

ANALISA FATIGUE PROPELLER TUGBOAT ARI 400HP DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Ridho¹, Ahmad Fauzan Zakki¹, Parlindungan Manik¹
¹Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email : muhammad.ridho2109@gmail.com

Abstrak

Kapal menggunakan *propeller* sebagai alat gerak untuk mengubah daya yang dihasilkan dari mesin induk menjadi daya dorong sehingga kapal dapat melaju dipermukaan air sehingga *propeller* harus mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada *blade* akibat beban hidrodinamik. Kekuatan material *propeller* ketika diberikan beban secara terus menerus maka material tersebut akan sampai pada titik lelehnya (*fatigue*). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan perkiraan usia material. Penelitian ini dilakukan dengan cara menganalisa *pressure* yang diakibatkan oleh beban hidrodinamis dengan menggunakan program computer berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamic*) sebagai data *input*. *Pressure* yang didapatkan, digunakan untuk menganalisa *fatigue life* dan letak dari *hotspot stress*. Pembebanan dilakukan dengan putaran baling-baling pada saat kecepatan dinas. Berdasarkan analisa yang dilakukan, mendapatkan nilai stress sebesar 133,6 Mpa dan siklus minimum sebesar $3,56 \times 10^8$ serta *hotspot stress* terjadi pada daerah *root* bagian *back* dari baling-baling yang dianalisa. Setelah didapat semua nilai siklus dan *stress*, dapat diketahui perkiraan umur material *propeller* selama 31,05 Tahun.

Kata kunci : *propeller, pressure, CFD, hotspot stress, siklus, fatigue life*

Abstract

Ships using the propeller as a motion to modify the generated power from the main engine into thrust so that the ship can go on the water. Propeller must be able to withstand the forces acting on the blade. The strength of the propeller material when given continuously load the material will come to the point of fatigue . The study was conducted by analyzing the pressure caused by hydrodynamic loads by using a computer program based on CFD (Computational Fluid Dynamics) as the input data used to analyze the fatigue life and hotspots stress location. Pressure Load is applied by rotation propeller at a speed of service. Based on the analysis, get the value of the stress of 133.6 MPa and a minimum of $3,56 \times 10^8$ cycle as well as hotspots stress occurs in the root area of the back part of the propeller were analyzed. Having obtained all the cycles and stress values, it can be seen the expected life of the propeller material during 31.05 years of service.

Keywords: propeller, pressure, CFD, hotspot stress, cycle, fatigue life

1. PENDAHULUAN

Kapal menggunakan *propeller* sebagai alat gerak untuk mengubah daya yang dihasilkan dari mesin induk menjadi daya dorong sehingga kapal dapat melaju dipermukaan air. *Propeller* merupakan salah satu komponen yang penting di kapal, oleh karenanya *propeller* haruslah mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada daunnya (*blade*). Gaya-gaya yang bekerja antara lain tekanan hidrostatis, gaya dorong (*thrust force*) pada masing-masing daun, torsi (*torque*) pada masing-masing daun dan gaya sentrifugal. Akibat gaya-gaya yang timbul tersebut, maka material *propeller* harus memiliki kekuatan yang cukup sehingga tidak akan melengkung melebihi batas yang diijinkan.

Kekuatan material *propeller* ketika diberikan beban secara terus menerus maka material tersebut akan sampai pada titik lelehnya (retak dan patah) sehingga dapat mengganggu kinerja kapal dalam berlayar. Kelelahan material sangatlah penting diperhatikan. Kelelahan material *propeller* dapat menyebabkan deformasi yang besar dan patah. Oleh sebab itu, desainer memberikan perhatian lebih untuk mencegah terjadinya kerusakan pada *propeller*. Untuk mengantisipasi hal itu sebenarnya bisa disimulasikan menggunakan *software* yang bisa memperkirakan usia dari material tersebut. Metode elemen hingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat karena material akan dibagi menjadi elemen-elemen

kecil dimana elemen tersebut akan menunjukkan nilai kekuatan dan kelelahan dari pengujian yang dilakukan.

