

Analisa Fatigue Pada Controllable Pitch Propeller menggunakan Software Ansys

Mohammad Mizan Firmansyah¹⁾, Dwisetiono²⁾

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan, Universitas Hang Tuah Surabaya

Email : Mizanfirmansyah782@gmail.com

Abstract – Propeller adalah salah satu bagian kapal yang digerakkan oleh mesin, yang mempunyai fungsi untuk mendapatkan gaya dorong bagi laju kapal sehingga propeller harus mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada blade akibat beban hidrodinamik. Masalah pada KMP. SALINDO MUTIARA 1 ini sering mengalami kerusakan pada bagian penghubung antara blade dan propeller hub. Propeller sering mengalami kelelahan/aus dibagian hub propeller. Kerusakan seperti ini terjadi setiap tahun pada KMP. SALINDO MUTIARA 1. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui umur fatigue life dan hotspot stress yg dialami propeller pada saat beroperasi dan saat pitch mengalami perubahan sudut pitch dengan ukuran paling kecil sudut 10° , menengah sudut 15° , dan terbesar sudut 20° . Berdasarkan analisa simulasi CFD yang mendapatkan maximum pressure adalah pitch 200 sebesar 191.386 Kpa, pada pitch 150 sebesar 167 Kpa dan yang mendapatkan pressure terendah adalah pitch 100 sebesar 135 Kpa. Dari simulasi Ansys static Structure mendapatkan nilai Stress pada pitch 200 dengan nilai terbesar 30 MPa, pada pitch 150 adalah sebesar 28,725 Mpa dan yang terendah adalah 100 adalah 27.8 Mpa. Bagian propeller mengalami hotspot stress adalah bagian depan (face). Setelah didapat semua nilai siklus dan stress, dapat dilakukan perhitungan fatigue life. Diketahui bahwa umur fatigue life pada pitch $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ adalah 31,30,28 tahun.

Kata kunci: *Controllable pitch propeller (CPP), fatigue life, fatigue, pressure*

I. PENDAHULUAN

Pengerak atau *propeller* kapal penumpang berbagai macam salah satunya tipe *controllable pitch propeller* (CPP). Prinsip kerja *controllable pitch propeller* (CPP) adalah *propeller* yang dapat mengubah/ mengatur *pitch* *propeller*nya. *Pitch propeller* adalah besaran *displacement* yang dibuat oleh *propeller* dalam satu kali putaran (360°). Hal itu dikarenakan *propeller* memiliki *blade* dengan sudut kemiringan yang tegak lurus dengan sumbu dari rotasi *propeller*. KMP. SALINDO MUTIARA 1 menggunakan *Controllable pitch propeller* (CPP) karena memerlukan *manuver* pada saat beroperasi namun *controllable pitch propeller* (CPP) juga memiliki kerugian dikarenakan biaya perawatan yg mahal [2].

Namun hal yang harus tetap diperhatikan ialah sebuah *propeller* harus 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 [11].

Apabila material mengalami tekanan yang melebihi tegangan maksimum secara terus-menerus, *propeller* pun pada akhirnya akan mengalami kelelahan (*fatigue*). Terjadinya benturan antara *propeller* dengan batu karang juga dapat mengakibatkan kerusakan pada *propeller*. *Propeller* bertipe *controllable pitch propeller* (CPP) pada KMP. SALINDO MUTIARA 1 ini mengalami kerusakan pada bagian *neck blade* dan *propeller hub*. Pada bagian *neck blade* dan *propeller hub* mengalami kelelahan (*fatigue*).

Analisa *Controllable pitch propeller* (CPP) dengan jumlah *blade* tiga dan mengambil sudut *pitch* $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) untuk mengetahui *pressure*, digunakan untuk menganalisa *fatigue life* dan letak dari *hotspot stress* yang terjadi pada setiap *pitch* yang diambil. Sehingga dapat diketahui *lifetime* (masa kerja) *Controllable pitch propeller* (CPP) kapal KMP. Salindo Mutiara 1.

