

## **Analisis Kelalahan Menggunakan Pendekatan Mekanika Kepecahan Berbasis Resiko pada Struktur BL Platform untuk Perpanjangan Umur Operasi dan Penentuan Interval Waktu Inspeksi**

**Ahmad Azhar fanany**  
**4312100064**

### **Dosen pembimbing :**

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, PH.D
2. Dr.Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT.



# Latar Belakang

Banyak *platform* di Indonesia sekarang ini umurnya sudah lebih design lifenya  $\pm 20$  tahun, dimana umur suatu *platform* pada umumnya antara 20 s/d 25 tahun. Tetapi Beberapa anjungan lepas pantai yang melebihi umur operasi masih dipertahankan untuk tetap melanjutkan operasinya dalam mengeksploitasi hidrokarbon yang masih tersedia.



# Latar Belakang

Dalam memastikan dan menjamin keamanan operasi secara keseluruhan saat perencanaan perpanjangan umur operasi, maka dibutuhkan studi penilaian ulang yang seksama dan teliti. Penilaian struktur (assesment) digunakan untuk melihat kelayakan dari struktur yang akan digunakan lagi setelah adanya modifikasi atau rencana dioperasikan kembali lebih dari masa pelayanannya (*life extention*).



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

# Latar Balakang

Studi penilaian ulang pada sebuah platform meliputi tiga hal, yaitu *puhsover analysis*, *fatigue analysis* dan *Risk-based Inspection planning (RBI)* (Chakrabarti, et al, 2005).



# Latar Belakang

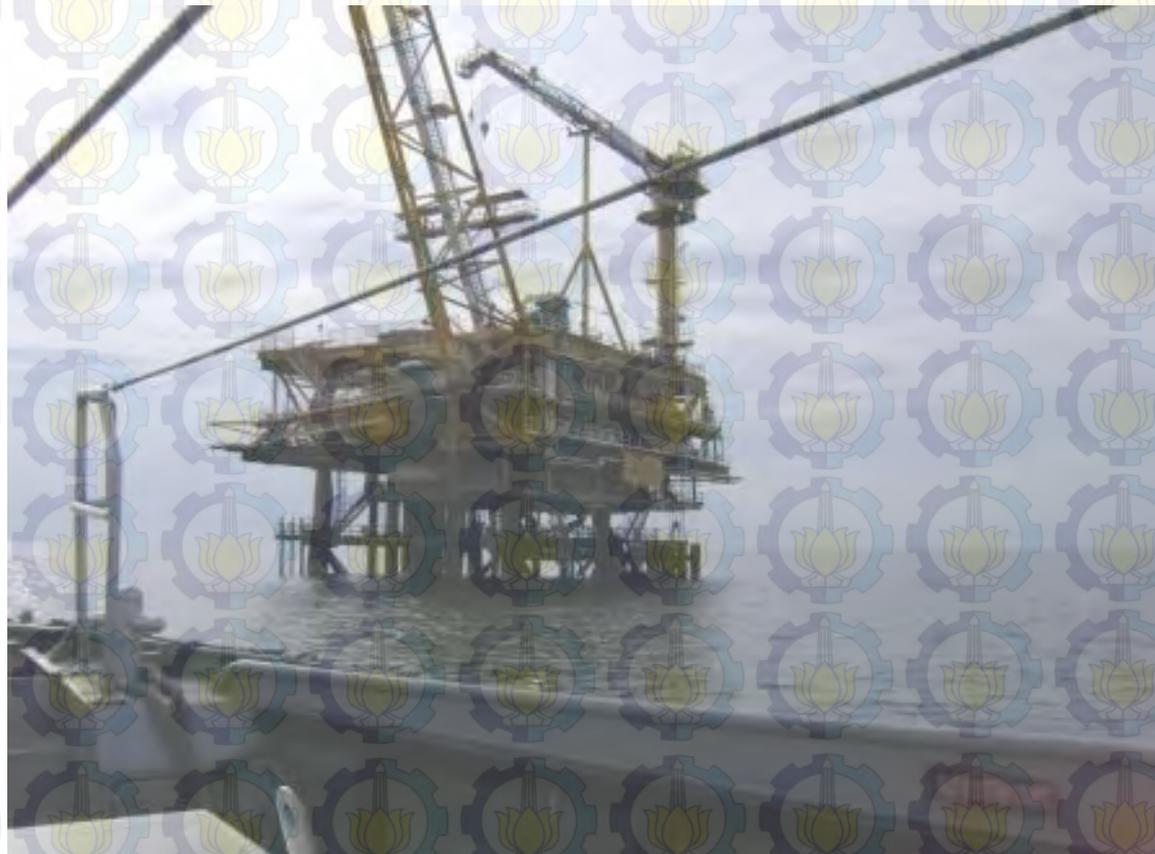
- Analisis kelelahan dengan pendekatan mekanika kepecahan untuk menghitung *fatigue life* dan *crack propagation* yang terjadi pada sambungan turbular platform
- Analisis resiko BL *platform* dalam perencanaan penambahan umur operasinya
- Menentukan interval waktu inspeksinya berdasarkan Structural Integrity Management Norsok Standard N-006



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

# Data struktur

## *'BL' Wellhead Platform*



## **'BL' Wellhead Platform**

Pemilik	: Total E&P Indonesia
Jenis Struktur	: <i>Jacket</i> Platform
Lokasi	: 0.9°88'08 08" Lintang Selatan, 117° 56'13 03" Bujur Timur.
Lapangan	: Bekapai Field
Jumlah Kaki	: 4 kaki
Tahun Dipasang	: 1984
Jumlah <i>Riser</i>	: 4 buah
Jumlah <i>Conductor</i>	: 8 buah
Rencana Umur Kerja	: 10 tahun
Jenis Material	: ASTM A36
Orientasi Platform	: 90° arah timur dari utara kompas

## 'BL' Wellhead Platform

- Muka Air Rata-rata

Muka air rata-rata untuk struktur jacket BL adalah 34,15 meter.

- Koefisien Hidrodinamis

Koefisien hidrodinamis

Merujuk pada API RP-2A.

No	Drag Coefficient		Inertia Coefficient	
	Smooth	Rough	Smooth	Rough
1	0.65	1.05	1.6	1.2

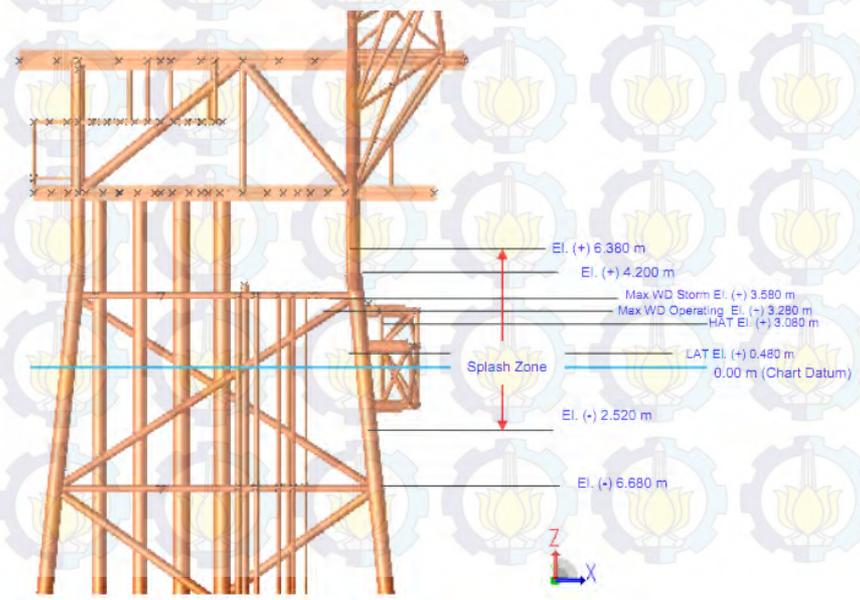
## 'BL' Wellhead Platform

- Kecepatan Angin

Return period	Wind Speed (m/s)
1 year operation	11.9
100 year operation	16.7

- Lokasi Splash Zone

EL (+) 6.38 m sampai (-) 2.52 m



## 'BL' Wellhead Platform

- Kecepatan Arus

No.	Current	Return Period	
		1 year operating condition	100 year operating condition
1	Surface Current (m/s)	0.9	1.35
2	Mid depth (m/s)	0.65	0.9
3	Seabed Current (m/s)	0.55	0.75

