



## Studi Analisis Kekuatan Poros Propeller Kapal KMP. Pertiwi Nusantara Akibat Dikenai Torsi Dari Propeller

Mahendra Guna Satriananta<sup>1)\*</sup>, Hartono Yudo<sup>1)</sup>, Berlian Arswendo Adietya<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Komputer

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

<sup>\*)</sup>e-mail: bobkulcsar@gmail.com

### Abstrak

Bahan poros propeller yang baik akan mempengaruhi kekuatan dan umur material poros propeller. Salah satu cara pemilihan poros propeller kapal adalah pemilihan material poros propeller maupun memberikan variasi baru pada poros propeller untuk mengetahui kekuatan dan nilai ekonomis poros propeller. Poros propeller berbahan Stainless Steel merupakan jenis bahan poros propeller yang paling banyak digunakan pada kapal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai safety factor dan kekuatan puntir dari variasi poros propeller kapal KMP. Pertiwi Nusantara. Variasi yang dilakukan adalah pengurangan dan penambahan diameter poros propeller dan bahan Manganese Bronze poros propeller sebagai bahan pembanding. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Safety Factor poros propeller bahan Stainless Steel bernilai 5.2 dan Safety Factor bahan Manganese Bronze bernilai 5.6. Sedangkan kekuatan puntir poros propeller bahan Stainless Steel 33,45 dan kekuatan puntir bahan Manganese Bronze 37,20 N/mm<sup>2</sup>

Kata Kunci : Poros Propeller, Kekuatan Puntir, Safety Factor, Nilai Ekonomis.

### 1. PENDAHULUAN

Poros *propeller* merupakan salah satu komponen mesin yang memegang peranan penting dalam konstruksi transportasi air (kapal laut). *Propeller* dipasang pada poros yang dihubungkan langsung dengan mesin kapal. Jika mesin kapal dihidupkan maka poros *propeller* akan berputar dan memutar *propeller*. Kecepatan putaran *propeller* sama dengan putaran poros dimana kecepatan putaran poros bergantung kecepatan putaran mesin kapal. Dengan berputarnya *propeller* maka kapal laut mendapatkan tenaga untuk bergerak. Dengan demikian poros *propeller* mempunyai fungsi yang sangat besar, karena putaran *propeller* dipengaruhi oleh kondisi poros *propeller*[1].

Seiring dengan banyaknya kegagalan mekanis yang ditemui, perkembangan ilmu pengetahuan dan banyaknya penemuan baru, menyebabkan faktor-faktor perancangan mulai bertambah. Salah satunya guna memenuhi kekuatan puntir poros

*propeller* kapal. Disamping karena biaya yang dibutuhkan terlalu tinggi, dalam praktiknya ditemukan banyak masalah salah satunya patahnya poros baling-baling kapal (*Propeller Shaft*). Hal ini justru dapat merugikan pihak *owner* sehingga pengeluaran biaya semakin besar. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh beban-beban tersebut terhadap kekuatan lelah material poros, maka diperlukan pengujian puntir pada poros *propeller* menggunakan *software* dan disertai dengan analisa maupun perhitungan secara teliti[2].

Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang analisa kekuatan *coupling* pada kapal inspeksi perikanan skipi kelas orca menggunakan metode elemen hingga diketahui bahwa 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[3]. Dan

dipenelitian lain, terdapat kesimpulan untuk rekomendasi desain perhitungan kekuatan puntir pada poros *propeller* dengan pengurangan dan penambahan diameter sebesar 10%. Maka dari itu, dalam kesempatan kali ini peneliti ingin melakukan penelitian terhadap poros *propeller* yang lumrah ditemui di kapal niaga dengan variasi bahan.

Dengan demikian, penulis akan meneliti mengenai “Studi Analisis Kekuatan Poros *Propeller* Kapal KMP. Pertiwi Nusantara Akibat Dikenai Torsi dari *Propeller*”. Tujuannya yaitu untuk mengetahui nilai *safety factor* dan kekuatan puntir dari variasi poros *propeller* kapal KMP. Pertiwi Nusantara. Variasi yang dilakukan adalah pengurangan dan penambahan diameter poros *propeller* dan bahan *Manganese Bronze* sebagai bahan pembanding.

## 2. METODE

### 2.1. Pengumpulan Data

Objek yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah kapal KMP. Pertiwi Nusantara. Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data ukuran utama poros *propeller* kapal KMP. Pertiwi Nusantara.

