



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi Perhitungan Respon Struktur Pondasi Mesin Kapal Penyeberangan 1000 GT Akibat Pembebanan Statis

Febby Ari Saputro¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Imam Pujo Mulyanto¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : febbyarisaputro@gmail.com, hartonoyudo@gmail.com, pujomulyatno2@gmail.com

Abstrak

Sistem konstruksi menjadi salah satu perhatian utama dalam mendesain sebuah kapal, karena sistem konstruksi merupakan bagian terpenting yang berfungsi menjamin keselamatan awak kapal, penumpang dan muatan yang diangkut. Struktur pondasi mesin menjadi perhatian bagi penulis karena struktur tersebut harus menopang beban mesin induk dan menahan berbagai macam gaya yang terjadi. Tujuan dari penelitian ini yaitu mendapatkan nilai tegangan dan defleksi maksimum pada kapal penyeberangan 1000 GT yang memiliki 2 mesin induk, serta membandingkan apabila ketebalan pelat dan profil menggunakan tebal minimum sesuai rules BKI. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode elemen hingga dan rules yang digunakan yaitu Biro Klasifikasi Indonesia. Validasi dilakukan pada model dengan menggunakan perhitungan defleksi mekanika teknik dan didapatkan nilai error sebesar 3,41 %. Pada penelitian ini terdapat lima jenis beban yang akan diinputkan, yaitu beban gaya akibat berat mesin 48510 N dan gearbox 15876 N, beban momen dari torsi mesin induk 4550 Nm, beban gaya dorong akibat pengaruh dari thrust block 100293 N, serta tekanan hidrostatis kapal sebesar 0,025 Mpa, sehingga diasumsikan terdapat tiga jenis kondisi, yaitu kondisi ketika kapal berlabuh, kondisi ketika kapal berlayar dan kondisi ketika kapal sedang manuver, didapatkan tegangan maksimum terjadi pada kondisi ketika kapal sedang manuver sebesar 60,708 Mpa dan nilai defleksi sebesar 0,877 mm, dan juga didapatkan tegangan maksimum pada struktur yang telah divariasi ketebalannya terjadi pada kondisi III sebesar 111,449 Mpa dan nilai defleksi sebesar 1,381 mm, serta faktor keamanan terkecil 3,8 untuk model struktur sesuai dengan gambar konstruksi berdasarkan material yang digunakan dan 2,1 untuk struktur yang telah divariasi ketebalannya berdasarkan material yang digunakan.

Kata Kunci : Struktur Pondasi Mesin, Tegangan, Defleksi, Metode Elemen Hingga

1. PENDAHULUAN

Kapal adalah sebuah konstruksi yang digunakan sebagai sarana angkutan di laut dan digunakan untuk menjadi penghubung antar pulau.

Sistem konstruksi menjadi salah satu perhatian utama dalam mendesain sebuah kapal, karena kekuatan struktur merupakan bagian terpenting pada kapal yang berfungsi menjamin keselamatan awak kapal, penumpang dan muatan yang diangkut. Konstruksi kapal harus didesain untuk mampu menahan segala beban atau gaya yang ada, baik dari dalam ataupun luar kapal [1].

Struktur pondasi mesin menjadi perhatian bagi penulis karena struktur tersebut harus menopang beban mesin induk dan menahan

berbagai macam gaya yang terjadi untuk menjamin keamanan dari struktur lambung kapal. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Sarjito dan Eko Widiyanto pada tahun 2011 menunjukkan bahwa nilai tegangan terbesar yaitu 309,514 Pa yang terdapat pada *node* 14022 dan nilai defleksi terbesar 0,000119936 mm yang terdapat pada *node* 9658 [2]. Selain itu pada penelitian yang dilakukan oleh I Made Wira Karisma pada tahun 2017 didapatkan nilai tegangan terbesar terjadi pada kondisi II yaitu ketika kapal sedang berlayar dengan nilai tegangan maksimum sebesar 114 N/mm² terletak pada gading nomer 12 dan nilai defleksi terbesar yaitu 0,0068 [1], dan juga pada penelitian yang dilakukan oleh Bayu Adityo Nugroho pada tahun 2015 didapatkan nilai

tegangan maksimum sebesar 96,2 N/mm² yang terletak pada *node* 36922 [3]

Berdasarkan uraian diatas, penulis ingin melakukan penelitian lebih lanjut mengenai kekuatan struktur pondasi mesin Kapal Penyeberangan 1000 GT dengan membuat model yang lebih kompleks sesuai dengan gambar konstruksi yang ada dan membandingkan hasilnya dengan variasi ketebalan pada pelat dan profil, dimana mengacu pada ketebalan minimum pelat dan profil sesuai *rules* BKI.