Dengan memperhatikan padalar belakang maka diambil beberapa rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut

1. Dimana titik paling rawan terjadi kelelahan?
2. Berapa *fatigue life* pada daerah *hot spot stress*?

Batasan masalah yang digunakan sebagai arah serta acuan dalam penulisan penelitian ini agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang diharapkan. Batasan permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. *Propeller* diasumsikan diberi tegangan jepit pada bagian *boss (Hub)*.
2. Analisa dilakukan pada material yang belum terdapat *crack* atau cacat lainnya sampai material tersebut terdapat *initial crack*.
3. Analisa kelelahan material hanya pada saat kecepatan dinas kapal.
4. Analisa dilakukan dengan mengabaikan faktor ataupun kondisi aliran dari lambung kecuali kecepatan aliran yang sampai ke *propeller*.
5. Tidak menghitung pengaruh fenomena kavitasi pada baling-baling.
6. Analisa CFD hanya untuk mengetahui *contour pressure* yang ada dan tidak menganalisa distribusi aliran fluida, daya dorong dan torsi.
7. Kondisi *propeller* yang dianalisa pada keadaan statis dengan putaran aliran yang dikehendaki.
8. Kecepatan putaran aliran yang digunakan adalah kecepatan putaran baling-baling pada saat kecepatan dinas kapal.

Sesuai dengan latar belakang dan permasalahan yang telah dibahas maka penelitian ini mempunyai beberapa tujuan. Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan titik paling rawan terjadi kelelahan (*hot spot stress*).
2. Mendapatkan *fatigue life* pada daerah *hot spot stress*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum *Propeller*

Propeller (baling-baling) adalah alat untuk mengubah gaya rotasi untuk menghasilkan gaya dorong. *Propeller* diputar dengan poros yang digerakkan oleh mesin utama yang terdapat didalam kamar mesin. Ditinjau dari jenis *propeller* ada beberapa macam yaitu sebagai berikut:

a. *Controllable Pitch Propellers* (CPP) : CPP adalah salah satu jenis *propeller* dimana pada jenis ini *pitch propeller* dapat diatur sesuai kebutuhan.

b. *Fixed Pitch Propellers* (FPP) : FPP merupakan jenis *propeller* dimana *pitch propeller* tidak dapat diatur tetapi jenis ini paling banyak digunakan baik kapal besar maupun kecil.

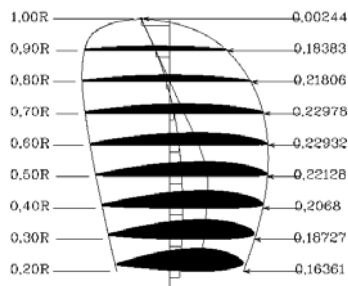
c. *Contra-rotating propellers*: Baling-baling jenis ini mempunyai dua-coaxial *propellers* yang dipasang dalam satu sumbu poros, secara tersusun satu didepan yang lainnya dan berputar saling berlawanan arah.

d. *Overlapping Propellers*: Konsep dari baling-baling ini adalah dua *propeller* tidak dipasang/diikat secara *coaxially*, tapi masing-masing *propeller* memiliki sumbu poros pada sistem perporosan yang terpisah.[1]

2.2 Hidrodinamika Baling-baling

Dalam membuat bentuk dasar *propeller* dibutuhkan bentuk yang hidrodinamis yaitu yang dinamakan hidrofoil dimana menghasilkan suatu *lift* yang lebih besar dibandingkan dengan *drag*-nya. Pergerakan dari hidrofoil ini terjadi pada suatu media fluida dengan kecepatan yang memungkinkan terjadinya hidrodinamika.

Hidrodinamika adalah peristiwa dimana kecepatan antara bagian atas dan bawah hidrofoil terjadi perbedaan. Fluida yang melalui bagian atas airfoil melaju lebih cepat daripada fluida yang melewati bagian bawah. Hal ini disebabkan adanya perbedaan tekanan antara aliran fluida bagian atas dan aliran fluida bagian bawah. Seperti yang kita ketahui bahwa besarnya tekanan berbanding terbalik terhadap besarnya kecepatan. Sehingga yang terjadi adalah aliran fluida yang melalui bagian bawah hidrofoil lebih pelan bila dibandingkan bagian atas hidrofoil, perbedaan tekanan yang terjadi inilah yang kemudian akhirnya menimbulkan fenomena *lift* atau gaya angkat itu. Perhitungan kekuatan daun baling baling bertujuan untuk mengetahui kemampuan daun baling-baling untuk menahan beban dari gaya-gaya yang bekerja pada daunnya. Pengaruh tipis daun baling-baling sangat mempengaruhi kekuatan dari daun baling-baling tersebut. [2]



