

# **Analisa Perbandingan Kekuatan Profil Padeye Berdasarkan Desain Standar DNV dan BS-EN**

## **Studi Kasus: *Cargo Carrying Unit***

**F. Noviantoro\* dan I.Kusumaningtyas**

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.  
Jl. Grafika No.2, Kompleks UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia,  
Telp. (0274) 521673  
\*E-mail: [feri.noviantoro@mail.ugm.ac.id](mailto:feri.noviantoro@mail.ugm.ac.id)

### **Abstrak**

Pada industri minyak, gas bumi, fabrikasi, manufaktur dan konstruksi, *lifting* merupakan salah satu aktivitas penting yang sering dilakukan. Konfigurasi *lifting* memerlukan analisis komprehensif untuk memastikan struktur *lifting* tersebut aman untuk dipergunakan. Alat *lifting* yang paling sering digunakan adalah *Cargo Carrying Unit* (CCU), sebuah struktur yang di desain dan digunakan berulang kali dalam kegiatan pengangkutan barang. Faktor terpenting dari keamanan desain CCU adalah desain *lifting point*-nya, atau biasa disebut *padeye*. Dalam penentuan desain *padeye*, rujukan standar desain yang paling umum digunakan adalah DNV dan BS-EN. Analisis ini diharapkan dapat menghasilkan perbandingan regangan dan *displacement* yang terjadi untuk pemodelan desain *padeye* yang merujuk pada DNV dan BS-EN. Dan juga, untuk membandingkan nilai tegangan pada masing – masing desain terhadap batasan tegangan *yield* material yang digunakan. Selain itu, nilai persentase tegangan dan momen puntir maksimum pada saat mencapai 100% dari batasan SMYS-nya juga akan dilakukan tinjauan. Untuk menunjang keakuratan hasil analisis, tinjauan struktur *padeye* menggunakan analisis FEM (*finite element method*) pada segmen *padeye*-nya. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi pertimbangan bagi perusahaan untuk mengantisipasi perilaku *padeye* terhadap beban tarik dan puntir.

**Kata kunci** : *lifting, rigging, padeye, structure, Cargo Carrying Unit, FEM.*

### **Abstract**

In In the oil, natural gas, fabrication, manufacturing and construction industries, lifting is one of the most important activities that often carried out. A comprehensive lifting configuration is to ensure the lifting structure is safe to be used. The most model for lifting tool is the Cargo Carrying Unit (CCU), a structure that is used repeatedly in goods transportation activities. The most important factor of the safety of the CCU design is the lifting point design, or so-called padeye. In determining the padeye design, the most commonly used reference design standards are DNV and BS-EN. This analysis is expected to produce a comparison of strain and displacement that occurs for padeye design modeling that refers to DNV and BS-EN. Also, to compare the stress value in each design against the yield stress limit of the material used. In addition, the percentage value of the maximum stress and torque when it reaches 100% of the SMYS limit will also be reviewed. To support the accuracy of the analysis results, the padeye

structure review uses the FEM (finite element method) analysis on its padeye segment. This research is expected to be a reference consideration for companies to anticipate padeye behavior towards tensile and torsional loads.

**Keywords** : lifting, rigging, padeye, structure, Cargo Carrying Unit, FEM.

## 1. PENDAHULUAN

Industri di bidang minyak dan gas bumi, fabrikasi, manufaktur dan konstruksi, *lifting* merupakan salah satu tahapan terpenting, sehingga diperlukan perhitungan dan analisis yang memadai untuk memperhatikan apakah struktur *lifting* tersebut aman atau tidak. Skenario dalam proses *lifting* berdasarkan konfigurasi perencanaan *rigging* dibuat untuk menentukan peralatan *rigging* yang tepat (Gayuh, 2016). Dalam perencanaan *lifting* dan *rigging* tersebut, dipertimbangkan beberapa faktor antara lain analisa statis dan dinamis (Gusti, 2013).

Banyak hal perlu diantisipasi yang dapat menyebabkan kegagalan struktur dan peralatan *rigging* saat kegiatan *lifting* dilakukan. Beban struktur yang diperhitungkan mempertimbangkan beberapa faktor yang akan terdistribusi melalui titik angkat dan menjadi beban langsung pada *padeye*-nya.

*Cargo Carrying Unit* (CCU) adalah sebuah unit struktur yang didesain untuk digunakan secara berulang kali di dalam kegiatan pengangkutan barang dan peralatan dari dan ke anjungan lepas pantai, fasilitas darat ataupun kapal. Terdapat beberapa jenis CCU yang biasa digunakan dalam industri migas, yaitu jenis kontainer, kontainer tangki, *skid* dan keranjang (basket).

Metode *lifting* harus memperhatikan banyak faktor seperti kapasitas *crane*, *lifting point*, *hook point*, *shackle*, *padeye* dan *sling*. Berdasarkan informasi yang didapat, analisis dinamis pada proses *lifting* mencakup dari beban yang terjadi dan dasar penentuan beban dari kegiatan *lifting* adalah berat struktur itu sendiri, *center of gravity*, berat *rigging*, dan beban yang akan diangkut (Pramita, 2013).

Batas kekuatan desain tersebut diatur dalam kode dan standar yang berlaku. Dalam kode dan standar ditetapkan persyaratan-persyaratan yang dianggap perlu agar desain *padeye* ini tidak akan mengalami berbagai modus kegagalan. Dengan demikian, setiap tahap *lifting*, misalnya pemilihan metode *lifting*, penentuan dimensi dan material, perhitungan beban dan tegangan yang diizinkan, dan lain-lain harus selalu mengacu pada aturan-aturan yang ditetapkan oleh kode dan standar tersebut. Standar yang digunakan dalam analisis *lifting* ini adalah DNV 2.7-1 *Offshore Containers* 2013 dan BS EN 12079-1:2006 - *Offshore containers and associated lifting sets*.