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan nilai tegangan dan defleksi maksimum pada konstruksi pondasi mesin induk.
2. Mendapatkan perbandingan hasil dengan variasi ketebalan pelat dan profil minimum yang mengacu pada *rules* BKI.
3. Mendapatkan nilai *Safety Factor* pada struktur pondasi mesin induk kapal penyeberangan 1000 GT.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

KMP. BRR adalah kapal milik Direktorat Jenderal Perhubungan Angkatan Sungai Danau dan Penyeberangan, biasa disingkat ASDP. Kapal ini mempunyai daya mesin 2 X 1100 Bhp dengan daerah penyeberangan dari Pelabuhan Ulee Lheue, Aceh ke Pelabuhan Balohan, Sabang. KMP. BRR ini merupakan kapal jenis *Ferry Roll On/Roll Off* atau biasa disebut dengan kapal *Ferry Ro-Ro* karena selain memuat penumpang juga memuat beberapa kendaraan [4].



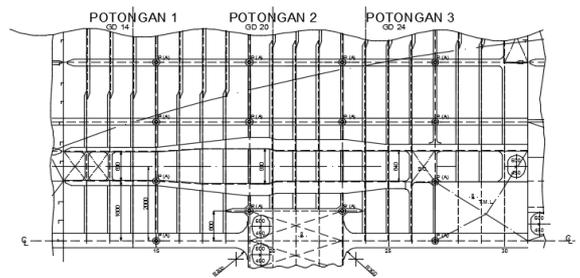
Gambar 1. KMP BRR.

Adapun ukuran utama kapal yaitu sebagai berikut.

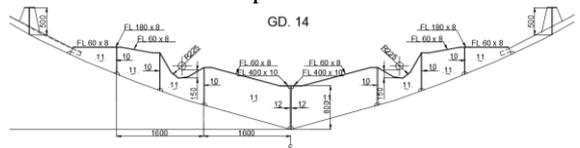
- *Length Over All (LOA)* : 61,3 m.
- *Length Between Perpendicular (LPP)*: 55,0 m.
- *Breadth (B)* : 13,2 m.

- *Height (H)* : 3,9 m.
- *Draught (T)* : 2,5 m.
- *Service Speed (Vs)* : 15 kn.

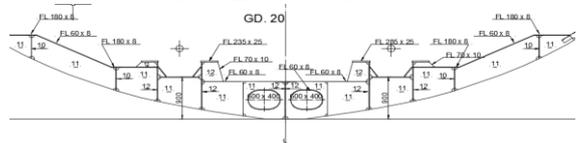
Pondasi adalah bagian terbawah dari sebuah struktur yang memiliki fungsi untuk menahan beban dari struktur yang menopangnya (*superimposed loads*) [3]. Gambar dibawah merupakan data gambar struktur pondasi mesin yang didapat dari data primer Kapal Penyeberangan 1000 GT. Dengan membagi menjadi tiga potongan atau bagian secara melintang, sehingga diketahui gambar konstruksi yang lebih detail.



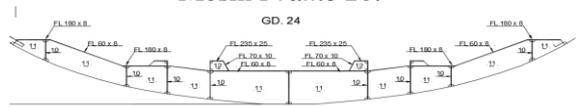
Gambar 2. Konstruksi Pondasi Mesin Tampak Atas.



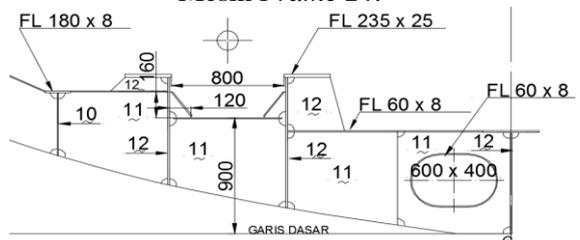
Gambar 3. Kontruksi Melintang Pondasi Mesin Frame 14.



