

# Analisis Kekuatan Dan Kelelahan Konstruksi Pondasi Mesin Kapal General Cargo 6088 GT

Nina Bonita<sup>1\*</sup>, Adi Wirawan Husodo<sup>2</sup>, dan Heroe Poernomo<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri  
Surabaya, Surabaya 60111

Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,  
Surabaya 60111

E-mail: [ninabonita@student.ppns.ac.id](mailto:ninabonita@student.ppns.ac.id)<sup>1\*</sup>; [adi\\_wirawan@ppns.ac.id](mailto:adi_wirawan@ppns.ac.id); [poernomo\\_heroe@ppns.ac.id](mailto:poernomo_heroe@ppns.ac.id)

**Abstract** –A ship inspection outside the inspection schedule is called an additional inspection. The 6088 GT general cargo ship conducted an additional inspection because the main engine failed to operate and replaced the wuxi antai power X8320ZC4B-1 engine weighing 26700 kg with a yanmar 8N330-WU engine weighing 43000 kg. It is necessary to recalculate the strength of the main engine foundation. Because the main engine foundation is the structural support of all the loads above it including the engine itself. After the calculation of strength, it is necessary to calculate fatigue, after calculating the fatigue of the main engine foundation, the estimated age of the engine foundation will be known so that the owner can schedule a replacement according to the ship's inspection schedule. In completing this Final Project, the method used is the finite element method with input 3D modelling of the foundation and its loading conditions in the Finite Element Method software. The results of the analysis can be seen from the load given of 421400 N with variations in the main engine at 100% rpm conditions and at service speed, the maximum stress obtained is 39.935 MPa with a permit stress value of 230 MPa, while the maximum deformation that occurs is 0,097 mm with a permit deflection value of 12.300 mm. Then obtained a cycle value of 82129000, the estimated fatigue life of the main engine foundation is 25.65 years

**Keyword:** Main Engine, Finite Element Method, Fatigue

## Nomenclature

$\sigma$	Tegangan
$\delta$	Defleksi
k	Faktor material
l	Panjang yang tidak ditumpu
L	Panjang pondasi mesin
SF	Safety factor
DM	Cummulative fatigue damage
NL	Total jumlah asumsi siklus 25 tahun
Ni	Jumlah siklus hasil analisis
TL	$7,884 \times 10^8$
ReH	Yield stress

## 1. PENDAHULUAN

Kapal cargo 6088 GT yang di buat pada tahun 2008 mengalami kendala pada mesin induk saat berlayar, yaitu mesin wuxi antai power X8320ZC4B-1 dengan berat 26700 kg gagal beroperasi dan mengharuskan dilakukan penggantian mesin induk baru menggunakan mesin yanmar 8N330-WU dengan berat 43000 kg. Mempertimbangkan berat mesin induk yang baru tentu perlu dilakukan penggantian dan perhitungan kekuatan dari pondasi mesin induk baru. Pondasi ialah struktur terbawah yang berfungsi menyalurkan beban dari struktur di atasnya [1]. Maka, pondasi mesin induk pada kapal harus menjamin keamanan dari struktur

lambung kapal untuk menahan variasi gaya yang dapat membebani pondasi tersebut. Dengan adanya beban-beban yang bekerja pada pondasi mesin akan mengakibatkan terjadinya tegangan, regangan, dan defleksi pada konstruksi pondasi.

Penelitian yang pernah dilakukan tentang analisis kekuatan dan *fatigue life* konstruksi pondasi mesin *offshore support vessel 907 GT* menggunakan metode Elemen Hingga dengan variasi pembebanan kecepatan dinas dan *trial* [2]. Kemudian pada penelitian tentang kekuatan pondasi mesin kapal TB Sungai Sepaku 155 GT menggunakan pembebanan statis dan dinamis dari mesin itu sendiri [3]. Lalu penelitian tentang kekuatan pondasi mesin induk harbor *tugboat* dengan fokus permasalahan pada beban yang akan diterima dan dapat diketahui nilai tegangan memenuhi syarat dari *class* dan estimasi umur dari pondasi tersebut [4].

