

# ***Redesign dan Analisis Padeye untuk Operasi Lifting pada Konstruksi Barge Panel Trans Bulkhead***

**Rita Handayani<sup>\*1</sup>, Annisa Fyona<sup>\*</sup> and Yusuf Nurhuda<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Perencanaan dan Konstruksi Kapal

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: ritahanda32@gmail.com

## **Abstrak**

*Padeye* merupakan komponen krusial dalam sistem *lifting* pada proses fabrikasi kapal, khususnya pada struktur panel *trans bulkhead*. Kesalahan dalam perancangan maupun pemasangan *padeye* dapat menyebabkan kegagalan pengangkatan yang berisiko terhadap keselamatan kerja dan efisiensi proyek. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang (*redesign*) dan menganalisis *padeye* berdasarkan beban aktual yang terjadi pada proses *lifting block* konstruksi *barge*, dengan pendekatan simulasi numerik berbasis *Finite Element Method (FEM)*. Metodologi yang digunakan meliputi pemodelan geometri, penentuan titik *center of gravity (CoG)*, konfigurasi *rigging* dengan 4 *slings*, dan verifikasi desain berdasarkan aturan *DNVGL-ST-N001* serta *NORSOK R-003*. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* dengan parameter tegangan maksimum *Von Mises*, deformasi total, dan nilai *safety factor* sebagai indikator kelayakan desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain awal *padeye* menghasilkan deformasi ekstrem sebesar 596.062 mm, yang jauh melebihi batas aman 3 mm, meskipun masih memenuhi batas tegangan. Setelah dilakukan *redesign*, model *padeye* yang baru menunjukkan performa yang jauh lebih baik dengan tegangan maksimum 39.5 MPa, deformasi hanya 1.372 mm, dan nilai *safety factor* sebesar 6.96, yang berarti sangat aman digunakan. Penelitian ini menegaskan pentingnya perhatian terhadap deformasi selain kekuatan material, serta validasi desain secara menyeluruh sebelum implementasi di lapangan. Hasil ini diharapkan menjadi acuan bagi peningkatan keselamatan dan efisiensi dalam proses *lifting* pada industri konstruksi kapal.

**Kata kunci:** Desain *Padeye*, *lifting Operations*, *Finite Element Method (FEM)*, *Trans Bulkhead Panel*.

## **Abstract**

*Padeye* is a critical component in *lifting* systems during ship fabrication, particularly in the construction of *trans bulkhead* panels. Errors in *padeye* design or installation can lead to *lifting* failures, posing significant risks to operational safety and project efficiency. This study aims to *redesign* and analyze the *padeye* based on actual *lifting* loads encountered during the erection of *barge* construction blocks, utilizing numerical simulation through the *Finite Element Method (FEM)*. The methodology includes geometric modeling, determination of the *center of gravity (CoG)*, a 4-leg *slings* *rigging* configuration, and design verification based on *DNVGL-ST-N001* and *NORSOK R-003* standards. Simulations were carried out using *SolidWorks* software, with *von Mises* stress, total deformation, and *safety factor* used as indicators of structural feasibility. The results showed that the initial *padeye* design produced extreme deformation of 596.062 mm, far exceeding the acceptable limit of 3 mm, even though the stress remained below the yield threshold. After *redesign*, the new *padeye* variant demonstrated significantly improved performance, with a maximum stress of 39.5 MPa, deformation of only 1.372 mm, and a *safety factor* of 6.96—indicating excellent safety. This research emphasizes the importance of considering deformation alongside material strength, and the necessity of thorough design validation prior to field implementation. The findings are expected to serve as a reference for improving safety and efficiency in *lifting* operations within the shipbuilding industry.

**Keywords:** Design *Padeye*, *lifting Operations*, *Finite Element Method (FEM)*, *Trans Bulkhead Panel*.

## 1 Pendahuluan

Pada industri pembangunan kapal baru, proses fabrikasi dan perakitan kapal dilakukan secara bertahap dengan beberapa metode salah satunya metode sistem *hull block construction metode (HBCM)*. Metode (*HBCM*) merupakan proses membagi konstruksi kapal menjadi beberapa bagian (*block*) produksi yang memiliki jenis pekerjaan dengan memanfaatkan kerja sama proses secara paralel, untuk memaksimalkan waktu fabrikasi [1]. Dimana setiap *block* struktural dari kapal yang dibangun secara terpisah dan kemudian akan disatukan melalui proses *lifting* di area fabrikasi. Proses *lifting* dalam konteks teknik dan konstruksi adalah proses pengangkatan dan pemindahan suatu komponen menggunakan peralatan bantu seperti *crane*, *hoist*, *slings*, *shackles*, dan *padeye*. Proses *lifting block* bertujuan untuk memindahkan panel sekaligus penyesuaian komponen dengan struktur lainnya, proses ini merupakan kegiatan fabrikasi paling krusial yang menuntut perencanaan yang matang terutama dari sisi keselamatan dan efisiensi [2].

Salah satu komponen yang paling penting dalam proses *lifting* adalah *padeye*. *Padeye* merupakan komponen penghubung antara *block* dengan alat angkat seperti *crane*. Fungsi *padeye* yaitu untuk mengangkat benda dengan bobot tertentu pada sebuah panel yang sesuai desain *padeye* serta memberikan titik dimana tali kawat atau katrol dapat dipasang secara langsung maupun tidak langsung [3]. Pemasangan *padeye* dengan cara dilas pada daerah yang diinginkan untuk dilakukannya pengangkatan atau pengikatan. Kesalahan dalam pemasangan maupun perancangan *padeye* dapat berakibat fatal, seperti kegagalan angkat, kerusakan *block*, atau bahkan kecelakaan kerja. Adapun faktor pemicu kegagalan proses *lifting* dapat berupa pada saat pengelasan pemasangan *padeye* yang tidak standar, penggunaan jenis *padeye* yang tidak sesuai dengan beban angkat maksimal, dan penempatan *padeye* yang tidak sesuai dengan titik berat dari struktur yang ingin diangkat, kelalaian yang terjadi dalam hal ini mengakibatkan pemicu kegagalan pada proses *erection block*, yang nantinya dapat mempengaruhi waktu fabrikasi serta *cost* yang dikeluarkan [4]. Maka dari itu perlu adanya perancangan desain dan penentuan titik *lifting point padeye* yang mampu menahan beban angkat secara aman, dengan memperhitungkan beban *panel block*, serta faktor keamanan terhadap respon deformasi maupun ketangguhan struktur.