II. TINJAUAN PUSTAKA Controllable Pitch Propeller (CPP)

Controllable Pitch Propeller (CPP) di sisi lain, adalah alternatif untuk peningkatan efisiensi, terutama dalam kebutuhan berbagai tingkat dorong dan beban, sambil mempertahankan kecepatan poros yang optimal. Selain itu, ini memungkinkan penghematan ruang dan berat, karena membalikkan persneling tidak diperlukan. Namun, sistem

CPP menyajikan biaya yang lebih tinggi, karena membutuhkan bagian-bagian khusus seperti poros, hidrolis, dan kontrol jembatan. Dalam desain CPP, dimungkinkan untuk memutar bilah di sekitar porosnya, dengan perubahan pada pitch dan kecepatan, dari kecepatan penuh ke depan ke kecepatan penuh ke belakang [1].

Hidrodinamika Propeller

Dalam membuat bentuk dasar *propeller* dibutuhkan bentuk yang hidrodinamis yaitu yang dinamakan hidrofoil dimana menghasilkan suatu *lift* yang lebih besar dibandingkan dengan *drag*. 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.

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 [14]. Fracture merupakan tahap akhir dari proses fatigue dimana bahan tidak dapat menahan. tegangan dan regangan yang ada sehingga patah menjadi dua bagian atau lebih.

Modus kegagalan struktur dibedakan menjadi 2 katagori yaitu:

- 1) Modus kegagalan quasi statik. Modus kegagalan dinyatakan dengan kekuatan. Jenis-jenis modus kegagalan statik yaitu:
 - Kegagalan akibat tegangan tarik (tensile stress).
 - Kegagalan akibat tegangan tekan (compressive stress).
 - 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:
 - Kelelahan.
 - Mulur.
 - Keausan.

- Korosi [11]

Faktor - faktor yang mempengaruhi umur material yaitu :

- Pembebanan (Jenis beban : uniaksial, lentur, puntir), (pola beban : periodik, random), besar beban (besar tegangan), frekuensi siklus beban.
- Kondisi material (ukuran butir, kekuatan, penguatan dengan larutan padat, penguatan dengan fasa ke-dua, penguatan regangan, struktur mikro, kondisi permukaan (surface finish), ukuran komponen).
- Proses pengerjaan (proses pengecoran, proses pembentukan, proses pengelasan, proses pemesian, proses perlakuan panas).
- Temperatur operasi.
- Kondisi lingkungan level ketiga mengikut style dari *heading* level kedua. Hindari penggunaan *heading* lebih dari tiga level

III. METHODOLOGY

Berdasarkan alur penelitian, penelitian ini sebagian besar dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD dan *Ansys Static Structure* terlebih dahulu mempelajari studi literatur terhadap materi yang terkait.

Rumusan masalah

Rumusan Masalah meliputi penelitian dan penyelesaian suatu masalah yang dialami oleh suatu perusahaan.

Studi Literatur

Tahap ini di lakukan proses studi literatur untuk di jadikan sebagai tinjauan pustaka pada penelitian serta data yang di ambil,dalam hal ini yang akan di jadikan sumber untuk tinjauan pustaka dari internet, buku-buku penunjang perancangan,jurnal serta para dosen pembimbing guna untuk mengumpulkan data dan bahan yang di butuhkan dalam melakukan penelitian.

