both sides of the cross-section. The ultimate hull girder strength is attained when a plate and/or stiffened plate element at the specified location called "critical element" reach its ultimate strength. To investigate the ultimate hull girder strength, a simplified approach is proposed. The result obtained by the simplified approach is compared with the progressive collapse analysis to determine effectiveness and for validation.**

### INTRODUCTION

The ability to predict accurately the ultimate strength of ship hull girder when subjected to longitudinal bending is one of the most important aspects of ship structural design. Collision and grounding damage may take place on the ship's hull, which may threaten safety of ships and surrounding environment. In this regard, to enhance the safety of ship's structure and minimize the risks, the International Maritime Organization (IMO, 2009) has required in Goal Based Standard for New Ship Construction (GBS) to consider the residual strength of the hull girder in specified damage conditions as one of the functional requirements for the structural rules for bulk carriers and tankers.

et al. (2017). The cross-section of Ro-Ro ship was taken to be analyzed. The collision and grounding damages were assumed to be located on the side and bottom areas, respectively. The damages were created by removing the element from the side shell and bottom part. Ohtsubo et al. (1994) showed the experimental and numerical works on the ship structural damages due to collision and grounding. This was one of the first attempts to apply the explicit finite element method codes, such as LS-DYNA and MSC Dytran, to the collision and grounding problems of ships. Özgüç et al. (2005) investigated the collision resistance and residual strength of single-skin and double-skin bulk carriers subjected to damages. Notaro et al. (2010) carried out full nonlinear finite element assessments of hull girder capacity in intact and damage

4. Jurnal Nasional Terakreditasi DIKTI, tercatat di DOAJ Makara Journal of Technology, yang sudah dipublikasi. Bukti artikel tersebut sudah dipublikasi dapat dilihat pada halaman web sebagai berikut

**Latest issue: Vol 22, No 2 (2018)**

Internet Traffic Forecasting Model Using Self Organizing Map and Support Vector Regression Method  
*Enrico Laoh, Fakhru Agustinawan, Chyntia Megawati, Isti Surjandani*  
 pages: 60-65

Microstructures and Hardness of TIG Welded Experimental 57Fe15Cr25Ni Steel  
*Panikin Panikin, Mohammad Dani, Abu Khalid Rivai, Agus Hadi Ismoyo, Riza Iskandar, Arbi Dimiyati*  
 pages: 66-71

Satellite-Based Monitoring of Spatiotemporal Changes in Batudulang Forest in Sumbawa, Indonesia  
*Mohammad Muslim, Arief Budhi Witaro, Wahyu Indrajaya*  
 pages: 72-78

Effects of the Preheating Temperature on the Crystal Structure and Texture of Martensitic Stainless Steel  
*Tri Hardi Priyanto, Rifai Muslih, Herry Mugirahardjo, Bharoto Bharoto, Andon Insani, Muzzakiy Muzzakiy*  
 pages: 79-83

Mapping of Bruise of Oil Palm Fresh Fruit Bunch during Loading and Transportation from Field to Mill  
*Andreas Wahyu Krisdiarto*  
 pages: 84-87

Investigation of Ship Hull Girder Strength with Grounding Damage  
*Muhammad Zubair Muis Alie, Ristiyanto Adiputra*  
 pages: 88-93

Benchmarking Product Service System of Generator Set Distributors  
*Venny Violetta Tuundah, Tanika Dewi Sofianti*  
 pages: 94-100

## Investigation of Ship Hull Girder Strength with Grounding Damage

Muhammad Zubair Muis Alie<sup>1</sup> \* and Ristiyanto Adiputra<sup>2</sup>

1. Department of Ocean Engineering, Engineering Faculty, Universitas Hasanuddin, Gowa 92172, Indonesia

2. Department of Maritime Engineering, Engineering Faculty, Kyushu University, 744 Motooka Nishi-ku, Fukuoka 819-0395, Japan

\*e-mail: [zubair.m@eng.uhs.ac.id](mailto:zubair.m@eng.uhs.ac.id)

---

### Abstract

The objective of the present study is to investigate ship hull girder strength as a result of grounding damage upon longitudinal bending. A bulk carrier and tanker are analyzed and Smith's Method is adopted and implemented in the analysis program. An efficient solution procedure is performed by assuming the cross-section remains plane and the vertical bending moment is applied to the cross section. As a fundamental case, the damage is simply created by removing the elements from the cross section. Welding residual stress, initial imperfections, and crack extensions are not considered. The grounding damage is made by two conditions, namely those are placed at the center part of the cross section and those located at an asymmetric position. To determine the ultimate strength, which includes the progressive collapse behavior of ship hull with damage, the simply supported scenario is imposed to the cross section and hogging and sagging conditions are taken into account. The results obtained for intact and damage conditions by the in-house program are compared with one another to observe the collapse behavior in advance.

### Abstrak

Investigasi Kekuatan Penumpu Lambung Kapal terhadap Kerusakan Tubrukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menginvestigasi kekuatan lambung kapal dari kerusakan yang disebabkan oleh kandas dalam pengaruh lentur memanjang. Sebuah kapal *bulk carrier* dan *tanker* dipertimbangkan untuk dianalisis. Metode Smith diadopsi dan diterapkan kedalam program bantu. Suatu prosedur penyelesaian yang efisien dipaparkan, dengan kata lain mengasumsikan penampang kapal adalah bidang dan momen lentur vertikal diberikan pada penampang. Untuk perhitungan sederhana, kerusakan dibuat secara sederhana dengan menghilangkan elemen-elemen dari penampang, mengabaikan tegangan sisa pengelasan, ketidaksempurnaan awal dan retak tidak dipertimbangkan. Kerusakan oleh kandas dibuat dengan dua kondisi, yaitu ditempatkan pada bagian bawah tengah kapal dan ditempatkan pada posisi tidak simetris. Untuk menginvestigasi kekuatan kapal termasuk perilaku kehancuran progresive dari lambung kapal dengan kerusakan kandas, maka tumpuan sederhana diterapkan dengan mempertimbangkan kondisi *hogging* dan *sagging*. Hasil yang diperoleh untuk kondisi utuh (*intact*) dan rusak dengan program bantu dibandingkan antara satu dengan lain untuk mengamati perilaku kehancuran selanjutnya.

