



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis Kekuatan Sistem Konstruksi Kemudi Pada Kapal Skipi Kelas Orca Dengan Metode Elemen Hingga

Astarry Nugroho<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: [mejsastarry@gmail.com](mailto:mejsastarry@gmail.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com), [wisilmiw@yahoo.com](mailto:wisilmiw@yahoo.com)

### Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan luas wilayah perairan mencapai dua per tiganya dan memiliki sumber daya alam perairan yang harus dilindungi. Kapal SKIPI kelas ORCA merupakan kapal patroli yang berfungsi untuk melindungi perairan Indonesia dari *illegal fishing*. Kapal patroli sangat bergantung pada kondisi kemudi untuk melakukan *manuever*. Salah satu hal yang mempengaruhi kemampuan *manuever* adalah kekuatan material dari sistem konstruksi kemudi. Untuk itu dilakukan analisis kekuatan sistem konstruksi kemudi dengan variasi kemiringan kerja daun kemudi 0°, 10°, 20° dan 35° pada kondisi kecepatan maksimal kapal. Dengan menggunakan *software* berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) didapatkan tekanan yang terjadi pada daun kemudi, yang selanjutnya nilai tekanan tersebut digunakan untuk melakukan analisis menggunakan *software* berbasis metode elemen hingga. Setelah dilakukan analisis diketahui bahwa tegangan von mises maksimal berbanding lurus dengan nilai *safety factor* dengan tegangan paling rendah berada pada kemiringan kerja = 0° dan tegangan tertinggi pada kemiringan kerja = 35°. Dari tegangan tersebut dihitung *safety factor* tiap komponen sistem konstruksi kemudi yang meliputi daun kemudi, tongkat kemudi, *flange* dan baut. Dari perhitungan *safety factor* diketahui bahwa komponen kritis dari sistem konstruksi kemudi berada pada *flange* kemudi dengan tegangan yang terjadi (*working stress*) sebesar 404,06 Mpa dan *safety factor* sebesar 0,30

Kata Kunci : kapal patroli, konstruksi kemudi, analisis kekuatan, metode elemen hingga

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan suatu negara kepulauan dengan jumlah pulau 17.508 pulau, luas daerah daratan sekitar 1.919.440 km<sup>2</sup>, dan luas daerah lautan sekitar 3.273.810 km<sup>2</sup>. Dengan memiliki luas lautan yang lebih luas dari luas daratan, menjadikan sektor maritim Indonesia sebagai sektor penting yang dapat dikembangkan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi nasional.

Pada tahun 2016 KKP menambah empat armada Sistem Kapal Inspeksi Perikanan Indonesia (SKIPI) Orca kelas 60 meter, untuk memperkuat usaha pemberantasan *illegal fishing* di wilayah laut Indonesia.

Kapal inspeksi perikanan harus mempunyai manuever yang baik saat beroperasi, karena kapal ini berfungsi untuk memburu kapal-kapal yang melakukan *illegal fishing*. Untuk mendapatkan manuever yang baik, salah satu faktor yang berpengaruh adalah kekuatan material dari sistem konstruksi kemudi.

Oleh karena membutuhkan kekuatan sistem konstruksi kemudi yang baik, maka dilakukan Analisis kekuatan pada kemudi untuk mencari titik kritis pada tiap komponennya. Analisis yang dilakukan harus memenuhi regulasi yang diatur oleh biro klasifikasi kapal (BKI, DNV, LR, dan lain-lain).

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapa tekanan yang diterima oleh sistem konstruksi kemudi pada kecepatan kapal maksimum?
2. Berapa *safety factor*?
3. Dimana letak komponen kemudi yang mengalami kondisi kritis akibat tekanan yang diterima?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah digunakan sebagai arahan serta acuan dalam pengerjaan penelitian sehingga sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Adapun batasan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Tekanan yang diterima oleh sistem konstruksi kemudi adalah akibat kecepatan maksimum kapal.
2. Untuk mendapatkan tekanan yang diterima oleh sistem konstruksi kemudi menggunakan software berbasis Computational Fluid Dynamics (CFD).
3. Pemodelan sistem konstruksi kemudi menggunakan software berbasis Computer Aided Design (CAD).
4. Analisis dan pengolahan data menggunakan software berbasis metode elemen hingga.
5. Hasil akhir dari tugas akhir ini adalah *safety factor* yang dimiliki oleh tiap komponen sistem konstruksi kemudi.
6. Menggunakan *BKI Volume II Rules For Hull 2014 Edition* dan *BKI Volume III Rules For Machinery Installation 2016 Edition* sebagai kriteria analisis.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui tekanan yang diterima oleh sistem konstruksi kemudi akibat kecepatan maksimum kapal.
2. Mengetahui *safety factor*
3. Mengetahui komponen kritis pada sistem konstruksi kemudi.
4. Mengetahui pemilihan material yang sesuai untuk komponen sistem konstruksi kemudi.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kapal Patroli

Kapal patroli adalah salah satu jenis kapal perang kecil yang biasanya digunakan untuk melindungi wilayah pesisir. Kapal patroli digunakan oleh angkatan laut, *coast guard*, polisi, bea cukai dan sebagainya. Kapal patrol juga berfungsi untuk menghadapi aski penyulundupan, *illegal fishing*,

pelanggaran terhadap wilayah kedaulatan suatu negara, dan sebagainya.