- Wave kinematic dan current blockage

No	Wave Kinematic Factor		Current Blockage Factor	
	Operating	Storm	Orthogonal	Diagonal
1	0.65	1.05	1.6	1.2

## 'BL' Wellhead Platform

- Data Distribusi Gelombang

Height (m)	Period (T)	Direction								Total
		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0.0-0.5	3.8		16493575	23129793	50472126	36049083	23129793			149274370
0.5-1.0	4.8		4434890	7095767	17383660	12422894	7095767			48432978
1.0-1.5	5.4		700537	1293809	3597613	2569328	1293609			9454896
1.5-2.0	5.8		97873	209015	660645	471685	209015			1648233
2.0-2.5	6.2		12853	31695	114026	81341	31685			271600
2.5-3.0	6.5		1629	4596	18875	13443	4596			43139
3.0-3.5	6.7		2002	641	3018	2143	641			8445
3.5-4.0	6.9		25	85	466	329	85			990
4.0-4.5	7.1		3	11	69	48	11			142
4.5-5.0	7.3		0	1	10	7	1			19
<b>total</b>			<b>21743387</b>	<b>31765413</b>	<b>72250508</b>	<b>51610301</b>	<b>31765203</b>			<b>209134812</b>



# Rumusan Masalah

1. Apakah *Fatigue life* dari BL *well platform* masih memenuhi kriteria perencanaan penambahan umur operasi selama 10 tahun mendatang ?
2. Bagaimana resiko BL *well platform* dalam perencanaan penambahan umur operasinya?
3. Berapakah Interval waktu Inspeksi yang efektif dalam penerapan *Risk Based Inspection planning*?



1. Mengetahui *fatigue life* dari BL *well platform* memenuhi kriteria untuk perencanaan penambahan umur operasi selama 10 tahun.
2. Mengetahui besar resiko BL *well platform* dalam perencanaan penambahan umur operasinya.
3. Mengetahui interval waktu inspeksi efektif dalam penerapan *Risk Based Inspection planning*.

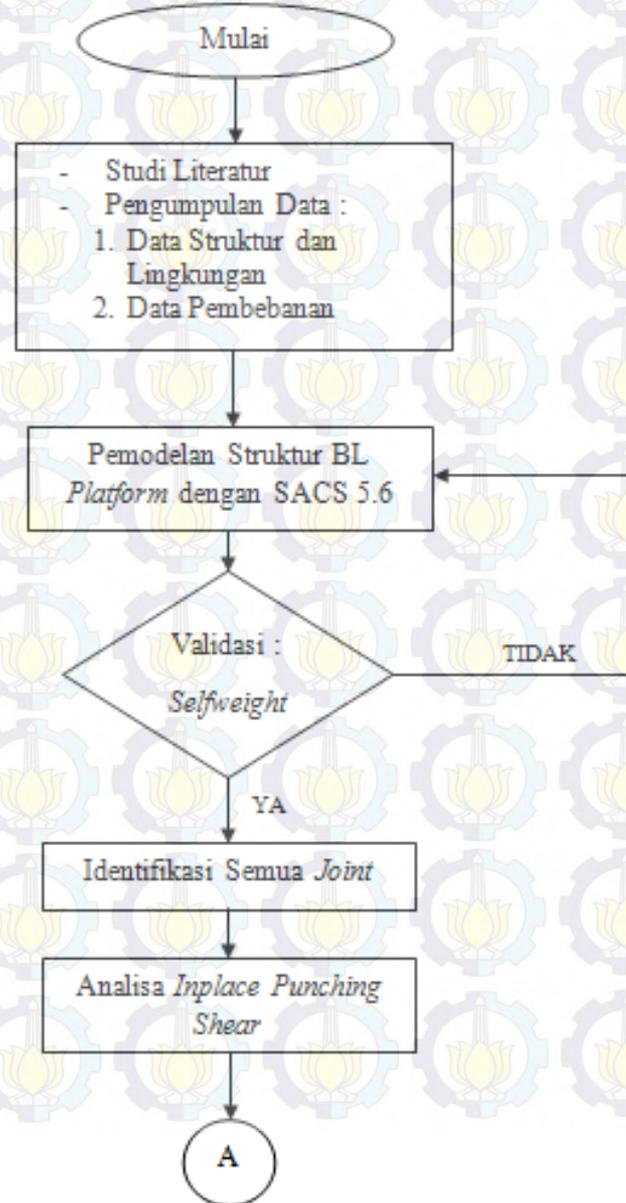


# Batasan Masalah

1. Analisis *fracture mechanics* menggunakan pendekatan *linear elastic fracture mechanics*.
2. Model retakan diasumsikan menggunakan pendekatan *surface crack* (arah ketebalan chord).
3. Kedalaman *Initial Crack* 0,5 mm didasarkan pada rule DNV RP C203.
4. Mode deformasi retak menggunakan mode 1 (*opening mode*).
5. Tidak meninjau biaya pada struktur dan mitigasi struktur.

