



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisa Kelelahan *Propeller* Kapal Ikan PVC Dengan Metode Elemen Hingga

Hilman Andriyana Hidayatis Salam<sup>1)</sup>, Imam Pujo Mulyatno<sup>1)</sup>, Muhammad Iqbal<sup>1)</sup>

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

Email: [HilmanAndriyana@outlook.co.id](mailto:HilmanAndriyana@outlook.co.id), [pujomulyatno2@gmail.com](mailto:pujomulyatno2@gmail.com), [iqbal.muhammad.1412@gmail.com](mailto:iqbal.muhammad.1412@gmail.com)

### Abstrak

Kapal ikan merupakan kapal yang memiliki tugas utama untuk menangkap ikan tidak terkecuali bagi Kapal Ikan PVC Baruna Fishtama. Dalam melakukan tugas pokoknya tersebut, *propeller* merupakan salah satu komponen penting karena tanpanya sebuah kapal tidak akan bisa melakukan fungsi dan kegunaannya. Namun, sebuah baling-baling kapal harus memiliki kemampuan yang cukup dalam menopang gaya-gaya yang bekerja terhadapnya secara terus-menerus, yang dapat mengakibatkan terjadinya keretakan dan akhirnya mengalami kepatahan. Analisa kelelahan *propeller* diperlukan untuk dapat mengetahui batas waktu atau *fatigue life propeller* sehingga dapat menghindari terjadinya deformasi dan juga kemungkinan kecelakaan kerja pada saat kapal beroperasi. Pembebanan yang diberikan didapat dari hasil *contour pressure* pada analisa CFD terlebih dahulu yang kemudian di-*running* dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) untuk mendapatkan *Hot Spot Stress*. Hasilnya didapatkan *Hot Spot Stress* sebesar  $3,515 \times 10^{11}$  Pa yang berlokasi di daerah *root suction back propeller* akibat perbedaan tekanan yang cukup signifikan pada bagian *face* dan *back propeller*. Nilai tegangan tersebut dapat digunakan untuk mendapatkan *life cycle* minimum sebesar  $3,32 \times 10^9$  *cycle* yang kemudian didapatkan umur dari material selama 32,21 tahun.

Kata Kunci : *propeller*, kelelahan, metode elemen hingga, *hot spot stress*, *fatigue life*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kapal ikan merupakan kapal yang memiliki tugas utama untuk menangkap ikan. Bagi sebuah negara kepulauan yang besar seperti Indonesia, kapal ikan bukanlah jenis kapal yang sulit ditemui karena potensi sumber daya bahari yang cukup melimpah. Pada hakikatnya, dalam beroperasi kapal ikan melakukan tiga (3) tugas yaitu mencari ikan, mengejar ikan dan menangkap ikan termasuk bagi Kapal Ikan PVC Baruna Fishtama. Oleh karenanya, sebuah kapal ikan diharapkan memiliki komponen-komponen utama yang cukup optimal sehingga dapat menunjangnya dalam melakukan tiga tugas pokoknya tersebut salah satunya *propeller*.

Dewasa ini, bentuk dari *propeller* kapal semakin beragam seiring dengan semakin bertambahnya variasi bentuk dan kegunaan kapal

tersebut seperti pada Kapal Ikan Baruna Fishtama yang dibangun dengan penopang menggunakan tumpukan pipa sehingga dengan segala pertimbangan pada saat perancangannya memakai *propeller* dengan daun baling-baling (*blade*) yang berjumlah tiga (3). Namun, hal yang harus tetap diperhatikan ialah sebuah baling-baling kapal harus memiliki kemampuan yang cukup dalam menopang gaya-gaya yang bekerja terhadapnya seperti gaya dorong (*thrust*) yang dihasilkan itu sendiri, benturan maupun tekanan pada daun baling-baling dan juga torsi (*torque*) yang ditimbulkan. Apabila mengalami benturan gaya-gaya seperti yang sudah disebutkan secara terus-menerus, baling-baling kapal pun pada akhirnya akan mengalami keretakan dan akhirnya mengalami kepatahan.

Peninjauan yang akan dilakukan oleh penulis ini yaitu melakukan analisa kelelahan

pada propeller. Bahan atau material utama yang dipakai pada baling-baling kapal juga memiliki pengaruh yang besar terhadap batas waktu kemampuan (kelelahan) baling-baling sebelum mengalami deformasi dan kepatahan. Terjadinya sebuah deformasi pada propeller kapal merupakan suatu kerugian yang cukup besar karena propeller merupakan salah satu komponen cukup penting. Oleh karena itu, seorang desainer kapal harus bisa menentukan batas waktu atau fatigue life suatu kompartemen atau komponen di kapal salah satunya propeller sehingga dapat menghindari terjadinya deformasi dan juga kemungkinan kecelakaan kerja pada saat kapal beroperasi.

### 1.2. Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui titik paling rawan terjadi kelelahan pada propeller Kapal Ikan PVC Baruna Fishtama ?
2. Mengetahui nilai umur kelelahan (*fatigue life*) pada *propeller* yang digunakan?