Pengumpulan Data

Tabel 1. data ukuran utama desain *propeller*

No	Data Propeller	Ukuran propeller	Satuan
1.	Diameter Propeller	2000	mm
2.	RPM	365	mm
3.	Pitch	800	mm
4.	Pitch Ratio	0,400	mm
5.	Number of Blade	3	

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Model Propeller

Tahap ini, dilakukan dengan pembuatan 3 model propeller Controllable pitch propeller (CPP) dengan sudut pitch paling kecil sebesar 10°, menengah

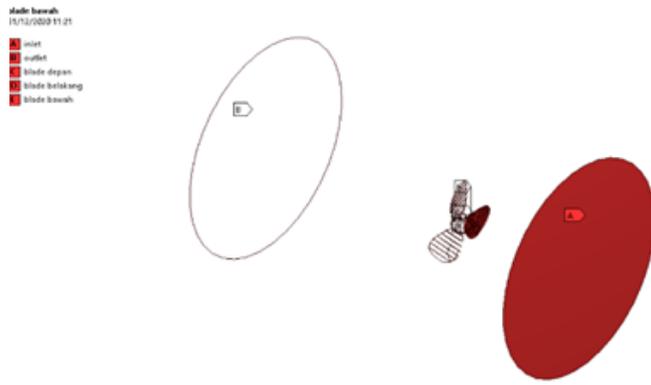
dengan sudut 15° , dan terbesar dengan sudut 20° .



Gambar 1. model *Propeller Pitch 20°* tampak samping

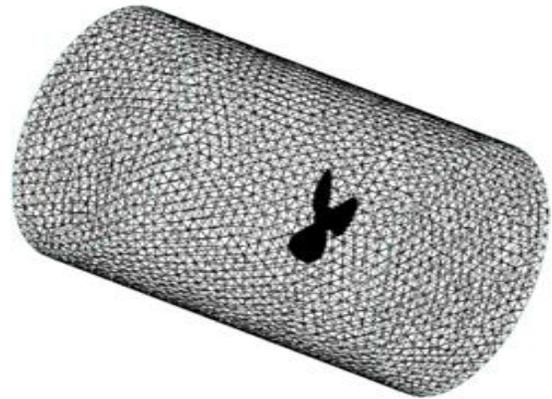
Analisa Pressure Menggunakan Software CFD

Model Controllable pitch propeller (CPP) yang telah dibuat kemudian diimport ke software Ansys Workbench dan kemudian dibuat suatu boundary building yang berbentuk silinder sebagai tempat untuk fluida. Inlet adalah tempat masuknya aliran fluida, Outlet adalah tempat keluarnya aliran fluida, dan Wall adalah batas aliran disekeliling model yang berbentuk silinder.



Gambar 2. Lokasi *inlet* dan *outlet domain* fluida

Tahap selanjutnya adalah meshing pada model. Meshing merupakan tahapan dimana objek dan boundary buliding dibuat menjadi elemen-elemen kecil. Domain yang dibuat memiliki fitur-fitur yang sederhana, sehingga dipilih mesh tipe tetrahedral untuk memperoleh hasil yang memiliki resolusi tinggi, lebih cepat komputasinya serta lebih penggunaan elemennya. Ukuran mesh dibuat maksimum 100 mm pada seluruh domain.



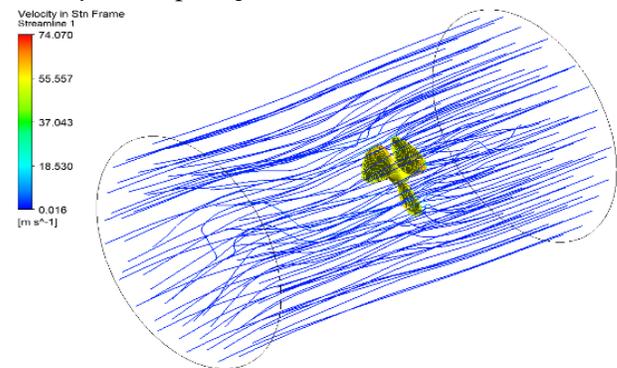
Gambar 3. Hasil meshing *CFD*.

Analisa tekanan dilakukan untuk mendapatkan nilai tekanan yang diterima oleh propeller akibat beban hidrodinamik. Domain fluida yang digunakan adalah water. Berikut adalah kondisi distribusi aliran yang dilakukan pada penelitian ini.