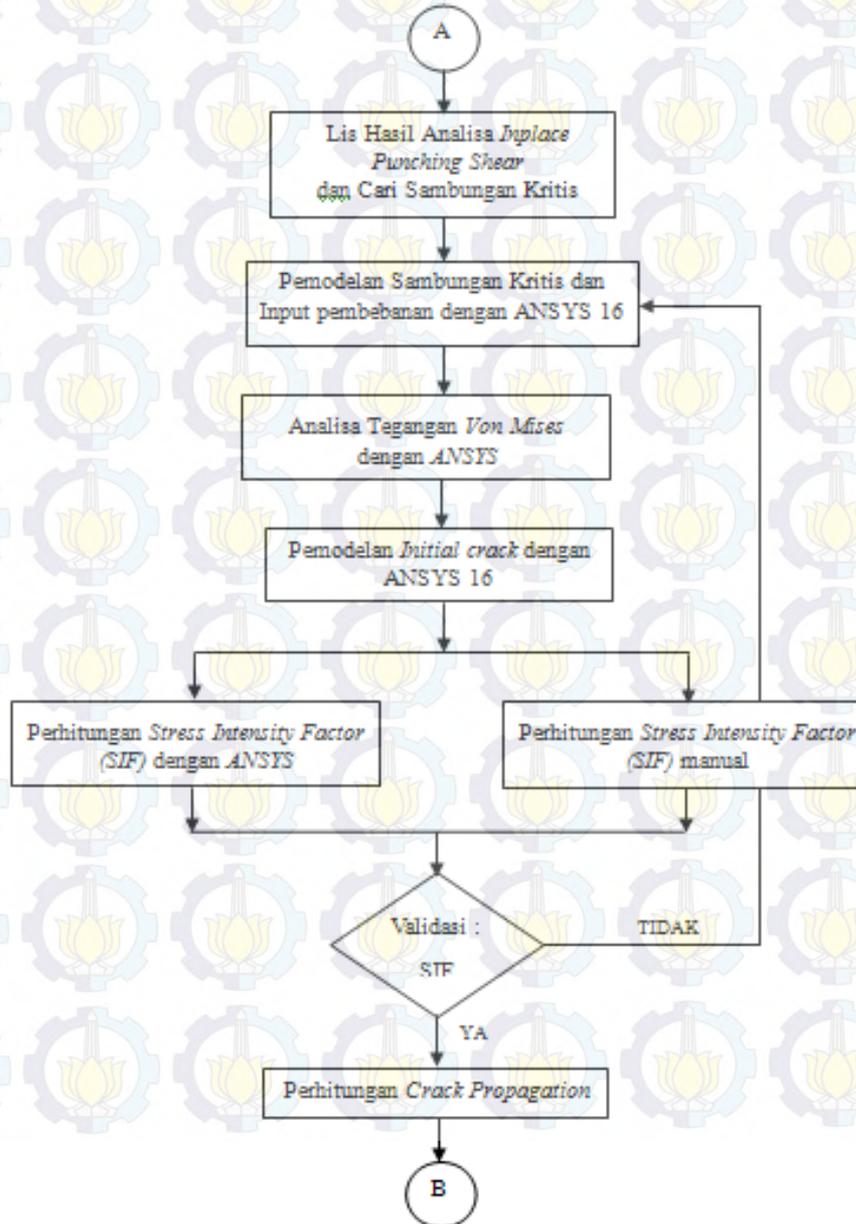


# Metodologi



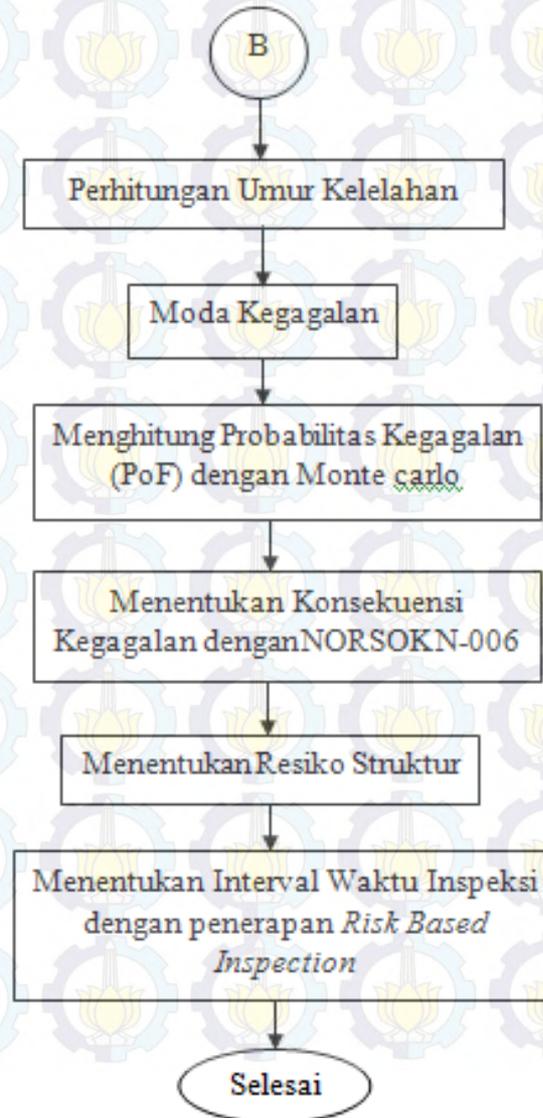


# Metodologi





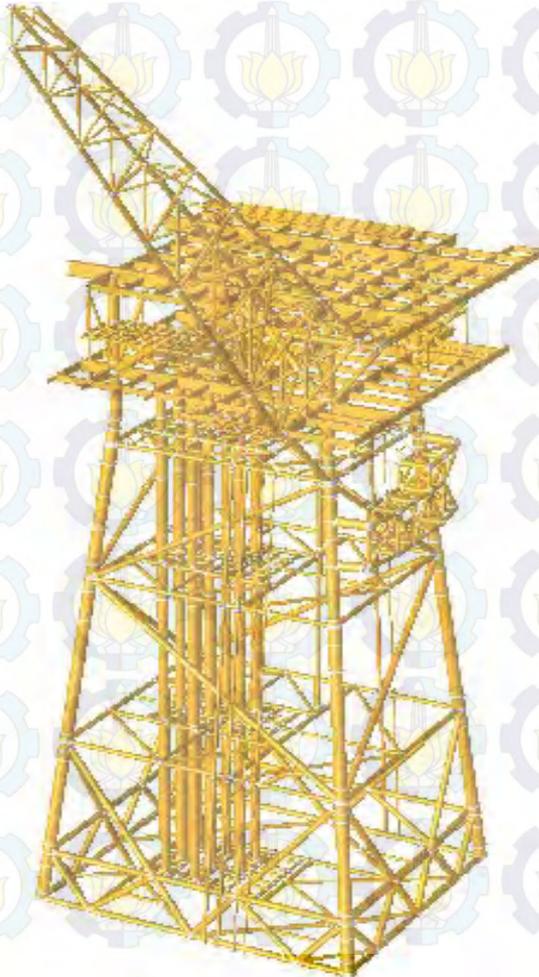
# Metodologi





# Analisa dan Pembahasan

## Pemodelan Struktur BL Platform



Selfweight (kN)		Selisih (%)
SW model	SW report	
1627.13	1637.61	0.64



# Analisa dan Pembahasan

## Analisa Inplace Punching Shear

### *Unity Check Punching shear*

<b>JOINT</b>	<b>DIAMETER (CM)</b>	<b>THICKNESS (CM)</b>	<b>UC</b>
401	88.9	2.54	1.169
420	40.64	1.27	1.120
421	40.64	1.27	1.107
219	40.64	1.27	1.060
319	40.005	1.00	1.048
405	88.9	2.54	0.987
407	88.9	2.54	0.964