Pada penelitian ini akan dilakukan identifikasi beban yang akan bekerja pada konstruksi pondasi mesin induk dan melakukan perhitungan nilai tegangan *von-misses* yang terjadi akibat pembebanan pada konstruksi pondasi mesin induk sesuai dengan nilai tegangan yang di tentukan oleh *rules*, perhitungan estimasi nilai *cycle* konstruksi pondasi mesin induk, dan

perhitungan estimasi umur konstruksi pondasi mesin induk.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Simulasi Pemodelan Beban dengan Software Elemen Hingga

Pertama melakukan modeling pondasi mesin dengan menggunakan *software 3D modelling*. Kemudian menentukan titik pembebanan berdasarkan gambar konstruksi pondasi mesin, melakukan pendefinisian material, jenis material yang digunakan yaitu baja BKI grade A.

Tahap kedua menggunakan bantuan *software Elemen Hingga*, kemudian input nilai material konstruksi pada menu engineering data. Kemudian input file geometri yang telah digambar pada *software 3D Modelling*, dan input data material dari engineering data yang telah di set ke konstruksi yang akan dianalisis. Finite Element Metode (FEM) adalah teknik yang awalnya dikembangkan untuk solusi numerik dari masalah kompleks dalam mekanika struktural, dan tetap menjadi metode pilihan untuk sistem yang kompleks[5].

Pada metode Elemen Hingga, model elemen matematik dibentuk dengan cara membagi setiap struktur menjadi bagian-bagian kecil (diskretisasi) yang disebut elemen. Elemen yang bersebelahan dihubungkan dengan sejumlah titik tertentu yang disebut dengan titik grid kemudian dilakukan analisis dengan bantuan FEM software terhadap model tersebut.

Tahap ketiga yaitu input nilai struktur statis untuk menentukan perpindahan gaya pada struktur akibat pembebanan. Beban yang digunakan adalah beban dengan kondisi kecepatan dinas, dan trial. Jenis pembebanan yang digunakan yaitu pembebanan merata di setiap penumpu memanjang pondasi. Hasil dari *running* simulasi dengan menggunakan *software Elemen Hingga* nanti akan mendapatkan nilai untuk pembahasan di tahap selanjutnya.

### 2.2. Tegangan dan Defleksi Izin

Output yang didapatkan dari simulasi beban dengan *software Elemen Hingga* adalah nilai tegangan von-mises dan defleksi. Kemudian dari nilai tersebut ditentukan apakah sesuai atau tidak dengan rules BKI sesuai dengan persamaan 1 dan 2 [4].

$$\sigma_v = \frac{230}{k} \quad (1)$$

$$\delta_{Izin} = \frac{l}{200} \quad (2)$$

### 2.4 Analisa Faktor Keamanan

Menentukan nilai faktor keamanan (safety factor) konstruksi dengan membandingkan hasil

tegangan kerja maksimum yang terjadi pada konstruksi dengan tegangan luluh material yang digunakan pada konstruksi[6] sesuai dengan persamaan 3.

$$FS = \frac{Yield\ Stress}{Calculated\ Stress} \quad (3)$$

### 2.3. Fatigue Life

Kelelahan atau *fatigue* adalah akumulasi kerusakan material yang disebabkan dari perlakuan beban siklik atau berulang. Bagian dari struktur yang harus bertahan dari tegangan yang menyimpannya selama masa operasinya. Perhitungan *fatigue life* memiliki jumlah siklus minimal sebesar  $10^8$  dari hasil perhitungan *software* bahkan lebih dari nilai tersebut akan semakin layak [7].

