

# ANALISIS *FATIGUE LIFE* PADA POROS KAPAL TB. 27 M MENGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Alamsyah<sup>1\*</sup>, Amalia Ika Wulandari<sup>1</sup>, Rodlian Jamal Ikhwani<sup>1</sup>, Juiver Andarias Saka<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Kalimantan

Jl. Soekarno-Hatta Km. 15, Karang Joang, Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia

\*Email: [alamsyah@lecturer.itk.ac.id](mailto:alamsyah@lecturer.itk.ac.id)

## Abstrack

Paper ini membahas tentang sistem propulsi yang berfungsi sebagai penggerak kapal. Salah satu bagian sistem propulsi yang sangat penting adalah poros *propeller*. Tekanan berlebih yang terjadi pada poros *propeller* tentunya harus ditunjang dengan komposisi material yang baik, sehingga poros *propeller* bisa bekerja maksimal dan bertahan lebih lama. Tujuan penelitian mengetahui nilai tegangan yang bekerja dan *fatigue life* pada poros *propeller* kapal TB. 27 M. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah elemen hingga dan Palmgren-Miner cumulative damage dengan memberikan variasi beban putaran mesin 100%, 80% dan 60%. Hasil penelitian didapatkan nilai tegangan saat kondisi putaran mesin 100%, 80%, dan 60% secara berurutan yakni sebesar 201.85 Mpa, 176.69 Mpa, dan 150.03 Mpa dimana tegangan yang terjadi di bawah tegangan luluh material poros *propeller* yakni 215 Mpa. Untuk nilai *fatigue life* didapatkan saat kondisi putaran mesin 100%, 80%, dan 60% secara berurutan yakni sebesar 14 tahun, 28 tahun dan 51 tahun dengan jumlah siklus minimum yakni  $2.458 \times 10^8$  serta siklus maksimum yakni  $8.927 \times 10^8$ .

Keywords: Umur kelelahan, Poros *propeller*, kapal tunda, elemen hingga

## Abstract

This paper discusses the propulsion system which functions as a ship propulsion. One of the most important parts of the propulsion system is the propeller shaft. The excess pressure that occurs on the propeller shaft must of course be supported by a good material composition, so that the propeller shaft can work optimally and last longer. The purpose of research was to determine the value of the stress and fatigue life on propeller shaft of the TB. 27 M. ship's. The method used is the finite element and Palmgren-Miner cumulative damage by providing variations in engine speed loads of 100%, 80% and 60%. The results showed that the stress value when the engine speed conditions were 100%, 80%, and 60% respectively, namely 201.85 Mpa, 176.69 Mpa, and 150.03 Mpa where the stress that occurs under the yield stress of the propeller shaft material is 215 Mpa. The value of fatigue life is obtained when the engine speed conditions are 100%, 80%, and 60% respectively, namely 14 years, 28 years and 51 years with a minimum number of cycles of  $2,458 \times 10^8$  and a maximum cycle of  $8,927 \times 10^8$ .

Kata Kunci: *Fatigue Life*, *propeller shaft*, *Tugboat*, *finite elemen*

## 1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan suatu benda terapung yang bergerak di media air yang akan menerima gaya lawan dari media yang dilaluinya dikenal sebagai tahanan, dan harus diatasi dengan gaya dorong kedepan yang diberikan oleh alat propulsi dengan sumber tenaga dari mesin penggerak kapal [1]. Penilaian keseluruhan sistem propulsi laut untuk kapal tertentu memerlukan pengetahuan tentang gaya dorong (T) yang dibutuhkan pada kecepatan (V), dan konversinya menjadi daya yang dibutuhkan (P), selanjutnya pengetahuan tentang sifat fisik dan efisiensi mesin