Penelitian ini bertujuan untuk melihat lebih detail analisa perhitungan dimensi optimal *padeye* dengan merujuk kepada standar DNV dan BS-EN yang ditinjau menggunakan FEM pada segmen *padeye*-nya.

Analisa ini menggunakan program *Abaqus* untuk mendapatkan solusi yang efisien tentang perilaku *padeye* jika mengalami beban tarik dan puntir yang melebihi kapasitas desain. Penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi bagi perusahaan untuk mengantisipasi perilaku *padeye* jika terjadi kesalahan pengoperasian di lapangan. Selain itu, diharapkan analisis ini bisa menjadi sumber literatur rujukan para peneliti selanjutnya untuk dikembangkan lagi desain yang dapat memperbesar persentase ketahanan struktur *padeye* terhadap beban tarik dan beban puntir.

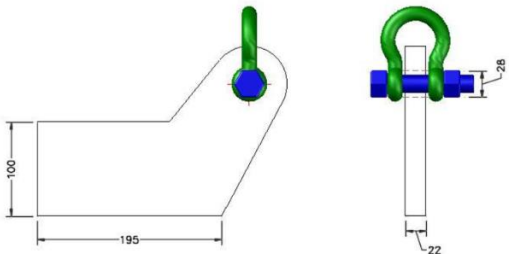
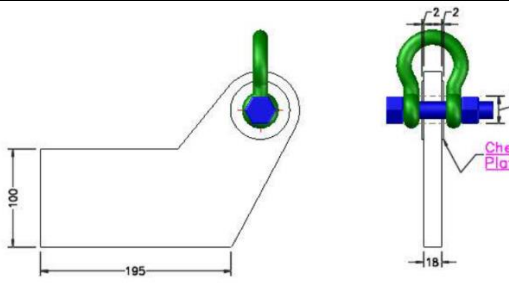
## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk konsep desain awal CCU. Pertama dengan memodelkan struktur CCU, pemilihan material, penentuan jenis dan besar beban yang terjadi. Ketiga data *input* tersebut diolah terlebih dahulu menggunakan program analisis struktur. *Output* yang didapatkan adalah nilai WLL<sub>min</sub>, tegangan tarik dan tegangan puntir yang akan digunakan untuk menentukan kapasitas *shackle*-nya dan selanjutnya untuk menentukan dimensi *padeye*-nya. Dimensi *padeye* yang sudah didapat dari tabel *shackle* (Crosby, 2003) akan dimodelkan berdasarkan standar DNV 2.7-1 dan BS-EN 12079-1:2006.

### 2.1. Desain *Padeye*

Berdasarkan rujukan standar (BS-EN 12079-1, 2006) dan (DNV 2.7-1, 2013) berikut adalah tabel komparasi pemodelan *padeye*-nya.

Tabel 1. Perbandingan Standar BS-EN dan DNV dalam penentuan *padeye*

BS EN 12079 (2006)	
Cheek Plate: Not Required	
	
DNV 2.7-1 (2013)	
Cheek Plate: When the pad eye thickness is below the 75% limit, it can be increased by welding on cheek plates.	
	

Kedua *padeye* diatas, ditempatkan kedalam *slot* dari CCU. Dengan ilustrasi di bawah ini:



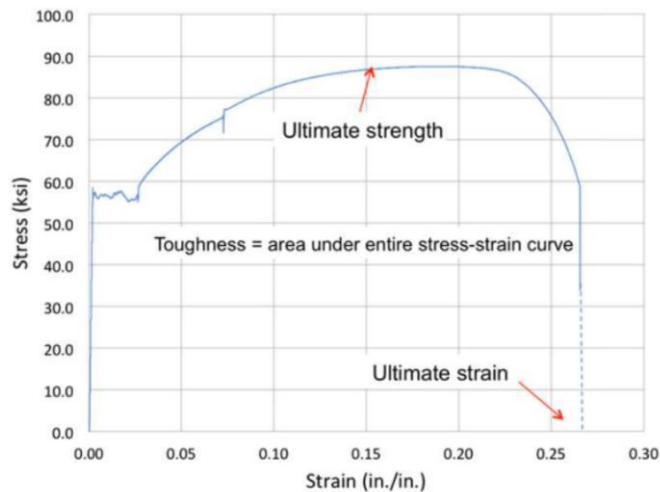
Gambar 1. CCU dengan *lifting* dan *padeye* (Ferguson, 2019)

Material *padeye* yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Material Baja ASTM A-36. Material ini selain mudah didapat juga memiliki tingkat kekuatan dan keuletan yang baik.

Tabel 2. Komposisi kimia dan sifat mekanis material ASTM A-36

Komposisi Kimia		Sifat Mekanis	
Karbon, C	0,25 – 0,29 %	Masa jenis	7.800 kg/m <sup>3</sup>
Tembaga, Cu	0,20 %	Modulus tarik	200 GPa
Besi, Fe	98 %	Modulus elastisitas	140 GPa
Mangan, Mn	1,03 %	Rasio Poisson	0,26
Fosfor, P	0,04 %	Regangan tarik	75 GPa
Silikon, Si	0,28 %	Tegangan tarik	250 MPa
Sulfur, S	0,05 %	Tegangan tarik maksimum	400 MPa

Sebagai ilustrasi, *padeye* yang diletakan pada mesin tes dengan beban *tension-compression* sampai terjadi perubahan bentuk geometri *padeye*. Maka, regangan maksimum yang terjadi pada *padeye* tersebut telah mencapai regangan tertinggi (*ultimate strain*) seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kurva Tegangan – Regangan

Dalam penentuan tegangan dan regangan yang terjadi, digunakan 2 metode yaitu dengan pendekatan *engineering stress* dan *true stress*. Pendekatan ini dapat digunakan untuk menjelaskan perilaku *physical systems* pada persamaan diferensial parsial, yang merupakan persamaan non-linear rumit yang menggambarkan sifat sistem tersebut. Salah satu alat yang paling umum digunakan untuk mencari solusi persamaan tersebut adalah *Finite Element Method* (FEM)

## 2.2. Metode-metode pembebanan pada CCU

Beban yang terjadi dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu beban pengangkatan (*lifting loads*) dan beban bentur (*impacts loads*).

