Analisa Umur Kelelahan Struktur Sepinggan Q *Platform* yang Memiliki Retak Awal *Semi-Eliptical* dengan Menggunakan Metode *Linear Elastic Fracture Mechanics*

MUHAMMAD FAUZI (4312100016)

Dosen Pembimbing :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

OUTLINE

P **PENDAHULUAN**

T **TINJAUAN PUSTAKA**

M **METODOLOGI PENELITIAN**

K **KESIMPULAN DAN SARAN**

Latar Belakang

FATIGUE

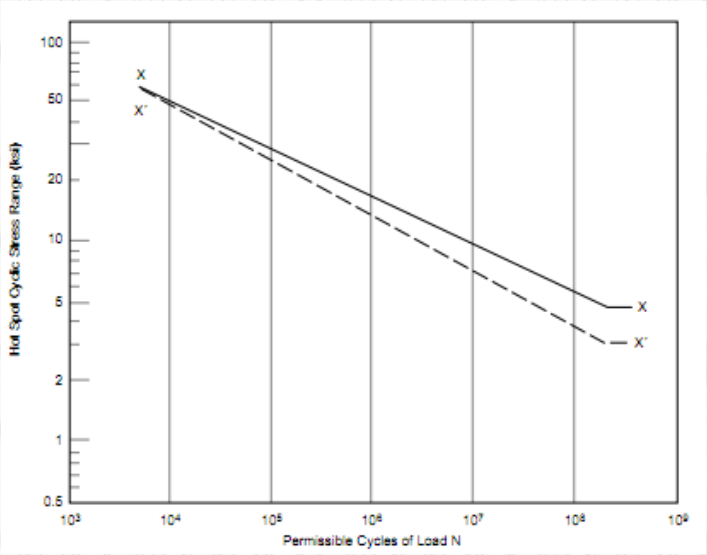
MEKANISME FATIGUE

ANALISA FATIGUE LIFE

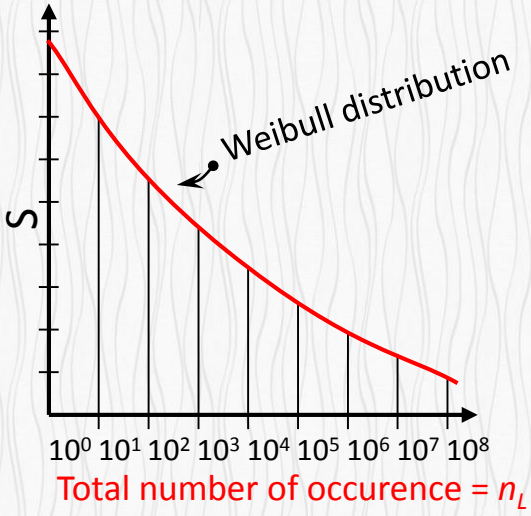
Mekanisme Fatigue

Analisa Fatigue Life (Umur Kelelahan)

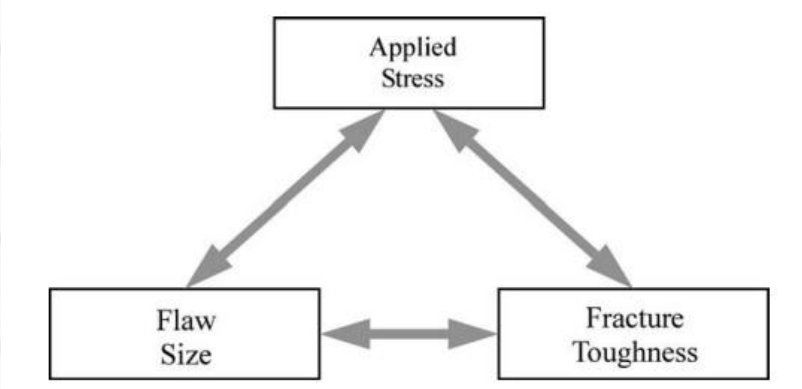
PENDEKATAN KURVA S-N



PENDEKATAN PROBABILISTIK



PENDEKATAN FRACTURE MECHANICS



Rumusan Masalah

- Berapa nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) *tubular joint* terkritis apabila terjadi retak awal berbentuk *semi-elliptical*?
- Berapa nilai laju perambatan retak (*crack propagation rate*) *tubular joint* terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*?
- Berapa umur kelelahan *tubular joint* terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*?

Tujuan

- Menghitung *Stress Intensity Factor* (SIF) tubular joint terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*.
- Menghitung laju perambatan retak (crack propagation rate) *tubular joint* terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*.
- Menghitung umur kelelahan *tubular joint* terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*.

BATASAN MASALAH

- Peneitian ini merupakan studi kasus pada struktur Sepinggan Q *Platform* milik Chevron Indonesia Company.
- Teknik pengelasan dan pengaruh tegangan sisa pada sambungan diabaikan.
- *Codes* dan *Standards* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah API RP-2A WSD, AISC 9th Edition dan ABS "*Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structures*".
- Pemodelan struktur menggunakan *software* SACS 5.7.
- Pemodelan sambungan dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Workbench 16.0.
- Retak awal (*initial crack*) pada sambungan terkritis menggunakan asumsi :
  - Kedalaman retak (*crack depth*) sebesar 0.5 mm sesuai aturan ABS "Guide For Fatigue Assesment of Offshore Strutures".
  - Perbandingan antara panjang retak dan kedalaman retak bernilai 0.15.
- Bentuk retak awal yang terjadi pada sambungan adalah retak *Semi-Elliptical*.
- Mode perambatan retak yang digunakan adalah Mode 1.
- Metode yang digunakan dalam analisa umur kelelahan pada sambungan adalah metode pendekatan *Linear Elastic Fracture Mechanics*.

TINJAUAN PUSTAKA

Ridloudin (2004)

Melakukan Analisa Umur Kelelahan Struktur Jack-Up Plaform menggunakan Spectral Fatigue Analysis

Annastasia (2005)

Melakukan Analisa Umur Kelelahan Struktur Tubular Tipe T dengan Retak Awal Semi-Elliptical Menggunakan Metode LEFM

Widyaningtyas (2005)

Melakukan Analisa Umur Kelelahan Struktur Tubular Tipe T dengan Retak Awal Through-Thickness Menggunakan Metode LEFM

Metodologi Penelitian

Pengumpulan Data

- Data Struktur
- Data Lingkungan
- Data pendukung lainnya

Pemodelan Struktur dan Validasi

- Pemodelan Struktur Menggunakan SACS 5.7
- Validasi Model

In-Place Analysis dan Fatigue Analysis

Menentukan letak *joint* terkritis pada struktur

Pemodelan Sambungan dan Validasi

- Pemodelan Sambungan terkritis menggunakan ANSYS Workbench 16.0
- *Meshing Sensitivity*
- Validasi SIF

Analisa Umur Kelelahan

- Perhitungan *Crack Propagation*
- Perhitungan Umur Kelelahan Sambungan

Pengumpulan Data

1. Nama Anjungan : Sepinggan Q *Living Quarter Platform*
2. Pemilik : Chevron Indonesia Company
3. Jenis Struktur : *Jacket Platform*
4. Lokasi : Selat Makassar
5. Lapangan : Sepinggan *Field*
6. Jumlah Dek Utama : 2 dek
7. Dek : *Main* deck dan *Cellar* deck
8. Jumlah Kaki : 4 kaki
9. Orientasi Platform : 1° arah timur dari utara kompas
10. Elevasi Horizontal Brace : - Elevasi (+) 17’-$7^{3}/_{8}$”
    - Elevasi (-) 11’-$10^{3}/_{8}$”
    - Elevasi (-) 41’-$10^{3}/_{8}$”
    - Elevasi (-) 73’-$10^{3}/_{8}$”
    - Elevasi (-) 102’-$10^{3}/_{8}$”
    - Elevasi (-) 132’-$10^{3}/_{8}$”

Lanjutan

Data Muka Air Rata-Rata

Description	5-years Condition	100-years Condition
Seabed From Cellar Deck (ft)	132.87	132.87
High Astronomical Tide (ft)	8.2	8.2
Storm Surge (ft)	-	1.6
Water Depth (ft)	141.07	142.67

Data Kecepatan Angin

Return Period	Wind Speed (mph/fps)
5-years	32.6/47.81
100-years	39.0/57.20

Data Gelombang

Return Period	Wave Height (ft)	Wave Period (sec)
5-years	11.90	7.70
100-years	16.30	8.10

