

ANALISIS PENGARUH JUMLAH DAUN PROPELLER B-SERIES X-80 TERHADAP *FATIGUE LIFE* pada KAPAL SELAM KOMERSIAL

Satrio Nur Iswanto¹, Ahmad Fauzan Zakki¹, Samuel¹

¹Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH, Indonesia 50275

Email: satrioirtas@gmail.com, ahmadfzakki@yahoo.com, samuel@ft.undip.ac.id

Abstrak

Kapal selam adalah transportasi yang sangat unik karena di desain dengan sangat rumit. Salah satu komponen penting dari sebuah kapal selam adalah alat yang menghasilkan daya dorong yaitu propeler. Propeller yang sudah memiliki umur panjang akan mengalami kelelahan struktur. Hal ini merupakan aspek yang sangat menarik untuk dianalisa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai maksimum umur propeler berdasarkan jumlah daun propeler. Penelitian ini akan menganalisa umur propeler menggunakan metode Finite Element (FEM). Hasil simulasi menunjukkan nilai umur propeler terpanjang pada jumlah daun 11, dengan masa pelayaran 150 hari, dan umur pakai 23,2 tahun.

Kata Kunci: Propeler, Fatigue life, Metode Elemen Hingga, B-Series X-80, Kapal Selam

Abstract

Submarine is a very unique transportation because it is very intricately designed. One of the important components of a submarine is a device that produces thrust, namely the propeller. Propellers that already have a long life will experience structural fatigue. This is a very interesting aspect to analyze. The purpose of this study was to determine the maximum age of the propeller based on the number of propeller blades. This study will analyze the life of the propeller using the Finite Element (FEM) method. The simulation results show the longest propeller life value is eleven blades, with a sailing period of 150 days, and a service life of 23.2 years.

Keyword: Propeller, Fatigue life, Finite Element Method, B-Series X-80, Submarine

1. PENDAHULUAN

Kapal selam merupakan kendaraan yang sangat khusus dan desainnya sangat *kompleks*. Kapal selam pertama kali beroperasi tahun 1899. Setelah itu studi tentang kapal selam berkembang pesat.

Komponen penting pada kapal selam salah satunya adalah propeler. Propeler adalah propulsor yang digunakan untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gaya dorong dengan memberikan momentum pada fluida [1]. Sebagai propulsor, propeler diharuskan memiliki daya tahan tinggi. Hal ini karena gaya dan beban yang bekerja secara terus menerus terhadap propeler [2]. Besarnya gaya-gaya yang bekerja terhadapnya pun tidak selalu konstan. Hal ini terjadi karena aliran fluida pada bagian belakang kapal tidak seragam dan kemiringan dari poros juga

menjadi faktor dari besarnya gaya yang akan diterima propeler secara terus menerus [3]. Apabila propeler mengalami kelelahan (retak dan patah/pecah) pada titik tertentu, maka akan mengganggu kinerja kapal pada saat berlayar [4]. Dalam pembuatannya, propeler merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan, dari mulai fungsi, bentuk, ukuran, jumlah daun, hingga strukturnya seperti kekuatan dan kelelahannya [5].

Berbagai penelitian mengenai propeler telah banyak di lakukan sebelumnya. Rizki Aziz [5] dalam penelitiannya menyebutkan usia propeler paling lama terdapat pada propeler variasi 5 daun dan didapatkan hasil 19,05 tahun dengan waktu pelayaran 150 hari.

Dalam penelitian sebelumnya kapal selam komersial telah didesain bentuk propeler dengan spesifikasi diameter 4,1238 m [6].

Hasil analisis menunjukkan propeler tipe B-series paling efisien dan efektif.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). CFD adalah salah satu metode yang bercabang dari mekanika fluida yang memiliki fungsi dalam menganalisis suatu benda yang memiliki keterkaitan dengan fluida.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai umur paling lama pada propeler B780-10 dengan variasi jumlah daun sebanyak 7, 9, dan 11.

