

Analisa Kekuatan Konstruksi *Pad Eye Towing Hook* Kapal *Tugboat* 27 Meter Dengan Metode Elemen Hingga

Tenario Aruza Mizan¹, Anggra Fiveriati¹, M. Abdul Wahid¹, I Gusti Ngurah Agung Satria Prasetya Dharma Yudha¹, Abdul Hamid¹

[#] Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi, Jalan Raya Jember No.KM13, Kawang, Labanasem, Kec. Kabat, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur 68461, Indonesia
E-mail: tenariothejenairo@gmail.com

Abstrak

Towing hook merupakan alat yang digunakan untuk menghubungkan tali penarik (*towing line*) atau *wire rope* dari *tugboat* ke kapal atau objek yang akan ditarik. Beberapa beban tarik mengakibatkan terjadinya distribusi tegangan yang terjadi pada bagian buritan kapal dan daerah sekitar *pad eye towing hook* akibat gerakan menarik yang dilakukan kapal, yang dapat menimbulkan banyak masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, patah dll. Analisa tersebut bertujuan untuk mengetahui nilai *equivalent stress*, *deformation* dan *safety factor* dari konstruksi *foundation towing hook* kapal *tugboat*, serta mengetahui letak titik kritis pada tiga variasi *bracket towing hook* yaitu variasi 1 *bracket* 100 x 100 x 12, variasi 2 *bracket* 100 x 100 x 16, dan variasi 3 *bracket* 100 x 165 x 8. Adapun hasil analisis dan perhitungan variasi 1 nilai *equivalent stress* sebesar 189,64 Mpa, sedangkan untuk variasi 2 nilai *equivalent stress* sebesar 183,56 Mpa, dan variasi 3 nilai *equivalent stress* sebesar 183,38 Mpa. Kriteria dari struktur *Pad eye Towing Hook* dari hasil simulasi yang didapat yaitu *Pad eye Towing Hook* dengan variasi ketiga lebih baik untuk digunakan atau dioperasikan dikarenakan nilai dari tegangan maksimum lebih kecil dan tingkat deformasi lebih rendah dibanding variasi 1 dan variasi 2.

Kata Kunci: Kapal *Tugboat*, *Towing Hook*, *Bracket*, *Equivalent Stress*, *Deformation*.

Abstract

Towing hook is a tool used to connect the *towing line* or *wire rope* from the *tugboat* to the ship or object to be towed. Several tensile loads result in stress distribution that occurs in the stern of the ship and the area around the *towing hook eye pad* due to the pulling motion carried out by the ship, which can cause many problems such as deformation, cracks, damage, fractures, etc. The analysis aims to determine the *equivalent stress*, *deformation* and *safety factor* values of the *tugboat towing hook foundation construction*, as well as to determine the location of the critical points on the three variations of the *towing hook bracket*, namely variation 1 *bracket* 100 x 100 x 12, variation 2 *bracket* 100 x 100 x 16, and variation 3 *bracket* 100 x 165 x 8. The results of the analysis and calculation of variation 1 *equivalent stress* value of 189.64 Mpa, while for variation 2 *equivalent stress* value of 183.56 Mpa, and variation 3 *equivalent stress* value of 183.38 Mpa. The criteria of the *Pad eye Towing Hook* structure from the simulation results obtained are that the *Pad eye Towing Hook* with the third variation is better for use or operation because the value of the maximum stress is smaller and the level of deformation is lower than variations 1 and 2.

Keywords: *Tugboat*, *Towing Hook*, *Bracket*, *Equivalent Stress*, *Deformation*.

I. PENDAHULUAN

Kalimantan terkenal dengan sungai-sungainya yang panjang dan sumber daya alam yang besar, khususnya pada provinsi Kalimantan Timur yang dikenal kaya akan berbagai jenis tambang seperti minyak bumi, gas dan batubara. Perusahaan swasta maupun Badan Usaha Milik Negara (BUMN) telah lama melakukan kegiatan tambang, yang terutama sekali di daerah Kabupaten Tanah Bumbu dan Kota baru. Kegiatan pengiriman hasil tambang banyak dilakukan menggunakan kapal tongkang yang ditarik oleh kapal *tugboat*. Sehingga penggunaan alat transportasi laut seperti kapal *tugboat* dan kapal tongkang menjadi hal yang penting

sebagai kebutuhan perusahaan-perusahaan dalam mengelola hasil tambang. Kapal tongkang yang sering dioperasikan oleh perusahaan adalah yang berukuran 300 feet yang umumnya mampu membawa 8.000 ton hasil tambang, sedangkan kapal *tugboat* yang digunakan untuk menarik kapal tongkang tersebut adalah kapal *tugboat* dengan ukuran 27 meter yang memiliki daya 500 sampai 2500 Kw [1].

