

# ANALISIS KELELAHAN *PROPELLER* TIPE *KAPLAN-SERIES* untuk KAPAL SELAM KOMERSIAL DENGAN VARIASI JUMLAH *BLADE*

La Ode Muh. Ayi Al Ma'rif<sup>1</sup>, Ahmad Fauzan Zakki<sup>2</sup>, Andi Trimulyono<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

E-mail: [laodemuhayialmarif@students.undip.ac.id](mailto:laodemuhayialmarif@students.undip.ac.id), [ahmadfauzanzakki@lecturer.undip.ac.id](mailto:ahmadfauzanzakki@lecturer.undip.ac.id),  
[anditrimulyono@lecturer.undip.ac.id](mailto:anditrimulyono@lecturer.undip.ac.id)

## Abstrak

Pada beberapa tahun terakhir, desain dari sistem propulsi kapal telah meningkat secara signifikan, termasuk pada desain *propeller*. Desain dan pengembangan *propeller* untuk kapal selam berbeda dengan kapal-kapal pada umumnya. Dalam proses desainnya sendiri meliputi perkiraan kecepatan, kekuatan, dan berat seperti desain pada umumnya. *Propeller* sendiri merupakan salah satu alat gerak kapal mekanik yang memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak kegaya dorong, *propeller* sendiri terdiri dari beberapa *blade* dan beroperasi seperti perputaran pada skrup. Propeler pada umumnya, diletakkan pada kedudukan terendah pada bagian belakang kapal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui usia maksimum dari *propeller*, khususnya untuk tipe Kaplan-series dengan jumlah *blade* 6, 8, dan 10. Penelitian ini menggunakan Finite Element Method dengan bantuan aplikasi analisis static structural. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai usia paling panjang akan bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah *blade* pada *propeller*.

**Kata Kunci** : *Propeller*, Kaplan-Series, Finite Element Method, *Fatigu life*, Kapal Selam

## Abstract

In recent years, the design of ship propulsion systems has improved significantly, including *propeller* design. The design and development of *propellers* for submarines is different from that of ships in general. In the design process itself includes estimates of speed, power, and weight as in general design. The *propeller* itself is one of the mechanical ship motion devices that provides power by changing the rotation of thrust motion, the *propeller* itself consists of several *blades* and operates like a rotation on a screw. *Propellers* in general, are placed at the lowest position at the rear of the ship. This study aims to determine the maximum age of the *propeller*, especially for the Kaplan-series type with the number of *blades* 6, 8 and 10. This study uses the Finite Element Method with the help of static structural analysis applications. The results of this study indicate that the longest *life* value will increase along with the increase in the number of *blades* on the *propeller*.

Keywords: *Propeller*, Kaplan-Series, Finite Element Method, *Fatigu life*, Submarine

## 1. PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, desain dari sistem propulsi kapal telah meningkat secara signifikan, termasuk pada desain *propeller*. Desain dan pengembangan *propeller* untuk kapal selam berbeda dengan kapal-kapal pada umumnya. Dalam proses desainnya sendiri meliputi perkiraan kecepatan, kekuatan, dan berat seperti desain pada umumnya. [1]

*Propeller* sendiri merupakan salah satu alat gerak kapal mekanik yang memberikan kekuatan dengan mengubah rotasi gerak ke gaya dorong, *propeller* terdiri dari beberapa *blade* dan

beroperasi seperti perputaran pada skrup. Propeler pada umumnya, diletakkan pada kedudukan terendah pada bagian belakang kapal [2]. Namun, harus diperhatikan bahwasanya *propeller* kapal harus memiliki kapasitas yang cukup untuk mendukung gaya yang bekerja padanya, seperti gaya dorong yang dihasilkan oleh *propeller* itu sendiri, tumbukan dan tekanan pada *propeller*, serta momen gaya. Jika *propeller* mengalami gaya yang disebutkan, maka *propeller* kapal tersebut lama kelamaan akan retak dan akhirnya patah (*crack*) [3].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, menyebutkan bahwa penambahan dari skew,