penggerak yang tersedia serta penilaian berbagai propulsor dan *layout engine-propulsor* [2]. Propulsi ini memiliki satu bagian bernama poros atau biasa dikenal *shaft*. Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dan berfungsi sebagai penghubung antara mesin induk dengan *propeller* [3]. Dalam suatu perencanaan poros ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu tegangan poros, kekuatan poros, kekakuan poros, putaran poros, putaran kritis, korosi, dan material poros. Poros bisa menerima beban lenturan, beban tarikan, beban tekan atau beban puntiran yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa

gabungan satu dengan lainnya [4]. Tegangan (*stress*) adalah gaya dibagi luas penampang. Tegangan menghasilkan *Hotspot Stress* atau daerah berupa titik (*node*) yang memiliki nilai tegangan paling besar [5]. Tegangan geser banyak terjadi pada konstruksi, termasuk poros *propeller*. Dalam aplikasinya tegangan geser dapat dibedakan berdasarkan jenis gaya yang bekeja pada elemen yaitu tegangan geser langsung dan tegangan geser puntir. Pada poros tegangan yang terjadi yaitu tegangan geser puntir yang nilainya akan bervariasi tergantung beban yang diterima [6]. Kekuatan poros ketika diberi beban secara terus menerus maka material tersebut akan sampai pada titik lelahnya yang menghasilkan kerusakan permanen sebagai proses perubahan struktur permanen pada satu titik menjadi retak (*crack*) [7]. Kelelahan material pada poros dapat menyebabkan deformasi yang besar dan patah. Oleh sebab itu, desainer harus memberikan perhatian lebih untuk mencegah terjadinya kerusakan pada poros. Untuk mengantisipasi hal itu terjadi maka dapat disimulasikan dengan aplikasi berbasis elemen hingga. Penelitian menggunakan aplikasi berbasis *finite element* dimana prosedur numerik yang dapat digunakan untuk menemukan solusi dari berbagai macam masalah dalam bidang keteknikan [8]. *Fatigue Life* adalah umur atau waktu yang dibutuhkan suatu material hingga mengalami *fatigue*. Perhitungan *Fatigue* poros *propeller* berdasarkan penerapan pada aturan *Palmgren-Milner cumulative damage*, dimana diawali dengan menganalisis tegangan secara numerik dengan menggunakan pendekatan elemen hingga [9].

**2. METODE**

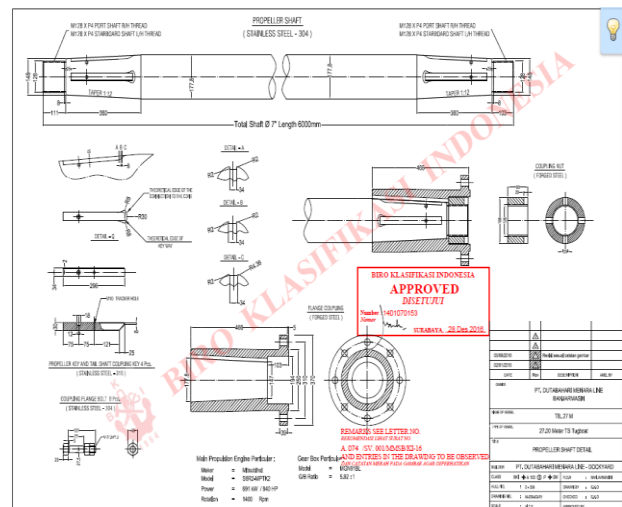
Metode penelitian menggunakan *finite element method*. Objek penelitian adalah sebuah poros *propeller* kapal *Tugboat* (TB. 27 M) yang didapatkan dari perusahaan galangan kapal swasta PT. XYZ. Data yang didapatkan berupa *particular tugboat*, data sistem propulsi, dan lebih detail dari poros *propeller* yang ditunjukkan pada Tabel 1, 2, dan Gambar 1 sebagai berikut:

**Tabel 1.** *Particular Kapal Tugboat*

<b>Particular TB. 27 M</b>	
Nama Kapal	TB. 27 M
Type	Tugboat
Flag	Indonesia
Class	BKI
L.O.A	27.00 m
Breadth Moulded	8.20 m
Depth Moulded	4.00 m
Design Draft	3.00 m