Dalam pelayarannya mengharuskan kondisi kapal dalam keadaan aman, baik dalam hal konstruksi maupun instalasi lainnya, sebab dalam perencanaan sebuah konstruksi kapal, pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut [2]. Beberapa beban tarik mengakibatkan terjadinya distribusi

tegangan yang terjadi pada bagian buritan kapal dan daerah sekitar *pad eye towing hook* akibat gerakan menarik yang dilakukan kapal, yang dapat menimbulkan banyak masalah seperti deformasi, keretakan, kerusakan, patah dll [3].

Hal ini menunjukkan bahwa ada beban yang bekerja pada konstruksi towing hook sangat beresiko tinggi terhadap *local stress* dan *deformation*. Sehingga masalah yang dihadapi saat ini yaitu diperlukannya analisis kekuatan konstruksi *pad eye towing hook* yang sesuai dengan jenis atau muatan yang ditarik. Berdasarkan penjelasan diatas, maka penulis mengambil judul “Analisa Kekuatan Konstruksi *Pad Eye Towing Hook* Kapal *Tugboat* 27 Meter dengan Metode Elemen Hingga. Dengan analisis tersebut, diharapkan dapat mengetahui nilai *equivalent stress*, *deformation* dan *safety factor* yang diakibatkan oleh beban kapal tongkang pada *pad eye towing hook*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Tugboat atau kapal tunda adalah jenis kapal kecil yang dirancang khusus untuk menarik, mendorong, atau membantu kapal besar dalam *manuver* dipelabuhan, sungai, atau perairan lainnya. Meskipun ukurannya kecil, *tugboat* memiliki mesin yang sangat kuat yang dirancang untuk menghasilkan kekuatan tarik yang besar [4]. Sesuai dengan jalur atau *route* daerah pelayarannya kapal tunda atau *tugboat* dapat digolongkan menjadi [5]:

1. Ocean Going Tug

salah satu jenis kapal tunda yang daerah operasionalnya di laut lepas dan kapal ini pada umumnya digunakan untuk *supply* bahan bakar dari hasil kilang minyak (*Anchor Handling Supply Vessel*).

2. Harbour Tug

Fungsi dan peran dari *tugboat* ini yaitu menarik atau mendorong kapal dari laut untuk dibantu mendekat dengan dermaga pelabuhan dan sebaliknya.

3. River Tug

Tugboat ini umumnya beroperasi pada perairan dangkal sekalipun serta memasuki sungai yang mendekati hulu.

A. Perlengkapan Towing Kapal Tugboat

Towing pada kapal *tugboat* adalah kegiatan menarik kapal tongkang atau kapal lain menggunakan tali, rantai atau *tow bar*. Beberapa perlengkapan *towing* sebagai berikut [6]:

- *Towing hook*
- *Towing hook quick release system*
- *Hydraulic systems, pins, sharks jaws or equivalent*
- *Towing winches*
- *Bollards, fairleads and sheaves.*
- *Ropes and wires Ancillary equipment, ie. shackles, thimbles, eyes, rings, plates*

B. Towing Hook

Towing hook pada kapal *Tugboat* berfungsi sebagai pengait untuk menarik kapal tongkang dibelakangnya.

Tekanan pada daerah *towing hook* mengalami distribusi tegangan akibat gaya tarik yang dilakukan kapal *tugboat* [7].

C. Tegangan

Umumnya, gaya dalam yang bekerja pada luas yang kecil tak berhingga sebuah potongan, akan terdiri dari bermacam - macam besaran dan arah. Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) pada sebuah titik [8]. Suatu tegangan pada sebuah titik, secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1)$$

dimana ΔF adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan ΔA merupakan luas yang bersangkutan. Selain itu tegangan normal dapat menghasilkan tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan tekan (*compressive stress*) dan tegangan geser (*shearing stress*) [9].

D. Pendefinisian Beban

Beban yang diterima oleh kapal *tugboat* adalah beban statis yang diasumsikan berasal dari pembebanan kapal tongkang. *Input propertis* pembebanan yang dimasukan pada program numerik bersifat tetap, sebab analisis yang digunakan adalah static structural analysis [10]. Adapun macam - macam beban yang bekerja pada kapal antara lain:

- a. Beban statis, beban yang berubah apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar, atau perubahan kapal itu sendiri. Pembebanan statis merupakan jenis pembebanan yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah pembebanan dengan asumsi besarnya tidak berubah.
- b. Beban dinamis, beban yang besarnya berubah terhadap waktu dengan frekuensi tertentu yang menimbulkan respon getaran terhadap struktur kapal.
- c. Beban tumbuk, beban yang terjadi akibat *slamming* atau pukulan gelombang pada lunas, haluan, atau bagian kapal lainnya termasuk masuknya air diatas geladak.