2. METODE

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui umur kelelahan pada propeler B780-10 B-Series dengan variasi jumlah daun 7, 9, dan 11. Kecepatan (*Vs*) yang di gunakan sebesar 4,218 m/s dengan putaran propeler besar 500 RPM yang di dapatkan dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini di laksanakan di Laboratorium Perencanaan Kapal di Bantu Komputer, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

Penelitian ini menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) untuk mencari umur kelelahan propeler. Adapun untuk perkiraan umur propeler dapat dihitung menggunakan persamaan untuk *Common Structural Rules* [7] dimana desain umur struktur dinyatakan dengan persamaan:

$$Fatigue\ life = \frac{Design\ life}{DM} \quad (1)$$

Dimana *Design life* adalah asumsi umur perencanaan untuk analisis 25 tahun dan DM adalah *cumulative fatigue damage*.

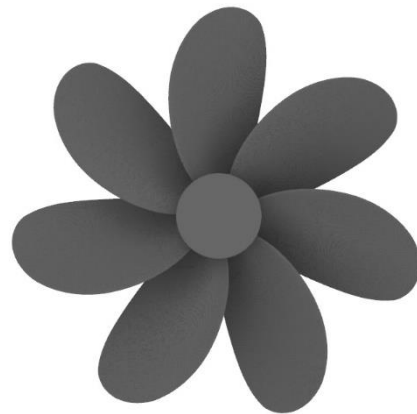
Adapun faktor dari kavitasi di abaikan pada penelitian karena dapat memberikan pengaruh kompleks pada beban yang di terima propeler.

2.1 Geometri Propeler

Propeler yang digunakan adalah bersumber dari penelitian sebelumnya. Propeler ini bernama B780-10 (gambar 1) dengan ukuran propeler pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Propeler

No	Spesifikasi	Dimensi
1	Jumlah <i>blade</i>	7 Buah
2	Tipe	B-Series
3	Diameter	4,1238 meter
4	Pitch ratio	4
5	Skew angel	10 derajat
6	Arah putar	Searah jarum jam
7	Material	Aluminium Alloy
8	Tipe propeler	FPP
9	Section	NACA66



Gambar 1. Propeler B780-10

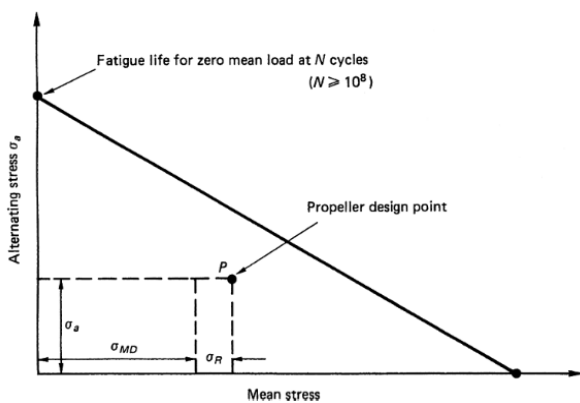
Pemilihan jumlah *blade* 7, 9, dan 11 dengan sudut skew 10^0 di landasi dari hasil penelitian sebelumnya bahwa pada RPM 500 menunjukan semakin kecil jumlah *blade* dan nilai sudut *skew* maka mendapatkan nilai efisiensi terbaik dari suatu propeler [6].

Tabel 2. Hasil Nilai Efisiensi Propeler

No	Propeler	Efisiensi
1	B780-10	65,60 %
2	B780-15	64,50 %
3	B780-20	63,50 %
4	B980-10	63,30 %
5	B980-15	63,10 %
6	B980-20	62,80 %
7	B1180-10	60,90 %
8	B1180-15	60,70 %
9	B1180-20	60,30 %