### 2.2 Kapal SKIPI Kelas ORCA

Kapal SKIPI Kelas Orca adalah kapal patroli yang dimiliki oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia (KKP). Kapal ini dibuat di PT. Daya Radar Utama yang dimulai pada tahun 2013 dan selesai pada tahun 2016. Kapal SKIPI Kelas ORCA berjumlah 4 buah, yang akan digunakan 2 di perairan timur Indonesia (perairan Sulawesi, Laut Arafuru, dan perbatasan Samudera Pasifik) dan perairan barat Indonesia (perairan Natuna dan perbatasan samudera Hindia).

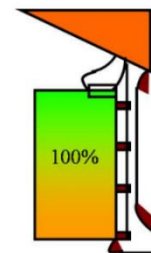
### 2.3 Kemudi Kapal

Kemudi sangat penting perannya dalam pergerakan suatu kapal. Fungsi kemudi adalah untuk mengontrol jalannya kapal ataupun untuk manuever [9]. Karena kemudi memiliki peran yang penting dalam suatu kapal, maka kemudi harus memenuhi suatu standar keselamatan suatu pelayaran. Sistem kemudi mencakup semua bagian alat-alat yang diperlukan untuk mengemudikan kapal, mulai dari kemudi, poros, dan instalasi penggerak sampai kemudinya sendiri[7].

Ditinjau dari letak sayap kemudi terhadap porosnya, kemudi dapat dibedakan menjadi:

#### 1. Kemudi biasa

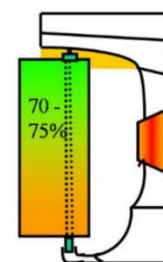
Kemudi biasa adalah kemudi yang semua luas sayap kemudi berada dibelakang sumbu putar kemudi.



Gambar 1. Kemudi Biasa

#### 2. Kemudi balansir

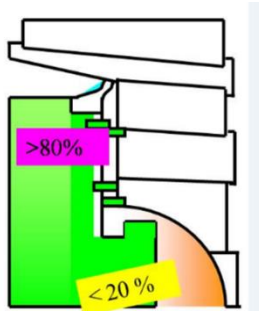
Kemudi balansir adalah kemudi yang luas sayap kemudinya terbagi menjadi dua, di depan dan di belakang sumbu putar kemudi.



Gambar 2. Kemudi Balansir

### 3. Kemudi semi balansir

Kemudi semi balansir adalah kemudi yang pada bagian atas sayap kemudi merupakan kemudi biasa dan pada bagian bawah sayap kemudi merupakan kemudi balansir.



Gambar 3. Kemudi Semi Balansir

### 2.4 Teori Elastisitas

Elastisitas adalah kecenderungan bahan padat untuk kembali ke bentuk aslinya setelah terdeformasi [10]. Elastisitas dibagi menjadi 2 yaitu:

#### 1. Tegangan

Suatu gaya yang bekerja pada suatu luas penampang akan menghasilkan tegangan. Secara matematis rumus tegangan adalah [6]:

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

Dimana F merupakan gaya dan A merupakan luas penampang

#### 2. Regangan

Perpanjangan per satuan panjang ini disebut sebagai regangan (*strain*). Ia adalah satuan yang tidak berdimensi, tetapi adalah lebih baik kita memberinya memiliki dimensi meter per meter atau m/m [6]. Secara matematis rumus regangan adalah:

$$e = \frac{\Delta}{L}$$

Dimana  $\Delta$  adalah perpanjangan total dan L adalah panjang awal.

### 2.5 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan (*safety factor*) adalah sebuah rasio yang digunakan untuk mengevaluasi suatu elemen mesin agar sesuai dengan kriteria keamanan yang berlaku.

faktor keamanan secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Perbandingan antara tegangan maksimum dan tegangan kerja actual atau tegangan izin.

$$SF = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{kerja}}$$

2. Perbandingan tegangan luluh ( $\sigma_y$ ) dengan tegangan kerja atau tegangan izin.

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_{kerja}}$$

3. Perbandingan tegangan ultimat dengan tegangan kerja atau tegangan izin.

$$SF = \frac{\sigma_{\mu}}{\sigma_{kerja}}$$

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Data Primer

Data ukuran utama kapal SKIPI kelas ORCA,

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	= 2.200	mm <sup>2</sup>
(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)		

### 3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel terkontrol = Luas area daun kemudi, diameter poros kemudi, ukuran *flange*, ukuran baut, kecepatan maksimum kapal (24 knot).
2. Variabel bebas = Variasi kemiringan kerja kemudi (0 – 35°).
3. Variabel terikat = tegangan von mises maksimal dan *resultant displacement*.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Langkah dan Hasil Penelitian

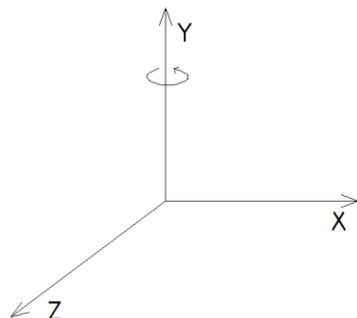
1. Proses Permodelan

Sistem konstruksi kemudi kapal SKIPI kelas ORCA dimodelkan menggunakan *software DS Solidworks*. Data yang digunakan merupakan data dalam bentuk CAD.



