



Analisis Kekuatan Shaft Propeller Kapal Rescue 40 Meter dengan Metode Elemen Hingga

Totok Yulianto ^{1)*}, Rizky Chandra Ariesta¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Jl. Raya ITS, Sukolil, Surabaya, Indonesia 60111

diajukan pada : 10/06/19

direvisi pada : 07/09/19

diterima pada : 07/10/19

Abstrak

Dalam mendesain sebuah diameter poros propeller disyaratkan untuk mempertimbangkan kekuatannya. Ukuran diameter poros yang memenuhi kriteria kekuatan ditentukan sesuai persyaratan standar klasifikasi yang digunakan. Tujuan pada penelitian ini adalah menganalisis kekuatan poros dengan diameter 95 mm pada kapal rescue 40 meter menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH). Tahapan analisis pemodelan geometri pada software finite element analysis (FEA) adalah pembuatan geometri poros, penentuan kondisi batas, pembebanan, pendiskritisasi elemen, dan analisis tegangan yang terjadi pada poros. Tegangan ditimbulkan akibat dari putaran mesin, berat dan tumpuan pada setiap support pada poros. Tegangan dibandingkan dengan aturan Biro Klasifikasi Indonesia Volume III Rules for Machinery Installations untuk membandingkan nilai diameter desain poros dengan tegangan yang diambil dari nilai safety factor pada setiap daerah poros. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai tegangan geser maksimum terjadi pada poros dengan nilai 88 MPa dengan tegangan yang diijinkan adalah 102.9 MPa. Sedangkan tegangan von Mises maksimum yang terjadi adalah sebesar 152.3 MPa dengan tegangan yang diijinkan adalah sebesar 205.8 MPa. Maka material AISI 304 dengan diameter 95 mm memenuhi tegangan yang diijinkan oleh klasifikasi.

Copyright © 2019, **KAPAL**, 1829-8370 (p), 2301-9069(e)

Kata Kunci : Poros, Metode Elemen Hingga (MEH), Geometri, Tegangan

1. PENDAHULUAN

Kapal beroperasi menggunakan *propeller* yang diputar oleh mesin dan ditransformasikan putarannya oleh poros *propeller*. Poros yang berputar harus mampu menahan gaya yang bekerja dalam perputarannya. Gaya yang bekerja pada poros adalah gaya dorong dari *propeller* untuk mendorong kapal (*thrust*), momen torsi akibat putaran *propeller*, berat *propeller*, dan berat daripada poros itu sendiri. Sistem poros merupakan elemen mesin yang penting untuk daya dorong kapal. Sedangkan *propeller* berfungsi untuk mendistribusikan daya dari mesin utama atau utama *gearbox* untuk poros *propeller*. Torsi yang dikeluarkan oleh mesin utama akan

menyebabkan kegagalan pada koping yang berakibat putus, terutama pada kunci dan baut. Kerusakan pada sambungan merupakan masalah penting karena mesin utama tidak dapat mendistribusikan daya ke *propeller* [1].

Secara teori jika kekuatan desain diameter poros *propeller* tidak memenuhi diameter yang disyaratkan, maka poros tidak memenuhi kriteria klasifikasi yang disyaratkan atau dengan kata lain diragukan kekuatannya. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis diameter poros untuk menentukan kekuatannya dengan mensimulasikan analisis hasil tegangan untuk memprediksi kekuatan poros pada desain sebagai syarat pemenuhan standar klasifikasi.

Sifat material, sifat geometris dan proses manufaktur dapat mempengaruhi kualitas suatu desain [2]. Nubly [3] dalam penelitiannya telah

*) Penulis Korespondensi :

Email : penulis@undip.ac.id

melakukan penelitian analisis tegangan pada poros dengan memberikan variasi kondisi pembebanan kerja mesin yang menyebabkan tegangan terjadi pada poros. Tegangan yang terjadi didapatkan dari analisis numerik dengan menggunakan pendekatan elemen hingga.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan poros *propeller* Kapal Rescue 40 meter yang memiliki 3 poros *propeller* dengan perbedaan letak tumpuan antara poros kiri, kanan dan poros tengah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain poros dengan material AISI 304 berdiameter 95 mm memenuhi persyaratan kekuatan yang disyaratkan oleh klasifikasi.

