



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Kekuatan *Coupling* pada Kapal Inspeksi Perikanan SKIPI Kelas ORCA menggunakan Metode Elemen Hingga

M. Harris Nubly<sup>1)</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Kiryanto<sup>1)</sup>

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

Email: [m.harrisnubly@gmail.com](mailto:m.harrisnubly@gmail.com), [hartono.yudo@yahoo.com](mailto:hartono.yudo@yahoo.com), [kiryantodst@yahoo.com](mailto:kiryantodst@yahoo.com)

### Abstrak

Kopling adalah salah satu elemen permesinan yang merupakan hal penting sebagai komponen penggerak kapal. Kopling sendiri berfungsi sebagai penerus daya (torsi) dari mesin induk atau kotak gir ke poros baling-baling. Kopling kaku (flens) merupakan salah satu jenis kopling yang paling sederhana dan paling banyak digunakan dipermesinan kapal. Kelemahan dari kopling kaku yaitu tidak mengizinkan sedikitpun ketidaklurusan antara kopling dan ujung poros, serta tidak dapat mengurangi tumbukan transmisi.<sup>[1]</sup> Puntiran yang dikeluarkan oleh mesin utama dapat menyebabkan kegagalan atau kerusakan pada kopling, terutama pada pasak dan baut. Kerusakan pada kopling merupakan masalah besar karena mesin induk tidak dapat lagi meneruskan daya (torsi) ke baling-baling sehingga kapal tidak dapat berlayar. Oleh karena itu dibutuhkan analisis kekuatan untuk mengetahui pemilihan material yang baik pada kopling dan komponen-komponennya. Menurut hasil analisis, tegangan maksimum yang didapat ketika mesin dalam keadaan MCR yaitu sebesar 1796.84 N/mm<sup>2</sup> yang terletak pada elemen alur pasak. Sementara tegangan yang didapat ketika mesin dalam keadaan NCR 75% sebesar 538.7 N/mm<sup>2</sup>. Oleh karena itu material pada poros yang merupakan bagian alur pasak disarankan menggunakan Stainless Steel UNS 41600 yang mempunyai kekuatan luluh sebesar 1050 N/mm<sup>2</sup>.

Kata Kunci : Kopling kaku, tegangan geser, metode elemen hingga, faktor keamanan

### Abstract

*Coupling is one of machinery element which is important for ship propulsion component. The function of coupling is to distribute the power from main engine or main gearbox to propeller shaft. Rigid coupling is a type of coupling which is simpler and most used in ship machinery. Disadvantage of this coupling is not permitting any misalignment in the mids of coupling to shaft edge and cannot decreased the transmission impact.<sup>1</sup> The torsion that taken out by main engine will be causing failure or breaking the coupling, particulary on key and bolt. Damage in coupling is a major problem because the main engine cannot distribute the power to propeller. So, the ship cannot be able to move. Hence, strength analysis required to known the selection of material for coupling and it components. According the analysis, the maximum stress which is obtained when the ME at MCR is 1796.84 N/mm<sup>2</sup> which located on keyway element. Meanwhile the maximum stress which is obtained when the ME at 75% NCR is 538.7N/mm<sup>2</sup>. Therefore the shaft material which is the part of keyway, advised to use Stainless steel UNS 41600 which is have the yield strength in the amount of 1050 N/mm<sup>2</sup>.*

Keyword : Rigid coupling, shear stress, finite element method, factor of safety

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang

Indonesia pada saat ini menempati peringkat ketiga terbesar dunia dalam produksi perikanan di bawah China dan India. Selain itu, perairan Indonesia menyimpan 70 persen potensi minyak karena terdapat kurang lebih 40 cekungan minyak yang berada di perairan Indonesia. Dari angka ini hanya sekitar 10 persen yang saat ini telah dieksplor dan dimanfaatkan.

Oleh karena sumber daya perikanan di Indonesia yang besar. Hal ini membuat negara-negara tetangga tertarik melakukan penangkapan ikan di area laut Indonesia. Maka dibutuhkan kapal-kapal inspeksi perikanan untuk menjaga laut-laut di Indonesia.

Kapal inspeksi perikanan haruslah memiliki endurance yang tinggi, karena jam operasi di lautan yang lama juga. Merupakan hal yang penting dalam pemilihan dan perencanaan elemen-elemen mesinnya terutama pada sistem kopling.