E. Tumpuan

Tumpuan merupakan tempat peletakan konstruksi atau dukungan dalam meneruskan gaya-gaya yang bekerja ke pondasi. Jenis tumpuan ini akan menimbulkan reaksi gaya dengan arah yang berbeda-beda. Sehingga dapat diasumsikan bahwa tumpuan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tumpuan jepit (*Fixes Support*) [11]. Berikut merupakan beberapa jenis tumpuan yaitu :

1. Tumpuan Sendi (*Pin Support*)
2. Tumpuan Roll (*Roll Support*)
3. Tumpuan Jepit (*Fixed Support*)

F. Perhitungan Beban Tunda

Pada perhitungan beban tunda ini di asumsikan dengan beban tongkang (*barge*) yang ditarik dan didorong oleh

tugboat. Diberikan nilai rata-rata, tinggi, dan rendah pada tongkang yang ditarik maupun didorong, dalam *deadweight tons* (DWT). Batas rata – rata sesungguhnya mewakili pada kapasitas rata - rata dalam kondisi biasa [12].

Rumus beban tunda untuk DWT *barge* vs BHP

- Rumus untuk DWT rendah
 $Low\ DWT = (1.32 \times BHP) - 255.25$
- Rumus untuk DWT rata – rata
 $Average\ DWT = (3.43 \times BHP) - 599.18$
- Rumus untuk DWT tinggi
 $High\ DWT = (5.57 \times BHP) - 943.10$

Dimana :

DWT = *Deadweight tons* pada tongkang (*barge*) yang ditarik.

BHP = Maximum *Brake Horse Power* pada mesin induk.

G. Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Faktor keamanan (F.S) merupakan kapasitas suatu sistem yang menentukan daya dukung beban di luar beban aktualnya. Faktor keamanan diperlukan untuk memastikan beban yang diberikan lebih kecil dari pada beban yang dapat ditahan oleh suatu benda secara penuh. Nilai faktor keamanan yang spesifik bergantung pada jenis material. Menurut BKI, faktor keamanan harus lebih besar dari satu (>1). Faktor keamanan diperoleh dengan membagi beban tegangan maksimum dengan beban tegangan yang diizinkan [13]. Dimana persamaannya adalah sebagai berikut :

$$FS = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_y} \quad (2)$$

Dimana:

σ_{max} = beban tegangan maksimum

σ_y = beban tegangan yang diizinkan

Tegangan yang diizinkan tidak boleh melebihi asumsi beban yang sama dengan gaya putus minimum dari tali penarik [14]. Maka hal tegangan yang diizinkan dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = 0,83 \times ReH \quad (3)$$

Dimana :

ReH = *yield strength* 235 N/mm²

H. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah salah satu mode numerik yang cocok diterapkan untuk menghitung gaya dalam (*internal forces*) pada berbagai kasus di bidang rekayasa. Proses analisis dilakukan berdasarkan metode kekakuan yang disajikan dalam formula matriks. Keunggulan metode elemen hingga antara lain kemampuannya untuk memodelkan berbagai bentuk *geometri* struktur yang tidak beraturan, juga aspek *non-linieritas* dalam hal *geometri* maupun material. Bagian awal membahas prinsip analisis dengan permodelan satu dimensi (*line element*) meliputi balok (*beam*), rangka (*truss*), portal kaku (*rigid frame*), balok silang (*grid*), dan pegas elastis (*elastic spring*) [15].

III. METODE

A. Identifikasi Masalah

Tahap awal dalam penyusunan penelitian adalah mengidentifikasi masalah. Masalah yang dihadapi pada

konstruksi *pad eye towing hook* yaitu tidak semua *towing hook* terdapat *bracket* pada *pad eye towing hook* sehingga sering adanya insiden *pad eye towing hook* patah. Biasanya insiden patah terjadi akibat kelebihan muatan atau kurang *maintenance* pada area *towing hook* itu sendiri. Penelitian ini menggunakan simulasi computer dengan menggunakan *software* ansys untuk kekuatan elemen hingga khususnya tegangan dan *safety factor*. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan analisa yang mendalam dan terperinci terhadap respon *towing hook* terhadap beban yang diterima.