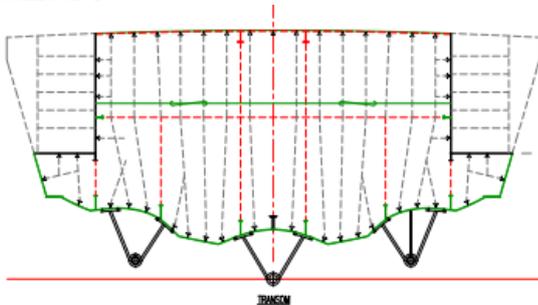
2. METODE

Analisis ini dilakukan berdasarkan studi kasus yang pada Kapal *Rescue Boat* 40 meter dengan mesin utama dapat dilihat Tabel 1

Tabel 1. Data Permesinan Kapal Kapal Rescue 40 meter

Kriteria	Nilai	Satuan
Merk Mesin	Man V12	Unit
Power	1400	HP
Rpm	2100	m ³
Gearbox Ratio	2.5 : 1	-

Kapal ini memiliki 3 poros *propeller* untuk mendukung operasionalnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi poros sisi dan poros Times New Roman 11.

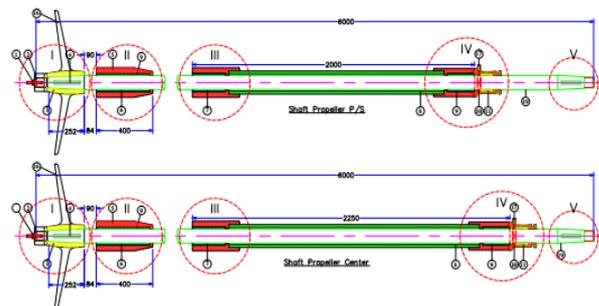
Kekuatan poros ditentukan oleh perhitungan diameter minimum dan beberapa pembebanan akibat gaya dorong, momen torsi, berat poros dan berat *propeller*. Gaya dorong, momen torsi dan komponen berat mengakibatkan tegangan pada sepanjang poros, tegangan yang berpengaruh di kasus ini adalah tegangan geser yang terjadi saat kapal beroperasi. Perputaran ini mengakibatkan tegangan dan deformasi elastis pada poros.

Pada kasus ini, analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mendapatkan respon tegangan pada poros. Pemodelan poros dibantu menggunakan FEA dengan tahapan pemodelan geometri,

mendeskripsikan material, menentukan kondisi batas, pembebanan, diskritisasi elemen, dan menjalankan analisis sehingga didapatkan hasil tegangan pada poros.

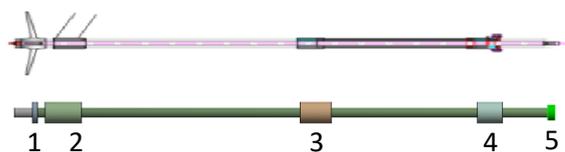
2.1. Permodelan Poros

Poros dimodelkan dengan 2 variasi yaitu dengan memodelkan satu poros bagian tengah dan poros bagian sisi (kanan/kiri). Poros bagian sisi diasumsikan identik sehingga hanya dimodelkan satu bagian pada penelitian ini. Detail ukuran panjang poros dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Detail perbedaan ukuran konfigurasi poros

Perbedaan ukuran terletak pada panjang *stern tube propeller*, panjang *stern tube* poros pada sisi sepanjang 2000 mm sedangkan panjang *stern tube* pada poros tengah adalah 2250 mm. Pendefinisian bagian model poros dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pendefinisian geometri model bagian poros kapal

Nomor 1 merupakan *propeller boss* dan *keyway*, nomor 2 *V-bracket*, nomor 3 dan 4 adalah *stern tube bearing* serta nomor 5 adalah *nut* mesin.