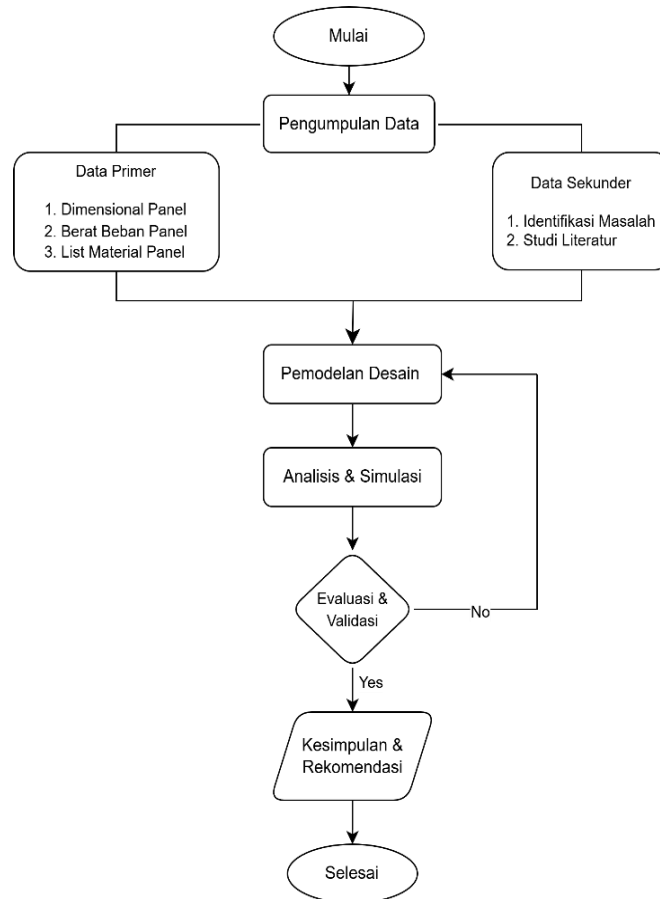
Perancangan pemodelan diperlukan suatu pendekatan analisis yang tepat dalam menentukan standar *padeye*, hasil analisis tegangan, gaya, dan deformasi yang mempertimbangkan faktor keamanan (*safety factor*) pada saat proses *lifting* berlangsung, ini menjadi dua hal utama yang harus diterapkan untuk memastikan bahwa pemodelan *padeye* yang digunakan mampu bekerja secara optimal dan aman. Dalam penelitian ini, penentuan standar pemodelan *padeye* akan dianalisis berdasarkan data beban *lifting* aktual, posisi *padeye* terhadap *center of gravity (CoG) block*, serta acuan standar desain menggunakan *rules Det Norske Veritas (DNV)* dan standar galangan terkait [5]. Adapun yang menjadi perbandingan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, seperti yang dilakukan oleh [6], lebih menitikberatkan pada analisis keandalan *padeye* berdasarkan konfigurasi *rigging* dan pendekatan dinamik pada struktur *lifting modul deck (MODEC)*. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh [7] fokus pada pengaruh konfigurasi *rigging* dan *spreader bar* terhadap tegangan pada *padeye* dan stabilitas *crane vessel*. Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu, penelitian ini fokus melaksanakan penelitian terhadap **“REDESIGN DAN ANALISIS PADEYE UNTUK OPERASI LIFTING PADA KONSTRUKSI BARGE PANEL TRANS BULKHEAD”**. dengan pendekatan berbasis standar desain *DNVGL-ST-N001* serta memanfaatkan simulasi numerik menggunakan *Finite Element Method (FEM)* di *SolidWorks*. Penelitian ini, bertujuan untuk mendapatkan pemodelan standar *padeye* beserta data tegangan, gaya, dan deformasi yang lebih presisi. Selain itu, penelitian ini menggunakan data aktual dari proyek fabrikasi sebagai acuan perhitungan, sehingga hasil desain lebih aplikatif dan relevan terhadap kondisi lapangan. Adapun batasan masalah pada penelitian ini hanya difokuskan untuk menemukan desain pemodelan *padeye* sesuai dengan kebutuhan, yang akan digunakan sebagai komponen utama dalam proses *lifting* (pengangkatan) *block* pada proses *erection* konstruksi *barge panel trans bulkhead*.

## 2 Metodologi Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk menentukan konsep desain awal *padeye*. Pada penelitian ini merupakan penelitian rekayasa teknik (*engineering design*) yang bertujuan untuk merancang dan menganalisis komponen *padeye* untuk digunakan sebagai titik angkat pada objek penelitian difokuskan pada panel *trans bulkhead* struktur *barge*, *padeye* akan dianalisis berdasarkan gaya angkat dan pembebanan aktual terhadap respon panel selama proses *erection* berlangsung. Metode yang digunakan mencakup perhitungan analitis dan simulasi numerik Metode *Finite Element Method (FEM)* yang menghasilkan nilai tegangan, gaya, deformasi dibagikan titik *padeye*, hasil analisis divisualisasikan menggunakan perangkat lunak *software design Solidworks*. Metode pendekatan yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan beberapa tahapan berikut:

1. Desain *Padeye* berdasarkan beban kerja dan konfigurasi *lifting*
2. Pemodelan geometris menggunakan perangkat lunak *AutoCaD*
3. Analisis tegangan, gaya, dan deformasi menggunakan perhitungan numerik berdasarkan *rules DNVGL-ST-N001* dan simulasi visual menggunakan perangkat lunak simulasi *SolidWorks*
4. Evaluasi hasil analisis berdasarkan standar keselamatan (*Safety Factor*) dari *NORSOK R-003*

Alur sistematis dari pelaksanaan penelitian, dimulai dari tahap awal pembahasan masalah hingga tahap akhir berupa kesimpulan dan rekomendasi. Setiap tahap memiliki peran penting dalam memastikan bahwa penelitian berjalan secara terstruktur, objektif, dan valid. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2. 1 Identifikasi masalah

Tahap ini awal dalam penyusunan penelitian adalah mengidentifikasi masalah, masalah yang di hadapi pada proses *lifting* panel *trans bulkhead* yaitu terdapat insiden *padeye* pada proses *lifting* mengalami kerusakan sehingga mengakibatkan kegagalan *lifting*, hal ini diakibatkan *padeye trans bulkhead* yang digunakan tidak sesuai dengan beban yang di angkat, sehingga *padeye* mengalami kelebihan muatan dan patah. Penelitian ini menggunakan *software* analisis *SolidWork* untuk pengujian *redesign padeye* dalam segi kekuatan, khususnya tegangan dan *safety factor*. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan analisa yang mendalam dan terperinci terhadap respon *padeye* terhadap beban yang diterima.

## 2. 2 Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh parameter geometris utama yang dibutuhkan dalam perancangan dan simulasi *padeye* untuk proses *lifting*. Dalam pengerjaan penelitian ini yaitu mengumpulkan data primer dan sekunder, data yang di kumpulkan meliputi:

## 1. Studi Lapangan

### a) Data Panel *Trans Bulkhead*

Data ini meliputi, *dimention* panel *trans bulkhead*, *profil list* panel *trans bulkhead*, *weight profil*, dan *quantity*. Dimana *ship particular* ini akan menjadi acuan untuk data untuk penentuan *safety factor*. Detail *profil list* panel *trans bulkhead* terlampir pada Tabel 1.