gaya sentrifugal (*centrifugal force*), dan juga sudut *Rake* berpengaruh pada performa *propeller*. [4] Dalam penelitian sebelumnya, kapal selam komersial telah didesain bentuk lambung dengan panjang 71,3m dan bentuk *propeller* memiliki diameter 4,1238 m [5]. Dan didapatkanlah hasil analisis *propeller* tipe *Kaplan-series* paling efisien dan efektif. Variasi yang akan digunakan penulis dalam penelitian ini adalah jumlah *blade* 6, 8, dan 10 dengan sudut *Rake* 15<sup>0</sup> pada tiap *propeller* agar dapat memperkirakan usia (*fatiguelife*) dari *propeller* tersebut. Metode yang akan dipakai dalam menganalisis kali ini menggunakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD). CFD merupakan salah satu metode bercabang dari mekanika fluida.

**2. METODE**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui usia dari *propeller* tipe *Kaplan-Series* dengan variasi sudut *Rake* 15<sup>0</sup> pada *propeller* dengan jumlah *blade* 6, 8, dan 10. Kecepatan (Vs) yang digunakan sebesar 4,218 m/s dengan kecepatan putaran sebesar 500 RPM yang didapatkan dari penelitian sebelumnya.

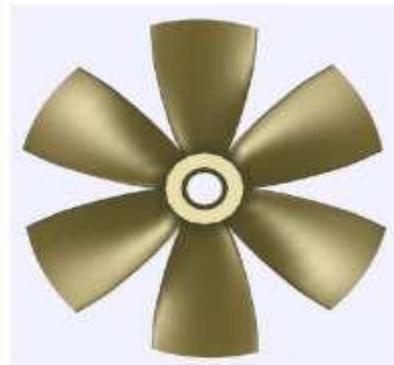
Penelitian ini sendiri dilaksanakan di Laboratorium Perencanaan Kapal dibantu Komputer, Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

**2.1. Ukuran Utama *Propeller***

*Propeller* yang digunakan bersumber dari penelitian sebelumnya [5]. Ukuran utama sebagai berikut:

**Tabel 1.** Ukuran Utama *Propeller*

No	Spesifikasi	Dimesi
1	Jumlah daun	6,8 dan 10 Buah
2	Tipe	Kaplan series
3	Diameter	4,1238 m
4	Normal pitch	4 m
5	Rangka angle	15 <sup>0</sup>
6	<i>Blade</i> area ratio	0.80
7	Arah putar	Searah jarum jam
8	material	Alluminium Alloy



**Gambar 1.** *Propeller* dengan jumlah *blade* 6



**Gambar 2.** *Propeller* dengan jumlah *blade* 8



**Gambar 3.** *Propeller* dengan jumlah *blade* 10

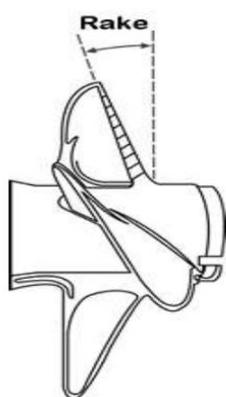
Pemilihan jumlah *blade* 6, 8, dan 10 dengan sudut *Rake* 15<sup>0</sup> dilandasi dari hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah daun maka efisien semakin baik. Pertambahan sudut *Rake* maka nilai efisiensi cenderung naik [5].

**Tabel 2.** Ukuran Utama *Propeller*

No	<i>Propeller</i>	Nilai Efisiensi
1	Kar680-5	11.5 %
2	Kar680-10	11.5 %
3	Kar680-15	11.6 %
4	Kar880-5	10.7 %
5	Kar880-10	10.8 %
6	Kar880-15	10.9 %
7	Kar1080-5	9.6 %
8	Kar1080-10	9.7 %
9	Kar1080-15	10.0 %

**2.2. Rake Angle Propeller**

Sudut *Rakei propeller* merupakan sudut kemiringan antara *Blade propeller* dengan bagian tengah *propeller*. Sudut *Rake* pada baling-baling dibuat untuk menambah jumlah massa air yang dapat dihisap dan digunakan untuk menggerakkan kapal[6]. Sudut *Rake* sendiri dinyatakan dalam satuan derajat dan konfigurasi dari sudut *Rake* dapat bernilai positif (condong menjauh dari perahu), negative (condong ke arah perahu), dan netral (posisi daun tegak lurus dengan porosi *propeller*) [7]. Fungsi dari sudut *Rake* sendiri adalah untuk meningkatkan massa air yang diserap untuk kemudiani dijadikan gaya dorongi kapal [8].