2.2. Mechanical Properties Poros

Mechanical Properties Shaft menggunakan material AISI 304 yang merupakan baja tahan karat [4]. *Mechanical properties* material AISI 304 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Mechanical Properties AISI 304

Kriteria	Nilai	Satuan
<i>Yield Strength</i>	303.7	Mpa
<i>Ultimate Strength</i>	606.7	MPa
<i>Density</i>	7950	Kg/m ³

2.3. Gaya Dorong Kapal

Gaya dorong (T) merupakan gaya yang diperlukan untuk mendorong kapal T harus lebih besar dari tahanan (R) kapal, selisih antara T dengan R disebut penambahan tahanan, yang pada prakteknya dianggap sebagai pengurangan atau deduksi gaya dorong *propeller*. Kehilangan gaya dorong sebesar (T-R) ini dinyatakan dalam fraksi deduksi gaya dorong [5]. Maka T dapat dihitung dengan:

$$T = \frac{EHP}{(1-t).Vs} \quad (1)$$

Thrust didapatkan dari *effective horse power* (EHP) berbanding terbalik dengan *deduction factor* (t) yang berbanding lurus dengan kecepatan (vs).

2.4. Momen Torsi

Momen torsi digunakan masukan data power mesin, kecepatan *angular*, dan *gearbox ratio*. Untuk mendapatkan kecepatan *angular* dari *gearbox* dengan persamaan berikut:

$$\eta_{output} = \frac{\eta_{input}}{gearbox\ ratio} \quad (2)$$

Setelah mendapatkan kecepatan *angular* dari *gearbox*, kemudian momen torsi (Mt) yang terjadi pada dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [6]:

$$Mt = \frac{DHP .75 .60}{2\pi.n} \quad (3)$$

dimana Mt adalah momen torsi (Kg.m), DHP adalah *delivery horse power* (HP), n adalah rpm *gearbox*.

2.5. Faktor Keamanan dan Tegangan Ijin

Faktor keamanan adalah ratio kewanaman struktur untuk mampu bertahan terhadap beban kerja [7]. Perhitungan material faktor didasarkan pada rule Biro Klasifikasi Indonesia Volume III Rules for Machinery Installation dengan material faktor (cw) didapatkan dari [8]:

$$Cw = \frac{560}{Rm+160} \quad (4)$$

Rm adalah minimum *tensile strength* dari material. Kemudian faktor keamanan (SF) didapatkan dari:

$$SF = cw . position\ factor \quad (5)$$

Position factor (PF) adalah pengaruh letak dengan nilai untuk shaft adalah 1.22, lubricating = 1.40 dan keyway = 1.26, berdasarkan perhitungan tersebut akan dikalikan dengan *yield strength* material untuk mendapatkan tegangan ijin. Perhitungan tegangan ijin dilakukan dengan persamaan:

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{yield}}{2.Safety\ Factor} \quad (6)$$

Untuk tegangan ijin *shear stress*, lalu

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{yield}}{Safety\ Factor} \quad (7)$$

Untuk tegangan ijin von Mises *stress*.

2.6. Kondisi Batas dan Pembebanan

Reaksi atau gaya yang timbul pada suatu benda bergantung pada bagaimana benda tersebut ditumpu dan disambungkan terhadap benda lain. Ada beberapa kondisi tumpuan pada sebuah struktur. Pada penelitian ini, kondisi batas berdasarkan yang diberikan pada model ada 2 yaitu adalah *cylindrical support* dan *fixed support* pada ujungnya sesuai [9]. Batasan *cylindrical support* dipilih Karena memiliki sifat dapat memberikan 3 macam kondisi dengan batasan gerakan secara radial, axial dan tangensial, untuk model ini kondisi yang diberikan adalah fixed pada gerakan radial dan free pada axial dan tangensial [10].

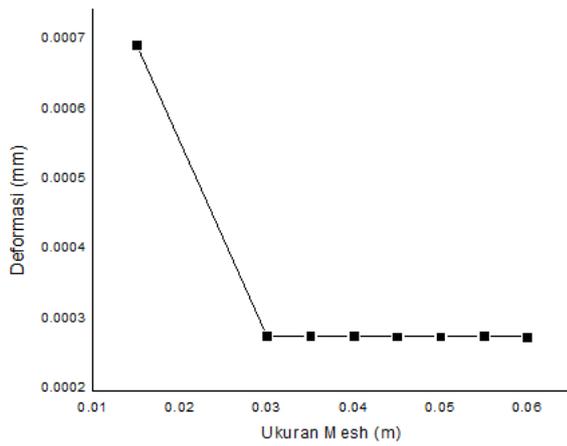
Sedangkan untuk analisis ini hanya menggunakan sistem *entry load* pada model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beban-beban pada poros