Tabel 1. Ukuran Poros Propeller

Nama	Ukuran
Diameter	180 mm
Tebal Flange	100 mm
Jumlah Baut	8 buah
Panjang Poros	3,93 m
Diameter Baut	35 mm
Panjang Baut	185 mm

Tabel 2. Ukuran Utama Kapal

Nama	Ukuran
Breadth	10 m
Draught	2,54 m
Height	3,60 m
Gross Tonnage	605 GT
Speed	13 Knot

### 2.2. Permodelan dan Variasi Poros Propeller

Model poros *propeller Stainless Steel* dan *Manganese Bronze* berdasarkan data dari ukuran utama poros *propeller*. Dalam penelitian ini parameter yang digunakan adalah sebagai berikut

- Parameter Tetap :
  - Bentuk poros *propeller* kapal.
  - Jumlah Baut

- Parameter Perubah
  - Bahan poros *propeller*
  - Diameter poros *propeller*

### 2.3. Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

Alat yang digunakan untuk membantu dalam penelitian ini adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Operating system: Windows 8.1 Enterprise 64-bit
- Processor: Intel® Core™ i5-5200U CPU @ 2.20GHz
- Memory: 8192 MB RAM
- VGA: AMD Radeon Graphic

Sedangkan bahan atau dalam penelitian ini berarti *software* yang digunakan adalah Solidworks 2016.

### 2.4. Perhitungan Diameter Poros Propeller

Untuk perhitungan-perhitungan dibawah ini menggunakan rumus yang terdapat di *Rule BKI*[4].

Tabel 3. Data Mesin dan Faktor Tipe Poros

Nama	Nilai
Daya Mesin	1250 HP
Putaran Mesin	330 Rpm
Faktor Tipe Poros (K)	1,26

$$d_a \geq d \geq F.K. \sqrt[3]{\frac{P_w}{n \left(1 - \frac{d_i}{d_a}\right)^4}} \cdot C_w \quad (1)$$

$$C_w = \frac{560}{Rm + 160} \quad (2)$$

### 2.5. Perhitungan Momen Torsi

Untuk menghitung momen torsi digunakan rumus:[5]

$$T = \frac{159 kW}{f} [N.m] \quad (3)$$

Dimana *f* adalah frekuensi dalam hertz dari poros yang meneruskan daya dalam kilowatt kW. Persamaan ini mengubah daya kilowatt yang diberikan kepada poros menjadi suatu momen puntir yang konstan yang terjadi akibat penggunaan daya tersebut.

$$T = \frac{159 \times 905,35}{5,5} [N.m]$$

$$= 26172,85 \text{ N.m}$$

## 2.6. Variasi Bahan

### 3.3.1 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*)[6].

### 3.3.2 Manganese Bronze

Manganese Bronze sangat ideal untuk beban tinggi, aplikasi kecepatan rendah yang memerlukan kombinasi karakteristik keausan dan kekuatan bantalan yang tinggi. Meskipun demikian Manganese Bronze ini tidak dapat diolah panas dan membutuhkan pelumasan yang dapat diandalkan serta harus digunakan bersama dengan poros pengeras[7].

## 2.7. Perencanaan Diameter Poros

Perencanaan diameter poros yang diuji berdasarkan diameter asli yaitu 180 mm dan bahan asli poros tersebut yaitu *Stainless Steel*. Sementara material pembandingnya adalah *Manganese Bronze*. Untuk membandingkan kekuatan puntir maka pengujian dilakukan dengan memperkecil diameter poros asli sebesar 10% dan memperbesar diameter poros asli sebesar 10%.

Tabel 4. Perhitungan Poros Propeller dengan 2 Bahan Berbeda

No	Perhitungan	Stainless Steel (mm)	Manganese Bronze (mm)
1	Diameter Asli	180	180
2	Diperkecil 10%	160	160
3	Diperbesar 10%	160	160

## 2.8. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputer Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Undip di Jln. Prof. Soedarto SH, Semarang, Jawa Tengah

## 2.9. Menentukan Safety Factor

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi kemandirian suatu struktur, dimana kekuatan suatu bahan harus melebihi kekuatan sebenarnya[8].