Tabel 2. Hasil simulasi Distribusi Aliran

No	Model	Velocity (m/s)
1	<i>Pitch 10°</i>	3,08667
2	<i>Pitch 15°</i>	3,60111
3	<i>Pitch 20°</i>	3,702

Maka hasil dari simulasi *velocity* aliran tertinggi adalah *Pitch 20°*. Gambar 5 dibawah ini menunjukkan *velocity* aliran pada *pitch 20°*.



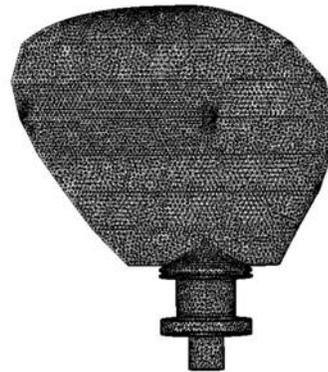
Gambar 4. Distribusi *streamline propeller pitch 20°*

Setelah simulasi untuk menentukan Velocity Aliran pada Boundary Building. Maka pada tahap ini melakukan proses running untuk mendapatkan nilai contour pressure.

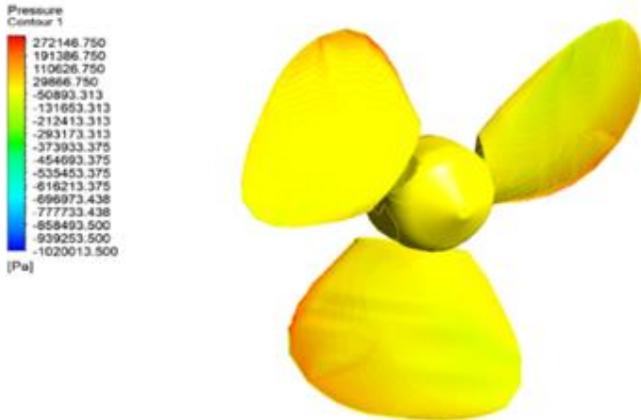
Tabel 3. Hasil simulasi *Contour Pressure*

No	Model	Pressure (Kpa)
1	Pitch 10 ⁰	135
2	Pitch 15 ⁰	167
3	Pitch 20 ⁰	191.386

Maka hasil dari simulasi *Contour pressure* tertinggi adalah *Pitch 20⁰*. Gambar 6 dibawah ini menunjukkan distribusi *Contour pressure* pada *pitch 20⁰*.



Gambar 6. Hasil *meshing*



Gambar 5. *pressure* tertinggi hasil simulasi CFD pada *propeller pitch 20⁰*

Analisa Fatigue pada Propeller

Pada Pada tahap ini dilakukan perhitungan nilai stress, tegangan tertinggi, dan fatigue life dari material dan mendapatkan letak dari hotspot stress akibat tekanan yang didapatkan pada saat running pada software CFD (Computational Fluid Dynamics). Pada penelitian kali ini material yang digunakan ialah material kuningan (Cu-Zn). Sifat material pada kuningan (Cu-Zn) antara lain [5]:

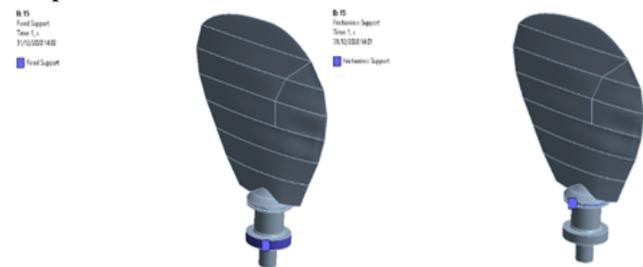
- Density : 8.400 Kg/m³
- Modulus Elasticity : 10,1 x 104 Mpa
- Shear Modulus : 3,7 x 104 Mpa
- Poisson Ratio : 0,35

Meshing

Pada tahap selanjutnya ialah meshing model. Metode meshing yang disediakan oleh software. Perbedaannya pada analisa sebelumnya hanya terletak pada boundary building yang pada tahap ini tidak diperlukan atau hanya model propeller saja. Ukuran mesh dibuat maksimum 100 mm pada seluruh domain:

Penentuan Boundary Condition

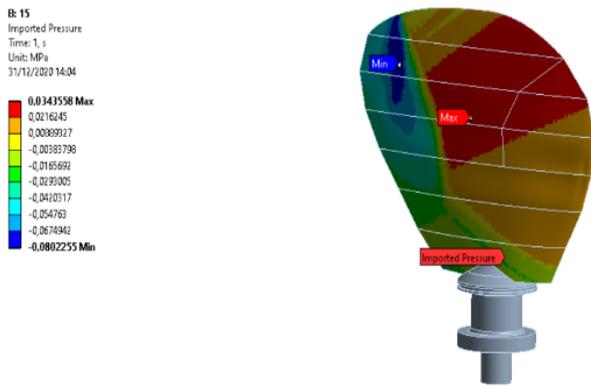
Penentuan boundary condition pada propeller yaitu dengan menjadikan half joint sebagai fixed support dan full joint sebagai Frictionless supports. Bertujuan tidak bergerak pada saat model propeller nanti diberikan pembebanan. fixed supports adalah Setingan yang digunakan untuk membatasi Gerakan dari landasan bending baik translasi maupun rotasi kearah X, Y maupun Z. Sedangkan Frictionless supports Tumpuan geser yang dapat menerima reaksi beban ke arah normal terhadap permukaan gesek tetapi dapat terjadi slip ke arah tangensial dengan permukaan gesek yang digunakan untuk merepresentasikan derajat kebebasan berputar.



Gambar 7. Lokasi *Fixed Supports* Dan *Frictionless Supports*

Imported Pressure

Tekanan (*Pressure*) yang didapatkan dari analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*) kemudian di *import* ke dalam software *ANSYS Static Structural*. Pada gambar tersebut *pressure* tertinggi terletak pada bagian depan (*face*) dengan nilai *pressure* tertinggi sebesar 0,0344 MPa sedangkan *pressure* terendah dengan nilai sebesar -0,08022 MPa.



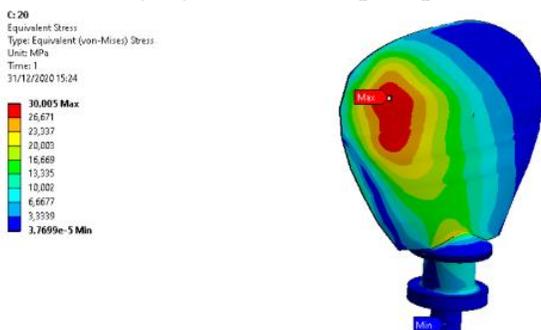
Gambar 8. Import pressure pada propeller blade

Pada tahap ini, akan didapatkan hasil dari running calculation menggunakan Software Ansys Static Structure untuk mendapatkan nilai distribusi tegangan von mises dan nilai distribusi deformasi, lokasi tegangan tertinggi dari 3 model propeller Controllable pitch propeller (CPP) dengan sudut pitch 10°, 15°, 20°.

Tabel 4. Hasil simulasi Tegangan

No	Model	Tegangan (Mpa)
1	Pitch 10 ⁰	27,8
2	Pitch 15 ⁰	28,725
3	Pitch 20 ⁰	30

Maka hasil dari simulasi Tegangan Von mises tertinggi adalah Pitch 200. Gambar 10 dibawah ini menunjukkan distribusi tegangan Von mises pada pitch 200.