Umumnya amplitudo beban pada tiap *cycle* tidak besar untuk membuat sebuah struktur mengalami kegagalan. Namun kegagalan dapat terjadi ketika akumulasi kerusakan yang dialami karena struktur mencapai suatu level yang kritis. Perhitungan menggunakan teori Palmgren Miner untuk menghitung *cumulative fatigue damage*. Ketika *cumulative fatigue damage ratio* (DM) nilainya lebih dari 1, artinya struktur tersebut tidak dapat digunakan. Nilai DM dapat dihitung menggunakan persamaan 4

$$DM = \frac{NL}{Ni} \quad (4)$$

Nilai NL dapat diperoleh dari persamaan 5

$$NL = \frac{Fo \times U}{4 \log L} \quad (5)$$

Setelah mendapatkan nilai DM (*Cumulative Fatigue Damage*), selanjutnya nilai tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai *fatigue life* dengan menggunakan persamaan 6

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM} \quad (6)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Data Utama Kapal

Penelitian ini menggunakan mesin induk pada kapal General Cargo 6088 GT yang mengalami penggantian mesin induk menjadi Yanmar 8N330 EW. Data utama kapal dapat dilihat pada Tabel 1 **Tabel 1 Data Utama Kapal**

Tabel 1 Data Utama Kapal	
Length Overall	127.73 m
Length Hull	122.76 m
Beam	18.00 m
Depth	8.20 m
Draft	6.20 m
Max Speed	12 knot

Sumber: Data perusahaan 2022

### 3.2. Data Mesin Induk

Mesin induk baru yang digunakan di kapal General Cargo 6088 GT ini adalah mesin induk Yanmar 8N330 EW. Mesin induk tersebut memiliki data Tabel 2

Tabel 2 Data Mesin Induk

Power	3641 kW
Speed	640 Rpm
Bore	330 mm
Stroke	440 mm
Mass	43000 kg

Sumber: Project Guide Yanmar, 2022

### 3.3. Data Material konstruksi Pondasi Mesin Induk

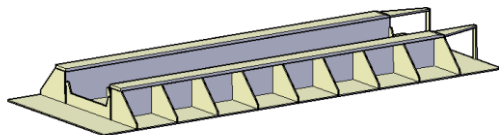
Material yang digunakan adalah jenis Baja Karbon A36. Data material yang digunakan untuk konstruksi pondasi mesin kapal General Cargo 6088 GT dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3 Data Material Konstruksi Pondasi Mesin Induk

Type material	A36
Yield Stress	290 MPa
Tensile Stress	455 MPa

Sumber: Mill Certificate, 2022

### 3.4. Pemodelan 3D Pondasi Mesin Induk



Gambar 1 Pondasi Mesin Induk

Pemodelan 3D pondasi mesin induk dapat dilihat pada Gambar 1. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software 3D modelling*.

### 3.5. Perhitungan Beban mesin Induk

Berat mesin induk adalah;

$$W_{me} = m \times g$$

$$W_{me} = 43000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}$$

$$W_{me} = 421400 \text{ N}$$

Torsi mesin induk pada saat konsidi RPM 100% adalah;

$$r = \frac{P \times 9,55}{rpm}$$

$$r = \frac{3641 \text{ kW} \times 9,55}{640}$$

$$r = 54.330547 \text{ kNm}$$

$$r = 54330.547 \text{ Nm}$$

$$r = 54330547 \text{ Nmm}$$

Torsi mesin induk pada saat kecepatan dinas adalah;

$$r = \frac{P \times 9,55}{rpm}$$

$$r = \frac{3310 \text{ kw} \times 9,55}{620}$$

$$r = 50.984677 \text{ kNm}$$

$$r = 50984.677 \text{ Nm}$$

$$r = 50984677 \text{ Nmm}$$

### 3.6. Hasil Simulasi Pemodelan Beban dengan *software* Elemen Hingga

#### A. Nilai tegangan izin

Tegangan *von-misses* atau *equivalent stress* maksimal yang diijinkan untuk suatu konstruksi *bottom* nilainya tidak boleh melebihi persamaan 1 [8]

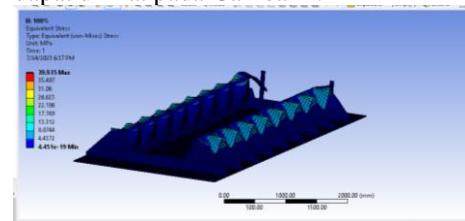
$$\sigma_v = \frac{230}{k}$$

$$\sigma_v = \frac{230}{1}$$

$$\sigma_v = 230 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 230 \text{ MPa}$$

