

ANALISA KEKUATAN POROS KEMUDI KAPAL PENAMPUNG IKAN TRADISIONAL 200 GT KABUPATEN BATANG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Achmad F.R. Prabowo¹, Hartono Yudo¹, Muhammad Iqbal¹

¹Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email : ufrprabowo@gmail.com , hartono.yudo@yahoo.com , iqbal.muhammad.1412@gmail.com

Abstrak

Indonesia memiliki berbagai keberagaman budaya salah satunya adalah kapal tradisional yang dibangun berdasarkan pengalaman turun temurun. Proses pembuatan komponen kapal yang tidak diperhitungkan secara teknis dikhawatirkan akan menimbulkan kegagalan struktur ketika kapal dioperasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa tegangan pada poros kemudi berbahan Monel 400 dan Baja AISI 1045 ketika menahan gaya dari daun kemudi akibat aliran yang terjadi karena putaran propeller. Adapun variasi yang digunakan adalah kecepatan *streamline* ($V_{streamline}$) yang melewati daun kemudi sebesar 5.99 m/s, 7.19 m/s, 8.38 m/s, 9.58 m/s, 10.78 m/s, dan 11.98 m/s dengan sudut kemiringan daun kemudi sebesar 35°. Dengan bantuan software berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) didapatkan tekanan yang terjadi pada daun kemudi akibat aliran yang melewati daun kemudi, selanjutnya nilai tekanan tersebut digunakan sebagai *input* beban pada analisa kekuatan dengan software berbasis Metode Elemen Hingga. Analisa tegangan pada kondisi $V_{streamline} = 11,98$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling besar senilai 9.04 MPa untuk poros kemudi berbahan Monel 400 dan 11.8 MPa untuk poros kemudi berbahan Baja AISI 1045. Sedangkan analisa pada kondisi $V_{streamline} = 9,58$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling rendah senilai 7.98 MPa untuk poros kemudi berbahan Monel 400 dan 11.5 MPa untuk poros kemudi berbahan Baja AISI 1045.

Kata kunci : Kapal Tradisional, Poros Kemudi, Analisa Kekuatan, FEM

Abstract

Indonesia has a wide range of diversity, one of which is a traditional boat built by hereditary experience. The process of making the vessel components were not taken into account technically feared will lead to structural failure when the ship is operated. This study aims to analyze the stress of the rudder stock made of Monel 400 and AISI 1045 Steel when it withstand the force of the rudder blade due to the flow that occurred because of propeller rotation. The variety used is velocity streamlined ($V_{streamline}$) which passes through the rudder blade of 5.99 m / s, 7.19 m / s, 8.38 m / s, 9.58 m / s, 10.78 m / s, and 11.98 m / s at an angle of rudder blade by 35°. With the help of software based on Computational Fluid Dynamics (CFD) obtained pressure that occurs on the rudder blade due to flow past the rudder blade, then the pressure value is used as an input load on the strength analysis with software-based Finite Element Method. Stress analysis on the condition $V_{streamline} = 11.98$ m / s has a stress value that is most worth 9.04 MPa for the rudder stock made of Monel 400 and 11.8 MPa for the rudder stock made of AISI 1045 Steel. While analysis on condition $V_{streamline} = 9.58$ m / s has a value the most low stress worth of 7.98 MPa for the rudder stock made of Monel 400 and 11.5 MPa for the rudder stock made of AISI 1045 Steel.

Keywords: Traditional Boat, Rudder stock, Strength Analysis, FEM

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia terbentang sepanjang 3.977 mil di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Luas daratan Indonesia adalah 1.922.570 km² dan luas perairannya 3.257.483 km² [1]. Dengan keadaan geografis tersebut maka Indonesia memiliki keberagaman budaya dan adat istiadat, salah satu contohnya adalah keberagaman bentuk kapal kayu tradisional di setiap daerah. Tradisional yang dimaksud yaitu dari segi alat tangkap yang masih sederhana serta proses pembangunannya yang masih mengandalkan pengalaman dari pembuatan kapal sebelumnya [2].

Sistem kemudi pada sebuah kapal merupakan salah satu komponen yang penting, karena dengan sistem kemudi inilah kapal dapat dikendalikan sesuai dengan arah yang diinginkan. Pada saat di operasikan gaya gaya daun kemudi (*rudder blade*) diteruskan kepada bagian bagian instalasi kemudi, salah satunya adalah poros kemudi (*rudder stock*) [3].

Poros kemudi yang dibangun terlalu kuat akan menjadi sangat berat, dan membutuhkan biaya yang lebih besar. Sebaliknya poros kemudi yang dibangun dan dirancang terlalu lemah akan sangat beresiko tinggi mengalami kegagalan struktur karena struktur tidak mampu menahan gaya dari daun kemudi pada saat kapal berlayar.

Peran aktif dari civitas akademika sangat diperlukan untuk mengatasi masalah ini, teknologi pembuatan kapal ikan tradisional harus ditingkatkan dengan tidak menyampingkan nilai luhur kebudayaan kapal tradisional tersebut. Sehingga konstruksi kapal yang dibangun lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Berapa nilai tegangan maksimum pada sistem konstruksi poros kemudi kapal

penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang ?