**Tabel 2.** Data Sistem Propulsi *Tugboat*

<b>Main Propulsion Engine Particular</b>		
Power	691/940	kW/H P
Rotation	1400	rpm
Shaft Length	6000	mm
Shaft Diameter	177.08.0 0	mm



**Gambar 1.** Poros *propeller tugboat*

Dari *Propeller Shaft Detail* dapat dilihat bahwa material yang digunakan pada poros *propeller tugboat* yaitu *Stainless Steel – 304*. Adapun material properties dari *Stainless Steel – 304* ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Data *Mechanical properties* poros *propeller*

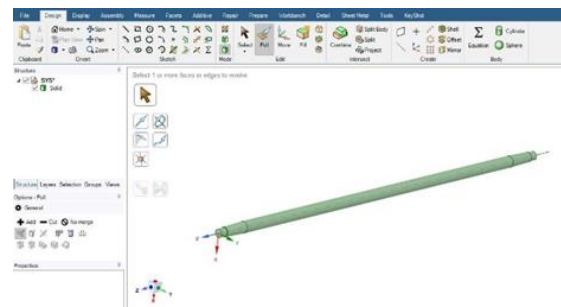
<b>Material Properties Stainless Steel – 304</b>		
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	505	MPa
<i>Tensile Strength, Yield</i>	215	MPa
<i>Modulus of Elasticity</i>	193-200	GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	00.29	
<i>Shear Modulus</i>	86	GPa

(Sumber: asm.matweb.com, 2020)

Dalam melakukan analisa tegangan dan menentukan umur kelelahan poros *propeller* dilakukan beberapa tahapan. Tahap pertama dilakukan studi literatur berupa pengumpulan data publikasi ilmiah dan jurnal-jurnal yang membahas tentang elemen hingga dan *fatigue life*. Tahapan kedua yaitu pengolahan data mulai dari permodelan 3D poros *propeller* dan menganalisisnya dengan bantuan *software* berbasis *Finite Element*. Tahap ketiga dilakukan yakni menentukan nilai tegangan yang bekerja pada poros *propeller* dengan melakukan variasi beban torsi. Serta tahap terakhir yakni menentukan umur kelelahan poros *propeller* (*fatigue life*).

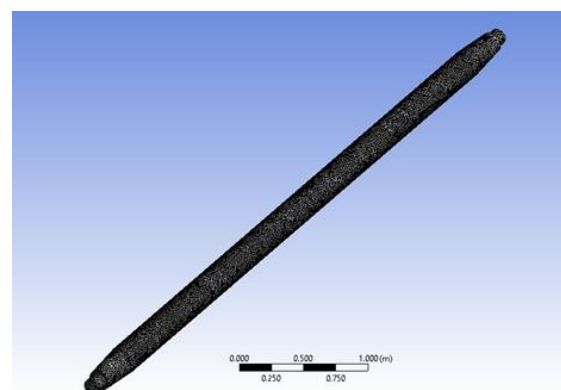
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan *shaft*/poros *propeller* adalah langkah pertama yang harus dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis elemen hingga. Dalam pemodelan ini menggunakan sumbu x, y dan z atau biasa di sebut dengan 3D modeling. Pemodelan yang akan dilakukan didesain berdasarkan data *Propeller Shaft Detail* yang telah di dapatkan dari PT. XYZ. Data yang di gunakan pada pemodelan ini ialah berupa panjang, diameter dan material dari *Propeller Shaft Detail*, tentunya juga menggunakan data daya mesin dari kapal TB. 27 M tersebut untuk mengetahui besar putaran mesin untuk mendapatkan besar momen torsi pada poros. Berikut adalah tampilan hasil pemodelan 3D *Shaft propeller* ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Tampilan 3D Poros *propeller*