Gambar 4. Konstruksi Melintang Pondasi Mesin Frame 20.



Gambar 5. Konstruksi Melintang Pondasi Mesin Frame 24.



Gambar 6. Scantling Pondasi Mesin Induk Frame 20.

Kapal Penyeberangan 1000 GT menggunakan *main engine* tipe Yanmar, adapun spesifikasi mesin induk beserta *gearbox* yang digunakan yaitu sebagai berikut [5].

- Tipe Mesin Induk : Yanmar 12AYM-WST.
- Jumlah silinder : 12.
- Daya dan rpm : 1100 bhp dan 1850 rpm.
- Berat : 4950 kg.
- Ukuran mesin : 2759 mm x 1644 mm x 1707 mm.
- Tipe gearbox : YXH-500L-1
- Berat : 1620 kg.



Gambar 7. Mesin Induk Yanmar 12AYM-WST.

2.2. Variasi Ketebalan Pelat dan Profil

Pada penelitian ini dilakukan variasi pada ketebalan pelat dan profil dengan mengacu pada ketebalan minimum yang terdapat pada *rules* BKI [6], sehingga didapatkan desain konstruksi yang lebih baik. Adapun perbandingan ketebalannya yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Variasi Ketebalan Pelat dan Profil.

Item	Tebal sesuai gambar konstruksi	Tebal minimum sesuai BKI
Center Girder	12 mm	6 mm
Solid Floor	11 mm	8 mm
Engine Girder	12 mm	6 mm
Side Girder	10 mm	6 mm
Bottom Plate	8 mm	8 mm

2.3. Pembuatan Model dan Meshing

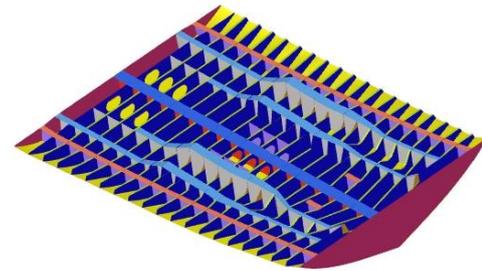
Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah *engineering* terutama dalam permasalahan struktural analisis yaitu dengan metode elemen hingga yang menggunakan perhitungan numerik [7].

Konstruksi yang dimodelkan yaitu bagian pondasi mesin beserta konstruksi di *bottom* dari sekat buritan sampai sekat kamar mesin mencakup *solid floor*, *centre girder*, *side girder*, *engine girder*, *bottom plate* beserta pelat-pelat penumpu tambahan sesuai dengan gambar konstruksi yang ada. Permodelan menggunakan *software Altair HyperWorks*, dengan menggunakan elemen tipe

mixed mesh (trias and quad elements) serta ukuran elemen 30 mm.

Pembuatan model diawali dengan membuat geometri sesuai dengan gambar konstruksi yang ada sehingga terbentuk *surface* untuk model yang dibuat. Selanjutnya dilakukan proses *meshing* dengan menggunakan elemen 2D. Dikarenakan perbandingan antara panjang dan tinggi dengan lebar sebuah geometri yang terlalu jauh, maka dipilihlah elemen 2D [8] yang akan diinput nilai ketebalan sesuai gambar konstruksi yang ada dengan *input property* yaitu *PSHELL*.

Model Info: t



Gambar 8. Model Pondasi setelah Meshing.

2.4. Pendefinisian Material

Pada penelitian ini, jenis material yang digunakan yaitu material baja standar BKI dengan notasi KI-A36, dengan nilai sebagai berikut.