2. Dimana letak komponen konstruksi poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang yang paling kritis akibat beban yang diderita ?
3. Berapa nilai kecepatan kapal yang sesuai dengan model konstruksi poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang ?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pembahasan dalam tugas akhir ini adalah analisa kekuatan poros kemudi kapal ikan tradisional, sesuai dengan data aktual di lapangan
2. Permodelan beserta analisa konstruksi poros kemudi dan kemudi menggunakan *software* berbasis Metode Elemen Hingga
3. Kecepatan aliran akibat bekerjanya propeller didapat dari hasil penelitian yang sudah ada
4. Menggunakan *software* berbasis *Computational fluid Dynamic (CFD)* untuk mendapatkan besarnya tekanan pada daun kemudi saat operasional
5. Hasil akhir pada penelitian ini yaitu nilai tegangan maksimum pada sistem konstruksi poros kemudi yang disimulasikan dari hasil analisis *software* berbasis Metode Elemen Hingga

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Mendapatkan nilai tegangan maksimum pada sistem konstruksi poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang

2. Mengetahui letak komponen konstruksi poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang yang paling kritis akibat beban yang diterima
3. Mendapatkan nilai kecepatan kapal yang sesuai dengan model konstruksi poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal Tradisional

Kapal tradisional adalah salah satu sarana transportasi dan penunjang mata pencaharian di danau, sungai dan di laut. Perahu tersebut dibuat berdasarkan pengetahuan yang diperoleh secara turun-temurun. Perkembangan pengetahuannya didasarkan atas pengalaman di lapangan dan naluri dalam beradaptasi terhadap lingkungannya. Perbedaan yang mencolok antara kapal tradisional dengan kapal modern adalah proses perakitan profil gading dengan kulit kapal. Untuk kapal tradisional pada umumnya pembentukan lambung dimulai dari pemasangan kulit kapal setelah peletakan lunas, baru kemudian dipasang gading dari sisi bagian dalam lambung kapal. Hal ini berlaku sebaliknya untuk kapal-kapal modern, yaitu menyelesaikan terlebih dahulu sistem kerangka, baru disusul dengan pemasangan kulit [2].

2.2 Kemudi dan Instalasi Kemudi

Kemudi adalah sebuah alat untuk mengontrol jalannya kapal ataupun untuk *manouver*. Sehubungan dengan peran ini, sebaiknya sebuah kemudi dan instalasinya harus memenuhi ketentuan didalam 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 [3].

2.3 Teori Elastisitas

Teori Elastisitas merupakan cabang dari fisika matematis yang mengkaji hubungan gaya, perpindahan, tegangan, regangan, dan beda elastis. Bila suatu pejal di bebani gaya dari luar, benda tersebut akan berubah bentuk / berdeformasi, sehingga timbul tegangan dan regangan dalam. Perubahan bentuk ini tergantung pada konfigurasi geometris benda tersebut dan mekanis bahannya. Teori Elastisitas menganggap bahan bersifat homogen dan Isotropik, dengan demikian sifat mekanis bahan sama dalam segala arah [4].

1. Tegangan

Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Suatu tegangan tertentu yang dianggap benar-benar bertitik tangkap pada sebuah titik, secara matematis didefinisikan sebagai :

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

Dimana F adalah gaya dan A adalah luas penampang [5].

2. Regangan

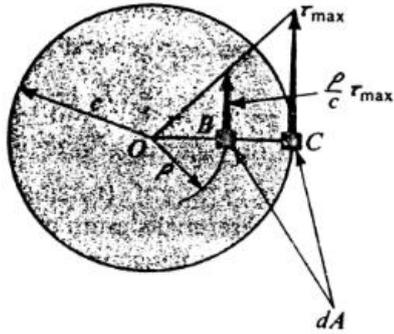
Perpanjangan per satuan luas disebut regangan (*strain*). Ia adalah besaran yang tidak berdimensi, tetapi lebih baik kita memberinya memiliki dimensi meter per meter atau m/m. Kadang-kadang regangan diberikan dalam bentuk persen. Secara matematis dapat didefinisikan sebagai :

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

dimana Δ adalah panjang total dan L adalah panjang awal [5].

2.4 Tegangan Pada Batang Melingkar

Pada kasus elastis dimana tegangan berbanding lurus dengan regangan dan berubah secara linier dari sumbu pusat puntiran, maka tegangan berubah pula secara linier dari sumbu pusat batang melingkar. Tegangan yang disebabkan karena penyimpangan – penyimpangan disebut tegangan geser.



Gambar 1. Variasi tegangan pada batang melingkar dalam daerah elastis

Gambar 1 menunjukkan bahwa tegangan geser maksimum terjadi pada titik titik yang terjauh dari titik pusat O dan dinyatakan dengan τ_{max} . titik C terletak pada irisan yang berjarak c dari pusat. Sementara itu berdasarkan variasi tegangan yang linier, pada suatu titik tertentu pada jarak ρ dari O, maka tegangan geser adalah $(\rho/c) \times \tau_{max}$ [5].

2.5 Rumus Puntiran (Torsi)

Torsi mengandung arti puntiran yang terjadi pada batang lurus apabila dibebani momen yang cenderung menghasilkan rotasi terhadap sumbu *longitudinal* batang [6]. Momen torsi T sama dengan gaya dalam yang timbul akibat geser dikalikan dengan jaraknya ke sumbu batang [5].