# Analisa dan Pembahasan

## Analisa Inplace Punching Shear

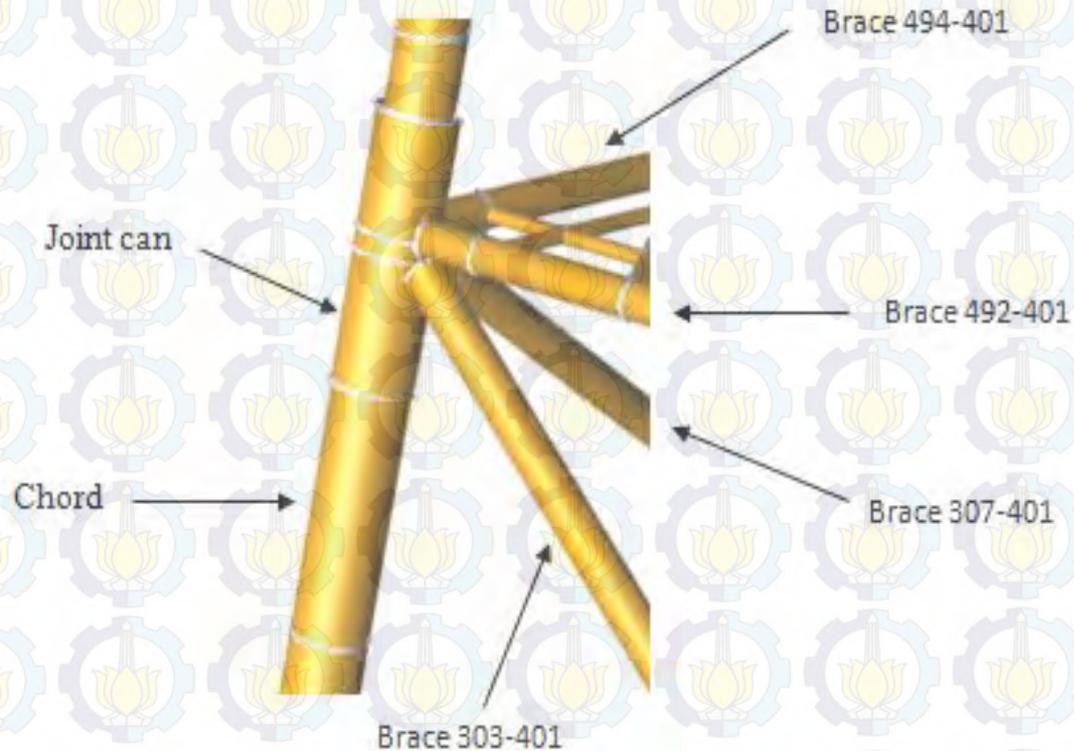
Joint kritis 401





# Analisa dan Pembahasan

## Detail Multiplanar Tubular Joint 401





# Analisa dan Pembahasan

## Geometri Multiplanar Turbular Joint 401

Joint 401	OD (m)	WT (m)	L (m)
Chord	0.85125	0.00653	5.46
Joint Can	0.889	0.0254	1.21
Brace 492-401	0.3944	0.0067	2.81
Brace 303-401	0.4445	0.0127	3.33
Brace 494-401	0.3944	0.01305	2.96
Brace 307-401	0.4445	0.0127	3.33



# Analisa dan Pembahasan

## Beban Minimum pada joint 401

<b>Joint 401</b>	<b>Axial (N)</b>	<b>In-plane Bending (Nm)</b>	<b>Out of Plane Bending (Nm)</b>
Brace 492-401	250461.6	-78.3269	14.2177
Brace 303-401	323867.7	9.0871	-13.1396
Brace 494-401	420956.6	-171.285	54.6476
Brace 307-401	203831	3.2965	-39.3479

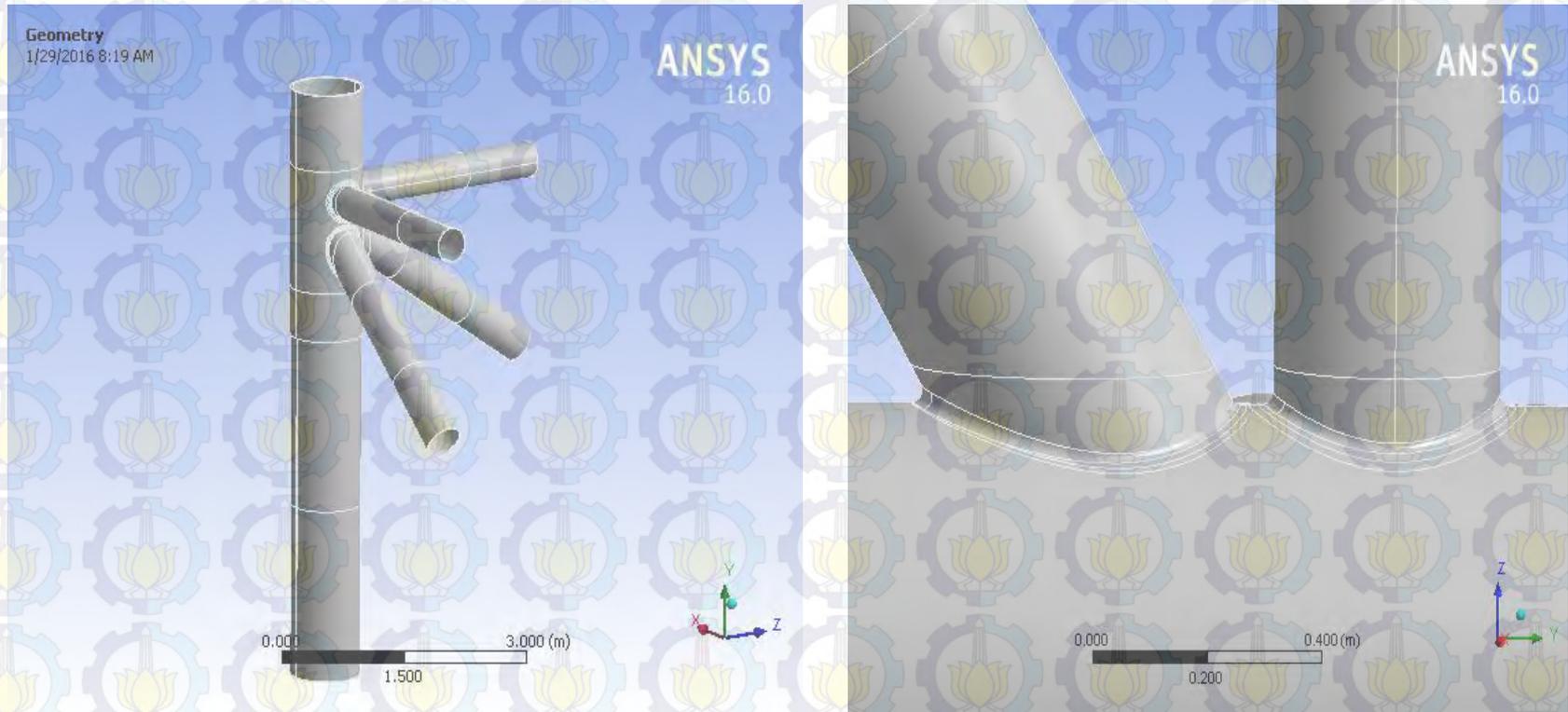
## Beban maksimum pada joint 401

<b>Joint 401</b>	<b>Axial (N)</b>	<b>In-plane Bending (Nm)</b>	<b>Out of Plane Bending (Nm)</b>
Brace 492-401	264102.1	-78.3269	16.9199
Brace 303-401	323868.1	9.0871	-13.1396
Brace 494-401	438711.6	-235.842	52.0878
Brace 307-401	246751.6	-53.6063	-21.5664