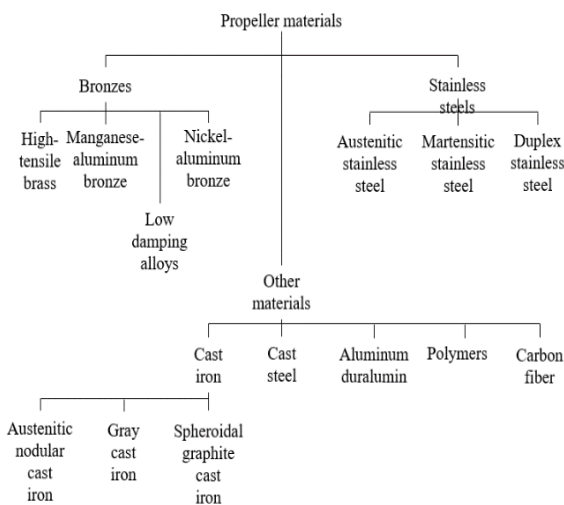
2.2 Kelelahan Propeler

Dalam pembuatan propeler harus disertai dengan analisis kelelahan dari propeler tersebut. Bertujuan untuk menghubungkan tekanan *blade*, baik *steady state* dan fluktuasinya, beberapa bentuk dari analisis kelelahan berperan cukup penting. Adapun umur kelelahan suatu propeler harus mencapai 10^8 atau lebih besar [8]. Grafik analisis kelelahan pada suatu propeler ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kelelahan Propeler [8]

Selain itu, bahan pembentuk propeler pun bermacam-macam. Seperti Manganese-Alumunium Bronze, Nickel-Alumunium Bronze, dan sebagainya seperti ditunjukkan pada gambar 3.



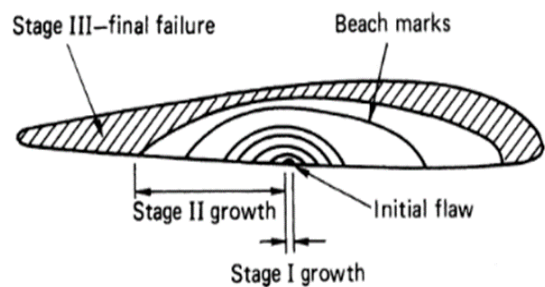
Gambar 3. Jenis Material Pembuat Propeler [9]

Oleh karena itu, setiap propeler akan memiliki kepecahan tergantung pada bahan pembuatnya. Adapun nilai kepecahan dari material propeler pada umumnya tercantum pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kepecahan Material Propeler [9]

Material	c	M	Mean Stress (kgf/mm ²)	Condition
Mn-Al bronze	6.6×10^{-11}	3.7	7.0	Sea water at 4 Hz
Ni-Al bronze	4.97×10^{-13}	4.7	00	Simulated sea water at 2.5 Hz
	3.37×10^{-14}	5		Simulated sea water at 5 Hz
				(Threshold value = 25 kgf/mm ^{3/2})

Dalam analisis kelelahan propeler, aplikasi *Computer Aided Engineering (CAE)* akan menampilkan gambar dengan penjelasan kontur dimana bagian elemen tersebut mengalami kelelahan paling parah seperti contoh pada gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Simulasi Kelelahan dengan CAE [8]

Kelelahan suatu elemen, seperti pada propeler, memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Adapun karakteristik material pembentuk propeler pada penelitian ini menggunakan referensi dari buku *Material Properties* [9].

Perhitungan kelelahan propeler pada umumnya menggunakan metode *first-order fatigue cycle* yaitu tegangan yang diterima oleh propeler selama 1 putaran [10]. Perhitungan *first-order fatigue cycle* dituliskan dalam persamaan:

$$\begin{aligned} \text{First - order Fatigue Cycle} = & \quad (2) \\ \text{RPM} \times 60 \text{ Minutes} \times 24 \text{ Hours} \times & \\ \text{operating days ini year} & \end{aligned}$$

Hasil analisis *life-cycles* kemudian dihitung menggunakan persamaan (1) untuk menghitung umur propeler dengan perhitungan *Comulative Fatigue Damage* (DM) menggunakan aturan *Palmgren-Miner* [11] dapat dituliskan sebagai berikut:

$$D_m = \sum \frac{N_L}{N_I} = 1 \quad (3)$$

Dimana N_L adalah jumlah siklus hasil analisis dan N_I adalah asumsi jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun.

Berdasarkan penelitian, komponen perhitungan DM dapat di jabarkan lagi sebagai berikut:

$$N_L = \frac{0,85 \times \sum \text{design fatigue cycles}}{4 \log Lpp} \quad (4)$$

Dimana siklus perencanaan adalah 25 tahun dan LPP adalah Panjang kapal dari ceruk haluan sampai ceruk buritan.