1. Beban pengangkatan (*Lifting Loads*) berdasarkan DNV 2.7-1 & BS EN 12079-1

Beban rencana pada struktur utama CCU dirumuskan:

$$F_L = 2,5 \times R \times g \quad (1)$$

Nilai beban rencana ini dipengaruhi oleh beban *gross* (R) yang dipengaruhi juga beban gravitasi (g). Nilai g yang dipakai adalah  $\sim 9,81 \text{ m/s}^2$

2. Gaya Resultan pada sling dapat dirumuskan:

$$F = \frac{3.Rg}{(n-1).\cos v} \quad (2)$$

Gaya resultan pada *padeye* beban *gross* (Kg) yang diangkat dan dipertimbangkan juga dengan jumlah *padeye* (n) pada CCU tersebut. Faktor lain yang sangat mempengaruhi dari gaya resultan ini adalah sudut vertikal sling (v).

3. Beban Benturan (*Impact Loads*)

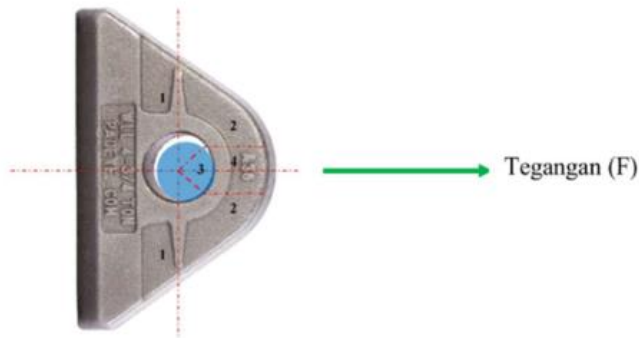
Beban benturan diasumsikan sebagai beban dinamik yang berdurasi singkat, dibagi menjadi dua yaitu benturan horizontal dan vertikal. Pada penelitian ini hanya dipertimbangkan benturan horizontal yang kemudian diasumsikan sebagai beban puntir. Nilai beban benturan didapatkan dari persamaan:

$$F_{HI} = 0,25 \times R \times g \quad (3)$$

### 2.3. Desain beban kapasitas pada *padeye*

1. Pendekatan Teori

Mode kegagalan pada *padeye* yang menerima beban tarik ataupun puntir dapat terjadi secara terus menerus. Kegagalan itu terjadi di area yang berbeda pada struktur *padeye* yang digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mode kegagalan pada *padeye* (Har-Bach, 2018)

Sebagaimana digambarkan pada skema di atas, mode kegagalan pada *padeye* terbagi menjadi empat (4) tipe kegagalan, (1) Kegagalan Tegangan/*Tension Failure* (2) Kegagalan Robek/*Tear-Out Failure* (3) Kegagalan Poros/*Bearing Failure* (4) Kegagalan Tegangan Melingkar/*Hoop Tension Failure*.

Pada penelitian ini, hanya akan diteliti kegagalan untuk kegagalan Robek (*Tear-Out Failure*) dan kegagalan poros (*Bearing Failure*). Dikarenakan kedua kegagalan tersebut sangat dasar dan umum digunakan sebagai desain kriteria untuk memperkirakan kapasitas beban pada *padeye* dan *shackle*.

2. Kegagalan Robek (*Tear-out failure*)

Desain kapasitas pada *padeye* untuk kegagalan robek dapat dirumuskan:

$$P_t = 2 \cdot \tau_{Rd} \cdot A_{sh} \quad (4)$$

Dimana, tegangan geser didapatkan dari persamaan:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{m,1}} \sqrt{3} \quad (5)$$

Tegangan geser ini dipengaruhi oleh *tensile yield strength* ( $F_y$ ) dan *safety factor* yang didapatkan dari tabel dibawah ini.

Tabel 3. *Partial Safety Factor*

Type of Calculation	Material factor 1)	Value
Resistance of Class 1,2 or 3 cross-sections	$\gamma_{M0}$	1,15
Resistance of Class 4 cross-sections	$\gamma_{M1}$	1,15
Resistance of member to buckling	$\gamma_{M1}$	1,15
Resistance of net section at bolt holes	$\gamma_{M2}$	1,3
Resistance of fillet and partial penetration welds	$\gamma_{MW}$	1,3
Resistance of bolted connections	$\gamma_{Mb}$	1,3

$$A_{sh} = \left( R - \frac{d_h}{2} \right) t_p \quad (6)$$

Area *tearing-out* (Ash) ini ditentukan oleh Radius terluar (R), diameter lubang dari *padeye* (dh) dan ketebalan *plate padeye* (tp).

3. Kegagalan Poros (*Bearing failure*)

$$P_b = f_{b,Rd} \cdot t_{eff} \cdot d \quad (7)$$

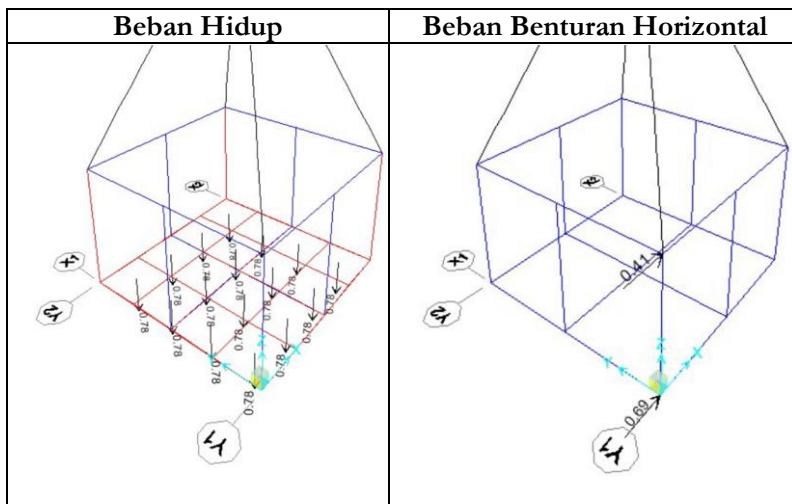
Dimana,

$$f_{b,Rd} = 1,5 \frac{f_y}{\gamma_{m,1}} \quad (8)$$

Koefisien *design shear strength* ditentukan oleh parsial *safety factor* ( $\gamma_{m,1}$ ), ketebalan efektif dari *padeye* ( $t_{eff}$ ) dan diameter *pin shackle* (d)

