

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR PONDASI MESIN KAPAL TB. SUNGAI SEPAKU 155 GT DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Alamsyah^{1*}, Amalia Ika Wulandari², Nur Rachmad Pamungkas³

ABSTRACT

The engine seating on the ship is one part that must be guaranteed its strength because this construction receives an accumulation of the engine's gravity and torque moment from the propulsion system, resulting in a work stress. The purpose this study to analyze the strength of the construction of the engine seating when receiving a load and determine the safety factor according to the permitted standard. The strength of the engine seating construction is analyzed using the finite element method which is assisted by finite element based applications by varying the torque moment on the engine by 100%, 80%, and 50%. The results showed the maximum stress that occurs at the engine foundation when the torque is 100% 80%, and 50% of $\sigma_{max} = 105 \text{ MPa}$ with a maximum strain of $\epsilon = 52 \times 10^{-5}$. For the safety factor value of the engine seating in each torque scenario is above 1 so it is still safe.

Keywords: *Tugboat, Engine seat, Stress, Strain, Safety Factor*

PENDAHULUAN

Tugboat (kapal tunda) adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar di pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya, memperbaiki kapal di laut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan *salvage*. Medan yang dilalui *tugboat* biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga *tugboat* harus melakukan manuver yang baik (Prakoso, 2013). Dikarenakan sebagai kegunaannya untuk menarik/mendorong, *tugboat* harus memiliki tenaga yang besar. *Tugboat* memiliki mesin dengan tenaga antara 750 saMPai 3000 tenaga kuda (500 saMPai dengan 2000 kW) ataupun lebih tergantung dari kegunaan dan fungsinya (Wicaksono, 2019). Mesin yang mempunyai daya yang besar harus ditunjang dengan konstruksi dasar ganda dan pondasi mesin yang kuat, agar gaya-gaya yang dihasilkan mesin ketika beroperasi bisa di *cover* dengan baik oleh konstruksi tersebut. Pondasi mesin harus dapat menahan beban di

^{1,2,3} Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia

*Corresponding author:
alamsyah@lecturer.itk.id

atasnya (*superimposed loads*) tanpa mengakibatkan keruntuhan geser atau hancur (*shear or crushing failure*) (Tjerita, 2018). Pondasi mesin induk secara efektif harus dapat menjamin keamanan dari struktur lambung kapal untuk menahan berbagai macam variasi gaya yang dapat memberikan beban pada pondasi tersebut. Pemasangan pondasi dibuat sedemikian rupa sehingga kelurusan sumbu poros mesin dengan poros baling-baling tetap terjamin. Kekakuan pondasi mesin dan konstruksi dasar ganda di bawahnya harus mencukupi persyaratan. Dengan mengetahui besar tegangan dan deformasi yang terjadi dapat diketahui letak komponen paling kritis terhadap pembebanan (Jokosisworo, 2011). Beban yang bekerja pada konstruksi pondasi mesin meliputi gaya berat mesin serta gaya dorong kapal yang diteruskan dari *thrust block* (Bayu, 2015). Dengan adanya beban-beban yang bekerja pada pondasi mesin akan mengakibatkan terjadinya tegangan, regangan dan defleksi pada konstruksi. Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak hingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Sedangkan Perpanjangan persatuan luas disebut regangan (*strain*) (Damanik, 2016).

Berdasarkan teori kriteria kegagalan struktur material, maka defleksi yang terjadi pada struktur pondasi harus di bawah batas defleksi maksimum (Jokosisworo, 2011). Kekakuan pondasi mesin harus bisa menjaga bentuk yang diakibatkan oleh beban yang ada tanpa melebihi batas yang diijinkan. Defleksi maksimum pada pondasi mesin tidak boleh lebih dari 0,115 mm (BKI, 2006). Perencanaan yang sesuai dengan standar klasifikasi tentunya akan meningkatkan keamanan dan kenyamanan (Fadhilillah, 2018). Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik (Jatmiko, 2011). Kapal *Tugboat* yang dijadikan sampel penelitian merubah struktur konstruksi pondasi *main engine* diperuntukkan untuk *twin engine* yang sebelumnya *single engine*. Perubahan tersebut membuat perubahan kondisi beban, besarnya getaran, dan posisi baut pengikat. Dilihat dari kondisi beban dan daya yang berbeda maka harus dilakukan analisa konstruksi sesuai kekuatan ijin.