Melihat dari Gambar 1 Momen torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$T = \int_A \frac{\rho}{c} \tau_{maks} dA \cdot \rho$$

$$T = \frac{\tau_{max}}{c} \int_A \rho^2 dA$$

Momen inersia polar untuk penampang lingkaran dapat dihitung dengan rumus :

$$I_p = \int_A \rho^2 dA = \frac{\pi d^4}{32} [\text{mm}^4]$$

Sehingga tegangan geser maksimum yang terjadi adalah :

$$\tau_{max} = \frac{T \cdot c}{I_p}$$

2.6 Faktor Keamanan (Safety Factor)

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik terhadap beban luar, yaitu

beban tekan maupun tarik. Untuk dapat dikatakan spesifikasi material yang dirancang sudah sesuai dan aman, nilai *safety factor* harus lebih dari satu. Biro Klasifikasi Indonesia (2013) mensyaratkan kriteria keamanan untuk tegangan geser maksimal poros kemudi. Hal tersebut diatur dalam *rules BKI Volume II Section 14.C.1.1* [7].

$$\tau_{max} = \frac{68}{kr}$$

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

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

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Primer

Data ukuran utama kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang,

Panjang lunas = 30 m

LOA = 36 m

Lebar (B) = 9.2 m

Sarat (T) = 3 m

Tinggi (H) = 4.3 m

Koefisien balok (Cb) = 0.7

Luas area daun kemudi = 1227.20 mm²

Diam. tongkat kemudi atas = 76.2 mm

(tinggi : 400 mm – material : Monel 400)

Diam. tongkat kemudi bawah = 101.6 mm

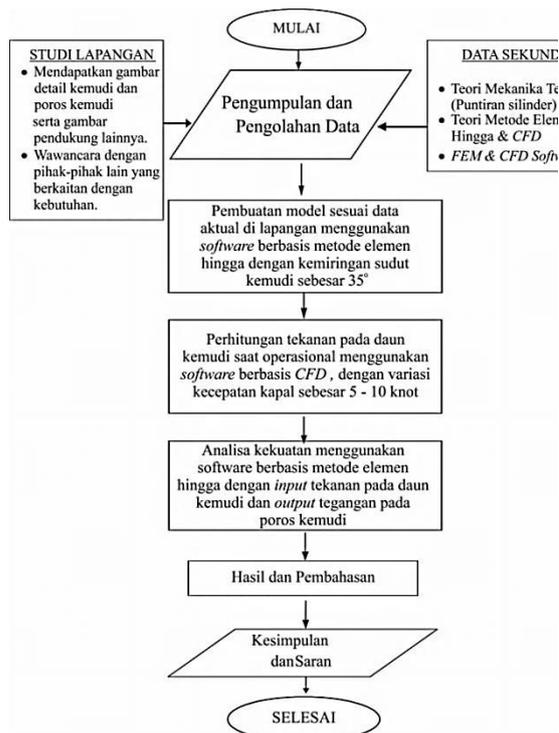
(tinggi : 1750 mm – material : Baja AISI 1045)

3.2 Variabel Penelitian

1. Variabel terkontrol = Luas area daun kemudi, diameter poros kemudi, kemiringan kerja kemudi (35°).
2. Variabel bebas = Variasi kecepatan kapal (5 – 10 knot).
3. Variabel terikat = Respon *tegangan von mises* dan *displacement – translational*.

3.3 Diagram Alir

Diagram alir menjelaskan semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk melakukan proses analisa terhadap permasalahan tugas akhir ini.



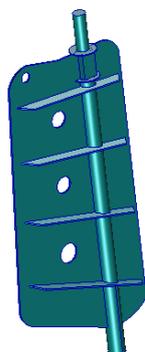
Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Langkah dan Hasil Penelitian

1. Proses Permodelan

Daun dan poros kemudi kapal penampung ikan tradisional 200 GT Kabupaten Batang dimodelkan dalam program bantu Msc. Patran, kemudian disimulasikan analisa hasil menggunakan program bantu Msc. Nastran yang berbasis Metode Elemen Hingga. Permodelan dibuat berdasarkan data ukuran yang didapat melalui *survey* langsung di lapangan.



Gambar 3. Model 3D daun dan poros kemudi

2. Perhitungan Beban *Pressure*

Beban *pressure* yang dimaksudkan adalah beban aliran yang melewati daun kemudi akibat bekerjanya baling baling (*propeller*). Aliran tersebut dinamakan *Vstreamline*. *Vstreamline* adalah 3.32 kali dari *advance speed* (V_a) [8]. *Advance speed* (V_a) dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$V_a = (1-w)V_s$$

$$w = (0.5 \times C_b) - 0.05$$

$$C_b = 0,7$$

$$w = (0,5 \times 0,7) - 0,05$$

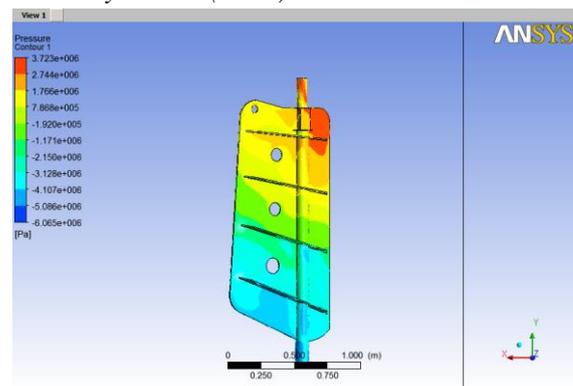
$$w = 0,3$$

Nilai *VStreamline* dapat dilihat pada tabel 1, selanjutnya *Vstreamline* digunakan sebagai *input* variasi kecepatan aliran yang melewati daun kemudi pada *software Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Tabel 1. Nilai *Vstreamline*

Vd (knot)	Vd (m/s)	V _a (m/s)	V Streamline (m/s)
5	2.57	1.8	5.99
6	3.09	2.16	7.19
7	3.6	2.52	8.38
8	4.12	2.88	9.58
9	4.63	3.24	10.78
10	5.14	3.6	11.98

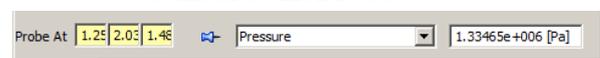
Setelah proses analisa selesai maka dapat diketahui nilai *pressure* pada daun kemudi dengan menggunakan fitur *Probe* yang tersedia pada *software Computational Fluid Dynamics* (CFD).