Nilai tegangan pada tiap komponen dapat menunjukkan faktor keamanan (*safety factor*) yang berbeda, terutama tiap komponen poros memiliki material yang berbeda pula. Sehingga nilai yield stress (tegangan luluh) material akan dibagi (dibandingkan) dengan working stress (tegangan yang bekerja) pada tiap komponen. Untuk menghitung *Safety Factor* menggunakan rumus:

$$\text{Safety Factor} = \frac{S_Y}{\sigma_e} \quad (4)$$

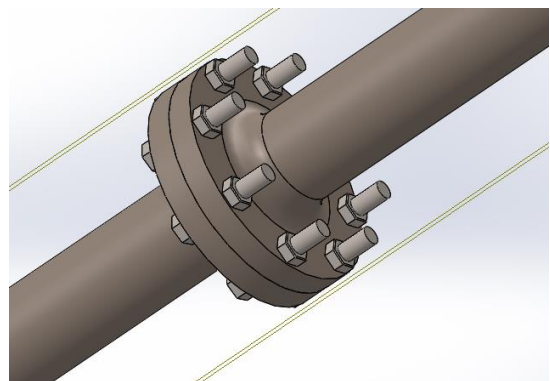
Dimana  $S_Y$  adalah *Yield Strength* dan  $\sigma_e$  adalah tegangan *Von Mises*

Standar *Safety Factor* yang ditentukan oleh BKI untuk *bending* dan *torsional stresses* pada shaft dan shafting component memiliki nilai minimum sebesar 1. Sementara untuk flanges dan baut bernilai 5.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

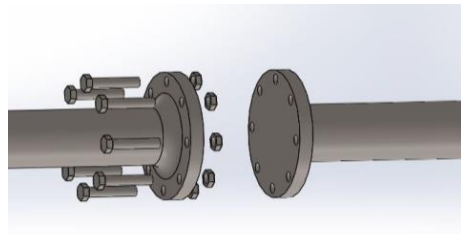
### 3.1. Poros Propeller dalam Solidworks 2016

Gambar 1 merupakan model poros propeller yang didesain pada *software Solidworks 2016*. Lingkup permodelan 3D poros *propeller* hanya sebatas model flens, baut-baut, dan mur. Dalam permodelan 3D ini, model dibagi menjadi beberapa bagian (*part*) yang kemudian akan dirakit (*assembly*) menjadi satu sistem poros utama. Semua permodelan 3D dilakukan menggunakan bantuan *Solidworks 2016*.

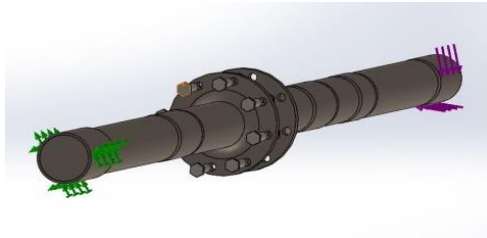


Gambar 1. Assembly Poros Propeller

Setelah itu dilakukan pemilihan material yang merupakan hal penting dalam merencanakan komponen-komponen permesinan. Sifat material berbeda-beda tiap jenis nya dan mempunyai fungsi yang berbeda pula. Dalam kasus ini ada 2 (dua) jenis material berbeda yang akan dianalisis yaitu *Stainless Steel* dan *Manganese Bronze*.



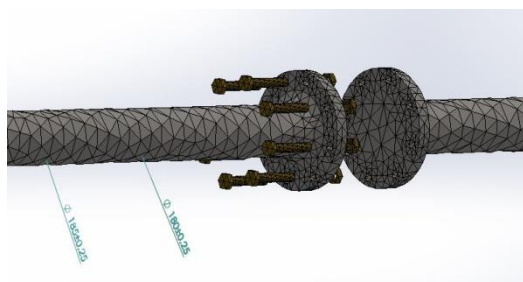
Gambar 2. Poros Propeller Bahan *Stainless Steel*