Data Sebaran Gelombang

Significant Wave Height (m)	Direction								Total
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
>5									0
4-5				4	32				36
3-4			2	136	341				479
2-3		49	154	1062	1372	9	2		2648
1-2		27	2633	2829	1343	4	1		6837
Total	0	76	2789	4031	3088	13	3	0	10000

Material Properties

Material Type	Yield Strength (MPa)	Modulus Young (GPa)	Poisson's Ratio (v)
API 5L Grade B	240	206	0.3

Lanjutan

Data Arus

Depth	Wind Driven Current (ft/s)		Tidal Current (ft/s)		Total Current (ft/s)	
Percentage % from Mudline	5-years	100-years	5-years	100-years	5-years	100-years
100%	0.51	0.62	1.49	1.76	2.00	2.38
90%	0.21	0.25	1.47	1.73	1.68	1.98
80%	0.17	0.17	1.44	1.70	1.61	1.87
70%	0.12	0.12	1.42	1.67	1.54	1.79
60%	0.09	0.09	1.39	1.64	1.48	1.73
50%	0.00	0.00	1.35	1.59	1.35	1.59
40%	0.00	0.00	1.31	1.54	1.31	1.54
30%	0.00	0.00	1.25	1.48	1.25	1.48
20%	0.00	0.00	1.18	1.40	1.18	1.40
10%	0.00	0.00	1.07	1.27	1.07	1.27
0%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

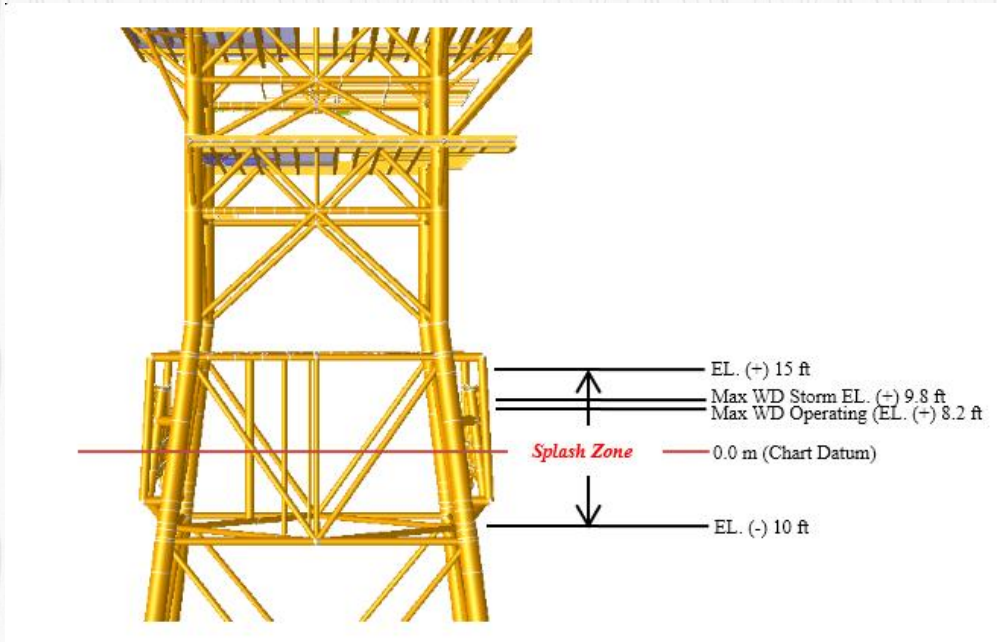
Data Kapasitas Pile

Pile Numbering and Penetration	Ultimate Compressive Pile Axial Capacity
101P / 285 ft	2120 kips
103P / 285 ft	2120 kips
105P / 285 ft	2120 kips
107P / 285 ft	2120 kips

Data Koefisien Hidrodinamis

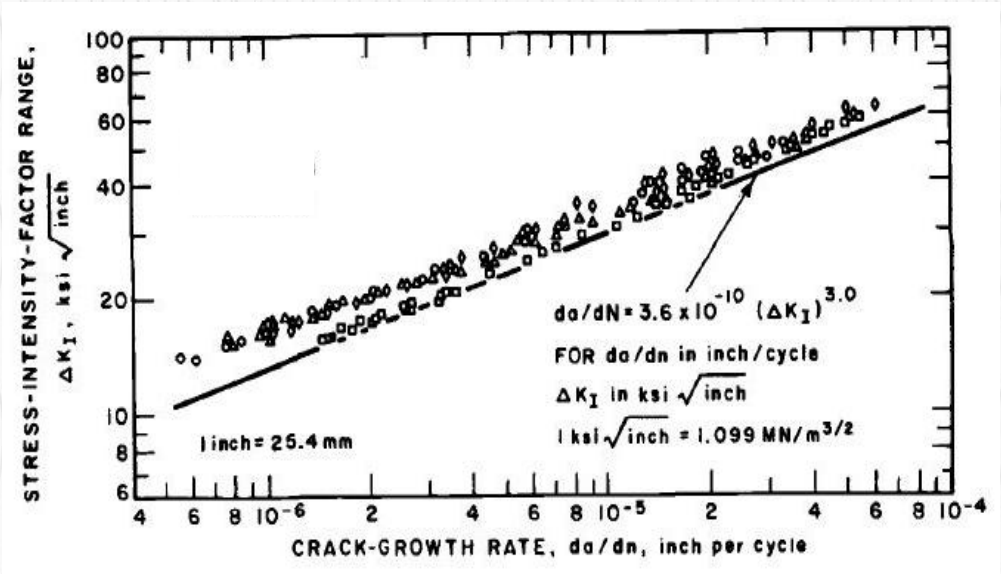
Coefficient		In-Place
Inertia	Smooth	1.60
	Rough	1.20
Drag	Smooth	0.65
	Rough	1.05

Splash Zone



Perhitungan Crack Propagation

<u>Ferrite-Pearlite Steels</u>



K_1 max (MPa.m	K_1 min (MPa.m	ΔK_1 (MPa.m	ΔK_1 (ksi.in½)	da/dN (in/cycles)
6.86	6.02	0.84	0.76	1.59E-10

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

Perhitungan Umur Kelelahan

$$N = \int_{ai}^{af} \frac{da}{3{,}6\ x\ 10^{-10}(\Delta K_I)^3}$$

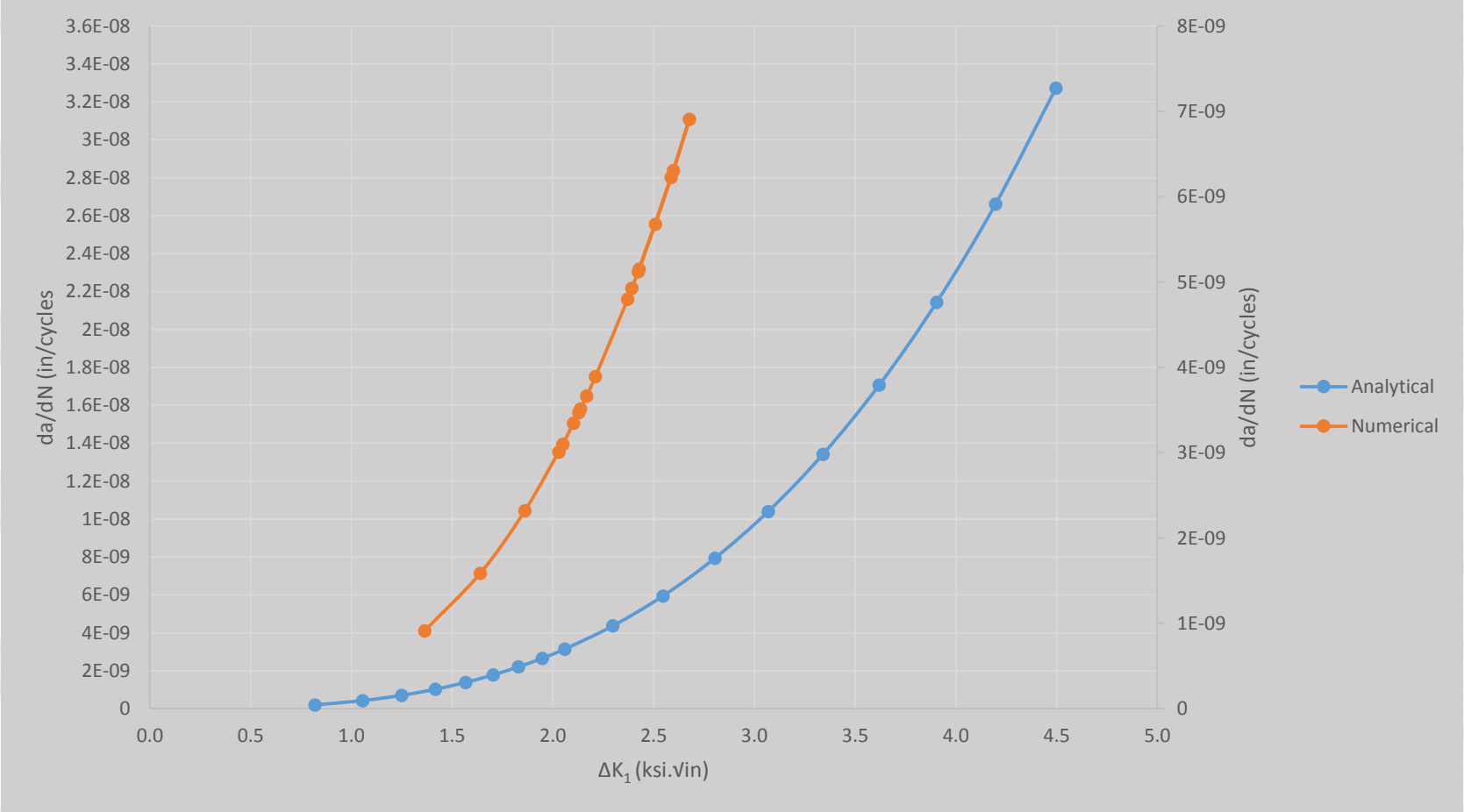
da	= pertambahan panjang retak (m)
N	= jumlah siklus sampai patahnya konstruksi
ΔK_I	= rentang SIF antara pembebanan maksimum dan minimum (MPa√m atau ksi. √in)
af	= panjang retak *fracture (m)*
ai	= panjang retak awal (m)