# Analisa dan Pembahasan

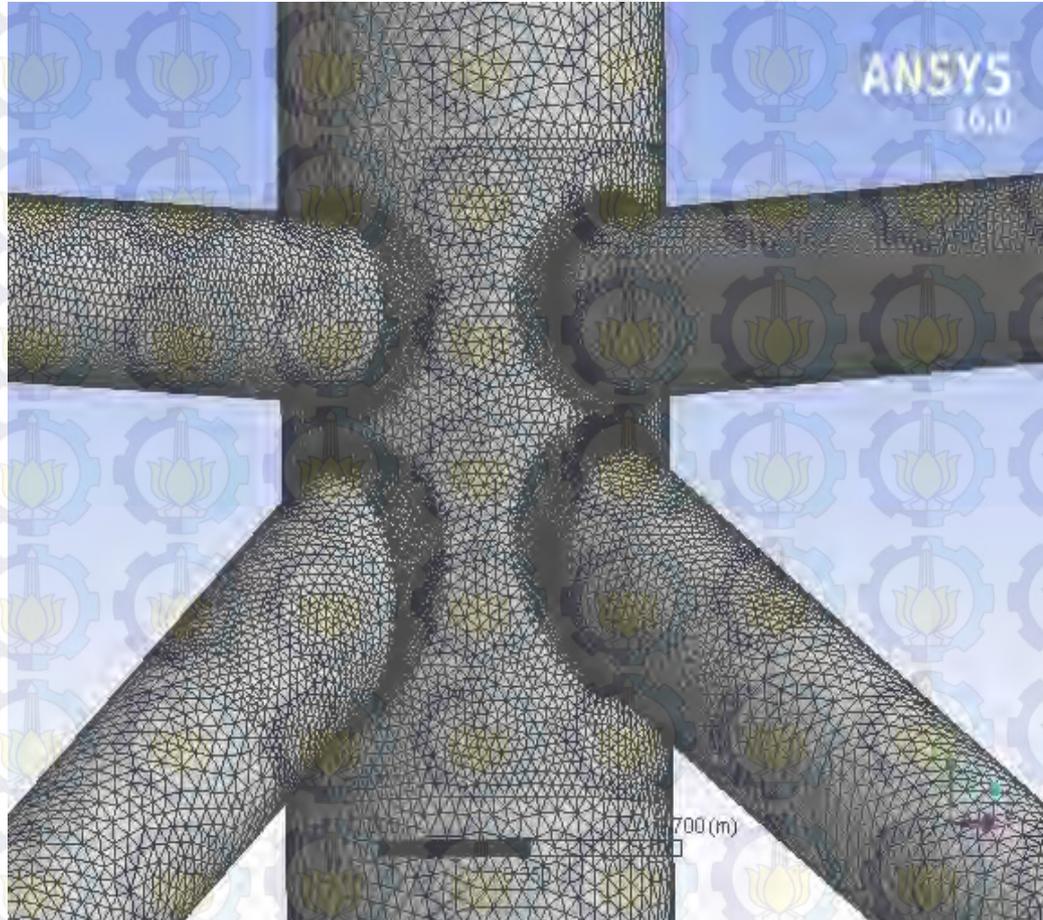
## Pemodelan Joint 401





# Analisa dan Pembahasan

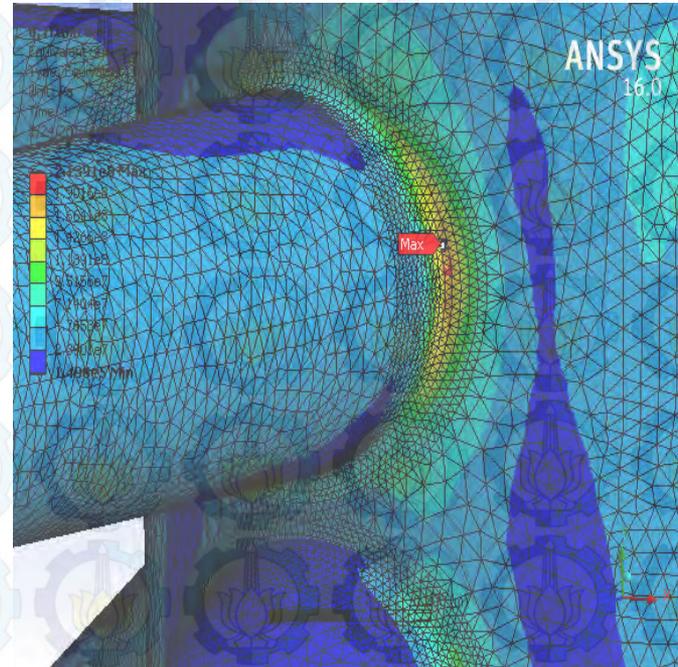
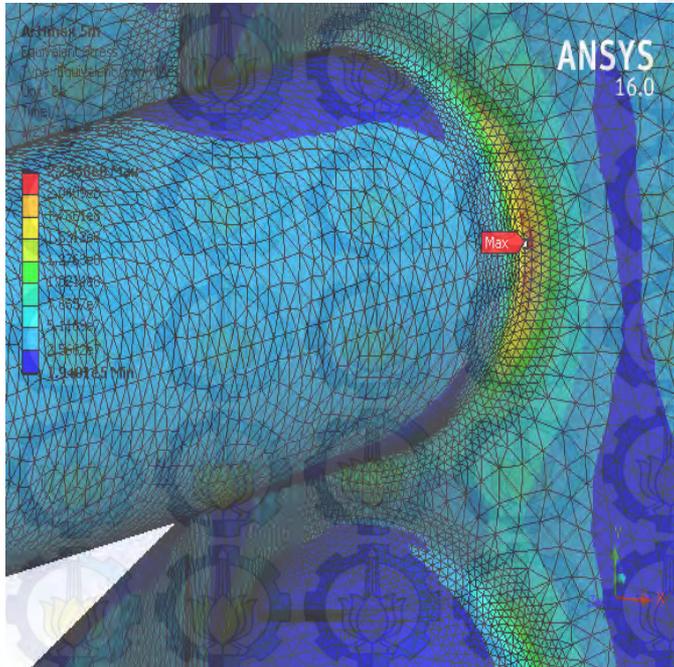
## Meshing pada Multiplanar Joint 401





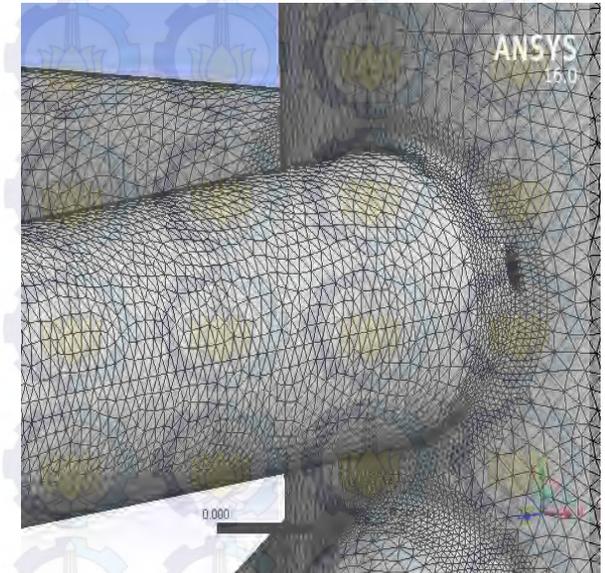
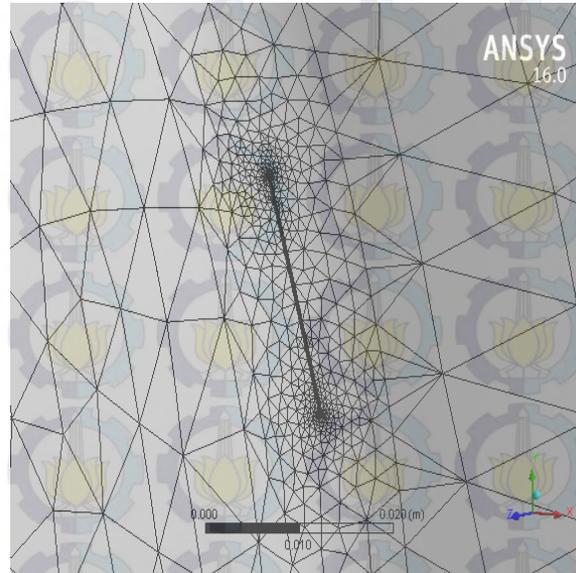
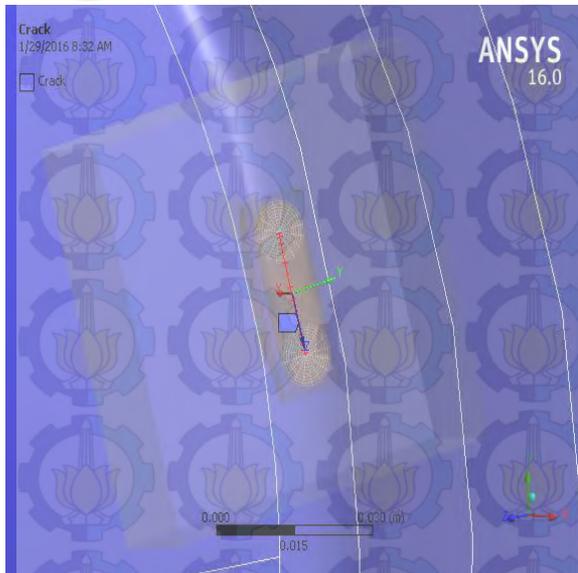
# Analisa dan Pembahasan

