



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kelelahan Tongkat Kemudi Pada Kapal Skipi Kelas Orca Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Herman Josef Emerald¹⁾, Hartono Yudo²⁾, Ari Wibawa Budi Santosa³⁾

¹⁾Laboratorium Struktur dan Konstruksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail :jo.emeraldo@gmail.com

Abstrak

Salah satu kecelakaan kapal yang sering terjadi di Indonesia adalah kapal yang kehilangan kendali yang disebabkan karena kegagalan pada tongkat kemudi. Kapal SKIPI kelas Orca merupakan kapal patroli Indonesia yang diproduksi pada tahun 2016 lalu. Untuk mencegah terjadinya kegagalan tongkat kemudi pada saat kapal SKIPI beroperasi, maka dilakukan penelitian pada salah satu tongkat kemudi kapal SKIPI untuk memprediksi usia *fatigue*. Tongkat kemudi menggunakan material *structural steel* (SS 400). Untuk mendapatkan tekanan yang terjadi pada daun kemudi, dengan menggunakan software berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD), tekanan yang digunakan berdasarkan gerakan *rolling* kapal terhadap gelombang laut yang selanjutnya nilai tekanan tersebut digunakan untuk melakukan analisis menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Berdasarkan dari hasil penelitian, maka dapat diestimasi tongkat kemudi siklus sebesar 4013.

Kata Kunci : Analisa *fatigue*, Rudder stock, *Fatigue life*, Element hingga

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan kapal yang paling umum terjadi di perairan Indonesia adalah kapal kehilangan kendali karena kegagalan pada tongkat kemudi. Salah satu contohnya adalah KMP Citra Mandala Bahari yang tenggelam pada tahun 2006 yang lalu. Kecelakaan kapal KMP Citra Mandala Bahari karena kapal yang hilang kendali pada gelombang tinggi akibat kemudi kapal patah saat dihantam ombak dan angin kencang. Retakan *fatigue* pada kapal umumnya disebabkan oleh tekanan siklik yang berulang ulang dari gelombang pada kapal selama masa pelayanan.[1] Pada 2016 lalu KKP menambahkan 4 unit kapal pada Sistem Kapal Inspeksi Perikanan Indonesia (SKIPI). Kapal inspeksi perikanan harus mempunyai manuver yang baik saat beroperasi, karena kapal ini berfungsi untuk memburu kapal-kapal yang melakukan illegal fishing. Untuk mendapatkan manuver yang baik, salah satu faktor yang berpengaruh adalah kekuatan material dari sistem konstruksi kemudi.[2]

Stok kemudi adalah baja tuang atau baja tempa, dan sejenisnya dengan diameter yang ditentukan sesuai dengan torsi dan tekukan yang dapat diterima. Di ujung bawahnya terhubung ke daun kemudi dengan sambungan baut horizontal atau vertikal, yang memiliki penampang melintang area yang cukup untuk menahan torsi yang diterapkan ke stok. Sambungan agar daun kemudi dapat dilepas untuk diperiksa dan diperbaiki [3].

Pada penelitian sebelumnya, analisa *fatigue life* tongkat kemudi dengan material *carbon steel* (ST41) pada kapal LCT (*Landing Craft – Tank*) dengan pembebanan berdasarkan gerakan *rolling* kapal, telah didapatkan usia *fatigue* tongkat kemudi 1.8 tahun [4]. Pada penelitian ini, tongkat kemudi kapal SKIPI menggunakan material *structural steel* (SS400).

Berdasarkan penelitian *fatigue* dan prediksi umur tongkat kemudi berdasarkan beban aksial [5] dan pengaruh gelombang terhadap *fatigue* kapal container [6] maka pada penelitian ini beban tongkat kemudi pada kapal SKIPI kelas Orca akan

berdasarkan beban yang disebabkan oleh gelombang *rolling* pada kapal.

Tengangan yang dialami pada tongkat kemudi adalah tegangan tunggal bolak balik murni, yaitu tegangan yang dialami oleh tongkat kemudi adalah tegangan lentur saja atau tegangan aksial saja. Kriteria patah lelah untuk elemen mesin yang mengalami tegangan tunggal bolak-balik murni adalah kurva S-N.[7]

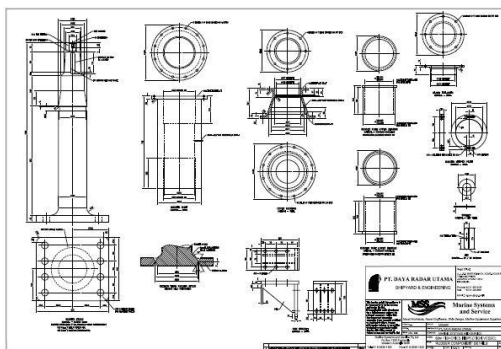
Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui usia *fatigue* tongkat kemudi kapal SKIPI kelas Orca dengan menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah prosedur numerik untuk memecahkan masalah mekanika kontinum dengan ketelitian yang dapat diterima oleh rekayasawan.[8]