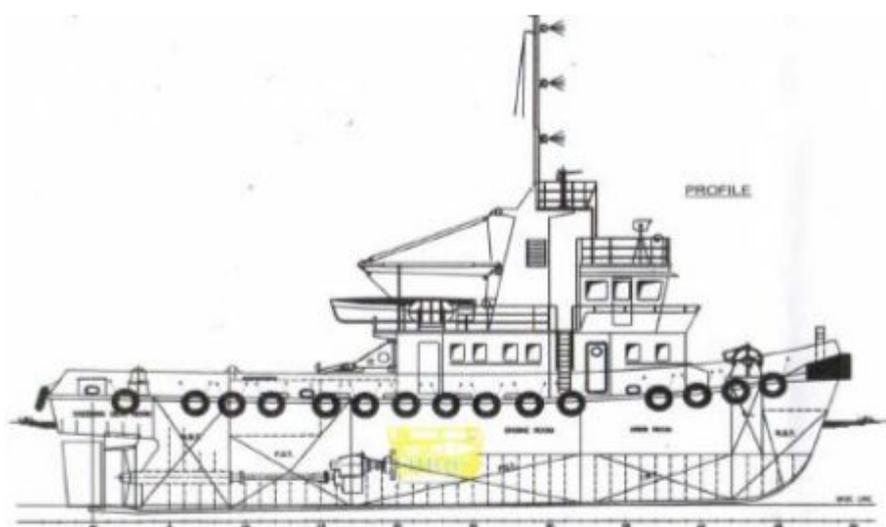
METODE

Penelitian ini menggunakan metode elemen hingga yang dianalisis dengan bantuan aplikasi berbasis elemen hingga. Beban yang diderita oleh pondasi mesin didapatkan saat kapal *tugboat* beroperasi dengan kecepatan putaran maximum mesin 100%, saat kapal berada di pelabuhan dengan putaran mesin 50%, dan putaran mesin diantara kondisi 100% dan 50%

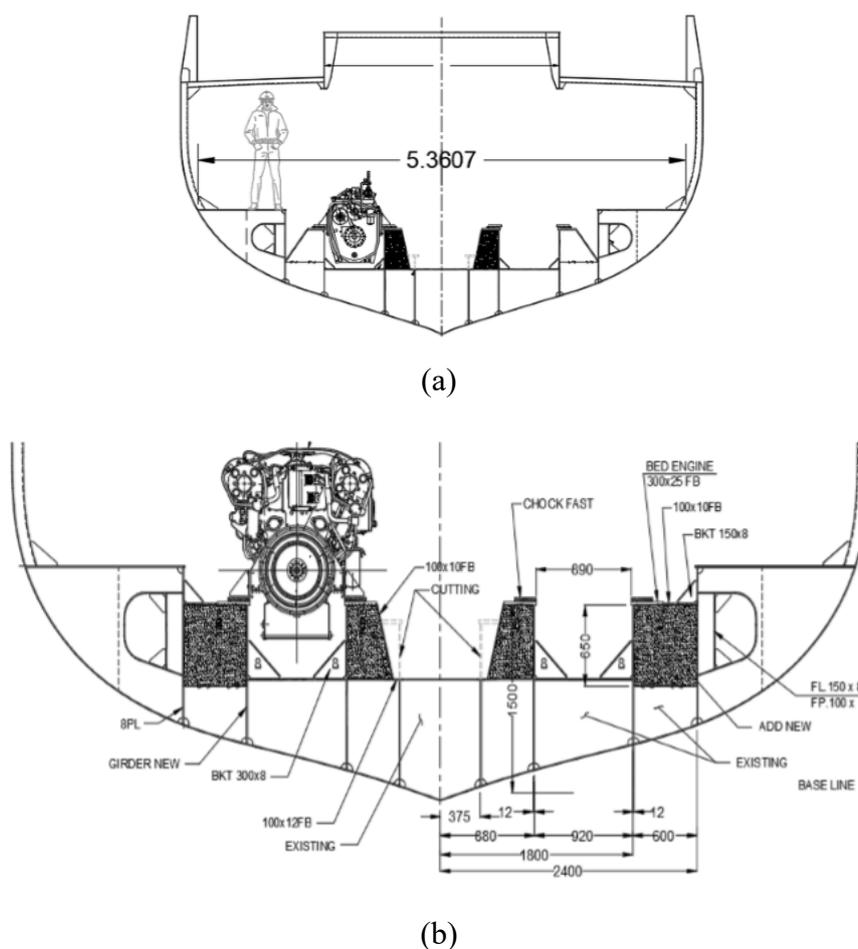
yakni 80%. Selain itu diberikan pula beban statis dalam hal ini berat mesin. *Out put* dari penelitian ini adalah tegangan maximum (σ_{max}) dan regangan maximum (ϵ_{max}) yang bekerja pada pondasi mesin akibat skenario-skenario pembebanan serta faktor keamanan konstruksi. Untuk mendapatkan variable-variabel yang menjadi *output* penelitian, maka dilakukan beberapa tahap penelitian. **Tahap pertama** dilakukan pengumpulan publikasi ilmiah, jurnal-jurnal penelitian, buku-buku yang berhubungan dengan topik penelitian dan pengumpulan data kapal *tugboat* secara langsung ke galangan-galangan kapal dengan menyesuaikan jenis dan ukuran kapal yang akan di teliti. Adapun *particular* kapal *tugboat* yang dijadikan objek penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1.