## Analisa Tegangan Von mises



	Von mises (Mpa)	Total Deformasi (m)
$\sigma_{min}$	213.91	0.0032
$\sigma_{max}$	229.58	0.0034

## Pemodelan Crack

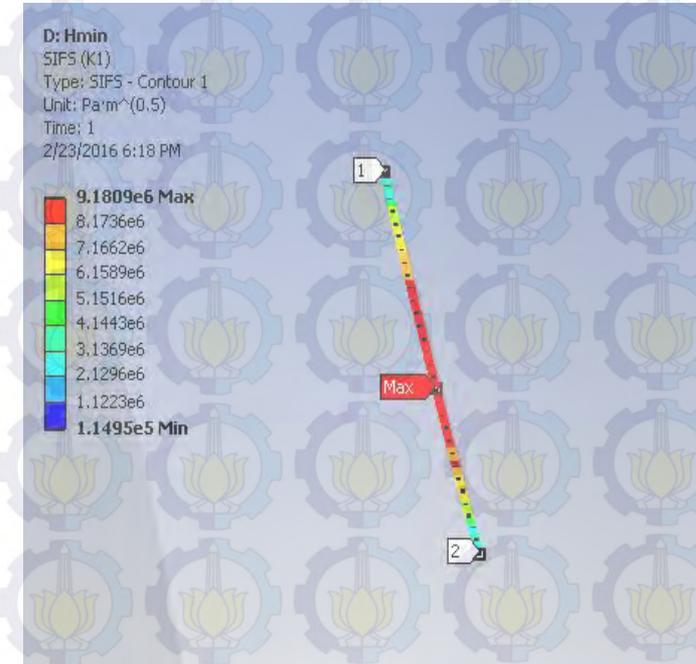
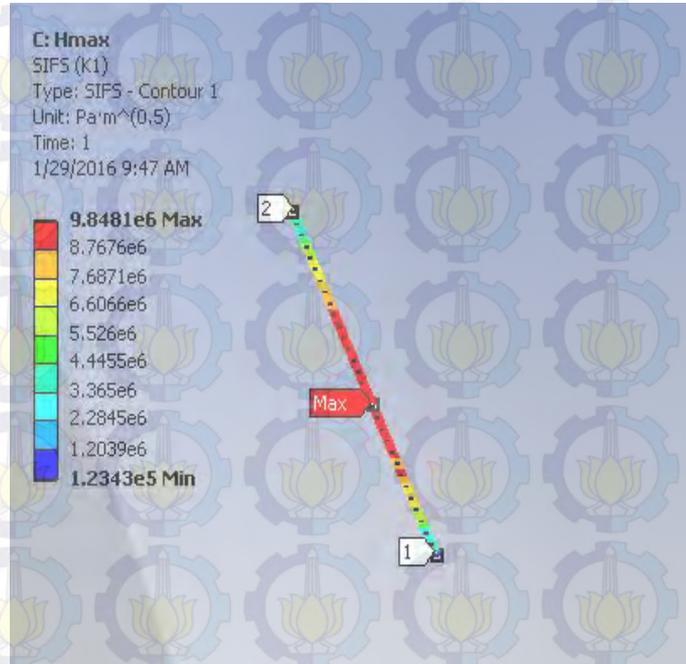


Geometri Initial Crack code DNV RP C203 yaitu sebesar 0,5 mm sedangkan lebar crack ( $2c$ ) adalah sebesar 1 cm.



# Analisa dan Pembahasan

## Stress Intensity Factor (SIF)



$$K_{\max} = 9.85 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$$

$$K_{\min} = 9.18 \text{ MPa}\cdot\sqrt{\text{m}}$$



# Analisa dan Pembahasan

## Meshing Contour Sensitivity



Elemen yang divariasikan adalah jumlah contour saat pemodelan geometri crack dimulai dari 8-13 contour.



# Analisa dan Pembahasan

## Meshing Contour Sensitivity

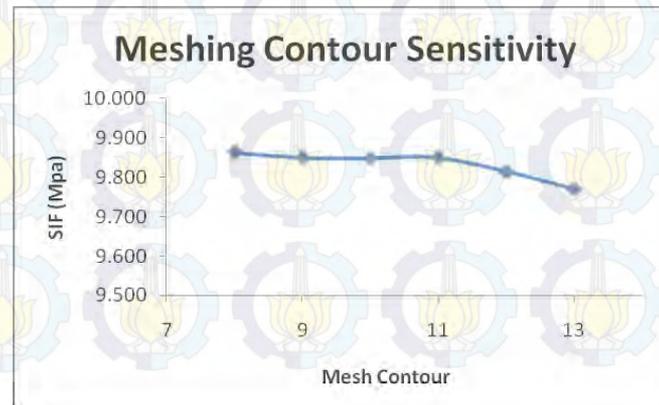
### Meshing Contour Sensitivity Kmin

Mesh Contour	SIF (MPa·√m)
8	9.195
9	9.182
10	9.181
11	9.182
12	9.112
13	9.026



### Meshing Contour Sensitivity Kmax

Mesh Contour	SIF (MPa·√m)
8	9.863
9	9.849
10	9.848
11	9.849
12	9.814
13	9.769





# Analisa dan Pembahasan

## Perhitungan SIF analitik

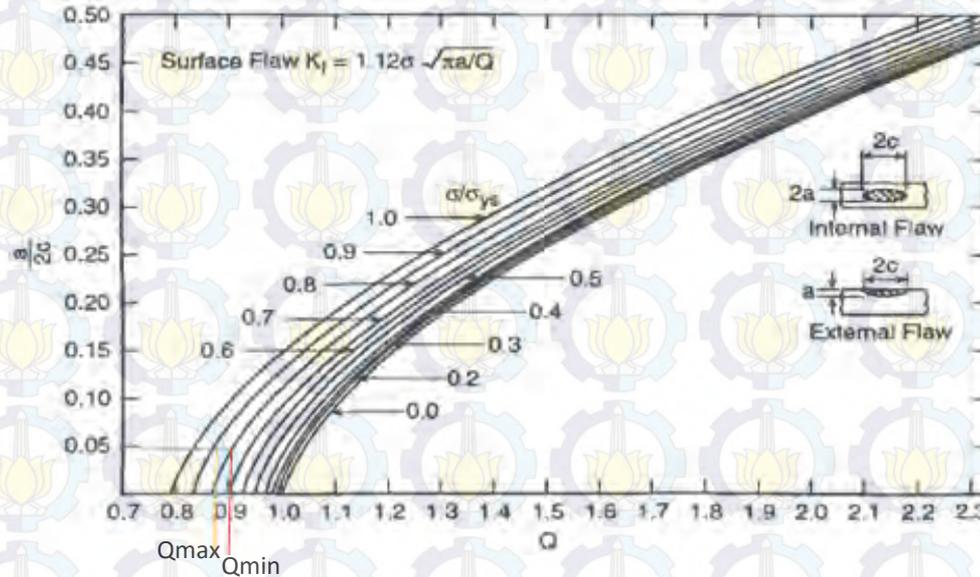
### Geometri retak :