**Gambar 4.** *Rake Propeller*

**2.3. Fatigue Life Propeller**

Pembuatan *propeller* sendiri, harus disertai dengan hasil analisa dari kelelahan *propeller* tersebut. Adapun usai kelelahan suatu *propeller* setidaknya mencapai 108 atau lebih besar[7]. *First-order fatigue cycle* merupakan

perhitungan untuk mencari kelelahan pada *propeller* dimana tegangan yang diterima oleh *propeller* selama 1 putaran [9]. *First-order fatigue cycle* dituliskan dalam rumus:

$$\text{First –order Fatigue Cycle:} \\ = \text{RPM} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days in one year.}$$

Perhitungan usia *propeller* secara umum memakai rumus untuk Common Structural Rules [9] dimana usia dari struktur tersebut dapat dinyatakan dengan:

$$\text{Fatigue life} = \frac{\text{Desain life}}{DM} \text{Year} \tag{1}$$

Design *life* adalah perencanaan usia dengan asumsi 25tahun dan DM adalah *Cummulative Damage*. Hasil analisa dari *life-cycles*, dapat dihitung menggunakan persamaan (1) untuk menghitung usia *propeller* dengan perhitungan dari *Cummulative Damage* menggunakan metode *Palmgreni-Miner*[10] yang dinotasikan isebagai berikut:

$$D_m = \sum_{N_1}^{N_L} = 1 \tag{2}$$

Dimana  $N_1$  adalah jumlah isiklus yang diasumsikan 25 tahun. Sedangkan  $N_L$  adalah jumlah siklus perencanaan. Komponen dari  $N_L$  pada persamaan (2) bisa dijabarkan sebagai berikut [9]:

$$N_L = \frac{0,85 \times \Sigma \text{ desain fatigue cycles}}{4 \log_{ipp}} \tag{3}$$

Dimana siklus dari perencaan adalah 25 tahun dan  $L_{pp}$  adalah panjang kapal darii haluan kapal sampai buritan kapal.

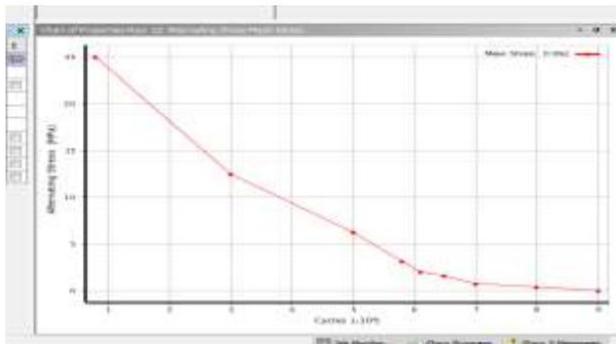
**2.4. Analisis Finite Element Method (FEM)**

Finite Element Method (FEM) untuk mencari *equivalent stress* dan *fatigue cycles*. Aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan aplikasi yang berguna untuk menghitung static structural.

Aplikasi ini berfungsi untuk menentukan jenis material yang akan dipakai pada *propeller*. Pada aplikasi ini, sudah tersedia basis data untuk mencari sifat material. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aluminium alloy dan Kurva S-N ditunjukkan pada gambar 5.