### 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. Data *Propeller* diambil dari Kapal Ikan PVC Baruna Fishtama
2. Kecepatan putaran aliran yang digunakan adalah kecepatan putaran baling-baling pada saat kecepatan *advance* kapal ( $V_a$ )
3. Material yang akan dianalisa belum terdapat *crack* atau cacat lainnya
4. Mengabaikan pengaruh timbulnya kavitasasi pada propeller
5. Kondisi *propeller* akan dianalisa pada keadaan statis dengan putaran aliran yang dikehendaki
6. Mengabaikan kondisi aliran dari lambung kecuali kecepatan aliran yang sampai ke propeller
7. Analisa CFD hanya untuk mengetahui *contour pressure* yang ada
8. Analisa kelelahan material ini dilakukan hanya pada saat kecepatan dinas kapal

9. Menggunakan Ansys CFX sebagai *software* analisa CFD
10. Menggunakan metode Metode Elemen Hingga

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. *Propeller* (baling-baling kapal)

Baling-baling adalah alat penggerak kapal, salah satu bentuknya yang paling umum ialah baling-baling ulir. Baling-baling ini memiliki daun yang berjumlah dua atau lebih dengan posisi yang menjorok dari hub atau boss. Daun baling-baling tersebut dapat merupakan bagian yang menyatu dengan hub, atau merupakan bagian yang dapat dilepas dari dan dipasang pada hub atau merupakan daun yang dapat dikendalikan (*controllable pitch propeller*). Sedangkan hub baling-baling ini diposisikan pada poros agar dapat digerakkan oleh mesin penggerak kapal. [1]

### 2.2. Teori Baling-Baling

Prinsip kerja mur dan baut (*screw & nut*) merupakan hal yang mendasari teori awal baling-baling karena dapat menjelaskan dengan cara yang sangat sederhana. Jika berdasarkan rumus tersebut hasilnya sangat janggal karena kalau nilai slip tidak ada maka efisiensi baling-baling 100%. Akibat dari kejanggalan ini maka menimbulkan munculnya teori baling-baling sesuai dengan berkembangnya waktu atau zaman. [2]

### 2.3. Material *Propeller*

Penggunaan moda transportasi laut dalam hal ini kapal belakangan ini semakin bertambah intensitas penggunaannya karena dianggap cukup efektif sehingga memberikan dampak juga terhadap bertambahnya material logam yang dipakai sebagai bahan utama pembuatan baling-baling kapal.

Pada penelitian kali ini material *propeller* yang digunakan ialah *monel* atau *nickel alloys*. Material ini merupakan campuran logam nikel dengan *copper*, *manganese*, *carbon* dan sedikit *sulfur*. Tidak terlalu familiar dipakai sebagai material *propeller* dikarenakan kekuatan tariknya yang kecil.

Namun, hal yang paling dibutuhkan dari sifat material *propeller* yang digunakan antara lain:

1. Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap kelelahan akibat korosi saat di laut.
2. Tingkat ketahanan yang tinggi terhadap erosi akibat kavitasi.
3. Tingkat kekuatan yang tinggi terhadap rasio beban[9]

#### 2.4. Karakteristik Kelelahan Logam

Salah satu jenis kegagalan (patah) pada komponen akibat beban dinamis (pembebanan yang berulang-ulang atau berubah-ubah) dikenal dengan nama kelelahan yang diperkirakan memiliki pengaruh sebesar 50%-90% dari kegagalan mekanis. Modus kegagalan struktur dibedakan menjadi 2 katagori yaitu:

1. Modus kegagalan yang tergantung pada waktu.  
Modus kegagalan dinyatakan dengan umur atau *life time*. Patah ulet dan patah getas merupakan contoh dari kegagalan ini. Jenis-jenis modus kegagalan yang tergantung pada waktu yaitu:
  - a. Kelelahan.
  - b. Mulur.
  - c. Keausan.
  - d. Korosi
2. Modus kegagalan quasi statik.  
Modus kegagalan yang tidak tergantung waktu dan ketahanannya dinyatakan dengan kekuatan. Jenis-jenis modus kegagalan statik yaitu:
  - a. Kegagalan akibat beban tarik
  - b. Kegagalan akibat beban tekan
  - c. Kegagalan akibat beban geser [6]

#### 2.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah suatu metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa permasalahan yang berhubungan dengan aliran fluida dan merupakan salah satu cabang dari penerapan mekanika fluida. *CFD* ini bertujuan untuk memperkirakan secara tepat tentang aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam sistem yang kompleks, yang saling melibatkan baik satu maupun semua fenomena tersebut. [3]

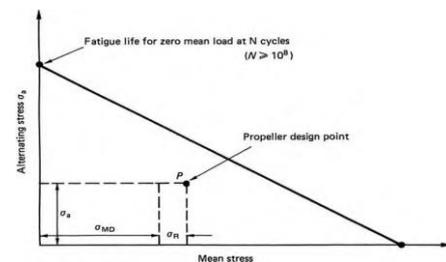
#### 2.6. Metode Elemen Hingga

Penelitian yang dilakukan oleh penulis kali ini akan menggunakan metode permodelan dan analisis elemen hingga. Metode elemen hingga