2.3 Analisis Finite Element Method (FEM)

Analisis menggunakan metode FEM bertujuan untuk mencari *Equivalent Stress* dan *Fatigue Cycles*.

Hal pertama yang dilakukan pada *software* analisis FEM adalah menentukan jenis *material* yang akan di gunakan pada propeler.

Pada *software* analisis FEM sudah tersedia *database* untuk *material properties* pada menu *engineering data sources* (tabel 4). Material yang digunakan pada penelitian propeler ini adalah berjenis aluminum alloy.

Tabel 4. Data Aluminum Alloy [9]

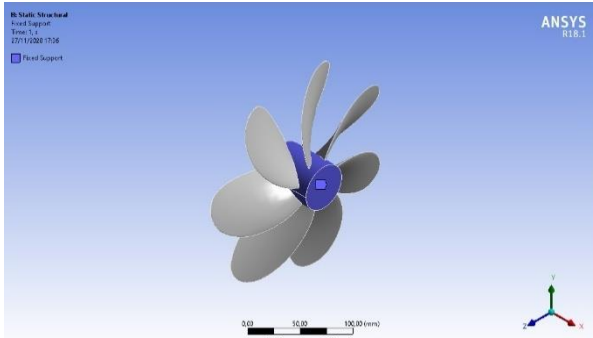
Property	Value	Unit
Density	2770	kg m ⁻³
Coefficient to Thermal Expansion	2.3 × 10 ⁻⁵	C ⁻¹
Derive from	Young Modulus and Poisson's Ratio	
Young's Modulus	7.1 × 10 ¹⁰	Pa
Poisson Modulus	0.33	
Bulk Modulus	6.9608 × 10 ¹⁰	Pa
Shear Modulus	2.6692 × 10 ¹⁰	Pa
Interpolation	Linear	
Scale	1	
Offset	0	MPa
Tensile Yield Strength	2.8 × 10 ⁸	Pa
Compressive Yield Strength	2.8 × 10 ⁸	Pa
Tensile Ultimate Strength	3.1 × 10 ⁸	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Selanjutnya setelah menentukan material yang di gunakan adalah tahap *meshing*. *Meshing* di gunakan untuk menentukan ukuran elemen yang akan digunakan pada mesh model. *Setting* pada mesh di *software* analisis FEM adalah seperti pada tabel 5.

Tabel 5. *Setting* pada Mesh

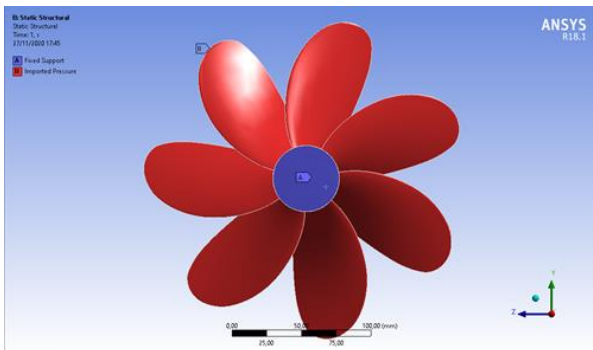
Details of Mesh	
Physics Preference	Mechanical
Size Function	Curvature
Relevance Center	Fine
Transition	Slow
Span Angle Center	Fine
Smoothing	High

Setelah melakukan *meshing*, tahap selanjutnya adalah *setup*. Pada tahap ini, hal yang dilakukan adalah penentuan *fixed support* dan memasukan *pressure*. *Fixed support* di tempatkan pada bagian *hub* propeler (gambar 5) yang bertujuan pada saat melakukan analisis pada bagian *hub* tidak diikuti sertakan.