Perhitungan Umur Kelelahan

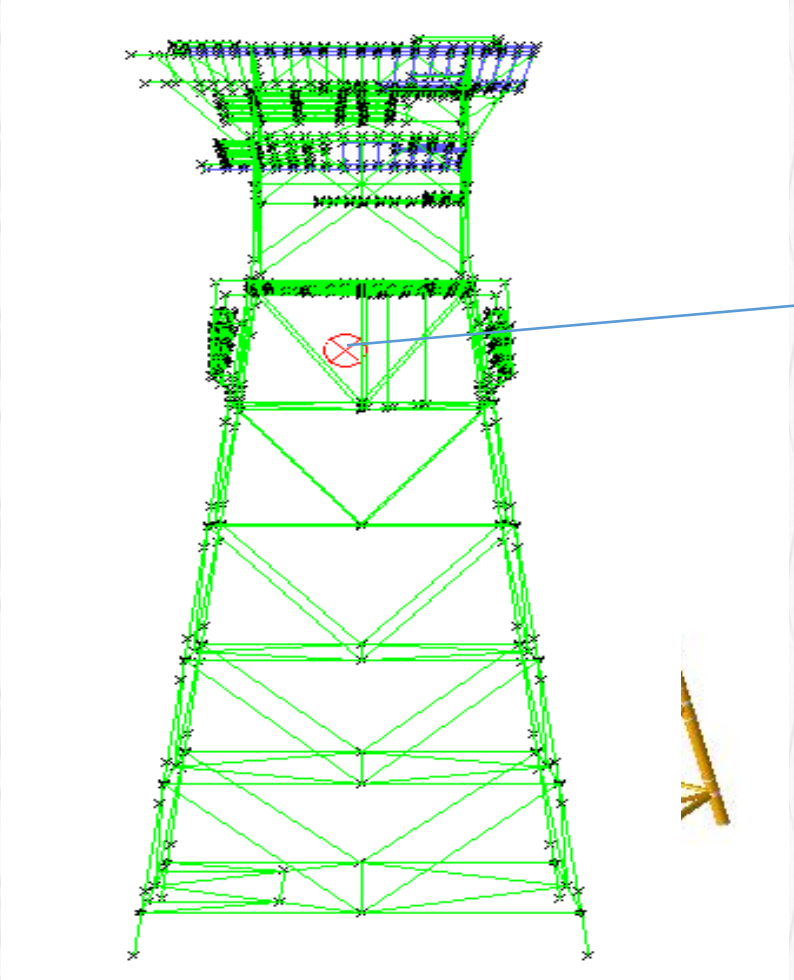
a_0 (in)	a_f (in)	a_{avg} (in)	2c (in)	a/t	M_k	ΔK_1 max (ksi.in½)	ΔK_1 min (ksi.in½)	ΔK_1 (ksi.in½)		ANALYTICAL		NUMERICAL	
								ANALYTICAL	NUMERICAL	ΔN	∑N	ΔN	∑N
0.0197	0.0394	0.0295	0.1969	0.079	1.000	7.320	5.957	0.818	1.364	9993285	9993285	2157090	2157090
0.0394	0.0591	0.0492	0.3281	0.131	1.000	9.125	7.485	1.056	1.640	4644459	1.46E+08	1240112	3397203
0.0591	0.0787	0.0689	0.4593	0.184	1.000	10.505	8.644	1.249	1.861	2803774	1.74E+08	8485251	4245728
0.0787	0.0984	0.0886	0.5906	0.236	1.000	11.711	9.662	1.417	2.049	1923208	1.94E+08	6352630	4880991
0.0984	0.1181	0.1083	0.7218	0.289	1.000	12.469	10.440	1.566	2.029	1423315	2.08E+08	6546176	5535608
0.1181	0.1378	0.1280	0.8530	0.341	1.000	13.262	11.160	1.703	2.102	1107835	2.19E+08	5884708	6124079
0.1378	0.1575	0.1476	0.9843	0.394	1.000	13.980	11.843	1.829	2.137	8938266	2.28E+08	5602995	6684379
0.1575	0.1772	0.1673	1.1155	0.446	1.000	14.516	12.388	1.947	2.128	7408270	2.35E+08	5321759	7216554
0.1772	0.1969	0.1870	1.2467	0.499	1.000	15.177	13.010	2.058	2.167	6269888	2.42E+08	5373498	7753904
0.1969	0.2165	0.2067	1.3780	0.551	1.061	15.756	13.545	2.297	2.211	4512349	2.46E+08	5059034	8259808
0.2165	0.2362	0.2264	1.5092	0.604	1.124	16.384	14.013	2.546	2.371	3311502	2.49E+08	4102411	8670049
0.2362	0.2559	0.2461	1.6404	0.656	1.187	16.927	14.535	2.804	2.392	2481346	2.52E+08	4383992	9108448
0.2559	0.2756	0.2657	1.7717	0.709	1.250	17.577	15.069	3.068	2.508	1893234	2.54E+08	4008616	9509309
0.2756	0.2953	0.2854	1.9029	0.761	1.313	18.283	15.686	3.340	2.597	1467629	2.55E+08	3627222	9872032
0.2953	0.3150	0.3051	2.0341	0.814	1.376	19.003	16.326	3.619	2.677	1153811	2.56E+08	3133425	1.02E+0
0.3150	0.3346	0.3248	2.1654	0.866	1.439	19.547	16.961	3.905	2.586	918548	2.57E+08	3797085	1.06E+0
0.3346	0.3543	0.3445	2.2966	0.919	1.502	19.938	17.510	4.197	2.428	739544.3	2.58E+08	3820828	1.09E+0
0.3543	0.3740	0.3642	2.4278	0.971	1.565	20.526	18.103	4.496	2.423	601519.4	2.59E+08	3842539	1.13E+0