(*finite element method*) merupakan sebuah prosedur numerik untuk menghasilkan solusi dari permasalahan yang ditemukan dalam analisa teknik yang terjadi. Dengan menggabungkan beberapa konsep matematika maka dapat menemukan persamaan sistem linier atau nonlinier sesuai yang digunakan pada penelitian. [10]

#### 2.7 Tegangan (Stress) yang Dibolehkan

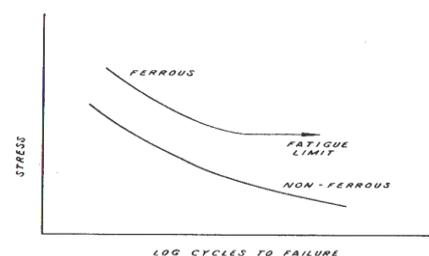
Desain kekuatan baling-baling harus didasarkan pada analisis kelelahan, Namun, itu tidak cukup dan akurat untuk desain dasar pada kekuatan tarik sederhana atau menghasilkan kriteria stres. Dalam rangka untuk menghubungkan tekanan blade, baik *steady state* dan berfluktuasi, dengan kriteria desain beberapa bentuk analisis kelelahan itu penting. Umur kelelahan harus selalu berhubungan dengan siklus  $10^8$  atau lebih besar. Grafik analisa kelelahan pada propeller dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Grafik kelelahan *propeller* [9]

#### 2.6. Diagram S-N

Fenomena kelelahan logam dapat dipahami menggunakan konsep tegangan-siklus (S-N). Konsep ini sudah dipergunakan secara global untuk perancangan material dengan ketentuan tegangan yang terjadi masih berada pada daerah elastis dan memiliki umur lelah yang cukup panjang. Namun sebaliknya, konsep S-N ini tidak dapat dipakai dalam kondisi tegangan yang terjadi berada pada daerah plastis dan memiliki umur lelah yang pendek.

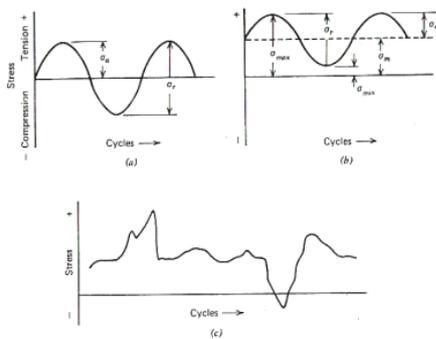


Gambar. 2.2 Kurva S-N [4]

## 2.9. Fatigue

Sebuah beban yang dilakukan berulang-ulang dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan atau kegagalan, salah satunya ialah fatigue. Sekitar 90% dari kerusakan pada material yang paling sering terjadi disebabkan oleh kegagalan.

Tegangan yang terjadi akibat *fatigue* dapat dibedakan menjadi tiga siklus umum, yaitu yang pertama adalah fluktuasi tegangan terjadi mulai dari tegangan rata-rata nol dengan amplitude yang konstan. Kemudian siklus berikutnya yaitu fluktuasi tegangan dimulai diatas garis rata-rata nol dengan amplitude konstan. Siklus yang terakhir ialah fluktuasi tegangan yang tidak rata atau acak. Gambar di bawah ini merupakan visualisasi dari tiga siklus tersebut. [5]



Gambar 2.3 Tiga tipe pembebanan siklus *fatigue*

## 2.10. Faktor Keamanan

Faktor keamanan atau dikenal juga dengan istilah *safety factor* yaitu merupakan sebuah aspek dalam dunia keteknikan yang digunakan untuk mengukur atau menilai batas kemampuan suatu bahan akibat beban dari luar (*external load*) (seperti beban tekan dan juga beban tarik) yang bekerja terhadapnya. Kemampuan maksimal dari bahan tersebut dalam menahan beban luar yang bekerja terhadapnya sehingga terjadi fenomena kepecahan dari bahan tersebut dikenal dengan istilah beban maksimal (*ultimate load*) yang kemudian dari beban akhir ini bisa didapatkan kekuatan maksimal (*ultimate strength*) atau tegangan maksimal (*ultimate stress*). [10]

Berdasarkan pengertian secara umum dari faktor keamanan, besarnya tegangan yang terjadi harus bernilai lebih kecil daripada tegangan yang diijinkan terjadi (*allowable stress*).

$$FS = \frac{\sigma_{Ijin}}{\sigma_{Terjadi}} \geq 1 \quad [7]$$

Pada perbandingan yang ditunjukkan di atas kemudian dikenal dengan faktor keamanan (*factor*

*of safety*) dan diharuskan memiliki nilai lebih besar atau sama dengan satu (1).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Pengumpulan Data

#### 3.1.1. Data Primer

Berikut data ukuran utama desain propeller:

- Diameter *propeller* : 0,762 m
- *Pitch* : 0,501 m
- *Blade Area Ratio* : 0,5
- *Skew Angle* : 0°
- *Pitch Ratio* : 0,657
- *Rake Angle* : 0°
- Material : *Nickel Alloys*