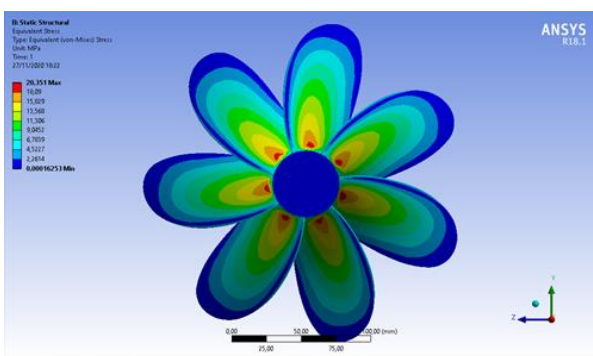
Gambar 5. Penentuan *Fixed Support* Hub

Setelah menentukan *Fixed Support* pada *hub* propeler, selanjutnya adalah memasukan *Import pressure* (gambar 6). *Import pressure* di lakukan untuk meningkatkan keakuratan *pressure* pada masing-masing elemen.



Gambar 6. Geometri *Imported Pressure*

Selanjutnya adalah analisis *equivalent stress* pada propeler. Analisis *equivalent stress* (*von-mises*) menghasilkan hotspot stress pada tiap elemen propeler (gambar 7).



Gambar 7. *Equivalent Stress* pada Model

Tahap terakhir adalah analisis *life-cycles*. Tahap ini mendefinisikan siklus dari propeler dengan konfigurasi pada gambar 8.

Details of "Fatigue Tool"	
<input type="checkbox"/> Domain	
Domain Type	Time
<input type="checkbox"/> Materials	
Fatigue Strength Factor (Kf)	1,
<input type="checkbox"/> Loading	
Type	Fully Reversed
Scale Factor	1,
<input type="checkbox"/> Definition	
Display Time	End Time
<input type="checkbox"/> Options	
Analysis Type	Stress Life
Mean Stress Theory	None
Stress Component	Equivalent (von-Mises)
<input type="checkbox"/> Life Units	
Units Name	cycles
1 cycle is equal to	1, cycles

Gambar 8. *Fatigue Tool*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

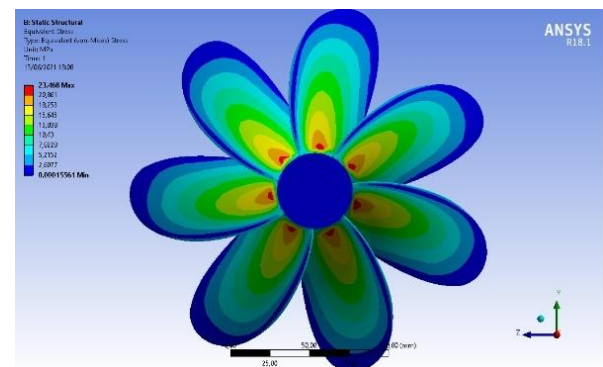
Langkah terakhir dari penelitian yang telah dilakukan adalah menghitung dari hasil-hasil yang telah didapatkan.

3.1 Hasil Analisis Equivalent Stress (*von-mises*)

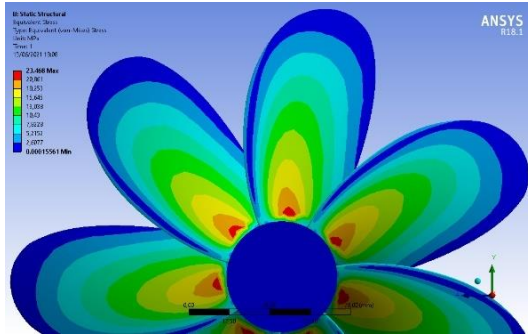
Analisis *equivalent stress* (*von-mises*) menghasilkan *hotspot stress* pada tiap elemen propeler. Hasil dari analisis *equivalent stress* dapat dilihat pada tabel 6 dengan kontur stress pada propeler divisualisasikan pada gambar 9-10.

Tabel 6. *Equivalent Stress*

No.	Variasi <i>Rake</i>	<i>Equivalent Stress</i> Maksimal [MPa]
1.	<i>Blade 7</i>	23,468
2.	<i>Blade 9</i>	22,376
3.	<i>Blade 11</i>	20,465



Gambar 9. *Equivalent Stress* pada Propeler Tampak Belakang



Gambar 10. Equivalent Stress pada Propeler Tampak Dekat

3.2 Hasil Analisis Fatigue Life

Pada tahap ini yang perlu dilakukan adalah perhitungan usia propeler. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan usia maksimal dalam kondisi normal tanpa dilakukan perbaikan pada propeler. Asumsi waktu berlayar yang dipakai dalam penelitian ini adalah 150 hari, 200 hari, dan 300 hari berlayar dalam satu tahun. Asumsi tersebut didasarkan pada dimensi kapal dan juga waktu *annual docking*.