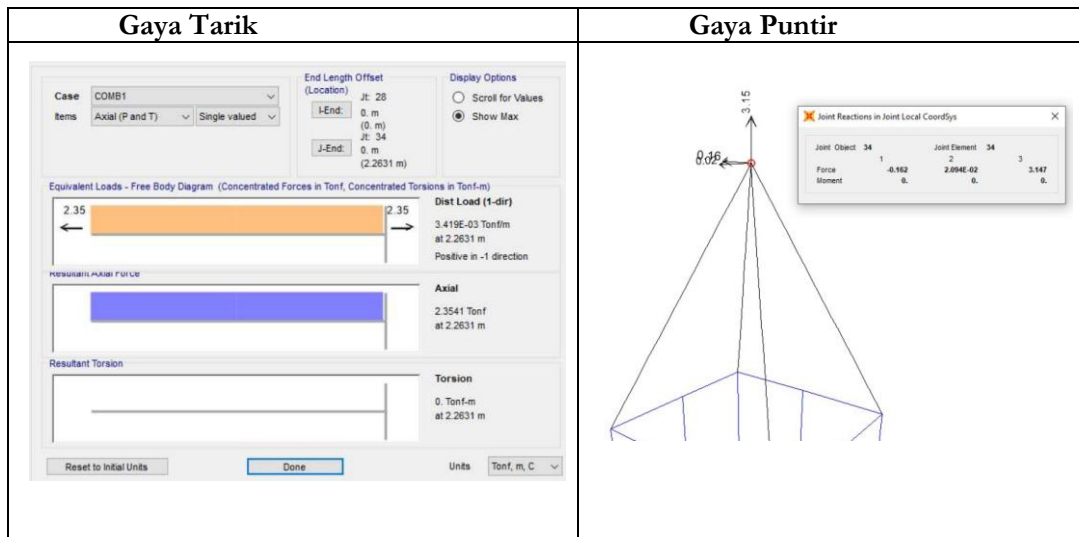
2.4. Penentuan beban *padeye*.

Dengan asumsi beban hidup yang bekerja pada CCU sebesar 2 Ton, kemudian dilakukan kalkulasi menggunakan program struktur untuk mendapatkan gaya yang terjadi pada *lifting point*-nya. Selain beban hidup, juga diaplikasikan beban benturan horizontal untuk tinjauan beban puntir pada *padeye*.

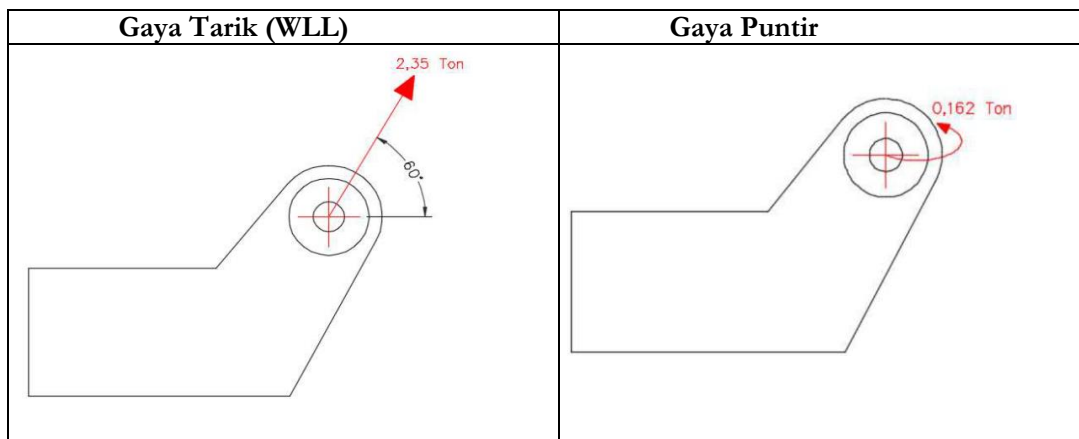


Gambar 4. Simulasi pembebanan pada CCU

Data *output* dari program kalkulasi tersebut dapat dilihat pada reaksi yang terjadi pada masing-masing *lifting point*-nya.



Gambar 5. Gaya yang terjadi pada CCU



Gambar 6. Gaya yang terjadi pada padeye



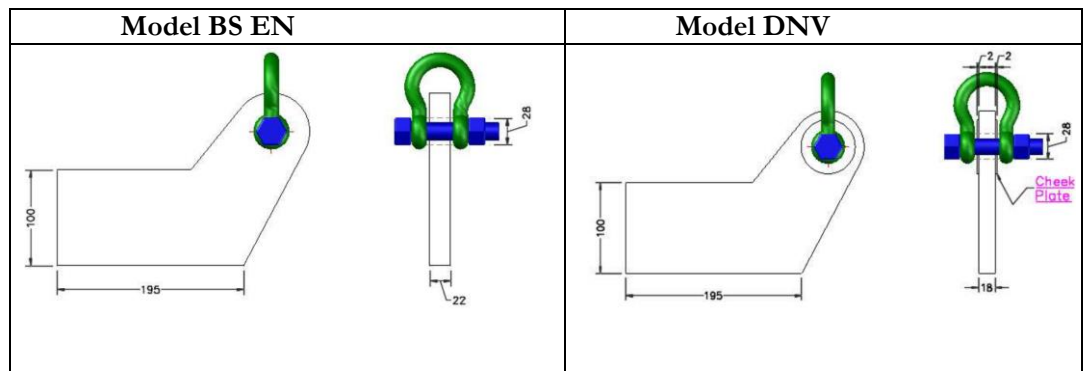
### 2.5. Penentuan Dimensi

Sebelum menentukan dimensi *padeye*, terlebih dahulu ditentukan kapasitas *shackle*-nya yang merujuk pada tabel berikut.