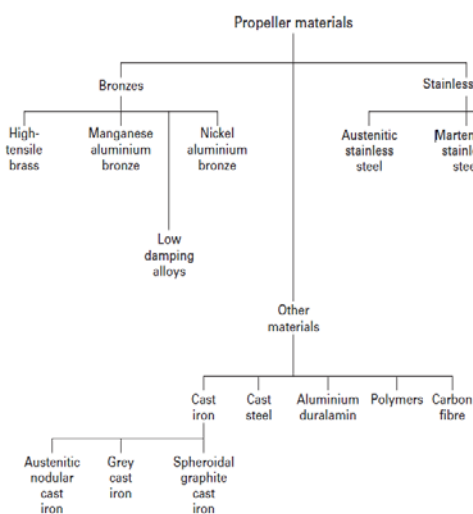
Gambar 1. Foil pada *propeller blade*

2.3 Material *Propeller*

Material yang banyak digunakan untuk membuat baling-baling pada saat ini adalah kelompok *bronze* atau kelompok *stainless steel*. *Copper* murni mempunyai tegangan tarik 215 N/mm², tetapi ketika dibandingkan dengan *properties* kekuatan tarik, material ini termasuk lemah jika masih dalam bentuk murni. Dengan mengkombinasikan *bronze* dengan material yang lain maka akan terbentuk *copper alloy* dimana akan memberikan tingkat keuletan yang tinggi, ketahanan yang baik melawan korosi dan kekuatan yang lebih baik.

Material dalam membuat baling-baling sangat ditentukan dari tingkat kerja dan kondisi *service* dari kapal yang menggunakan baling-baling tersebut. Tetapi, hal yang paling menentukan dari *properties* 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 ketahanan yang baik terhadap korosi yang umum.
4. Kemudahan dalam perawatan termasuk pengelasan. [3]



Gambar 2. Material *propeller*

2.4 Karakteristik Kelelahan Logam

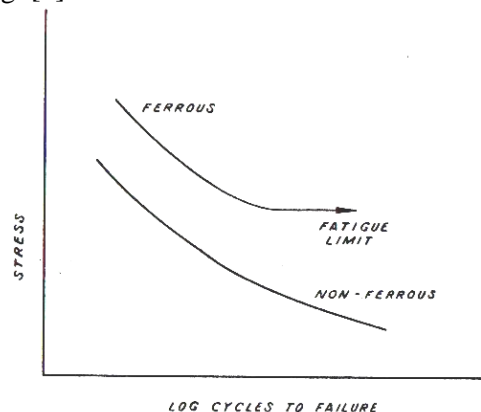
Kelelahan (*Fatigue*) adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamis yang berfluktuasi dibawah *yield strength* yang dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Diperkirakan sekitar 73% kegagalan struktur disebabkan oleh kelelahan material.

Modus kegagalan struktur dibedakan menjadi 2 kategori yaitu:

1. Modus kegagalan quasi statik.
 - Modus kegagalan dinyatakan dengan kekuatan. Jenis-jenis modus kegagalan statik yaitu:
 1. Kegagalan akibat tegangan tarik (*tensile stress*).
 2. Kegagalan akibat tegangan tekan (*compressive stress*).
 3. Kegagalan akibat tegangan geser (*shear stress*).
2. Modus kegagalan yang tergantung pada waktu.
 - Modus kegagalan dinyatakan dengan umur atau *life time*. Jenis-jenis modus kegagalan yang tergantung pada waktu yaitu:
 1. Kelelahan.
 2. Mulur.
 3. Keausan.
 4. Korosi. [4]

2.5 Diagram S-N

Data fatigue biasanya disajikan dalam kurva tegangan (S) dan siklus (N). Konsep tegangan-siklus (S-N) merupakan pendekatan pertama untuk memahami fenomena kelelahan logam. Konsep ini secara luas dipergunakan dalam aplikasi perancangan material dimana tegangan yang terjadi dalam daerah elastik dan umur leleh cukup panjang. [4]



Gambar 3. Diagram S-N

2.6 Fatigue Life

Perhitungan *fatigue life* menurut John Carlton [3], dalam kasus desain baling-baling, data yang dipertimbangkan dalam ketahanan terhadap fatigue

setidaknya sampai 10^8 siklus. *First-order stress cycle* adalah tegangan yang diterima oleh baling-baling selama 1 putaran baling-baling. Jadi perhitungan *first-order fatigue cycle* pada material baling-baling adalah

$$\text{First - order fatigue cycle} = \text{Rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days in one year}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam proses penelitian ini dibutuhkan data - data dari objek yang dianalisa. Adapun proses pengambilan data terbagi menjadi beberapa tahap antara lain:

3.2 Studi Literatur

Pengambilan data kapal atas rekomendasi dari dosen pembimbing. Data pendukung lainnya diambil dari internet dan buku yang sudah ada.