Sebelum menghitung umur propeler, perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu untuk siklus asumsi masa pelayaran yang digunakan untuk umur perencanaan 25 tahun. Berikut hasil perhitungan dari siklus asumsi masa pelayaran dengan menggunakan persamaan (2) di tunjukan pada tabel 7-9. Pada gambar 11-12 menunjukkan hasil kontur *life-cycles* dari software analisis FEM.

Tabel 7. Fatigue Cycles 150 Hari

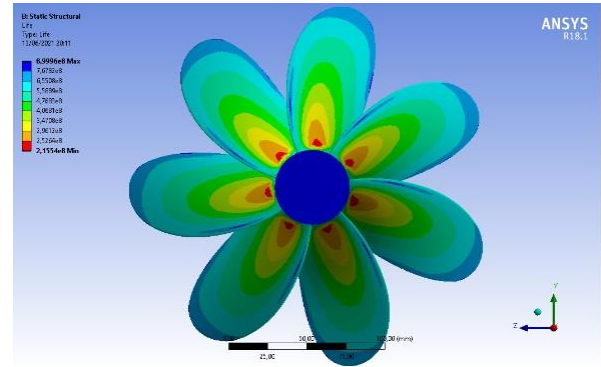
Operating years	Fatigue Cycles	Life-Cycles Minimal (N _i)		
		Blade 7	Blade 9	Blade 11
1 Years	$1,08 \times 10^8$			
10 Years	$1,08 \times 10^9$	$2,15 \times 10^8$	$2,54 \times 10^8$	$2,87 \times 10^8$
20 Years	$2,16 \times 10^9$	10^8	10^8	10^8
25 Years	$2,70 \times 10^9$			

Tabel 8. Fatigue Cycles 200 Hari

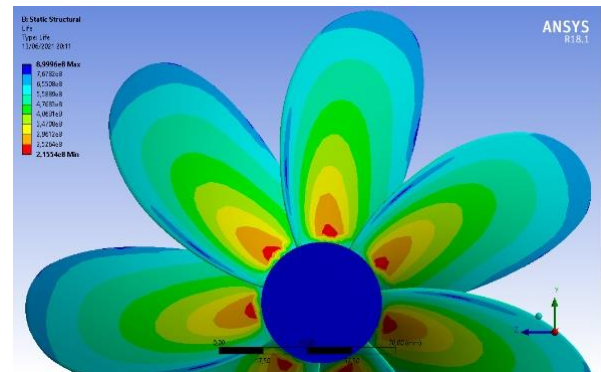
Operating years	Fatigue Cycles	Life-Cycles Minimal (N _i)		
		Blade 7	Blade 9	Blade 11
1 Years	$1,44 \times 10^8$			
10 Years	$1,44 \times 10^9$	$2,15 \times 10^8$	$2,54 \times 10^8$	$2,87 \times 10^8$
20 Years	$2,88 \times 10^9$	10^8	10^8	10^8
25 Years	$3,60 \times 10^9$			

Tabel 9. Fatigue Cycles 300 Hari

Operating years	Fatigue Cycles	Life-Cycles Minimal (N _i)		
		Blade 7	Blade 9	Blade 11
1 Years	$2,16 \times 10^8$			
10 Years	$2,16 \times 10^9$	$2,15 \times 10^8$	$2,54 \times 10^8$	$2,87 \times 10^8$
20 Years	$4,32 \times 10^9$	10^8	10^8	10^8
25 Years	$5,40 \times 10^9$			