**Tabel 3.** Material Properties Alluminium Alloy

No	Material Properties	Nilai	Satuan
1	Temperature	22	°C
2	Density	1770	Kg.m <sup>-3</sup>
3	Coeff. Thermal Expansion	2,3 x 10 <sup>-5</sup>	C <sup>-1</sup>
4	Young Modulus	7,1 x 10 <sup>10</sup>	Pa
5	Poisson Ratio	0,33	-
6	Bulk Modulus	6,9608 x 10 <sup>10</sup>	Pa
7	Shear Modulus	2,6692 x 10 <sup>10</sup>	Pa
8	Tensile Yield Strength	2,8 x 10 <sup>8</sup>	Pa
9	Compressive Yield Strength	2,8 x 10 <sup>8</sup>	Pa



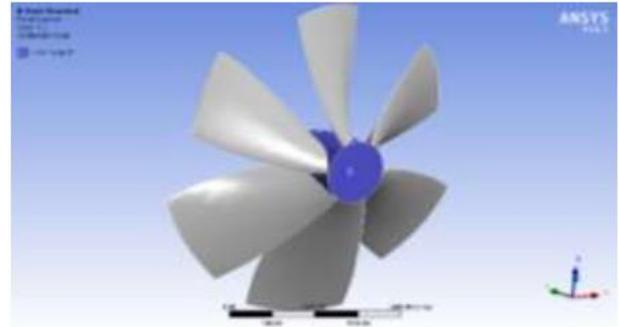
**Gambar 5.** Kurva S-N Alluminium Alloy

Setelah menentukan material yang akan digunakan, tahap selanjutnya adalah tahap *meshing*. Dimana pada tahap ini bertujuan untuk menentukan ukuran dari elemen yang akan digunakan pada saat *meshing* dari model. Setting dari *mesh* adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.** Setting Mesh

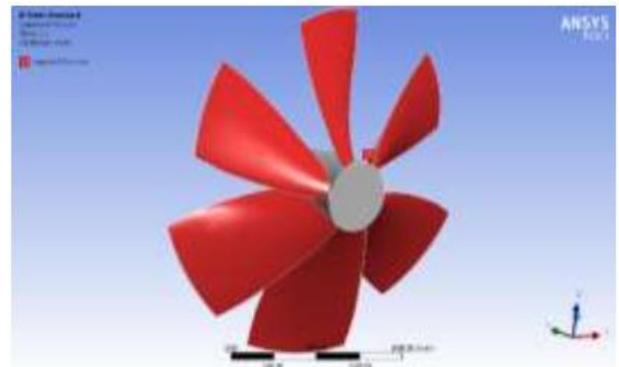
Details of Mesh	
Physics Preference	Mechanical
Size Function	Curvature
Relevance Centre	Fine
Transition	Slow
Spam Angle Centre	Fine
Smoothing	High

Setelah melakukan *mesh*, tahap selanjutnya adalah setup. Hal yang dilakukan pada tahap ini adalah menentukan fixed support dan memasukkan *Pressure* seperti pada gambar 6. Fixed support sendiri ditempatkan pada hub *propeller* yang bertujuan pada saat *mesh* dilakukan, hub tidak ikut teranalisis.



**Gambar 6.** Penentuan Fixed Support Hub *Propeller*

Gambar 7 merupakan Tahap untuk memasukkan Import *Pressure*[5]. Import *Pressure* sendiri dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dari tekanan pada masing-masing element.



**Gambar 7.** Import *Pressure*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Analisis Equivalent Stress (von-mises)

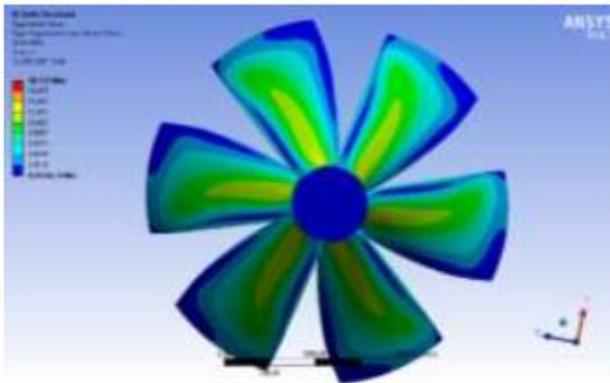
*Equivalent Stress (von-mises)* merupakan nilai tegangan skalar yang dapat dihitung dari tensor tegangan [11]. Dalam hal ini, material itu bisa dikatakan mulai luluh ketika tegangan *von-Mises* mencapai nilai kritis yang diketahui sebagai *yield strength*.