<i>Modulus Elastisity</i>	= 200 Gpa
<i>Shear Modulus</i>	= 79,3 Gpa
<i>Poisson Ratio</i>	= 0,3
<i>Density</i>	= 7850 kg/m ³
<i>Yield</i>	= 250 Mpa
<i>Ultimate Stress</i>	= 400 Mpa

2.5. Pendefinisian Beban

Pada penelitian ini terdapat 5 macam beban yang diinputkan, yaitu beban berat dari mesin induk, beban berat dari *gearbox*, beban dari momen torsi mesin ketika mesin bekerja, beban dari gaya dorong akibat interaksi *thrust block*, serta beban dari tekanan hidrostatis kapal. Adapun perhitungan tiap beban yang ada yaitu sebagai berikut.

a. Beban Mesin Induk

$$\begin{aligned}
 W_{me} &= \text{Berat mesin induk} \times \text{gravitasi} \\
 &= 4950 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 48510 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dikarenakan mesin induk dilengkapi dengan 4 kupingan, maka dibuatlah *Multiple Point Load* (MPL) [9] dengan *node* setinggi 595 mm dari *solid floor* (tinggi dari *solid floor* ke bagian *rotation of cranshaft*) sebagai *independent* dan *nodes* yang terkena

kupingan mesin sebagai *dependent*, dimana akan diinput beban dari mesin induk sebesar 48510 N.

b. Beban *Gearbox*

$$\begin{aligned} Wg &= \text{Berat } gearbox \times \text{grafitasi} \\ &= 1620 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ &= 15876 \text{ N.} \end{aligned}$$

Dikarenakan *gearbox* dilengkapi dengan 2 kupingan, maka beban diinputkan dengan membuat *Multiple Point Load (MPL)* [9] yang akan diberi beban berat *gearbox* sebesar 15876 N.

c. Beban Momen Torsi Mesin

Momen torsi mesin diambil dari perhitungan antara daya mesin dibagi dengan rpm mesin, berdasarkan penelitian sebelumnya [9] rumus untuk menentukan torsi mesin yaitu sebagai berikut.

$$T_{eng} [kNm] = \frac{P_{eng} [kW] \times 9,55}{\omega_{eng} [rpm]} \quad (1)$$

Diketahui mesin induk memiliki daya 882 kW dan 1850 rpm [5], sehingga didapatkan torsi mesin sebesar 4550×10^3 Nmm dengan perhitungan sebagai berikut.

$$T_{eng} = \frac{882 \times 9,55}{1850} = 4,55 \text{ kNm}$$

Penginputan beban ini yaitu dengan membuat elemen rigid RBE3 dengan *node* setinggi 595 mm dari *solid floor* (tinggi dari *solid floor* ke bagian *rotation of crankshaft*) sebagai *independent* dan *nodes* yang terkena kupingan mesin sebagai *dependent*.

d. Beban Gaya Dorong

Beban gaya dorong diakibatkan adanya interaksi dari *thrust block*. Beban ini dianggap beban statis [10]. Perhitungan gaya dorong yaitu dengan menggunakan rumus sebagai berikut [11].

$$\begin{aligned} T &= Rt / (1-t) \quad (4) \\ T &= \text{Gaya dorong} \\ Rt &= \text{Hambatan total} \\ t &= \text{Fraksi deduksi gaya dorong} \\ t &= (0,5 \times Cp) - 0,19 \text{ (kapal dengan } \\ &\text{twin screw)} \quad (5) \\ &= (0,5 \times 0,613) - 0,19 \\ &= 0,1165 \end{aligned}$$

Perhitungan dengan menggunakan bantuan *software maxsurf* dan menggunakan metode *holtrop*, didapatkan nilai hambatan total yaitu 88,6 kN. Sehingga didapatkan nilai gaya dorong kapal,

$$\begin{aligned} T &= 88,6 / (1-0,1165) \\ &= 100,293 \text{ kN} = 100293 \text{ N.} \end{aligned}$$

e. Tekanan Hidostatik

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan yang diberikan oleh air laut akibat adanya gaya grafitasi. Pada kasus kapal yang berada di air laut, tekanan hidrostatik dipengaruhi oleh massa jenis air laut (ρ), grafitasi (g) dan sarat kapal (h).

$$\begin{aligned} P &= (\rho g h) \quad (5) \\ P &= (1025 \times 9,81 \times 2,5) \\ P &= 25138,13 \text{ Pa} = 0,025 \text{ Mpa.} \end{aligned}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan *Boundary Condition*