Tabel 4. Penentuan kapasitas *shackle* berdasarkan Kapasitas Angkat Aman (WLL)

Nominal Size (in.)	Working Load Limit (t)*	Stock No.		Weight Each (lbs.)	Dimensions (in.)										Tolerance +/-	
		G-2130	S-2130		A	B	C	D	E	F	H	L	N	C	A	
3/16	1/3‡	1019464	-	.06	.38	.25	.88	.19	.60	.56	1.47	.98	.19	.06	.06	
1/4	1/2	1019466	-	.11	.47	.31	1.13	.25	.78	.61	1.84	1.28	.25	.06	.06	
5/16	3/4	1019468	-	.22	.53	.38	1.22	.31	.84	.75	2.09	1.47	.31	.06	.06	
3/8	1	1019470	-	.33	.66	.44	1.44	.38	1.03	.91	2.49	1.78	.38	.13	.06	
7/16	1-1/2	1019471	-	.49	.75	.50	1.69	.44	1.16	1.06	2.91	2.03	.44	.13	.06	
1/2	2	1019472	1019481	.79	.81	.64	1.88	.50	1.31	1.19	3.28	2.31	.50	.13	.06	
5/8	3-1/4	1019490	1019506	1.68	1.06	.77	2.38	.63	1.69	1.50	4.19	2.94	.69	.13	.06	
3/4	4-3/4	1019515	1019524	2.72	1.25	.89	2.81	.75	2.00	1.81	4.97	3.50	.81	.25	.06	
7/8	6-1/2	1019533	1019542	3.95	1.44	1.02	3.31	.88	2.28	2.09	5.83	4.03	.97	.25	.06	
1	8-1/2	1019551	1019560	5.66	1.69	1.15	3.75	1.00	2.69	2.38	6.56	4.69	1.06	.25	.06	
1-1/8	9-1/2	1019579	1019588	8.27	1.81	1.25	4.25	1.13	2.91	2.69	7.47	5.16	1.25	.25	.06	
1-1/4	12	1019597	1019604	11.71	2.03	1.40	4.69	1.29	3.25	3.00	8.25	5.75	1.38	.25	.06	
1-3/8	13-1/2	1019613	1019622	15.83	2.25	1.53	5.25	1.42	3.63	3.31	9.16	6.38	1.50	.25	.13	
1-1/2	17	1019631	1019640	20.80	2.38	1.66	5.75	1.53	3.88	3.63	10.00	6.88	1.62	.25	.13	
1-3/4	25	1019659	1019668	33.91	2.88	2.04	7.00	1.84	5.00	4.19	12.34	8.80	2.25	.25	.13	
2	35	1019677	1019686	52.25	3.25	2.30	7.75	2.08	5.75	4.81	13.68	10.15	2.40	.25	.13	
2-1/2	55	1019695	1019702	98.25	4.13	2.80	10.50	2.71	7.25	5.69	17.90	12.75	3.13	.25	.25	
3	† 85	1019711	-	154.00	5.00	3.30	13.00	3.12	7.88	6.50	21.50	14.62	3.62	.25	.25	
3-1/2	† 120 ‡	1019739	-	265.00	5.25	3.76	14.63	3.62	9.00	8.00	24.88	17.02	4.38	.25	.25	
4	† 150 ‡	1019757	-	338.00	5.50	4.26	14.50	4.00	10.00	9.00	25.68	18.00	4.56	.25	.25	

Merujuk pada nilai WLL pada Gambar 6, maka nilai WLL yang digunakan untuk menentukan dimensi *padeye* adalah 3,25 Ton dan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 7. Pemodelan dimensi *padeye*

### 2.6. Analisa Tegangan dengan *Finite Element*

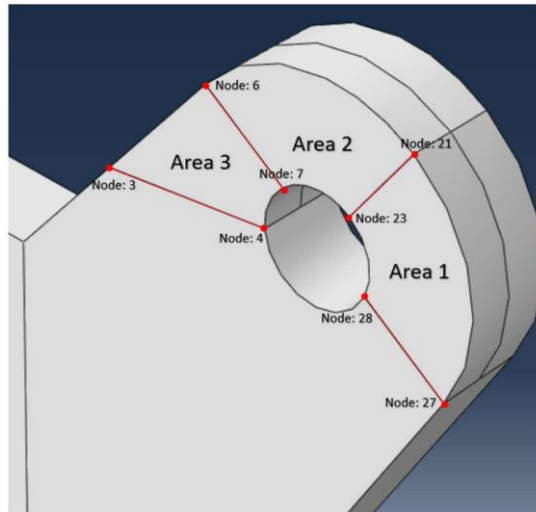
Program yang digunakan untuk analisis tegangan adalah *abaqus*, berikut adalah langkah – langkah analisisnya:

1. Penentuan Satuan
2. Konfigurasi pemodelan
3. Pemilihan material (*Material properties*)

4. Simulasi pembebanan (*Load combination*)
5. Penentuan titik tumpuan (*Boundary Condition*)
6. Penentuan *Mesh* pada model
7. Analisis hasil simulasi (*Post processing for stress analysis*)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan hasil analisis perbandingan yang detail dan akurat, *padeye* dianalisis kedalam beberapa area dan pola pembebanan diterapkan secara *incremental*.