Untuk mencegah terjadinya kegagalan pada kopling kapal, maka diperlukan analisa kekuatan. Perkembangan teknologi zaman sekarang ini memungkinkan analisa kekuatan dapat dilakukan dengan metode elemen hingga.

### 1.2. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas maka maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai titik tekanan kritis sistem kopling pada saat kecepatan putar maksimum main engine kapal.
2. Mengetahui tegangan geser puntir maksimum yang diterima kopling poros saat kecepatan putar maksimum main engine.
3. Mengetahui pemilihan material kopling yang layak untuk kapal inspeksi perikanan tersebut.

### 1.3. Batasan Masalah

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini permasalahan akan dibatasi sebagai berikut :

1. Perhitungan menggunakan analisis Static Linier.
2. Kondisi pembebanan berupa displacement maksimum dan tegangan maksimum.
3. Analisa dan pengolahan data menggunakan software berbasis finite element method
4. Seluruh kegiatan analisa berdasarkan BKI Volume III "Rules for Machinery Installation 2016 Edition".

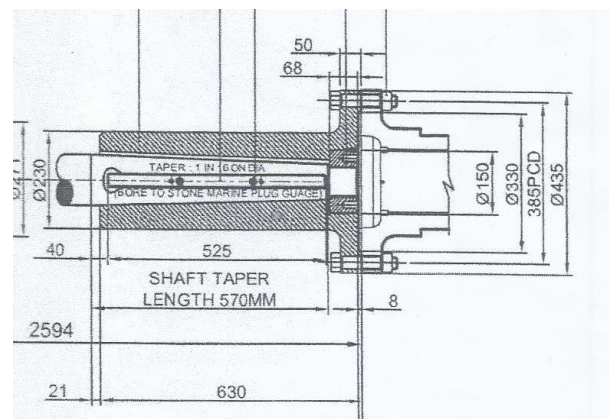
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kapal Inspeksi Perikanan

Kapal Inspeksi Perikanan atau biasa disebut kapal patroli adalah jenis kapal perang kecil yang umumnya didesain untuk tugas pertahanan area laut. Ada beberapa desain untuk kapal Inspeksi Perikanan. Pada umumnya kapal patroli ini dioperasikan oleh angkatan laut, coast guard, armada polisi, kementerian maritim dan juga untuk kepentingan kantor bea dan cukai. Biasanya ada beberapa peran yang diemban untuk kepentingan penjagaan perbatasan, termasuk memberantas penyelundupan, pembajakan, illegal fishing dan penegakan hukum imigrasi.

### 2.2. Kopling Kaku

Kopling kaku adalah jenis kopling tetap. Dipergunakan bila kedua poros harus dihubungkan dengan sumbu segaris. Kopling flens kaku terdiri dari naf dengan flens yang terbuat dari besi cor atau baja cor, dan dipasang pada ujung poros dengan diberi pasak serta diikat dengan baut pada flens nya.



Gambar 1. Detail Kopling pada Kapal ORCA 001

### 2.3. Metode Kekakuan (*Stiffness Method*)

Analisis kekuatan material yang dihitung menggunakan metode elemen hingga berdasarkan sifat kekakuan (*stiffness*) yang dimiliki oleh suatu material. Metode kekakuan pada dasarnya merupakan implemmentasi dari hukum *Hooke's*, bila dituliskan maka didapat rumus sebagai berikut,

$$f = k x$$

dimana  $f$  adalah gaya,  $k$  adalah koefisien kekakuan dan  $x$  adalah displasement. Atau dapat ditulis juga menjadi,

$$X = k u$$

Metode ini menjelaskan bahwa besaran displasemen (pergeseran) dipengaruhi oleh seperangkat gaya-gaya yang bekerja. Pada struktur linier statis, kontribusi yang bekerja terhadap displasemen dapat dinyatakan dengan persamaan.<sup>[2]</sup>

$$\delta_i = c_{i1} F_1 + c_{i2} F_2 + c_{i3} F_3 + \dots + \dots$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Studi Lapangan dan Literatur

Pengambilan data kapal baik ukuran maupun gambar detail sistem pemrosesan berasal dari PT. Daya Radar Utama, sementara untuk dasar – dasar teori dan referensi yang dijadikan untuk pengolahan data dan membahas data – data penelitian antara lain :