Tabel 1. *Particular* Kapal *Tugboat* yang Diteliti

<i>Particular</i>	Besaran	Satuan
<i>Length Over All</i>	26.34	m
<i>Length Between Perpendicular</i>	24	m
<i>B</i>	8	m
<i>H</i>	3.80	m
<i>T</i>	3.30	m

Gambar 1. *General Arrangement* dan *Particular* kapal *tugboat* yang diteliti

Pada penelitian ini dibutuhkan ukuran kamar mesin kapal *tugboat*. Ukuran kamar mesin kapal *tugboat* beserta detail komponen-komponen yang menyusun konstruksinya dibutuhkan dalam perhitungan dan permodelan. Bentuk kamar mesin kapal *tugboat* dan detail konstruksinya ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 2.

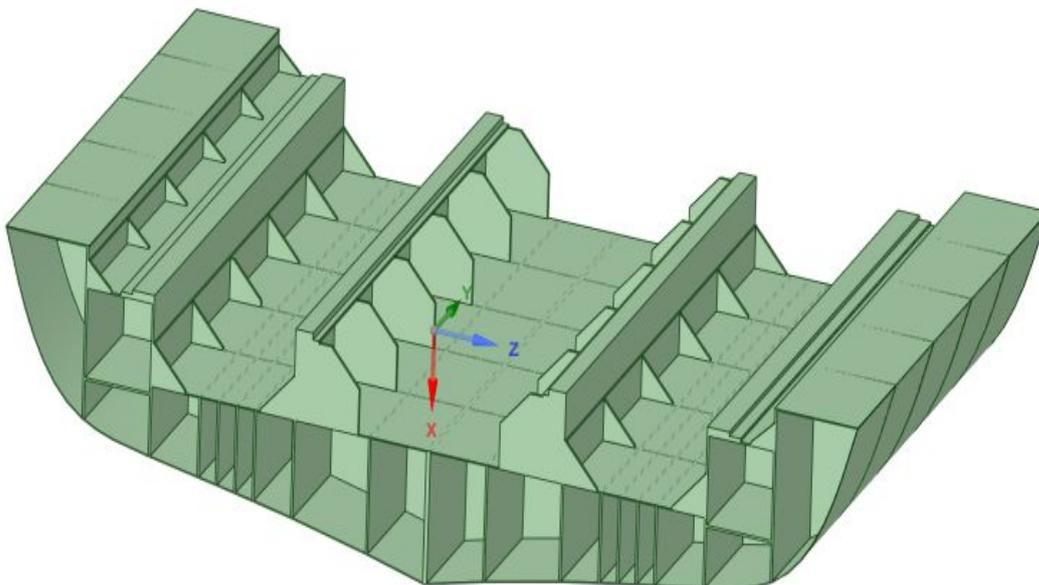


Gambar 2 : a) Ukuran dan bentuk kamar mesin, b) detail komponen dan ukuran konstruksi