Dalam pemodelan 3D dengan menggunakan aplikasi berbasis FE dilakukan juga proses *meshing* yakni pengaturan jarak antara elemen yang harus dilakukan pada tahap *pre-processing* sebelum melakukan analisis. Ukuran *element* yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu sebesar 20 mm. *Meshing size* ini juga berpengaruh terhadap waktu lama atau tidaknya proses *running* pada model tersebut. Semakin banyak jumlah *element* yang di tinjau maka semakin lama waktu *running* yang dibutuhkan dan sebaliknya semakin sedikit jumlah *element* yang di tinjau maka semakin cepat waktu *running* pada model tersebut. Berikut adalah hasil *Meshing* model 3D *Shaft propeller* ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Tampilan hasil mesh Poros *propeller tugboat*

Gambar 3 menunjukkan hasil *meshing* model 3D *Shaft propeller* yang telah dibagi menjadi beberapa bagian kecil disebut *nodes* dan *elements* dengan jumlah masing-masing yakni 85717 *node* dan 48251 *element*. Setelah didapatkan hasil *meshing*, maka dapat dilakukan input kondisi batas dengan tujuan mengetahui nilai tegangan yang terjadi pada poros *propeller*. Kondisi batas yang dimaksud berupa “*Fixed Support*” yang berfungsi sebagai tumpuan jepit menahan beban dari arah x, y, dan z serta dapat menahan momen. *Fixed support* digunakan karena disesuaikan dengan pembacaan *software*. Selanjutnya kondisi batas lainnya berupa “*force/moment*” yang berfungsi sebagai gaya yang bekerja pada poros *propeller*. Nilai *force* yang diinput adalah nilai *thrust*/gaya dorong *propeller* kapal. Sedangkan nilai “*moment*” yang diinput adalah moment torsi hasil dari putaran mesin yang telah direduksi *gearbox*. Berikut adalah komposisi nilai *force* dan moment menurut variasi pembebanan yang diberikn pada poros *propeller* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Input force & moment

Variasi beban (%)	Moment torsi (Nm)	Thrust (N)	Putaran mesin (Rpm)
100	22804	71055	2.634.865
80	18243	71055	2.634.865
60	13682	71055	2.634.865

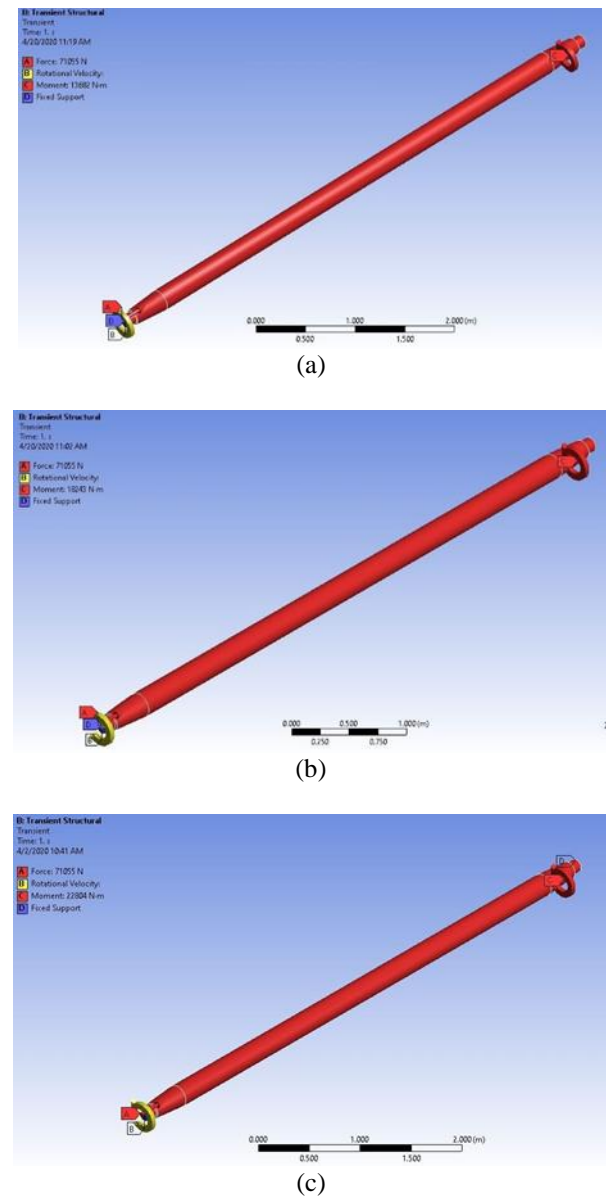
Perhitung nilai beban *thrust* (dorong) dan torsional *moment* yang diinput pada aplikasi berbasis FE digunakan persamaan sebagai berikut [10]:

$$T = \frac{EHP}{(1 - t) \cdot V_s} \tag{1}$$

$$M_t = \frac{DHP \times 75 \times 60}{2\pi \cdot n} \tag{2}$$

Nilai T = *thrust* adalah gaya dorong, EHP = effective horse power, t = deduction factor, dan

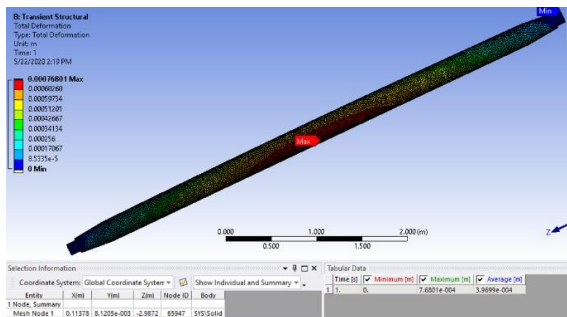
Vs = kecepatan. Sedangkan Mt adalah momen torsi (Kg.m), DHP = delivery horse power, dan n adalah rpm gearbox. Hasil analisa pada penelitian diantaranya yaitu total deformasi, *equivalent (von misses) stress*, *hotspot stress*, dan *life cycle*. Langkah input *force* dan *moment* pada aplikasi berbasis FE dengan variasi beban 60%, 80%, dan 100% ditunjukkan pada Gambar 4.



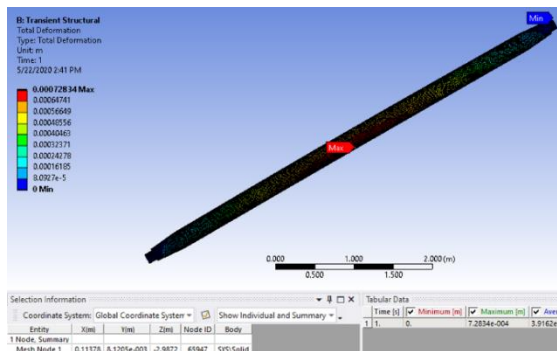
Gambar 4. a). input *force* dan *moment* dengan torsi 60%, b) input *force* dan *moment* dengan torsi 80%, dan c) input *force* dan *moment* dengan torsi 100%.

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai titik “A” adalah *force*, titik “B” adalah *rotational velocity* atau besar rpm, titik “C” adalah moment torsi, dan titik “D” adalah *fixed support* sebagai penahan agar poros tidak mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal.

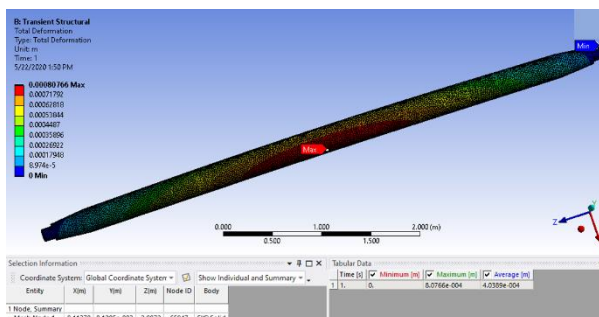
Hasil analisa setelah dilakukan *running solution* pada software verivis FE berupa total deformasi pada variasi beban 60%, 80%, dan 100% ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)