Gambar 5. Model pada program *DS Solidwork*

Untuk mendapatkan kemiringan kerja kemudi sebesar 0°, 10°, 20° dan 35°, maka model sistem kontruksi kemudi diputar pada sumbu Y.



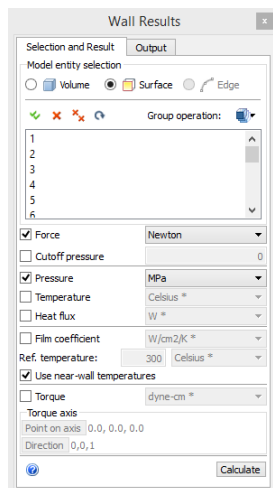
Gambar 6. Ilustrasi perputaran daun kemudi pada sumbu Y

## 2. Perhitungan Beban Pressure

Beban *pressure* yang digunakan adalah tekanan akibat aliran fluida yang melewati daun kemudi pada setiap kemiringan kerja daun kemudi (0°, 10°, 20° dan 35°). Untuk mendapatkan beban *pressure* maka dilakukan analisis dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic*.

Pada penelitian ini diasumsikan kecepatan aliran fluida yang melewati daun kemudi sama dengan kecepatan dinas kapal yaitu sebesar 24 knot atau 12,35 m/s. Jenis aliran fluida yang digunakan adalah aliran laminar. Untuk melakukan analisis CFD digunakan program *Autodesk CFD*.

Setelah proses analisis selesai dengan fitur *wall force* maka dapat diketahui nilai *pressure* pada daun kemudi dengan menggunakan fitur *Wall Force* yang tersedia pada *software Autodesk Computational Fluid Dynamics (CFD)*.



Gambar 7. Fitur *wallforce* pada *Autodesk CFD*

Tabel 1. *Pressure* tiap bagian daun kemudi

Area Daun Kemudi	Pressure Tiap Kemiringan Kerja Kemudi (Pa)			
	0°	10°	20°	35°
1.	-14684,5	-5185,97	5371,55	17495,8
2.	-14717,4	-36516,8	-56653,6	-91162,5
3.	-17797,1	-2074,5	13900,8	37442,9
4.	-17809,6	-41139,5	-51773,8	-86616,2
5.	-18749,5	-989,678	15425,5	42505,7
6.	-18851,3	-44139,1	-51474,3	-80305,4
7.	-18727,4	-596,78	15413,8	42994
8.	-18663	-44091,3	-51506,2	-77491,7
9.	-17590,3	-1208,01	14280,7	38733
10.	-17569,1	-41633,4	-51987,5	-86732
11.	-14583,1	-4163,8	5259,86	18984,4
12.	-14663	-37745,4	-58160,3	-91723,9

## 3. Perhitungan Beban Gaya

Dari beban *pressure* yang didapat akan diubah menjadi gaya. Untuk mendapatkan besaran gaya maka beban *pressure* dikalikan dengan luasan tiap bagian daun kemudi.

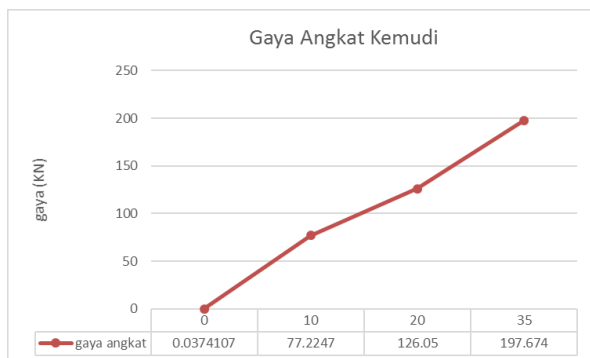
Tabel 2. Luas tiap area daun kemudi

Area Daun Kemudi	Luas (m <sup>2</sup> )
1.	0,3800
2.	0,3800
3.	0,3626
4.	0,3626
5.	0,3556
6.	0,3556
7.	0,3487
8.	0,3487
9.	0,3418
10.	0,3418
11.	0,3674
12.	0,3674

Tabel 3. Gaya tiap area daun kemudi

Area Daun Kemudi	Gaya Tiap Kemiringan Kerja Kemudi (N)			
	0°	10°	20°	35°
1.	-5580,11	-1970,67	2041,189	6648,404
2.	-5592,61	-13876,4	-21528,4	-34641,8
3.	-6453,23	-752,214	5040,43	13576,8
4.	-6457,76	-14917,2	-18773,2	-31407
5.	-6667,32	-351,929	5485,308	15115,03
6.	-6703,52	-15695,9	-18304,3	-28556,6
7.	-6530,24	-208,097	5374,792	14992,01
8.	-6507,79	-15374,6	-17960,2	-27021,4
9.	-6012,36	-412,898	4881,143	13238,94
10.	-6005,12	-14230,3	-17769,3	-29645
11.	-5357,83	-1529,78	1932,473	6974,869
12.	-5387,19	-13867,7	-21368,1	-33699,4

Adapun gaya angkat yang dimiliki daun kemudi adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik gaya angkat kemudi

Dapat diketahui dari gambar diatas bahwa semakin besar kemiringan kerja daun kemudi maka makin besar gaya angkat yang diterjadi. Gaya angkat paling besar terjadi pada kemiringan kerja maksimal daun kemudi kapal (35°) yaitu sebesar 197,674 kN.