Berikut data ukuran utama kapal yang digunakan dalam penelitian ini:

- *Type of Ship* : Kapal Ikan PVC Baruna Fishtama
- *Length over all (LOA)* : 18,3 m
- *Breadth (B)* : 4,2 m
- *Depth (H)* : 0,75 m
- *Vs* : 10 knot
- *DWT* : 17 ton

Berikut data spesifikasi mesin kapal yang digunakan dalam penelitian ini:

- Merk Mesin : Tianli
- Kapasitas : 1 x 65 *Horse Power (HP)*
- RPM Mesin : 1500

### 3.2 Analisa dan Pengolahan Data

#### 3.2.1 Pembuatan Model

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *Software PropCad dan Solid Work*

#### 3.2.2. Pembebanan Model

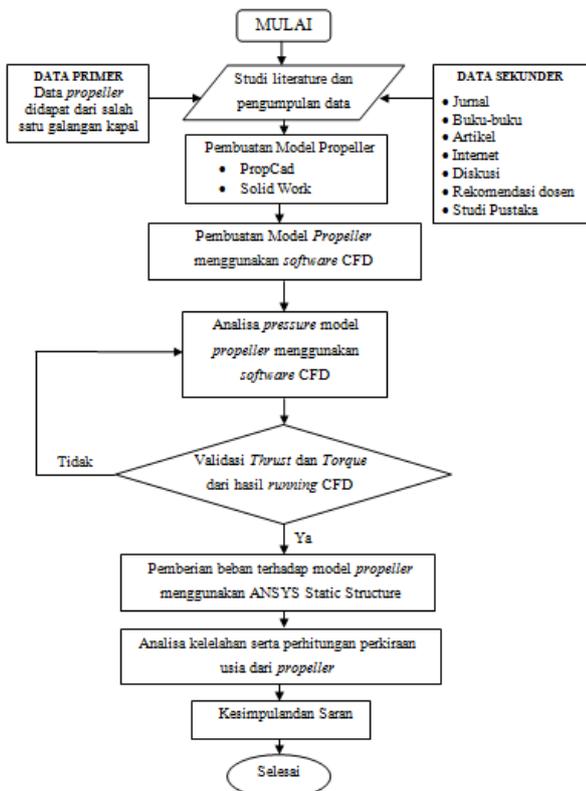
Setelah model propeller dari data-data yang ada telah dibuat maka model propeller dilakukan proses running menggunakan software CFD sehingga timbul contour pressure terhadap gaya-gaya maupun beban hidrodinamis yang dialaminya. Dengan begitu bisa ditentukan letak beserta nilai kekuatan dari hotspot stress dari model propeller tersebut.

#### 3.2.3. Analisa Kelelahan Material

Penentuan letak beserta nilai *hot spot stress* tertinggi yang telah didapat bisa dianalisa kelelahannya pada model yang di *running* kemudian nilai tersebut dikonversi menjadi jumlah siklus material.

### 3.3 Diagram Alir (Flow Chart)

Pada penelitian ini langkah-langkah penelitian mengacu pada diagram alir pada berikut:

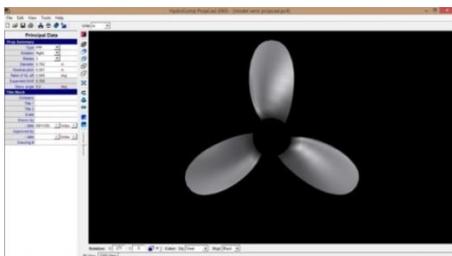


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

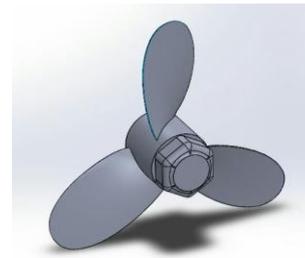
### 4.1. Pembuatan Model

Data ukuran utama propeller yang telah didapatkan, digunakan sebagai input pada software PropCad guna menghasilkan bentuk 3D. Berikut ini adalah hasil visualisasi desain geometri pada software PropCad.



Gambar 4.1 Hasil Penggambaran Propeller dengan software PropCad.

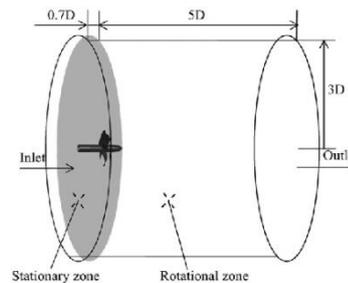
Kemudian, pembuatan model Propeller menggunakan software Solidwork. Berikut ini hasil visualisasi desain geometri pada software Solidwork:



Gambar 4.2 Hasil Visualisasi Model Propeller dengan Software Solidwork

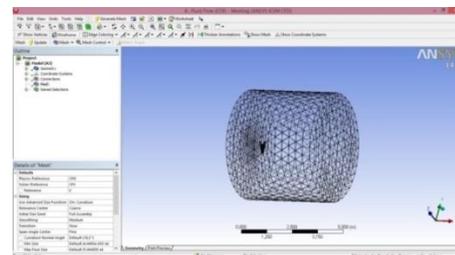
### 4.2 Analisa CFD Dengan ANSYS CFX

Analisa CFD ini dilakukan supaya mendapatkan nilai pressure pada propeller yang diakibatkan oleh beban hidrodinamik. Dalam penelitian ini, model propeller harus berada di dalam sebuah Boundary Building supaya bisa dianalisa menggunakan software CFD. Ukuran dari Boundary Building yang digunakan ialah berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Ji dan Luo, 2012) [8]



Gambar 4.3 Boundary Building [8]

Langkah selanjutnya setelah membuat Boundary Building ialah meshing. dalam melakukan meshing metodenya bisa berupa ukuran mesh yang diinginkan atau menggunakan pilihan yang disediakan.



Gambar 4.4 Hasil Meshing

Hasil dari proses meshing yang telah dilakukan ialah berupa statistik ukuran serta jumlah node dan elemen, antara lain sebagai berikut:

- Number of Nodes : 69182 nodes
- Number of Elements : 379738 elements
- Minimum Size : 0,0044485 m
- Maximum Size : 0,88970 m

Dalam proses analisa CFD ini diperlukan melakukan setting kondisi batas yang tepat sebelum dilakukan proses running agar mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan. Berikut adalah kondisi batas yang dilakukan pada penelitian ini:

Tabel 4.1. *Domain Physics* pada CFX

<b>Domain - Default Domain</b>	
Type	Fluid
Location	B424
<i>Materials</i>	
<i>Water</i>	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continous Fluid
<i>Water</i>	
Buoyancy Model	Non Buoyant
Domain Motion	Rotating
Anular Velocity	[rev min <sup>-1</sup> ]
Axis Definition	Coordinate Axia

Tabel 4.2 *Boundary Physics wall* pada CFX

<b>Boundary - Wall</b>	
Type	Wall
Location	Wall
<i>Settings</i>	
Mass and Momentum	Free Slip Wall

Tabel 4.3 *Boundary Physics inlet* pada CFX

<b>Boundary - Inlet</b>	
Settings	Inlet
Location	Inlet
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Normal Speed
Normal Speed	4,27 [m s <sup>-1</sup> ]
Turbulence	Medium Intensity and Eddy Viscosity Ratio

Kecepatan pada *inlet* didapat dari perhitungan menggunakan *software* Tdyn pada analisa hambatan Kapal PVC Baruna Fishtama yang telah dilakukan sebelumnya oleh (Baskoro H, 2016).

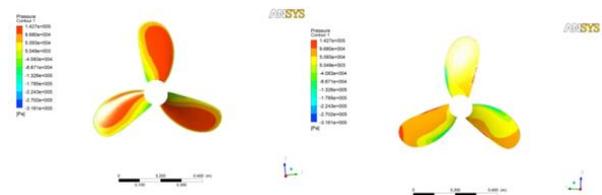
Tabel 4.4 *Boundary Physics outlet* pada CFX

<b>Boundary - Outlet</b>	
Settings	Outlet
Location	Outlet
<i>Settings</i>	
Flow Regime	Subsonic
Mass And Momentum	Average Static Pressure

Pressure Profile Blend	5.00E-02
Relative Pressure	0.0000e+00 [Pa]
Pressure Averaging	Average Over Whole Outlet

Setelah setup selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah *solution*. Dalam tahap ini proses perhitungan (*running*) dilakukan berupa literasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD kemudian baru bias terlihat hasil *running* pada tahap *Results*.

Berikut adalah visualisasi *contour pressure* dari bagian depan (*face*) dan belakang (*back*) dari model *propeller*:

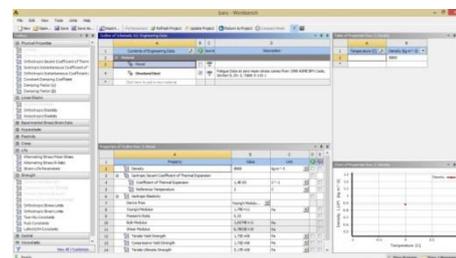


Gambar 4.5 Visualisasi *Contour Pressure*

Dari Gambar 4.5 di atas, bisa dilihat bahwa nilai dari *maximum pressure* yang dimiliki oleh model *propeller* yang dianalisa ialah sebesar 142,7 kPa pada bagian depan dari *propeller* sedangkan *minimum pressure* yang didapat ialah sebesar -316,1 kPa yang terdapat pada bagian belakang dari *propeller*.

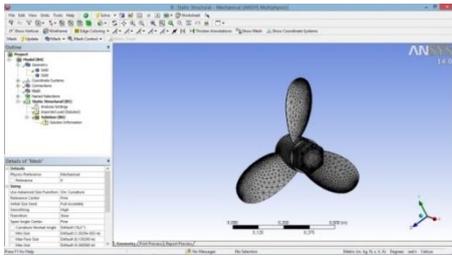
### 4.3. Analisa Kekuatan dan Kelelahan Material Dengan ANSYS Static Structural

Tahap pertama dalam analisa kekuatan dan kelelahan ini yaitu pemilihan material untuk model *propeller* yang akan digunakan. Pada penelitian kali ini material yang digunakan ialah *monel* atau *nickel alloys*.