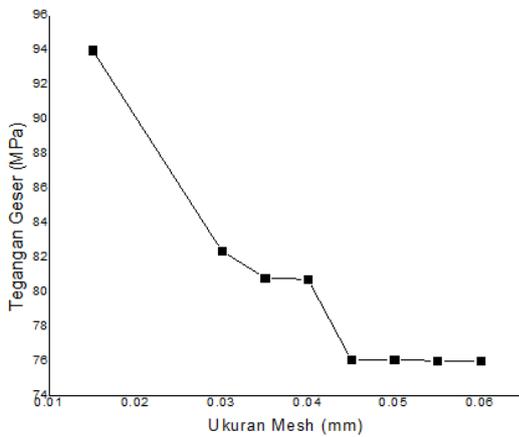
Jenis Beban	Nilai	Satuan
<i>Thrust</i>	45150	N
<i>Torisonal Moment</i>	11878	N.m
<i>Shaft Weight</i>	1024	Kg
<i>Propeller Weight</i>	138	Kg

2.7. Sensitifitas Diskritisasi

Mesh Sensitivity pada Gambar 4 dan Gambar 5. merupakan tahapan yang dilakukan untuk menentukan ukuran elemen yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang valid [11].



Gambar 4. Grafik *Mesh sensitivity* deformasi vs ukuran mesh

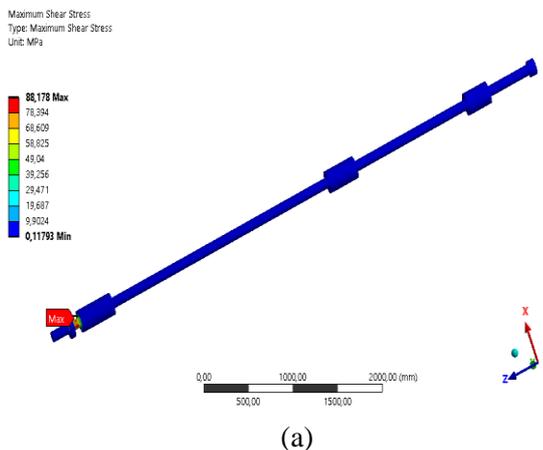


Gambar 5. Grafik *mesh sensitivity* tegangan geser vs ukuran mesh

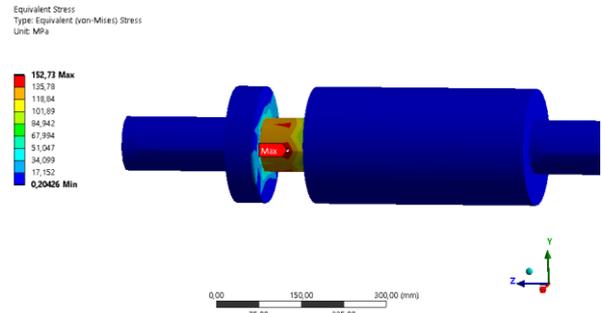
Berdasarkan analisis ukuran elemen yang digunakan adalah 5 mm untuk proses analisis selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* FEA maka didapatkan hasil tegangan geser (σ_y) dan tegangan von Mises (σ_v) pada poros sisi dapat dilihat pada Gambar 6.



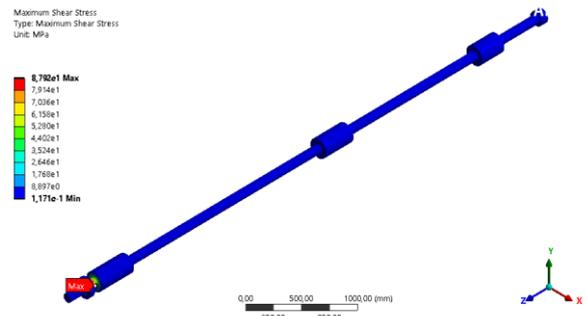
(a)