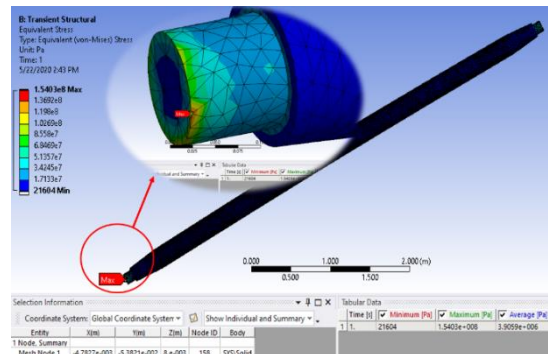
(b)



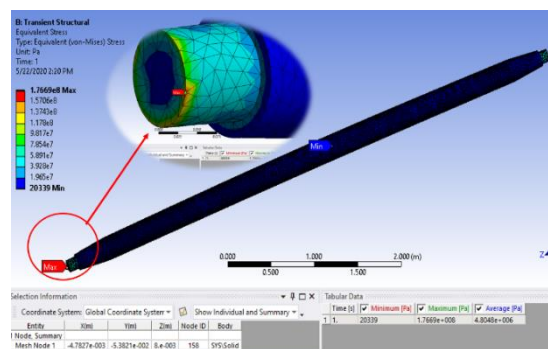
(c)

**Gambar 5.** a). total deformasi dengan torsi 60%, b) total deformasi dengan torsi 80%, dan c) total deformasi dengan torsi 100%.

Gambar 5 secara umum menunjukkan bahwa nilai deformasi maksimum ditandai dengan gradasi warna merah dan deformasi minimum adalah warna biru. Gambar 5a menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah dari badan poros yakni node 65947 dan arah deformasinya pada sumbu z sebesar sebesar  $72834 \times 10^{-5}$  mm. Untuk Gambar 5b menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah dari badan poros yakni node 65947 dan arah deformasinya pada sumbu z sebesar sebesar  $76801 \times 10^{-5}$  mm. Sedangkan Gambar 5c menunjukkan bahwa deformasi maksimum terjadi pada bagian tengah dari badan poros yakni node 65947 dan arah deformasinya pada sumbu z sebesar sebesar  $80766 \times 10^{-5}$  mm. Untuk nilai *equivalent (von mises) stress*, *hotspot stress* yang didapatkan setelah *running solution* pada poros *propeller* dengan variasi beban 60%, 80%, dan 100% ditunjukkan pada Gambar 6.

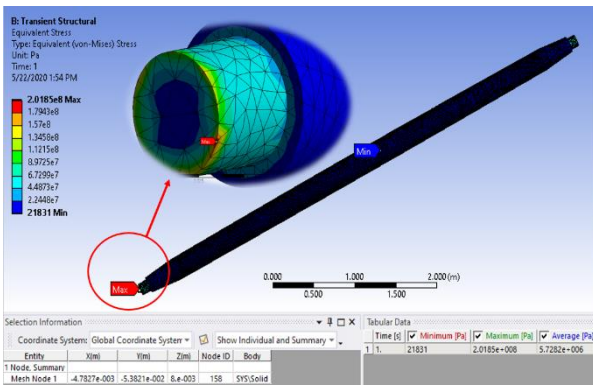


(a)



(b)





(c)