B. Pengumpulan Data

Tahap pertama yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian yaitu mengumpulkan data primer dan data sekunder yang relevan serta mencakup segala aspek yang berhubungan dalam pengerjaan penelitian ini.

1 Studi Lapangan

a. Data Ship Particular

Data ini meliputi data utama kapal, data *type material*, data *main engine*, dimana *ship particular* ini sangat penting nantinya digunakan acuan untuk data *safety factor*. Berikut ukuran utama kapal *tugboat*:

<i>Tipe Kapal</i>	= <i>Tugboat</i>
<i>Class</i>	= BKI
<i>Length Over All</i>	= 26,99 meter
<i>Breadth</i>	= 8,4 meter
<i>Draft</i>	= 4 meter
<i>Material</i>	= ASTM A36
<i>Main Engine</i>	= WIECHAI 1000 X 2
<i>Towing Hook</i>	= 25 ton
<i>Vs</i>	= 12 Knot

b. Data Konstruksi *Towing Hook*

Data konstruksi *towing hook* meliputi ukuran profil yang nantinya digunakan untuk pembuatan model dan analisis data.

c. Wawancara dengan Pihak ABK

Data wawancara merupakan data kondisi operasional kapal saat bongkar muat.

2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan penelusuran *literatur* (referensi) yang bersumber dari tugas akhir, jurnal, artikel, *internet*, serta karya tulis yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. *Studi literatur* bertujuan untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan *studi* dan juga menjadi dasar untuk melakukan pengerjaan penelitian ini. Dengan melakukan *studi literatur* ini diharapkan solusi dari permasalahan yang di ambil dapat terpecahkan dengan baik. Dalam *studi literatur* ini digunakan untuk mencari data tegangan (*stress*) yang nantinya akan di gunakan *regresi linier* untuk mendapatkan data *safety factor*.

C. Perhitungan Daya Tarik Kapal

Perhitungan daya Tarik kapal ini di asumsikan dengan beban tongkang (*barge*) yang ditarik dan didorong oleh *tugboat*. Diberikan nilai beban *tugboat* dengan mengkonversi data ke dalam satuan newton.

$$\begin{aligned}
 \text{High DWT} &= (5.57 \times \text{BHP}) - 943.10 \\
 &= (5.57 \times 2000) - 943.10 \\
 &= 10.196,9 \text{ Ton} \\
 &= 99.997.429,4 \text{ N} \\
 F &= m \times a \\
 &= 99.997.429,4 \times 6,17333 \\
 &= 617.317.130,8 \text{ N} \\
 \sigma &= \Delta F / \Delta A \\
 &= (617.317.130,8) / 2.636 \\
 &= 234187,1 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

D. Proses Desain

Proses desain merupakan proses pembuatan model 3D dari konstruksi *towing hook* menggunakan *autoCAD* (*Computer – Aided Desain*). Model ini mencakup semua detail yang ada di konstruksi *towing hook* yang akan di analisis termasuk dimensi, bentuk, dan profil. Proses pembuatan model ini dilakukan dengan cermat untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi tongkang 300 *feet* yang sebenarnya untuk menghasilkan representasi yang akurat.

E. Variasi Bracket

Bracket merupakan salah satu komponen struktur kapal yang memiliki fungsi penting yaitu menopang dan menambah kekuatan pada sambungan antar konstruksi kapal. *Bracket* dipasang dengan cara di las pada konstruksi kapal yang membutuhkan penguatan lebih. Pada penelitian ini menggunakan variasi *bracket* dengan beberapa tipe [17].

F. Material Properties ASTM A36

Material yang digunakan pada model ini adalah baja standar. Dimana kriteria bahan baja ASTM A36 sebagai berikut [16]:

Mechanical Properties	Metric
Density	7,85 g/cm ³
Tensile Strength, Ultimate	400 – 550 Mpa
Tensile Strength, Yield	250 Mpa
Elongation at Break (in 200mm)	20,0%
Elongation at Break (in 50mm)	23,0%
Modulus of Elasticity	200 Gpa
Bulk Modulus (typical for steel)	140 GPa
Poissons Ratio	0,260
Shear Modulus	79,3 GPa

G. Simulasi 3D Model

Setelah menghitung daya tarik kapal dan merancang 3D model pondasi *towing hook* menggunakan *AutoCAD*, selanjutnya dilakukan analisa kekuatan struktur untuk mendapatkan hasil nilai tegangan (*stress*) dan *safety factor*. Pada analisis ini digunakan metode FEM (*Finite Element Method*) atau elemen hingga, yaitu suatu penyelesaian masalah dengan cara membagi sistem besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih sederhana untuk menghasilkan atau pemecahan suatu masalah dengan menggunakan *software Ansys Workbench*. Tahapan untuk melakukan simulasi dapat dilihat sebagai berikut:

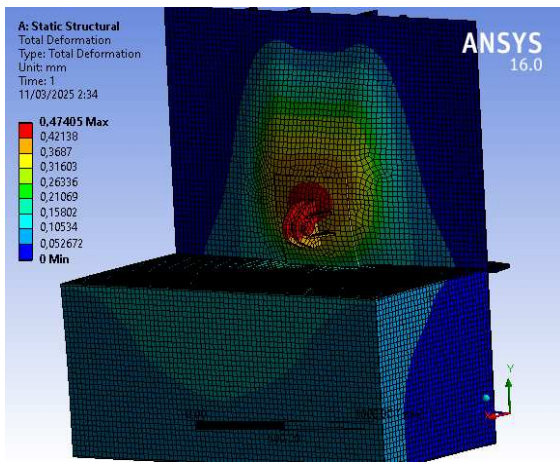
1. Pilih fitur *static structural*
Fitur *static structural* terdapat beberapa tahapan yaitu: *Engineering data*, *Geometry*, *Model*, *Setup*, *Solution*, dan *Results*.
2. *Enginnering data*
Proses *engineering data* merupakan tempat untuk *input data material* yang akan digunakan dalam simulasi yaitu material baja ASTM A36.
3. *Geometry*
Proses ini dilakukan untuk *input geometry* dari *software CAD* dengan format (.iges).
4. *Meshing*
Pada proses *meshing* ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, jadi semakin kecil ukuran *meshing* maka akan semakin tinggi tingkat akurat yang dihasilkan.
5. *Setup*
Proses *setup* dilakukan untuk menentukan titik *fixed support* dan *force*. Pada *fixed support* dapat diasumsikan pada area *bulkhead*, karena reaksi tumpuan pada sumbu Y atau arah *vertikal*. Titik *force* terletak pada *pad eye towing hook* dapat diasumsikan bahwa arah pembebanan pada sumbu x atau arah *horizontal* dari belakang dengan beban tunda 234187,1 N.
6. *Solution dan results*
Proses ini digunakan untuk memilih solusi yang ingin dihasilkan dari simulasi. Pada simulasi pembebanan *horizontal* ini, keluaran yang dihasilkan dari simulasi adalah tegangan maksimal/*equivalent stress* dan *safety factor*.

H. Validasi

Validasi harus dilakukan terhadap hasil analisa yang telah dilakukan, hal ini untuk memastikan data yang dihasilkan memiliki ke akuratan yang baik. Validasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah validasi hasil deformasi dari program *Ansys Static Structural* yang menggunakan metode FEM dengan rumus mekanika teknik untuk mengetahui perbandingan hasil. Berdasarkan perbandingan hasil analisa bisa dikatakan valid jika masih dibawah 10%.

$$f4 = - \frac{ML^2}{16EI} \quad (4)$$

Dimana :
M = momen
I = momen inersia
E = modulus elastisitas
L = Panjang Lengan
f4 = deformasi tengah



Gambar 1. Validasi Model

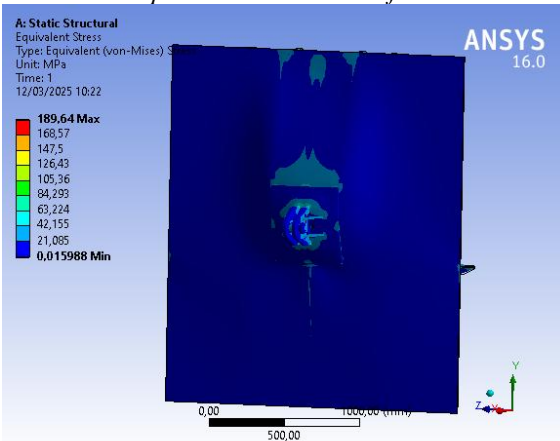
Analisa	Software (mm)	Manual (mm)	Valid
Tegangan	0,47405	0,907505	91%

Berdasarkan perbandingan hasil perhitungan menggunakan rumus mekanika teknik dan hasil analisa *software* yang *presentase* validitas masih dibawah 10%, sehingga dapat disimpulkan model dianggap valid.