Gambar 4. Hasil analisa *pressure* pada *software Computational Fluid Dynamics* (CFD)

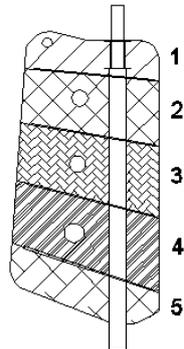


Gambar 5. Ikon *Probe*



Gambar 6. Hasil *pressure* tiap titik dengan bantuan *probe*

Daun kemudi dibagi menjadi beberapa area untuk mendapatkan *pressure* tiap area. Hasil *pressure* tiap area daun kemudi dijelaskan pada tabel 2. Dan selanjutnya hasil *pressure* tiap area tersebut dibagi jumlah elemen tiap area sebelum digunakan sebagai *input* beban yang diterima daun kemudi ketika beroperasi. Nilai *pressure* tiap elemen dijelaskan pada tabel 4.



Gambar 7. Pembagian area daun kemudi

Tabel 2. *Pressure* tiap area daun kemudi

Vd (Knot)	Vstreamline (m/s)	Pressure Tiap Area (Mpa)				
		1	2	3	4	5
5 Kn	5.99	2.0334	1.3280	-0.3466	-2.7581	-3.9091
6 Kn	7.19	2.1353	1.4690	-0.3145	-2.7444	-3.8834
7 Kn	8.38	1.9318	1.4555	-0.3197	-2.6792	-3.9089
8 Kn	9.58	1.9042	1.4587	-0.3066	-2.6232	-3.9039
9 Kn	10.78	1.9041	1.4770	-0.2793	-2.6684	-3.9179
10 Kn	11.98	1.8911	1.3874	-0.2809	-2.6600	-3.9851

Tabel 3. Jumlah elemen tiap area daun kemudi

Bagian Daun Kemudi	Luas Area (mm ²)	Luas Elemen (mm ²)	Jumlah Elemen
1	153.3	0.405	379
2	260.4	0.405	643
3	292.7	0.405	723
4	319.8	0.405	790
5	201	0.405	496

Tabel 4. Nilai *pressure* tiap elemen

Vd (Knot)	Vstreamline (m/s)	Pressure Tiap Elemen (Mpa)				
		1	2	3	4	5
5 Kn	5.99	0.00537	0.00207	-0.00048	-0.00349	-0.0
6 Kn	7.19	0.00564	0.00228	-0.00044	-0.00348	-0.0
7 Kn	8.38	0.0051	0.00226	-0.00044	-0.00339	-0.0
8 Kn	9.58	0.00503	0.00227	-0.00042	-0.00332	-0.0
9 Kn	10.78	0.00503	0.0023	-0.00039	-0.00338	-0.0
10 Kn	11.98	0.005	0.00216	-0.00039	-0.00337	-0.0

3. Penentuan Material dan *Properties*

Material dan *properties* didefinisikan sebagai karakteristik bahan utama permodelan. Dalam analisa ini digunakan *isotropic* material dan *solid properties*.

Tabel 5. Material poros dan daun kemudi

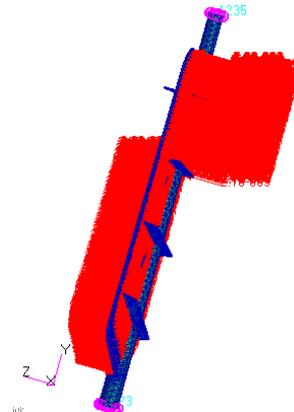
Properties	Material	
	Baja AISI 1045	Monel 400
Elastic Modulus (Mpa)	2.05×10^5	1.79×10^5
Poison Ratio	0.29	0.38
Shear Modulus (Mpa)	8.00×10^4	6.48×10^4
Density (Kg/mm ³)	7.85×10^{-3}	8.80×10^{-3}

4. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas / *boundary condition* digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisa (kondisi jepit).