Gambar 8. Pembagian area untuk analisis

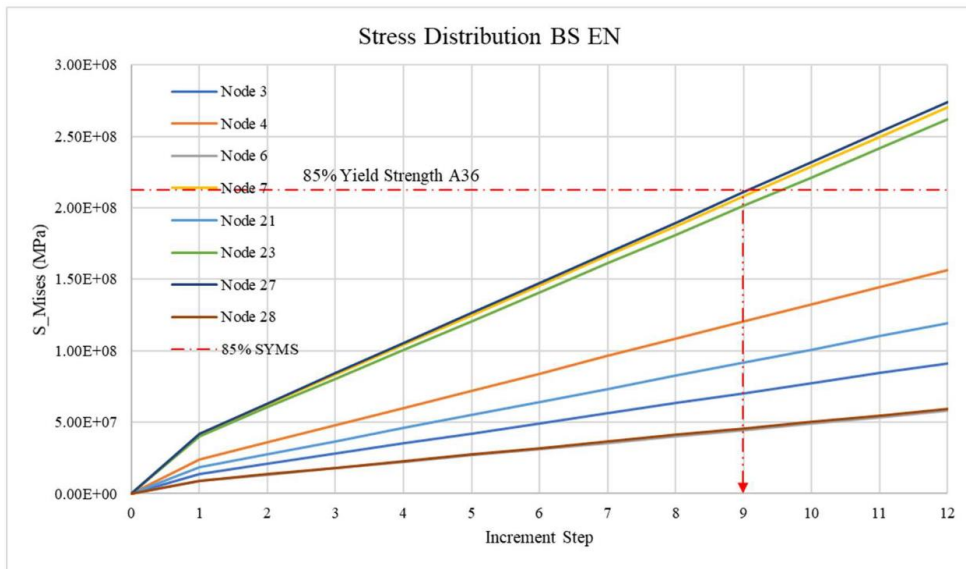
Tabel 5. Beban *incremental* tarik dan puntir

<i>Increment Step</i>	Tegangan Tarik ( <i>Pressure</i> )		Tegangan Puntir ( <i>Moment</i> )	
	Ton (T)	Pascal (Pa)	Ton (T)	Pascal (Pa)
1	2.350	3.74E+07	0.162	2.58E+06
2	3.525	5.61E+07	0.243	3.87E+06
3	4.700	7.48E+07	0.324	5.16E+06
4	5.875	9.35E+07	0.405	6.45E+06
5	7.050	1.12E+08	0.486	7.74E+06
6	8.225	1.31E+08	0.567	9.03E+06
7	9.400	1.50E+08	0.648	1.03E+07
8	10.575	1.68E+08	0.729	1.16E+07
9	11.750	1.87E+08	0.810	1.29E+07
10	12.925	2.06E+08	0.891	1.42E+07
11	14.100	2.24E+08	0.972	1.55E+07
12	15.275	2.43E+08	1.053	1.68E+07

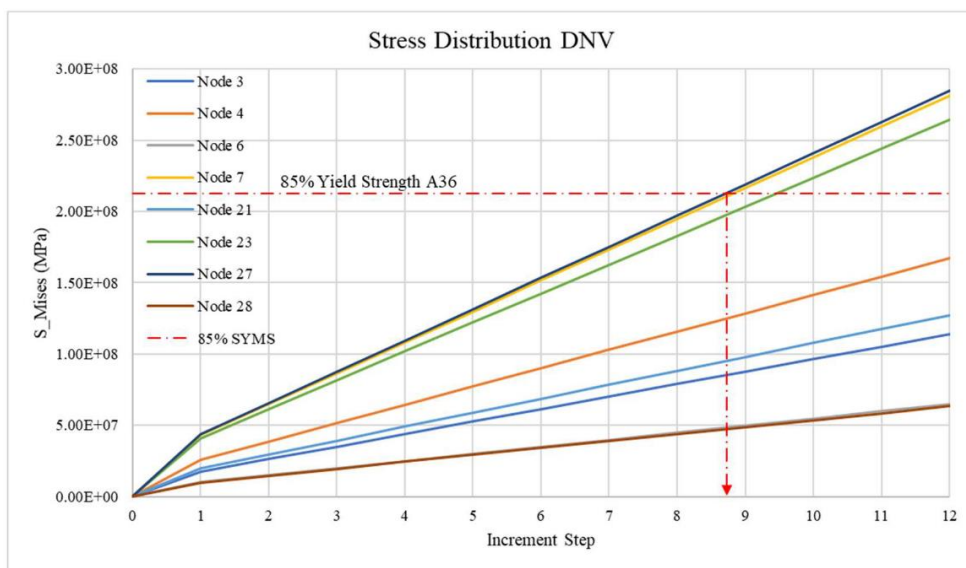
### 3.1. Hasil Analisis dan Pembahasan

Setelah dilakukan simulasi di *Abaqus*, diperoleh hasil perbedaan di antara masing-masing *node* yang ditinjau, yang menunjukkan beberapa karakteristik perbedaan penggunaan standar BS EN dan DNV. Tegangan yang dialami oleh *padeye* akan semakin meningkat seiring dengan peningkatan tekanan dan momen yang terjadi. Dalam penelitian ini, batasan tegangan *padeye* yang diizinkan adalah kurang dari 85% dari SMYS (212,5 MPa).

Rangkuman diagram S\_Mises vs Pressure + Moment yang terjadi pada *padeye* BS EN dan DNV.