1. BKI Volume III, “ Rules for Machinery Installation 2015 Edition”.
2. Teori Metode Elemen Hingga
3. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin (Sularso dan Kiyokatsu. S, 1978)
4. *Mechanic of Materials 2nd edition* (Popov. E.P, 1978)

#### 3.2. Pengolahan Data

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter-parameter yang diperlukan seperti tegangan maksimum, regangan, deformasi dan *safety factor* dapat diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

Teori dasar dan referensi-referensi yang dijadikan dasar mengolah dan membahas data-data penelitian antara lain:

1. Teori dasar tegangan geser normal.
2. Teori dasar tegangan geser puntir.
3. Teori perhitungan *factor of safety*.

#### 3.3. Validasi

Validasi adalah tahapan untuk memperoleh gambaran apakah hasil analisa telah sesuai (*match*) dengan sistem yang diwakilinya (*representativeness*). Proses validasi ini bisa dijadikan parameter apakah hasil analisa yang sudah kita lakukan mendekati benar atau salah. Pada kasus ini validasi yang digunakan hanya menghitung tegangan geser dari hasil specimen dengan menggunakan rumus tegangan geser puntir yang didapat dari buku *Mechanic of*

*Materials 2nd edition* (Popov. E.P, 1978). Berikut persamaan yang didapat untuk menghitung validasi: <sup>[3]</sup>

$$\tau_{\text{bolt}} = \frac{Tc}{I_p}$$

Diketahui,

T = torsi (N.m)

c = radius lengan lingkaran (m)

$I_p$  = momen inersia pada silinder berongga

$$= \frac{\pi c^4}{2} - \frac{\pi b^4}{2} \text{ (m}^4\text{)}$$

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Perhitungan Beban pada Sistem Kopling

Untuk menghitung torsi dapat kita temukan melalui daya dan putaran yang dihasilkan main gearbox. Menurut buku *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines* didapatkan persamaan sebagai berikut, <sup>[4]</sup>

$$T = \frac{P \times 60 \times K}{2\pi n}$$

Dimana:

T = momen torsi poros

P = daya yang dihasilkan *main gearbox*

n = putaran per menit poros

K = konstanta (jika satuan daya kW maka

K=1000)

#### 4.2. Langkah-langkah perhitungan torsi

Berikut spesifikasi mesin induk dan *main gearbox*,

Daya (mesin induk) = 2560 kW (MTU 16V)

Putaran per menit = 1970 RPM

Rasio main gearbox = 4.522 : 1 (ZF 9300)

1. Menghitung rasio *main gearbox*

$$n_{\text{output}} = n_{\text{input}} / \text{rasio}$$

$$= 1970 / 4.522 = \mathbf{435.64 \text{ RPM}}$$

2. Menghitung torsi *main gearbox*

$$T = \frac{P \times 60 \times K}{2\pi n}$$

$$= \frac{2560 \times 60 \times 1000}{2 \times 3.14 \times 435.64}$$

$$T = \mathbf{56144.06 \text{ N.m}}$$

#### 4.3. Material tiap Komponen

##### 4.4.1. Molybdenum Steel

*Molybdenum steel* adalah jenis baja paduan (*alloy steel*) yang dipadu dengan unsur *molybdenum* (Mo) dengan kisaran antara 15% sampai 30%. Baja paduan ini biasa digunakan untuk komponen permesinan seperti Kopling,

roda gigi, piston dan lainnya. *Molybdenum steel* memiliki sifat kekerasan yang tinggi dan mudah dalam pengelasan.<sup>[5]</sup>

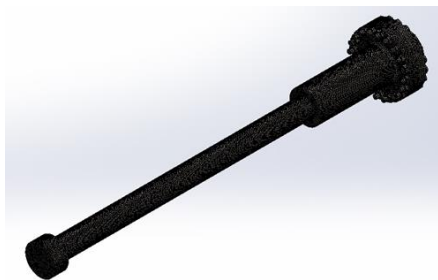
#### 4.4.2. *Stainless Steel*

Sifat *stainless steel* yang tahan korosi. Baik digunakan untuk lingkungan berair. Baja paduan ini biasa digunakan sebagai material baut dan poros dengan pelumasan air laut (*seawater lube*).