$t = 0.0254 \text{ m}$

$a = 0.0005 \text{ m}$

$2c = 0.01 \text{ m}$

$a/2c = 0.05$



$\sigma_{ys} = 250.00 \text{ Mpa}$

$\sigma_{max} = 229.58 \text{ Mpa}$

$\sigma_{min} = 213.91 \text{ Mpa}$

$\sigma/\sigma_{ys} = 0.92$

$\sigma/\sigma_{ys} = 0.84$

$Q_{\sigma_{max}} = 0.88$

$Q_{\sigma_{min}} = 0.92$



# Analisa dan Pembahasan

## Perhitungan SIF analitik

$$K = 1.12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}$$

**Perhitungan SIF :**

$$K \text{ max} = 10.30 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m.}}$$

$$K \text{ min} = 9.72 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m.}}$$



# Analisa dan Pembahasan

## *Validasi Stress Intensity Factor*

<b>Validasi</b>	<b>Kmax (MPa·√m)</b>	<b>Kmin (MPa·√m)</b>
Ansysis	9.85	9.18
Manual	10.30	9.72
Error (%)	4.39	5.55



# Analisa dan Pembahasan

## Perhitungan Kedalaman Retak Kritis dan Cepat Rambat Retak

$$a_{cr} = \left( \frac{K_{IC}}{1,12 \sigma_{max} \sqrt{\frac{\pi}{Q}}} \right)^2$$

Fracture Toughness ASTM A36 = 69,19 MPa√m. Sehingga didapatkan nilai  $a_{cr}$  adalah sebesar **0,0212 meter**.

$$\frac{da}{dN} = 3,6 \times 10^{-10} (\Delta K_I)^{3,0}$$

Range SIF ( $\Delta K$ ) yaitu **0.67 MPa√m**. Maka diperoleh kecepatan perambatannya ( $da/dn$ ) adalah **1.07E-10 m/cycle**.



# Analisa dan Pembahasan

## Perhitungan Umur Kelelahan

$$N = \int_{a_0}^{acr} \frac{da}{3,6 \times 10^{-10} (\Delta K_I)^{3,0}}$$

Berdasarkan kecepatan perambatan yang sebesar **1.07E-10 m/cycle**, akan dapat dihitung jumlah cycle failure (N) yaitu **1.94E+08 cycles**. Kemudian akan dibagi dengan cycles kejadian pertahun berdasarkan tabel distribusi gelombang dan didapatkan umur kelelahan pada sambungan turbular ini adalah **23.16 tahun**, yang masih lebih besar dari perpanjangan umur yang direncanakan yaitu **10 tahun** kedepan. Dengan demikian struktur dinyatakan **aman beroperasi** selama masa perpanjangan umurnya.

## Probabilitas Kegagalan

Moda Kegagalan :

$$g(X) = N - N_L$$
$$N = \int_{a_0}^{acr} \frac{da}{3,6 \times 10^{-10} (\Delta K_I)^{3,0}}$$

$N_L$ : jumlah cycles perencanaan umur tambahan (10tahun)

Probabilitas kegagalan :

$$P_f = \Pr[g(X) < 0]$$

## Variabel Acak

Variabel	Mean	Standart Deviasi	COV	Jenis Distribusi
$\Delta\sigma$ (MPa)	15.7	1.57	0.1	log normal
K <sub>ic</sub> (MPa $\sqrt{m}$ )	69.19	6.919	0.1	log normal



# Analisa dan Pembahasan

## Hasil Simulasi Monte Carlo

Jumlah simulasi	Simulasi berhasil	Simulasi gagal
100000	96272	3728

## Probabilitas Kegagalan

Sambungan	Probabilitas kegagalan	PoF/Tahun
401	0.037	0.0037



# Analisa dan Pembahasan

## Matriks Resiko NORSOK Z-008

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	M	M	H
F1	< 0,1	Long	M	M	M
Loss of function leading to:					
Consequence category			C1	C2	C3
Consequence safety			No potential for injuries.	Potential for injuries requiring medical treatment. Limited effect on safety systems.	Potential for serious personnel injuries. Render safety critical systems inoperable.
Consequence containment			Non-flammable media Non toxic media Natural/normal pressure /temperature media	Flammable media below flashpoint Moderately toxic media High pressure/ temperature media (>100 bar/80 °C)	Flammable media above flashpoint Highly toxic media Extremely high pressure /temperature media
Consequence, Environment; restitution time (***)			No potential for pollution (specify limit) < 1 month	Potential for moderate pollution. 1 month – 1 year	Potential for large pollution. > 1 year
Consequence production			No production loss	Delayed effect on production (no effect in x days) or reduced production	Immediate and significant loss of production
Consequence other			No operational or cost consequences	Moderate operational or cost consequences	Significant operational or cost consequences



# Analisa dan Pembahasan

## 1. Konsekuensi Keselamatan

Consequence category	C1	C2	C3
Consequence Safety	No potential for injuries. No effect on safety systems.	Potential for injuries requiring medical treatment. Limited effect on safety systems.	Potential for serious personnel injuries. Render safety critical systems inoperable.

BL platform adalah struktur berjenis wellhead platform yang berfungsi untuk menyedot minyak dan gas dari reservoir kemudian dikirim menuju tempat penyimpanannya. Wellhead platform bersifat unmanned atau tidak ditinggali kru oleh karena itu ketika ada kegagalan struktur runtuh karena kelelahan tidak akan berpengaruh terhadap keselamatan kru sehingga tidak ada kecelakaan, luka-luka, bahkan kematian yang akan terjadi. Oleh karena itu konsekuensinya rendah (C1).

## 2. Konsekuensi Muatan

Consequence Containment	Non-flammable media	Flammable media below flashpoint	Flammable media above flashpoint
	Non toxic media	Moderately toxic media	Highly toxic media
	Natural/normal pressure /temperature media	High pressure/ temperature media (>100 bar/80 °C)	Extremely high pressure /temperature media

Kandungan muatan pada BL platform adalah aqueous (CH<sub>2</sub>O) dengan flash point 140° F 40% komposisi volume serta memiliki Lower Flammable Limit (LFL) 7% dan Upper Flammable Limit (UFL) 73 %, sehingga jika terjadi keruntuhan akibat kelelahan sambungan maka pipa-pipa untuk menyedot minyak dan gas juga akan patah dan tekanan sumur tinggi sebelum kemudian diaktifkan secara otomatis penutupan sumur dan *fire protecting* oleh sistem keamanan kebakaran. Serta masih memungkinkan terjadi kebakaran tetapi tetap dibawah flash point yaitu sekitar 7%-39% pada LFL karena sistem keamanan tersebut mencegah kebakaran semakin menyebar dan mencegah racun karsinogen yang terkandung dalam muatan menyebar luas karena dapat menyebabkan kanker. Oleh karena itu konsekuensi kandungan dan muatan adalah medium (C2).

## 3. Konsekuensi Lingkungan

Consequence Environment	No potential for pollution (specify limit) < 1 month	Potential for moderate pollution. 1 month – 1 year	Potential for large pollution. > 1 year
----------------------------	--	--	---

Kondisi lingkungan sekitar BL platform ketika struktur ini mengalami kegagalan yaitu akan terjadi polusi akibat minyak yang tumpah karena patahnya struktur yang menyebabkan pipa-pipa seperti conductor dan riser ikut patah. Tetapi tumpahan tersebut tidak terlalu banyak karena sistem keamanan akan dengan cepat menutup sumur secara otomatis ketika tekanan terlalu tinggi. Diperkirakan minyak akan mencemari daerah sekitar struktur antara 1 bulan - 1 tahun dengan penanganan yang bagus. Oleh karena itu konsekuensi lingkungannya adalah medium (C2).