Tabel 2 : Ukuran komponen konstruksi kamar mesin kapal *tugboat*

No	Komponen	Ukuran pelat	Satuan
1	<i>Bracket</i>	300 x 8	mm
2	<i>Side Girder</i>	60 x 13	mm
3	<i>Center Girder</i>	68 x 13	mm
4	<i>Wrang Solid</i>	49 x 13	mm

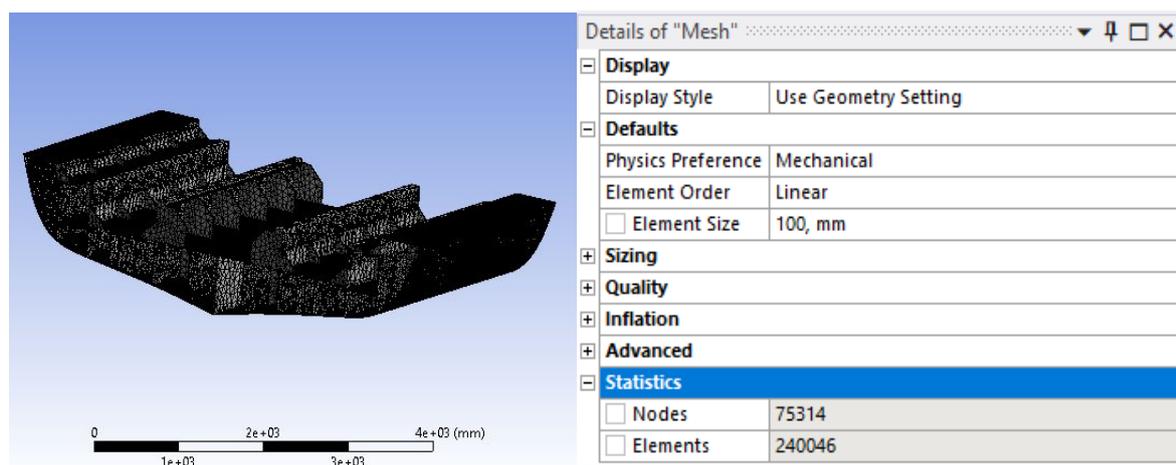
Gambar 2 menunjukkan panjang kamar mesin yang akan digunakan pada permodelan adalah sepanjang 5,3607 meter atau hampir mendekati keseluruhan panjang pondasi mesin. Data material yang digunakan untuk struktur kapal *tugboat* adalah baja *ASTM A514* dengan mechanical properties yakni *young modulus* = 200000 MPa, *yield strength* = 250 MPa, dan *ultimate tensile strength* = 460 MPa. **Tahap kedua** adalah pemodelan menggunakan aplikasi berbasis elemen hingga. Dalam pemodelan ini menggunakan sumbu *x*, *y* dan *z* atau biasa disebut dengan *3D modeling*. Pemodelan dilakukan berdasarkan data *detail* konstruksi pondasi mesin termasuk konstruksi *double bottom* sebagai penyangga pondasi mesin dan kamar mesin. Data yang di gunakan pada pemodelan ini ialah berupa panjang, lebar dan tinggi serta ukuran tebal dan profil dari konstruksi kamar mesin. Adapun desain model pondasi mesin kapal *tugboat* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain 3D Pondasi Mesin Menggunakan Aplikasi Elemen Hingga

Gambar 3 menunjukkan pemodelan kamar mesin hanya sepanjang pondasi mesin lengkap dengan *center girder*, *side girder*, *wrang*, *bracket*, kulit *bottom*, *inner bottom*, profil dll. Panjang pondasi mesin dimodelan sepanjang 5,3607 meter. Potongan model diusahakan menyerupai konstruksi sebenarnya agar hasil analisa yang didapatkan akurat. Setelah pemodelan 3D dilakukan, maka model konstruksi pondasi mesin mengalami perlakuan

meshing dimana proses *meshing* merupakan pengaturan jarak antara elemen yang harus dilakukan pada penggunaan *software* berbasis elemen hingga. Salah satu aspek yang harus diatur dalam proses *meshing* yaitu “*mesh size*” ialah jarak antara *element-element* model tersebut. Hasil *meshing* ditunjukkan pada Gambar 4.