2. METODE

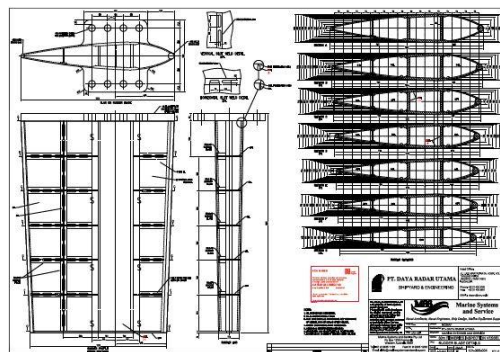
2.1. Objek Penelitian

Kapal SKIPI (Sistem Kapal Inspeksi Perikanan Indonesia) kelas Orca adalah kapal patrol Indonesia untuk pemberantasan *illegal fishing* di Indonesia, memiliki spesifikasi:

LOA	= 60	m
LPP	= 53,39	m
Lebar (B)	= 8,2	m
Sarat (T)	= 2,17	m
Tinggi (H)	= 4.37	m
Koefisien balok (Cb)	= 0,44	
Luas area daun kemudi	= 2.2	m ²
(material : KI A36)		
Diam. tongkat kemudi atas	= 235	mm
(tinggi : 1484 mm – material : SS 400)		
Lebar maksimum <i>flange</i>	= 595	mm
Panjang maksimum <i>flange</i>	= 1.267	mm
(tinggi : 60 mm – material : KI A36)		
Baut M52		
(material : AISI 316)		



Gambar 1. Rudder Component Details



Gambar 2. Rudder Blade Details

2.2. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian berupa PC dengan spesifikasi;

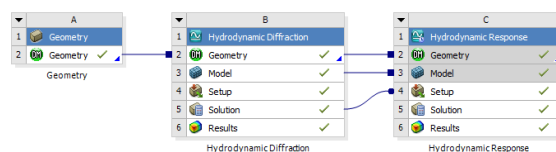
1. OS: Windows 8 64bit
2. Processor: Intel core i7
3. RAM 4GB
4. Grafik Nvidia Geforce 940M 4GB

Software yang digunakan:

- ANSYS 18.0
- Solidworks 2016

2.3. Simulasi CFD

Simulasi *CFD* dilakukan dengan menggunakan ANSYS. Model badan kapal yang telah siap di-*export* ke ANSYS dan selanjutnya disimulasikan untuk mendapatkan data olah gerak kapal.



Gambar 3. Project Schematic Simulasi pada ANSYS

2.4. Root Mean Square

RMS merupakan luasan kurva di bawah kurva spectrum respon yang dinyatakan dalam m_0 , dengan persamaan :

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta_r}(\omega) d\omega \quad (1)$$

jika nilai RMS dari masing-masing amplitude gerakan (ζ) dinyatakan dalam $\sqrt{m_0}$ maka dinyatakan dalam persamaan

$$(\zeta)_{av} = 1.253\sqrt{m_0} \quad (2)$$

Kemudian untuk mendapatkan amplitude signifikan atau disebut dengan rata-rata dari 1/3 amplitude tertinggi dinyatakan dengan persamaan :

$$(\zeta)_s = 2\sqrt{m_0} \quad (3)$$

2.5. Validasi Numerik

Validasi numeric usia *fatigue* tongkat kemudi melalui perhitungan matematis menggunakan metode *Cumulative Fatigue Damage* [9]

$$D = \sum_{i=1}^I \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \quad (4)$$

Dimana I adalah jumlah total blok spektrum rentang tegangan untuk penjumlahan (umumnya $I \geq 20$), n_i adalah jumlah siklus stres pada blok I dan N_i adalah jumlah siklus tegangan yang bertahan ditentukan dari kurva S-N desain yang dikoreksi.

2.6. Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik dari beban luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan Beban ultimat (*ultimate load*) [10]

Safety Factor menurut Goodman:

$$nf = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}} \quad (5)$$

Dimana nf adalah *factor of safety*, σ_a adalah tegangan amplitude, σ_m adalah tegangan rata-rata, S_e adalah nilai batas lelahan, dan S_u adalah *ultimate stress*.

Nilai dari factor keamanan harus lebih dari 1 atau tegangan maksimal lebih kecil dari tegangan ijin.