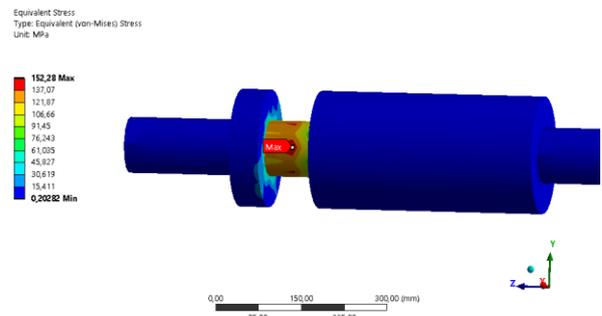
(b)

Gambar 6. Hasil tegangan geser (a) dan von mises (b) poros sisi

Dapat dilihat tegangan geser yang terjadi pada poros sisi sebesar 88.18 MPa dan tegangan von mises yang terjadi sebesar 152.73. Kemudian tegangan yang terjadi poros tengah yang dapat dilihat pada Gambar 7.



(a)



(b)

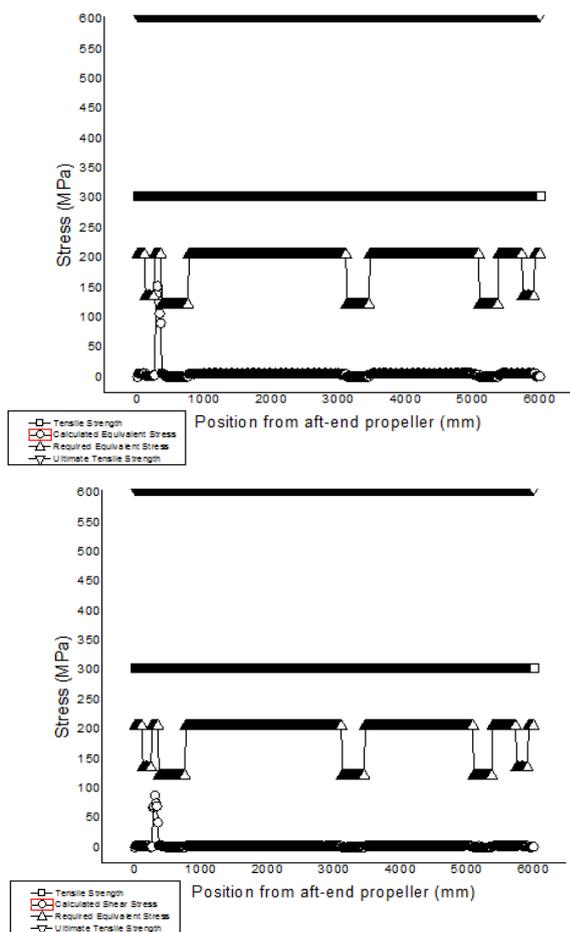
Gambar 7. Hasil tegangan geser (a) dan von mises (b) poros tengah

Pada poros tengah dapat diamati tegangan geser yang terjadi pada poros sisi sebesar 87.92 MPa dan tegangan von mises yang terjadi sebesar 152.28 MPa. Setelah didapatkan tegangan pada masing-masing dilakukan perhitungan berdasarkan persamaan (5) untuk mendapatkan nilai faktor keamanan yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor Keamanan Bagian Poros

Items	PF	SF
Shaft	1.22	1.48
Stern tube Bearing	1.40	1.69
Keyway	1.46	1.52

Nilai faktor keamanan digunakan untuk menentukan nilai tegangan geser dan tegangan von mises yang diijinkan sepanjang poros. Nilai tegangan geser dan tegangan von mises yang diijinkan pada poros sisi (kiri/kanan) terdapat di Gambar 8.