**Tabel 1. Profil List Panel Trans Bulkhead**

Panel	Name of Part	Width (mm)	Thk (mm)	Length (mm)	n.part	Total Weight (kg)	Panel W	Panel Qty	Total (kg)	Total (ton)
T.BHD	AB 125x75x10	200	10	5800	12	1092.720	5820	1	5820	5.82
	GIRDER 460x8+100flg	560	8	5596	3	590.400				
	STRINGER 460x8+100flg	560	8	9584	1	337.050				
	Plate 8mm S257JR	9584	8	6100	1	3671.439				
	Bracket Plate 10mm		10	68245.8	24	128.575				
									Total	58.82

### b) Penentuan *Center of Gravity (CoG)*

Penentuan titik *Center of Gravity (CoG)* dilakukan dengan perhitungan dasar untuk menemukan titik *CoG* dengan konfigurasi 4 titik *padeye*. Dengan pembagian distribusi massa panel yang merata, maka posisi *CoG* dapat dihitung dengan rumus:

$$X_{CoG} = (\sum Xi \times Wi) / (\sum Wi)$$

$$y_{CoG} = (\sum Xi \times Wi) / (\sum Wi)$$

Keterangan:

- $xi$  = posisi X dari titik angkat ke-i
- $yi$  = posisi Y dari titik angkat ke-i
- $wi$  = berat atau beban yang ditanggung oleh titik angkat ke-i
- $\sum wi$  = total berat seluruh panel (5820 kg)

Karena panel memiliki beban 5820 kg, maka dibagi menjadi empat titik *lifting point* dengan berbobot sama (masing-masing 1455 kg):

$$X_{CoG} = \frac{2058 + 6858 + 2058 + 6858}{4} = \frac{17832}{4} = 35657 \text{ mm}$$

$$y_{CoG} = \frac{1219 + 1219 + 6095 + 6095}{4} = \frac{14628}{4} = 35657 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka dapat disimpulkan penentuan *CoG* berdasarkan beban panel, terbagi menjadi 4 titik. Pembagian titik koordinat *CoG* dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Koordinat *CoG* Trans Bulkhead**

Titik	X (mm)	Y (mm)
1 (kiri atas)	2058	1219
2 (kanan atas)	6858	1219
3 (kiri bawah)	2058	6095
4 (kanan bawah)	6858	6095

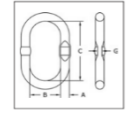
### c) *Lifting Arrangement*

Komponen yang menjadi *support* saat melakukan proses *lifting* terdiri dari *master link* (pengait) *sling*, *shackle*, *padeye* dan juga konfigurasi *lifting* yang digunakan. Masing masing komponen memiliki kriteria dan spesifikasi berdasarkan *rules DNV pt.2 Ch5-lifting (1996)*. Berikut adalah spesifikasi komponen yang digunakan dan telah disesuaikan dengan *rules*:

### 1. Master Links

Pemilihan rakitan *master link* perlu disesuaikan dengan beban panel dengan mempertimbangkan *Working Load Limit (WLL<sub>min</sub>)* panel *Trans Bulkhead* sebesar  $WLL_{min} = 5.820$  kg. Ukuran *master link* yang dibutuhkan harus memiliki  $WLL_{min} 1''$  (7.720 kg), pemilihan spesifikasi *master links* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *Master links* (sumber: [thecrosbygroup.com](http://thecrosbygroup.com))

Size		A-344 stock no	Weight Each (lbs.)	Working Load Limit (lbs.)*	Proof Load (lbs.)**	Dimension (in.)				
(in.)	(mm)					A	B	C	G	
1-3/4	45	1257632	38.1	84400	211100	1.77	7.10	13.40	-	


### 2. Spesifikasi *Sling Leg*

Pemilihan tali kawat (*sling leg*) harus ditentukan dengan mempertimbangkan beban total, konfigurasi pengangkutan, sudut *sling* serta material dan panjang *sling*, serta dengan *working load limit (WLL<sub>min</sub>)* disesuaikan dengan perhitungan berikut ini:

$$WLL_{st} = \frac{WLL_{min}}{4 \cdot \cos \beta} = \frac{5820}{4 \cdot \cos 45^\circ} = 2058 \text{ kg}$$

Berdasarkan perhitungan, setiap parameter *sling leg* wajib di periksa berdasarkan standar yang telah disesuaikan dengan beban berat. Maka pemilihan *sling* adalah jenis *wire rope four leg sling* dengan minimum size 24 mm, sebagaimana spesifikasi *sling leg* terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi *Sling Leg* (sumber: [www.substation.com.my](http://www.substation.com.my))

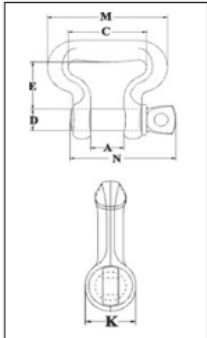
Nominal $\varnothing$ (mm)	App Mass (kg/m)	Straight Lifting	Reeve Lifting	Basket 60°	Angle Between Legs 60°			
					45°	60°	90°	
24	2.29	7.40	5.10	12.70	27.30	25.50	20.90	

### 3. Spesifikasi *Shackle*

Pemilihan spesifikasi *shackle* harus mempertimbangkan jenis beban, lingkungan kerja, kapasitas beban yang aman (WLL), dan standar teknis yang berlaku. Adapun perhitungan penentuan *working load limit (WLL<sub>min</sub>)* disesuaikan beban aktual berdasarkan rumus perhitungan berikut ini:

$$WLL_{st} = \frac{WLL_{min}}{4 \cdot \cos \beta} = \frac{5820}{4 \cdot \cos 45^\circ} = 2058 \text{ kg}$$

*Shackle* yang dipilih dengan benar akan memastikan keamanan dan kelancaran operasi pengangkutan serta mengurangi risiko kecelakaan kerja. Spesifikasi *shackle* dapat dilihat pada Gambar 2.



Round Sling Size (No.)	Web Slings*			Working Load Limit (Tons)†	S-281 Stock No.	Weight Each (lbs.)	Dimensions (in.)						
	Webbing Width (in.)	Eye Width (in.)	Ply				A	C	D	E	K	M	N
1 & 2	2	2	2	3-1/4	1021048	1.2	1.06	2.50	.75	1.62	1.22	3.84	3.34
3	3	1.5	2	4-1/2	1021057	1.5	1.25	2.00	.88	1.50	1.41	3.38	3.97
4	4	2	2	6-1/4	1021066	2.5	1.44	2.50	1.00	2.00	1.62	4.22	4.50
5 & 6	6	3	2	8-1/2	1021075	4.3	1.69	3.62	1.13	2.75	1.84	5.64	5.13

\* NOTE: Designed for use with Type III, (Eye & Eye), Class 7, 2 Ply web slings. For 3" and larger webbing width, tapered eye is required.

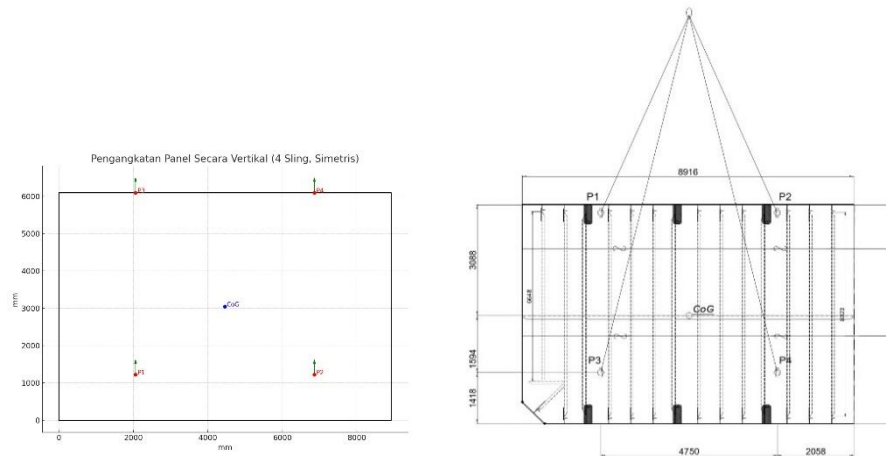
† Maximum Proof Load is 2-1/2 times the Working Load Limit. Minimum Ultimate strength is 5 times the Working Load Limit.