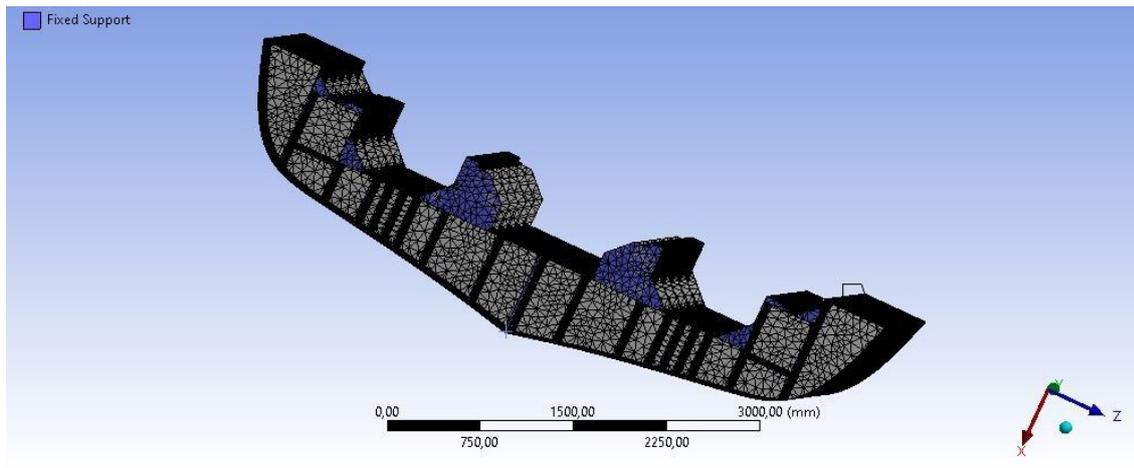


Gambar 4. Model 3D yang telah di *Meshing*

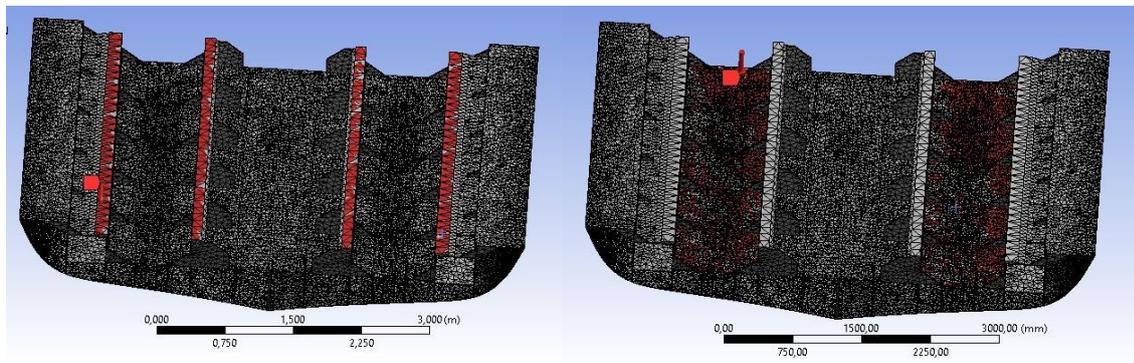
Setelah dilakukan proses *meshing* pada model maka dilakukan pengkondisian batas. Hal-hal yang dilakukan untuk memberikan kondisi batas pada model yakni, 1) *input properties* material pada model, 2) pemberian tumpuan/perletakan pada model, dan 3) pemberian beban sesuai skenario pembebanan yang direncanakan dalam analisa. Pengkondisian batas pada model ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan pengkondisian batas pada model. Gambar 5a menunjukkan pemberian tumpuan/perletakan pada model berupa tumpuan jepit (*fixed support*), Gambar 5b merupakan *input* beban sesuai berupa berat mesin yang diletakkan pada *bed* pondasi mesin yang mana bebannya dalam bentuk *pressure load*. Gambar 5c merupakan *input* beban momen torsi sesuai putaran *engine*. Untuk nilai momen torsi bisa ditentukan dengan persamaan berikut.