2.7. Simulasi *fatigue*

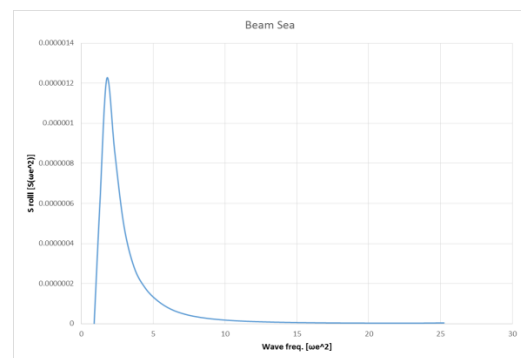
Hasil perhitungan *RMS* digunakan untuk simulasi beban *static* dan kemudian diteruskan ke simulasi *fatigue* di Solidwork

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa model *fatigue* dengan menggunakan software berbasis metode elemen hingga akan divalidasi dengan hasil perhitungan manual. Model kapal di simulasikan dengan *software* berbasis CFD dan kemudian hasilnya akan digunakan untuk mensimulasi *fatigue* tingkat kemudi dengan menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga

3.1. Simulasi CFD (*Computation Fluid Dynamic*)

Model kapal yang digunakan sebelumnya didesain dengan menggunakan *software* Delftship dan kemudian di-*export* untuk disimulasikan dengan menggunakan ANSYS.



Gambar 3. Grafik *Spectrum Response Roll*

Dari simulasi hidrostatik didapatkan hasil *amplitude significant* sebesar

$$(\zeta)_{sMax} = 2\sqrt{3.086 \times 10^9} = 111120 \quad (6)$$

$$(\zeta)_{sMin} = 2\sqrt{2.452 \times 10^9} = 99040 \quad (7)$$

$$(\zeta)_{sMean} = \frac{111120 + 99040}{2} = 105080 \text{ N} \quad (9)$$

3.2. Perhitungan Safety Factor

$$nf = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_u}} \quad (10)$$

$$nf = \frac{1}{\frac{140.2}{240} + \frac{140.2}{480}}$$

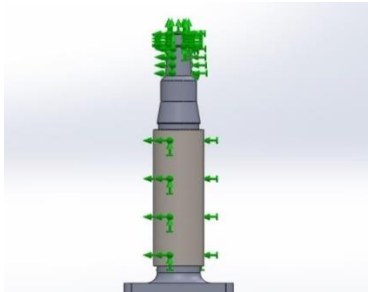
$$nf = 1.14 \text{ (Memenuhi)}$$

3.3. Hasil Analisa Kelelahan

Analisa kelelahan pada model togkat kemudi dilakukan dengan software berbasis metode elemen hingga.

3.2.1. Simulasi static

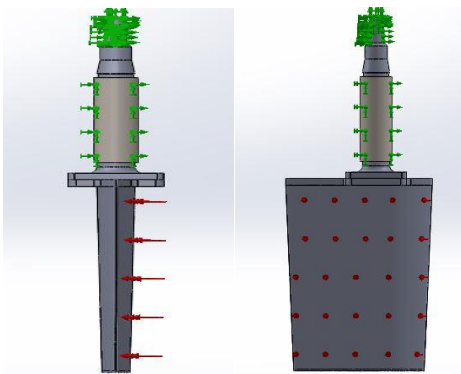
Dimulai dengan peletakan *constraint* pada model rudder dibagian tongkat kemudi seperti yang ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 5. *Constraint* pada rudder tube

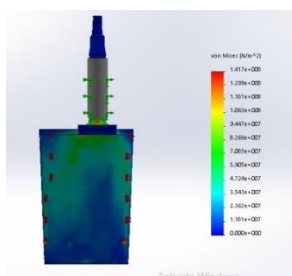
Kemudian mengaplikasikan material yang sesuai penelitian, material yang digunakan pada tongkat kemudi adalah *structural steel* (SS 400)

Proses *messing* pada SolidWork tidak dilakukan secara manual, tetapi otomatis saat menjalankan simulasi.



Gambar 6. Pembebanan pada daun kemudi

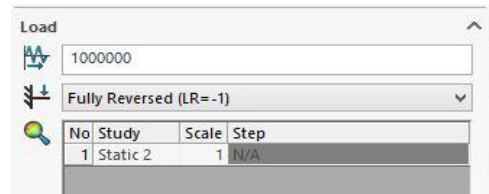
Berdasarkan hasil simulasi telah didapatkan pada tongkat kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 141,7 Mpa.