Selisih Error = 56.191 %

Hubungan ΔK_I dengan da/dN



Pemodelan Struktur Sepinggan Q Platform

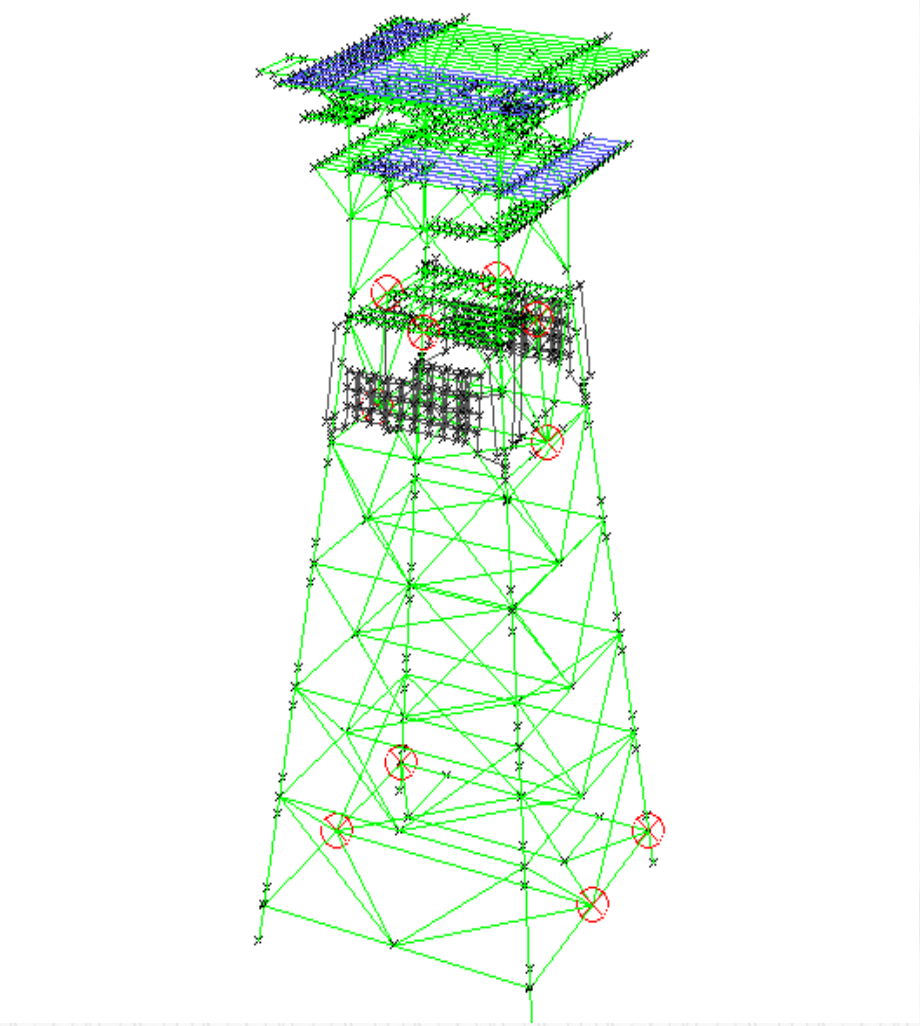


Validasi	Model	Report	Selisih (%)
Selfweight (kips)	3343.06	3458.09	3.33%
Periode Natural (s)	1.52	1.55	1.94%

Titik Berat Struktur Asli dengan Model (**berhimpitan**)

VALIDASI COG	x	y	z
REPORT	0.080	2.930	2.070
MODEL	0.078	2.927	2.071
ERROR (%)	2.500	0.102	0.048

Hasil Running In-place Analysis



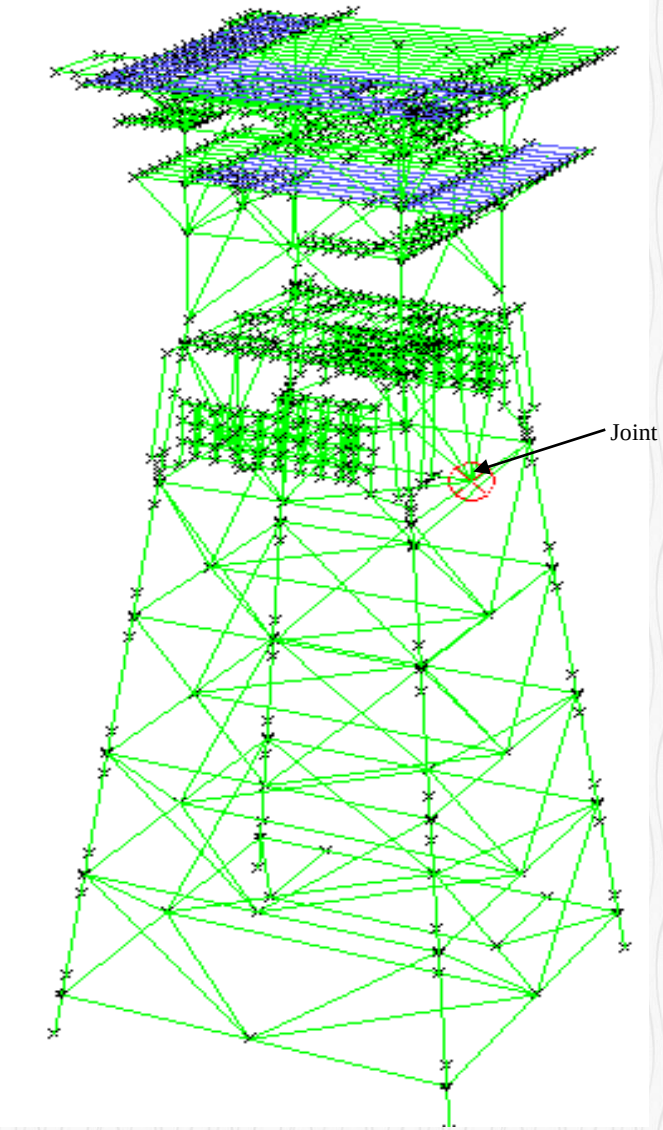
JOINT	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YIELD STRESS (KSI)	UC	DIAMETER (mm)	THICKNESS (mm)	YIELD STRESS (N/mm2)	UC
604	12.75	0.375	35	1.389	87.908	2.586	241.316	1.389
601	12.75	0.375	35	1.254	87.908	2.586	241.316	1.254
603	12.75	0.375	35	1.246	87.908	2.586	241.316	1.246
602	12.75	0.375	35	1.137	87.908	2.586	241.316	1.137
502	14.00	0.375	35	0.903	96.527	2.586	241.316	0.903
504	14.00	0.375	35	0.873	96.527	2.586	241.316	0.873
107L	39.50	0.750	36	0.834	272.343	5.171	248.211	0.834
105L	39.50	0.750	36	0.821	272.343	5.171	248.211	0.821
102	24.00	0.375	35	0.792	165.474	2.586	241.316	0.792
104	24.00	0.375	35	0.789	165.474	2.586	241.316	0.789

Hasil Running Fatigue Analysis

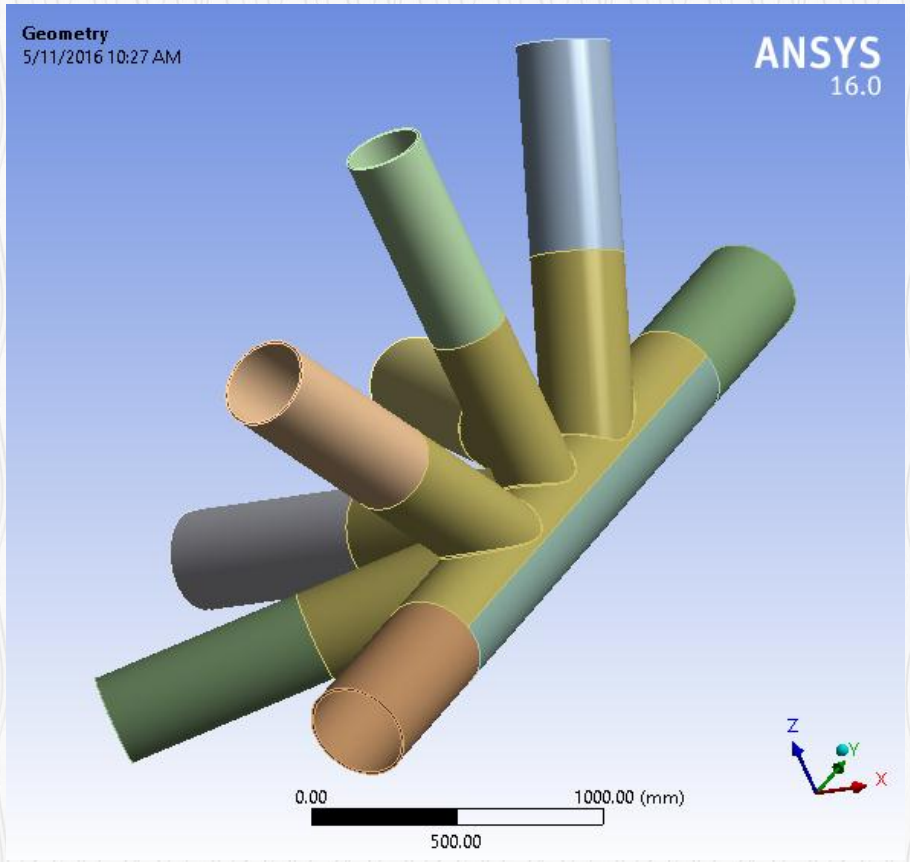
JOINT	MEMBER	MEMBER TYPE	SERVICE YEARS
502	503L- 502	CHORD	18.80965
	502-507L	CHORD	20.86547
	502-603L	BRACE	193.6364
	502-607L	BRACE	207.5513
504	504-505L	CHORD	32.80037
	501L- 504	CHORD	33.83189
	504- 604	BRACE	394.4733
	504-605L	BRACE	453.8002