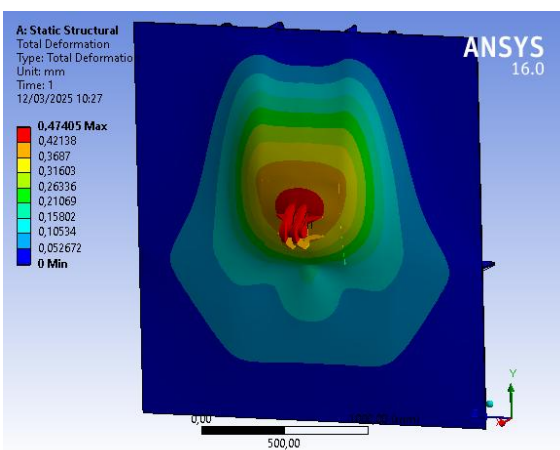
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Simulasi Data

1. Simulasi *equivalent stress* dan *deformation* variasi 1



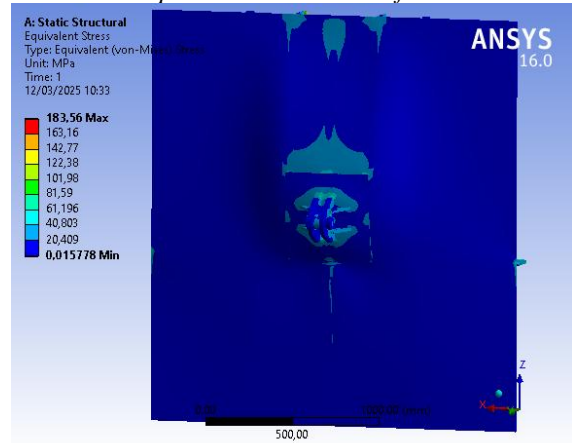
Gambar 2. *Equivalent Stress* Maksimum Variasi 1



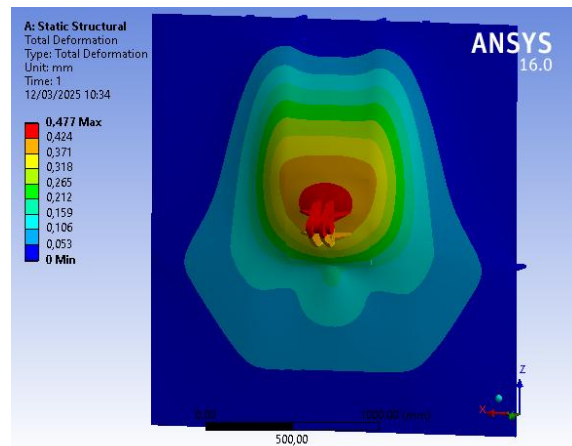
Gambar 3. Total *Deformation* Variasi 1

Pada simulasi variasi 1 didapatkan *Equivalent stress* maksimum sebesar 189,64 Mpa dan nilai total *deformation* 0,47405 mm.

2. Simulasi *equivalent stress* dan *deformation* variasi 2



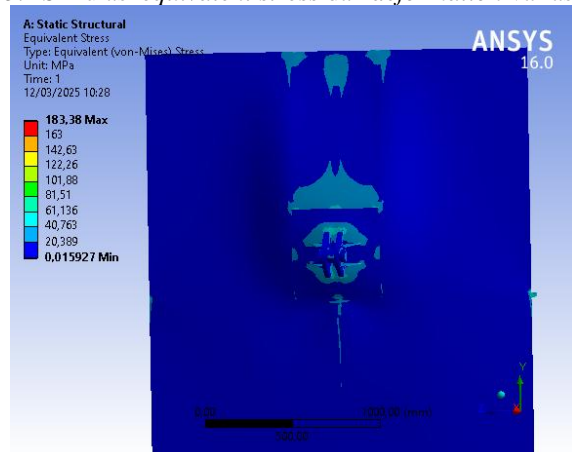
Gambar 4. *Equivalent Stress* Maksimum Variasi 2



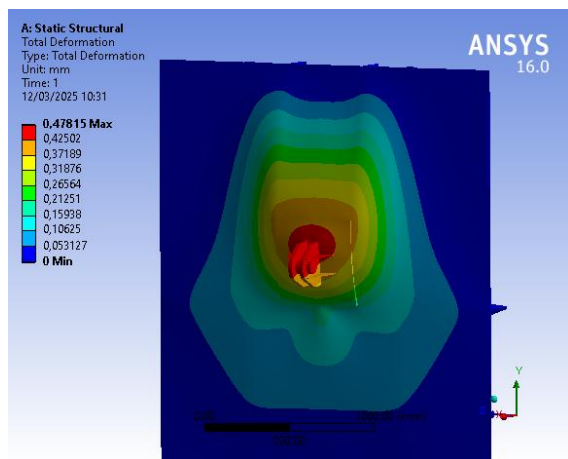
Gambar 5. Total *Deformation* Variasi 2

Pada simulasi variasi 2 didapatkan *Equivalent stress* maksimum sebesar 183,56 Mpa dan nilai total *deformation* 0,477 mm.