Gambar 9. Distribusi Tegangan Pada Propeller Pitch 20°

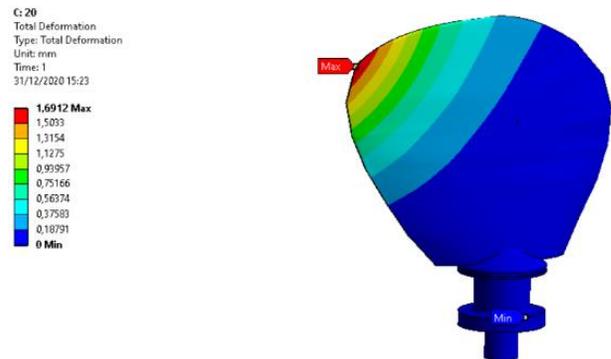
Pada tahap selanjutnya dapat menentukan Distribusi deformasi. Deformasi dapat terjadi saat material mengalami fatigue dan mengalami pressure yang

besar/tidak beraturan. Nilai distribusi deformasi diambil dari beban/pressure yang dialami propeller.

Tabel 5. Hasil Simulasi Distribusi Deformasi

No	Model	Deformasi (mm)
1	Pitch 10 ⁰	1,59
2	Pitch 15 ⁰	1,638
3	Pitch 20 ⁰	1,691

Maka hasil nilai dari distribusi deformasi tertinggi adalah Pitch 20°. Gambar 11 dibawah ini menunjukkan distribusi deformasi pada pitch 20°.



Gambar 10. Distribusi deformasi pada simulasi propeller dengan pitch 20°

Safety Factor

Safety factor 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. Perhitungan *Safety factor* digunakan untuk mengevaluasi hasil *hotspot stress* pada *propeller*. Besarnya tegangan yang terjadi harus bernilai lebih kecil dari pada tegangan yang diijinkan terjadi (*allowable stress*). Hasil dari perhitungan *safety factor* diatas dapat diketahui dengan menggunakan rumus dibawah ini.

$$FS = \frac{Yield\ Point\ stress}{Design\ Stress} \geq 1$$

Pada perbandingan yang ditunjukkan di atas kemudian dikenal dengan faktor keamanan (*factor of safety*) dan diharuskan memiliki nilai lebih besar atau sama dengan satu [8]. Perhitungan *safety factor* menggunakan *propeller Controllable pitch propeller* (CPP) dengan sudut *pitch* 10°, 15°, 20°.

Tabel 6. Perhitungan *Safety Factor*

Model	Tegangan terjadi (Mpa)	Yield Strength (Mpa)	Safety Factor	Keterangan
Pitch 10 ⁰	27,8	90	3,237	Memenuhi
Pitch 15 ⁰	28,725	90	3,133	Memenuhi
Pitch 20 ⁰	30	90	3	Memenuhi

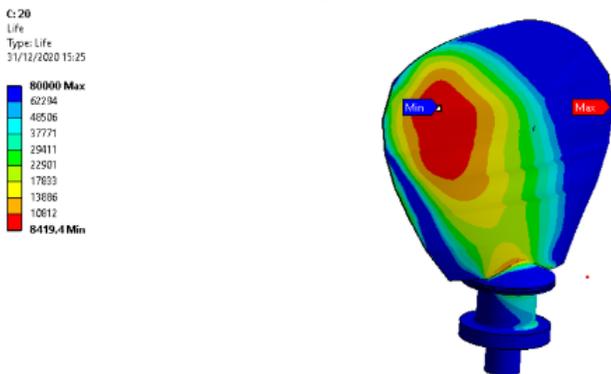
Fatigue Life Analysis

Analisa kelelahan dilakukan untuk menentukan siklus terpendek dari *propeller pitch* 10⁰, 15⁰, 20⁰ saat mengalami *hotspot stress*. Analisa kelelahan menggunakan *software ANSYS Static Structural* untuk mendapatkan jumlah siklus terpendek dari *hotspot stress*. Maka Hasil dari simulasi *Fatigue Life* adalah :

Tabel 7. Hasil Simulasi *Fatigue Life*

No	Model	Fatigue Life (siklus)
1	Pitch 10 ⁰	9039,6
2	Pitch 15 ⁰	8772,2
3	Pitch 20 ⁰	8419,4

Maka hasil dari simulasi *Fatigue Life* dengan nilai tertinggi adalah Pitch 200. Gambar 12 dibawah ini menunjukkan distribusi *Fatigue Life* pada pitch 200.