Gambar 3. Poros Propeller Bahan *Manganese Bronze*

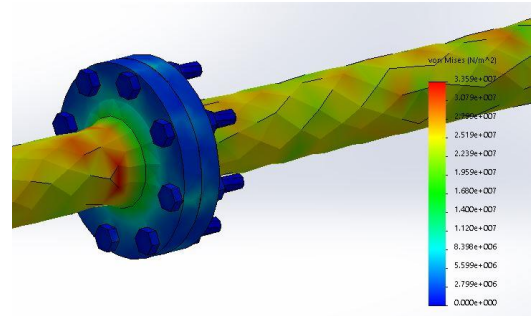
Setelah itu tahapan selanjutnya adalah tahapan analisis yaitu menentukan *boundary condition* (kondisi batas). Pada tahap ini menentukan *fixture* (penumpu). Penumpu ini merupakan lawan dari torsi. Dengan penumpu ini kita dapat mengetahui besaran puntiran pada Poros. Pada analisis ini digunakan penumpu jenis tetap (*fixed geometry*) yang diletakkan pada *virtual bearing* yang dikunci sebagai acuan. Pada tahap ini juga menentukan nilai torsi yang diletakkan pada salah satu ujung poros propeller.

Selanjutnya adalah tahapan *meshing*. Untuk menganalisa suatu permodelan metode elemen hingga melakukan diskritisasi (*meshing*), yaitu dengan membagi struktur permodelan tersebut menjadi elemen-elemen kecil (elemen hingga) yang terhubung oleh titik-titik atau nodes yang dipakai oleh elemen-elemen tersebut sebagai batas dari struktur objek[9]. Pada analisis ini digunakan *curvature based mesh* yang mempunyai ukuran elemen sebesar 10 mm. *Mesh* jenis ini menggunakan bentuk kurvatur pada tiap elemen. Sehingga hasil yang didapat lebih akurat dari pada *standart mesh*.



Gambar 4. *Meshing* pada Poros Propeller

Setelah dilakukan *meshing* selanjutnya adalah proses *running*. Simulasi yang digunakan adalah *static study*.



Gambar 5. Hasil tegangan keseluruhan

Nilai tegangan yang didapat adalah *von mises stress*. Besaran tegangan ditunjukkan oleh warna. Semakin tinggi nilai tegangan maka warna pada bagian komponen akan semakin merah, semakin kecil maka akan semakin berwarna biru[10].

### 3.2. Tabel Hasil

Poros yang dimodelkan berjumlah 7 buah dengan ukuran 160 mm, 170 mm, 180 mm, dan 200 mm dengan variasi bahan *Stainless Steel* dan *Manganese Bronze*. Berikut adalah hasil dari *running* model poros propeller.

Tabel 5 merupakan nilai *safety factor* bahan *Stainless Steel* dengan diameter 180 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 5,2 pada flange dan poros sementara pada baut memiliki nilai *safety factor* 6,9 dengan bahan yang sama.

Tabel 5. Nilai *Safety Factor* Bahan *Stainless Steel* Diameter 180 mm

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange <i>Stainless Steel</i>	33,45	5,2
2	Baut <i>Stainless Steel</i>	24,83	6,9
3	Poros <i>Stainless Steel</i>	33,45	5,2

Tabel 6 merupakan nilai *safety factor* bahan *Manganese Bronze* dengan diameter 180 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 6,8 pada flange dan poros.

Tabel 6. Nilai *Safety Factor* Bahan *Manganese Bronze* Diameter 180 m

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange <i>Manganese Bronze</i>	30,41	6,8
2	Baut <i>Stainless Steel</i>	24,83	6,9

Tabel 7 merupakan nilai *safety factor* bahan *Manganese Bronze* dengan diameter 170 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 5,6 pada flange dan poros.

Tabel 7. Nilai *Safety Factor* Bahan *Manganese Bronze* Diameter 170 m

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange Manganese Bronze	37,20	5,6
2	Baut Stainless Steel	24,83	6,9
3	Poros Manganese Bronze	37,20	5,6

Tabel 8 merupakan nilai *safety factor* bahan *Stainless Steel* dengan diameter yang sudah diperkecil sebesar 10% dengan nilai 160 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 3,71 pada flange dan poros. Tetapi *Safety Factor* pada flange tidak memenuhi standar BKI karena memiliki *Safety Factor* kurang dari 5.

Tabel 8. Nilai *Safety Factor* Terkecil Bahan *Stainless Steel* Diameter 160 mm

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange Stainless Steel	46,38	3,71
2	Baut Stainless Steel	24,83	6,9
3	Poros Stainless Steel	46,38	3,71

Tabel 9 merupakan nilai *safety factor* bahan *Manganese Bronze* dengan diameter yang sudah diperkecil sebesar 10% dengan nilai 160 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 4,48 pada flange dan poros. Tetapi *Safety Factor* pada flange tidak memenuhi standar BKI karena memiliki *Safety Factor* kurang dari 5.