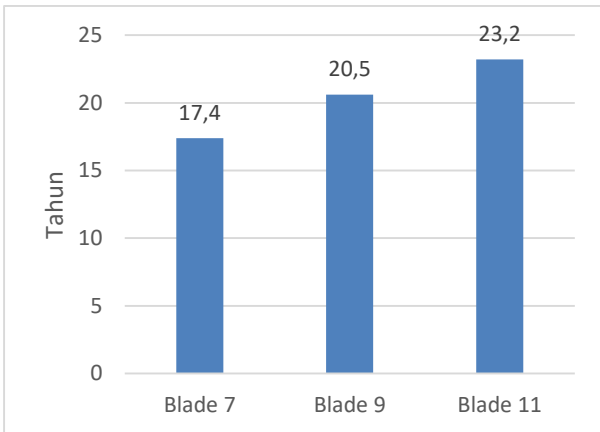


Gambar 11. Life-cycle pada Propeler Tampak Belakang



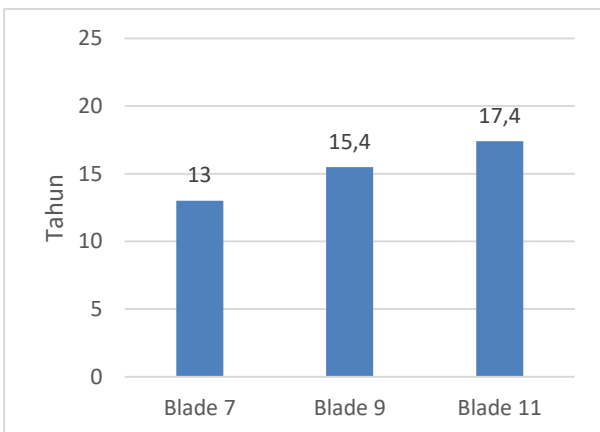
Gambar 12. Life-cycle pada Propeler Tampak Dekat

Persamaan *Common Structural Rules* (1) dapat digunakan untuk menghitung perkiraan umur propeler. Hasil yang didapatkan dari perhitungan dengan masa berlayar selama 150 hari adalah untuk *blade 7* mendapatkan hasil 17,4 tahun, sedangkan untuk *blade 9* mendapatkan hasil 20,5 tahun dan untuk *blade 11* mendapatkan hasil 23,2 tahun (gambar 13).



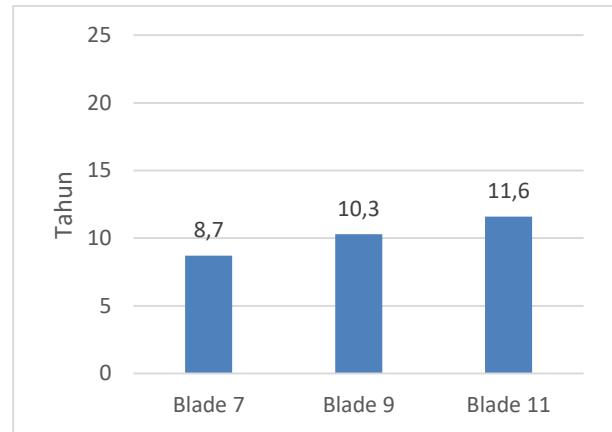
Gambar 13. Usia Propeler dengan Masa Berlayar 150 Hari

Sedangkan untuk usia propeler dengan masa berlayar selama 200 hari diperoleh dengan hasil *blade 7* adalah 13 tahun, *blade 9* diperoleh hasil 15,4 tahun, dan *blade 11* diperoleh hasil 17,4 tahun (gambar 14).



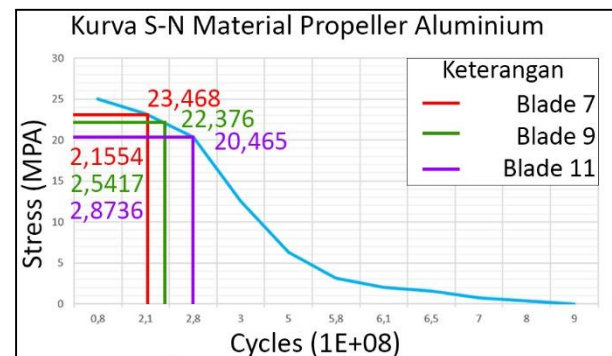
Gambar 14. Usia Propeler dengan Masa Berlayar 200 Hari

Untuk masa berlayar 300 hari dalam satu tahun tanpa perbaikan usia masing-masing propeler adalah *blade 7* menghasilkan 8,7 tahun, *blade 9* menghasilkan waktu tempuh 10,3 tahun, dan *blade 11* menghasilkan 11,6 tahun (gambar 15).