### 4.4 Hasil Analisis

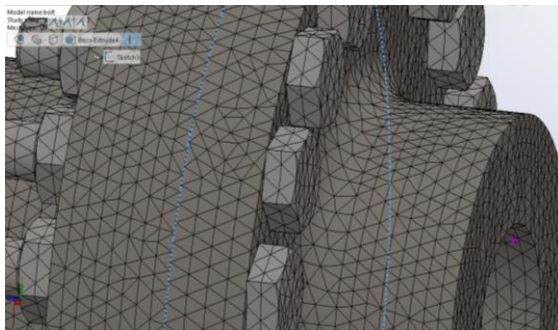
#### 4.4.1. *Meshing*

Pada analisis ini digunakan *curvature based mesh* yang mempunyai ukuran elemen sebesar 10 mm. Mesh jenis ini menggunakan bentuk kurvatur pada tiap elemen.



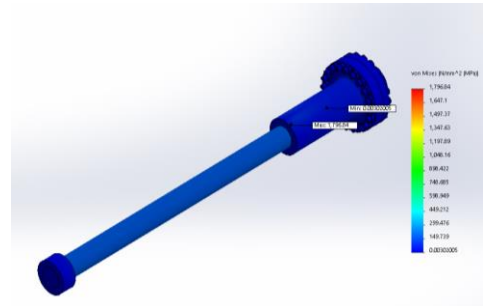
Gambar 2. *Meshing* komponen-komponen kopling

Karena tiap-tiap komponen dibuat terpisah, maka *contact surface* tidak dibuat bonded pada keseluruhan model. Pada pertemuan *surface* flens kopling *flywheel* dan flens kopling *shaft* dibuat *no penetration*. Karena bagian ini tidak terikat, dan elemen meshing nya harus dipisah untuk tiap flens nya.



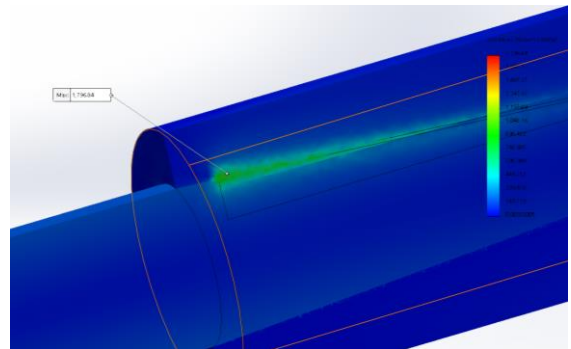
Gambar 3. Elemen pada bagian flens

#### 4.4.2. Nilai tegangan (*von-mises stress*)



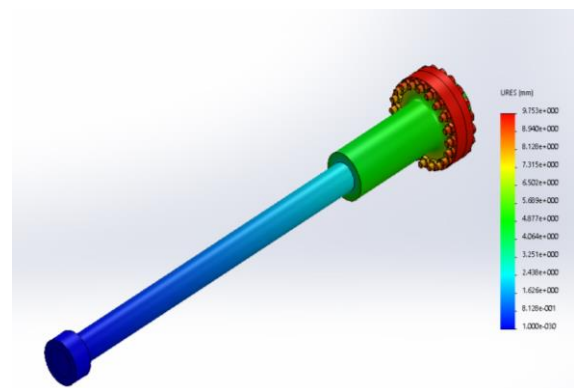
Gambar 4. Tegangan *von-mises* keseluruhan

Hasil *von mises stress* terbesar yaitu 1796.84 N/mm<sup>2</sup> yang terletak pada bagian alur pasak Sementara untuk nilai *von mises* terkecil yaitu sebesar 0.00302 N/mm<sup>2</sup> yang terletak pada bagian flens kopling *shaft*.



Gambar 5. Nilai tegangan *von mises* terbesar terletak pada alur pasak

#### 4.4.3. Nilai displasemen (*displacement*)

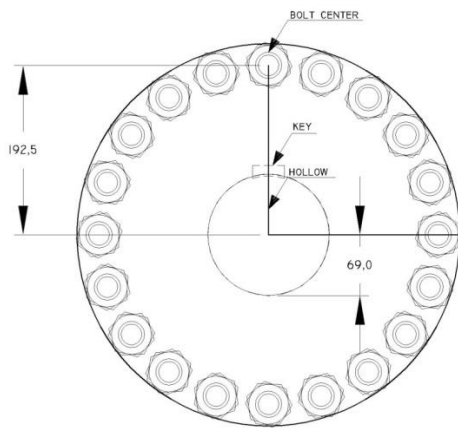


Gambar 6. Nilai displasemen

Nilai displasemen maksimal yaitu sebesar 9.753 mm (*resultant displacement*) dan yang terkecil sebesar 0.812 mm.