3.1 Data penelitian

Mencakup materi penelitian yang didalamnya terdapat data-data primer yang digunakan. Data primer yang dimaksud adalah:

1. Ukuran utama kapal dan jenis kapal:
 - *Type* = *River Tugboat*
 - *Length Over All* = 15,00 m
 - *Beam* = 4,80 m
 - *Draught* = 1,40 m
 - *DWT* = 50,64 ton
 - *Speed* = 10,00 Knots
 - *Operating Day* = 200 days/year
2. Propeller yang di analisa :
 - *Jenis Propeller* = *FPP B-Series*
 - *Rotation* = *Right*
 - *Diameter* = 0,813 m
 - *Pitch* = 0,655 m
 - *Pitch Ratio* = 0,81
 - *Blade Area Ratio* = 0,50
 - *Number of Blade* = 4
 - *Rake Angle* = 10°
 - *Weight* = $\pm 56,2$ Kg
 - *Material* = *Cooper Alloy*
 - *RPM Propeller* = 200 RPM

3.2 Pengolahan Data

Pengolahan dilakukan setelah semua data sudah diperoleh, pada pengerjaan penelitian ini pengolahan data dimulai dari:

- Pembuatan model *propeller*.

Pembuatan model baling-baling dengan memasukkan data-data dimensi baling-baling sesuai dengan ukuran dan data yang telah

didapatkan dengan menggunakan *software* PropCad dan SolidWork.

- Pembebanan model

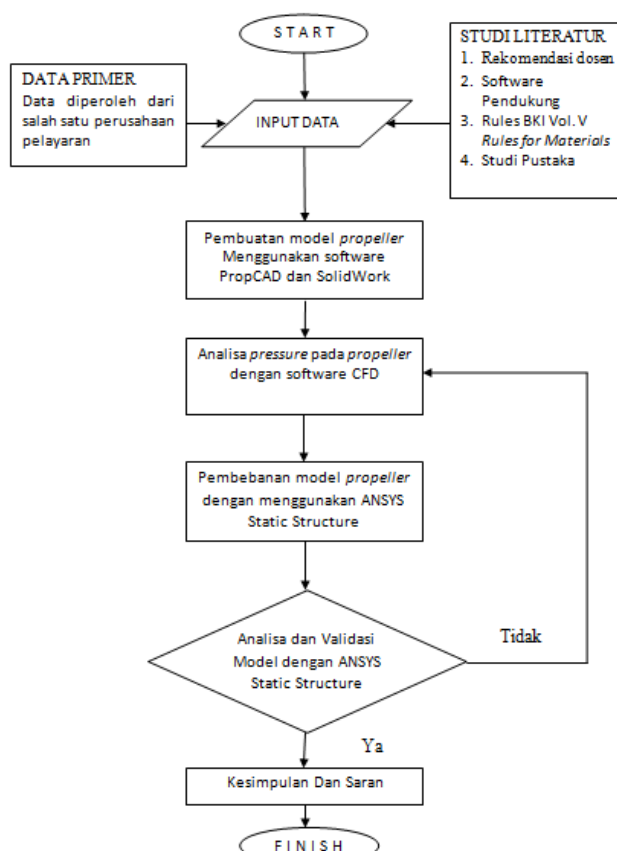
Hasil model baling-baling dirunning dengan *software* CFD sehingga tampak *contour pressure* akibat beban hidrodinamik sehingga didapatkan nilai kekuatan dari hotspot stress dan letak hotspot stress.

- Analisa Kelelahan Material

Analisa kelelahan material dilakukan setelah mendapatkan nilai tegangan tertinggi dan letak dari nilai tegangan tertinggi (*hotspot stress*) pada model yang sudah dirunning. Nantinya nilai tegangan akan diubah menjadi jumlah siklus material tersebut sehingga mendapatkan nilai siklus terendah.

3.6 Flow Chart Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian ini didasarkan pada sistematis metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesai penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data - data hingga didapatkan output yang sesuai dengan tujuan awal penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan akhir.