Tabel 9. Nilai *Safety Factor* Terkecil Bahan *Manganese Bronze* Diameter 160 mm

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange Manganese Bronze	46.14	4,48
2	Baut Stainless Steel	24,83	6,9
3	Poros Manganese Bronze	46.14	4,48

Tabel 10 merupakan nilai *safety factor* bahan *Stainless Steel* dengan diameter yang sudah diperbesar sebesar 10% dengan nilai 200 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 7,1 pada flange dan poros.

Tabel 10. Nilai *Safety Factor* Terbesar Bahan *Stainless Steel* Diameter 200 mm

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange Stainless Steel	24.36	7,1
2	Baut Stainless Steel	24,83	6,9
3	Poros Stainless Steel	24.36	7,1

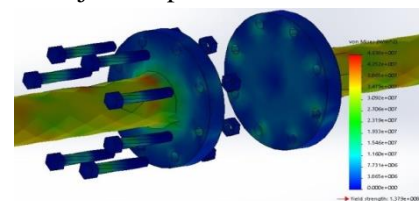
Tabel 11 merupakan nilai *safety factor* bahan *Manganese Bronze* dengan diameter yang sudah diperbesar sebesar 10% dengan nilai 200 mm. Didapatkan nilai *safety factor* sebesar 8 pada flange dan poros.

Tabel 11. Nilai *Safety Factor* Terbesar Bahan *Manganese Bronze* Diameter 200 mm

No	Komponen	Maximum Working Stress (N/mm <sup>2</sup> )	Safety Factor
1	Flange Manganese Bronze	26	8
2	Baut Stainless Steel	24,83	6,9
3	Poros Manganese Bronze	26	8

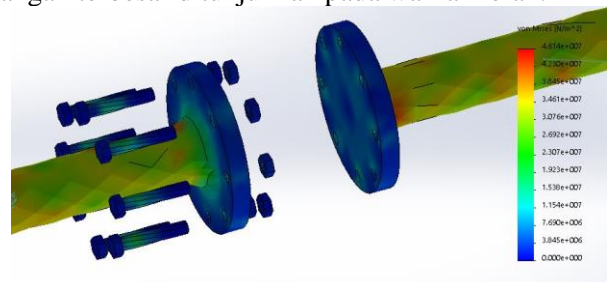
### 3.3. Pengurangan dan Penambahan Diameter Poros Propeller

Pada Gambar 6 terlihat bahwa nilai tegangan Von Mises pada diameter 160 mm dengan bahan *Stainless Steel* bernilai 46.38 N/mm<sup>2</sup>. Tegangan terbesar ditunjukkan pada warna merah.



Gambar 6. Tegangan Poros Bahan *Stainless Steel* yang Diperkecil 10%

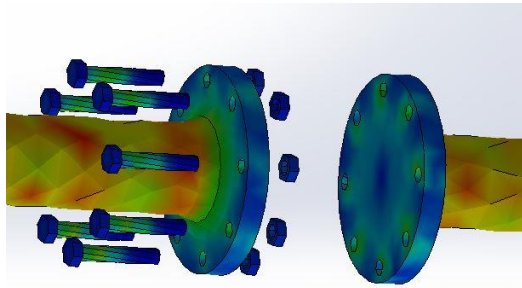
Pada Gambar 7 terlihat bahwa nilai tegangan Von Mises pada diameter 160 mm dengan bahan *Manganese Bronze* bernilai 46.14 N/mm<sup>2</sup>. Tegangan terbesar ditunjukkan pada warna merah.



Gambar 7. Tegangan Poros Bahan *Manganese Bronze* yang Diperkecil 10%

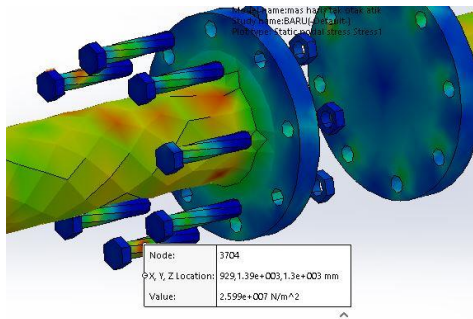


Pada Gambar 8 terlihat bahwa nilai tegangan Von Mises pada diameter 200 mm dengan bahan *Stainless Steel* bernilai  $24,36 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan terbesar ditunjukkan pada warna merah.