Model *finite element* yang sudah jadi, selanjutnya diberi *boundary condition* yang akan digunakan sebagai tumpuan *fix* (translasi dan rotasi sumbu x, y, z *fix*). Peletakan *boundary condition* berada di *Neutral Axis* kapal [12], dengan cara membuat elemen rigid RBE2 di kedua sekat, yaitu sekat kamar mesin dan sekat buritan. *Nodes* yang berada pada sekat sebagai *independent*, sedangkan tinggi *Neutral Axis* sebagai *dependent*. Adapun *Neutral Axis* pada kapal penyeberangan 1000 GT yaitu 1703,363 mm.

3.2. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari sebuah model *finite element* yang telah dibuat. Salah satu metode yang dilakukan yaitu dengan membandingkan hasil antara perhitungan analitik dan numerik.

a. Perhitungan Analitik

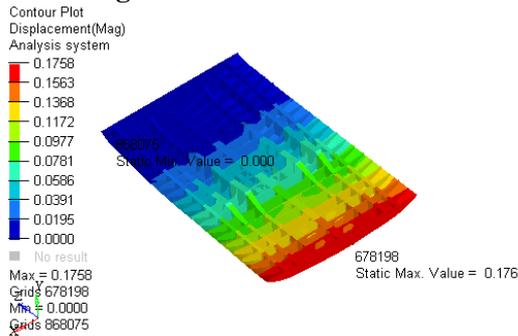
Perhitungan secara analitik yaitu dengan menggunakan pendekatan rumus defleksi mekanika teknik, adapun rumus perhitungan defleksi yaitu sebagai berikut.

$$\text{Defleksi} = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I} \quad (6)$$

F yaitu *Force* (N), L adalah Panjang model (mm), E adalah Modulus Elastisitas (Mpa) dan I adalah Inersia (mm⁴). Sehingga hasil perhitungannya yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} &= \frac{1000 \times 12000^3}{3 \times 200000 \times 16957388963} \\ &= 0,170 \text{ mm.} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Numerik



Gambar 9. Perhitungan Numerik.

Perhitungan secara numerik yaitu dilakukan dengan bantuan *software Altair HyperWorks*, sesuai dengan model yang telah dibuat. Adapun hasil defleksinya yaitu 0,1758 mm.

Tabel 2. Hasil Validasi.

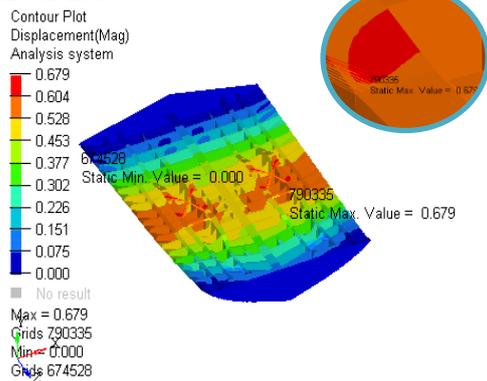
Hasil Analitik	Hasil Numerik	Error
0,170 mm	0,1758 mm	3,41 %

Berdasarkan hasil perbandingan antara perhitungan analitik dengan numerik diatas, didapatkan persentase *error* sebesar 3,41 %. Model sudah dikatakan valid, karena persentase *error* masih dibawah 10 %.

3.3. Hasil Analisis Kondisi I

Kondisi I diasumsikan ketika kapal sedang berlabuh, maka diasumsikan beban yang ada hanya dari beban berat mesin, *gearbox* dan tekanan hidrostatik kapal.

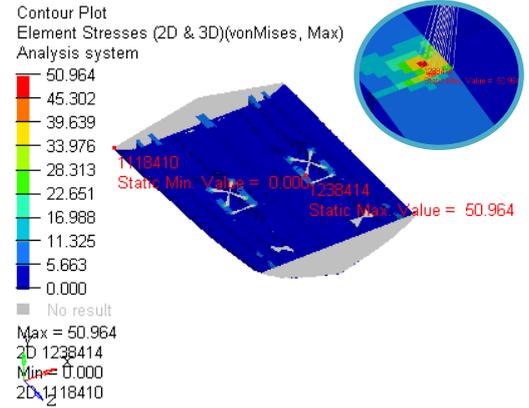
a. Defleksi



Gambar 10. Defleksi Kondisi I.