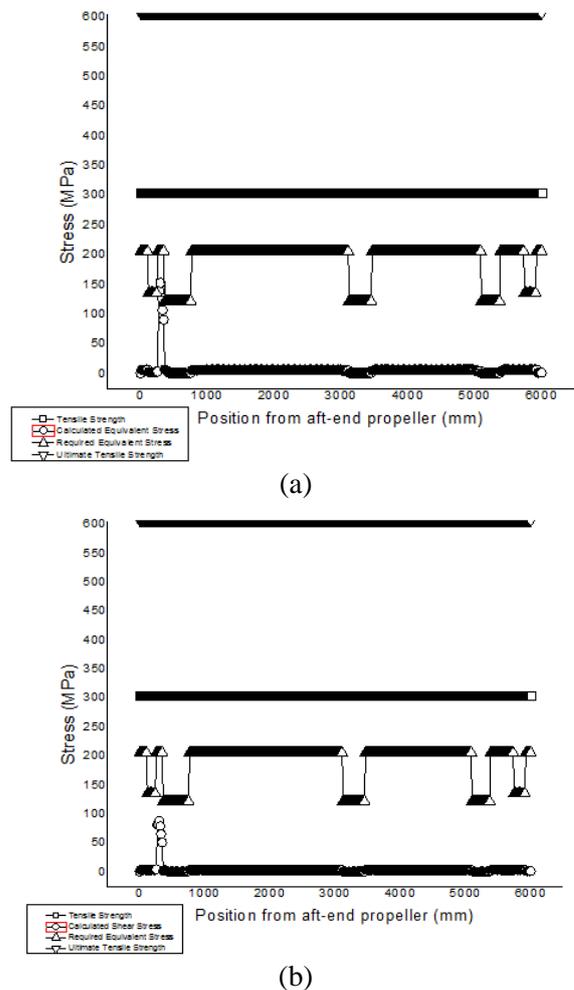
Gambar 8. Tegangan ijin pada poros sisi

Nilai tegangan geser dan tegangan von mises yang diijinkan pada poros tengah terdapat di Gambar 9. Gambar 9.a adalah hasil tegangan *von mises* dan Gambar 9.b adalah tegangan geser yang terjadi pada poros. Berdasarkan grafik penerimaan tegangan geser dan tegangan von mises maka nilai tegangan ijin pada poros sisi dan tengah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Tegangan Ijin

Items	σ_y (max)	σ_v (max)	σ_{iy} (max)	σ_{iv} (max)
Shaft (s)	88.18	152.73	102.9	205.8
Shaft (c)	87.92	152.28	102.9	205.8

Keterangan: s=sisi; c=tengah



Gambar 9. Tegangan ijin pada poros tengah

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat menjelaskan bahwa kekuatan poros propeller Kapal Rescue 40 M sisi maupun tengah dengan menggunakan material AISI 304 berdiameter 95 mm menghasilkan tegangan geser dan tegangan von mises yang masih memenuhi tegangan yang diijinkan oleh klasifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] D. E. E. Osakue, D. L. Anetor and D. C. Odetunde, "Fatigue Shaft Design Verification for Bending and Torsion," *International Journal of Engineering Innovation and Research*, vol. 4, no. 1, pp. 197-206, 2015.

- [2] Y. Zhang, X. D. He, Q. L. Liu and B. C. Wen, "Reliability-based optimization and robust design of a coil tube-spring with non-normal distribution parameters," in *IMechE*, 2005.
- [3] H. M. Nubly and H. Yudo, "Strength Analysis of Propeller Shafting on Orca Class Fisheries Inspection Boat Using Finite Element Method," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 8, no. 10, pp. 1599-1610, 2017.
- [4] R. Plaut and C. Herrera, "A short review on Wrought Austenitic Stainless Steel at high temperatures, processing, microstructure, properties and performance," *Material Research*, vol. 10, no. 4, pp. 453-460, 2007.
- [5] E. V. Lewis, *Principles of Naval Architecture*, Jersey City: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1988.
- [6] T. D. S. Z. 9. MTU Friedrichshafen GmbH, "marinepartexpress," [Online]. Available: www.marinepartexpress.com/prodbullzf07/ZF_9300.pdf. [Accessed 12 Juni 2019].
- [7] Y. W.C and B. R.G, *Roark's Formulas for Stress and Strain*, Ney Jersey: New York McGraw, 2002.
- [8] B. K. Indonesia, *Volume III Rules For Machinery Installations*, Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia Head Office, 2018.
- [9] W. Kang, Z. Zhengguo and Y. Chen, "The Random Vibration and Force transmission characteristics of the elastic propeller-shafting system induced by inflow turbulence," *Ocean Engineering*, vol. 188, no. 106317, pp. 1-13, 2019.
- [10] A. Nadaf and V. Raikar, "Design & Analysis of Composite Shaft of Pasenger Vehicle," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 04, no. 08, pp. 151-158, 2017.
- [11] L. D.L, *A First Course in the Finite Element Methods*, Canada: THOMSON, 2007.