Penentuan Sambungan Kritis

JOINT	ANALISIS INPLACE	ANALISIS FATIGUE
	UNITY CHECK	SERVICE LIFE (YEARS)
604	1.389	130.9537
601	1.254	1157.828
603	1.246	1122.742
602	1.137	118.1484
502	0.903	18.80965
504	0.873	32.80037
107L	0.834	301.4156
105L	0.821	417.5374
102	0.792	10691.23
104	0.789	13709.56



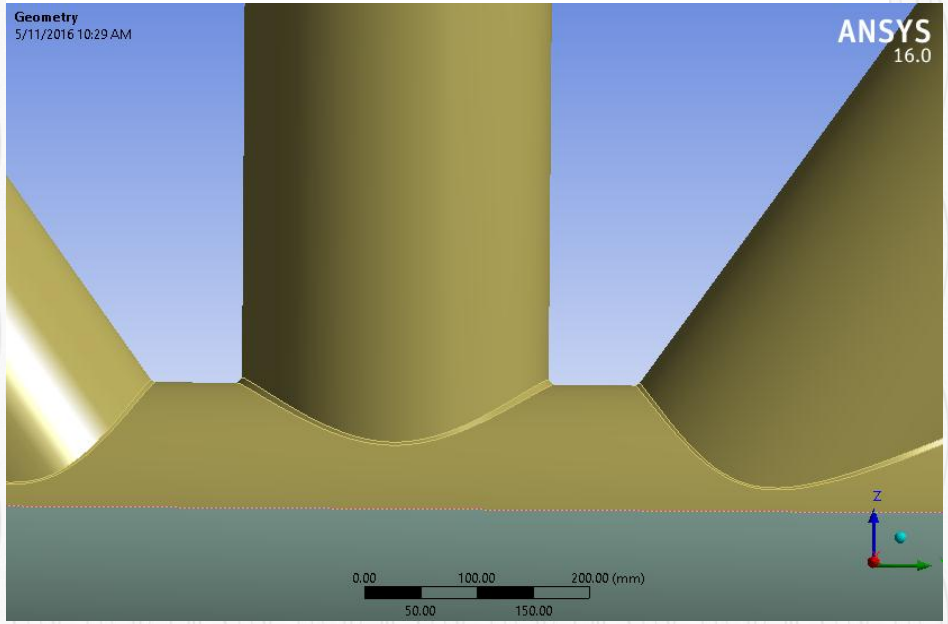
Pemodelan Joint 502

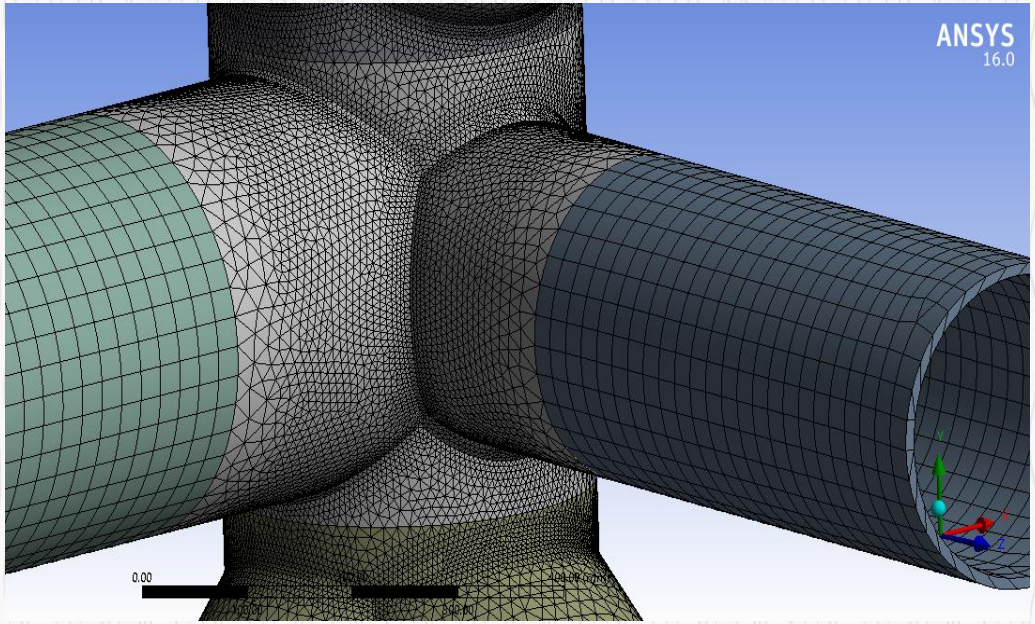


Member	Member Type	Length	O.D	W.T
		m	in	in
503L-502	Chord	7.42	14	0.375
502-507L	Chord	7.42	14	0.375
524-502	Brace	2.68	12.75	0.375
502-503	Brace	10.50	12.75	0.375
502 - 603L	Brace	11.04	12.75	0.375
502 - 602	Brace	9.06	10.75	0.375
521-502	Brace	2.17	14	0.375
502-607L	Brace	11.04	12.75	0.375