Crosby Sling Saver® hardware meets the requirements for minimum stock diameter or thickness, and effective contact width shown in the Recommended Standards Specification for Synthetic Polyester Round Slings by the Web Sling & Tie Down Association. WSTDA-RS1 (revised 2010)

Gambar 2. Tabel Spesifikasi *Web Sling Shackle*

d) *Konfigurasi Lifting*

Penentuan titik *center* berdasarkan penentuan 4 titik *padeye* (P1–P4) yang dipasang di empat sudut panel, digunakan sistem *4-leg sling configuration*, yaitu: Dua *sling* depan: P1 ke *lifting hook*, P2 ke *lifting hook*, Dua *sling* belakang: P3 ke *lifting hook*, P4 ke *lifting hook*, semua *sling* bertemu di 1 titik pusat (*master link/hook*) di atas panel. Konfigurasi *lifting* memiliki kemiringan *sling* sebesar  $45^\circ$  pada masing-masing ke 4 titik *padeye*. Adapun tampilan visualisasi penempatan titik pemasangan *padeye* terdapat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penempatan Posisi Pemasangan *Padeye*

e) *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.

2.3 **Desain Pemodelan Awal**

Pemodelan *padeye* dibuat berdasarkan perhitungan beban kerja actual, dari proses *lifting panel trans bulkhead*. Dalam hal ini, *padeye* didesain untuk mampu menahan beban sebesar 3 ton per titik angkat, sesuai dengan data aktual proyek fabrikasi *barge 320ft*. Berdasarkan pendekatan dari standar *DNVGL-ST-N001* dan referensi *NORSOK R-003*, ditentukan bahwa faktor keamanan minimum (*Safety Factor*) yang digunakan adalah 1.5. Dimensi awal *padeye* ditentukan melalui perhitungan geometri dan kekuatan material, untuk menentukan lubang pengait, menentukan tebal *plate*, panjang, lebar, radius lengkung, dan memastikan desain memenuhi standar. Berikut adalah perhitungan desain berdasarkan parameter *basic* desain yang ada dari *rules* sebagai berikut:

a.) *Pemilihan Material*

Pemilihan spesifikasi material yang digunakan untuk desain *padeye* adalah *plate* baja karbon *structural* dengan ketebalan 12mm dengan *grade S275JR classification Non-alloy Quality Steel standard EN-10025-2:2004* [8]. Untuk material spesifikasi kekuatan material yang digunakan ada pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi Material *Padeye*

Material	Thickness	Tensile Strength	Yield Strength	Impact Energy
S275JR (1.00044)	12 mm	410-560	275 Mpa	+20° (27 J)

b.) *Perhitungan Desain*

Sebelum membuat model *padeye*, dilakukan perhitungan penentuan parameter, *padeye* dirancang dengan mempertimbangkan: (1) Diameter lubang pengait (*shackle*), (2) Ketebalan dan lebar pelat *padeye*, (3) Radius lengkung untuk menghindari konsentrasi tegangan, desain awal divisualisasikan menggunakan *AutoCAD*. Berikut adalah langkah-langkah perhitungan desain:

**Diketahui:**

- Berat beban : 5.820 kg
- Gaya berat (W) :  $W = 5.820 \text{ kg} \times 9.81 = 57,064.2 \text{ N} = 57.06 \text{ kN}$
- Jumlah *sling* : 4 pcs
- Sudut terhadap *vertical* ( $\beta$ ) :  $45^\circ$  derajat
- *Safety Factor* (SF) : *Static lift*, sesuai *DNVGL-ST-N001*

**Langkah 1:** perhitungan gaya tiap *sling* sebelum di berikan nilai SF:

$$F_{sling} = \frac{W}{\text{Jumlah sling} \cdot \cos \beta}$$

$$F_{sling} = \frac{57.06}{4 \cdot \cos 45^\circ} = \frac{57.06}{4 \cdot 0.7071} = \frac{57.06}{2.8284} = 20.17 \text{ kN}$$

**Langkah 2:** perhitungan gaya tiap *sling* (termasuk nilai *safety factor*):

$$F_{sling} = 20.17 \times 1.5 = 30.26 \text{ kN}$$

**Langkah 3:** Pengimputan parameter final:

**Tabel 6. Imput Parameter Desain**

<b>Diketahui:</b>	
Gaya maksimum per sling:	30.26 kN
Tebal plate:	12 mm
Diameter lubang:	50 mm
Space lubang ke pinggir plate (e):	75 mm
Material:	S275JR
Tegangan izin:	- Yield strength ( $\sigma_{\text{yield}}$ ) = 275 Mpa - Allowable bearing stress = $275 / 1.5 = 183.3 \text{ Mpa}$ - Allowable shear stress $\approx 0.6 \times 275 = 165 \text{ MPa}$
Safety Factor (SF):	Static lift, sesuai DNVGL-ST-N001
<b>Note: pembagian gaya beba di bagi menjadi 4 sisi (atas kiri dan kanan, bawah kiri dan kanan)</b>	

**Langkah 4:** Perhitungan *bearing stresses*:

$$\sigma_{\text{bearing}} = \frac{F}{d \cdot t} = \frac{30.260}{50 \cdot 12} = \frac{30.260}{600} = 50.43 \text{ kN}$$

Nilai yang didapatkan dari desain aman, karna  $50.43 < 183.3 \text{ MPa} \rightarrow$  **Aman**

**Langkah 5:** Perhitungan *shear stress* (dibagi menjadi 4 sisi):

$$\tau = \frac{F}{4 \cdot A} = \frac{30.260}{4 \cdot (50 \cdot 12)} = \frac{30.260}{2400} = 12.61 \text{ kN}$$

Nilai yang didapatkan dari desain aman, karna  $12.61 < 165 \text{ MPa} \rightarrow$  **Aman**

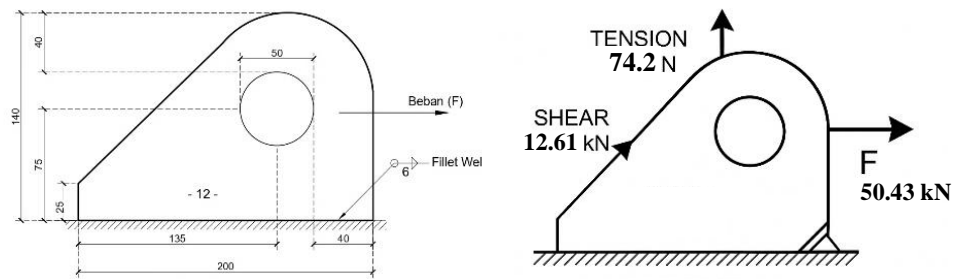
**Langkah 6:** Perhitungan *tear strength* (per sisi):

$$F_{\text{tear}} = \frac{2 \cdot e \cdot t \cdot \tau_{\text{allow}}}{4}$$

$$F_{\text{tear}} = \frac{2 \cdot 75 \cdot 12 \cdot 165}{4} = \frac{297.000}{4} = 74.250 \text{ N} = 74.25 \text{ kN}$$