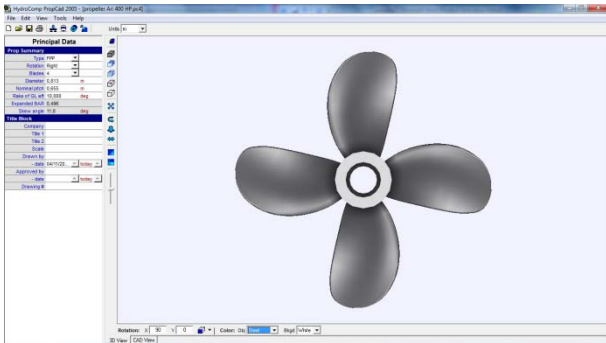


Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

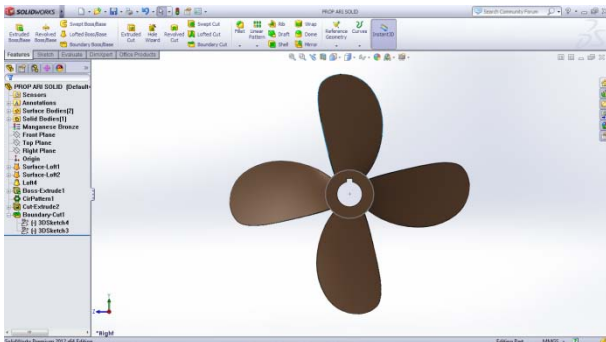
4.1 Pembuatan Model

Data propeller yang telah didapatkan digunakan sebagai input pada software PropCad dimana software ini akan mengkalkulasi dan memvisualisasikan bentuk 3D dari data propeller tersebut.



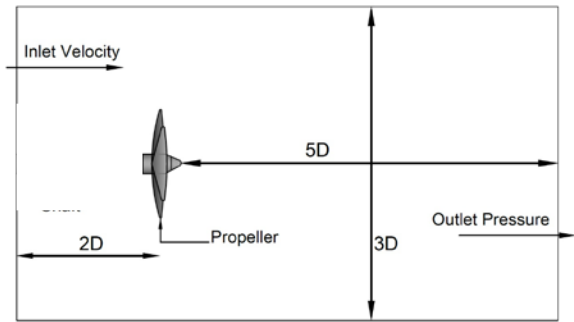
Gambar 5. Hasil visualisasi dari PropCad

Selanjutnya pembuatan model dengan Solidwork diperlukan untuk membuat model solid karena model yang dari PropCad masih berupa surface.



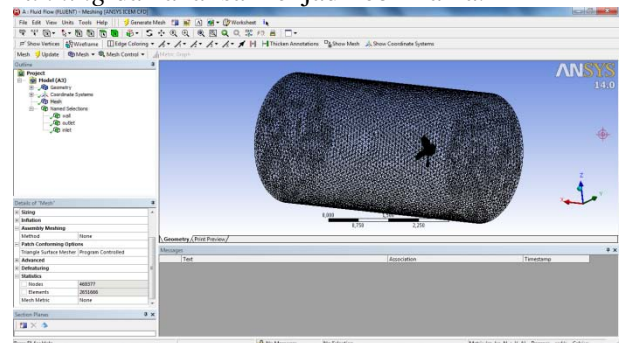
Gambar 6. Hasil visualisasi dari SolidWork

Propeller yang telah dibuat kemudian diimport ke software Ansys Workbench dan kemudian dibuat suatu *boundary building* yang berbentuk silinder sebagai tempat untuk fluida. Pada tahap ini juga membuat definisi setiap kondisi batas (*inlet*, *outlet*, *wall* dan model). *Inlet* adalah tempat masuknya aliran fluida. *Outlet* adalah tempat keluarnya aliran fluida. *Wall* adalah batas aliran disekeliling model yang berbentuk silinder.



Gambar 7. Ukuran *boundary building*

Tahap selanjutnya adalah *meshing* pada model. *Meshing* merupakan tahapan dimana objek dan *boundary building* dibuat menjadi elemen-elemen kecil. Semakin kecil elemen maka tingkat ketelitian menjadi semakin baik tetapi proses *running* dan analisa menjadi lebih lama.



Gambar 8. Hasil *Meshing* pada model dan *boundary building*

4.2 Analisa Tekanan dengan ANSYS FLUENT

Analisa tekanan dilakukan untuk mendapatkan nilai tekanan yang diterima oleh propeller akibat beban hidrodinamik. Domain fluida yang digunakan adalah *water*. Penentuan domain fluida, kondisi batas dan simulasi aliran sebagai berikut:

Tabel 1. *Boundary Physics for FFF*

Domain	Boundaries
solid	Boundary - inlet
	Type VELOCITY-INLET 5.45 m/s
	Boundary - outlet
	Type PRESSURE-OUTLET 0 Pa
	Boundary - wall
	Type WALL
solid	Boundary - model
	Type WALL

Tabel 2. *Domain Physisc for FFF*

Domain- body

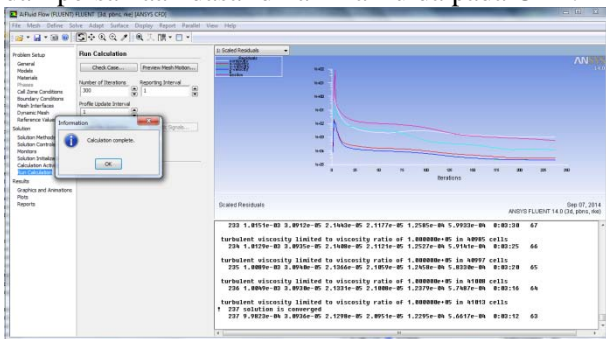
Type	Water with rotational velocity 21,09965 rad/s
------	--