Berdasarkan persamaan 1 ditetapkan nilai tegangan izin (*Allowable Stress*) sebesar 230 MPa. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai acuan dasar kriteria penerimaan bahwa nilai tegangan maksimum tidak boleh lebih besar dari nilai tegangan izin. Hasil simulasi menggunakan *software* Elemen Hingga didapatkan nilai tegangan maksimum saat kecepatan 100% sebesar 39,935 MPa. Hasil simulasi *software* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tegangan maksimum simulasi *software*

#### B. Nilai Defleksi Izin

[9] Menjelaskan mengenai defleksi ijin penumpu akibat beban tidak boleh melebihi persamaan 2.

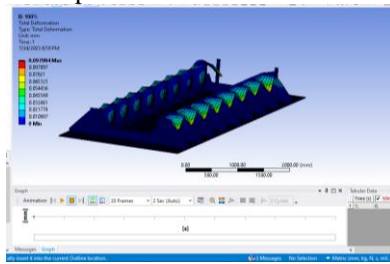
$$\delta_{Izin} = \frac{\ell}{200}$$

$$\delta_{Izin} = \frac{2460 \text{ mm}}{200}$$

$$\delta_{Izin} = 12,3 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan persamaan 2, didapatkan nilai defleksi izin sebesar 12,3 mm. Nilai tersebut dapat digunakan sebagai acuan dasar kriteria penerimaan bahwa nilai defleksi maksimum tidak boleh lebih besar dari nilai defleksi izin. Hasil simulasi menggunakan *software* Elemen Hingga didapatkan nilai defleksi maksimum pada saat kecepatan 100%

sebesar 0,097984 mm. Hasil analisis *software* dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3 Defleksi maksimum simulasi *software*

### 3.7. Perhitungan Faktor Keamanan

Faktor keamanan dapat diperoleh dari perbandingan *yield stress* dengan *calculated stress* dengan maksimal 1,00. Sehingga suatu perbandingan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$FS = \frac{Yield\ Stress}{Calculated\ Stress}$$

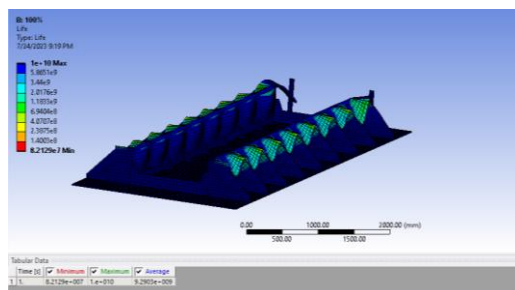
$$FS = \frac{230}{39,935}$$

$$FS = 5,76$$

Dari perhitungan pada persamaan 3 didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 5,76. Hasil faktor keamanan tersebut masih memenuhi nilai faktor keamanan berdasarkan *rules* yaitu lebih besar dari 1 dan konstruksi tergolong aman.

### 3.8. Perhitungan umur Kelelahan

Untuk memperoleh nilai *cumulative damage* (DM) pada analisis diperlukan jumlah kejadian (*cycle*) yang didapatkan dari hasil analisis pada *software* Elemen Hingga. Hasil dari perhitungan ini kemudian akan digunakan untuk menghitung perkiraan umur kelelahan (*fatigue life*) yang terjadi pada pondasi mesin. Berikut merupakan hasil analisis *cumulative damage* pada pondasi mesin dengan material A36 dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4 Nilai Cycle

Hasil analisis pada pondasi mesin memiliki jumlah life cycle sebesar 8.2129e+007. Data nilai cycle tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung *cumulative damage* dengan persamaan (5) dan untuk mencari nilai NL diperoleh dari persamaan (6).

$$NL = \frac{F_o \times U}{4 \log L}$$

$$NL = \frac{0.85 \times 788000000}{4 \log 123.73}$$

$$NL = 80024850.46$$

$$DM = \frac{NL}{N_i}$$

$$DM = \frac{80024850.46}{8.2129e + 007}$$

$$DM = 0.9474$$

Berdasarkan perhitungan persamaan 5 diperoleh nilai *Cummulative Fatigue Damage* (DM) sebesar 0.9474. Untuk perhitungan umur konstruksi pondasi mesin induk menggunakan persamaan 6, dengan asumsi umur 25 tahun

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM}$$

$$Fatigue\ Life = \frac{25\ tahun}{0.9474}$$

$$Fatigue\ Life = 25.65\ tahun$$

Berdasarkan perhitungan yang didapatkan, estimasi umur konstruksi pondasi mesin induk adalah 25.65 tahun.