Nilai yang didapatkan dari desain aman, karna  $74.25 \text{ kN} > 30.26 \text{ kN} \rightarrow$  **Aman**

Pemodelan *padeye* divisualisasikan menggunakan *AutoCAD* dan dimodelkan secara 3D di *SolidWorks* untuk simulasi lanjutan. Visualisasi serta dimensional *padeye* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Padeye

## 2. 4 Analisis dan Simulasi

Dalam analisis menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)*, asumsi yang digunakan adalah beban bekerja secara statik (*quasi-static loading*), dengan gaya maksimum diambil berdasarkan beban aktual pengangkatan panel *trans bulkhead* sebesar 5.82 ton dengan pembagian sebanyak 4 titik ( $\approx 14.27$  kN per titik angkat). Material *padeye* menggunakan baja karbon struktural (*mild steel*) dengan sifat mekanik sebagai berikut: modulus elastisitas ( $E$ ) = 210 GPa, *Poisson's ratio* = 0.3, dan kekuatan luluh = 275 MPa. Kondisi batas *boundary condition* diberikan dengan mengunci area bawah *padeye* yang berfungsi sebagai titik angkat (*lifting point*), sedangkan gaya angkat diterapkan pada lubang pengait *padeye*. Analisis dianggap linier elastik tanpa memperhitungkan efek kelelahan atau getaran. Indikator keberhasilan desain ditetapkan secara numerik: (1) Tegangan maksimum *Von Mises* harus lebih kecil dari kekuatan luluh material ( $\sigma_{vm} < 275$  MPa), (2) Deformasi total tidak boleh melebihi 3 mm, dan (3) Nilai faktor keamanan (*safety factor*) minimum harus 1.5. Kriteria ini digunakan untuk memastikan *padeye* aman digunakan menahan beban kerja dengan optimal. Adapun Tahapan untuk melakukan simulasi dapat dilihat sebagai berikut:

### 1. Pemodelan Geometri

Tahapan pemodelan geometri dimulai dengan mengimpor desain *padeye* ke dalam perangkat lunak *SolidWorks Simulation*, berdasarkan model geometris yang telah dibuat secara rinci pada tahap perancangan awal. Model 3D tersebut mencerminkan seluruh detail dimensi, profil lengkung, serta lubang pengait sesuai dengan parameter desain teknis yang telah ditentukan. Langkah ini bertujuan untuk mempersiapkan objek analisis sebelum dilakukan proses simulasi tegangan dan deformasi menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Method*).

### 2. Boundary Conditions

Penentuan kondisi batas (*boundary condition*) dilakukan dengan mengasumsikan bahwa bagian dasar *padeye*, yaitu area tempat *padeye* terhubung dengan struktur panel, berfungsi sebagai tumpuan tetap (*fixed support*) yang tidak mengalami perpindahan selama proses *lifting* berlangsung. Dengan kondisi nyata dimana *padeye* dilas secara permanen pada struktur sehingga tidak bergerak saat menerima beban angkat. Selanjutnya, beban gaya ( $F$ ) sebesar 14.27 kN diterapkan sebagai gaya terpusat (*point load*) atau distribusi tekanan (*pressure load*) pada permukaan lubang pengait *padeye*. Gaya ini merepresentasikan beban tarik dari *sling* selama proses pengangkatan, dan menjadi input utama dalam analisis *respons* struktural *padeye* terhadap beban kerja.

### 3. Mesh Generation

Proses *mesh generation* dilakukan dengan menggunakan elemen-elemen segitiga untuk analisis *tetrahedral* pada model 3D *padeye*. Pemilihan elemen *tetrahedral* bertujuan untuk menghasilkan pembagian elemen yang fleksibel dan mampu mengikuti kontur geometris kompleks pada desain *padeye*. Proses *meshing* ini mencakup seluruh permukaan dan volume *padeye*, dengan tingkat kepadatan (*mesh density*) yang disesuaikan untuk memperoleh hasil simulasi yang akurat. Fokus utama dalam *refinemen mesh* dilakukan di area kritis, terutama disekitar lubang pengait dan fillet, yaitu daerah yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan tinggi. *Refinemen* ini bertujuan untuk meningkatkan presisi analisis tegangan dan deformasi pada titik-titik yang paling signifikan selama pembebanan berlangsung.

#### 4. Analisis Stress

Analisis tegangan dilakukan untuk mengetahui distribusi dan konsentrasi tegangan yang terjadi pada struktur *padeye* selama menerima beban pengangkatan. Hubungan antara tegangan dan regangan dianalisis berdasarkan hukum *Hooke*, yang menyatakan bahwa tegangan ( $\sigma$ ) berbanding lurus terhadap regangan ( $\epsilon$ ) dalam batas elastis material. Hubungan ini dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Dimana:

- $\sigma$  : tegangan normal (MPa)
- $E$  : modulus elastisitas material (MPa)
- $\epsilon$  : regangan

Untuk mengetahui kegagalan material akibat beban kompleks, digunakan kriteria tegangan ekuivalen *Von Mises* ( $\sigma_{VM}$ ), yang memperhitungkan tegangan tiga arah (x, y, z) dan tegangan geser. Rumus *Von Mises* dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2] + 3(r_{xy}^2 + r_{yz}^2 + r_{zx}^2)}$$

Hasil analisis ini akan menghasilkan visualisasi distribusi tegangan *Von Mises* pada seluruh permukaan *padeye*, yang selanjutnya akan digunakan untuk evaluasi apakah struktur *padeye* memenuhi kriteria kekuatan material, yaitu ( $\sigma_{VM}$ ), dan mendukung analisis deformasi serta perhitungan faktor keamanan.

#### 5. Running Solver

Setelah pemodelan geometri, penetapan kondisi batas, dan proses *mesh generation* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah menjalankan simulasi dengan metode *linear static analysis* menggunakan *SolidWorks Simulation*. Analisis ini dilakukan untuk menghitung *respons* struktur *padeye* terhadap pembebanan statis, dengan asumsi bahwa material bekerja dalam domain elastis dan beban tidak berubah terhadap waktu. Simulasi dilakukan dengan menyelesaikan sistem persamaan linear yang merepresentasikan hubungan gaya, tegangan, dan deformasi pada elemen-elemen *padeye*. Parameter utama yang dianalisis meliputi distribusi tegangan ekuivalen *Von Mises* dan deformasi total akibat gaya angkat sebesar 14.27 kN pada tiap titik *lifting*. Hasil dari *solver* kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik kontur warna yang menggambarkan distribusi tegangan dan deformasi pada seluruh bagian. Informasi ini digunakan untuk mengevaluasi apakah nilai tegangan maksimum berada di bawah batas kekuatan luluh material ( $\sigma_{VM}$ ) dan apakah deformasi masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan, yaitu  $\leq 3$  mm. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa desain *padeye* aman digunakan dalam operasi *lifting*.