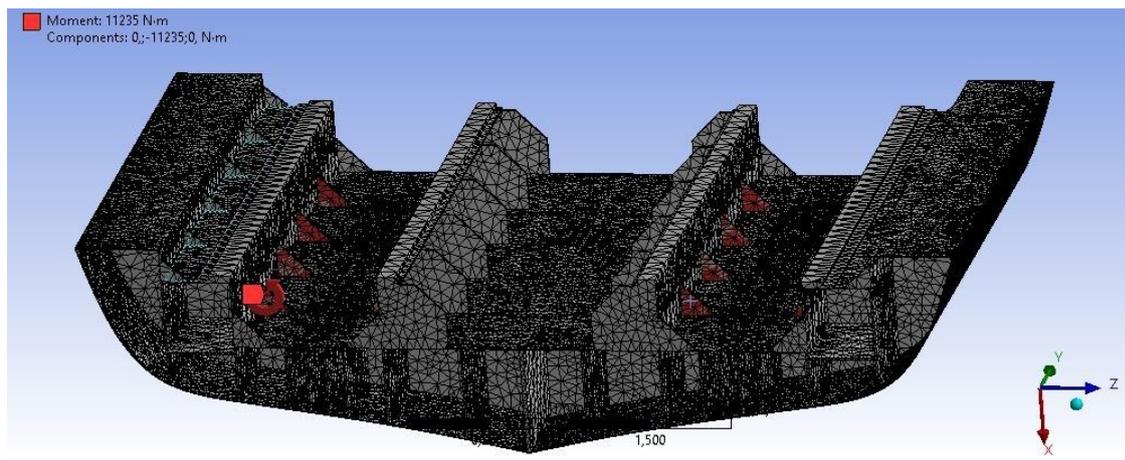
$$Mt = \frac{DHP \times 75 \times 60}{2\pi \times Rpm \times Prop} \quad (1)$$



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. a) Pemberian Tumpuan, b) *Input* Berat Mesin, dan c) *Input* Momen Torsi

dimana:

M_t = Momen Torsi (Kg.m)

D_{HP} = *Delivery Horse Power*

$Rpm Prop.$ = Putaran *Propeller*

Persamaan (1) menunjukkan cara menentukan nilai moment torsi pada setiap skenario pembebanan yang dipengaruhi oleh nilai *rpm engine*. **Taha ketiga** yaitu menentukan nilai tegangan kerja maximum dan regangan yang dihasilkan akibat adanya skenario pembebanan pada model. Untuk nilai tegangan dan regangan bisa didapatkan dari hasil analisa model setelah dilakukan proses *running* model atau bisa ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (2)$$

Dimana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan.

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L} \quad (3)$$

dimana :

ε = Regangan

Δ = Panjang total

L = Panjang awal

Tahap keMPat yaitu menentukan faktor keamanan konstruksi. Nilai faktor keamanan harus di atas 1 ($Fk > 1$) karena secara matematis faktor keamanan adalah perbandingan antara tegangan luluh material dan tegangan kerja maksimum yang terjadi pada konstruksi. Dimana pada kondisi aman tegangan kerja maksimum tidak boleh melebihi tegangan luluh. Nilai factor keamanan bisa ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Fk = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{kerja\ maximum}} \quad (4)$$

dimana :

Fk = Faktor keamanan, ($Fk > 1$)

σ_{yield} = Tegangan luluh material (MPa)

$\sigma_{kerja\ maksimum}$ = Tegangan maksimum yang bekerja pada konstruksi setelah diberi beban (MPa)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis tegangan kerja maksimum dan regangan pada model konstruksi pondasi mesin ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 3.