- *ModulusElastisity* : $1,1 \times 10^5$ MPa
- *PoissonRatio*: 0,34
- *ShearModulus* : $4,1045 \times 10^4$ Mpa

Tabel 3. Persamaan Turbulent *k-epsilon Realizable with standard Wall Functions*

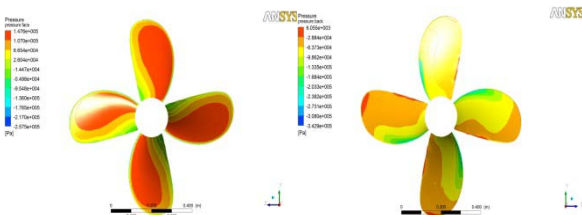
<i>Pressure-velocity</i>	<i>SIMPLE</i>
<i>Pressure</i>	<i>Second Order</i>
<i>Momentum</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Turbulent Kinetic Energy</i>	<i>Second Order Upwind</i>
<i>Turbulent Dissipation Rate</i>	<i>Second Order Upwind</i>

Setelah tahap penentuan domain, kondisi batas dan perencanaan simulasi aliran selesai, maka tahap selanjutnya adalah *running calculation* data input. Running yang dilakukan berupa data iterasi dari persamaan dasar dinamika fluida pada CFD.



Gambar 9. *Running Calculation*

Setelah proses running selesai, maka hasil akan didapatkan, dalam hal ini *contour pressure* akan terlihat pada tab *result*.



Gambar 10. *Face Pressure dan Back Pressure*

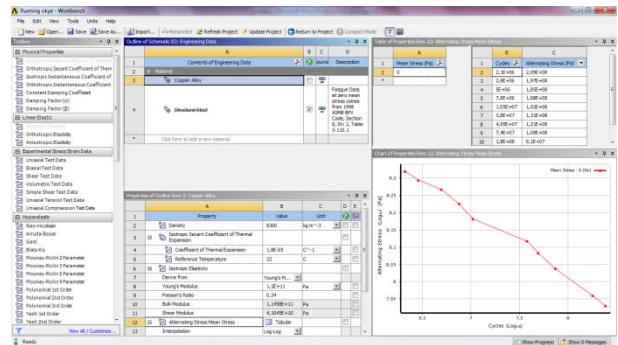
4.3 Analisa Kekuatan dan Kelelahan Material

Tahap ini digunakan untuk menghitung nilai *stress* atau tegangan tertinggi dari material dan mendapatkan letak dari *hotspot stress* akibat tekanan yang didapatkan pada saat running pada *software* CFD. Adapun langkah dalam perhitungan yang dilakukan sebagai berikut:

1. Definisi material

Pendefinisian material dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Analisa yang dilakukan menggunakan material *copper alloy*. *Material properties* pada *copper alloy* antara lain:

- *Density* : 8300 kg/m^3



Gambar 11. *Material Properties untuk copper alloy*

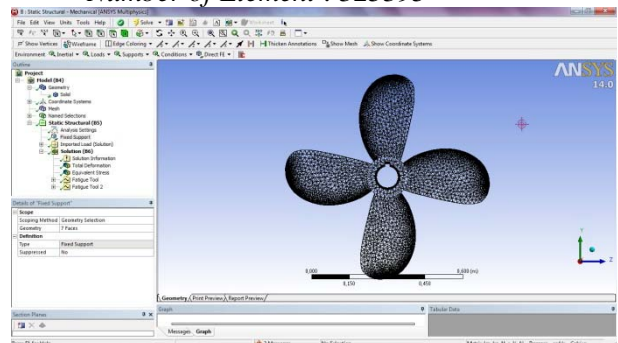
2. Meshing pada model

Meshing pada *propeller* yang dianalisa menggunakan metode *meshing* yang disediakan oleh *software*. Adapun metode yang dilakukan adalah :

- *Use advanced size function* : *On Curvature*
- *Relevance center* : *Fine*
- *Initial size seed*: *Full Assembly*
- *Smoothing* : *High*
- *Transition* : *Slow*

Dengan metode *meshing* yang dilakukan, mendapatkan data *meshing* sebagai berikut :