Meshing

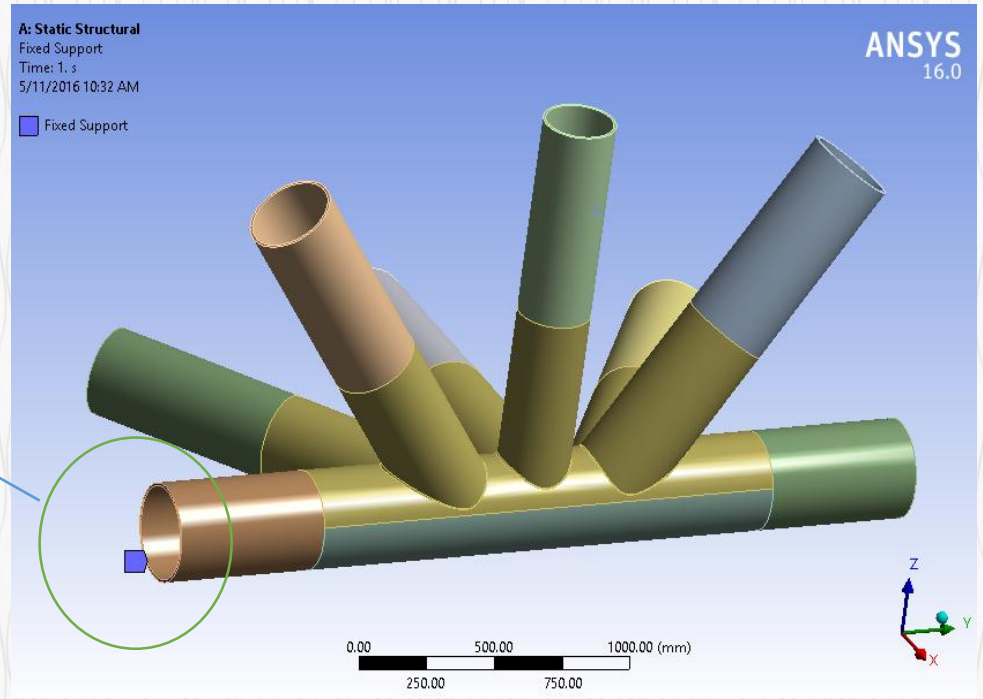
Table 5.8





Kondisi Batas

FIXED SUPPORT



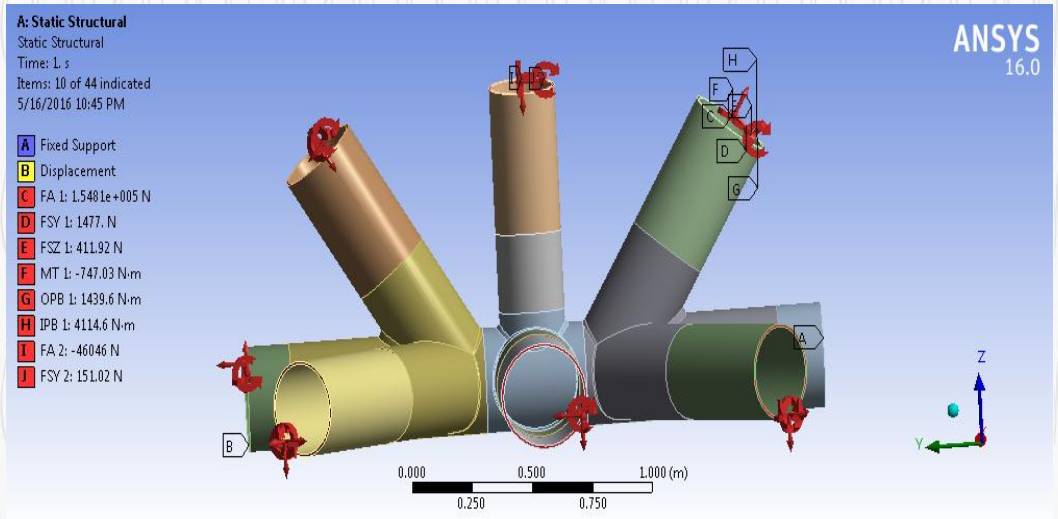
Pembebanan

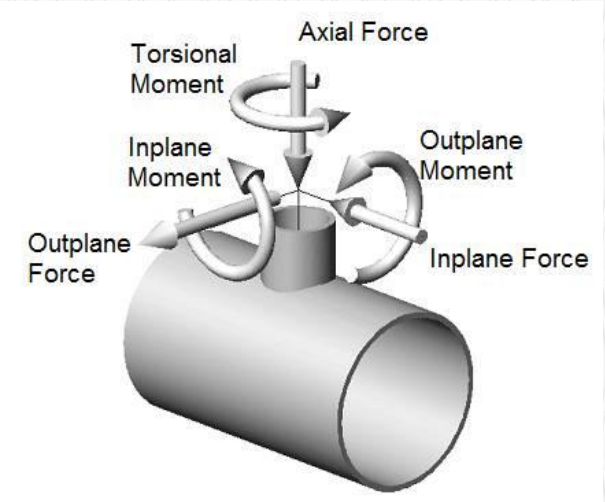
Pembebanan Maksimum

Member	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	kN	kN	kN	kN.m	kN.m	kN.m
502 - 603L	123.847	-1.182	0.330	-11.764	45.342	129.592
502 - 602	-36.837	-0.121	-2.696	0.712	303.648	0.253
502-607L	-60.313	1.462	-0.791	-0.324	29.428	-200.122
524-502	-0.853	0.855	-0.770	17.332	-419.336	-67.912
502-503	8.006	1.173	-0.156	35.162	58.852	-71.323
521-502	-0.189	0.139	-8.517	-89.758	-502.229	11.171
502-507L	55.302	0.868	1.069	50.705	-135.352	-134.539

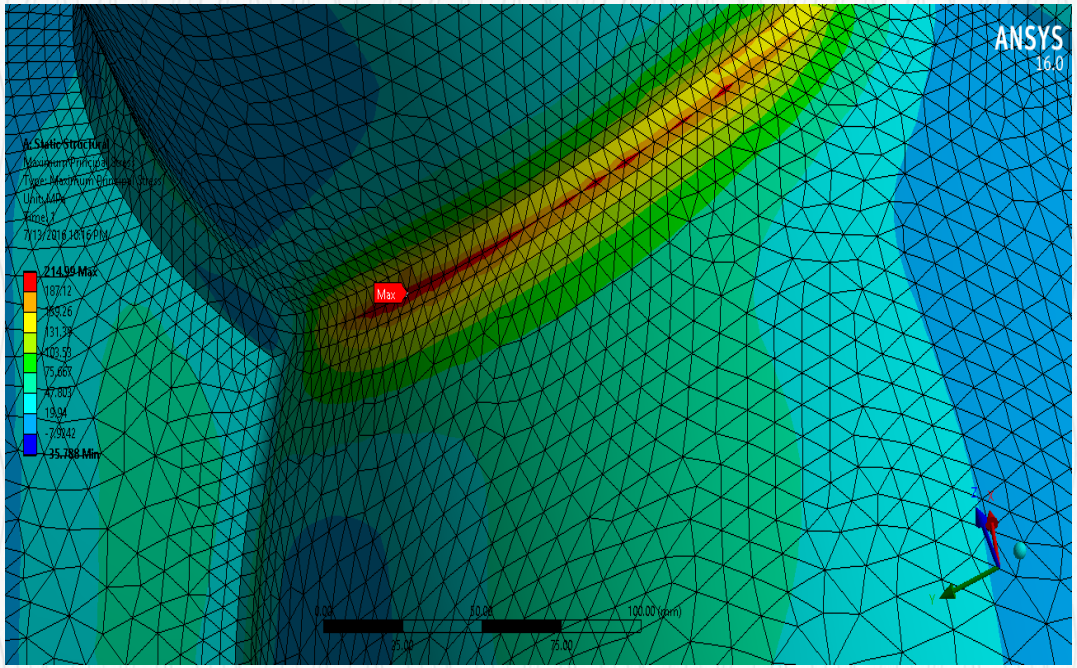
Pembebanan Minimum

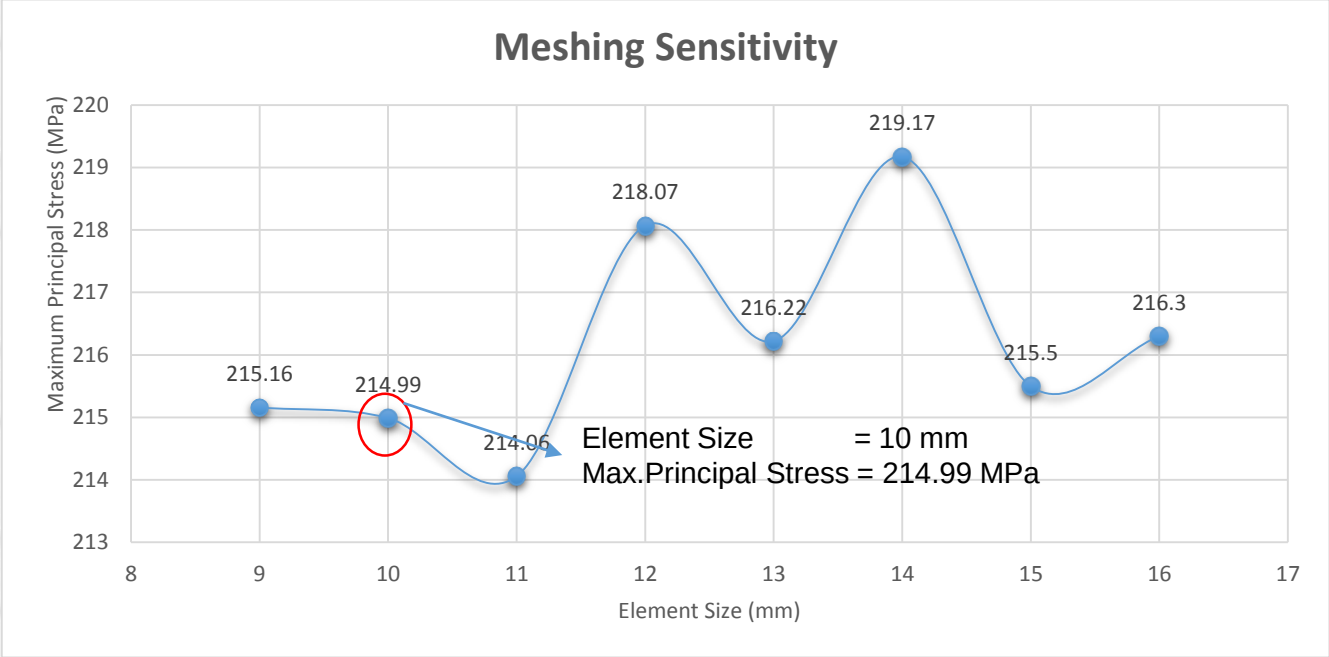
Member	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	kN	kN	kN	kN.m	kN.m	kN.m
502 - 603L	104.108	-1.094	0.835	-14.009	-15.539	112.957
502 - 602	-35.168	-0.086	-2.413	0.324	264.265	-2.178
502-607L	-44.671	1.393	-0.288	0.611	-32.132	-184.515
524-502	-6.554	0.642	-6.660	30.164	-355.799	16.372
502-503	8.555	1.282	-0.234	30.204	59.946	-75.473
521-502	0.028	0.129	-7.296	-75.684	-426.351	10.024
502-507L	35.775	0.916	0.970	47.440	-123.856	-144.385