Gambar 9. Tegangan Von\_Mises BS EN

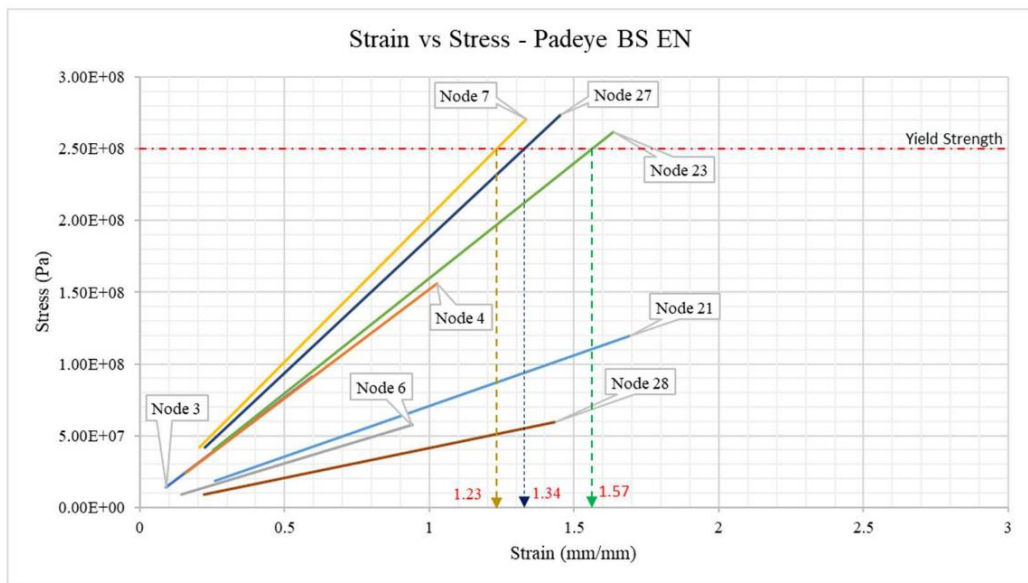


Gambar 10. Tegangan Von\_Mises DNV

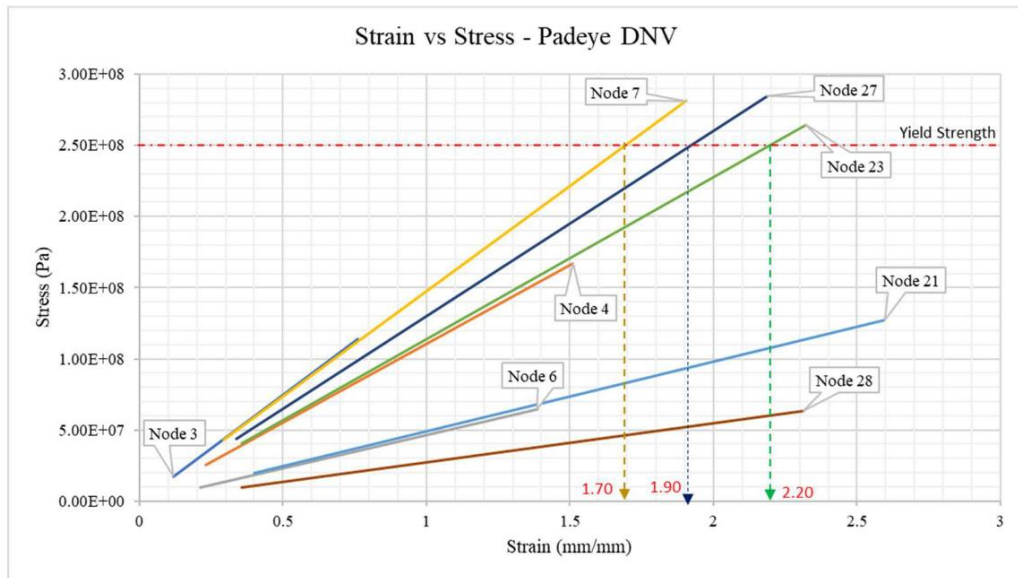
Jika ditinjau dari batasan 85% dari nilai *yield strength* material A36, dimensi *padeye* BS EN memiliki ketahanan lebih besar dari dimensi *padeye* DNV. Pada *increment* step ke-9 pemodelan *padeye* BS EN sudah menghasilkan tegangan maksimum yang berada pada nilai SMYS-nya, sedangkan pada pemodelan *padeye* DNV pada *increment* step yang kurang dari 9 sudah menyentuh tegangan maksimum SMYS-nya. Dalam bahasan selanjutnya, akan dijelaskan faktor dimensi dan pemodelan yang berperan pada besar kecilnya tegangan yang terjadi pada masing-masing *Node* baik untuk pemodelan secara BS EN dan pemodelan secara DNV.

### 3.2. Control Tegangan dan Regangan Material *Padeye*

Untuk mengetahui kapasitas *padeye* sampai pada kondisi patah dengan program *Finite Element Analysis* (FEA) dilakukan dengan metode *nonlinear*. Untuk itu diperlukan hubungan antara tegangan dan regangan dari material *padeye* mulai dari daerah elastis hingga daerah plastis. Karena kurva tegangan-regangan aktual dari tiap *Node* tidak diberikan pada literatur, maka digunakan pendekatan untuk menentukan regangan yang terjadi pada saat tegangan *Von Mises* menyentuh tegangan *yield* (*yield strength*).



Gambar 11. Kurva tegangan – regangan *padeye* BS EN



Gambar 12. Kurva tegangan – regangan *padeye* DNV

Nilai perbandingan regangan yang terjadi pada kurva Tegangan – Regangannya melebihi nilai tegangan ijin (250 MPa).

Tabel 6. Hasil Regangan dari Tegangan *Yield*

Node	Strain (mm/mm)		Persentase perbandingan nilai Regangan antara BS EN dan DNV
	BS EN	DNV	
7	1,23	1,70	$\frac{(1,70-1,23)}{1,23} \times 100\% = 38,21 \%$
23	1,57	2,20	$\frac{(2,20-1,57)}{1,57} \times 100\% = 40,13 \%$
27	1,34	1,90	$\frac{(1,90-1,34)}{1,34} \times 100\% = 41,79 \%$

Jika diambil dari ketiga *node* di atas, selisih regangan yang terjadi pada *padeye* DNV mempunyai nilai regangan rata-rata 40% lebih besar dibandingkan dengan nilai regangan yang terjadi pada *padeye* BS EN.