Gambar 7. Tegangan von mises berdasarkan hasil simulasi

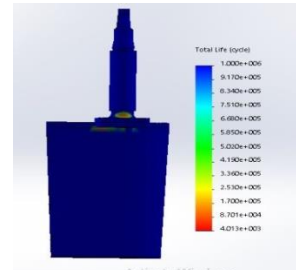
3.2.2. Simulasi fatigue

Hasil dari simulasi static diaplikasikan kembali untuk simulasi *fatigue* dengan siklus yang maksimum siklus yang direncanakan adalah 10^6

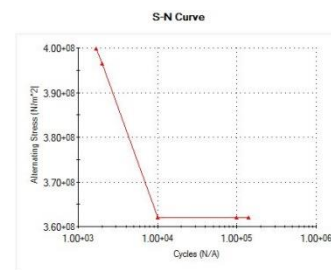


Gambar 8. *Setup* Simulasi *Fatigue*

Berdasarkan hasil simulasi *fatigue*, tongkat kemudi memiliki siklus sebesar 3924.



Gambar 9. Umur tongkat kemdi berdasarkan hasil simulasi



Gambar 8. S-N Curve tongkat kemudi berdasarkan hasil simulasi

3.4. Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan hasil (*fatigue life*) dari perhitungan *software* dan perhitungan manual. Dengan perhitungan manual, nilai *Cumulative Fatigue Damage* dapat dicari dengan menggunakan rumus persamaan dibawah ini [9]:

$$D = \sum_{i=1}^I \left(\frac{n_i}{N_i} \right) \quad (9)$$

$$n = 6.25 \times 10^6$$

$$n_i = 1\% \times 6.25 \times 10^6$$

$$n_i = 6.25 \times 10^4$$

$$\Delta\sigma = (\Delta \max - \Delta \min) \text{Mpa}$$

$$\Delta\sigma = 280.04 \text{Mpa}$$

$$\log Ni = 7 + m \cdot Q$$

$$m = 9$$

$$Q = \log(\Delta\sigma R/\Delta\sigma) - 0,69897/m0$$

$$Q = -0.38289$$

$$\log Ni = 3.55395$$

$$Ni = 10^{3.55395} = 3581$$

$$D = \frac{6.25 \times 10^4}{0.36 \times 10^4} = 17,3611$$

Fatigue life

$$Fl = \frac{25}{D} \quad (10)$$

$$Fl = \frac{25}{17,3611}$$

$$Fl = 1,44 \text{ tahun}$$

Tabel 1. Validasi Hasil

Hasil	Hasil Simulasi	Hasil Perhitungan Manual	Error (%)
<i>Fatigue life</i>	3924	3581	8,6

4. KESIMPULAN

Dari analisa yang dilakukan pada model rantai di atas didapatkan hasil tegangan *Von Mises* maksimal sebesar 141.7 Mpa. Tongkat kemudi pada kapal Skipi kelas Orca diperkirakan mempunyai *fatigue life* sebesar 3924 siklus, atau sebesar 1,57 tahun. Antara perhitungan hasil simulasi dan perhitungan manual memiliki error margin sebesar 8,6%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Thompson, "Fatigue damage variation within a class of naval ships," *Ocean Eng.*, vol. 165, no. July, pp. 123–130, 2018, doi: 10.1016/j.oceaneng.2018.07.036.
- [2] A. Nugroho, "ANALISIS KEKUATAN SISTEM KONSTRUKSI KEMUDI PADA KAPAL SKIPI KELAS ORCA DENGAN METODE ELEMEN HINGGA," vol. 5, no. 4, pp. 1–11, 2017.
- [3] D. J. Eyres, *Ship Construction*, Fifth edit. British Library Cataloguing in Publication

Data, 2001.

- [4] A. S. Mujahid and W. H. Nugroho, "A Prediction Method of Fatigue Life at The Rudder Stock," vol. 9, no. 9, pp. 1–6, 2017.
- [5] A. Nourian-avval and A. Fatemi, "Fatigue life prediction of cast aluminum alloy based on porosity characteristics," *Theor. Appl. Fract. Mech.*, vol. 109, no. July, p. 102774, 2020, doi: 10.1016/j.tafmec.2020.102774.
- [6] F. Han, C. Wang, and A. Hu, "Numerical investigation of wave-induced vibrations and their effect on the fatigue damage of container ships," *Ocean Eng.*, vol. 142, no. June, pp. 245–258, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2017.06.064.
- [7] P. D. I. H. D. Harsokoesoemo, *Kriteria Patah Lelah Untuk Perancangan Elemen Mesin*, Diktat Kul. ITB press, 2000.
- [8] R. D. Cook, *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*, no. 3. 1998.
- [9] B. K. Indonesia, "Section 20 Fatigue Strength," in *Rules for Hull (Pt.1, Vol.II) 2019 ed.*, vol. II, 2019, p. Page 20–7.
- [10] M. H. Utama *et al.*, "Analisa Kelelahan Rantai Jangkar Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 3, pp. 638–648, 2016.