Defleksi maksimal terjadi pada *node* 790335 dengan nilai 0,679 mm.

b. Stress



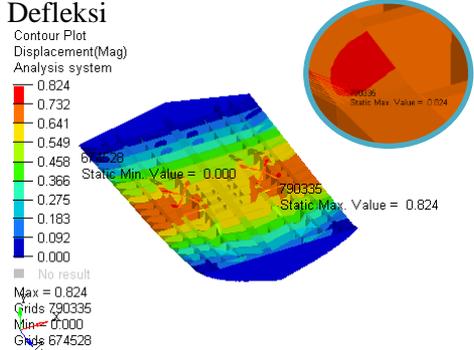
Gambar 11. *Stress* Kondisi I.

Tegangan maksimal terjadi pada *node* 1238414 dengan nilai 50,964 Mpa.

3.4. Hasil Analisis Kondisi II

Kondisi II diasumsikan ketika kapal sedang berlayar dengan kecepatan konstan, maka diasumsikan beban yang ada terdiri dari beban berat mesin, *gearbox*, beban dari momen torsi mesin ketika mesin bekerja, beban dari gaya dorong akibat interaksi *thrust block*, serta tekanan hidrostatik kapal.

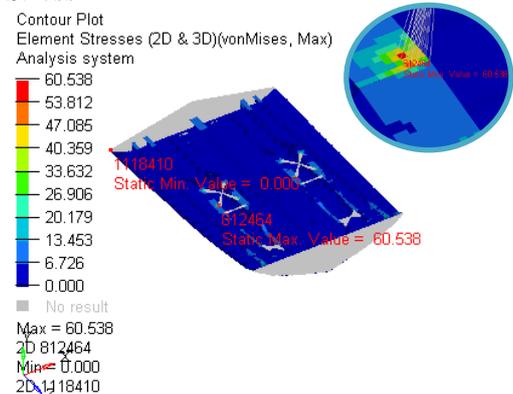
a. Defleksi



Gambar 12. Defleksi Kondisi II.

Defleksi maksimal terjadi pada *node* 790335 dengan nilai 0,824 mm.

b. Stress

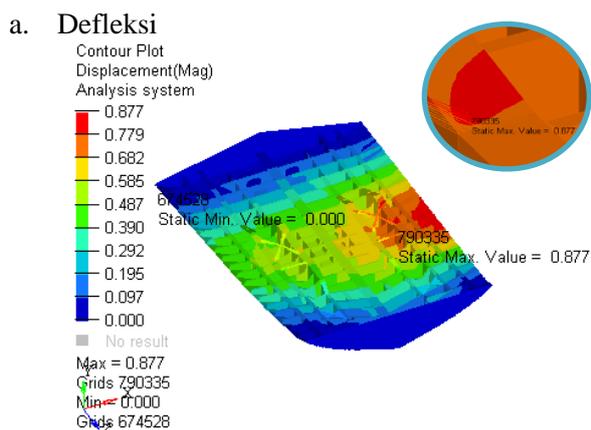


Gambar 13. *Stress* Kondisi II.

Tegangan maksimal terjadi pada *node* 812464 dengan nilai 60,538 Mpa.

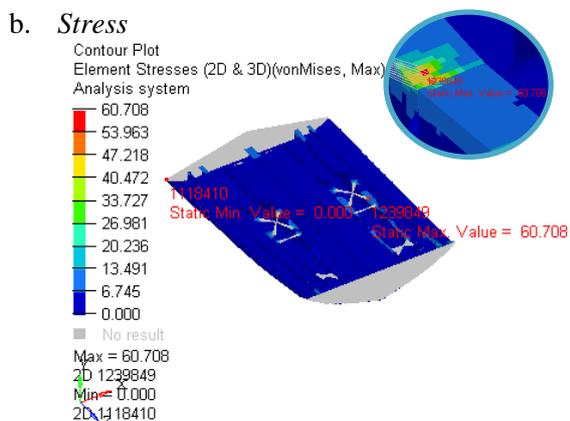
3.5. Hasil Analisis Kondisi III

Kondisi III diasumsikan ketika kapal sedang melakukan *manuver*, beban yang ada sama dengan kondisi II tetapi pada momen torsi mesin dan gaya dorong pada bagian kiri bernilai 0, karena diasumsikan mesin pada bagian kiri mati ketika melakukan *manuver*.