Gambar 8. Tegangan Poros Bahan *Stainless Steel* yang Diperbesar 10%

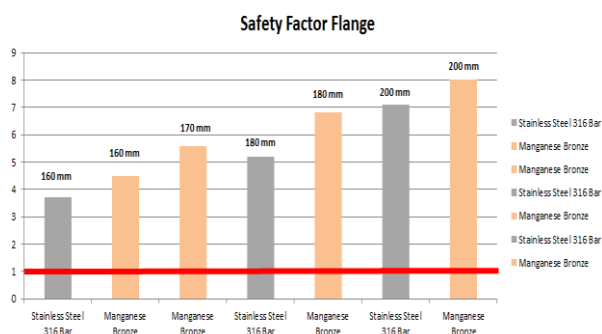
Pada Gambar 9 terlihat bahwa nilai tegangan Von Mises pada diameter 160 mm dengan bahan *Manganese Bronze* bernilai  $25,99 \text{ N/mm}^2$ . Tegangan terbesar ditunjukkan pada warna merah.



Gambar 9. Tegangan Poros Manganese Bronze yang Diperbesar 10%

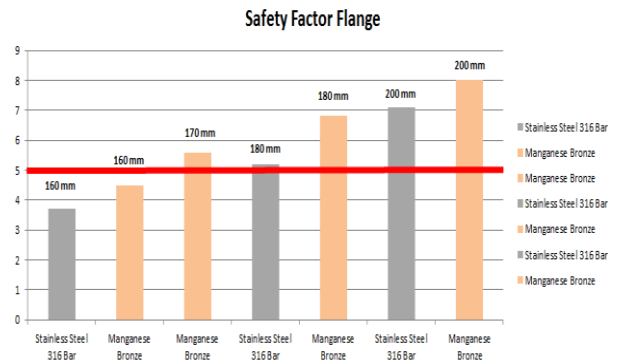
### 3.4. Grafik dan Harga

Hasil data keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 10 yang dipaparkan menggunakan grafik diagram batang. Garis merah menunjukkan batas standar yang ditentukan oleh BKI. Dengan demikian ke tujuh model telah memenuhi standar BKI karena hasil *Safety Factor* telah melebihi batas garis. Adapun nilai *Safety Factor* Poros yaitu sebesar 1.



Gambar 10. Grafik *Safety Factor* Poros

Sementara untuk nilai *Safety Factor Flange* bernilai 5. Sehingga 2 model yang telah diperkecil diameter porosnya menjadi 160 mm dengan bahan *Stainless Steel* dan *Manganese Bronze* tidak memenuhi standar yang telah ditetapkan BKI. Data ini dapat dilihat pada Gambar 11 yang menyajikan sebuah grafik. Garis berwarna merah merupakan batas yang diizinkan untuk memenuhi *Safety Factor*.



Gambar 11. Grafik *Safety Factor Flange*

Untuk mengetahui harga/kg material yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 12[10].

Tabel 12. Daftar Harga/kg bahan *Stainless Steel* dan *Manganese Bronze*

No	Material	Harga (Per kg)
1	Stainless Steel	Rp. 122.000,00
2	Manganese Bronze	Rp. 89.000,00

Diameter asli dengan bahan *Stainless Steel* memiliki harga 54,3 juta yang ditunjukkan pada Tabel 13. Sedangkan diameter perhitungan dengan bahan *Manganese Bronze* dan dengan diameter 170 mm memiliki harga yang jauh lebih tinggi yaitu 78,3 juta.

Tabel 13. Hasil Perhitungan Harga Diameter 180 mm dan 170 mm

No	Material	Berat (kg)	Harga (Juta)
1	Stainless Steel (180)	610,42	54,3
2	Manganese Bronze (170)	641,88	78,3
3	Manganese Bronze (180)	679,09	82,8

Untuk diameter yang telah diperkecil menjadi 160 mm, memiliki harga 42,9 juta untuk bahan *Stainless Steel*. Sementara untuk bahan *Manganese Bronze* memiliki harga 65,5 juta. Harga untuk material *Manganese Bronze* yang telah diperkecil jauh lebih mahal harganya dibandingkan dengan harga diameter asli berbahan *Stainless Steel*.