Analisis *equivalent stress (von-mises)* akan menghasilkan *hotspot stress* pada tiap element *propeller*. Hasil dari analisa *equivalent stress*

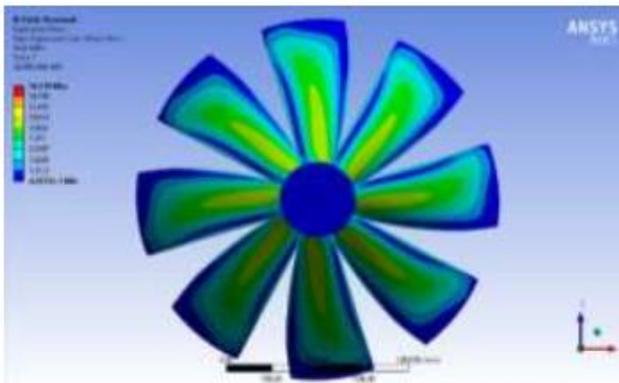
sendiri dapat diperhatikan pada tabel 5 dengan kontur stress pada tiap sisi *propeller* digambarkan pada gambar 7.

**Tabel 5.** Analisis equivalent stress (von-mises)

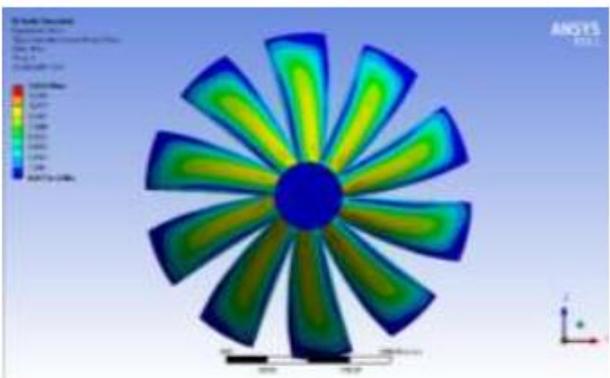
No	Variasi Blede	Equivalent Stress (Mpa)
1	Blade 6	18,11
2	Blade 8	16,32
3	Blade 10	13,93



**Gambar 8.** Equivalent Stress Blade 6



**Gambar 9.** Equivalent Stress Blade 8



**Gambar 10.** Equivalent Stress Blade 10 .

### 3.2. Hasil Analisis Fatigue Life

Analisis *life-cycles* sendiri mendefinisikan siklus dari *propeller* itu sendiri. Pada tahap ini, penulis akan melakukan analisis *fatigue life* dengan menghitung *life-cycles* menggunakan rumus *first order fatigue* dengan masa pelayaran 150 hari, 200 hari, dan 300 hari sebagai asumsi penulis. Hasil dari analisa *Life-Cycles* dapat dilihat pada tabel 6-8 dengan *kontur Life-Cycles* yang digambarkan pada gambar 13-18.

**Tabel 6.** Fatigue Cycles 150 Hari

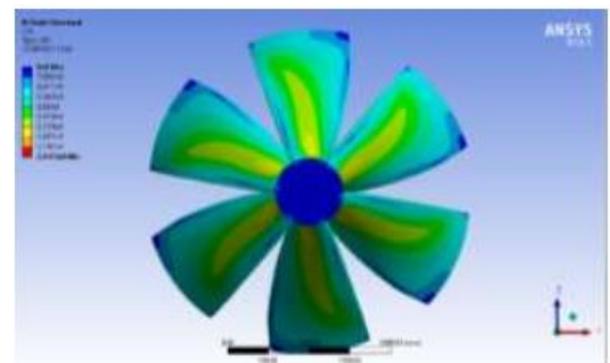
Operating Years	Fatigue Cycles	Life-Cycle Minimum (Ni)		
		Blade 6	Blade 8	Blade 10
1 Years	$1,08 \times 10^8$	2,012	$2,0123 \times 10^8$	$2,0123 \times 10^8$
10 Years	$1,08 \times 10^9$			
20 Years	$2,16 \times 10^9$	$3 \times 10^8$		
25 Years	$2,70 \times 10^9$			