## 4. Konsekuensi Produksi

Consequence Production	No production loss	Delayed effect on production (no effect in days) or reduced production	Immediate and significant loss of production

Berdasarkan jenis platformnya, BL platform adalah wellhead platform yang difungsikan menyedot minyak dan gas sebagai hasil produksinya melalui sumur-sumur yang telah di bor. Jika pada stuktur ini mengalami kegagalan atau keruntuhan karena kelalahan pada sambungan, maka akan menyebabkan struktur BL platform mengalami kerugian sangat besar dari hasil produksi yang terpaksa harus berhenti beroperasi. Oleh karena itu konsekuensi produksinya adalah tinggi (C3).



## 5. Konsekuensi Biaya

Consequence Other	No operational or cost consequences	Moderate operational or cost consequences	Significant operational or cost consequences
-------------------	-------------------------------------	---	--

Jika pada struktur ini mengalami kegagalan atau keruntuhan karena kelalahan pada sambungan, maka akan menyebabkan struktur BL platform akan mengalami kerugian biaya yang sangat besar baik dari harga pembuatan platform sendiri maupun dari kegiatan operasional struktur yang menghasilkan banyak keuntungan terpaksa harus berhenti karena struktur runtuh. Oleh karena itu konsekuensi lain/biaya adalah termasuk dalam kategori tinggi (C3).



# Analisa dan Pembahasan

## Matriks Resiko

### 1. Matriks Resiko Keselamatan

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
Consequence category			C1	C2	C3

Loss of function leading to:

### 2. Matriks Resiko Muatan

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
Consequence category			C1	C2	C3

Loss of function leading to:



# Analisa dan Pembahasan

## 3. Matriks Resiko Lingkungan

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
Consequence category			C1	C2	C3

Loss of function leading to:

## 4. Matriks Resiko Produksi

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
Consequence category			C1	C2	C3

Loss of function leading to:

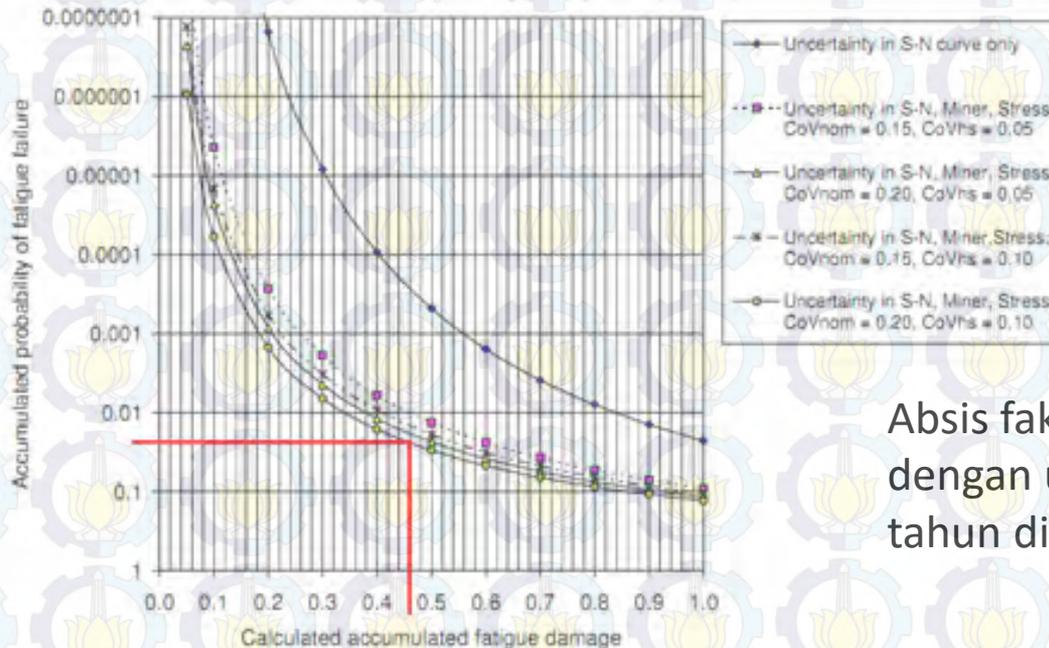


## 5. Matriks Resiko Biaya

Freq. cat.	Freq. per year (*), (**)	Mean time between failure (year)	RISK		
F4	> 1	0 to 1	M	H	H
F3	0,3 to 1	1 to 3	M	M	H
F2	0,1 to 0,3	3 to 10	L	M	H
F1	< 0,1	Long	L	L	M
			Loss of function leading to:		
Consequence category			C1	C2	C3

## Risk Based Inspection

### 1. Accumulated damage



Absis faktor skala  $f=L_{calc}/20$ ,  
dengan umur perpanjangan 10  
tahun didapatkan  $f=0,5$ .

Dengan akumulasi probabilitas kegagalan kelelahan sebesar 0,037 dan lengkung kurva paling bawah yang memiliki CoVhs 0,1. Didapatkan  $d_{acc}$  yang terjadi dengan faktor skala 0,5 adalah sebesar **0,23**.

## Risk Based Inspection

### 2. Penentuan Interval Waktu Inspeksi

$$\Delta T_{\text{insp}} = \lambda d_{\text{acc}} T_{\text{detail calculated}}$$

Dengan,

$d_{\text{acc}}$

= *accumulated fatigue damage*

$T_{\text{detail calculated}}$

= perpanjangan umur operasi

$\lambda$

= berdasarkan tabel dalam NORSOK N-006

Consequence	Working conditions (EC and MPI)	$d_{\text{acc}}$	$\lambda$
High	Good	0,15	1,3
	Underwater		1,0
Medium	Good	0,30	2,0
	Underwater		1,7
Small	Good	0,50	-
	Underwater		-

## Risk Based Inspection

### 2. Penentuan Interval Inspeksi

$$\Delta T_{\text{insp}} = \lambda \text{ dacc } T_{\text{detail calculated}}$$

Dengan menggunakan rumus tersebut akan didapatkan interval waktu inspeksi struktur adalah sebagai berikut :

$$\Delta t_{\text{insp}}^{\text{above water}} = 3 \text{ tahun}$$

$$\Delta t_{\text{insp}}^{\text{under water}} = 2.3 \text{ tahun}$$

# Kesimpulan

1. Hasil analisa umur kelelahan terkecil struktur BL Platform dengan menggunakan pendekatan mekanika kepecahan adalah sebesar **23.16 tahun** berada pada sambungan 401. Dengan demikian struktur BL platform dinyatakan aman dan mampu melakukan perpanjangan umur operasi untuk **10 tahun kedepan.**
2. Besar resiko akibat kelelahan pada BL platform adalah **rendah** untuk kategori **keselamatan, muatan, dan lingkungan.** Sedangkan resiko untuk kategori **produksi dan biaya** adalah **medium.**

3. Dalam penerapan *Risk Based Inspection* (RBI) untuk menilai peluang kegagalan sambungan struktur BL Platform, diperoleh interval inspeksi efektif dan efisien dengan metode *Eddy Current* (EC) dan *Magnetic Particle Inspection* (MPI) adalah **3 tahun** untuk *good/above water* dan **2.3 tahun** untuk *underwater*.

1. Analisis kelelahan menggunakan pendekatan mekanika kepecahan pada bangunan struktur ini dengan mempertimbangkan bentuk retak yang berbeda disambungan turbular kritis.
2. Analisis keandalan perlu dilakukan untuk mengetahui indeks keandalan sambungan terhadap umur kelelahan struktur karena adanya retak yang dapat menyebabkan kegagalan.
3. Analisis estimasi biaya inspeksi dan mitigasi pada *member* dan sambungan yang berpotensi gagal secara aplikatif. Seperti jenis mitigasi apa yang direncanakan dan berapa yang harus dikeluarkan untuk setiap jenis inspeksi yang dilakukan.