Gambar 11. *Fatigue Life* Dengan Pitch 20⁰

Perhitungan *Fatigue Life*

Tahap ini merupakan hasil dari analisa menggunakan *software* yang nantinya didapatkan umur material dalam tahun. Setelah dilakukannya perhitungan *First-order fatigue cycles* dapat ditentukan nilai siklus terendah *fatigue life*, maka perkiraan umur material dapat ditentukan dengan :

First – order fatigue cycle

Rpm x 60minutes x 24hours x operating days one year

Berdasarkan rumus diatas, maka :

First-order fatigue cycle

$$= 365 \times 60 \times 24 \times 3600$$

maka *First-order fatigue cycle* 25 th berdasarkan total jumlah siklus yang direncanakan.

Tabel 8. Perhitungan *First-order fatigue cycle*

First-Order fatigue cycle		
No	Time	Number Of cycle
1	1st Hours	5.26 × 10 ⁵
2	1st Day	6.3 × 10 ⁶
3	1st Month	1.31 × 10 ⁷
4	1st Year	1.58 × 10 ⁸
5	2nd Year	3.15 × 10 ⁸
6	10th Year	1,58 × 10 ⁹
7	15th Year	2,37 × 10 ⁹
8	25th Year	3,94 × 10 ⁹

Berdasarkan tabel *fatigue cycle* diatas dan jumlah siklus terendah *fatigue life* pada penelitian yang dilakukan adalah 3,94 × 10⁹siklus, maka perhitungan perkiraan umur material adalah

$$Fatigue\ life = \frac{Desain\ life}{DM} \times years$$

Dimana :

Desain life : 25 tahun, menurut klasifikasi *Common Structural Rules* [12].

DM = *Cumulative fatigue damage*

$$DM = \frac{N_L}{N_I}$$

Dimana :

N_L = total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 th

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

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

$$N_L = \frac{0,85 \times 3,94 \times 10^9}{4LogL}$$

$$N_L = 7234.4563$$

N_I = jumlah siklus hasil analisa

T_L = Umur material *propeller* selama 25 tahun

L = 64,00 M

Perhitungan nilai *DM* (*Cumulative fatigue damage*) didapatkan menggunakan rumus dibawah ini.

$$DM = \frac{N_L}{N_I}$$

Maka perhitungan DM (*Cumulative fatigue damage*) pada *pitch* 10⁰, 15⁰, 20⁰ adalah :

Tabel 9. perhitungan DM (*Cumulative fatigue damage*)

No	Model	DM
1	<i>Pitch</i> 10 ⁰	0.80031
2	<i>Pitch</i> 15 ⁰	0.8247
3	<i>Pitch</i> 20 ⁰	0,85926

Setelah mendapat nilai DM dapat melakukan perhitungan pada *fatigue life*. Maka perhitungan perkiraan umur material menggunakan rumus.

$$Fatigue\ life = \frac{Desain\ life}{DM} \times years$$

Hasil dari perkiraan umur material dengan menggunakan rumus diatas adalah :

Tabel 10. Perhitungan *Fatigue Life*

No	Model	<i>Fatigue Life</i> (Tahun)
1	<i>Pitch</i> 10 ⁰	31,2379
2	<i>Pitch</i> 15 ⁰	30,31405
3	<i>Pitch</i> 20 ⁰	28,00807

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang analisa *fatigue* pada *controllable pitch propeller* menggunakan *software ANSYS* pada KMP. Salindo Mutiara 1, kesimpulan yang didapatkan adalah:

1. Dari simulasi CFD didapatkan hasil *pressure* tertinggi pada *pitch* 20⁰ dengan *maximum pressure* 191.386 Kpa selanjutnya *pitch* 15⁰ dengan *maximum pressure* 167 Kpa, selajutnya *pitch* 10⁰ dengan *maximum pressure* 135 Kpa. Terlihat bahwa semakin besar *pitch* maka *pressure* yang dialami *propeller* juga meningkat.
2. Pada hasil simulasi distribusi tegangan menunjukkan bahwa setiap *pitch* mengalami tegangan tertinggi (*hotspot stress*) yang hampir sama pada bagian depan (*face*) *Propeller*. Sedangkan nilai tegangan tertinggi yang didapat dari hasil simulasi Pada *pitch* 10⁰ mengalami tegangan sebesar 27,8 Mpa, *pitch* 15⁰ mengalami peningkatan tegangan sebesar 28,725 Mpa dan *pitch* 20⁰ mengalami tegangan tertinggi sebesar 30 Mpa.

3. Pada perhitungan *fatigue life* pada *pitch* 10⁰ adalah 31 tahun, *fatigue life* untuk *pitch* 15⁰ adalah 30 tahun, dan *fatigue life* *pitch* 20⁰ adalah 28 tahun. Terlihat terjadi penurunan usia (*life*) dengan bertambahnya *pitch* karena mengalami peningkatan tegangan.

Template ini dibuat untuk memudahkan proses pencetakan jurnal. Kerjasama dan kesediaan penulis mengikuti acuan penuisan sangat diharapkan.

Saran

Dari pembahasan tentang analisa *fatigue* pada *controllable pitch propeller* menggunakan *software ANSYS* pada KMP. Salindo Mutiara 1 ada saran yang perlu ditindak lanjuti yaitu:

1. Ketelitian yang maksimal dalam analisa kelelahan sebaiknya dilakukan dengan pengujian contoh spesimen pada menggunakan alat uji/ secara *experiment*.
2. Menggunakan spesifikasi komputer yang tinggi akan membantu memperlancar proses simulasi CFD dan bisa menghemat waktu ketika pengerjaan dan *running*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Araujo, L. S. *et al.* (2014) 'Failure of a concentric pipe for a controllable pitch propeller system', *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 14(1), pp. 55–60. doi: 10.1007/s11668-013-9761-7.
- [2] Firmansyah, A. D., Santoso, A. and Djatmiko, E. (2012) 'Perancangan Controllable Pitch Propeller Pada Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (OPV80)', *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), pp. G230–G235.
- [3] Forsyth, C. (2005) 'Restorative materials.', *Dental update*, 32(2), pp. 350–360.
- [4] Hardianto, L. F. and Winarno, A. (2019) 'Analisa Aliran Air Pada Controllable Pitch Propeller (Cp) Kapal Offshore Patroli Vessel 80 (Opv80)', *Prosiding Seminakel*, pp. 1–9. Available at: <http://prosidingseminakel.hangtuah.ac.id/index.php/ps/article/view/155>.
- [5] International, A. (1998) *ASM Handbook Vol 15*. 9th Editio. ASM International.
- [6] Kurniawan. A (2015) *Kelelahan Pada Blade Kompresor*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Nur, A. S. M. (2018) *Perancangan Mesin-Mesin*

Industri.

- [8] Prodjoewito, B. D. (2017) 'No Title', in *Teknologi reparasi Motor Kapal. Surabaya. Surabaya.*
- [9] Rahmatullah, R. and Ahmad, R. (2018) 'Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine', *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), pp. 1–11. doi: 10.30596/rmme.v1i1.2430.
- [10] Ridho M, Zakki Fauzan Ahmad, manik P. (2015) 'Fatiguepropeller tugboat', 3(1), pp. 110–117.
- [11] Rules, C. S. (2014) 'Bulk Carriers and Oil Tankers 1'.
- [12] Sagala, R. dan (2016) 'Landasan Teori', *Landasanteori.Com*, (2012), pp. 1–17. Available at: <http://www.landasanteori.com/2015/09/pengertian-kreativitas-definisi-aspek.html>.
- [13] Salam, H. A. H. (2017) 'Jurnal teknik perkapalan', 5(1), pp. 243–252.