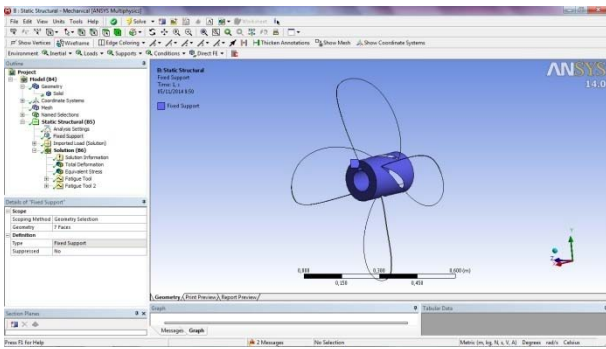
- *Min. Size* : $1,704 \times 10^{-4} \text{ m}$
- *Number of Nodes* : 485648
- *Number of Element* : 325395



Gambar 12. *Meshing pada Propeller*

3. Penentuan *boundary condition*

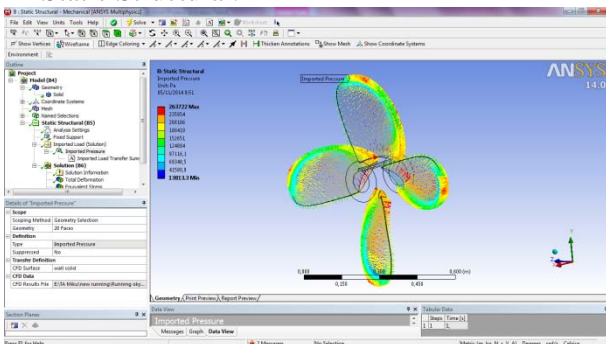
Pada penelitian ini, kondisi batas (*boundary condition*) yang dilakukan adalah dengan memberi tegangan jepit (*fixed support*) pada bagian *boss (Hub)* dari *propeller* tersebut.



Gambar 13. Fixed Support pada Propeller Hub

4. Import load

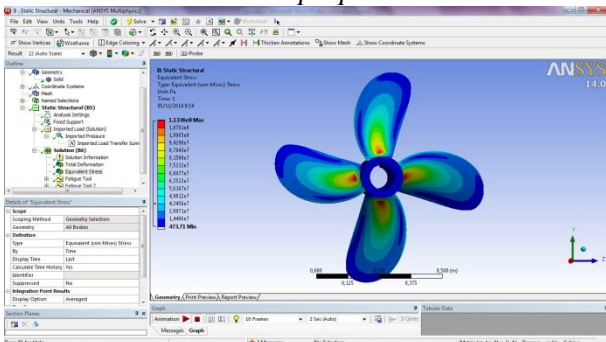
Beban (*load*) yang berupa tekanan (*Pressure*) yang didapatkan dari analisa CFD kemudian di-*import* ke model *propeller* yang sebelumnya sudah di-*import* ke dalam *software* ANSYS Static Structural.



Gambar 14. Import pressure pada propeller blade

5. Hotspot stress

Pada tahap ini, akan didapatkan nilai dari tegangan (*stress*) tertinggi dan lokasi *hotspot stress* dari hasil *running calculation* pada *software*. Pada hasil *running* yang dilakukan mendapatkan nilai *maximum stress* sebesar 133,6 MPa dan lokasi *hotspot stress* pada bagian *back* daerah *root* dari *propeller blade*.

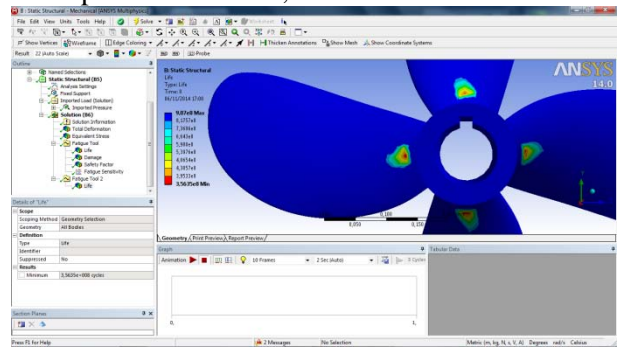


Gambar 16. Maximum Stress

6. Fatigue Analysis

Analisa kelelahan dilakukan dengan cara menambahkan *life* pada *tab fatigue tool* pada *tab solution* yang kemudian di-*running* pada *software* ANSYS Static Structural untuk mendapatkan jumlah siklus terpendek dari

hotspot stress. Pada hasil *running fatigue life* yang dilakukan, mendapatkan jumlah siklus terpendek sebesar $3,5635 \times 10^8$ siklus.