Tabel 3a. Nilai Regangan Konstruksi Pondasi Mesin

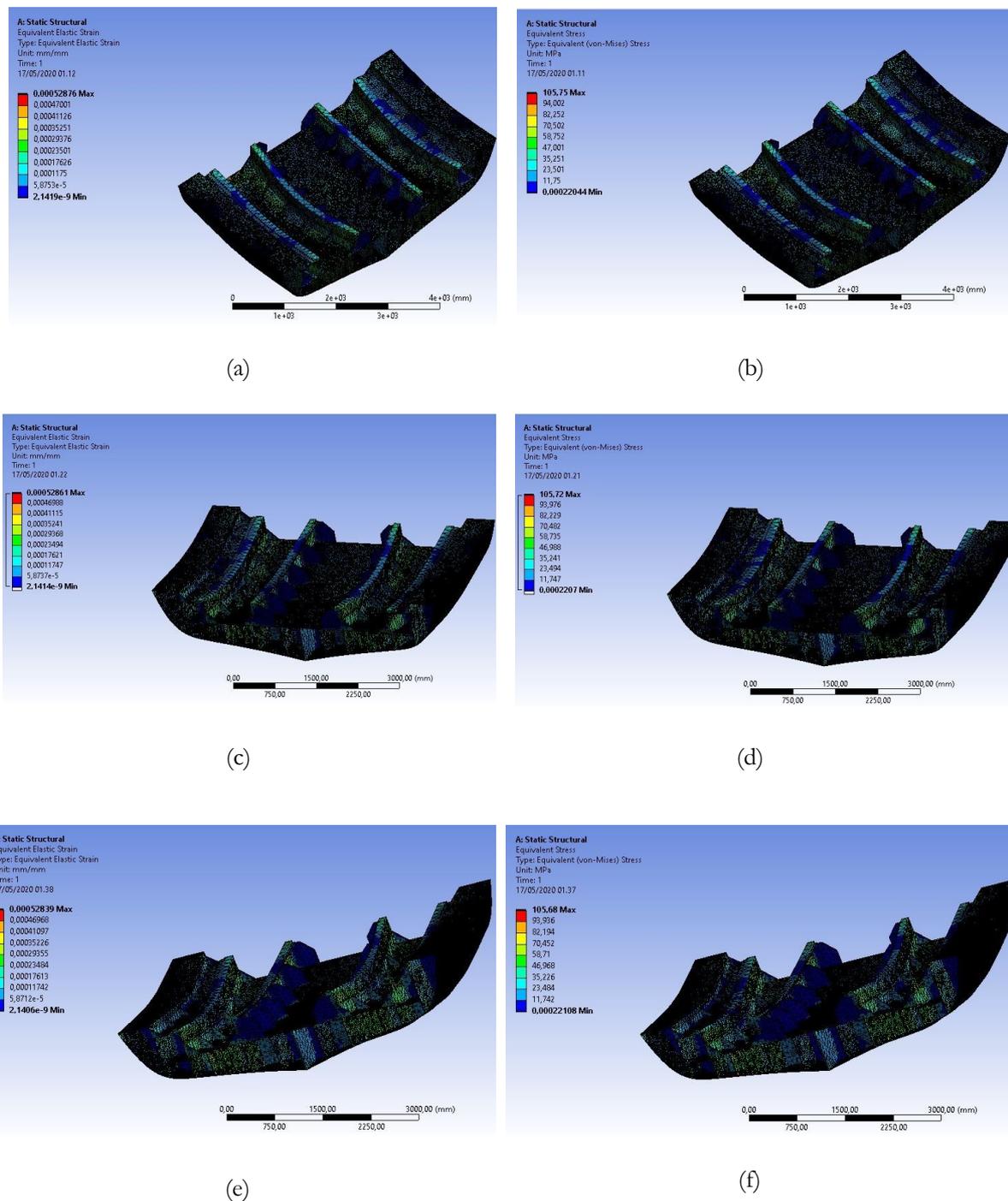
Variasi torsi	Regangan max.	
	(mm)	Regangan min. (mm)
100%	0.00052876	21419 x 10 ⁸
80%	0.00052861	21414 x 10 ⁸
50%	0.00052839	21406 x 10 ⁸

(Sumber: Hasil olahan, 2020)