## 4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian kekuatan dan kelelahan konstruksi pondasi mesin menggunakan metode elemen hingga dengan input 3D modeling pondasi beserta kondisi pembebanan yang diberikan sebesar 421400 N dengan variasi mesin induk pada saat kondisi rpm 100% dan saat kecepatan dinas, didapatkan tegangan maksimum sebesar 39,935 MPa dengan nilai tegangan izin sebesar 230 MPa, sedangkan deformasi maksimum yang terjadi adalah 9.7984e-002 mm dengan nilai defleksi izin sebesar 12,3 mm. Kemudian didapatkan nilai cycle sebesar 8.2129+007 maka didapatkan perkiraan umur kelelahan pondasi mesin induk sebesar 25,65 tahun

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian penelitian ini tidak terlepas atas bimbingan, doa, dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orangtua serta keluarga besar penulis yang telah memberikan semangat, dukungan, serta do'a selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

2. Bapak Adi Wirawan Husodo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
3. Bapak Heroe poernomo, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan saran selama penulisan Tugas Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Karyawan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu selama masa perkuliahan.
5. Teman – teman seperjuangan Program Studi D4 Teknik Permesinan Kapal angkatan 2019 atas kerjasama dan kekompakan selama menempuh studi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

## 6. PUSTAKA

- [1] B. A. Nugroho, I. P. Mulyatno, and Kiryanto, "Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin dengan Interaksi Trust Block Pada Kapal Ropax 5000 GT dengan Metode Elemen Hingga," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 03, no. 02, pp. 290–299, 2015.
- [2] A. R. Sari, "ANALISIS KEKUATAN DAN FATIGUE LIFE KONSTRUKSI PONDASI MESIN INDUK OFFSHORE SUPPORT VESSEL 907 GT," 2022.
- [3] Alamsyah dkk, "Analisis Kekuatan Struktur Pondasi Mesin Kapal Tb. Sungai Sepaku 155 Gt Dengan Metode Elemen Hingga," *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 20, no. 1. pp. 45–58, 2020. [Online]. Available: <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jtm/article/view/5868>
- [4] K. M. Y. emily, N. A. Nugroho, and P. Herijono, "Info Articles Abstrak," vol. 2, no. 1, pp. 2021–2022, 2021, [Online]. Available: <http://e-journal.ivet.ac.id/index.php/maristec>
- [5] S. Jokosisworo and E. Widiyanto, "Analisa Kekuatan Pondasi Mesin Pada Mt. Nsl-Iv Karena Perubahan Kapasitas Main Engine Di Pt. Jasa Marina Indah Dengan Metode Elemen Hingga," *Kapal*, vol. 8, no. 2, pp. 79–81, 2012.
- [6] A. Alamsyah, M. D. Arwan, and A. I. Wulandari, "Analisa fatigue life konstruksi geladak pada kapal Landing Craft Tank menggunakan metode elemen hingga," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 77–83, 2021, doi: 10.24127/trb.v10i1.1514.
- [7] Alamsyah, A. I. Wulandari, R. J. Ikhwan, and J. A. Saka, "Analisis Fatigue Life Pada Poros Kapal Tb . 27 M," vol. 10, no. 2, pp. 144–151, 2020.
- [8] Biro Klasifikasi Indonesia, "Peraturan Klasifikasi dan Survei," vol. I, 2022.
- [9] Biro Klasifikasi Indonesia, "Edisi Konsolidasi 2022 Biro Klasifikasi Indonesia," vol. I, 2022.