Tabel 6. Kondisi batas

Lokasi Titik Tumpuan	Translasi			Rotasi		
	x	y	z	x	y	z
Ujung Atas Poros Monel 400	Fix	Fix	Fix		Fix	
Ujung Bawah Poros Baja AISI 1045	Fix	Fix	Fix			

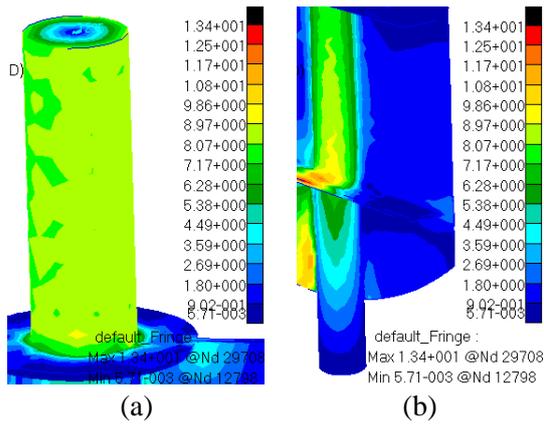


Gambar 8. Hasil *input boundary condition* dan *pressure* tiap elemen pada daun kemudi

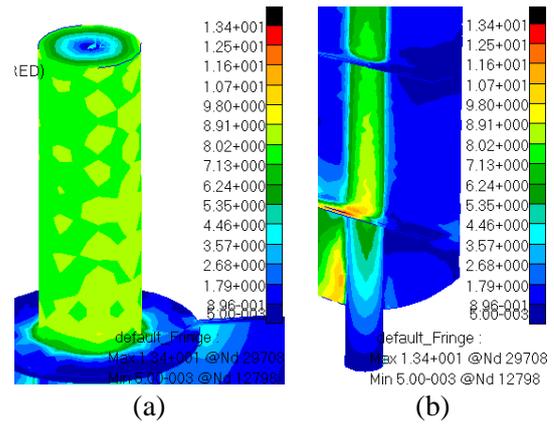
5. General *Postprocessing*

Dalam tahap *postprocessing* akan dapat diketahui hasil dari *running* perhitungan *software* sesuai dengan masing masing variasi *Vstreamline*. Kemudian didapatkan nilai tegangan serta *displacement-translational* tertinggi pada poros kemudi Baja AISI 1045 dan Monel 400.

Kondisi *Vstreamline* = 5.99 m/s

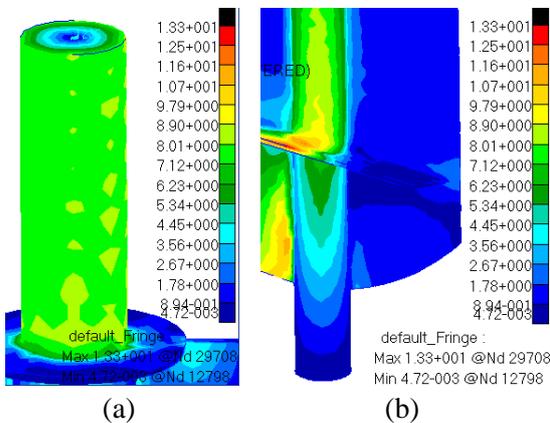


Gambar 9. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 5.99$ m/s



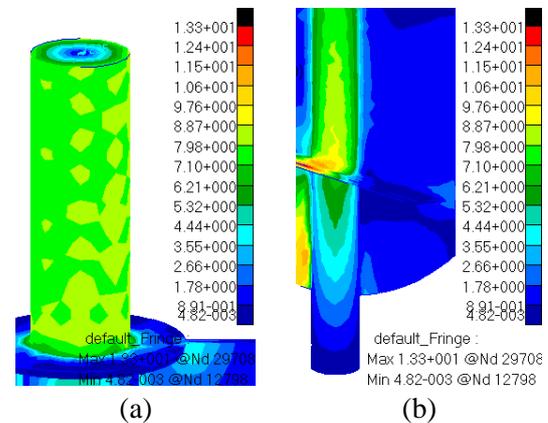
Gambar 11. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 8.38$ m/s

Kondisi $V_{streamline} = 7.19$ m/s



Gambar 10. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 7.19$ m/s

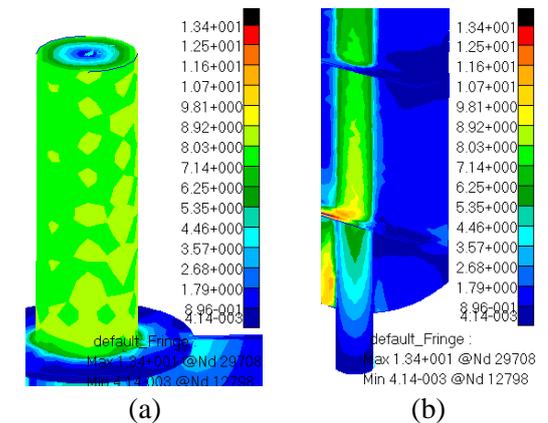
Kondisi $V_{streamline} 9.58$ m/s



Gambar 12. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 9.58$ m/s

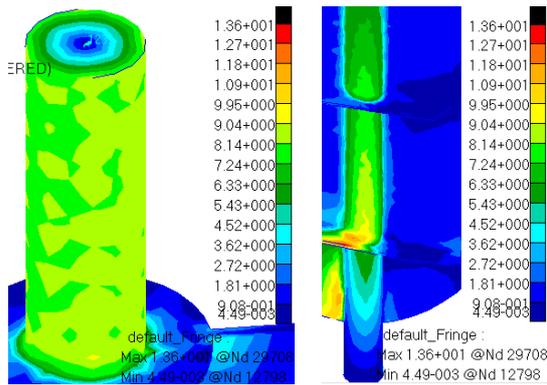
Kondisi $V_{streamline} 8.38$ m/s

Kondisi $V_{streamline} 10.78$ m/s



Gambar 13. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 10.78$ m/s

Kondisi $V_{streamline}$ 11.98 m/s



(a) (b)