Tabel 14. Hasil Perhitungan Harga Diameter 160 mm

No	Material	Berat (kg)	Harga (Juta)
1	Stainless Steel (160)	482,30	42,9
2	Manganese Bronze (160)	536,56	65,5

Pada Tabel 15 menunjukkan harga untuk diameter poros yang telah diperbesar menjadi 200 mm. Untuk bahan *Stainless Steel* harga yang didapat dari hasil mengkalikan berat dengan harga per kg adalah 67,1 juta. Sementara untuk bahan *Manganese Bronze* adalah 102,2 juta. Untuk harga poros berbahan *Stainless Steel* yang telah diperbesar 10% jauh lebih murah daripada harga perhitungan poros dengan diameter 170 mm berbahan *Manganese Bronze*.

Tabel 15. Hasil Perhitungan Harga Diameter 200 mm

No	Material	Berat (kg)	Harga (Juta)
1	Stainless Steel (200)	753,60	67,1
2	Manganese Bronze (200)	838,38	102,2

#### 4. KESIMPULAN

KMP. Pertiwi Nusantara dengan diameter poros *propeller* 200 mm mempunyai nilai kekuatan puntir terbesar  $26 N/mm^2$  pada bahan *Manganese Bronze*. Pengurangan diameter sebesar 10% dari diameter asli poros *propeller* KMP. Pertiwi Nusantara mempunyai nilai kekuatan puntir sebesar  $46.38 N/mm^2$  pada bahan *Stainless Steel*. Semakin besar diameternya tegangan yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini ditunjukkan dengan nilai tegangan *Von Mises*. Sehingga nilai *Safety Factor*nya semakin baik. Dari ke tujuh model telah memenuhi standar *Safety Factor* poros yang telah ditentukan BKI dengan nilai 1. Sementara hanya 2 model yang diperkecil diameter porosnya (160 mm) dengan bahan *Stainless Steel* maupun *Manganese Bronze* yang tidak memenuhi standar *Safety Factor Flange* yang ditetapkan BKI dengan nilai 5. Dan untuk diameter poros yang telah diperbesar 10% dengan bahan *Stainless Steel* memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan harga diameter poros 170 mm berbahan *Manganese Bronze*.

#### DAFTAR PUSTAKA

[1] Kondo, Yan, "Analisis Investasi Pada Industri Pengecoran Propeller Kapal (Studi Kasus : Cv. Antero Jaya Sakti)." Hasanudin University, 2013.

[2] S. Jatmiko and S. Jokosisworo, "Analisa Kekuatan Puntir dan Kekuatan Lentur Putar Poros Baja ST 60 sebagai Aplikasi Perancangan Bahan Poros Baling-baling Kapal," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, 2008.

[3] Nubly M. H, H. Yudo, and Kiryanto, "Analisa Kekuatan Coupling pada Kapal Inspeksi Perikanan SKIPI Kelas ORCA Menggunakan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, 2017.

[4] BKI *Part. 1 Vol.III "Rules for Machinery Installation" 2016 Edition*. Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia.

[5] Popov E. P. 1978. *Mechanics of Materials. 2<sup>nd</sup> edition. Prentice-Hall.Inc. Englewood Cliffs. New Jersey. USA. ISBN 978-0135713563*.

[6] Sumarji, "Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe Ss 304 Dan Ss 201 Menggunakan Metode U-Bend Test Secara Siklik Dengan Variasi Suhu Dan Ph," *J. Rotor*, vol. 4, no. 1, 2011.

[7] Setyadi, Iwan, "Pengembangan Pengecoran Berbahan Baku Paduan Manganese Bronze Untuk Propeller Kapal Yang Berbasis Bahan Scrap," Tangerang. ISSN 1410-3680, 2015.

[8] Imran A. I, "Simulasi Tegangan Von Mises dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, 2017.

[9] W. Nirbito and T. R. Januar, "Analisa Respon Harmonik Struktur Poros Propeller Kapal Menggunakan Ansys Workbench 14.5," Indonesia University, 2016.

[10] Anonymous, "Stainless Steel Hot Rolled Round Bar 316 Low Price Per Kg," <https://www.alibaba.com/showroom/316l-stainless-steel-round-bar-price-per-kg.html>. [Diakses 11 November 2018]