### 2.5 Evaluasi Hasil dan Validasi Desain

Hasil simulasi akan dibandingkan dengan *yield strength* material, batasan deformasi yang di perbolehkan, dan memenuhi kriteria standar keselamatan. Jika hasil validasi desain belum memenuhi standar yang ditentukan, maka dilakukan pemodelan struktur kembali, dengan memodifikasi ke tahap pemodelan desain awal dan perhitungan analisis, kemudian disimulasikan kembali hingga mendapatkan desain yang sesuai standar. Evaluasi hasil pada tahap ini membandingkan tegangan maksimum  $\sigma_{VM}$  dengan *yield strength* dihitung secara manual dan nilai yang dihasilkan harus lebih besar dari nilai minimum yang di tentukan *rules DNVGL-ST-N001* nilai *safety factor* adalah 1.5.

### 2.6 Kesimpulan dan Rekomendasi

Hasil Desain yang telah divalidasi, maka dibuatlah ringkasan hasil penelitian, yang memberikan output berupa rekomendasi dimensional *padeye*, detail material, posisi *lifting point*, titik *Center of Gravity (CoG)*, serta hal yang perlu di perhatikan ketika melakukan pemasangan di lapangan, dan usulan pengembangan maupun penggunaan *padeye* untuk kedepannya dalam proses *lifting* yang berulang [9].

### 3 Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Redesign Padeye

Hasil dari proses perancangan ulang (*redesign*) *padeye* yang dilakukan berdasarkan evaluasi desain awal dan kebutuhan operasional pada system pengangkatan. *Redesign* dilakukan untuk meningkatkan performa structural *padeye* agar mampu menahan beban angkat dengan lebih aman, efisien, dan sesuai dengan standar keselamatan kerja yang berlaku. Pada tahap *redesign* beberapa parameter teknik mengalami penyesuaian, antara lain ketebalan plat, diameter lubang angkat, radius lengkung dan geometri keseluruhan *padeye*. Proses ini dilakukan menggunakan pendekatan *Finite Element Method (FEM)* untuk memvalidasi kekuatan *structure* terhadap beban maksimum, serta memastikan distribusi tegangan tetap berada di bawah batas *yield strength*. Adapun perbandingan hasil *redesign padeye* dengan desain sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Dimensi *Padeye*

Item	Thiknes	Ø Lubang Angkat	Radius lengkung	Panjang	Tinggi
<i>Padeye Redesign</i>	12 mm	50 mm	58 mm	200 mm	140 mm
<i>Padeye non Redesign</i>	8 mm	55 mm	50 mm	185 mm	125 mm

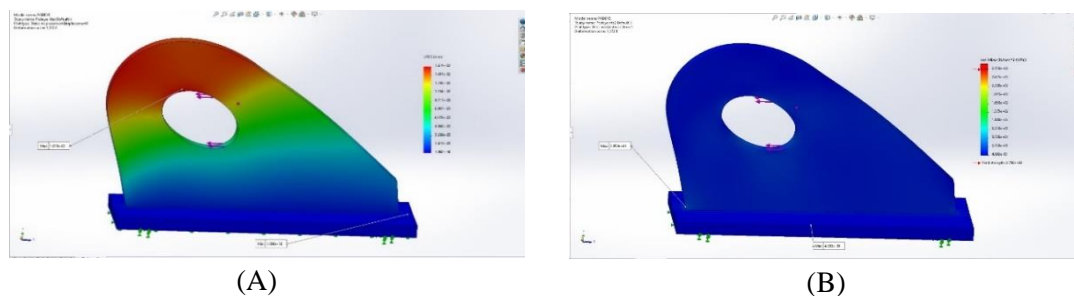
#### 3.2 Hasil Simulasi Data

Untuk mendapatkan hasil analisis yang detail dan akurat, *padeye* dianalisis menggunakan *software SolidWork* dengan melakukan pengujian terhadap 2 model *padeye*, dimana desain model 1 merupakan desain yang telah di modifikasi dari ketebalan *plate* yang digunakan. Sedangkan untuk model 2 merupakan desain *padeye* yang sebelumnya. Berikut adalah hasil analisis dari kedua model desain *padeye*:

1. Simulasi *equivalent stress* dan *deformation* model 1 (*padeye hasil redesign*)

Pada simulasi Model 1, yaitu desain *padeye* hasil *redesign*, diperoleh hasil yang menunjukkan kinerja struktural yang baik dalam menahan beban angkat. Gambar (A) memperlihatkan distribusi tegangan ekuivalen (*equivalent stress*) Von Mises yang terjadi pada *padeye* saat menerima gaya angkat dari arah vertikal. Tegangan maksimum tercatat sebesar 39.5 MPa, yang terletak di area kritis sekitar lubang *padeye*. Wilayah ini ditandai dengan gradasi warna merah, mengindikasikan konsentrasi tegangan tertinggi akibat gaya tarik dari *sling*. Sementara itu, bagian lain dari struktur *padeye* menunjukkan distribusi tegangan yang relatif rendah, ditandai dengan gradasi warna biru hingga hijau. Hal ini menandakan bahwa tegangan tersebar secara merata dan tidak terjadi akumulasi beban yang berlebihan di area bawah *padeye*.

Selanjutnya, Gambar (B) menunjukkan hasil visualisasi deformasi total yang dialami *padeye* sebagai *respons* terhadap pembebanan. Dari hasil simulasi, diperoleh nilai deformasi maksimum sebesar 1.372 mm, yang terjadi di sekitar area atas lubang *padeye* titik di mana gaya tarik utama diaplikasikan. Nilai deformasi tersebut masih berada dalam batas toleransi yang diizinkan (maksimum 3 mm), serta tidak menunjukkan indikasi deformasi plastis maupun potensi kerusakan struktural. Gradasi warna dari biru (deformasi rendah) hingga merah (deformasi tinggi) menunjukkan distribusi deformasi yang meningkat secara linier dari bagian dasar hingga ke area beban. Secara keseluruhan, simulasi pada Model 1 membuktikan bahwa desain *padeye* hasil *redesign* mampu menahan beban secara efektif, dengan tegangan rendah dan deformasi yang terkendali. Distribusi tegangan dan deformasi menunjukkan perilaku struktur elastis, serta efisiensi dalam menyalurkan gaya, sehingga dapat disimpulkan bahwa *padeye* ini aman digunakan dalam operasi *lifting*.