3. Simulasi *equivalent stress* dan *deformation* variasi 3



Gambar 6. *Equivalent Stress* Maksimum Variasi 3



Gambar 7. Total Deformation Variasi 3

Pada simulasi variasi 3 didapatkan *Equivalent stress* maksimum sebesar 183,38 Mpa dan nilai total *deformation* 0,47815 mm.

B. Analisa Data Factor of Safety

Faktor keamanan (*factor of safety*) diperoleh dengan beban tegangan izin dibagi dengan beban tegangan maksimum. tegangan yang diizinkan tidak boleh melebihi asumsi beban yang sama dengan gaya putus minimum dari tali penarik. faktor keamanan harus lebih besar dari satu (>1). Maka analisis data *factor of safety* dapat disimpulkan pada tabel sebagai berikut:

TABLE I
Analisa Data Factor of Safety

Variasi (mm)	Beban (N/mm ²)	σ_{max} (Mpa)	Element ID	σ_y (Mpa)	Deform ation	FS	Keterangan
Variasi 1							
Bracket 100x100x12	234187	189,64	42603	195,05	0,47405	1,03	Memenuhi
Variasi 2							
Bracket 100x100x16	234187	183,56	42612	195,05	0,477	1,06	Memenuhi
Variasi 3							
Bracket 100x165x8	234187	183,38	42583	195,05	0,47815	1,06	Memenuhi

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa hasil simulasi ketiga variasi *bracket pad eye towing hook*. Pada variasi pertama luas *bracket* 100mm x 100mm tebal 12mm dengan beban 234187,1 N menghasilkan tegangan 189,64 Mpa dan deformasi 0,47405 mm. Kemudian variasi kedua luas *bracket* 100mm x 100mm tebal 16mm dengan beban 234187,1 N menghasilkan tegangan 183,56 Mpa dan deformasi 0,477 mm. Sedangkan variasi ketiga luas *bracket* 100mm x 165mm tebal 8mm dengan beban 234187,1 N menghasilkan tegangan 183,38 Mpa dan deformasi 0,47815 mm. Dari ketiga variasi *bracket* dapat disimpulkan bahwa *Pad eye Towing Hook* yang menghasilkan nilai tegangan paling kecil yaitu pada variasi ketiga dengan lebar *bracket* 100mm x 165mm tebal 8mm dengan nilai 183,38 Mpa dan deformasi sebesar 0,47815 mm, sedangkan tegangan paling besar terjadi pada variasi pertama dengan luas *bracket* 100mm x 100mm tebal 12mm dengan nilai 189,64 Mpa dan deformasi sebesar 0,47405 mm. Kemudian untuk nilai

tegangan yang diterima oleh *Rules for Hull, Section 27 C3* (2014) dari ketiga variasi dapat diterima karena nilai tegangan yang terjadi pada simulasi tidak melebihi batas yang diizinkan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian hasil analisis data *Pad eye Towing Hook* dengan variasi *Bracket*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Pad eye Towing Hook* yang menghasilkan nilai tegangan paling besar terjadi pada variasi pertama dengan luas *bracket* 100mm x 100mm tebal 12mm dengan nilai 189,64 Mpa, nilai *factor of safety* 1,03, dan deformasi sebesar 0,47405 mm pada tegangan ijin yaitu sebesar 195,05 Mpa.
2. *Pad eye Towing Hook* yang menghasilkan nilai tegangan paling kecil yaitu pada variasi ketiga dengan lebar *bracket* 100mm x 165mm tebal 8mm dengan nilai 183,38 Mpa, nilai *factor of safety* 1,06, dan deformasi sebesar 0,47815 mm pada tegangan ijin yaitu sebesar 195,05 Mpa.
3. Kriteria dari struktur *Pad eye Towing Hook* dari hasil simulasi yang didapat yaitu *Pad eye Towing Hook* dengan variasi ketiga lebih baik untuk digunakan atau dioperasikan dikarenakan nilai dari tegangan maksimum lebih kecil dan tingkat deformasi lebih rendah dibanding variasi 1 dan variasi 2.