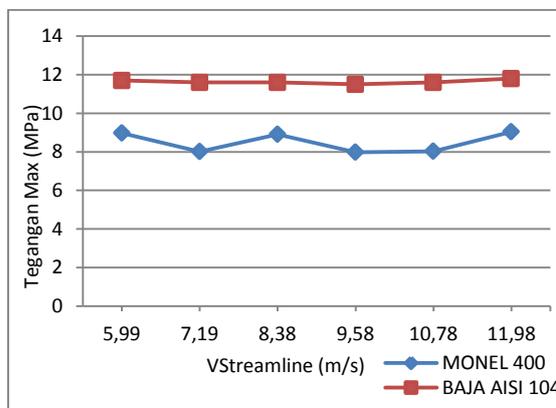
Gambar 14. Tegangan pada poros (a) Monel 400 (b) Baja AISI 1045 dengan kondisi $V_{streamline} = 11.98$ m/s

6. Perbandingan Nilai Tegangan dan Deformasi Setiap Kondisi

Setelah dilakukan analisa linear pada masing masing model dengan semua kondisi pembebanan yang ada, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 7. Nilai tegangan maksimal poros

$V_{streamline}$ (m/s)	Tegangan Maksimal Poros	
	Monel 400	Baja AISI 1045
5.99	8.97	11.7
7.19	8.01	11.6
8.38	8.91	11.6
9.58	7.98	11.5
10.78	8.03	11.6
11.98	9.04	11.8



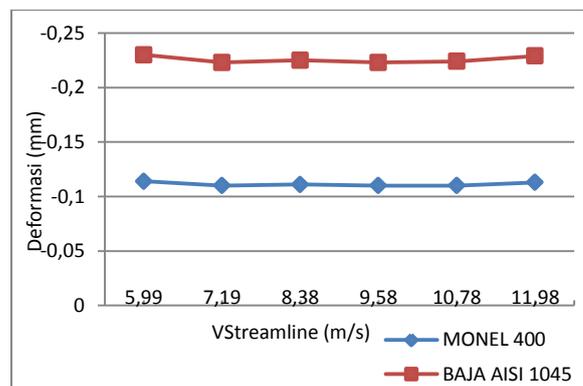
Gambar 15. Grafik tegangan maksimal poros

Dari hasil tegangan (*Stress Tensor – Von Mises*) yang ditampilkan pada tabel 7, maka dapat disimpulkan bahwa analisa pada kondisi $V_{streamline} = 11.98$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling besar dibandingkan dengan analisa pada kondisi $V_{streamline}$ yang lain. Dan analisa pada kondisi $V_{streamline} = 9.58$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling rendah. Jika dilihat dari kontur warna tegangan pada poros kemudi, nilai tegangan geser tertinggi terletak pada titik titik yang terjauh dari titik pusat poros kemudi.

Poros kemudi juga memiliki nilai deformasi (*displacement – translasional*) akibat *pressure* dari fluida yang mengalir melewati daun kemudi pada sumbu z. Nilai deformasi poros kemudi ditampilkan pada tabel 8.

Tabel 8. Nilai deformasi maksimal poros

$V_{streamline}$ (m/s)	Deformasi Maksimal Poros (mm)	
	Monel 400	Baja AISI 1045
5.99	-0.114	-0.230
7.19	-0.110	-0.223
8.38	-0.111	-0.225
9.58	-0.110	-0.223
10.78	-0.110	-0.224
11.98	-0.113	-0.229



Gambar 16. Grafik deformasi maksimal poros

4.2 Perhitungan *Safety Factor*

Safety factor dihitung dengan dasar peraturan Biro Klasifikasi Indonesia tentang tegangan maksimal poros.

$$\tau_{max} = \frac{68}{kr}$$

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

$Re_h = Yield\ stress\ (N/mm^2)$
 $Re_h\ Monel\ 400 = 250\ N/mm^2$
 $Re_h\ Baja\ AISI\ 1045 = 530\ N/mm^2$

1. τ_{max} poros Monel 400

$$kr = \left(\frac{235}{250}\right)^{0.75}$$

$$kr = 0.955$$

$$\tau_{max} = \frac{68}{0.955}$$

$$\tau_{max} = 71.2\ MPa$$

2. τ_{max} poros Baja AISI 1045

$$kr = \left(\frac{235}{530}\right)^{0.75}$$

$$kr = 0.543$$

$$\tau_{max} = \frac{68}{0.543}$$

$$\tau_{max} = 125\ MPa$$

Tabel 9. Perhitungan *safety factor* poros Monel 400 menurut peraturan BKI

Vstreamline (m/s)	Tegangan Maksimal (MPa)	Tegangan Maksimal BKI (MPa)	Safety Factor	Keterangan
5.99	8.97	71.2	7.938	AMAN
7.19	8.01	71.2	8.889	AMAN
8.38	8.91	71.2	7.991	AMAN
9.58	7.98	71.2	8.922	AMAN
10.78	8.03	71.2	8.867	AMAN
11.98	9.04	71.2	7.876	AMAN

Tabel 10. Perhitungan *safety factor* poros Baja AISI 1045 menurut peraturan BKI

Vstreamline (m/s)	Tegangan Maksimal (MPa)	Tegangan Maksimal BKI (MPa)	Safety Factor	Keterangan
5.99	11.7	125	10.684	AMAN
7.19	11.6	125	10.776	AMAN
8.38	11.6	125	10.776	AMAN
9.58	11.5	125	10.870	AMAN
10.78	11.6	125	10.776	AMAN
11.98	11.8	125	10.593	AMAN

4.3 Perbandingan dengan Perhitungan Manual

Hasil analisa *software* yang dijadikan *sample* untuk dibandingkan dengan perhitungan manual adalah analisa dengan kondisi $V_{streamline} = 11.98\ m/s$.