Gambar 6 secara umum menunjukkan bahwa nilai *equivalent (von misses) stress* maksimum ditandai dengan gradasi warna merah dan *equivalent (von misses) stress* minimum adalah warna biru. Gambar 6a menunjukkan bahwa tegangan maksimum terletak pada bagian ujung poros *propeller* atau *node 158* dengan arah tegangan pada sumbu *z* yang selanjutnya disebut *hotspot stress* sebesar  $1.5403 \times 10^8$  Pa atau sebesar 154.03 Mpa serta siklus minimum sebesar  $8.9272 \times 10^8$ . Untuk Gambar 6b menunjukkan bahwa tegangan maksimum terletak pada bagian ujung poros *propeller* atau *node 158* dengan arah tegangan pada sumbu *z* yang selanjutnya disebut *hotspot stress* sebesar sebesar  $1.7669 \times 10^8$  Pa atau sebesar 176.69 Mpa serta siklus minimum sebesar  $4.8531 \times 10^8$ . Sedangkan Gambar 6c menunjukkan bahwa tegangan maksimum terletak pada bagian ujung poros *propeller* atau *node 158* dengan arah tegangan pada sumbu *z* yang selanjutnya disebut *hotspot stress* sebesar  $2.0185 \times 10^8$  Pa atau sebesar 201.85 Mpa serta siklus minimum sebesar  $2.459 \times 10^8$ . Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan maksimum dan siklus untuk masing-masing variasi beban yang diberikan pada poros *propeller* ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Nilai tegangan maksimum dan siklus beban

Variasi beban (%)	Moment torsi (Nm)	Stress (Mpa)	Siklus min. (cycle)
100	22804	201.85	$2.459 \times 10^8$
80	18243	176.69	$4.8531 \times 10^8$
60	13682	154.03.00	$8.9272 \times 10^8$

Setelah mendapatkan nilai tegangan maksimal dan *hotspot stress* untuk masing-masing variasi beban selanjutnya dilakukan tahapan terakhir pada penelitian ini yakni menentukan umur kelelahan (*Fatigue life*) poros *propeller*. Perhitungan *fatigue life* dalam kasus tersebut perlu mempertimbangkan jumlah siklusnya minimal hasil analisa software sebesar  $10^8$ , bahkan lebih dari nilai tersebut akan semakin layak [11]. Perkiraan umur material dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM} \times years \tag{3}$$

$$DM = \frac{N_L}{N_i} \tag{4}$$

$$N_L = \frac{0,85 \cdot T_L}{4 \log L} \tag{5}$$

*Design life* = umur standar dari poros *propeller* (25 tahun sesuai aturan klasifikasi), *DM* = *cumulative fatigue damage*, *N<sub>L</sub>* = total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun, *N<sub>i</sub>* = jumlah siklus minimum sesuai hasil analisis *software*, *L* = panjang *L<sub>PP</sub>* kapal, dan *T<sub>L</sub>* adalah nilai siklus beban material *propeller* selama *design life* tersebut dalam bentuk siklus. Selain menggunakan persamaan 3, 4, dan 5 digunakan juga rumus perhitungan untuk *First - Order Fatigue Cycle* pada material poros *propeller* sebagai berikut [12].

$$\text{First-order fatigue cycle} = \text{rpm} \times 60 \text{ minutes} \times 24 \text{ hours} \times \text{operating days in a year} \quad (6)$$

dimana rpm = putaran mesin dan *operating days in a year* = jumlah hari operasional dalam setahun (300 hari). Perhitungan pertama yang dilakukan adalah menentukan *First-order fatigue cycle* selama 1 tahun kemudian dilanjutkan dengan menghitung siklus 25 tahun dengan cara yang sama akan tetapi menyesuaikan jumlah hari operasional selama 25 tahun (7500 hari). Sehingga didapatkan nilai *first-order fatigue cycle* selama 25 tahun yakni  $2.58 \times 10^9 \text{ cycle}$ . Langkah selanjutnya menentukan nilai total jumlah siklus yang direncanakan untuk 25 tahun dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan nilai  $N_L = 4.33 \times 10^8 \text{ cycle}$ . Untuk menentukan *fatigue damage* masing-masing variasi beban poros *propeller* menggunakan persamaan (4), sehingga didapatkan nilai DM untuk variasi beban 60%, 80%, dan 100% secara berturut-turut 0.48, 0.76, dan 1.76. Penentuan *fatigue life* (umur kelelahan) material poros *propeller* menggunakan persamaan (3) yang ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Nilai *fatigue life* (umur kelelahan poros)