**Tabel 7.** Fatigue Cycles 200 Hari

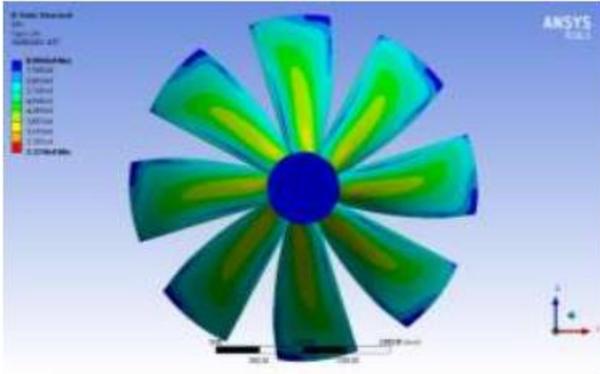
Operating Years	Fatigue Cycles	Life-Cycle Minimum (Ni)		
		Blade 6	Blade 8	Blade 10
1 Years	$1,44 \times 10^8$	2,012	$2,3278 \times 10^8$	$2,7478 \times 10^8$
10 Years	$1,44 \times 10^9$			
20 Years	$2,88 \times 10^9$	$3 \times 10^8$		
25 Years	$3,60 \times 10^9$			

**Tabel 8.** Fatigue Cycles 300

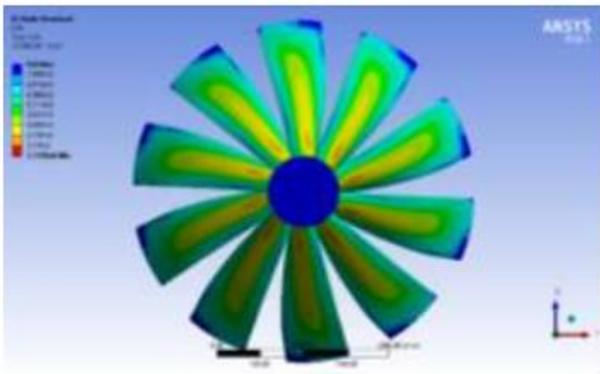
Operating Years	Fatigue Cycles	Life-Cycle Minimum (Ni)		
		Blade 6	Blade 8	Blade 10
1 Years	$2,16 \times 10^8$	2,012	$2,3278 \times 10^8$	$2,7478 \times 10^8$
10 Years	$2,16 \times 10^9$			
20 Years	$4,32 \times 10^9$	$3 \times 10^8$		
25 Years	$5,40 \times 10^9$			



**Gambar 11.** Life-Cycles pada blade 6



Gambar 12. Life-Cycles pada blade 8

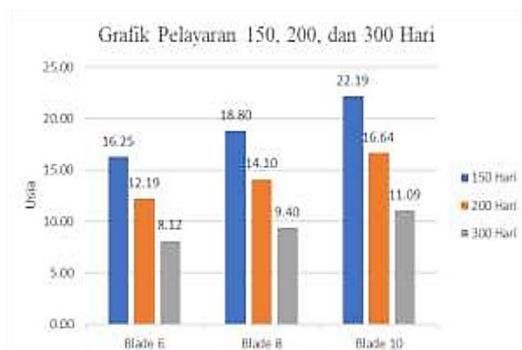


Gambar 13. Life-Cycles pada blade 10

Untuk perhitungan usia *propeller*, dapat dihitung menggunakan persamaan (2) dan (3). Hasil dari perhitungan usia kelelahan *propeller* selama 150 hari, 200 hari, dan 300 hari masa pelayaran sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil Perhitungan Pelayaran

Operating Days per Years	Usia <i>Propeller</i> (Years)		
	Blade 6	Blade 8	Blade 10
150 days	16,25	18,80	22,19
200 days	12,19	14,10	16,64
300 days	8,12	9,40	11,09



Gambar 14. Grafik Perhitungan Pelayaran

#### 4. Pembahasan

Hasil simulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *life-cycles* akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah *blade*. Hasil dari perhitungan pelayaran dapat dilihat pada grafik pada gambar 13 yang menunjukkan hasil dari perhitungan usia yang telah dilakukan. Hal ini sama seperti penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yang menyatakan bahwasanya penambahan jumlah *blade* dapat mempengaruhi usia dari *propeller* tersebut [1].