Gambar 15. Usia Propeler dengan Masa Berlayar 300 Hari

Sesuai dengan teori dasar kurva S-N apabila tegangan semakin kecil maka *life-cycles* yang dihasilkan akan semakin panjang dan begitu pula sebaliknya. Dalam hal ini, baling-baling dengan jumlah *blade 11* memiliki nilai *stress* (S) paling kecil dengan *life-cycles* (N) paling besar (gambar 16).



Gambar 16. Kurva S-N

4. KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan dimana tingkat *stress* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah *blade* dengan nilai *stress* masing-masing baling-baling sebesar 23,468 MPa untuk *blade 7*; 22,376 MPa untuk *blade 9*; dan 20,465 MPa untuk *blade 11*.

life-cycles semakin panjang seiring dengan bertambahnya jumlah *blade*. Dengan bertambahnya jumlah *blade* dengan *life-cycles* masing-masing propeler sebesar $2,16 \times 10^8$

untuk *blade* 7; $2,54 \times 10^8$ untuk *blade* 9; dan $2,87 \times 10^8$ untuk *blade* 11. Posisi *hotspot stress* berada pada *suction root* bagian belakang baling-baling.

Lama usia propeler pada masa berlayar 150 hari dalam satu tahun tanpa perbaikan adalah 17,4 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 7, 20,5 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 9, dan 23,2 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 11.

Sedangkan untuk usia propeler pada masa berlayar 200 hari dalam satu tahun tanpa perbaikan adalah 13 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 7; 15,4 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 9; dan 17,4 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 11.

Untuk usia propeler pada masa berlayar 300 hari dalam satu tahun tanpa perbaikan adalah 8,7 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 7; 10,3 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 9; dan 11,6 tahun untuk propeler dengan jumlah *blade* 11.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami ucapkan banyak terimakasih kepada seleuruh pihak yang telah mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rao, S. Mohan, and G. Kumar, "Determination of Fatigue Life of Surface Propeller by Using Finite Element Analysis," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 2492, 2016.
- [2] H. A. H. Salam, I. P. Mulyatno, and M. Iqbal, "Analisa Kelelahan Propeller Kapal Ikan PVC Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [3] C. Bertoglio, S. Gaggero, C. M. Rizzo, and M. Viviani, "Fatigue Strength Assessment of Propellers by Means of Weakly Coupled CFD and FEM Analyses," *Proc. Int. Conf. Offshore Mech. Arct. Eng. - OMAE*, vol. 7, 2014, doi: 10.1115/OMAE2014-24655.
- [4] M. Ridho, A. F. Zakki, and P. Manik, "Analisa Fatigue Propeller Tugboat ARI 400hp Dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 3, no. 1, 2015.
- [5] R. A. Radyantama, A. F. Zakki, and H. Yudo, "Analisis Kelelahan Propeler KP-505 B-Series dengan Variasi Jumlah Blade pada Kapal Kontainer 3600 TEUs," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [6] F. Nuriman, A. F. Zakki, and H. Yudo, "Perancangan Propeller Kapal Selam Komersial Tipe B series X-80 Dengan Variasi Sudut Skew Dan Jumlah Daun Untuk Mengoptimalkan Nilai Thurst," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [7] Biro Klasifikasi Indonesia, *IACS Common Structural Rules for Double Hull Oil Tankers 2014 Edition*. Jakarta, 2014.
- [8] J. S. Carlton, *Propeller Blade Strengths and Propulsion*, Fourth. London: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [9] J. S. Carlton, *Propeller Materials*, Fourth. London: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [10] J. S. Carlton, *Marine propellers and propulsion*, Second. London: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [11] A. Risitano, D. Corallo, and G. Risitano, "Cumulative damage by Miner's rule and by energetic analysis," *SDHM Struct. Durab. Heal. Monit.*, vol. 8, no. 2, pp. 91–109, 2012, doi: 10.3970.