Gambar 4.6 Pemilihan material *Monel* yang akan digunakan

Tahap selanjutnya ialah proses *importing* dan *meshing model*. Perbedaannya pada analisa sebelumnya hanya terletak pada *boundary building* yang pada tahap ini tidak diperlukan atau hanya model *propeller* saja.

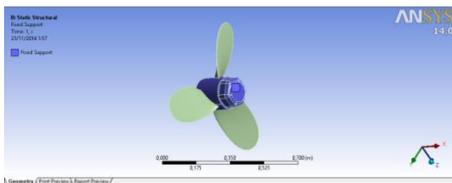


Gambar 4.7 Meshing Model Propeller

Hasil dari proses *meshing* yang telah dilakukan ialah berupa statistik ukuran serta jumlah *node* dan *elemen*, antara lain sebagai berikut:

- *Number of Nodes* : 215540 *nodes*
- *Number of Elements* : 139878 *elements*
- *Minimum Size* : 0,0013029 m
- *Maximum Size* : 0,260580 m

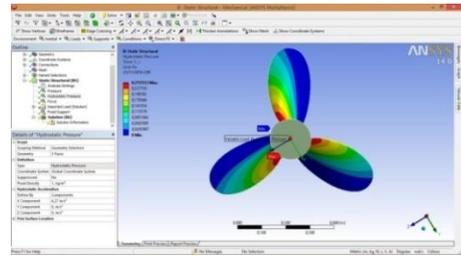
Tahap berikutnya ialah penentuan *boundary condition* yaitu dengan menjadikan *hub* model *propeller* sebagai *fixed support* dengan tujuan *hub propeller* tidak bergerak pada saat model *propeller* nanti diberikan pembebanan.



Gambar 4.8 Pemberian *Fixed Support* pada Model *Propeller*

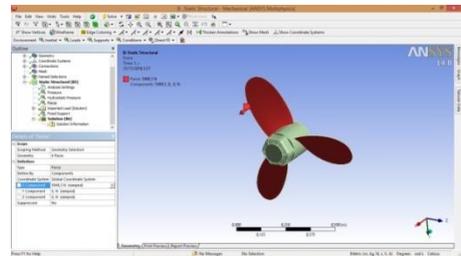
Kemudian yang harus dilakukan adalah pemberian beban yang bekerja pada model *propeller* yang dianalisa dengan tujuan untuk bisa mendapatkan *hot spot stress* yang diinginkan. Berikut ini merupakan pembebanan-pembebanan yang diterapkan pada model *propeller* Kapal PVC Baruna Fishtama:

- *Hydrostatic Pressure*  
Pembebanan *hydrostatic pressure* merupakan beban utama (beban hidrodinamik) yang diterima mengingat model yang dianalisa bekerja dikelilingi oleh fluida yang dalam hal ini adalah air maka tidak bisa disangkal bahwa model *propeller* ini mengalami tekanan hidrostatis dari aliran fluida pada daerah inlet dengan kecepatan ( $V_a$ ) sebesar 4,27 m/s yang kemudian menghantam *suction back* model *propeller*.



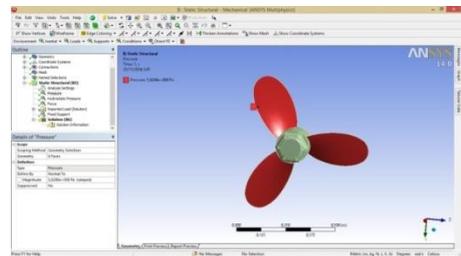
Gambar 4.9 Pemberian Beban *Hydrostatic Pressure* pada Model *Propeller*

- *Force*  
Beban *force* yang dimaksud disini ialah gaya dorong yang diterima bagian *face propeller* sesaat setelah mendapatkan *hydrostatic pressure* pada bagian *suction back*. Besarnya gaya dorong didapat dari analisa CFD sebelumnya yaitu sebesar 5949,34 N.



Gambar 4.10 Pemberian Beban *Force* pada Model *Propeller*

- *Pressure*  
Beban hidrodinamik yang terjadi pada model *propeller* yang dianalisa merupakan contoh kasus dari penerapan Hukum Bernoulli seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya yaitu perbedaan tekanan pada kedua sisi *propeller* yaitu depan (*face*) dan belakang (*back*).