Gambar 14. Defleksi Kondisi III.

Defleksi maksimal terjadi pada *node* 790335 dengan nilai 0,877 mm.



Gambar 15. Stress Kondisi III.

Tegangan maksimal terjadi pada *node* 1239849 dengan nilai 60,708 Mpa.

3.6. Rangkuman Hasil Analisis Struktur

Tabel 3. Rangkuman Hasil Analisis.

No	Jenis Kondisi	σ maks (Mpa)	δ maks (mm)
1	Kondisi I	50,964	0,679
2	Kondisi II	60,538	0,824
3	Kondisi III	60,708	0,877

Dari data tabel diatas, didapatkan tegangan terbesar terjadi pada kondisi III, yaitu ketika kapal sedang berlayar dengan melakukan *manuver*, yang

bernilai 60,707 Mpa. Sedangkan defleksi paling besar terjadi pada kondisi III, yaitu ketika kapal sedang melakukan *manuver*, dengan nilai 0,877 mm.

3.7. Perbandingan Hasil Variasi

Variasi dilakukan pada model yang telah dibuat dengan mengganti ketebalan pelat dan profil sesuai dengan ketebalan minimum yang terdapat pada *rules* BKI, sehingga didapatkan hasil perbandingan yaitu sebagai berikut.

Tabel 4. Perbandingan Hasil Defleksi.

Jenis Kondisi	Tebal Sesuai Gambar Konstruksi	Tebal Minimum Sesuai BKI
Kondisi I	0,679 mm	1,074 mm
Kondisi II	0,824 mm	1,303 mm
Kondisi III	0,877 mm	1,381 mm

Tabel 5. Perbandingan Hasil Tegangan

Jenis Kondisi	Tebal Sesuai Gambar Konstruksi	Tebal Minimum Sesuai BKI
Kondisi I	50,964 MPa	93,804 MPa
Kondisi II	60,538 MPa	111,198 MPa
Kondisi III	60,708 MPa	111,449 MPa

3.8. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan menunjukkan kemampuan suatu material menerima berbagai macam beban dari luar, yaitu *compressive load* (beban tekan) ataupun *tensile load* (beban tarik) [13]. Suatu struktur dikatakan aman, apabila nilai $S_f > 1$.

Tabel 6. Kriteria Kekuatan Menurut BKI.

No	Jenis Kondisi	σ maks (MPa)	σ ijin (MPa)	Keterangan
1	Kondisi I	50,964	230	Memenuhi kriteria
2	Kondisi II	60,538	230	Memenuhi kriteria
3	Kondisi III	60,708	230	Memenuhi kriteria

Tegangan ijin pada struktur *bottom* yaitu 230 Mpa [6], sesuai dengan yang terdapat pada BKI 2019 Volume II Section 8. B. 8. 2. 2. Berdasarkan tabel diatas, semua kondisi memenuhi kriteria kekuatan BKI.

Tabel 7. *Safety Factor* Berdasarkan Material.

No	Jenis Kondisi	σ maks (MPa)	σ ijin (MPa)	<i>Safety Factor</i>
Ketebalan sesuai konstruksi				
1	Kondisi I	50,964	235	4,6
2	Kondisi II	60,538	235	3,8
3	Kondisi III	60,708	235	3,8
Ketebalan minimum sesuai BKI				
4	Kondisi I	93,804	235	2,5
5	Kondisi II	111,198	235	2,1
6	Kondisi III	111,449	235	2,1