Nilai dari *life-cycle* yang diperoleh juga menunjukkan bahwa material yang dipakai untuk menganalisa *propeller* memiliki tingkat elastisitas yang tinggi sesuai dengan pedoman yang telah diteliti sebelumnya yang menyatakan bahwa material untuk *propeller* harus mencapai *life-cycles* minimal  $10^8$  [7].

Sudut Rake menghasilkan pola aliran yang mempengaruhi distribusi tekanan statis pada *blade propeller* [12]. Maka seiring dengan bertambahnya sudut *rake*, nilai distribusi tekanan akan semakin menurun

#### 5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan oleh penulis maka, dapat disimpulkan bahwa tingkat stress pada *propeller* mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah *blade*. *Life-cycle* dan usia dari *propeller* itu sendiri akan semakin panjang jika jumlah *blade* bertambah baik itu pada masa berlayar 150 hari, 200 hari, maupun 300 hari dalam satu tahun dengan kondisi normal tanpa perbaikan. Dalam hal ini, penulis menyimpulkan bahwa *blade* 10 memiliki usia paling panjang dibandingkan *propeller* dengan jumlah *blade* 6 dan 8.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada seluruh pihak yang ikut serta dalam penulisan jurnal ini kami ucapkan banyak terimakasih.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. N. Hayati, S. M. Hashemi, and M. Shams, "A study on the effect of the *Rake* angle on the performance of marine *propellers*," Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci., vol. 226, no. 4, pp. 940–955, 2012, doi: 10.1177/0954406211418588.
- [2] A. H. Techet, "Marine *propellers*," 2.016 Hydrodyn., vol. 3, pp. 2–3, 2005.
- [3] A. H. S. Hilman, I. P. Mulyatno, and M. Iqbal, "Analisa Kelelahan *Propeller* Kapal Ikan PVC Dengan Metode Elemen Hingga," J. Tek. Perkapalan, vol. 5, no. 1, pp. 243–252, 2017.
- [4] A. Risitano, D. Corallo, and G. Risitano, "Cumulative damage by Miner's rule and by energetic analisis," SDHM Struct. Durab. Heal. Monit., vol. 8, no. 2, pp. 91–109, 2012, doi: 10.3970/sdhm.2012.008.091.
- [5] IACS, "Bulk Carriers and Oil Tankers," 2014.
- [6] J. S. Carlton, Marine *propellers* and propulsion, 4th ed. London: Matthew Deans, 2018.
- [7] J. Arief, I.S., Koenhardono, E.S., and Ismail, S.H., "Perancangan Program Pemilihan *Propeller* Jenis Wageningen B Series Berbasis Efisiensi," 2014.
- [8] M. P. Antartika, B. Budianto, M. Ari, and K. Suastika, "Perbandingan Hasil Analisis Metode Elemen Hingga Berbasis Software Dengan Simple Supported Calculation Pada Kapal 50 Pax Crane Barge," J. Integr., vol. 12, no. 1, pp. 72–78, 2020, doi: 10.30871/ji.v12i1.1451.
- [9] P. Andersen, J. J. Kappel, and E. Spangenberg, "Aspects of *Propeller* Developments for a Submarine," Proc. First Int. Symp. Mar. Propulsors - smp'09, no. June, pp. 554–561, 2009.
- [10] 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, no. 8, pp. 2492–2503, 2016.
- [11] W. C. Ati, "Analisa Pengaruh Variasi Sudut *Rake Propeller* B-Series Terhadap Distribusi Aliran Fluida Dengan Metode CFD," Tugas Akhir Jur. Tek. Sist. Perkapalan, Inst. Teknol. Sepuluh Nopember, Surabaya, 2011.
- [12] Y. Dwi Putra, A. F. Zakki, and A. Trimulyono, "Perancangan *Propeller* Tipe Kaplan-series pada Kapal Selam Komersial dengan Variasi Sudut *Rake* dan Jumlah Daun untuk Mengoptimalkan Thrust," J. Tek. Perkapalan, vol. 8, no. 3, p. 262, 2020.