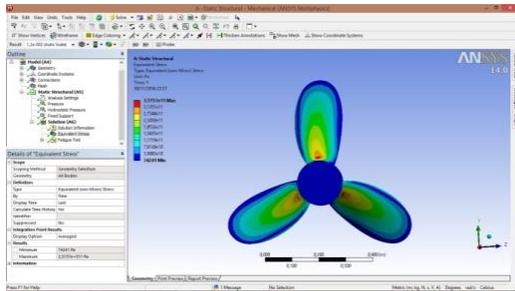


Gambar 4.11 Pemberian Beban *Pressure* pada Model *Propeller*

#### 4.3.1. *Hot Spot Stress*

Tahapan ini merupakan tahapan yang penting dikarenakan salah satu dari tujuan dari penelitian ini yaitu menemukan besarnya nilai *hot spot stress* atau titik paling rawan terjadinya

kelelahan pada model *propeller* yang dianalisa. Hasil dari proses *running* yaitu didapat *hot spot stress* sebesar  $3,515 \times 10^5$  MPa yang berlokasi pada bagian *root* dari *blade propeller*.



Gambar 4.12 Hasil *Running Hot Spot Stress* pada Model *Propeller*

#### 4.3.2. Analisa Kelelahan

Hasil analisa kekuatan yang sudah didapat sebelumnya harus diuraikan menjadi empat (4) kondisi tegangan menjadi kondisi tegangan maksimal, tegangan minimal, tegangan rata-rata dan tegangan amplitudo supaya bisa dianalisa kelelahannya. Berikut adalah rinciannya:

1. Tegangan Maksimal
2. Tegangan Minimal
3. Tegangan Rata  
(Tegangan Maks + Tegangan Min)/2
4. Tegangan Amplitudo  
(Tegangan Maks - Tegangan Min)/2 [5]

Tabel 4.5 Rekap Hasil Analisa Tegangan

Kondisi Beban	Tegangan Maksimal (Pa)
Maksimal	$3,515 \times 10^{11}$
Minimal	$7,424 \times 10^4$
Rata-Rata	$1,75785 \times 10^{11}$
Amplitudo	$1,75784 \times 10^{11}$

Dari penguraian tegangan seperti di atas maka bisa dibuat kurva tegangan bolak-balik dari model *propeller*. Kemudian dari kurva tersebut bisa didapatkan kurva S-N yang digunakan untuk memahami fenomena kelelahannya. Pada *software*, bisa dilakukan proses *running* dengan cara menambahkan opsi *Fatigue Tool* pada *tab Solution*. Kemudian hasilnya bisa dilihat bahwa siklus terpendek dari *hot spot stress* sebesar  $3,32 \times 10^9$  siklus.

#### 4.3.3. Perkiraan Umur Material

Hasil siklus terpendek dari *running* menggunakan *software* bisa dipergunakan untuk mengetahui umur material *propeller* yang dianalisa menggunakan rumus *first-order fatigue cycle*. Berikut adalah rumusnya:

$$\text{First-order fatigue cycle} = \text{rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days one year} [9]$$

$$\text{First-order fatigue cycle} = 696 \times 60 \times 24 \times 300 = 3,006 \times 10^8$$

Maka *fatigue cycle*-nya sebagai berikut:

Tabel 4.5 *First-order fatigue cycle*

<i>First-Order Fatigue Cycle</i>	
Time	Number of Cycles
1st Hour	4,18E+04
1st Day	1,00E+06
1st Month	3,01E+07
1st Year	3,01E+08
2nd Year	6,01E+08
10th year	3,01E+09
15th year	4,51E+09
20th year	6,01E+09
25th year	7,52E+09

Berdasarkan hasil *running* didapat bahwa siklus terpendek pada *hot spot stress* sebesar  $3,32 \times 10^9$  siklus dan jika dibandingkan pada *First-order Fatigue Cycle* maka berada pada tahun ke-11,04.

Hasil dari analisa kelelahan menggunakan *software* bisa diperkirakan berdasarkan tabel *fatigue cycles* di atas dengan cara seperti di bawah ini :

(Appendix of JTP Common Structural Rules)

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Design Life}}{DM} \times \text{years} [4]$$

Keterangan:

*Design Life* = 25 tahun sesuai aturan klasifikasi

DM = *cumulative fatigue damage*  
 $= \frac{NL}{Ni}$

N<sub>L</sub> = Total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun

N<sub>i</sub> = Jumlah siklus hasil analisa

$$N_L = \frac{0,85T_L}{4 \log L}$$

T<sub>L</sub> = Umur material *propeller* selama 25 tahun sebesar  $7,52 \times 10^9$  siklus

L = Lpp Kapal

Maka, nilai DM yang didapat ialah 0,776 sehingga *fatigue life* dari *propeller* yang dianalisa yaitu sebesar 32,21 tahun

#### 4.4. Perhitungan *Safety Factor* dan Tegangan Izin

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

Sebelum mencari *safety factor*, dicari terlebih dahulu nilai tegangan izin sesuai kekuatan luluh (*yield strength*) dari material yang digunakan. Pada penelitian ini menggunakan material dengan nilai *yield strength* sebesar  $3,54 \times 10^{11}$  Pa.