#### 4. Penentuan Material Tiap Komponen

Material yang digunakan pada tiap komponen sistem konstruksi kemudi berbeda-beda.

- a. Untuk daun kemudi dan *flange* menggunakan material KI A36 dengan spesifikasi:

Tabel 4. Spesifikasi material KI A36

<i>Poisson's Ration</i>	0,26
<i>Yield Strength</i>	235 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tensile Strength</i>	520 N/mm <sup>2</sup>

- b. Untuk tongkat kemudi menggunakan material SS 400 dengan spesifikasi:

Tabel 5. Spesifikasi material SS 400

<i>Poisson's Ration</i>	0,29
<i>Yield Strength</i>	240 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tensile Strength</i>	480 N/mm <sup>2</sup>

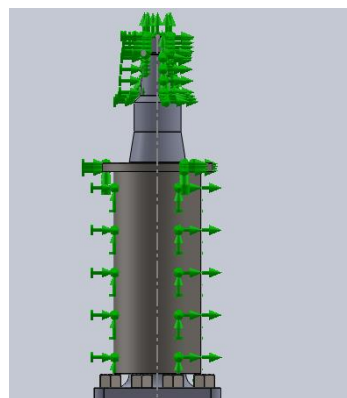
- c. Untuk baut menggunakan material AISI 316 dengan spesifikasi:

Tabel 6. Spesifikasi material AISI 316

<i>Poisson's Ration</i>	0,30
<i>Yield Strength</i>	137,89 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tensile Strength</i>	550 N/mm <sup>2</sup>

#### 5. Penentuan Kondisi Batas

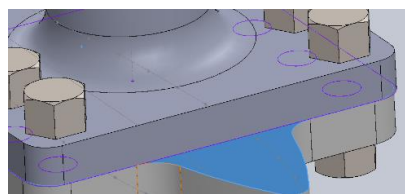
Kondisi batas / *boundary condition* digunakan untuk menentukan beberapa batasan yang menjadi acuan dalam analisis.



Gambar 9. Fixed Fixtures pada pangkal tongkat kemudi

#### 6. Penentuan Contact

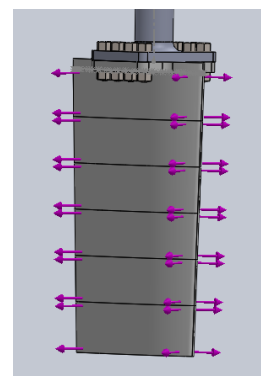
Pada analisis ini, *contact* antar komponen dibuat *bounded* terkecuali *contact* antara permukaan *flange* kemudi dengan tongkat kemudi. *Contact* antara permukaan *flange* kemudi dengan tongkat kemudi dibuat *unbounded* dengan jenis *friction contact*, dengan koefisien gesek sebesar 0,5. Sedangkan pada permukaan tongkat kemudi yang bergesekan dengan permukaan *tube* kemudi diberikan koefisien gesek sebesar 0,2 dikarenakan adanya oli yang digunakan pada *tube* kemudi



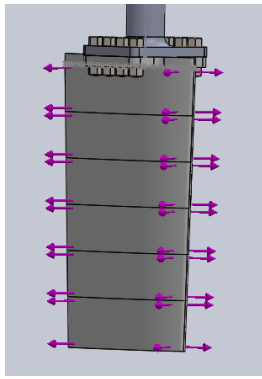
Gambar 10. Friction Contact pada flange

#### 7. Penentuan External Loads

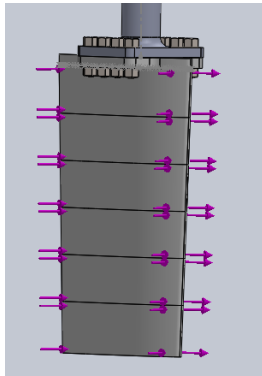
Pada daun kemudi diberikan *input* beban berupa gaya yang didapat dari analisis menggunakan *software Autodesk CFD*.