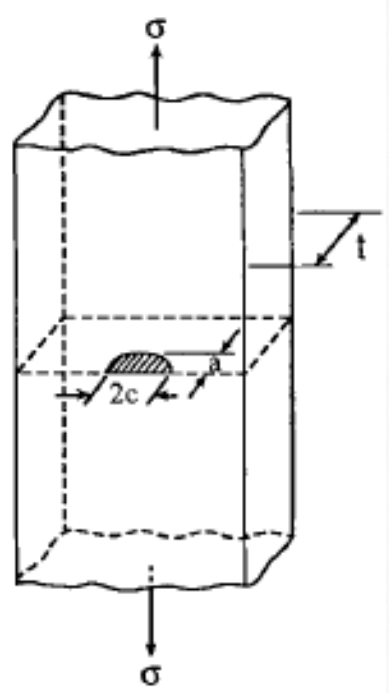
Meshing Sensitivity





Perhitungan SIF

Persamaan SIF untuk bentuk retak *Semi-Elliptical*



$$K_I = 1.12\,\sigma\sqrt{\pi\,\frac{a}{Q}}\cdot M_k$$

Dimana :

σ = Tegangan utama

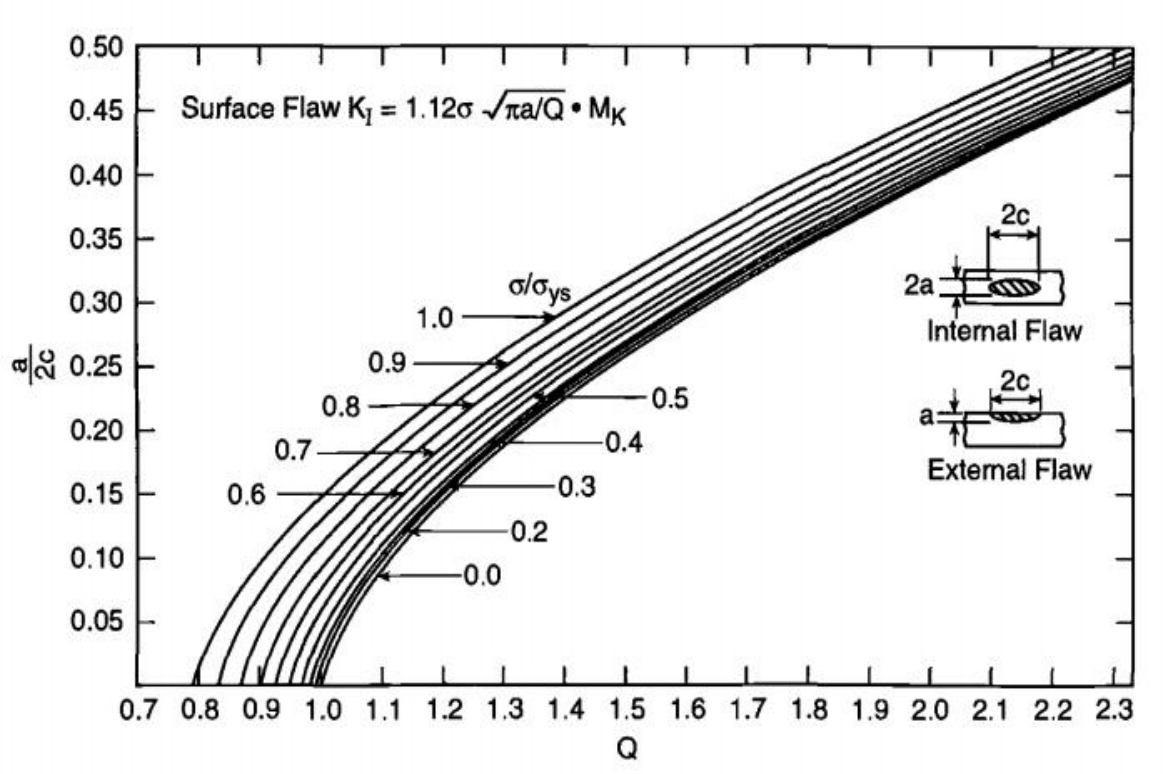
a = panjang retak

Q = *front free surface correction factor*

M_k = back surface correction factor

$$M_K = 1.0 + 1.2\left(\frac{a}{t} - 0.5\right)$$

M_k digunakan apabila $a/t \geq 0.5$



Perhitungan SIF

Data Retak

a	0.50 mm	=	0.0005 m
2c	3.33 mm	=	0.0033 m
a/2c	0.15		
t	0.375 in	=	0.00952 m
a/t	0.052		

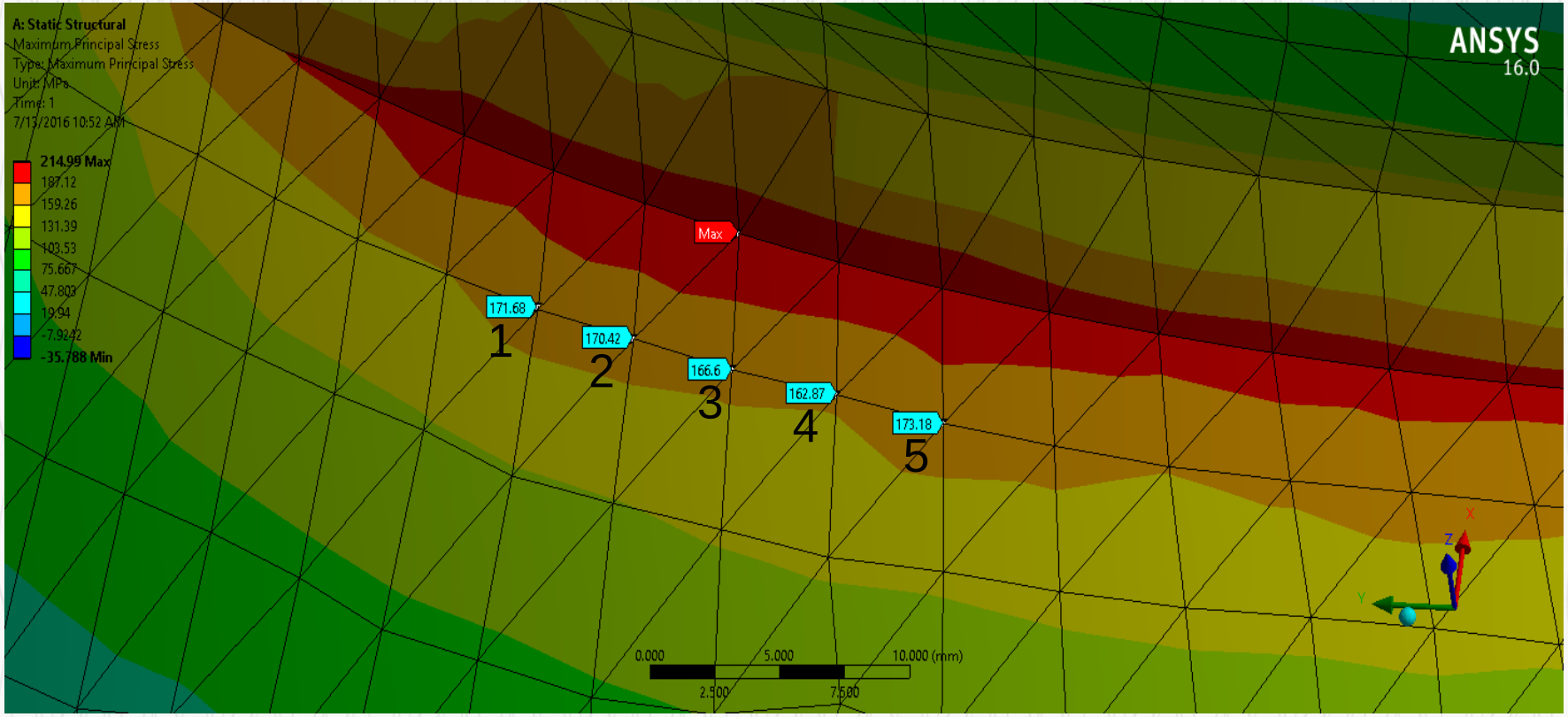
Perhitungan SIF minimum

Titik	σ_{min}	σ_{ys}	σ_{min}/σ_{ys}	Q	M_k	K_1 (MPa.m^0
1	140.05	240	0.58	1.15	1	7.30
2	138.93		0.58	1.15	1	7.23
3	145.41		0.61	1.14	1	7.04
4	144.61		0.60	1.13	1	6.86
5	151.66		0.63	1.12	1	7.36

Perhitungan SIF maksimum

Titik	σ_{max}	σ_{ys}	σ_{max}/σ	Q	M	K_1 (MPa.m$^{0.5}$)
1	171.68	240	0.72	1.09	1	7.30
2	170.42		0.71	1.09	1	7.23
3	166.6		0.69	1.10	1	7.04
4	162.87		0.68	1.110	1	6.86
5	173.18		0.72	1.09	1	7.36