Perhitungan *safety factor* disesuaikan dengan kriteria bahan, yaitu *nickel alloys*:

Tabel 4.6 Perhitungan *Safety Factor* Menurut Tegangan Izin

Kondisi Beban	Tegangan yang terjadi (Pa)	Yield Strength (Pa)	Safety Factor	Keterangan
Baban Maksimal	$3,515 \times 10^{11}$	$3,54 \times 10^{11}$	1,00	Memenuhi
Beban Minimal	$7,424 \times 10^4$	$3,54 \times 10^{11}$	$4,76 \times 10^6$	Memenuhi
Beban Rata-Rata	$1,75785 \times 10^{11}$	$3,54 \times 10^{11}$	2,01	Memenuhi
Beban Amplitudo	$1,75784 \times 10^{11}$	$3,54 \times 10^{11}$	2,01	Memenuhi

#### 4.5. Validasi

Validasi yang dilakukan ialah validasi *Thrust* dan *Torque* pada *propeller*. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$J = \frac{V_a}{nD} \quad K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} \quad K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5}$$

Dimana:

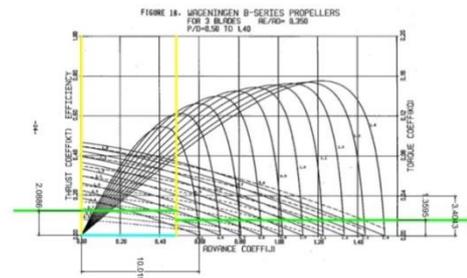
KT = Koefisien gaya dorong baling-baling

KQ = Koefisien torsi baling-baling  
 J = Koefisien *advanced* baling-baling  
 Va = Kecepatan *advanced*, fr/s  
 D = Diameter *propeller*, ft  
 n = Putaran *propeller*, rev/s  
 T = *Thrust propeller*, lbf  
 Q = *Torque propeller*, lbf ft  
 ρ = Massa jenis fluida (*fluid density*), 1,99905 S<sup>2</sup>/ft<sup>4</sup>

- Perhitungan Koefisien *Advance* (J)

$$J = \frac{14,01 \text{ ft/s}}{11,6 \text{ rps} \times 2,5 \text{ ft}} = 0,483$$

Hubungkan nilai Koefisien *Advance* yang sudah didapat dengan nilai P/D sebesar 0,65, dan juga Expanded BAR sebesar 0,35 pada grafik *Wageningen B-Series* seperti di bawah ini.



Gambar 4.13 Diagram KT-KQ-J Hasil Perpotongan Garis Berdasarkan Model

- Nilai Koefisien KT

$$K_T = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} = 0,123 = \frac{T}{1,9905 \times 11,6^2 \text{ rps} \times 2,5^4 \text{ ft}}$$

$$T = 128,90 \text{ lb} = 5724,42 \text{ N}$$

- Nilai Koefisien KQ

$$K_Q = \frac{Q}{\rho \cdot n^2 \cdot D^5} = 0,016 = \frac{Q}{1,9905 \times 11,6^2 \text{ rps} \times 2,5^5 \text{ ft}}$$

$$Q = 418,503 \text{ lb.ft} = 567,41 \text{ Nm}$$

Kedua nilai di atas dibandingkan dengan nilai dari *software* (*Thrust* = 5949,34 N; *Torque* = 552,132 Nm) memiliki selisih berturut-turut sebesar 3,93 % dan 2,69 %. Maka, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan matematis dengan perhitungan menggunakan *software* cukup akurat karena tidak melebihi 5%.

## 5. KESIMPULAN

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

1. Nilai *hot spot stress* yang didapat sebesar  $3,515 \times 10^{11}$  Pa dan berlokasi di daerah *root suction back propeller*
2. Perkiraan umur kelelahan (*fatigue life*) dari material *propeller* yang dianalisa pada saat pembebanan adalah 32,21 tahun

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harvald, SV, AA. 1983. *Resistance And Propulsion Of Ships*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Manik, Parlindungan, 2008, *Buku Ajar Propulsi Kapal*, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP: Semarang
- [3] Simbolon, Herbet. 2015, *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*, Tugas akhir, Jurusan Teknik Perkapalan, UNDIP : Semarang.
- [4] Ridho, M. 2015, *Analisa Fatigue Propeller Tugboat Ari 400 HP Dengan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir, Program Studi S1 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro UNDIP: Semarang.
- [5] Harsokoesoemo, Darmawan. Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, “*Kriteria Patah Lelah Untuk Perancangan Elemen Mesin*”. Diktat Kuliah MS-515 Kriteria Patah Lelah Semester I.
- [6] Akuan, Abrianto, Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, “*Kelelahan Logam*”. Diktat Kuliah
- [7] Volume II. 2013. “*Rules For The Classification and Construction. Part 1. Seagoing Ships*”. Biro Klasifikasi Indonesia. Indonesia
- [8] Ji, B, Luo, X.W, Peng, X.X, Wu, Y.L, Xu, H.Y, 2011, *Numerical Analysis Of Cavitation Evolution And Excited Pressure Fluctuation Around A Propeller In Non-Uniform Wake*, Jurnal Internasional, TSINGHUA UNIVERSITY: Beijing
- [9] Carlton, J. S, 2007, *Marine Propellers and Propulsion, 2nd Edition*, United Kingdom: Elsevier, Oxford
- [10] Hizrian H, M, 2016, *Analisa Kelelahan Rantai Jangkar Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*, Tugas Akhir,