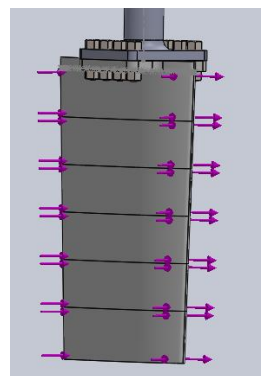
Gambar 11. External load pada kemiringan kerja 0°



Gambar 11. *External load* pada kemiringan kerja 10°



Gambar 13. *External load* pada kemiringan kerja 20°

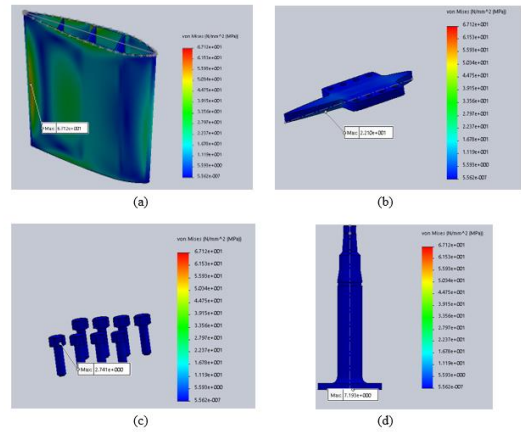


Gambar 14. *External load* pada kemiringan kerja 35°

### 5. General Postprocessing

Pada tahap *postprocessing* didapat hasil dari *running software* sesuai dengan masing masing variasi kemiringan kerja kemudi pada tiap komponen sistem konstruksi kemudi. Hasil yang didapat berupa tegangan tiap komponen kemudi.

### Kondisi kemiringan kerja kemudi= 0°

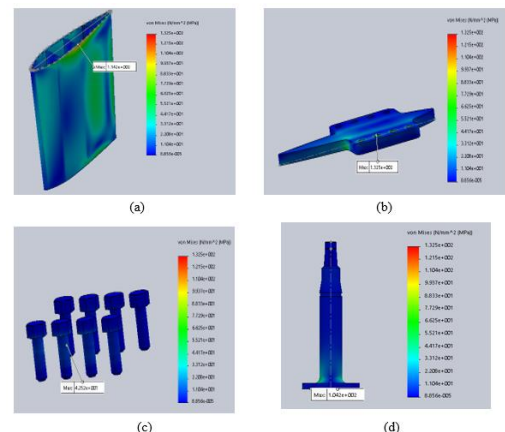


Gambar 15. Hasil analisis model pada kemiringan kerja 0°

Pada kondisi kemiringan kerja kemudi 0° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 67,12 Mpa (a), hal ini di akibatkan oleh tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s. Pada *flange* kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 22,10 Mpa (b), lalu pada baut mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 2,74 Mpa dan pada tongkat kemudi mengalami tegangan von mises maksimal) sebesar 7,19 Mpa akibat meneruskan gaya yang berasal dari daun kemudi yang berasal dari tekanan air laut tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s.

Untuk *resultant displacement*, pada kondisi kemiringan kerja kemudi 0° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 1,76 mm. Pada *Flange* kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 0,13 mm, lalu pada baut mengalami deformasi sebesar 0,00563 mm dan pada tongkat kemudi mengalami deformasi sebesar 0,0039 mm.

### Kondisi kemiringan kerja kemudi= 10°



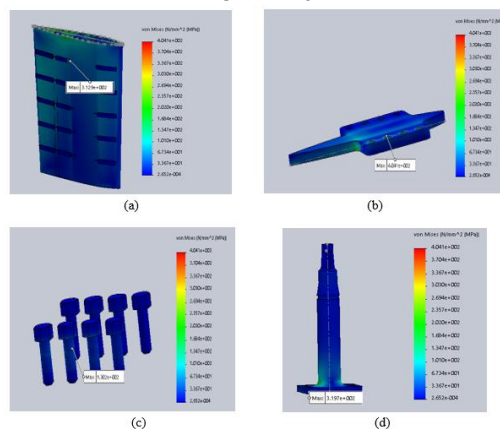
Gambar 16. Hasil analisis model pada kemiringan kerja 10°

Pada kondisi kemiringan kerja kemudi 10° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 114,21 Mpa (a), hal ini di akibatkan oleh tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s. Pada *flange* kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 132,5 Mpa (b), lalu pada baut mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 42,52 Mpa dan pada tongkat kemudi mengalami tegangan von mises maksimal) sebesar 104,15 Mpa akibat meneruskan gaya yang berasal dari daun kemudi yang berasal dari tekanan air laut tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s.

Untuk *resultant displacement*, pada kondisi kemiringan kerja kemudi 10° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 7,81 mm. Pada *Flange* kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 0,58 mm, lalu pada baut mengalami deformasi sebesar 0,252 mm dan pada tongkat kemudi mengalami deformasi sebesar 0,248 mm.

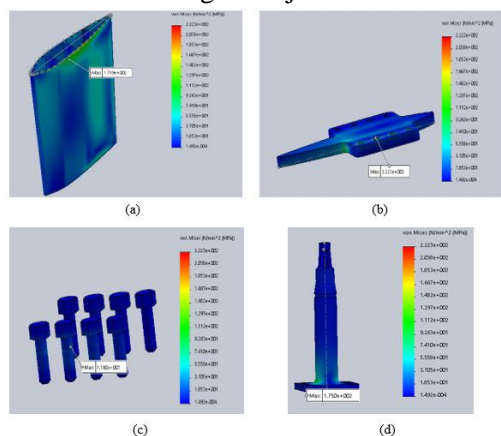
Untuk *resultant displacement*, pada kondisi kemiringan kerja kemudi 20° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 13,26 mm. Pada *Flange* kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 0,956 mm, lalu pada baut mengalami deformasi sebesar 0,43 mm dan pada tongkat kemudi mengalami deformasi sebesar 0,42 mm.