1. Perhitungan Tegangan Geser pada Sebuah Titik

$$\tau_x = \left(\frac{p_x}{c}\right) \times \tau_{max}$$

p = Jarak titik pusat benda ke titik yang ditinjau

c = Jari jari benda

$p_1 = 9.525\ mm$; $p_2 = 19.050\ mm$;

$p_3 = 28.575\ mm$

$c = 38.1\ mm$

$\tau_{max} = 9.04\ MPa$ (Tegangan maksimum pada poros Monel 400)

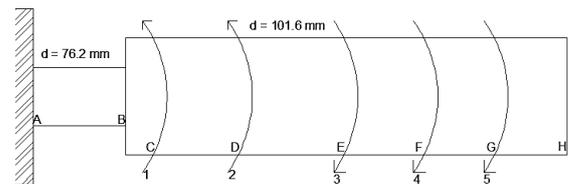
$$\tau_1 = \left(\frac{9.525}{38.1}\right) \times 9.04 ; \tau_1 = 2.26\ MPa$$

$$\tau_2 = \left(\frac{19.05}{38.1}\right) \times 9.04 ; \tau_2 = 4.52\ MPa$$

$$\tau_3 = \left(\frac{28.575}{38.1}\right) \times 9.04 ; \tau_3 = 6.78\ MPa$$

Menurut perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak titik yang ditinjau dengan titik pusat benda maka tegangan akan semakin kecil. Tegangan terbesar terjadi pada jarak terjauh dari titik pusat benda. Hasil analisa tegangan dengan *software* MSC Patran sudah menunjukkan sifat tersebut.

2. Perhitungan Tegangan dan Rotasi pada Poros yang Dikenai Momen Puntir



Gambar 17. Poros yang dikenai momen puntir

Sebelum mendapatkan nilai tegangan maka perlu dicari terlebih dahulu nilai momen inersia kutub (I_p) dan nilai Torsi.

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}$$

d (diameter) poros Monel 400 = 76.4 mm

c (jari – jari) poros Monel 400 = 38.1 mm

$$I_{p_{monel}} = \frac{3.14 \times 76.2^4}{32} ;$$

$$I_{p_{monel}} = 3308259.4\ mm^4$$

Untuk mendapatkan nilai Torsi (Nmm) maka dilakukan perkalian antara Gaya (N) dengan Lengan (mm), nilai Gaya sudah diketahui sebelumnya dari perhitungan *software*.

Tabel 11. Nilai torsi setiap bagian

No	Gaya (N)	Lengan (mm)	Torsi (Nmm)
1	289.9039	211.8	239518.6
2	361.27	326.45	310657.2
3	-82.232	244.2	-74255.3
4	-850.667	263.9	-808984
5	-801.012	265.6	-758398

Selanjutnya nilai torsi digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dengan rumus :

$$\tau = \frac{T \times c}{I_p}$$

Perhitungan tegangan pada poros Monel 400 :

$$\tau_1 = \frac{(T_5 + T_4 + T_3 - T_2 - T_1) \times c}{I_p};$$

$$\tau_1 = \frac{(277982.125) \times 38.1}{3308259.4};$$

$$\tau_1 = 3.20 \text{ MPa}$$

Rotasi pada poros Baja AISI 1045 dihitung dengan rumus :

$$\theta = \int_A^B \frac{T_x dx}{I_p G}$$

$$G_{\text{Baja}} = 8 \times 10^4; G_{\text{Monel}} = 6.48 \times 10^4$$

$$L_{AB} = 400 \text{ mm}; L_{BC} = 60 \text{ mm}; L_{CD} = 390 \text{ mm}; L_{DE} = 426 \text{ mm}; L_{EF} = 448 \text{ mm}; L_{GH} = 163 \text{ mm}$$

Perhitungan rotasi pada poros Baja AISI 1045 :

$$\theta = \frac{T_{AB}L_{AB}}{G_{\text{monel}}I_{pAB}} + \frac{T_{BC}L_{BC}}{G_{\text{baja}}I_{pBC}} + \frac{T_{CD}L_{CD}}{G_{\text{baja}}I_{pCD}} + \frac{T_{DE}L_{DE}}{G_{\text{baja}}I_{pDE}} + \frac{T_{EF}L_{EF}}{G_{\text{baja}}I_{pEF}} + \frac{T_{FG}L_{FG}}{G_{\text{baja}}I_{pFG}} + \frac{T_{GH}L_{GH}}{G_{\text{baja}}I_{pGH}}$$