Tabel 3b. Hasil Data Analisis Konstruksi Pondasi Mesin

Variasi torsi	Tegangan Maksimum (MPa)	Tegangan luluh (MPa)	Factor of Safety	Keterangan
100%	105,75	250	2,36	Memenuhi
80%	105,72	250	2,36	Memenuhi
50%	105,68	250	2,36	Memenuhi

(Sumber: Hasil olahan, 2020)



Gambar 6. (a) Nilai regangan pada torsi 100% (b) Nilai tegangan pada torsi 100% (c) Nilai regangan pada torsi 80% (d) Nilai tegangan pada torsi 80% (e) Nilai regangan pada torsi 50%, dan (f) Nilai tegangan pada torsi 50%.

Tabel 3a menunjukkan nilai regangan maksimum untuk semua skenario pembebanan yakni sebesar $\epsilon = 52 \times 10^{-5}$ mm/mm. Sedangkan Tabel 3b menunjukkan nilai tegangan kerja

maksimum yang terjadi pada pondasi mesin sebesar $\sigma_{max} = 105$ MPa. Tegangan kerja maksimum tidak melebihi tegangan luluh material sehingga menghasilkan nilai faktor keamanan sebesar $F_k = 2,36$ yang menandakan bahwa konstruksi pondasi mesin masih dalam kategori aman setelah dimodifikasi menjadi *twin engine* karena memiliki nilai $F_k > 1$.

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa tegangan kerja maksimum yang terjadi pada skenario pembebanan torsi 100% yakni sebesar 105,75 MPa dengan regangan maksimum 0,00052876, untuk torsi 80% memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 105,72 MPa dengan regangan maksimum 0,00052861, dan torsi 50% memiliki nilai tegangan maksimum sebesar 105,68 MPa dengan regangan maksimum 0,00052839. Untuk Faktor safety yang dihasilkan sebesar 2,36 berlaku untuk semua skenario pembebanan sehingga modifikasi pondasi mesin dari single engine menjadi twin engine masih dalam kategori aman karena nilai faktor keamanannya $F_k > 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayu. (2015). Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin Dengan Interaksi *Trust Block* Pada Kapal Ropax 5000 GT Dengan Metode Elemen Hingga. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 03, No.02 April, 290.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2006). Rules For the Classification and Construction Volume II Rules For Hull – Inland Waterways.
- Damanik, L. (2016). Kajian Teknik Kekuatan Konstruksi Kapal Tugboat. Jurnal Teknik Perkapalan - Vol. 4, No.1 Januari, 113.
- Fadhilillah, A., B. (2018). Perencanaan Ulang Sistem Propulsi Perahu Penyeberangan Gili Ketapang. Seminar Nasional Kelautan XIII.”Implementasi Hasil Riset Sumber Daya Laut dan Pesisir dalam Rangka Mencapai Kemandirian Ekonomi Nasional” Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah, Surabaya 12 Juli.
- Jatmiko, S. (2011). Analisa Kekuatan Pondasi Z- Peller Karena Adanya Perubahan Konstruksi Pada Kapal Tug Boat Anoman V Dengan Metode Elemen Hingga. KAPAL- Vol. 8, No.3 Oktober.
- Jokosisworo, S. et al. (2011). 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, Juni.

Prakoso, WKM, C. (2013). Pengembangan Anjungan Kapal Tugboat Penarik Tongkang Batubara Berbasis Ergonomi. Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain No., ITB.

Tjerita, A.A Ketut., N. (2018). Perancangan Pondasi Mesin. Retrieved June 13, 2020 https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/aa90795f206fa74e36210df67404bc99.pdf

Wicaksono, M., A. (2019). Redesain Denah Kamar Mesin Untuk Menunjang Kinerja Sistem Starting Udara Bertekanan Pada Kapal Oriental Jade. Retrieved June 13, 2020, http://repository.ppns.ac.id/2255/1/0216030021%20%20Muhammad%20Agung%20Wicaksono%20%20_i_Redesain__i_%20Denah%20Kamar%20Mesin%20Untuk%20Menunjang%20Kinerja%20Sistem%20_i_STARTING__i_%20Udara%20Bertekanan%20Pada%20Kapal%20Oriental%20Jade..pdf