Kondisi kemiringan kerja kemudi= 35°



Gambar 18. Hasil analisis model pada kemiringan kerja 35°

Kondisi kemiringan kerja kemudi= 20°



Gambar 17. Hasil analisis model pada kemiringan kerja 20°

Pada kondisi kemiringan kerja kemudi 20° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 171,94 Mpa (a), hal ini di akibatkan oleh tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s. Pada *flange* kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 222,3 Mpa (b), lalu pada baut mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 71,6 Mpa dan pada tongkat kemudi mengalami tegangan von mises maksimal) sebesar 175,01 Mpa akibat meneruskan gaya yang berasal dari daun kemudi yang berasal dari tekanan air laut tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s.

Pada kondisi kemiringan kerja kemudi 35° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 312,89 Mpa (a), hal ini di akibatkan oleh tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s. Pada *flange* kemudi mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 404,06 Mpa (b), lalu pada baut mengalami tegangan von mises maksimal sebesar 130,17 Mpa dan pada tongkat kemudi mengalami tegangan von mises maksimal) sebesar 319,7 Mpa akibat meneruskan gaya yang berasal dari daun kemudi yang berasal dari tekanan air laut tekanan air laut pada kecepatan dinas kapal sebesar 12,35 m/s.

Untuk *resultant displacement*, pada kondisi kemiringan kerja kemudi 35° diketahui bahwa pada daun kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 24,13 mm. Pada *Flange* kemudi mengalami *displacement* maksimal sebesar 1,66 mm, lalu pada baut mengalami deformasi sebesar 0,252 mm dan pada tongkat kemudi mengalami deformasi sebesar 0,764 mm.

#### 6. Perbandingan Nilai Tegangan dan Deformasi pada Tiap komponen

Setelah dilakukan analisis *static linear*, maka didapatkan tegangan pada tiap komponen sistem konstruksi kemudi.

Tabel 7. Nilai tegangan tiap komponen

Komponen Sistem Konstruksi Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal Tiap Kemiringan Kerja (Mpa)			
	0°	10°	20°	35°
Daun Kemudi	67,12	114,21	171,94	312,89
Tongkat Kemudi	7,19	104,15	175,01	319,7
Flange	22,01	132,50	222,30	404,06
Baut	2,74	42,52	71,60	130,17

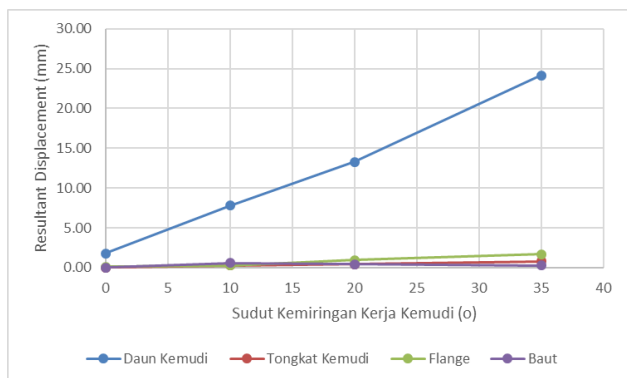


Gambar 19. Grafik perbandingan tegangan dengan sudut kemiringan kerja kemudi

Tegangan von mises maksimal yang dialami oleh sistem konstruksi kemudi kapal SKIPI kelas ORCA mengalami peningkatan pada tiap derajat kemiringan kerja kemudi.

Tabel 8. Nilai deformasi tiap komponen

Komponen Sistem Konstruksi Kemudi	Resultant Displacement Maksimal Tiap Sudut Kemiringan Kerja Kemudi (mm)			
	0°	10°	20°	35°
Daun Kemudi	1,76	7,81	13,26	24,13
Tongkat Kemudi	0,00563	0,248	0,42	0,764
Flange	0,13	0,252	0,956	1,66
Baut	0,0039	0,58	0,43	0,252



Gambar 20. Grafik perbandingan deformasi dengan sudut kemiringan kerja kemudi

Deformasi yang dialami oleh sistem konstruksi kemudi kapal SKIPI kelas ORCA mengalami peningkatan pada tiap derajat kemiringan kerja kemudi. Deformasi paling besar dialami oleh daun kemudi pada kemiringan kerja 35° akibat *pressure* fluida paling besar terjadi kondisi tersebut.

## 4.2 Perhitungan Safety Factor

*Safety factor* dapat dihitung dengan membandingkan *yield Strength* dengan tegangan kerja, atau juga dengan menggunakan peraturan yang berlaku, dalam analisis ini peraturan yang dipakai adalah peraturan dari Biro Klasifikasi Indonesia.