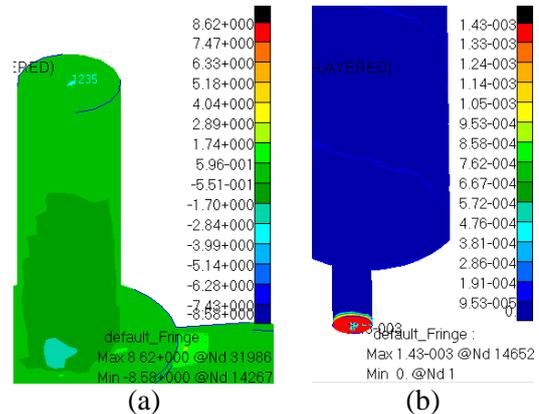
$$\theta = \left(\frac{277982.125 \times 400}{6.48 \times 10^4 \times 3308259.4} \right) + \frac{1}{8 \times 10^4 \times 10455733.41} ((277982.125 \times 60) + (339383.774 \times 390) + (457320.803 \times 426) + (437239 \times 448) + (212748.756 \times 263))$$

$$\theta = 0.0012 \text{ rad} \approx \frac{360}{2\pi} \times 0.0012 = 0.075^\circ$$

$$\approx \frac{0.075}{360} \pi d = 0.062 \text{ mm}$$

Untuk nilai tegangan (*Stress tensor – Y component*) pada poros Monel 400 hasil analisa *software* Msc. Patran adalah 2.84

Mpa dengan nilai rotasi sumbu y pada poros Baja AISI 1045 (*Displacement, rotational – Y component*) bernilai 0.00143 mm. Rotasi pada poros Monel 400 adalah nol, karena poros Monel 400 dikunci pada sumbu Y akibat adanya *steering gear*. Hasil analisa *software* Msc. Patran terlihat pada gambar 18 (a) dan (b)



Gambar 18. (a) Tegangan pada poros Monel 400 (b) Rotasi sumbu y pada poros Baja AISI 1045. Dengan kondisi $V_{\text{streamline}} = 11.98 \text{ m/s}$

Hasil yang sudah didapat melalui perhitungan manual dibandingkan dengan hasil analisa menggunakan *software*, perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 12. Perbandingan hasil perhitungan

	Hasil Software	Hasil Manual
Tegangan maksimal poros Monel 400 (MPa)	2.84	3.2
Rotasi pada poros Baja AISI 1045 (mm)	0.00143	0.062

Dari tabel 12. dapat kita lihat ada selisih perbedaan hasil antara perhitungan manual dan analisa menggunakan *software*. Hal ini disebabkan karena bentuk benda yang asimetris. Pada perhitungan manual pengambilan beban torsi dianggap terkena gaya yang merata pada setiap bagian daun kemudi. Sedangkan pada perhitungan *software* benda dianalisa dengan beban torsi pada setiap elemen.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan simulasi yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Analisa pada kondisi $V_{streamline} = 11.98$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling besar dibandingkan dengan analisa pada kondisi $V_{streamline}$ yang lain yakni bernilai 9.04 MPa untuk poros Monel 400 dan 11.8 MPa untuk poros Baja AISI 1045. Dan analisa pada kondisi $V_{streamline} = 9,58$ m/s memiliki nilai tegangan yang paling rendah yakni bernilai 7.98 MPa untuk poros Monel 400 dan 11.5 MPa untuk poros Baja AISI 1045.
2. Dilihat dari kontur warna tegangan pada poros kemudi, nilai tegangan geser tertinggi terletak pada titik titik terjauh (38.1 mm untuk poros berbahan Monel 400 dan 50.1 mm untuk poros berbahan Baja AISI 1045, diukur dari titik pusat poros). Hal ini sesuai dengan perhitungan rumus mekanika teknik tentang variasi tegangan pada batang melingkar.
3. Nilai *safety factor* poros kemudi kapal tradisional 200 GT Kabupaten Batang yang dianalisa melebihi angka 1, sehingga dapat dikatakan aman digunakan untuk operasi dengan kecepatan dinas 5 – 10 knot.

5.2 Saran

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

1. Nilai *safety factor* yang sudah dihitung jauh melebihi angka 1, hal ini menunjukkan adanya *over construction*. Perlu adanya penelitian lanjutan tentang perhitungan secara teknis spesifikasi material agar dapat efisien.
2. Untuk ketelitian yang lebih akurat hendaknya peneliti selanjutnya dapat benar benar mempertimbangkan karakteristik badan kapal dan baling baling kapal untuk mendapatkan nilai

kecepatan aliran fluida yang melewati daun kemudi akibat bekerjanya *propeller*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Web Wikipedia. 2015. *Indonesia* <https://id.wikipedia.org/wiki/Indonesia>
- [2] Amiruddin, Wilma. 2014. *Teknologi Kapal Tradisional*. Semarang: Universitas Diponegoro
- [3] Utomo, Budi. 2010. *Analisa Kinerja Kemudi Kapal MV Sirena Pada Pelayaran Percobaan Kapal Baru*. Semarang: Universitas Diponegoro
- [4] Szilard, R. 1989. *Teori dan Analisis Pelat*. Jakarta : Erlangga
- [5] Popov, E.P. 1978. *Mechanics of Material 2nd edition*. Prentice-Hall, Inc : New Jersey
- [6] Mulyanti . 2015 . *Bahan Ajar Mekanika Bahan*. Padang : Institut Teknologi Padang
- [7] Biro Klasifikasi Indonesia. 2013. *Rules for the Classification and Construction. Part I Seagoing Ship. Volume II Rules for Hull* . Jakarta : Biro Klasifikasi Indonesia
- [8] Simbolon, Herbet. 2015 . *Tugas Akhir : Analisa Nilai Maximum Thrust Propeller B-Series Dan Kaplan Series Pada Kapal Tugboat Ari 400 Hp Dengan Variasi Diameter, Jumlah Daun, Sudut Rake Menggunakan CFD*. Semarang : Universitas Diponegoro