#### 4.4.4. Tegangan spesifik tiap komponen

##### a. Baut



Gambar 6. Jarak lengan baut pada flens

Untuk menghitung tegangan geser puntir yang terjadi pada baut, maka perlu dihitung momen inersia flens terlebih dahulu.<sup>[6]</sup>

$$I_p = \frac{\pi c^4}{2} - \frac{\pi b^4}{2} \text{ (m}^4\text{)}$$

$$= \frac{\pi 0.1925^4}{2} - \frac{\pi 0.069^4}{2}$$

$$= 2.119 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

Didapat tegangan sebagai berikut,

$$\tau_{\text{bolt}} = \frac{\tau c}{I_p}$$

$$\tau_{\text{bolt}} = \frac{56144.06 \times 0.1925}{2.119 \times 10^{-3}}$$

$$= 5100932.4 \text{ N/m}^2$$

$$= 5.1 \text{ N/mm}^2$$

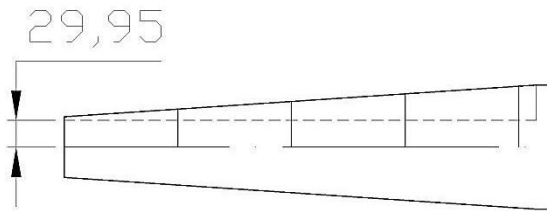
Tegangan yang didapat dari hitungan *FEM* sebesar 4.6591 N/mm<sup>2</sup>, sehingga didapat koreksi sebesar,

$$\text{Koreksi (\%)} = (5.1 - 4.6591) / 5.1 \times 100\%$$

$$= 8.63 \%$$

##### b. Poros (*Propeller Shaft*).

Karena ujung poros memiliki *taper* maka untuk perhitungannya harus dibagi perpotongan penampang melintang. Pada bagian *taper* terdapat alur pasak, sehingga berlaku variasi jarak lengan tiap irisannya. Momen inersia pada bagian *taper* berlaku rumus inersia.



Gambar 7. Pembagian irisan jarak lengan pada *shaft taper*

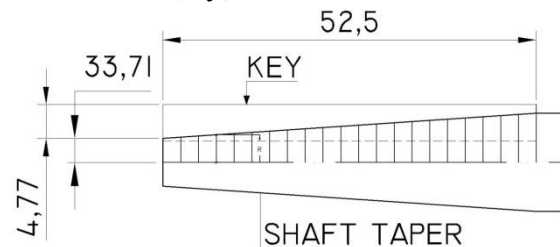
$$I_p = \frac{\pi c^4}{2} - \frac{\pi b^4}{2} \text{ (m}^4\text{)}$$

Nilai rata-rata dari analisis *FEM* sebesar 122.8 N/mm<sup>2</sup>. Dan nilai perhitungan tegangan geser puntir sebesar 118.14 N/mm<sup>2</sup>, sehingga didapat koreksi sebesar:

$$\text{Koreksi (\%)} = (122.8 - 118.14) / 122.8 \times 100\%$$

$$= 2.51 \%$$

##### c. Pasak (*key*)



Gambar 8. Jarak lengan pasak terhadap sumbu poros

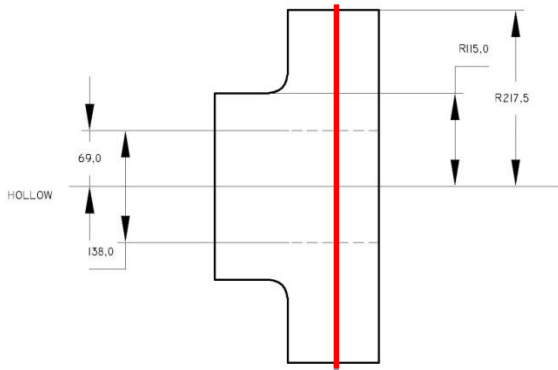
Karena pasak terletak pada bagian *taper* poros, maka tiap jarak lengan (*lever arm*) pasak akan berbeda. Oleh karena itu untuk menghitung tegangan geser puntirnya harus membagi jarak lengan pasak secara melintang. Sehingga nilai tegangan geser puntir rata-rata tiap penampang ialah sebesar 127.02 N/mm<sup>2</sup>.