Gambar 15. Fatigue Life

4.3 Perkiraan Umur Material

Tahap ini merupakan hasil dari analisa menggunakan *software* yang nantinya didapatkan umur material dalam tahun. Dengan menggunakan rumus perhitungan untuk *first-order fatigue cycle* pada material baling-baling adalah

$$\text{First - order fatigue cycle} = \text{Rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days in one year}$$

Berdasarkan rumus diatas, maka

$$\text{First - order fatigue cycle} = 200 \times 60 \times 24 \times 200$$

maka fatigue cycle sebagai berikut:

Tabel 4. First-order fatigue cycles

First-Order fatigue cycle	
Time	Number of Cycles
1st Hour	1,20E+04
1st Day	2,88E+05
1st Month	8,64E+06
1st Year	3,45E+07
2nd Year	6,90E+07
10th Year	3,45E+08
15th Year	5,16E+08

Berdasarkan tabel *fatigue cycle* diatas dan jumlah siklus terendah *fatigue life* pada penelitian yang dilakukan adalah $3,5635 \times 10^8$ siklus, maka perkiraan umur material dapat dilakukan dengan cara :

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

Dimana:

$$\text{Design life} = 25 \text{ tahun, sesuai aturan klasifikasi}$$

$$DM = \text{Cumulative fatigue damage}$$

$$DM = \frac{NL}{Ni}$$

Dimana:

N_L = total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

N_i = jumlah siklus hasil analisa

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

T_L = Umur material propeller selama 25 tahun sebesar $1,44 \times 10^9$ siklus

L = LPP kapal

$$DM = 0,8052$$

Fatigue life = 31,05 Tahun

4.4 Validasi

Tahap ini diperlukan untuk mengetahui seberapa benar proses pemodelan yang diberikan pada program yang dipakai. Validasi dari perhitungan adalah untuk menunjukkan keakuratan suatu perhitungan dengan menggunakan program bantu.

• Grafik Convergence

Pada tahap *running calculation*, proses iterasi selalu dikontrol dengan persamaan pengendali. Jika hasil perhitungan belum selesai dengan tingkat kesalahan yang ditentukan, maka komputasi akan berjalan terus. Jika grafik iterasi cenderung turun dan berhenti pada tingkat kesalahan yang ditentukan maka tingkat kesalahan (*error*) pada perhitungan yang dilakukan bisa dikatakan kecil. Dengan kata lain hasilnya valid. [5]

• Number of Cycles

Berdasarkan penelitian yang dilakukan secara *experimental* oleh Gary Marquis, Keijo Koski, Pekka Koskinen, [6] tentang umur kelelahan material, jumlah minimum siklus pada baling-baling adalah 10^8 siklus. Jika siklus yang didapat kurang dari 10^8 , maka material tersebut memiliki umur yang pendek dan bisa dikatakan patah sebelum waktunya. Jika siklus yang didapat pada penelitian lebih dari 10^8 maka tingkat *error* bisa dikatakan kecil.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang *fatigue life* pada *propeller Tugboat* ARI 400HP yang dilakukan, kesimpulan yang didapatkan adalah

1. Lokasi *hotspot stress* pada bagian *back* daerah *root* dari *propeller blade*. Tegangan terbesar (*maximum stress*) yang

terjadi pada baling-baling sebesar 133,6 MPa.

2. Umur kelelahan (*fatigue life*) kondisi pembebanan adalah 10,33 Tahun

2.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Ketelitian yang maksimal dalam analisa kelelahan sebaiknya dilakukan dengan pengujian contoh spesimen pada menggunakan alat uji/ secara *experiment*.
2. Penambahan jumlah *finite element* akan menambah tingkat keakuratan hasil yang didapatkan
3. Penggunaan *loading history* akan menambah keakuratan hasil karena data input yang dimasukkan merupakan beban yang *real*/terjadi.
4. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar proses simulasi CFD dan bisa menghemat waktu ketika pengerjaan dan *running*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manik, Parlindungan. ST, MT.2008. *Propulsi Kapal*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2] Hafiz, Dian.2011. *Analisa Pengaruh Aliran Fluida Yang Ditimbulkan Oleh Gerakan Putaran Propeller Pada Kapal Ikan Terhadap Tekanan Propeller dengan Pendekatan CFD*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [3] Carlton, J.S.2007. *Marine Propellers and Propulsion*, 2nd Edition. United Kingdom: Elsevier, Oxford
- [4] Sebastian, Jajang.2011. *Analisa Fatigue Kekuatan Setrn Ramp Door Akibat Beban Dinamis Pada KM. Kirana I Dengan Metode Elemen Hingga Diskrit Elemen Segitiga Plane Stress*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [5] Huda, Nurul.2013. *Analisa Pengaruh Penggunaan Energy Saving Device Pada Propeller dengan Metode CFD*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [6] Marquis, Gary dkk.2008. *Fatigue Design Methodology For Propellers Operating In Ice (Rev. 2)*. Finland: Finnish Maritime Administration.