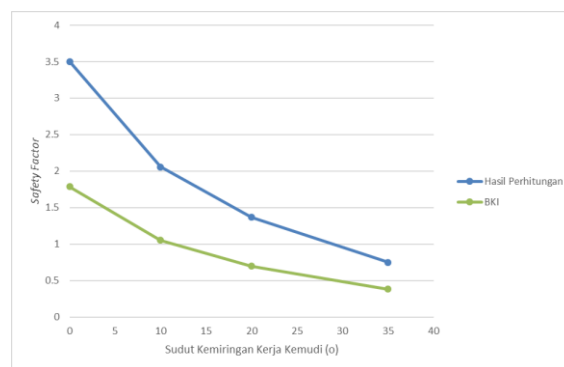
Menurut Biro Klasifikasi Indonesia tegangan yang diizinkan pada daun kemudi tidak melebihi dari 120 Mpa (*Rules for Hull Vol II Sec 14. E. 1.3* tahun 2014). Maka daun kemudi memiliki *safety factor* sebagai berikut:

Tabel 9. *Safety factor* daun kemudi hasil perhitungan

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	67,12	235	3,50	>1 (AMAN)
10°	114,21	235	2,06	>1 (AMAN)
20°	171,94	235	1,37	>1 (AMAN)
35°	312,89	235	0,75	<1 (TIDAK AMAN)

Tabel 10. *Safety factor* daun kemudi menurut BKI

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Tegangan Izin BKI (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	67,12	120	1,79	>1 (AMAN)
10°	114,21	120	1,05	>1 (AMAN)
20°	171,94	120	0,70	<1 (TIDAK AMAN)
35°	312,89	120	0,38	<1 (TIDAK AMAN)



Gambar 21. Grafik *safety factor* daun kemudi

Untuk *flange* tegangan yang diizinkan sama dengan tegangan daun kemudi yaitu 120 Mpa, karena *flange* merupakan bagian dari daun kemudi.

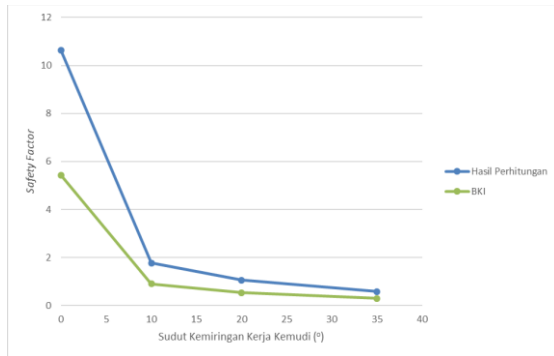
Tabel 11. *Safety factor flange* kemudi hasil perhitungan

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	22,10	235	10,63	>1 (AMAN)
10°	132,50	235	1,77	>1 (AMAN)
20°	222,30	235	1,06	>1 (AMAN)
35°	404,06	235	0,58	<1 (TIDAK AMAN)



Tabel 12. *Safety factor flange kemudi menurut BKI*

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Tegangan Izin BKI (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	22,10	120	5,43	>1 (AMAN)
10°	132,50	120	0,91	<1 (TIDAK AMAN)
20°	222,30	120	0,54	<1 (TIDAK AMAN)
35°	404,06	120	0,30	<1 (TIDAK AMAN)



Gambar 22. Grafik *safety factor flange kemudi*

Untuk tongkat kemudi, menurut peraturan BKI dalam *Rules for Hull Vol II Sec 14. C. 2* tahun 2014, untuk tegangan izin pada tongkat kemudi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$kr = \left(\frac{235}{Reh}\right)^{0.75}, \text{ jika } Reh \geq 235$$

$$Reh = \text{Yield strength (N/mm}^2\text{)}$$

$$Reh \text{ Carbon Manganese Steel} = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$kr = \left(\frac{235}{240}\right)^{0.75}$$

$$kr = 0.984$$

$$\sigma v = \frac{118}{kr}$$

$$\sigma v = \frac{118}{0.984}$$

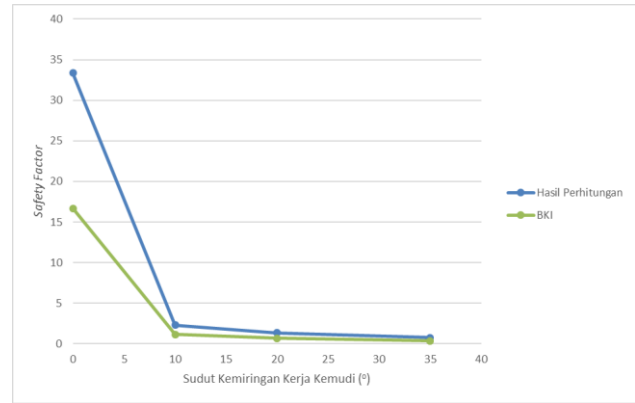
$$\sigma v = 119.92 \text{ MPa}$$

Tabel 13. *Safety factor tongkat kemudi hasil perhitungan*

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	7,19	240	33,38	>1 (AMAN)
10°	104,15	240	2,30	>1 (AMAN)
20°	175,01	240	1,37	>1 (AMAN)
35°	319,70	240	0,75	<1 (TIDAK AMAN)

Tabel 14. *Safety factor tongkat menurut BKI*

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Tegangan Izin BKI (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	7,19	119,92	16,68	>1 (AMAN)
10°	104,15	119,92	1,15	>1 (AMAN)
20°	175,01	119,92	0,69	<1 (TIDAK AMAN)
35°	319,70	119,92	0,38	<1 (TIDAK AMAN)