Tegangan ijin berdasarkan material yang terdapat pada BKI Volume II Section 2 yaitu 235 MPa [6]. Berdasarkan tabel diatas, didapatkan faktor keamanan terkecil pada kondisi III yaitu 3,8 untuk model struktur dengan ketebalan pelat dan profil sesuai dengan gambar konstruksi dan 2,06 untuk model yang telah divariasi dengan ketebalan pelat dan profil minimum yang mengacu pada *rules* BKI. Hal itu menandakan bahwa struktur pondasi mesin masih aman berdasarkan material yang digunakan ($S_f > 1$).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi perhitungan respon struktur pondasi mesin pada kapal penyeberangan 1000 GT akibat pembebanan statis yang telah dilakukan didapatkan hasil yaitu: 1) Tegangan paling maksimum terjadi pada saat kondisi kapal sedang *manuver*, atau dalam hal ini kapal yang memiliki dua mesin induk, salah satu nya mati sehingga beban momen dari torsi mesin dan gaya dorong di salah satu mesin induk bernilai 0. Tegangan maksimum didapatkan pada *node* 1239849 dengan nilai 60,708 Mpa, dan defleksi maksimal terjadi pada *node* 790335 dengan nilai 0,877 mm. 2) Berdasarkan perbandingan hasil antara struktur model yang sesuai dengan gambar konstruksi dengan variasi ketebalan pelat dan profil minimum yang mengacu pada *rules* BKI didapatkan tegangan maksimum pada struktur yang telah divariasi terjadi pada kondisi III sebesar 111,449 Mpa dan nilai defleksi sebesar 1,381 mm. 3) Faktor keamanan terkecil yang didapatkan dari struktur pondasi mesin kapal penyeberangan 1000 GT yaitu sebesar 3,8 berdasarkan material yang digunakan, untuk model struktur dengan ketebalan pelat dan profil sesuai dengan gambar konstruksi dan 2,1 berdasarkan material yang digunakan, untuk model yang telah divariasi dengan ketebalan pelat dan profil minimum yang mengacu pada *rules* BKI.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Allah SWT yang selalu memberikan berkah dan rahmatnya, serta Orang Tua dan Keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan penulis, dan juga kepada pembimbing 1 dan pembimbing 2, serta rekan-rekan yang sudah membantu dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wira Karisma, Imam Pujo dan Good Rindo. 2017. *Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin Dengan Interaksi Trust Block Pada Kapal Ferry 500 GT Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Perkapalan Uniersitas Diponegoro Vol. 5 No. 1.
- [2] Sarjito Jokosisworo dan Eko Widiyanto. 2011. *Analisa Kekuatan Pondasi Mesin Pada MT NSL-IV Karena Perubahan Kapasitas Main Engine Di PT. Jasa Marina Indah Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro Vol. 8 No.2.
- [3] Bayu Adityo, Imam Pujo dan Kiryanto. 2015. *Analisa Kekuatan Pondasi Mesin Dengan Interaksi Trust Block Pada Kapal ROPAX 5000 GT Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro Vol. 3 No. 2.
- [4] Dokkum, V. Klaas. 2003. *Ship Knowledge – A Modern Encyclopedia*. The Netehrlands.
- [5] Yanmar. 2014. *Marine Diesel Engine Product Guide*. Yanmar.com. Japan.
- [6] B. K. Indonesia. 2018. *Rules For Hull*. Vol. II. Jakarta. Biro Klasifikasi Indonesia.
- [7] Logan, Daryl L. 2007. *A First Course in the Finite Element Methode*. Canada. Chris Carson.
- [8] Brancheau, James E. 2015. *Practical Aspects of Finite Element Simulation: A Study Guide*. The HyperWoks Univerisity Team.
- [9] Marcos Enrique. 2016. *Engine Foundation Re-design Due to Modification of the Shaft Line Arrangement*. Genoa. EMSHIP.
- [10] Germanischer Llyod AG. 2010. *Guidelines for the Seating of Propulsion Plants and Auxiliary, Rules for Classification*. Hamburg Germanischer Llyod AG.

- [11] MAN Diesel & Turbo. *Basi Principles of Ship Propulsion*. Denmark.
- [12] Marco Biot, Dario Bote, dan Emanuele Broco. 2015. *Numerical and Experimental Analysis of the Dynamic Behavior of Main Engine Foundation*. Hawaii. ISOPE.
- [13] Popov, E.P. 1996. *Mekanika Teknik*. Erlangga. Indonesia.