Variasi beban (%)	$\sigma_{max}$ (Mpa)	cycle	DM	<i>Fatigue life</i> (tahun)
100	201.85	$2.459 \times 10^8$	0,094444	14.19
80	176.69	$4.853 \times 10^8$	0,061806	28
60	154.03.00	$8.927 \times 10^8$	00.48	51.05.00

Tabel 6 menunjukkan nilai *fatigue life* pada pembebanan 100% adalah sebesar 14.19 tahun, pembebanan 80% sebesar 28 tahun, dan pembebanan 60% sebesar 51.5 tahun.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang *fatigue life* pada poros *propeller* kapal *Tugboat TB. 27 M* menggunakan metode elemen hingga dengan

variasi beban torsi, maka didapatkan kesimpulan bahwa *hotspot stress* terjadi pada bagian ujung poros sesuai hasil *output* dari aplikasi elemen hingga yang ditandai dengan gradasi berwarna merah dengan nilai *stress* maksimum untuk masing-masing pembebanan adalah 201.85 MPa pada kondisi putaran mesin 100%, 176.69 MPa pada kondisi putaran mesin 80%, 154.03 MPa pada kondisi putaran mesin 60%. Sedangkan nilai *fatigue life* poros *propeller* pada kondisi putaran mesin 100% adalah 14.19 tahun dengan siklus sebesar  $2.459 \times 10^8$ , kondisi putaran mesin 80% sebesar 28 tahun dengan siklus sebesar  $4.853 \times 10^8$ , dan kondisi putaran mesin 60% sebesar 51.5 tahun dengan siklus sebesar  $8.927 \times 10^8$ . Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan memanfaatkan software yang berbasis elemen hingga lainnya seperti *Nastran*, *Patran* dan *Abacus* dan penambahan jumlah elemen dan node dengan memperkecil *mesh size* yang akan menambah tingkat keakuratan hasil analisa.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Ungkapan terimakasih kepada PT. Dutabahari Menara Line serta Laboratorium Perencanaan Desain Gambar Konstruksi dan Permesinan Program Studi Teknik Perkapalan Institut Teknologi Kalimantan yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga makalah ini bisa terselesaikan. Terimakasih pula kepada reviewer yang tidak diketahui namanya yang sangat membantu dan memberikan masukan-masukan yang brilian sehingga makalah ini layak dipublikasikan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Utomo, B. Peranan Baling-Baling Pada Gerakan Kapal, TEKNIK – Vol. 33 No.2: 106 – 111, 2012.
- [2] Molland, A. F. Ship Resistance and Propulsion. United States: Cambridge University, 2011.

- [3] Ibrohim et, al. Implementasi Mesin Pengiris Keripik Tempe Untuk Meningkatkan Produktivitas UKM Tempe, Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET), Vol. 2 No. 1: 1-10, 2019.
- [4] Shigley, J. E., Mitchell, L. D., Harahap, G. Perencanaan Teknik Mesin Jilid 2 Edisi 4, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1983.
- [5] Lubis, R. Diktat Kuliah Fisika Dasar 1. UNIKOM: Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknik & Ilmu Komputer. 2008.
- [6] Awali, J., Asrori. Analisa Kegagalan Poros Dengan Pendekatan Metode Elemen Hingga, TURBO Vol. 2 No. 2: 39-44, 2013.
- [7] M., M., & Septian, R. Analisa Pengujian Lelah Material Stainless Steel 304 Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, Vol. 1 No.1: 64-73. 2018.
- [8] Saeed, M. Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS : Penerbit Prentice Hall, 1999.
- [9] Nubly, M. H., & Yudo, H. Strength Analysis of Propeller Shafting on Orca Class Fisheries Inspection Boat using Finite Element Method. International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol. 8 No.10: 1599-1610. 2017.
- [10] Lewis, E. V. Principles of Naval Architecture. Jersey City: Society of Naval Architects & Marine Engineers. 1988.
- [11] Carlton, J. Marine Propellers and Propulsion 2nd Edition. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2007.
- [12] Rido, M., et. all. Analisa fatigue Propeller Tug boat ARI 400 hp Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 3, No.1: 110-117. 2015.