Nilai rata-rata dari analisis *FEM* sebesar 115.94 N/mm<sup>2</sup>. Dan nilai perhitungan tegangan geser puntir sebesar 127.02 N/mm<sup>2</sup>, sehingga didapat koreksi sebesar:

$$\text{Koreksi (\%)} = (127.02 - 115.94) / 127.02 \times 100\%$$

$$= 8.72 \%$$

**d. Kopling flywheel**



Gambar 9. Pembagian jarak lengan pada kopling flywheel

Geometri Kopling terbagi menjadi dua jari-jari jika dilihat dari tampak samping. Sehingga untuk menghitung tegangan geser puntir nya, kopling dibagi menjadi dua penampang melintang. Pada bagian tengah kopling pun terdapat lubang sebesar diameter poros yaitu 138 mm. sehingga nilai inersia kopling adalah inersia silinder berongga.

Untuk rumus inersia pada silinder berongga ialah (*Mechanics of materials 2<sup>nd</sup> edition*, hal 70)

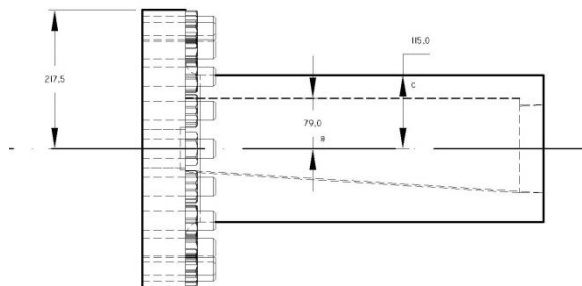
$$I_p = \frac{\pi c^4}{2} - \frac{\pi b^4}{2} \text{ (m}^4\text{)}$$

Sehingga didapat nilai tegangan geser puntir ( $\tau$ ) sebagai berikut,

Nilai rata-rata dari analisis *FEM* sebesar 15.44 N/mm<sup>2</sup>. Dan nilai perhitungan tegangan geser puntir sebesar 15.25 N/mm<sup>2</sup>, sehingga didapat koreksi sebesar:

$$\text{Koreksi (\%)} = (15.44 - 15.25) / 15.44 \times 100\% = 1.23 \%$$

**e. Kopling shaft**



Gambar 10. Pembagian jarak lengan pada kopling shaft

Untuk menghitung Kopling ini sama seperti menghitung kopling yang sebelumnya. Menggunakan momen inersia untuk silinder berongga. Didapat rata-rata tegangan geser puntir tiap irisan sebesar 24.847 N/mm<sup>2</sup>. Nilai tegangan tertinggi pada komponen ini terdapat pada alur pasak.

Nilai rata-rata dari analisis *FEM* sebesar 23.274 N/mm<sup>2</sup>. Dan nilai perhitungan tegangan geser puntir sebesar 24.847 N/mm<sup>2</sup>, sehingga didapat koreksi sebesar:

$$\text{Koreksi (\%)} = (24.847 - 23.274) / 24.847 \times 100\% = 6.33 \%$$

**4.4.5. Safety Factor**

Nilai tegangan pada tiap komponen dapat menunjukkan faktor keamanan (*safety factor*) yang berbeda, terutama tiap komponen sistem Kopling memiliki material yang berbeda pula. Sehingga nilai yield stress (tegangan luluh) material akan dibagi (dibandingkan) dengan working stress (tegangan yang bekerja) pada tiap komponen.

Tabel 1. *Yield stress* pada material tiap komponen

Material	<i>Yield Strength</i> (N/mm <sup>2</sup> )
<i>AISI 4340 Annealed</i>	470
<i>AISI 4340 Annealed</i>	470
<i>SS 2205 Duplex</i>	448
<i>SS 2205 Duplex</i>	448
<i>AISI 316 SS</i>	205

Nilai *safety factor* dapat dilihat pada table berikut ini,

Tabel 2. Nilai *safety factor* tiap komponen pada kondisi mesin *MCR* (110%)