*Keywords:* grounding damage, intact, longitudinal bending, ship hull, ultimate strength

---

### 1. Introduction

Damage caused by grounding may occur in a ship's hull and threaten the safety of the ship and surrounding environment. This phenomenon must be investigated as one of the functional requirements for the ship's structural design. Many studies have described how an assessment of ship hull girder strength is very important. The development of the Residual Strength-Damage

Index (R-D) diagram for evaluating damaged structures, which takes into account the time-dependent corrosion wastage effect, has been presented [1].

The residual strength of an asymmetrically damaged ship hull girder under longitudinal bending was analyzed by Muis Alie [2]. The finite element method (FEM) for beams was used for the assessment of the residual strength for two single hull bulk carriers and a three-

5. Jurnal Internasional Bereputasi yang terindeks SCOPUS, tercatat di Scimago Journal Rank (SJR) yaitu International Journal of Technology (IJTech) dengan kualitas Q2, yang sudah terbit dapat dilihat pada halaman web sebagai berikut:

The screenshot shows the Scimago Journal & Country Rank page for the International Journal of Technology. The journal is ranked 6 in the H Index category. The subject area and category are Business, Management and Accounting, Management of Technology and Innovation, Strategy and Management. The publisher is Faculty of Engineering Universitas Indonesia. The ISSN is 20869614 and the coverage is from 2010 to ongoing.

The screenshot shows the International Journal of Technology website. The current issue is Vol 14, No 1 (2023). The article 'Progressive Collapse Analysis of the Local Elements and Ultimate Strength of a Ro-Ro Ship' is displayed. The authors are Muhammad Zubair Muis Alie and Samuel Izaak Latumahina. The article is published in Volume 10, No 5 (2019). The DOI is <https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i5.1768>. The article has 515 downloads.

6. Buku yang sudah terbit pada Penerbit Deepublish tampilannya dapat dilihat sebagai berikut:



**deepublish|publisher**  
(Penerbit Buku Pendidikan Anggota IKAPI)

**SURAT PERNYATAAN PENERBITAN**  
Nomor: 079/DAK-02/Des/XI/2019

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Supriyana, S.E.  
Jabatan : Administration and Finance Manager  
Alamat Kantor : Jl. Rajawali Gg. Elang 6 No. 3 Dromo, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman, Yogyakarta 55381  
No. Telp : 0274-4533427  
E-mail : [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id)

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa buku berjudul:

	Judul	: Perhitungan Kekuatan Kapal Dengan Metode Elemen Hingga
	Penulis	: Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D. Muhammad Iqra Ramadhan, S.T.
	Ukuran	: 20x29 cm
	Jumlah Hal	: xii, 94 hlm
	Terbit	: November 2019
	No. ISBN	: 978-623-02-0313-8
	Desain cover	: Herlambang Rahmadhani
Penata Letak	: Emy Rizka Fadilah	

Telah diterbitkan secara nasional dan merupakan karya asli dari penulis:

Nama : Muhammad Zubair Muis Alie, S.T., M.T., Ph.D.  
Muhammad Iqra Ramadhan, S.T.  
Alamat : Cluster Berlian Permai Blok A No 1, Depan SMA Negeri 10, RT 4 RW 7, Tamangapa, Manggala, Makassar, Sulawesi Selatan 90235  
No Handphone : 081382815767  
Email : [zubair.m@sng.unhas.ac.id](mailto:zubair.m@sng.unhas.ac.id)

Demikian surat pernyataan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya oleh para pihak yang berkepentingan.

Yogyakarta, 21 November 2019

(Supriyana, S.E.)  
Administration and Finance Manager

**Kantor Pusat:**  
Jl. Kalirang km 9.3, Gg. Elang 6 no 3, Dromo, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman – Daerah Istimewa Yogyakarta 55381,  
Telp/Fax: 0274-4533427 081252006699;  
Email: [cs@deepublish.co.id](mailto:cs@deepublish.co.id); website: [www.penerbitdeepublish.com](http://www.penerbitdeepublish.com); Facebook: Penerbit Deepublish  
**Cabang Cirebon**  
Jl. SekeloaKembangKaryaMulya Indah A7- Cirebon 45135; 083834332836, 081324918200; [retno.widyani@yahoo.com](mailto:retno.widyani@yahoo.com)

7. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 2<sup>nd</sup> EPI International Conference on Science and Engineering (EICSE). Artikel prosiding tersebut sementara proses terbit oleh pihak publisher karena baru saja diselenggarakan pada tanggal 24 Oktober 2018.



8. Artikel Prosiding Terindeks SCOPUS yaitu The 5<sup>th</sup> International Symposium on Material, Mechatronics and Energy (ISMME). Artikel prosiding tersebut sementara proses terbit oleh pihak publisher karena baru saja diselenggarakan pada tanggal 7 November 2018.





**Hasanuddin University | 2018**