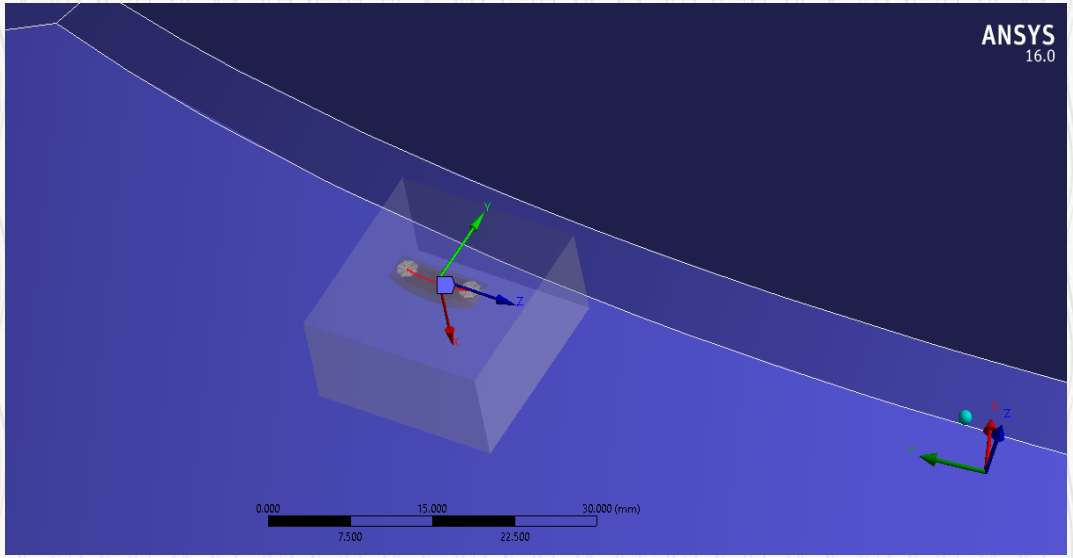
Pemodelan *Crack*

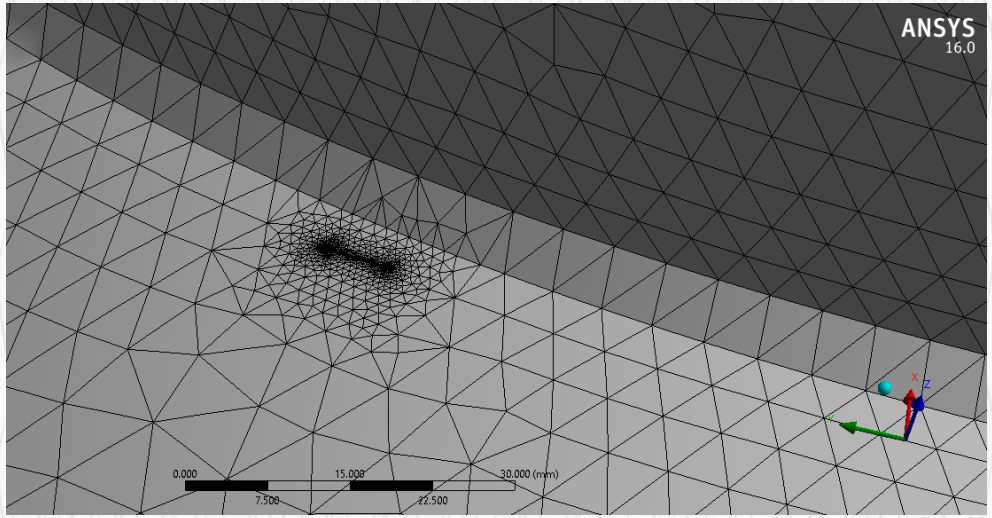


Pemodelan *Crack*

Data Retak

a	0.50 mm	=	0.0005 m
2c	3.33 mm	=	0.0033 m
a/2c	0.15		
t	0.375 in	=	0.00952 m
a/t	0.052		





Validasi SIF

SIF minimum

Titik	K_1 (MPa.m½)		Error
	Manual	ANSYS	
1	5.797	5.763	0.590
2	5.751	5.890	2.428
3	6.045	5.837	3.439
4	6.025	5.830	3.245
5	6.361	5.819	8.522

SIF maksimum

Titik	K_1 (MPa.m½)		Error
	Manual	ANSYS	
1	7.299	6.737	7.704
2	7.229	6.738	6.800
3	7.035	6.677	5.088
4	6.862	6.650	3.090
5	7.363	6.664	9.499

Kesimpulan

- Nilai Stress Intensity Factor (SIF) terbesar dengan pembebanan maksimum 6,86 MPa√m dan 6,02 MPa√m dengan pembebanan minimum serta nilai ini masih jauh dari besarnya nilai fracture toughness yaitu 182.19 MPa√m yang merupakan nilai SIF kritis, sehingga kondisi *tubular joint* 502 masih memenuhi dalam kriteria perancangan
- Laju perambatan retak terbesar pada *tubular joint* 502 yaitu 1,59E-10 in/cycle, yang merupakan laju perambatan retak region II, yang berarti laju perambatan retak masih dalam kategori stabil.
- Perhitungan umur kelelahan yang terjadi pada *tubular joint* 502 dengan meninjau kedalaman retak terkritis dengan metode analitis dan numerik secara berturut-turut adalah 2,59E+08 cycles dan 1,13E+08 cycles

Saran

- Diperlukan analisa lebih lanjut untuk menentukan sisa umur kelelahan dengan data inspeksi yang sudah dilakukan atau dengan menggunakan variasi parameter a/2c pada kondisi retak awal.
- Analisa keandalan perlu dilakukan untuk mengetahui indeks keandalan sambungan kritis tehadap umur kelelahan struktur yang diakibatkan oleh *surface crack*.

Daftar Pustaka

Annastasia, Roro Prasidha. 2005. "**Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T Yang Memiliki Retak Semi Elliptical Pada Chord Dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics"**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

ANSYS 16.0. 2014. **ANSYS Documentation**.

API RP 2A.(2000). "***Recommended Practice for Planning, Designing & Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design***", 21th Edition, American Petroleum Institue.

AWS D1.1.(2010). ***"Structural Welding Code-Steel"***, 22nd Edition, American National Standard Institute.

Barsom, J. M., dan Rolfe, S.T. 1999. ***Fracture and Fatigue Control in Structures, Third Edition***. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

Blake, A. 1996. ***Practical Fracture Mechanics in Design***. USA: Marcel Dekker, Inc

Broek, D. 1984. ***Elementary Engineering Fracture Mechanics.*** Netherlands: Martinus Nijhoff Publisher.

Chakrabarti, et al. (2005). **An Overview Of The Reassessment Studies Of Fixed Offshore Platforms In The Bay Of Campeche, Mexico**. Proceedings of OMAE 2005. 24th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE 2005). June 12-16, 2005, Halkidiki, Greece

Huang, X., dan Hancock, J. W. 1988. ***The Stress Intensity Factor of Semi-Elliptical Crack in a Tubular Welded T-***

Daftar Pustaka

Maddox, S. J. 1999***. Fatigue Strength of Welded Structures****.* England: Abington Publishing.

Murdjito.1996. ***Diktat Pengantar Bangunan Lepas Pantai. Kursus Segitiga Biru ITS – Unhas – Unpati***. FTK ITS. Surabaya.

Prastianto, Rudi W. (2013). ***Diktat Mata Kuliah Perencanaan dan Konstruksi Bangunan Laut III*****.** Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.

Rhee, H. Chong. 1989. ***Fatigue Crack Growth Analysis of Offshore Structural Tubular Joints.*** Engineering Fracture Mechanics, 34, 1231-1239.

Ridloudin, Ahmad. 2004. ***Analisis Perhitungan Umur Kelelahan (Fatigue Life) Struktur Hangtuah MogPU Platform di Perairan Natuna Barat*** . Tugas Akhir. Jurusan Teknik Kelautan. ITS.

Rosyid, D. M. 1996. **Perancangan Struktur Anjungan Lepas Pantai Filosofi, Prosedur, Model Analisis**. ITS. Surabaya.

Stoychev, S., dan Kujawski, D. 2008. ***Crack-tip Stresses and Their Effects on Stress Intensity Factor for Crack Propagation.*** Engineering Fracture Mechanics, 75, 2469-2479.

Sutomo, J. (1997). ***Diktat Mata Kuliah Kelelahan dan Kepecahan*****.** Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.

Varga, T., 1993, ***Crack Initiation, Propagation and Arrest Criteria for Steel Structure Safety Assessment***, *Structural*

TERIMA KASIH