REFERENCES

- [1] Wardoyo, Febrian (2020) DESAIN KAPAL TUGBOAT DENGAN KAPASITAS TARIK 8.000 TON DWT. *Bachelor thesis*, Institut Teknologi Kalimantan.W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems*. Belmont, Calif.: Wadsworth, pp. 123-135, 1993. (Book style)
- [2] Mulyatno, I.P., Berlian A.A., Muhammad, A. 2012. Analisa Kekuatan Konstruksi *Bracket Towing Hook* Pada Tb. Bontang Dengan Metode Elemen Hingga Dan *Rules* BKI. Program Studi S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro. Semarang. 1(9):1-5
- [3] Imam Pujo Mulyatno, Berlian Arswendo A,Muhammad Alan. (2012). ANALISA KEKUATAN KONSTRUKSI *BRACKET TOWING HOOK* PADA TB. BONTANG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA DAN *RULES* BKI. Program Studi S1Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- [4] MGMaritim (2024). <https://mgmaritim.com/layanan-tugboat-terbaik-untuk-mendukung-operational-maritim/#:~:text=Tugboat%20atau%20kapal%20tunda%20adalah,menghasilkan%20kekuatan%20tarik%20yang%20besar>
- [5] Tasrun Sjahrun. (2000). Definisi Kapal Tunda. Diakses dari: <http://antonrivai.blogspot.co.id/2011/11/kapal-tunda.html>, 11 Februari 2024C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Laboratories, Boulder, Colo., personal communication, 1992. (Personal communication)
- [6] Shipowners. (2015). *The Club is often approached for advice regarding non-customary towage, ocean towage and associated towing surveys - also known as towage warranty/Fitness to Tow*. Diakses dari: <https://www.shipownersclub.com/latest-updates/news/advice-towage>. 11 Februari 2024
- [7] Muhammad Abid Mapariorio Arsyad, (2020). ANALISIS *FATIGUE* KONSTRUKSI PADA PENUMPU *TOWING HOOK* AKIBAT BEBAN TARIK PADA KAPAL *TUGBOAT* DENGAN METODE

- ELEMEN HINGGA. Program Studi Teknik Perkapalan, Jurusan Sains, Teknologi Pangan dan Kemaritiman Institut Teknologi Kalimantan.
- [8] Arif Putra Rizky , Imam Pujo Mulyatno , Sarjito Joko Sisworo. (2016). ANALISA *FATIGUE* KONTRUKSI *MAIN DECK* SEBAGAI PENUMPUN *TOWING HOOK* AKIBAT BEBAN TARIK PADA KAPAL *TUGBOAT* 2 x 800 HP DENGAN METODE ELEMEN HINGGA.) Jurusan S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [9] Geer Dave. 1989. *Propeller Handbook The Complete Reference for choosing, installing and Understanding Boat Propeller. The McGraw - Hill Companies.* USA
- [10] Lestari Damanik, Imam Pujo Mulyatno, Berlian Arswendo A (2016). Kajian Teknik Kekuatan Konstruksi Kapal *Tugboat* 2 X 800 Hp Dengan Metode Elemen Hingga, Program Studi S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
- [11] Ir. Wesli. 2010. *Mechanic Engineering. 1st Edition.* Klaten. Yogyakarta.Indonesia.
- [12] Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Material, 2nd edition, Prentice -Hall, Inc., Englewood Cliffs. New Jersey.* USA
- [13] Philipus Valentino, Hartono Yudo, Ahmad Fauzan Zakki, (2022). Analisis Kekuatan Struktur Penyangga *Towing Hook* pada TB. Khatulistiwa 01. *International Journal of International Journal of Marine Engineering Innovat Marine Engineering Innovation and Research, Vol. 7(4), D ion and Research, Vol. 7(4), Dec. 2022. 311-320 ec. 2022. 311-320 (pISSN: 2541-5972, eISSN: 2548-1479).*
- [14] Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2014. “*Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull Edition 2014, Section 27 C. 3.*” Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.L. Hubert and P. Arabie, “Comparing Partitions,” *J. Classification*, vol. 2, no. 4, pp. 193-218, Apr. 1985. (Journal or magazine citation).
- [15] Ir. Fadillawaty, (2019). <https://tekniksipil.umy.ac.id/akademik/daftar-matakuliah/metode-elemen-hingga/>
- [16] Biro Klasifikasi Indonesia, Indonesia, *Rules for Materials, Materials*, vol. V. Jakarta: BKI, 2019.
- [17] Saniyyah Devi Pitaloka, Muhammad Nurul Misbah (2020) Studi Pengaruh Variasi Pengelasan *Bracket* terhadap *Fatigue Life* Struktur Kapal Patroli Cepat 40M Akibat Beban Gelombang. *Jurnal Teknik ITS* Vol. 10, No. 1, (2020) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)