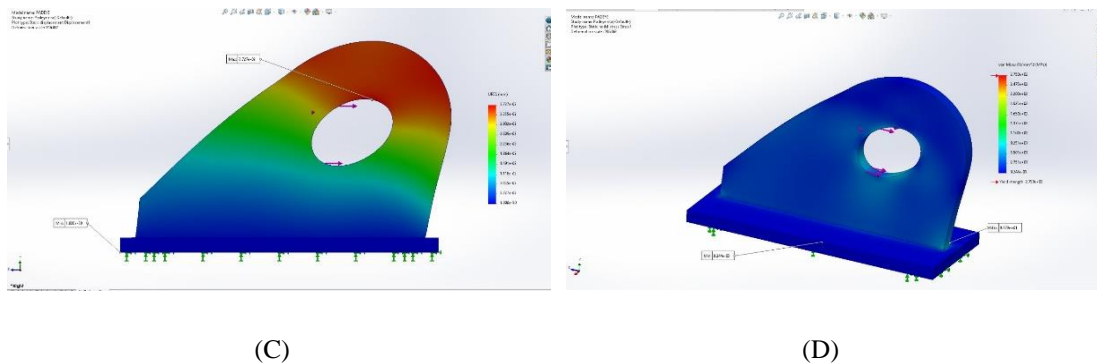


Gambar 5. Tegangan pada *Padeye* Model 1

2. Simulasi *equivalent stress* dan deformation model 2 (hasil *padeye* sebelum *redesign*)

Berdasarkan bagian simulasi ditunjukkan hasil simulasi tegangan ekuivalen dan deformasi total pada *padeye* model 2, yaitu desain awal sebelum dilakukan *redesign*. Hasil simulasi ini memberikan gambaran bahwa *padeye* dalam kondisi awal memiliki performa struktural yang sangat kurang aman untuk diaplikasikan dalam proses *lifting*. Pada Gambar (C), diperlihatkan distribusi tegangan *equivalent stress* dengan nilai maksimum mencapai 91.79 MPa. Tegangan tertinggi tampak terkonsentrasi di area sekitar lubang *padeye*, yang ditandai dengan warna merah tua. Hal ini menunjukkan bahwa area tersebut mengalami konsentrasi tegangan yang sangat tinggi akibat penyaluran gaya dari pengangkatan, yang berpotensi menyebabkan kerusakan material seperti retak atau bahkan kegagalan patah jika nilai tegangan ini melebihi batas *yield strength* material. Sementara bagian bawah *padeye* hanya mengalami tegangan yang jauh lebih rendah, yang ditunjukkan oleh warna biru.

Pada Gambar (D) diperlihatkan visualisasi total deformasi akibat pembebanan. Hasil analisis menunjukkan nilai deformasi maksimum sebesar 596.062 mm, yang merupakan indikasi adanya deformasi plastis atau bahkan kegagalan struktural. Deformasi *ekstrem* ini memperlihatkan bahwa *padeye* mengalami perubahan bentuk yang sangat signifikan, terutama di bagian atas dan sekitar lubang tempat gaya diterapkan. Warna gradasi dari biru ke hijau toska menunjukkan penyebaran deformasi yang tidak merata dan tidak terkendali, menandakan bahwa desain *padeye* ini tidak mampu menyalurkan beban secara efisien dan menyebabkan perilaku struktur yang tidak aman. Secara keseluruhan, simulasi model 2 menunjukkan bahwa desain awal *padeye* tidak layak digunakan karena menghasilkan tegangan yang tinggi dan deformasi yang sangat besar. Hal ini membuktikan pentingnya proses *redesign* yang dilakukan pada model 1, yang terbukti dapat menurunkan tegangan secara signifikan dan menjaga deformasi dalam batas yang aman. Dengan demikian, gambar ini menjadi dasar kuat untuk menyatakan bahwa *padeye* hasil *redesign* (model 1) lebih efektif dan aman digunakan dalam operasi *lifting* dibandingkan dengan desain awal (model 2).



Gambar 6. Tegangan pada *Padeye* Model 2

3.3 Validasi Analisa Data *Safety Factor* (*SF*)

Faktor keamanan *safety factor* (*SF*) diperoleh dengan beban tegangan izin dibagi dengan beban tegangan maksimum. tegangan yang diizinkan tidak boleh melebihi beban yang sama dengan gaya putus minimum dari tali penarik. faktor keamanan harus lebih besar dari ( $< 1.5$ ). Maka analisis data *factor of safety* dapat disimpulkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Analisis *Padeye*

Model (mm)	Beban (N/mm <sup>2</sup> )	Stress (MPa)	$\sigma_{y\max}$ (MPa)	Deformation <sub>min</sub> (3 mm)	SF <sub>min</sub> (1.5)	Keterangan
Model 1 ( <i>padeye redesign</i> )	29419.95	39.5	183.3	1.372 mm	6.96	Sangat Aman
Model 2 ( <i>padeye non redesign</i> )	29419.95	91.97	183.3	596.062 mm	2.99	Masih Aman

Pada tabel di atas, diperlihatkan perbandingan nilai *Safety Factor* (*SF*) dari dua skenario model berbeda berdasarkan tegangan kerja yang diterima oleh material baja S275JR. Meskipun analisis *Safety Factor* (*SF*) memberikan gambaran penting mengenai kekuatan struktur terhadap kegagalan akibat tegangan, aspek deformasi juga merupakan parameter krusial yang harus diperhatikan dalam evaluasi kelayakan desain. Berdasarkan dua skenario yang dianalisis, skenario pertama dengan tegangan kerja sebesar 39.5 MPa

menghasilkan SF sebesar 6.96, dan deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar 1.3 mm. Nilai ini tidak hanya berada jauh di bawah batas *yield* material (275 MPa), tetapi juga menghasilkan deformasi yang masih jauh lebih kecil dari batas maksimum yang diizinkan, yaitu 3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa selain aman dari segi kekuatan, struktur pada skenario pertama juga tidak mengalami deformasi berlebih yang bisa mengganggu fungsionalitas atau presisi pemasangan di lapangan.

Sebaliknya, pada skenario kedua dengan tegangan kerja sebesar 91.79 MPa dan *Safety Factor* sebesar 3.00 meskipun secara kekuatan masih tergolong aman karena melebihi batas SF minimum (1.5) struktur justru mengalami deformasi yang sangat besar, yaitu sebesar 596.062 mm. Nilai deformasi ini jauh melampaui batas yang diperbolehkan, dan menandakan bahwa struktur mengalami lentur atau perubahan bentuk signifikan, yang tidak dapat diterima dalam kondisi operasi sebenarnya. Deformasi sebesar ini tidak hanya akan menyebabkan gangguan pada instalasi dan keselarasan komponen, tetapi juga berpotensi mempercepat kelelahan material, kegagalan lokal, atau bahkan menjatuhkan beban jika digunakan dalam sistem *lifting*. Oleh karena itu, meskipun nilai tegangan masih di bawah *yield strength*, desain dalam skenario kedua dinyatakan gagal secara kriteria deformasi. Dengan demikian, analisis yang hanya mengacu pada *Safety Factor* saja tidak cukup untuk menilai kelayakan struktur. Evaluasi harus selalu disertai pemeriksaan deformasi, terutama jika struktur berfungsi dalam sistem presisi, sistem angkat, atau konstruksi yang harus mempertahankan bentuk geometrinya secara ketat. Dalam konteks ini, skenario pertama lebih direkomendasikan karena memenuhi dua syarat utama: aman secara tegangan dan memenuhi batas deformasi yang diperbolehkan.

## 4 Kesimpulan dan Rekomendasi

### 4.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan utamanya, yaitu merancang dan menganalisis padeye yang digunakan dalam operasi *lifting* pada konstruksi barge panel trans bulkhead. Desain padeye yang dihasilkan telah divalidasi melalui analisis yang mendalam, termasuk perhitungan tegangan dan deformasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain padeye yang diusulkan memenuhi kriteria keselamatan yang ditetapkan, dengan *Safety Factor* min (1.5) sesuai dengan standar DNV-GL-ST001. Hal ini menunjukkan bahwa padeye yang dirancang tidak hanya kuat tetapi juga aman untuk digunakan dalam proses *lifting*, yang merupakan aspek krusial dalam fabrikasi kapal.