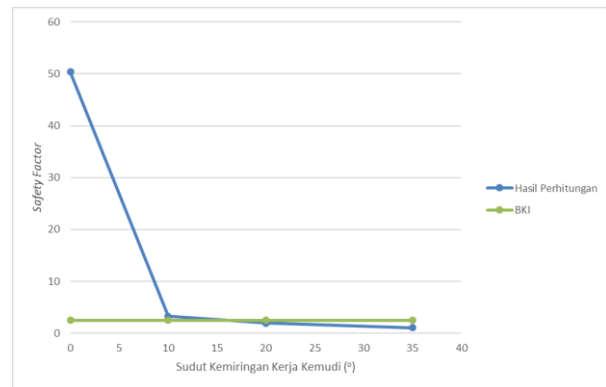


Gambar 23. Grafik *safety factor tongkat kemudi*

Menurut peraturan Biro Klasifikasi Indonesia rentan *safety factor* yang diperbolehkan dalam peraturan Biro Klasifikasi Indonesia yaitu 1,8 sampai 2,5 (*Rules for Machinery Installation Vol III Sec 4. D. 4.1* tahun 2016).

Tabel 15. *Safety factor baut hasil perhitungan*

Kemiringan Kerja Kemudi	Tegangan Von Mises Maksimal (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
0°	2,74	138	50,36	>2,5 (AMAN)
10°	45,52	138	3,25	>2,5 (AMAN)
20°	71,60	138	1,93	<2,5 (TIDAK AMAN)
35°	130,17	138	1,06	<2,5 (TIDAK AMAN)



Gambar 24. Grafik *safety factor baut*

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari proses analisis dengan bantuan *Finite Element Method Software* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis pada kondisi kemiringan kerja 35° memiliki nilai tegangan von mises terbesar pada tiap komponen, sedangkan pada kondisi kemiringan kerja 0° memiliki tegangan von mises paling kecil untuk tiap komponen sistem konstruksi kemudi dan nilai tegangan von mises

- berbanding lurus dengan derajat kemiringan kerja kemudi.
2. Nilai *safety factor* paling kecil ada pada *flange* kemudi pada kondisi kemiringan kerja 35° yaitu 0,30 dikarenakan mengalami puntiran akibat tekanan aliran fluida yang diterima oleh daun kemudi pada kecepatan dinas kapal.
  3. Dari hasil analisis, masih terdapat komponen yang nilai *safety factor*-nya tidak sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia. Dengan nilai *safety factor* paling rendah berana pada *flange* kemudi pada kondisi kemiringan kerja 35° yaitu 0,30.

## 5.2 Saran

Setelah selesai melakukan penelitian, maka peneliti menyampaikan beberapa saran. Antara lain:

1. Karena masih adanya komponen sistem konstruksi kemudi yang nilai *safety factor*-nya tidak sesuai dengan peraturan Biro Klasifikasi Indonesia, maka dapat dipertimbangkan untuk memilih material yang memiliki *yield strength* yang lebih tinggi untuk komponen tersebut
2. Untuk ketelitian yang lebih akurat, peneliti selanjutnya dapat mempertimbangkan karakteristik bentuk badan kapal dan baling-baling kapal guna mendapatkan nilai kecepatan aliran fluida yang melewati daun kemudi kapal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amirudin, Hasan Mustofa. 2015. Tugas Akhir: Analisis Pengaruh anti-Slamming Bulbous Bow pada 60m Anchor Handling tug Supply MP VELOCE di Perairan Lepas Pantai Utara Natuna. Semarang: Universitas Diponegoro
- [2]. Biro Klasifikasi Indonesia. 2014. *Rules for the Classification and Construction. Part 1 Seagoing Ship. Volume II Rules for Hull*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia
- [3]. Biro Klasifikasi Indonesia. 2016. *Rules for the Machinery Installation. Part 1 Seagoing Ship. Volume V Rules for Materials*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia
- [4]. Laintarawan, dkk. 2009. Buku Ajar Elemen Hingga. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia
- [5]. Mukundan, Haris. 2002. "Finite Element Analysis of a Rudder". Madras: Indian Institute of Technology
- [6]. Popov, E.P. 1978. *Mechanics of Material 2nd Edition*. New Jersey: Prenticehall, Inc
- [7]. Prabowo, Achmad Faqihuddin Roshif. 2016. Tugas Akhir: Analisis Kekuatan Poros Kemudi Kapal Penampung Ikan Tradisional 200 GT Kabupaten Batang dengan Metode Elemen Hingga. Semarang: Universitas Diponegoro

- [8]. Setia, David. 2016. Diambil dari <http://setkab.go.id/potensi-besar-perikanan-tangkap-indonesia> (20 Oktober 2016)
- [9]. Utomo, Budi. 2010. Analisis Kinerja Kemudi Kapal "MV. Sirena" pada Pelayaran Percobaan Kapal Baru. Semarang: Universitas Diponegoro
- [10]. Wikipedia. 2016. Diambil dari [https://id.wikipedia.org/wiki/Elastisitas\\_\(fisika\)](https://id.wikipedia.org/wiki/Elastisitas_(fisika)) (25 Oktober 2016)