### 3.3. Pembahasan

Pemodelan yang telah dilakukan di *Abaqus* akan dibandingkan dengan hasil *teoretical* untuk ditinjau dari segi tegangan dan regangannya. Untuk mengidentifikasi kegagalan struktur dari *padeye* ini, nilai tegangan *Von Mises* yang terjadi akan dibandingkan dengan nilai tegangan maksimum luluh (*ultimate yield strength*) dari material A36. Kriteria dari kegagalan tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma_{von} \leq \sigma_{ult} = 58 \text{ ksi} = 400 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_p \leq \epsilon_{ult} = 0,25 \text{ in/in} = 6,6 \text{ mm/mm}$$

Ditinjau dari nilai regangan yang terjadi dengan tinjauan beban normal, maka nominal regangan pada masing – masing *node*.

Tabel 7. Regangan pada *increment* 1 (Beban Normal)

<i>Node</i>	Regangan ( $\text{mm}/\text{mm}$ )	
	BS EN	DNV
<i>Node</i> 3	0,091	0,117
<i>Node</i> 4	0,158	0,232
<i>Node</i> 6	0,145	0,213
<i>Node</i> 7	0,205	0,293
<i>Node</i> 21	0,260	0,399
<i>Node</i> 23	0,252	0,357
<i>Node</i> 27	0,224	0,336
<i>Node</i> 28	0,221	0,356

Regangan terbesar terjadi pada *node* 21 sebesar  $0,399 \text{ mm}/\text{mm}$ . Jika dibandingkan dengan nilai regangan maksimum (*ultimate strain*) untuk material A36 yaitu sebesar  $6,6 \text{ mm}/\text{mm}$ . Maka nilai regangan pada *node* 21 tersebut masih jauh dibawah nilai yang di izinkan untuk material A36.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis *padeye* pada struktur CCU dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Ditinjau dari tiga *Node* yang menyentuh tegangan *yield* 250 MPa, Nilai regangan yang terjadi pada *padeye* BS EN rata-rata 40% lebih kecil daripada regangan yang terjadi pada *padeye* DNV.
2. Dari tinjauan 8 *Node* yang ditentukan, pemodelan *padeye* BS EN mendapatkan nilai *displacement* yang terjadi dengan rata-rata 46 % lebih kecil daripada pemodelan *padeye* DNV. Didapatkan juga perbedaan signifikan *displacement* terjadi pada *Node* 28, dimana *displacement* yang terjadi pada *padeye* DNV 61% lebih besar dari nilai *displacement padeye* BS EN. Hal ini dikarenakan struktur utama *padeye* memiliki selisih ketebalan yang signifikan antara *padeye* BS EN dan DNV. Dan *Cheek Plate* yang diaplikasikan pada pemodelan *padeye* DNV tidak berpengaruh signifikan pada perkuatan struktur utamanya.
3. Tegangan *Von Mises* yang terjadi pada *Padeye* DNV telah mencapai nilai batasan tegangan *yield* material A36 (212,5 MPa) pada *increment* ke-9 pada tinjauan *Node* 27. Sedangkan untuk pemodelan *padeye* BS EN pada *increment* ke-9 tersebut belum mencapai nilai batasan *yield strength* material A36 (212,5 MPa).
4. Ditinjau dari nilai batasan tegangan *yield* dari material A36 (212,5 MPa), Untuk pemodelan *padeye* BS EN pada *increment* ke 11 telah melebihi batas tegangan *yield* tersebut dengan persentase 104,22% pada *node* 23.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- ABAQUS, 2008, Manual Book Version 6.8: Getting started with Abaqus, *Tutorial Edition*, Abaqus, Inc.
- ASTM, 2015, ASTM A36/A36M14: Standard Specification for Carbon Structural Steel, *Material properties*, American Society for Testing and Materials
- BS EN, 2006, BS EN 12079-1: Offshore containers and associated lifting sets — Part 1: Offshore containers, *Recommended Practice*, British Standard European Norm
- BS EN, 2006, BS EN 12079-2: Offshore containers and associated lifting sets — Part 2: Lifting sets, *Recommended Practice*, British Standard European Norm
- BY Y. Higashida, J. D. Burk, AND F. V. Lawrence, JR., 1978, Strain Controlled Fatigue Behavior of ASTM A36 and A514 Grade F Steels and 5083-0 Aluminum Weld Materials, *Welding research supplement*, pp 334-344
- Chevron, 2009, MCA, Lifting and Rigging Standard. Houston: Chevron Corporation.
- Crosby Catalogue, 2003, Crosby Bolt-Type Shackles
- Daniela Scorza, Andrea Carpinteri, Sabrina Vantadori, 2018, Tension failure assessment at lug hole edges, *International Journal of Fatigue*, Department of Engineering & Architecture, University of Parma.
- DNV, 2013, DNV Recommended Practice 2.7-1: Standard for Certification of Offshore Containers, *Recommended Practice*, Det Norske Veritas
- Gérald Portemont, Julien Berthe, Alain Deudon, François-Xavier Irisarri, 2018, Static and dynamic bearing failure of carbon/epoxy composite joints. DMAS, ONERA, University Paris Saclay. *Composite Structures*, Université Paris Saclay, France
- Hikmat Saa'id Saleh, 2016, Ultimate capacity of pad eyes in lifting operations, *A thesis submitted to the Faculty of Science and Technology*, University of Stavanger, Norway
- Iqbal Gayuh R.M.S, Yeyes M, dan Yoyok S.M., 2016, Analisis Keandalan Struktur Padeye Berdasarkan Konfigurasi Rigging pada Lifting Upper Deck Modul MODEC dengan Pendekatan Dinamik. Jurusan Teknik Kelautan, *Technical Journal*, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Indonesia.
- Roberto Leon, 2018, Journal of Visualized Experiments, Stress-Strain Characteristics of Steels. Department of Civil and Environmental Engineering, *Technical Journal*, Virginia Tech, Blacksburg, VA
- T.W. Ling, X.L. Zhao, R. Al-Mahaidi, J.A. Packer, 2006, Investigation of block shear tear-out failure in gusset-plate welded connections in structural steel hollow sections and very high strength tubes. *Technical Journal*, Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Monash University.