Namun, penelitian ini juga menemukan bahwa meskipun nilai tegangan kerja pada skenario tertentu masih berada di bawah batas aman, deformasi yang terjadi cukup signifikan. Ini mengindikasikan bahwa desain padeye harus mempertimbangkan tidak hanya kekuatan material tetapi juga aspek deformasi untuk memastikan kinerja yang optimal selama operasi *lifting*. Kesalahan dalam pemasangan atau perancangan padeye dapat berakibat fatal, seperti kegagalan angkat atau kecelakaan kerja, sehingga penting untuk memperhatikan detail-detail ini dalam proses desain dan implementasi. Desain padeye hasil redesign (varian 1) merupakan perbaikan dari desain sebelumnya yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan struktural dan meminimalkan deformasi saat digunakan dalam proses *lifting* panel trans bulkhead. Modifikasi yang dilakukan antara lain pada penyesuaian ketebalan pelat dan penghalusan radius fillet untuk mengurangi konsentrasi tegangan di sekitar lubang angkat. Hasil simulasi menggunakan metode Finite Element Method (FEM) menunjukkan bahwa padeye varian 1 menghasilkan tegangan maksimum Von Mises sebesar 39.5 MPa, jauh di bawah batas *yield strength* material S275JR yang sebesar 275 MPa. Ini menandakan bahwa struktur tetap bekerja dalam kondisi elastis tanpa resiko kegagalan akibat tegangan berlebih.

Selain itu, deformasi total yang terjadi pada desain ini hanya sebesar 1.372 mm, yang masih berada di bawah batas toleransi maksimum sebesar 3 mm. Deformasi terkonsentrasi di sekitar lubang angkat, namun penyebarannya cukup merata dan tidak menimbulkan lenturan berlebih yang dapat mengganggu fungsi atau presisi komponen. Hasil ini juga menunjukkan bahwa padeye mampu menyalurkan gaya *lifting* dengan efisien ke seluruh struktur tanpa mengalami distorsi bentuk yang berbahaya. Dari sisi keamanan, desain ini memiliki *Safety Factor* sebesar 6.96, yang berarti memiliki margin keamanan yang sangat tinggi terhadap kegagalan struktural. Nilai ini tidak hanya memenuhi standar minimum dari DNVGL-ST-N001 yang menetapkan  $SF \geq 1.5$ , tetapi juga menunjukkan bahwa padeye dapat digunakan secara berulang dalam beberapa kali operasi pengangkatan dengan resiko kegagalan yang sangat kecil. Dengan hasil tegangan rendah, deformasi terkendali, dan faktor keamanan tinggi, padeye hasil redesign dinyatakan sangat layak dan aman digunakan dalam operasi *lifting* pada lingkungan industri maritim, khususnya dalam fabrikasi barge panel. Desain ini juga memungkinkan peningkatan produktivitas karena mampu mengurangi resiko deformasi, potensi kerusakan material, dan memperpanjang umur pakai *padeye* dalam pemakaian berulang.

## 4.2 Rekomendasi

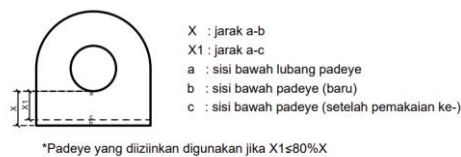
Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini mencakup beberapa aspek penting. Beberapa rekomendasi yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Saat melakukan pemasangan *padeye* di lapangan, perlu diperhatikan bahwa semua komponen harus terpasang dengan benar dan sesuai dengan spesifikasi dan *flow* proses pemasangan yang telah ditetapkan. Ini akan membantu mencegah kegagalan selama operasi *lifting*.



Gambar 7. Flow Proses Pemasangan *Padeye*

2. Penggunaan *padeye* berulang dapat dilakukan apabila deformasi yang dialami tidak lebih dari batas  $\max x1 \leq 80\%$  maka *padeye* dapat digunakan berulang 3 kali pakai.



Gambar 8. Standard Penggunaan *Padeye* Berulang

3. *Padeye* harus di *welding* dengan *full weld penetration (fillet weld)* dengan ketebalan pengelasan 6 mm, dan hasil *welding* harus dilakukan pengecekan cacat las secara *visual*, serta melakukan *penetrant test* oleh *quality control (QC)* di lapangan.

Selain itu, penelitian ini menyarankan agar pengembangan lebih lanjut dari desain *padeye* dilakukan, termasuk eksplorasi material baru dan teknik desain yang dapat meningkatkan kinerja dan keamanan *padeye* di masa depan. Hasil akhir penelitian ini menekankan pentingnya validasi desain secara menyeluruh sebelum implementasi di lapangan. Validasi ini harus mencakup analisis kekuatan dan deformasi untuk memastikan bahwa desain *padeye* dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi operasi yang sebenarnya. Dengan mengikuti rekomendasi ini, diharapkan proses *lifting* dalam konstruksi *barge* dapat dilakukan dengan lebih aman dan efisien, mengurangi risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas.

## 5 Daftar Pustaka

- [1] W. Ageyi, "Project Planning and Scheduling Using PERT and CPM Techniques with Linear Programming: Case Study," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 4, no. 8, pp. 222–227, 2015.
- [2] A. D. Adhi and U. Wiwi, Perencanaan Jaringan Kerja pada *Erection Block* Kapal untuk Meningkatkan Efisiensi Waktu Pembuatan (Studi Kasus di PT Dok dan Perkapalan Surabaya), Skripsi S1, Universitas Negeri Surabaya, 2013.
- [3] A. R. Yansah, Analisis Konfigurasi Rigging dan *Padeye* pada Saat Proses *Installation Deck* Struktur UL. A Platform dengan Cara *Lifting*, Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, 2016.
- [4] B. A. D. Sukma, Analisa Kekuatan Struktur *Padeye* saat *Lifting Loadout* Struktur *Topside Wellhead Platform*, Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, 2019.
- [5] *Det Norske Veritas*, DNV-OS-H205: *Lifting Operations (VMO Standard - Part 2-5)*, Norway: DNV, 2014.
- [6] I. G. R. Mukti Sumarsono, Y. Mulyadi, and Y. S. Hadiwidodo, "Analisis Keandalan Struktur *Padeye* Berdasarkan Konfigurasi Rigging pada *Lifting Upper Deck Modul Modec* dengan Pendekatan Dinamik," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [7] A. A. D. E. Rotama and M. Ari, Analisis Kekuatan Optimum Struktur Desain *Padeye* Menggunakan *Wire Rope Single Reeling Layer*, Program Studi D4 Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, 2021.
- [8] D. Breslavsky, *European Steel and Alloy Grades/Numbers Searchable Database*, NTUU KPI 21 Faculty of Structures, Kode K61002, n.d.
- [9] *American Petroleum Institute*, API RP 2A-WSD: *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*, API, Washington DC, 2005.