<i>Safety Factor</i> pada kondisi <i>MCR</i> (110%)		
Komponen	<i>Max. Working Stress</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>FoS</i>
<i>Male Flange</i>	<b>120.05</b>	3.9
<i>Female Flange</i>	<b>1380.3</b>	0.3
Pasak	<b>596.52</b>	0.8
Poros	<b>1796.8</b>	0.2
Baut	<b>49.756</b>	4.1

Tabel 3. Nilai *safety factor* tiap komponen pada kondisi mesin *NCR* (75%)

<i>Safety Factor</i> pada kondisi <i>NCR</i> (75%)		
Komponen	<i>Max. Working Stress</i> (N/mm <sup>2</sup> )	<i>FoS</i>
<i>Male Flange</i>	<b>53.496</b>	8.8
<i>Female Flange</i>	<b>366.95</b>	1.3
Pasak	<b>285.48</b>	1.6
Poros	<b>538.7</b>	0.8
Baut	<b>24.675</b>	8.3

Menurut aturan BKI yang terdapat pada *Part. I Vol. III Rules for Machinery, sec. 4, D 4, 4.1.* untuk nilai *safety factor* kopling pada penggunaan lainnya seperti shaft (bukan antara mesin dan *gearbox*) didapat nilai sebesar 2.5.<sup>[7]</sup>

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil proses analisa dengan bantuan *Finite Element Method Software* dan perhitungan empiris dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Titik tekan kritis yang didapat dari hasil analisis, ditemui pada komponen pasak, poros dan kopling sambungan *tailshaft*. Dimana tegangan tertinggi terletak pada elemen alur pasak yaitu sebesar 1796.84 N/mm<sup>2</sup> (pada kondisi *MCR*) dan 538.7 N/mm<sup>2</sup> (pada kondisi beban *NCR*). Sehingga nilai tegangan riil yang digunakan ialah pada saat kondisi beban mesin *NCR* 75%, yaitu ketika kapal dalam kondisi kecepatan layar pada umumnya.
2. Tegangan geser puntir maksimum terdapat pada bagian alur pasak, jika

tegangan geser puntir per irisan ini dirata-ratakan yaitu sebesar 129.64 N/mm<sup>2</sup>.

3. *Factor of safety* terendah dari tiap komponen ialah pada komponen poros sebesar 0.8, yang diambil dari elemen yang terletak pada permukaan alur pasak.
4. Menurut BKI *Volume III "Rules for Machinery Installation 2016 Edition"*, nilai *factor of safety* yang diperbolehkan untuk komponen *main shafting* minimal sebesar 2.5. Oleh karena itu material poros (sebagai alur pasak) yang dipilih disarankan memiliki *yield strength* (kekuatan luluh) yang lebih tinggi seperti *Stainless Steel UNS 41600* yang memiliki kekuatan luluh sekitar 1050 N/mm<sup>2</sup>.

### 5.5. Saran

1. Didapat dari perbandingan hasil antara analisis *FEM* dan empiris yang masih memiliki nilai koreksi yang besar. Sehingga untuk *software FEM* harus dilakukan uji coba terdahulu dengan menentukan besaran elemen sebelum melakukan analisis yang sesungguhnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis mekanis sistem kopling. Dengan menggunakan metode *explicit dynamic* dengan definisi kontak elemen yang lebih kompleks (*penalty contact*).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sularso dan Suga Kiyokatsu. 1987. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Pradnya Paramita. Jakarta
- [2] Zakki. Ahmad Fauzan. 2014. Metode Elemen Hingga. Semarang. Universitas Diponegoro
- [3] Popov E. P. 1978. *Mechanics of Materials. 2nd edition. Prentice-Hall.Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA. ISBN 978-0135713563*
- [4] Doug Woodyard, C. Pounder. 2004. *Pounder's Marine Diesel and Gas Turbines, 8th edition. Elsevier Butterworth-Heinemann. Oxford ISBN 978-0-080-51421-5.*
- [5] *Considine. Glenn D.. ed. 2005. "Molybdenum". Van Nostrand's Encyclopedia of Chemistry. New York: Wiley-Interscience. pp. 1038–1040. ISBN 978-0-471-61525-5*
- [6] Popov E. P. 1978. *Mechanics of Materials. 2nd edition. Prentice-Hall.Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA. ISBN 978-0135713563*
- [7] BKI *Part. II Vol.III "Rules for Machinery Installation" 2016 Edition.* Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia.