



TUGAS AKHIR- MO184804

**ANALISIS UMUR KELELAHAN XA-PRO PLATFORM MENGGUNAKAN
METODE *FRACTURE MECHANICS* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
*VARIABLE AMPLITUDE LOAD***

**CAESAR ADZA MAHENDRA
NRP. 0431154000018**

**DOSEN PEMBIMBING:
NUR SYAHRONI, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2019



FINAL PROJECT - MO184804

**Analysis of Fatigue Life on XA-Pro Platform Using Fracture
Mechanics Method by Considering Variable Amplitude Load**

**CAESAR ADZA MAHENDRA
NRP. 0431154000018**

**SUPERVISORS:
NUR SYAHRONI, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T. ,M.T.**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

**Analisis Umur Kelelahan XA-Pro Platform Menggunakan Metode
Fracture Mechanics dengan Mempertimbangkan *Variable Amplitude*
Load**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program
studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan


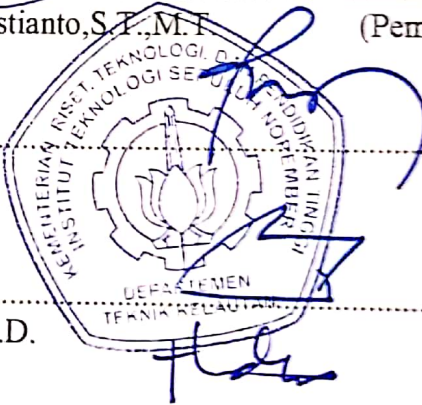
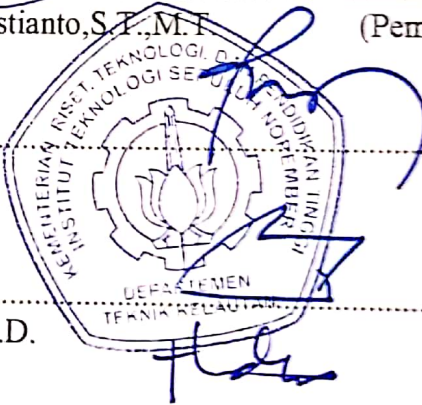
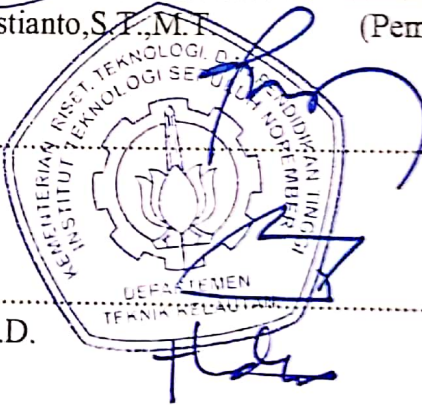
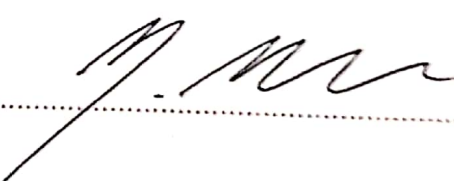
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Caesar Adza Mahendra

NRP. 04311540000018

Disetujui Oleh:

1. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji)

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji)

5. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji)


Surabaya, Juli 2019

Analisis Umur Kelelahan XA-Pro Platform Menggunakan Metode *Fracture Mechanics* dengan Mempertimbangkan *Variable Amplitude Load*

Nama Mahasiswa : Caesar Adza Mahendra

NRP : 0431154000018

Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS

Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto,S.T.,M.T.

ABSTRAK

Di Indonesia, anjungan lepas pantai didominasi oleh anjungan lepas pantai terpancang (*fixed platform*) dengan rata-rata masa beroperasi sudah lebih dari 20 tahun. Oleh karena itu umur kelelahan pada struktur lepas pantai harus diketahui untuk mengantisipasi salah satu penyebab utama kegagalan sebuah struktur terutama di lepas pantai. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis umur kelelahan sebuah anjungan lepas pantai terpancang (*fixed platform*) menggunakan metode *fracture mechanics*. Struktur yang dijadikan objek penelitian adalah XA-Pro Platform milik Pertamina EP. Struktur akan dianalisa lokal setelah diketahui umur kelelahan secara global dengan metode *cumulative damage*. Pada analisa menggunakan metode *fracture mechanics* diawali dengan menentukan *joint* kritis pada struktur yang memiliki umur kelelahan terendah akibat beban lingkungan dengan bantuan software. Kemudian dilakukan analisis perambatan retak pada *joint* kritis tersebut dengan persamaan Paris Law yang telah dimodifikasi oleh Barsom (1999) pada kondisi *Variable Amplitude Load* sehingga diperoleh umur kelelahan struktur tersebut menggunakan metode *fracture mechanics*. Dari hasil analisis diperoleh umur kelelahan platform sebesar 0,51 tahun menggunakan metode *fracture mechanics*, dimana umur kelelahan ini lebih rendah dibandingkan menggunakan metode *cumulative damage*. Sehingga dapat disimpulkan, dengan adanya retak membuat umur kelelahan struktur berkurang.

Kata kunci : *cumulative damage, fracture mechanics, variable amplitude load, umur kelelahan*

**Analysis of Fatigue Life on XA-Pro Platform Using Fracture Mechanics
Method by Considering Variable Amplitude Load**

Nama of Student : Caesar Adza Mahendra
NRP : 0431154000018
Department : Teknik Kelautan FTK-ITS
Supervisor : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto,S.T.,M.T.

ABSTRACT

In Indonesia, offshore platforms are dominated by fixed platforms with an average operating period of more than 20 years. Therefore, fatigue life in offshore structures must be known to anticipate one of the main causes of failure of a structure, especially offshore. In this research, the analysis of fatigue life on a fixed platform using a fracture mechanics method will be carried out. The structure used as the object of research is XA-Pro Platform owned by Pertamina EP. The structure will be analyzed locally after fatigue life is known globally by the method of cumulative damage. In the analysis using the fracture mechanics method begins by determining the joint critical in the structure that has the lowest fault fatigue life due to environmental loads with the help of software. Then the crack propagation analysis at the joint critical was carried out with the Paris Law equation modified by Barsom (1999) on the Variable Amplitude Load condition, so that the fatigue life of the structure was obtained using the fracture mechanics method. From the analysis results obtained by platform fatigue life of 0.51 years using the fracture mechanics method, where the fatigue life is lower than using the cumulative damage method. So that it can be concluded, in the presence of cracks the structure's fatigue life is reduced.

Keyword : *cumulative damage, fracture mechanics, variable amplitude load, fatigue life*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Umur Kelelahan XA-Pro Platform Menggunakan *Metode Fracture Mechanics* dengan Mempertimbangkan Variable Amplitude Load” dengan sebaik-baiknya. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Diharapkan tugas akhir ini dapat digunakan untuk mengetahui umur kelelahan XA-Pro Platform dengan menggunakan metode *fracture mechanics* dengan mempertimbangkan *Variabel Amplitude Load*.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis memohon maaf apabila masih terdapat kesalahan dan kekurangan. Kritik dan saran sangatlah diharapkan kedepannya. Besar harapan penulis, semoga hasil dari tugas akhir ini dapat berguna bagi penulis sendiri maupun pihak-pihak lain.

Surabaya, Juli 2019

Caesar Adza Mahendra

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan moril dan materiil kepada penulis selama mengerjakan tugas akhir ini diantaranya kepada :

1. Keluarga yang selalu memberi dukungan moral dan spritual hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah menyempatkan waktunya dalam mendidik, membimbing, dan memberikan ilmunya untuk membantu menyelesaikan tugas akhir ini
3. Bapak Dr.Eng. Rudi Waluyo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah menyempatkan waktunya dalam mendidik, membimbing, dan memberikan ilmunya untuk membantu menyelesaikan tugas akhir ini
4. Teman-teman yang dosen pembimbingnya sama dengan saya yang telah menjadi teman seperjuangan bersama penulis dan membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Serta pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Surabaya, Juli 2019

Caesar Adza Mahendra

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 Anjungan Lepas Pantai Terpancang (Fixed Offshore Platform)	6
2.2.2 Tubular Joint	7
2.2.3 <i>Hot-spot Stress</i>	8
2.2.4 Metode <i>Cummulative Damage</i>	10
2.2.5 Metode Mekanika Kepecahan (<i>Fracture Mechanics</i>)	13
2.2.6 <i>Stress Intensity Factor</i>	14
2.2.7 Fracture Thougness (K_{IC})	16
2.2.8 Perambatan Retak Paris-Erdogan	17
2.2.9 Kedalaman Retak Kritis (a_{cr})	19
2.2.10 <i>Variable Amplitude Load (VAL)</i>	19
2.2.11 Umur Kelelahan	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Deskripsi Diagram Alir Penelitian	22
3.3 Data Struktur	23
3.4 Data Lingkungan	28

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Analisis Global XA-Pro Platform	35
4.1.1 Permodelan dan Validasi Platform.....	35
4.1.2 Analisis Inplace.....	36
4.1.3 Analisis Umur Kelelahan dengan Metode <i>Cummulative Damage</i> .	40
4.2 Analisis Lokal XA-Pro Platform.....	43
4.2.1 Menentukan <i>Joint</i> Kritis.....	43
4.2.2 Analisa Perubahan SIF dan Perambatan Retak.....	45
4.2.3 Perhitungan Umur Kelelahan.....	54
BAB V PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
Daftar Pustaka	57
Lampiran :	
Lampiran A	A1
Lampiran B	B1
Lampiran C	C1
Lampiran D	D1
Lampiran E.....	E1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi Platform XA-Pro	2
Gambar 2.1 Element Anjungan Lepas Pantai Terpancang.....	6
Gambar 2.2 Parameter-Parameter <i>Tubular Joint</i>	7
Gambar 2.3 Tipe <i>Tubular Joint</i>	7
Gambar 2.4 Gaya Dan Beban Pada <i>Tubular Joint</i>	8
Gambar 2.5 Letak <i>Hot-Spot Stress</i> Pada <i>Tubular Joint</i>	9
Gambar 2.6 Kurva S-N	11
Gambar 2.7 Delapan titik (hot-spot) pada garis interaksi <i>brace</i> dan <i>chord</i>	12
Gambar 2.8 Mode Perambatan Retak	14
Gambar 2.9 Retak Pada Permukaan Bentuk <i>Semi Elliptical</i>	15
Gambar 2.10 Grafik Perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys}	16
Gambar 2.11 Kurva Perambatan Retak.....	17
Gambar 2.12 Data Frekuensi Kejadian Pada Rentang Tegangan Tertentu.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	21
Gambar 3.2 Arah Orientasi Platform Dan Gelombang XA-Pro	24
Gambar 3.3 Elevasi Pada XA-Pro.....	25
Gambar 3.4 Data Gelombang Vs Arah	29
Gambar 3.5 Data Gelombang Vs Periode	30
Gambar 4.1 Permodelan XA-Pro <i>Platform</i>	35
Gambar 4.2 Lokasi <i>Member UC Plot</i> Hasil Analisa In-Place - <i>Jacket</i>	39
Gambar 4.3 Ringkasan Lokasi Joint Punching Shear Hasil Analisa In-Place	40
Gambar 4.4 Lokasi Joint Dengan Umur Kelelahan	42
Gambar 4.5 Lokasi <i>joint</i> 407L	44
Gambar 4.6 Detail multiplanar tubular joint 407L.....	44
Gambar 4.7 Grafik rentang tegangan dan jumlah kejadiannya.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ringkasan Beban Struktur	26
Tabel 3.2 Kedalaman Air Laut.....	28
Tabel 3.3 Pasang Surut Air Laut.....	28
Tabel 3.4 Arus Dan Gelombang.....	29
Tabel 3.5 Data Gelombang Vs Arah.....	30
Tabel 3.6 Data Gelombang Vs Periode.....	31
Tabel 3.7 Kecepatan Angin.....	32
Tabel 3.8 Marine Growth.....	32
Tabel 3.9 Parameter Hidrostatik.....	33
Tabel 4.1 Validasi berat struktur <i>Platform XA-Pro</i>	36
Tabel 4.2 Hasil <i>Member Stress Check</i>	37
Tabel 4.3 Hasil <i>Joint Punching Shear</i>	38
Tabel 4.4 Umur kelelahan <i>joint</i> di <i>XA-Pro Platform</i>	41
Tabel 4.5 Geometri multiplanar tubular joint 407L	45
Tabel 4.6 Rentang tegangan dan jumlah kejadiannya.....	48
Tabel 4.7 Perhitungan perubahan SIF	50
Tabel 4.8 Perhitungan laju perambatan retak.....	53

BAB I

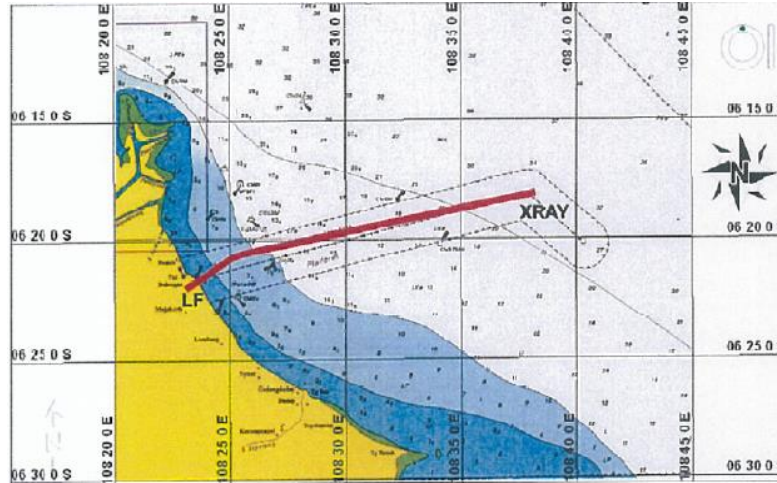
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perkembangan industri minyak dan gas di Indonesia tidak dapat lepas dari pengaruh pengeoperasian anjungan lepas pantai yang digunakan untuk eksplorasi maupun produksi. Di Indonesia, anjungan lepas pantai didominasi oleh anjungan lepas pantai terpancang (*fixed platform*) dengan rata-rata masa beroperasi sudah lebih dari 20 tahun . Dengan melihat kebutuhan industri minyak dan gas saat ini, banyak dari anjungan lepas pantai yang masih dilanjutkan masa beroperasinya hingga saat ini dengan mempertimbangkan salah satu faktor penting dalam perpanjangan masa beroperasi yaitu umur kelelahan (*fatigue life*) dari anjungan lepas pantai tersebut.

Dalam tugas akhir ini dilakukan analisis untuk mengetahui umur kelelahan dari *Platform XA-Pro* milik Pertamina EP yang telah beroperasi selama 43 tahun dari mulai tahun 1974 dan masih terus beroperasi hingga sekarang. *Platform* ini direncanakan masih akan beroperasi untuk 20 tahun kedepan.. Lokasi platform terletak di bidang X-Ray \pm 36 km sebelah timur laut dari kota Indramayu seperti pada Gambar 1.1. *Platform* ini memiliki 8 kaki struktur dengan *Main Meck*, *Cellar Deck* dan 6 pasang *risers* yang beroperasi pada kedalaman 111 ft.

Analisis umur kelelahan pada *Platform XA-Pro* dapat diperoleh menggunakan beberapa metode , satu diantaranya yaitu *fracture mechanics*. Pada *joint* yang kritis dengan umur kelelahan rendah dari hasil perhitungan metode *cumulative damage* dengan *spectral analysis* akan dilanjutkan dengan analisis lokal menggunakan metode *fracture mechanics* dengan mempertimbangkan *variable amplitude load* untuk memperoleh *stress intensity factory* yang akan digunakan untuk mengetahui laju perambatan retak dengan tipe retak *semi elliptical*, sehingga pada akhir analisis dapat diketahui umur kelelahan pada *platform* tersebut akibat adanya retak.



Gambar 1.1 Lokasi Platform XA-Pro

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan diteliti dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Berapakah perubahan *stress intensity factor* pada *tubular joint* kritis dengan variasi kedalaman retak dan bentuk retak *semi elliptical*?
2. Bagaimana perambatan retak pada *tubular joint* kritis dengan mempertimbangkan *variable amplitude load* ?
3. Berapa umur kelelahan struktur XA-Pro Platform yang dianalisis menggunakan metode *fracture mechanics* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam tugas akhir ini antara lain :

1. Menganalisis perubahan *stress intensity factor* pada *tubular joint* kritis dengan dengan variasi kedalaman retak dan bentuk retak *semi elliptical*.
2. Menganalisis perambatan retak pada *tubular joint* kritis dengan mempertimbangkan *variable amplitude load*.
3. Menghitung umur kelelahan struktur XA-Pro Platform yang dianalisis menggunakan metode *fracture mechanics*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah mengetahui umur kelelahan Platform *XA-Pro* menggunakan metode *fracture mechanics* dengan mempertimbangkan *variable amplitude load*.

1.5 Batasan Masalah

Berikut adalah beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini.

1. Menggunakan metode *linear elastic fracture mechanics (LEFM)* dalam perhitungan *stres intensity factor*.
2. Analisis lokal hanya dilakukan pada *multiplanar tubular joint* di struktur *jacket leg* yang kritis.
3. Retak diasumsikan baru muncul saat masa perpanjangan operasi dengan bentuk retak awal yang digunakan yaitu *semi elliptical*.
4. Pengaruh tegangan sisa dalam proses pengelasan diabaikan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai latar belakang penelitian dalam tugas akhir ini, permasalahan apa saja akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang ingin diperoleh , batasan-batasan masalah yang digunakan, dan sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini menjabarkan tinjauan pustaka yang digunakan dimana didalamnya terdapat teori-teori yang digunakan dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan tahapan-tahapan dan metode yang digunakan dalam pengerjaan dan penyelesaian penelitian dalam tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas proses pengerjaan dan penyelesaian dari permasalahan yang diteliti dalam tugas akhir ini. Selain itu terdapat juga validasi , pengolahan, analisis, dan pembahasan hasil dari *output software* yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini membahas mengenai kesimpulan dari hasil analisis tugas akhir ini yang telah menjawab semua rumusan masalah dan saran-saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Di dalam dunia *engineering* pada praktiknya sudah banyak diketahui bahwa sebuah *offshore platform* khususnya *Fixed Offshore Platform* masih layak beroperasi meskipun sudah tidak memenuhi standar desain saat ini (API, 2005). Maka dari itu di Indonesia masih banyak *Fixed Offshore Platform* yang masih beroperasi hingga saat ini meskipun sudah lebih dari 20 tahun beroperasi.

Di dalam jurnalnya, Langen (2002) menyatakan bahwa sebagian besar dan penyebab utama kegagalan pada struktur *Fixed Offshore Platform* diakibatkan oleh kelelahan struktur. Kelelahan pada pada struktur *Fixed Offshore Platform* terjadi di tubular joint disebabkan oleh beban siklis akibat gelombang, arus, dan beban lingkungan lainnya. Dari beban siklis tersebut kedepannya dapat menimbulkan retakan awal pada *hot-spot stress* di tubular joint. Untuk menganalisis umur struktur akibat kelelahan tersebut biasanya digunakan *metode cumulative damage* untuk analisis global dan *metode fracture mechanics* untuk analisis lokal.

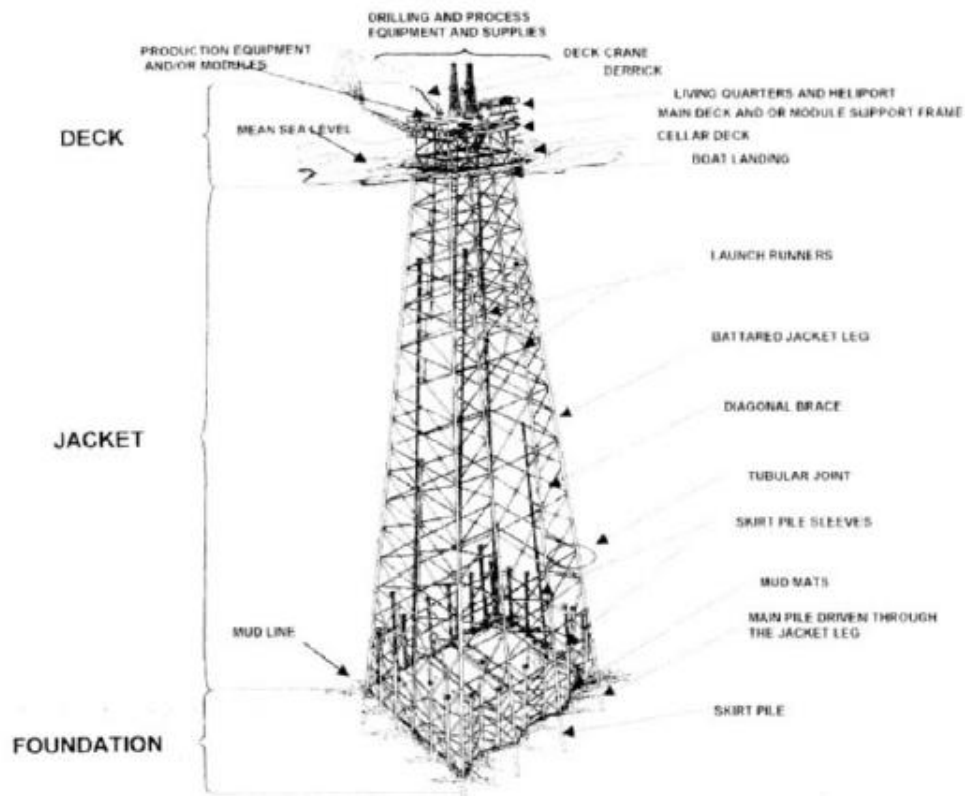
Salah satu tahapan dalam metode *fracture mechanics* yaitu menganalisis bagaimana terjadinya perambatan retak. Perambatan retak pada struktur bergantung pada *amplitude*, *stress ratio*, dan frekuensi dari beban yang mengenai struktur tersebut. Untuk kondisi *variable amplitude load*, cukup sulit untuk memodelkan beberapa parameter diatas secara tepat. Namun beberapa model atau gagasan telah ditemukan untuk memprediksi umur kelelahan suatu struktur akibat *variable amplitude load*. Model yang paling pertama ditemukan berdasarkan pada perhitungan *yield zone* di depan ujung retak dan masih banyak digunakan. Model Wheeler (1972) dan Willenborg (1971) keduanya masuk pada kategori model diatas. Telah dilakukan juga penelitian dengan Model yang lainnya yaitu berdasarkan pendekatan *crack closure* oleh Elber (1972) dan Newman (1984) serta penelitian dengan kombinasi antara Wheeler model dengan Newman model yaitu model berdasarkan energi regangan oleh Huang et al (2005). Beberapa model diatas memiliki kemiripan yaitu

berdasarkan kondisi retak yang ada. Namun telah dilakukan penelitian juga mengenai perhitungan umur kelelahan struktur yang menggunakan riwayat beban lingkungan yang diterima struktur dari *block loading* atau *spectrum loading* untuk melihat laju perambatan retaknya yaitu metode RMS oleh Barsom dan Rolfe (1999).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Anjungan Lepas Pantai Terpancang (Fixed Offshore Platform)

Menurut Chakrabarti (2005), anjungan lepas pantai terpancang terdiri dari beberapa elemen pendukung yang dapat dilihat pada Gambar 2.1, diantaranya adalah



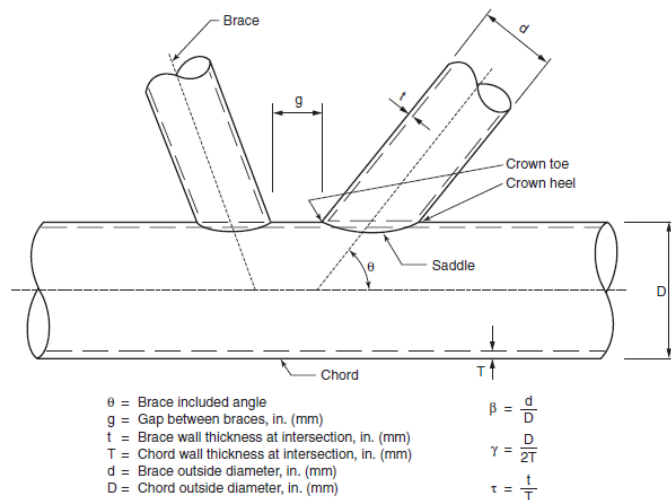
Gambar 2.1 Element Anjungan Lepas Pantai Terpancang
(Sumber: Chakrabarti, 2005)

1. Deck, sebagai tempat diletakkannya fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan untuk operasional platform sesuai dengan fungsinya
2. Jacket, sebagai penyokong struktur yang berada dibagian atas dari struktur jacket tersebut serta menahan beban lingkungan seperti gelombang dan arus.

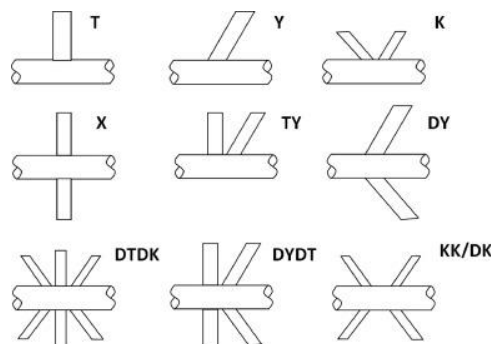
3. Pondasi. pada anjungan lepas pantai tepancang biasanya pondasi menggunakan pile yang dipancangkan ke dasar laut untuk meneruskan beban-beban yang ada pada deck ke bawah tanah.

2.2.2 Tubular Joint

Menurut *API WSD 21st Edition* tubular joint merupakan penghubung dari sambungan tubular yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian utama disebut dengan chord dan bagian cabang disebut dengan brace yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Kondisi tubular joint dalam suatu struktur tidak dapat terlepas dari pengaruh cacat ataupun kerusakan-kerusakan yang terjadi akibat beban statis maupun dinamis yang mengenai struktur tersebut. Tipe *tubular joint* terbagi menjadi beberapa macam seperti tipe T,K,Y,N, X dan *multiplanar* yang dapat dilihat pada Gambar 2.3



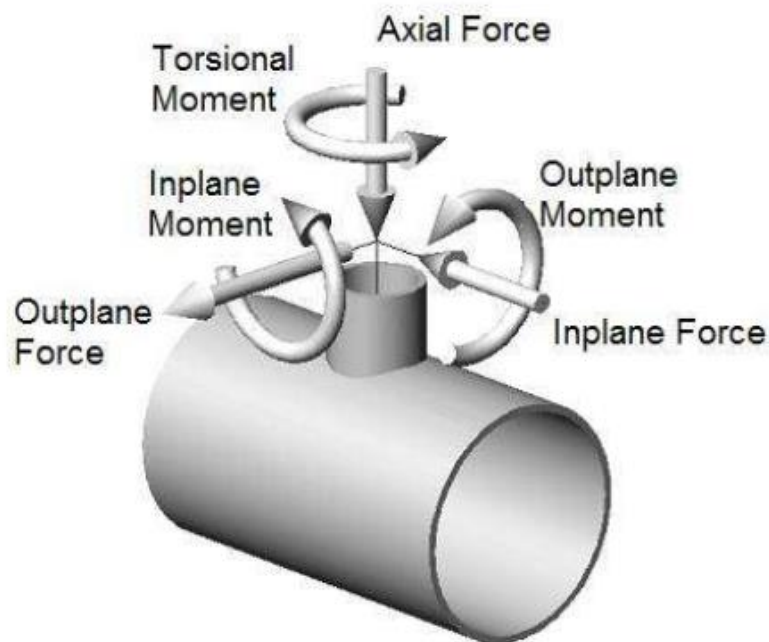
Gambar 2.2 Parameter-Parameter *Tubular Joint*
(Sumber : API WSD 21st Edition, 2005)



Gambar 2.3 Tipe *Tubular Joint*
(Sumber: S Dikshant, 2016)

Pada *tubular joint* akan bekerja beberapa gaya dan pembebanan dasar seperti pada Gambar 2.4. Berikut uraian singkat tentang gaya dan beban-beban tersebut.

- a. Beban aksial, beban aksial merupakan beban yang bekerja searah dengan sumbu *brace*.
- b. Gaya geser, komponen tegangan yang bekerja melintang pada sambungan tubular
- c. Beban *in-plane*, *bending moment* yang bekerja searah dengan sumbu *chord*
- d. Beban *out-plane*, *bending moment* yang bekerja tegak lurus dengan sumbu *chord*
- e. Momen torsi, momen yang bekerja searah dengan sumbu *brace*

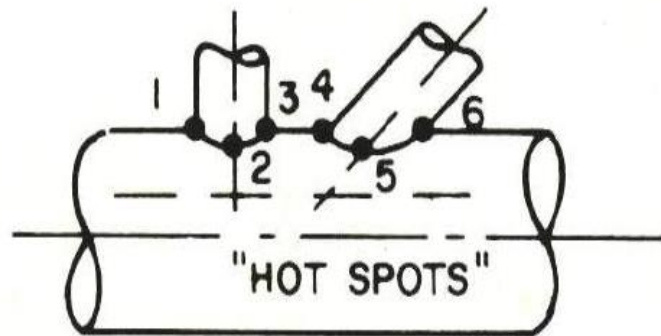


Gambar 2.4 Gaya Dan Beban Pada *Tubular Joint*
(Sumber: S Dikshant, 2016)

2.2.3 *Hot-spot Stress*

Kombinasi beban-beban yang bekerja pada *tubular joint* akan menimbulkan tegangan yang terpusat pada daerah tertentu. Tegangan ini disebut juga dengan *hot spot stress*. Menurut Straub dan Faber (2002) posisi

hot spot stress dapat menentukan lokasi awal terjadinya kegagalan. Posisi *hot spot stress* ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Letak *Hot-Spot Stress* Pada *Tubular Joint*
(Sumber: Graff, 1981)

Menurut Walujo (2015), ada tiga tipe jenis tegangan dasar yang menjadi penyebab timbulnya *hot spot stress*, yaitu:

a. Tegangan Primer (tipe A)

Tegangan tipe A disebabkan oleh kombinasi gaya aksial dan momen yang bekerja pada sambungan *tubular*. Pada Gambar 2.5 dapat dilihat bahwa tegangan pada lokasi *hot spot* 1, 3, 4 dan 6 diakibatkan oleh *axial force* dan *in-plane bending moment* yang bekerja. Sementara itu tegangan di sekitar *hot spot* 2 dan 5 diakibatkan oleh *axial force* dan *out-of-plane bending moment*.

b. Tegangan Sekunder (tipe B)

Tegangan tipe ini diakibatkan oleh kondisi dari sambungan *tubular* itu sendiri. Geometri yang buruk menjadi faktor utama dari tegangan ini. Tegangan ini juga cenderung memperbesar nilai dari tegangan primer.

c. Tegangan Sekunder (tipe C)

Tegangan ini disebabkan oleh faktor metalurgis dari pengelasan pada sambungan. Cacat las seperti porositas, *undercut*, laju pendinginan yang bervariasi. Untuk itu perlu ada control yang baik pada saat pengelasan guna

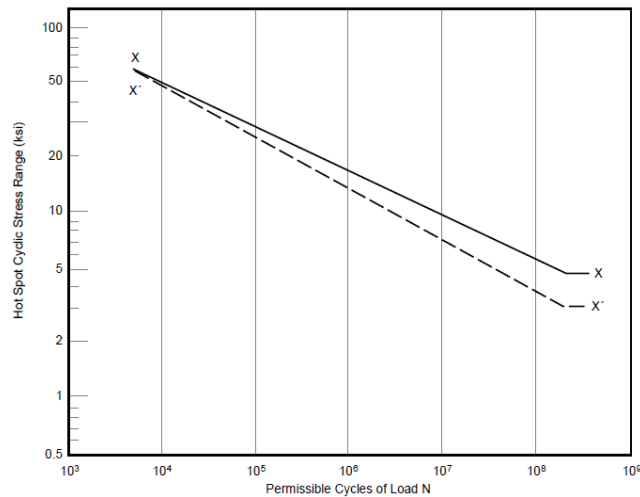
meminimalisir besar tegangan yang terjadi. Tegangan dengan tipe ini biasanya dominan pada titik *hot spot* 1, 3, 4, dan 6.

2.2.4 Metode *Cummulative Damage*

Cummulative damage merupakan suatu metode untuk menentukan umur kelelahan suatu struktur akibat beban dinamis yang diakibatkan oleh beban lingkungan, seperti beban gelombang, arus, dan angin. *cummulative damage* dibagi menjadi dua jenis analisis yaitu *deterministic analysis* dan *spectral analysis*. Dalam tugas akhir ini untuk perhitungan umur kelelahan dengan metode *cummulative damage* digunakan *spectral analysis*. *Spectral analysis* digunakan untuk perhitungan kerusakan kelelahan suatu struktur yang mengalami pembebanan dinamik untuk jumlah siklus tegangan yang banyak seperti gaya gelombang. Parameter parameter yang digunakan dalam analisis ini adalah sebagai berikut :

a. Kurva S-N

Kurva S-N merupakan karakteristik kelelahan yang umumnya digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan yang berulang dengan besar yang sama. Kurva S-N didapatkan dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang dengan jumlah N siklus hingga terjadi suatu kegagalan. Besarnya jumlah N berbanding terbalik dengan rentang tegangan S (tegangan maksimum – tegangan minimum). Kurva S-N seperti pada Gambar 2.6 memberikan informasi karakteristik kelelahan dengan amplitudo pembebanan konstan



Gambar 2.6 Kurva S-N
(Sumber: API-RP 21 WSD,2000)

b. Aturan Palmgren – Miner

Untuk menentukan seberapa dekat nilai siklus dari rentang tegangan yang menyebabkan *failure* yang kemudian disebut dengan kerusakan *fatigue* dapat menggunakan aturan *Palmgren-Miner* sebagai berikut :

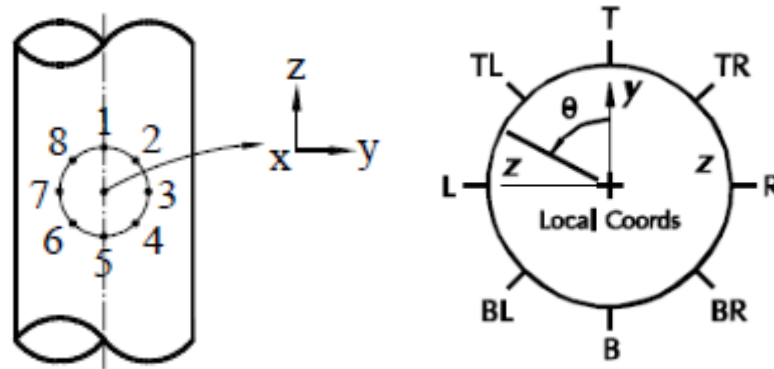
$$D = \sum_{i=1}^N \frac{N_{applied_i}}{N_{resisted_i}} \quad (2.1)$$

c. *Stress Concentration Factor* (SCF)

Stress Concentration Factor (SCF) adalah perbandingan antara tegangan di daerah hot spot dengan tegangan nominal pada penampang. Faktor ini dipengaruhi oleh besaran-besaran dari sambungan, konfigurasi sambungan. Rentang tegangan dapat didefinisikan sebagai rentang tegangan nominal dikalikan *Stress Concentration Factor*. Untuk mencari besarnya SCF dapat dilakukan dengan pengukuran langsung atau menggunakan rumus-rumus pendekatan seperti Kuang,Smedly, Marshall, dll.

Dalam penelitian ini, analisis kelelahan pada *tubular joint* ditinjau dari 8 titik (hot spot) sepanjang garis interaksi *brace* dan *chord*. Hal ini mengacu pada DNV RP-203. Delapan titik (hot spot) sepanjang garis interaksi *brace* dan *chord* dapat dilihat pada Gambar 2.7. Pada SACS 5.6, 8

titik ini dikenal dengan istilah 1=Top, 2= Top-Right, 3=Right, 4=Bottom-Right, 5=Bottom, 6= Bottom-Left, 7=Leftt, dan 8= Top-Left



Gambar 2.7 Delapan titik (hot-spot) pada garis interaksi *brace* dan *chord*
(Sumber: DNV RP C203 dan SACS Manual)

d. Frekuensi Natural

Frekuensi natural merupakan salah satu faktor penting yang harus diketahui dalam menganalisis bangunan lepas pantai. Dikarenakan jika frekuensi natural struktur mendekati atau hampir sama dengan frekuensi natural gelombang, maka akan menyebabkan terjadinya resonansi. Peristiwa resonansi akan membawa dampak buruk bagi kekuatan struktur. Di laut, gelombang mempunyai periode antara 3-12 detik atau 2.07 rad/s sampai dengan 0.52 rad/s.

e. Spektrum Gelombang

Suatu model spektrum gelombang didasarkan pada satu atau lebih parameter, diantaranya tinggi gelombang signifikan, periode gelombang, dan lain-lain. Spektrum parameter tunggal yang paling sering digunakan adalah model Pierson-Moskowitz (1964) yang berdasarkan tinggi gelombang signifikan atau kecepatan angin. Selain itu ada beberapa spektrum parameter ganda yang bisa digunakan adalah Bretschneider (1969), Scott (1965), ISSC (1964), sedangkan Jonswap (1973) merupakan spektrum yang menggunakan lima parameter. Spektrum Jonswap

merupakan model spektrum gelombang yang sering digunakan untuk perairan di Indonesia.

e. *Response Amplitude Operator (RAO)*

Respon pada struktur bangunan lepas pantai akibat gelombang regular dalam tiap-tiap frekuensi dapat diketahui dengan menggunakan metode *spectra*. Nilai amplitudo pada satu *response* secara umum hampir sama dengan amplitudo gelombang.

Response Amplitude Operator (RAO) atau sering disebut sebagai *Transfer Function* adalah fungsi *response* yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. RAO disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk *response* pada suatu struktur.

2.2.5 Metode Mekanika Kepecahan (*Fracture Mechanics*)

Mekanika kepecahan merupakan suatu metode untuk menentukan umur kelelahan suatu struktur dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di area retakan menggunakan parameter-parameter global. Mekanika kepecahan digunakan untuk mengetahui nilai pertumbuhan retak awal sampai batas kritis sehingga dapat memperkirakan umur kelelahan dari suatu struktur. Mekanisme kelelahan struktur terbagi menjadi tiga tahap antara lain:

1. Crack initiation, retak awal yang diakibatkan oleh kecacatan saat produksi maupun beban siklik yang diterima suatu struktur. Retak awal biasanya terjadi pada bagian batas pengalasan dengan base metal.
2. Crack propagation, perambatan retak berbading lurus dengan beban siklik yang diterima struktur setelah mengalami retak awal, hingga struktur tersebut gagal nantinya.
3. Final fracture, kegagalan yang terjadi akibat perambatan retak yang sudah mencapai batas akhir. Final fracture terbagi menjadi tiga

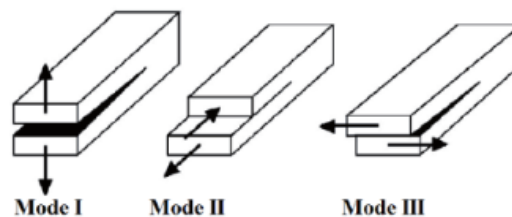
yaitu, brittle fracture (cleavage), ductile fracture (rupture) dan kombinasi dari keduanya

Terdapat dua kategori di dalam mekanika kepecahan yaitu *linear elastic fracture mechanics* (LEFM) dan *elastic plastic fracture mechanics* (EPFM). *Linear elastic fracture mechanics* (LEFM) salah satu metode yang menggunakan pendekatan analitis dimana benda padat yang mempunyai retakan dapat dikarakterisasi dengan menentukan keadaan tegangan di dekat ujung retakan. (B Djamil,2015). Metode LEFM biasanya digunakan pada analisis retak yang masih terjadi dalam batas elastis dan tegangan yang terjadi lebih rendah daripada tegangan ijin. Sedangkan EPFM merupakan pengembangan dari metode LEFM dimana pada metode EPFM biasa digunakan untuk analisis benda hingga batas plastis.

2.2.6 *Stress Intensity Factor*

Stress Intensity Factor (SIF), merupakan parameter yang digunakan dalam analisis *fracture mechanics*. Besarnya SIF tergantung dari mode pembebanannya yang dapat dilihat pada Gambar 2.8. Berikut ini merupakan beberapa mode pembebanan

- a. Mode I (Opening Mode), keadaan dimana terdapat tegangan tarik pada material yang arahnya tegak lurus bidang perambatan retak.
- b. Mode II (In-plane Shear), keadaan dimana terdapat tegangan geser pada material yang arahnya searah bidang perambatan retak.
- c. Mode III (Out-plane Shear), keadaan dimana mode I dan mode II bekerja bersamaan.



Gambar 2.8 Mode Perambatan Retak
(Sumber: B Djamil,2015)

Pada tugas akhir ini mode yang digunakan yaitu mode I seperti pada Gambar 2.9 dengan beban yang bekerja adalah beban aksial. Besarnya tegangan yang terjadi pada mode I adalah sebagai berikut:

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.2)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (2.3)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (2.4)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (2.5)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xy} = 0 \quad (2.6)$$

Keterangan,

K_I = *Stress Intensity Factor (SIF)* untuk mode I

$\sigma_{x,y}$ = Tegangan normal

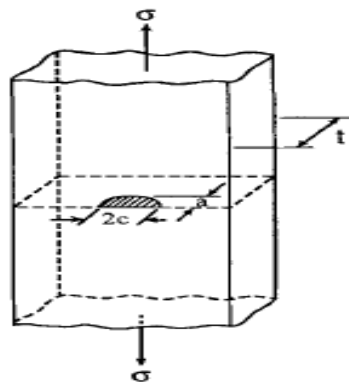
τ_{xy} = Tegangan geser bidang x arah sumbu y

r = Jarak ujung retak (*crack tip*) yang ditinjau pada sumbu x

θ = Sudut antara *node* yang ditinjau dengan sumbu x

ν = *Poisson's ratio*

Untuk perhitungan retak menggunakan retak pada permukaan dengan bentuk *semi elliptical* seperti pada Gambar 2.9 yang memiliki persamaan SIF sebagai berikut :



Gambar 2.9 Retak Pada Permukaan Bentuk *Semi Elliptical*
(Sumber : Barsom dan Rolfe, 1999)

$$K_I = 1,12\sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \cdot M_k \quad (2.7)$$

Dimana nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai Gambar 2.10, dengan menghubungkan nilai $a/2c$ dan σ/σ_{ys} .

$$M_k = 1,0 + 1,2 \left(\frac{a}{t} - 0,5 \right) \quad (2.8)$$

Keterangan,

KI = *Stress Intensity Factor*

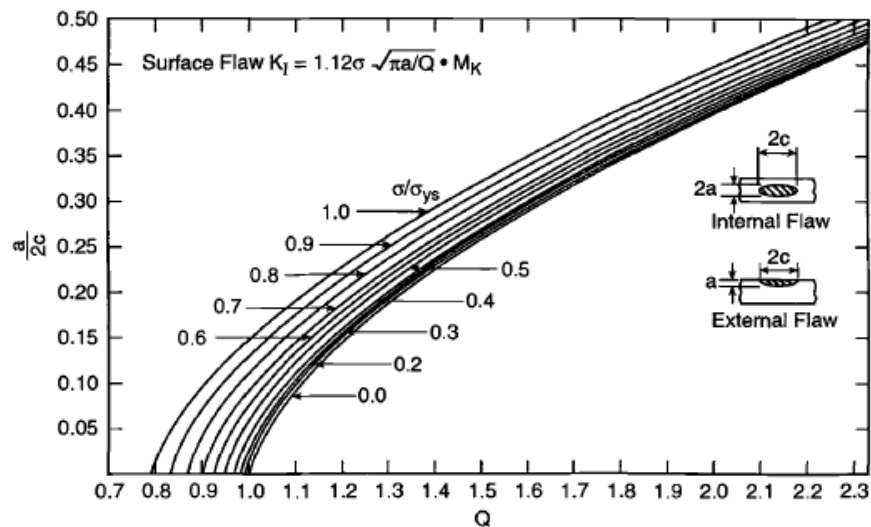
Q = Faktor koreksi *front free surface*

σ = Tegangan normal

MK = Faktor koreksi *back free surface*

a = Kedalaman retak

t = Ketebalan material

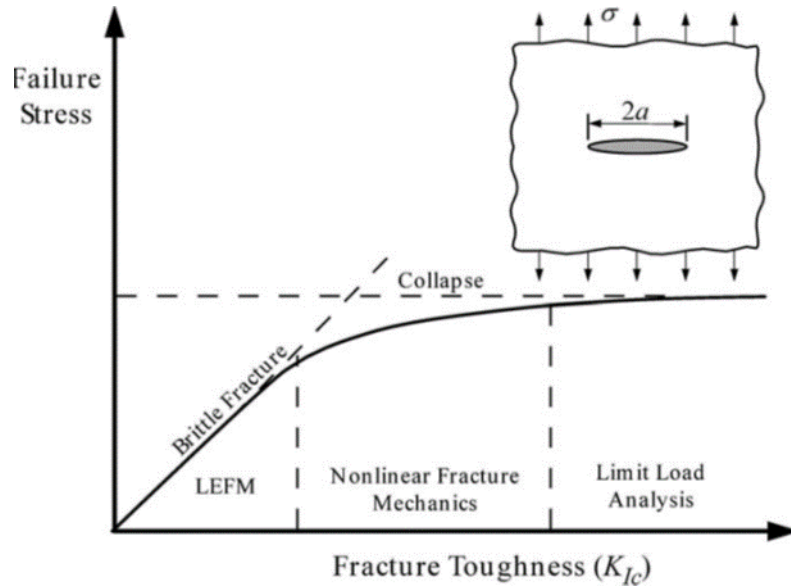


Gambar 2.10 Grafik Perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys}
(Sumber: Barsom dan Rolfe, 1999)

2.2.7 Fracture Toughness (K_{IC})

Fracture toughness merupakan kemampuan material untuk menahan beban atau deformasi yang terjadi akibat retak. Besarnya nilai K_{IC} dipengaruhi oleh ketebalan suatu material, semakin tebal material maka nilai K_{IC} akan semakin besar. Pembebanan yang diterima oleh material juga

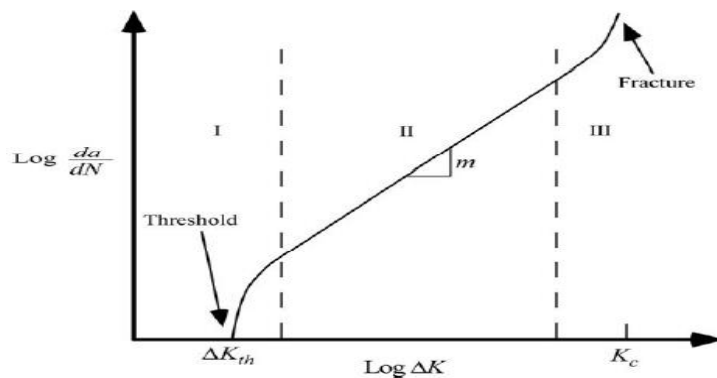
mempengaruhi nilai K_{Ic} itu sendiri. Grafik pengaruh K_{Ic} dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Grafik Pengaruh Fracture Toughness Terhadap Kegagal Struktur (Sumber: Anderson, 2005)

2.2.8 Perambatan Retak Paris-Erdogan

Perambatan retak diawali dengan tahap retakan awal yang kemudian diikuti oleh perambatan retak akibat tegangan geser (*Micro crack growth stage*) yang selanjutnya akan didominasi oleh tegangan tarik (*Macro crack growth stage*) hingga material mengalami kegagalan (*final fracture*). Berikut ini merupakan kurva perambatan retak yang terdapat pada Gambar 2.12



Gambar 2.11 Kurva Perambatan Retak (Sumber: Anderson, 2005)

a. Region I

Perambatan retak pada region ini menunjukkan karakteristik *fatigue threshold* yang merupakan fluktuasi kenaikan SIF dengan parameter ΔK_{th} . Nilai ΔK harus lebih besar dari nilai ΔK_{th} untuk memungkinkan terjadinya perambatan retak.

Nilai da/dN antara region I dan region II adalah

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K^m - \Delta K_{th}^m) \quad (2.9)$$

b. Region II

Perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihtung dengan persamaan dibawah ini.

Nilai da/dN untuk region II adalah

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K^m) \quad (2.10)$$

c. Region III

Perambatan retak yang terjadi lebih cepat dari pada region II, merupakan awal terjadinya kepecahan.

Nilai da/dN antara region I, II dan region III (bila efek R diperhitungkan) adalah

$$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^m}{4\pi\sigma\gamma} \left\{ \frac{\Delta K - (\Delta K + h)(1-R)}{(1-R)K_c - \Delta K} \right\}^{0,5} \quad (2.11)$$

Dengan:

$\frac{da}{dN}$ = Kecepatan perambatan retak

ΔK = *Range* faktor intensitas tegangan

K = Harga kritis K

R = Rasio tegangan (Min/max)

C dan m = Konstanta material

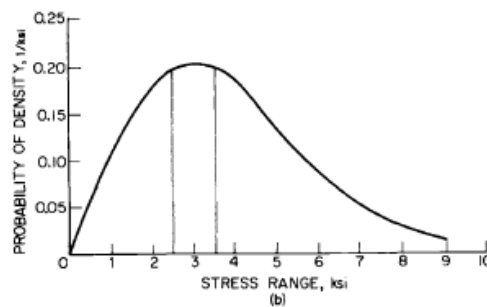
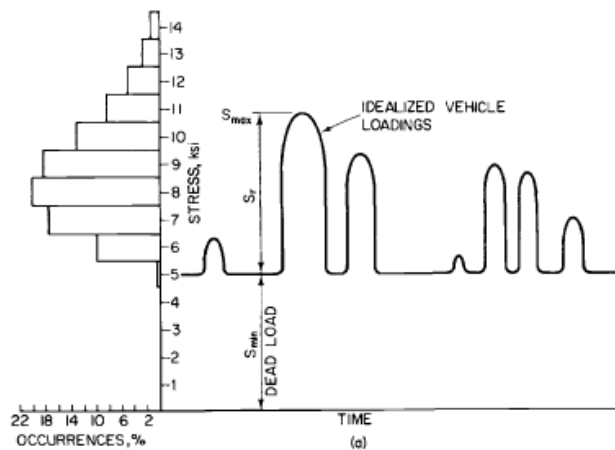
2.2.9 Kedalaman Retak Kritis (a_{cr})

Nilai kedalaman retak kritis digunakan sebagai indikasi bahwa struktur akan mengalami kelelahan. Berikut merupakan kondisi dari kedalaman retak kritis.

$$K_I = K_{IC} \quad (2.12)$$

2.2.10 Variable Amplitude Load (VAL)

Rangkaian data *Variable Amplitude Load* seperti pada Gambar 2.13 merupakan fungsi yang sangat kompleks dimana peluang dari rangkaian beban yang sama dan besarnya rentang tegangan yang berulang pada interval waktu tertentu sangat kecil. Untuk tipe pembebanan ini bisa ditemukan pada beban gelombang yang mengenai kapal ataupun anjungan lepas pantai. Sekarang ini VAL sudah dapat dijelaskan dengan fungsi analitik dan diwakili oleh berbagai parameter.



Gambar 2.12 Data Frekuensi Kejadian Pada Rentang Tegangan Tertentu
(Sumber: Barsom,1999)

2.2.11 Umur Kelelahan

Untuk mengetahui umur kelelahan dengan metode fracture mechanics digunakan persamaan *Paris Law* yang telah dimodifikasi oleh Barsom (1999) menjadi persamaan *Root Mean Square* mengenai perambatan retak. Parameter yang dibutuhkan diantaranya yaitu nilai retak awal dan retak akhir. Berikut persamaan yang digunakan :

$$N = \int_{a_0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K_{rms})^m} \quad (2.13)$$

$$\Delta K_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta K_{Ii})^2}{n}} \quad (2.14)$$

Dengan:

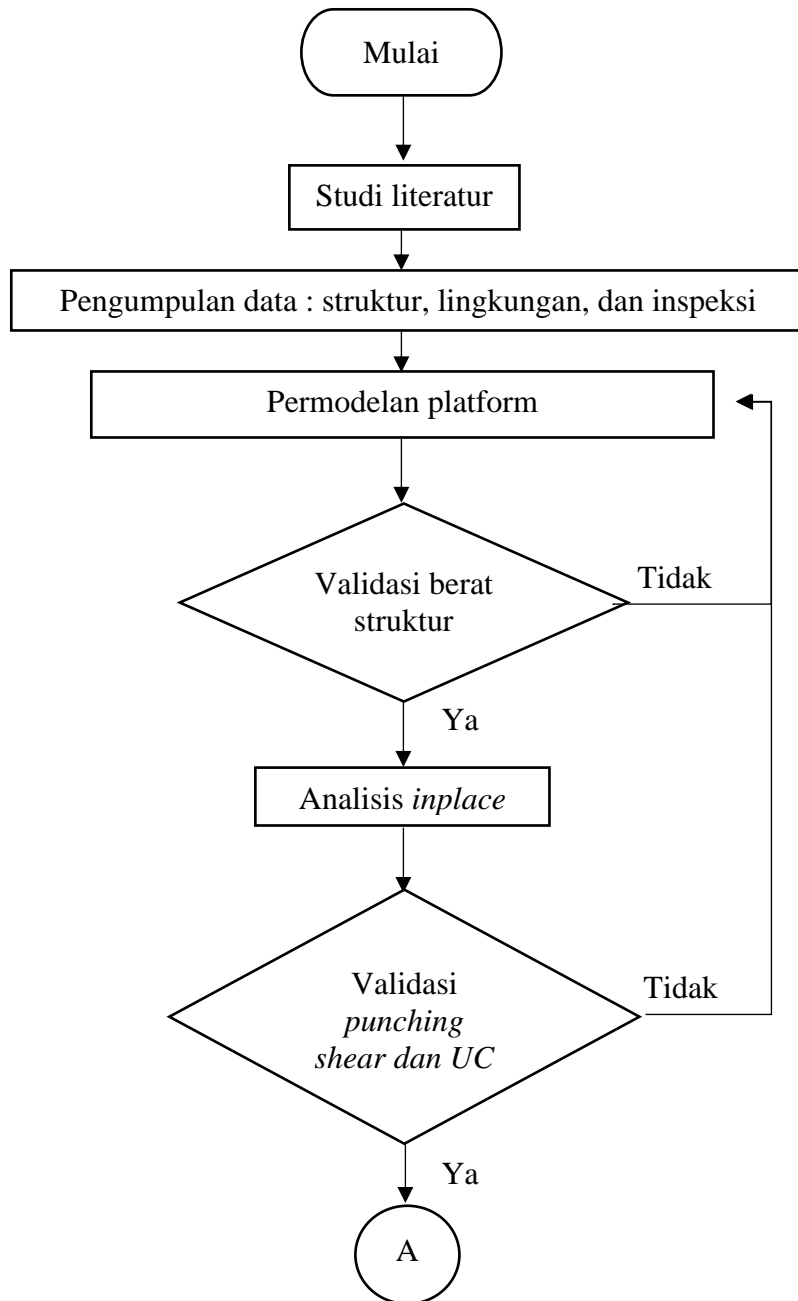
- a_0 = Panjang retak awal (*initial crack*)
- af = Panjang retak akhir (*final crack*)
- N = Jumlah siklus hingga struktur patah
- ΔK_{rms} = Perubahan *Stress Intensity Factor (RMS Model)*
- n = Jumlah siklus pada *spectrum tegangan*
- C dan m = Konstanta material

BAB III

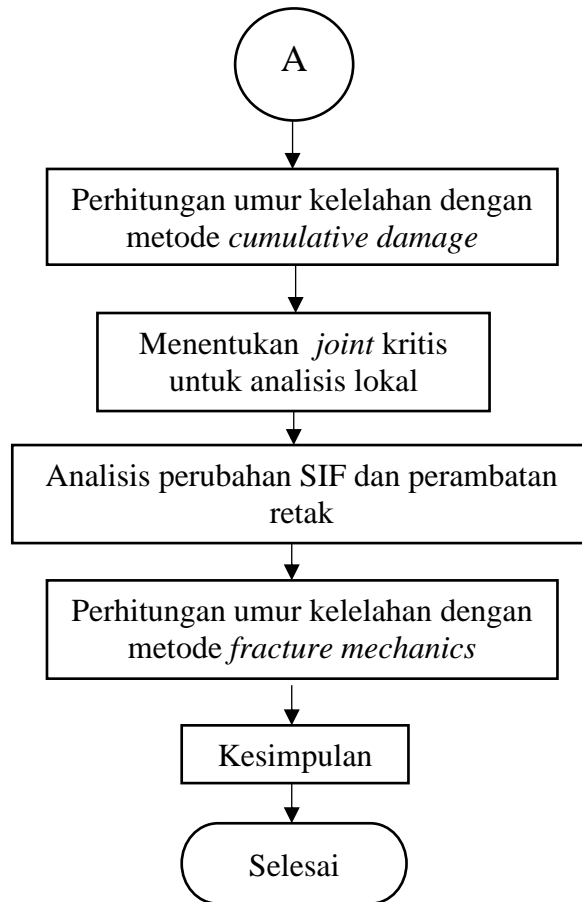
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Deskripsi Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan penjelasan diagram alir yang ada pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2

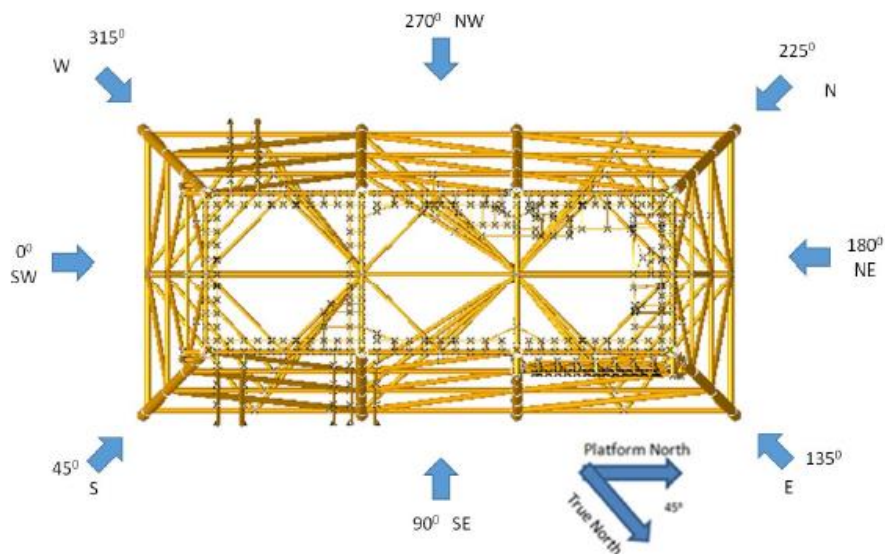
1. Studi Literatur, studi dan pengumpulan literatur yang berkaitan dengan penelitian sebagai referensi dalam membantu penyelesaian tugas akhir ini.
2. Pengumpulan data, pengumpulan data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Dalam tugas akhir ini beberapa data yang dibutuhkan seperti, data struktur dan data lingkungan yang berkaitan dengan objek penelitian.
3. Permodelan platform, permodelan platform pada tugas akhir ini menggunakan *software* SACS 5.6. Permodelan platform disesuaikan dengan data yang sudah ada. Dimulai dari memodelkan topside dan jacket leg sesuai dengan data struktur terkahir yang telah dipengaruhi korosi dan marine growth. Untuk permodelan pondasi dengan menggunakan *Psi input*.

4. Validasi berat struktur, validasi berat struktur secara keseluruhan antara permodelan dengan yang sebenarnya.
5. Analisis *inplace*, melakukan analisis pada struktur akibat pembebanan statis yang diberikan. Beban yang mempengaruhi diantaranya yaitu berat struktur, *equipment* dan lingkungan. Pada analisis ini dihasilkan *output punching shear* dan *UC* pada setiap *member* dan *joint* yang ada pada struktur.
6. Validasi *punching shear* dan *UC*, validasi dilakukan untuk melihat *output punching shear* dan *UC* sudah sesuai kriteria yang diinginkan.
7. Analisis umur kelelahan dengan metode *cumulative damage*, dari data yang digunakan telah diperoleh umur kelelahan dengan parameter-parameter global pada setiap *joint* yang ada pada struktur menggunakan *spectral analysis* dengan bantuan *software* SACS 5.6.
8. Menentukan *joint* kritis, menentukan *joint* yang akan dianalisis lokal dengan acuan umur kelelahan hasil dari analisis umur kelelahan dengan metode *cumulative damage* dan nilai *UC*nya.
9. Analisis SIF dan perambatan retak secara analitik, analisis SIF pada *joint* kritis yang telah ditentukan dengan nilai tegangan dan jumlah kejadian setiap tegangan yang berbeda-beda dari hasil analisis umur kelelahan dengan metode *cumulative damage*. Setelah mendapatkan nilai perubahan SIF kemudian dilakukan perhitungan perambatan retak menggunakan persamaan dari (Barsom,1999).
10. Perhitungan umur kelelahan dengan *fracture mechanics*, perhitungan dilakukan setelah mengetahui perambatan retak yang terjadi pada struktur untuk memperoleh umur kelelahan akibat adanya *crack*.

3.3 Data Struktur

Objek penelitian pada tugas akhir ini adalah *XA-Pro Platform* milik Pertamina EP yang berlokasi di bidang X-Ray \pm 36 km sebelah timur laut dari kota Indramayu. *Platform XA-Pro* dipasang pada tahun 1974 dan masih beroperasi hingga saat ini. Berikut merupakan data-data pendukung lainnya.

1. Nama Platform : XA Process Platform
2. Pemilik : Pertamina EP
3. Jenis platform : Terpancang
4. Jumlah kaki : 8 (delapan)
5. Jumlah deck : 2 (dua)
6. Jumlah riser : 6 pasang (dua belas)
7. Orientasi arah platform : Ditunjukkan pada Gambar 3.3



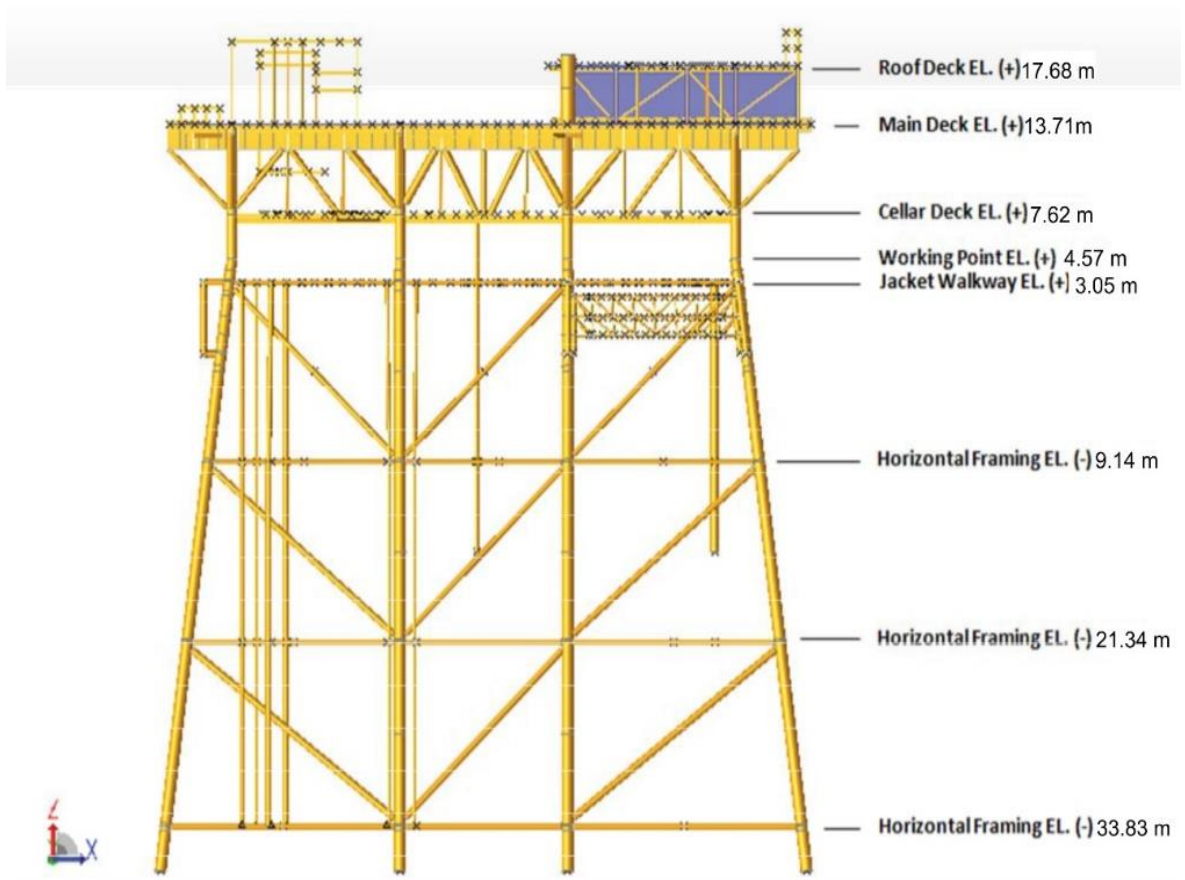
Gambar 3.2 Arah Orientasi Platform Dan Gelombang XA-Pro

8. Elevasi pada platform: Ditunjukkan pada Gambar 3.4
9. Sifat material :

Sifat mekanik baja yang digunakan,

- Young modulus $E = 29,000$ ksi.
- Shear modulus $G = 11,600$ ksi.
- Poisson ratio $\nu = 0.3$.
- Volumetric mass $\rho = 490$ lb/ft³.

- Member tubular dengan diameter lebih dari 18 in dan selain member tubular menggunakan baja ASTM-36 dengan nilai tegangan leleh 36 ksi
- Member tubular dengan diameter kurang dari 18 in menggunakan baja API 5L Gr B atau ASTM A53 Gr B atau ASTM A106 dengan nilai tegangan leleh 36 ksi



Gambar 3.3 Elevasi Pada XA-Pro

10. Ringkasan Beban Struktur

Data beban struktur yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Ringkasan Beban Struktur

Deskripsi	Beban awal (kips)	Kontingensi	Beban x kontingensi
A. Beban Struktur pada Kedalaman Maksimum			
Beban Struktur	3059.07	105%	3212.02
Gaya Apung Struktur	-1489.46	105%	-1563.93
Sub-total Beban Struktur	1569.61	-	1648.09
B. Beban Struktur pada Kedalaman Minimum			
Beban Struktur	3059.07	105%	3212.02
Gaya Apung Struktur	-1423.17	105%	-1494.33
Sub-total Beban Struktur	1635.90	-	1717.70
C. Beban Mati Tambahan Jacket			
<i>Jacket Appurtenance</i>	66.00	105%	69.30
Sub-total Beban Mati Tambahan Jacket	66.00	-	69.30
D. Beban Mati Tambahan Deck			
<i>Roof Deck & Access Deck Non-Generated Dead Load</i>	8.21	105%	8.62
<i>Main Deck Non-Generated Dead Load</i>	13.97	105%	14.67
<i>Cellar Deck Non-Generated Dead Load</i>	47.05	105%	49.40
Sub-total Beban Mati Tambahan Deck	69.23	-	72.69
E. Beban Peralatan			
<i>Roof Deck Equipment Operating Load</i>	231.74	105%	243.33
<i>Turbine Room At Main Deck Equipment Operating Load</i>	501.47	105%	526.54
<i>Main Deck Equipment Operating Load</i>	1223.49	105%	1284.66
<i>Cellar Deck Equipment Operating Load</i>	311.80	105%	327.39

Tabel 3.2 Ringkasan Beban Sturktur

Deskripsi	Beban awal (kips)	Kontingensi	Beban x kontingensi
<i>Jacket walkway equipment operating load</i>	17.15	105%	18.01
Sub-total Beban Peralatan	2285.65	-	2399.93
F. Beban Perpipaian			
<i>Main Deck Piping Operating Load</i>	115.45	100%	115.45
<i>Cellar Deck Piping Operating Load</i>	95.06	100%	95.06
Sub-total Beban Perpipaian	210.51	-	210.51
G. Beban Hidup			
<i>Main Deck Live Load</i>	644.25	100%	644.25
<i>Cellar Deck Open Area Live Load</i>	102.29	100%	102.29
<i>Jacket Walkway Open Area Live Load</i>	75.76	100%	75.76
Sub-total Beban Hidup	822.30	-	822.30
H. Beban Bridge			
<i>Bridge Load</i>	161.00	105%	169.05
Sub-total Beban Bridge	161.00	-	169.05
I. Beban Crane			
<i>Crane Dead Load</i>	18.10	100%	18.10
<i>Crane Maximum Axial (Operating) Load</i>	14.33	100%	14.33
Sub-total Beban Crane	32.43	-	32.43
Beban Total Kondisi Kedalaman Maks (A +C+D+E+F+G+H+I)	5216.73	-	5355.00
Beban Total Kondisi Kedalaman Min (B +C+D+E+F+G+H+I)	5283.02	-	5424.61

3.4 Data Lingkungan

Berikut merupakan data-data lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini.

1. Kedalaman Air Laut

Data kedalaman air laut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.3 Kedalaman Air Laut

Deskripsi	In-place 1 tahun		In-place 100 tahun	
	Min	Max	Min	Max
Kedalaman air	32.57 m	35.22 m	32.57 m	35.40 m

2. Pasang Surut Air Laut

Data pasang surut air laut yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.4 Pasang Surut Air Laut

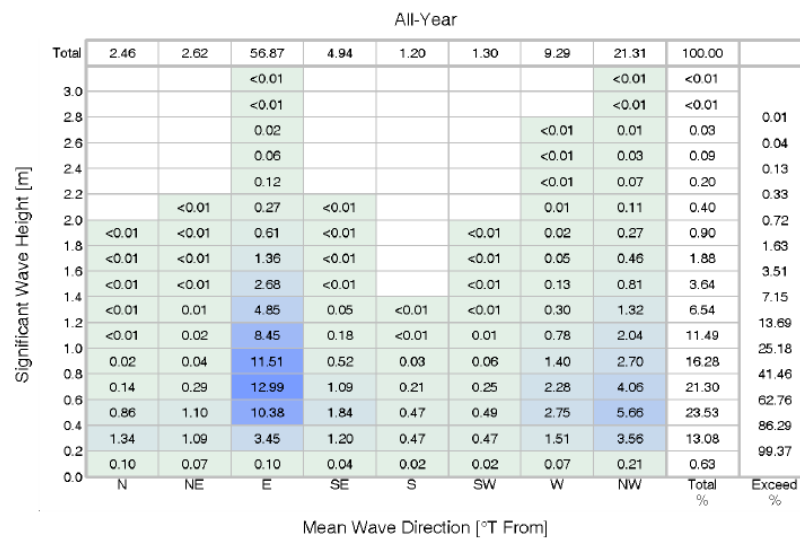
Deskripsi	1 tahun	100 tahun
	Ketinggian terhadap MSL (m)	Ketinggian terhadap MSL (m)
MSL	0	0
MSL to Seabed	33.83	33.83
HAT	0.93	0.93
LAT	-1.26	-1.26
Storm Surge	0.46	0.64
Min Water Depth (MSL+LAT)	-32.57	-32.57
Max Water Depth (MSL+HAT+SS)	-35.22	-35.42

3. Data arus dan gelombang

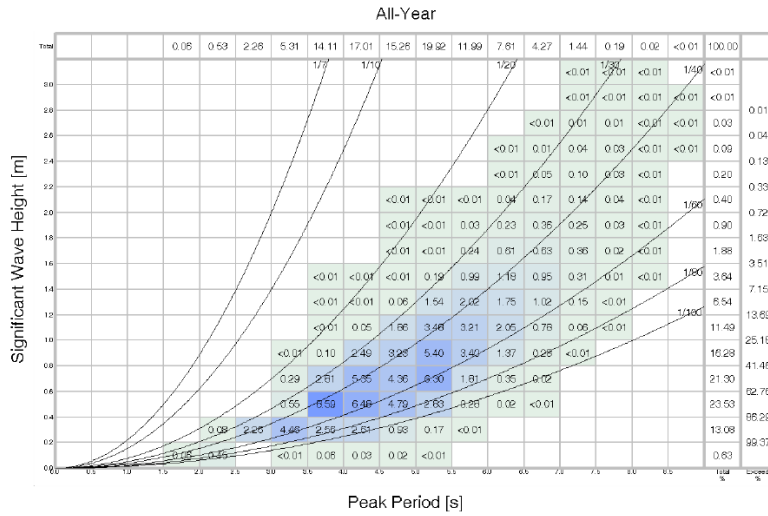
Data arus dan gelombang yang digunakan untuk analisis inplace dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan untuk analisis *fatigue* pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 serta persebarannya pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5

Tabel 3.5 Arus Dan Gelombang

Kondisi	Gelombang		Arus	
	Tinggi gelombang maksimum	Periode gelombang maksimum	Prosentase kedalaman air dari dasar laut	Kecepatan (m/s)
1 tahun	4.52 m	7.3 sec	0 % (surface)	0.005
			50% (mid-surface)	0.57
			100% (mudline)	0.62
100 tahun	6.36 m	8.3 sec	0 % (surface)	0.005
			50% (mid-surface)	0.70
			100% (mudline)	0.78



Gambar 3.4 Data Gelombang Vs Arah



Gambar 3.5 Data Gelombang Vs Periode

Tabel 3.6 Data Gelombang Vs Arah

Wave Significant Height		Number of Waves								
		North	North-East	East	South-East	South	South-West	West	North-West	
(m)	(ft)	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
0.10	0.33	10.00	7.00	10.00	4.00	2.00	2.00	7.00	21.00	
0.30	0.98	134.00	109.00	345.00	120.00	47.00	47.00	151.00	356.00	
0.50	1.64	86.00	110.00	1038.00	184.00	47.00	49.00	275.00	566.00	
0.70	2.30	14.00	29.00	1299.00	109.00	21.00	25.00	228.00	406.00	
0.90	2.95	2.00	4.00	1151.00	52.00	3.00	6.00	140.00	270.00	
1.10	3.61	1.00	2.00	845.00	18.00	1.00	1.00	78.00	204.00	
1.30	4.27	1.00	1.00	485.00	5.00	1.00	1.00	30.00	132.00	
1.50	4.92	1.00	1.00	268.00	1.00		1.00	13.00	81.00	
1.70	5.58	1.00	1.00	136.00	1.00		1.00	5.00	46.00	
1.90	6.23	1.00	1.00	61.00	1.00		1.00	2.00	27.00	
2.10	6.89		1.00	27.00	1.00			1.00	11.00	
2.30	7.55			12.00				1.00	7.00	
2.50	8.20			6.00				1.00	3.00	
2.30	7.55			2.00				1.00	1.00	
2.50	8.20			1.00					1.00	
2.70	8.86			1.00					1.00	
SUM		251.00	266.00	5687.00	496.00	122.00	134.00	933.00	2133.00	
TOTAL										10022
PERCENTAGE		0.0250	0.0265	0.5675	0.0495	0.0122	0.0134	0.0931	0.2128	
		2.50	2.65	56.75	4.95	1.22	1.34	9.31	21.28	
TOTAL										100.00

Tabel 3.7 Data Gelombang Vs Periode

Wave Significant Height		Peak Period (S)														
		1.50 - 2.00	2.00 - 2.50	2.50 - 3.00	3.00 - 3.50	3.50 - 4.00	4.00 - 4.50	4.50 - 5.00	5.00 - 5.50	5.50 - 6.00	6.00 - 6.50	6.50 - 7.00	7.00 - 7.50	7.50 - 8.00	8.00 - 8.50	8.50 - 9.00
(m)	(ft)	1.75	2.25	2.75	3.25	3.75	4.25	4.75	5.25	5.75	6.25	6.75	7.25	7.75	8.25	8.75
0.1	0.3	6.0	45.0		1.0	6.0	3.0	2.0	1.0							
0.3	1.0		8.0	226.0	446.0	256.0	261.0	93.0	17.0	1.0						
0.5	1.6				55.0	859.0	648.0	479.0	283.0	28.0	2.0	1.0				
0.7	2.3				29.0	281.0	531.0	436.0	630.0	181.0	35.0	2.0				
0.9	3.0				1.0	10.0	249.0	323.0	540.0	340.0	137.0	28.0	1.0			
1.1	3.6					1.0	5.0	186.0	348.0	321.0	205.0	78.0	6.0	1.0		
1.3	4.3					1.0	1.0	6.0	154.0	202.0	175.0	102.0	15.0	1.0		
1.5	4.9					1.0	1.0	1.0	19.0	99.0	118.0	95.0	31.0	1.0	1.0	
1.7	5.6							1.0	1.0	24.0	61.0	63.0	36.0	2.0	1.0	
1.9	6.2							1.0	1.0	3.0	23.0	36.0	25.0	3.0	1.0	
2.1	6.9							1.0	1.0	1.0	4.0	17.0	14.0	4.0	1.0	
2.3	7.6										1.0	5.0	10.0	3.0	1.0	
2.5	8.2										1.0	1.0	4.0	3.0	1.0	1.0
2.7	8.9											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2.9	9.5												1.0	1.0	1.0	1.0
3.1	10.2												1.0	1.0	1.0	
SUM		6	53	226	532	1415	1699	1529	1995	1200	762	429	145	21	9	3
TOTAL																10024
PERCENTAGE		0	0.01	0.02	0.05	0.14	0.17	0.15	0.2	0.12	0.08	0.04	0.01	0	0	0
		0.06	0.53	2.25	5.31	14.12	16.95	15.25	19.9	11.97	7.6	4.28	1.45	0.21	0.09	0.03
TOTAL																100

3. Kecepatan Angin

Data kecepatan angin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.8 Kecepatan Angin

Kondisi	Kecepatan angin
	Rentang waktu 1 menit (m/s)
1 tahun	14.87
100 tahun	20.09

4. Marine Growth

Data marine growth yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.8

Tabel 3.9 Marine Growth

Batas elevasi atas	Batas elevasi bawah	Rerata ketebalan marine growth
m	m	cm
0.00	(-) 3.05	5.19
(-) 3.05	(-) 6.10	6.00
(-) 6.10	(-) 9.14	6.06
(-) 9.14	(-) 12.19	7.19
(-) 12.19	(-) 15.24	7.75
(-) 15.24	(-) 18.29	7.19
(-) 18.29	(-) 21.34	6.75
(-) 21.34	(-) 24.38	7.44
(-) 24.38	(-) 27.43	9.69
(-) 27.43	(-) 30.48	7.94
(-) 30.48	(-) 33.53	6.19

5. Parameter Hidrostatik

Parameter hidrostatik yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.9

Tabel 3.10 Parameter Hidrostatik

Type Analisis	C_D (Drag)	C_M (Inertia)
In-place		
Permukaan kasar	0.683	1.680
Permukaan halus	1.103	1.260
Kelelahan		
Permukaan kasar	0.53	2.10
Permukaan halus	0.84	2.10

- Faktor 5% tambahan untuk mempertimbangkan keberadaan cathodic protection
- Faktor Gelombang Kinematika 1.0 (untuk kondisi In-place) diperhitungkan untuk analisis ini berdasarkan API RP 2A.
- Untuk 8-Leg Jacket, Blockage Current Factor 0.70 (End-on), 0,85 (Diagonal) dan 0,80 (Broad-side) yang digunakan untuk Wave dan Current Attack berdasarkan API RP 2A.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

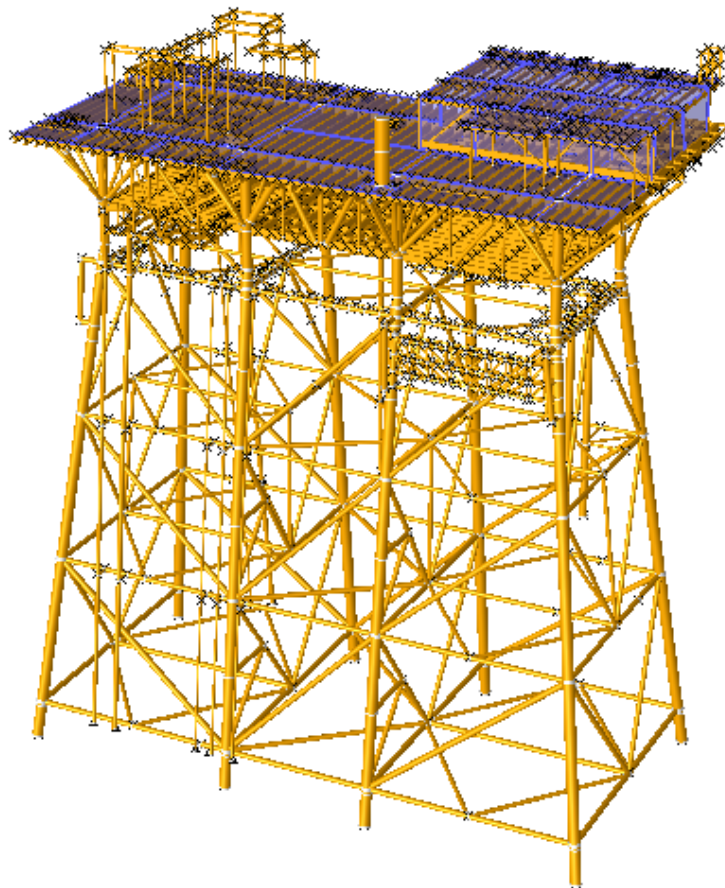
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Global XA-Pro Platform

4.1.1 Permodelan dan Validasi Platform

Dalam melakukan permodelan *platform* XA-Pro ini menggunakan *software* SACS 5.6 dengan referensi data yang digunakan yaitu ”*Pekerjaan Pemeriksaan Topside Equipment, Requalification & Penyusunan Risk Based Inspection (Rbi) Terhadap 10 Unit Platform X-Ray*. No Dokumen : 137597-62-CN-05-RP-009 milik PT Pertamina EP. Untuk permodelan pondasi menggunakan *Psi input*, sehingga tidak terlihat langsung pada model. Hasil dari permodelan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Permodelan XA-Pro Platform

Setelah melakukan permodelan dan pembebanan, maka langkah selanjutnya yaitu melakukan validasi berat struktur *platform* XA-Pro dengan membandingkan antara hasil permodelan dengan *report* “*Pekerjaan Pemeriksaan Topside Equipment, Requalification & Penyusunan Risk Based Inspection (Rbi) Terhadap 10 Unit Platform X-Ray*. No Dokumen : 137597-62-CN-05-RP-009 “milik PT Pertamina EP. Tujuan dari validasi ini yaitu untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat menggunakan *software* SACS 5.6 telah mewakili *platform* di lapangan. Hasil dari validasi berat struktur ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Validasi berat struktur *Platform* XA-Pro

Model (kips)	Report (kips)	Error
5391.858	5355.00	0.68%

Dengan error dari hasil permodelan tidak melebihi 1% , maka dari itu tahapan selanjutnya dapat dilanjutkan yaitu analisis *inplace*.

4.1.2 Analisis Inplace

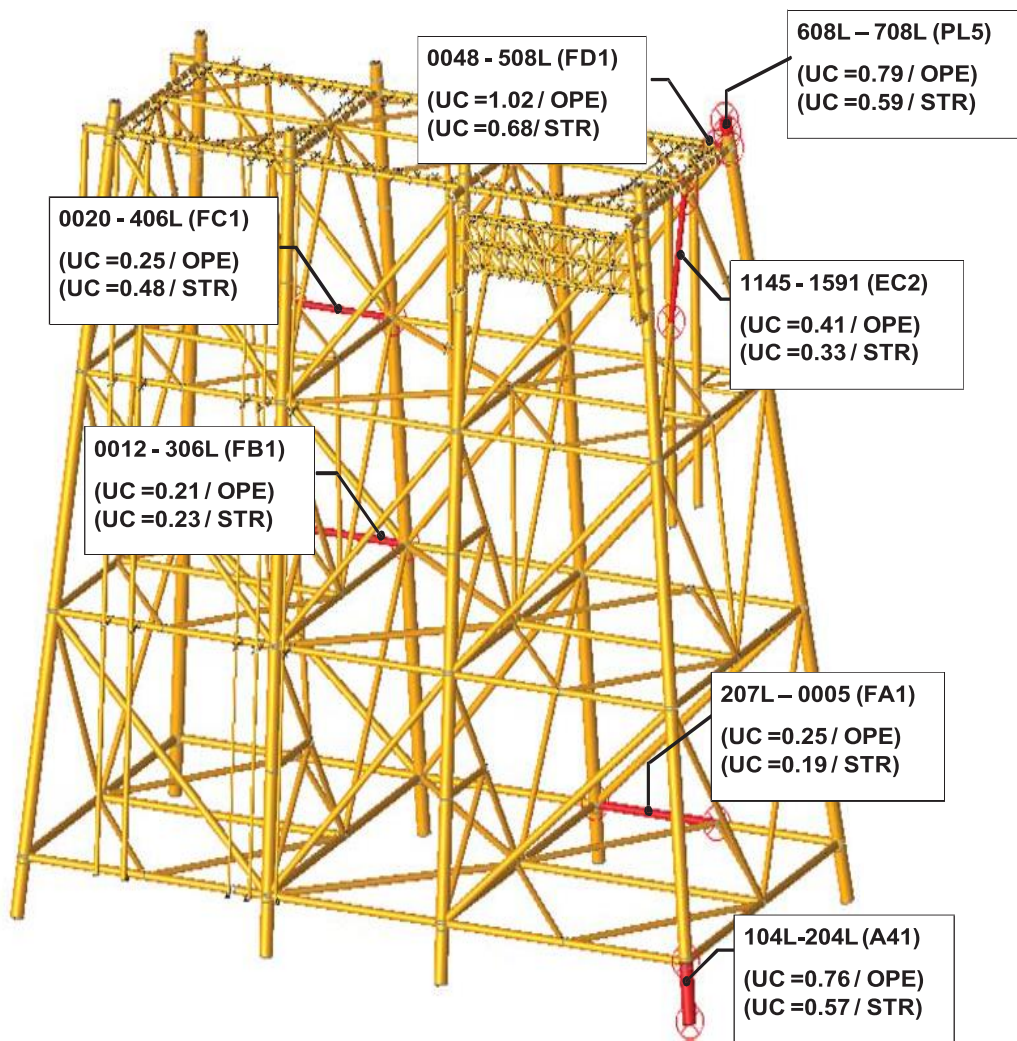
Setelah validasi berat struktur sudah memenuhi, maka berikutnya yaitu melakukan analisis *inplace*. Analisis *inplace* merupakan suatu analisis yang digunakan untuk mengetahui kondisi pada setiap member dan joint setelah diberikan beban-beban pada kondisi statis. Beban-beban yang dimaksud disini antara lain *dead loads*, *live loads*, *crane loads*, *piping loads*, serta *environmental loads*. Hasil dari analisis *inplace* ini merupakan *stress* yang terjadi setiap pada member dan joint yang diwakilkan oleh *Unity Check (UC)*. Untuk hasil *member stress check* dapat dilihat pada Tabel 4.2 serta lokasinya pada platform dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan hasil *joint punching shear* pada Tabel 4.3 serta lokasinya pada platform dapat dilihat pada Gambar 4.3

Tabel 4.2 Hasil *Member Stress Check*

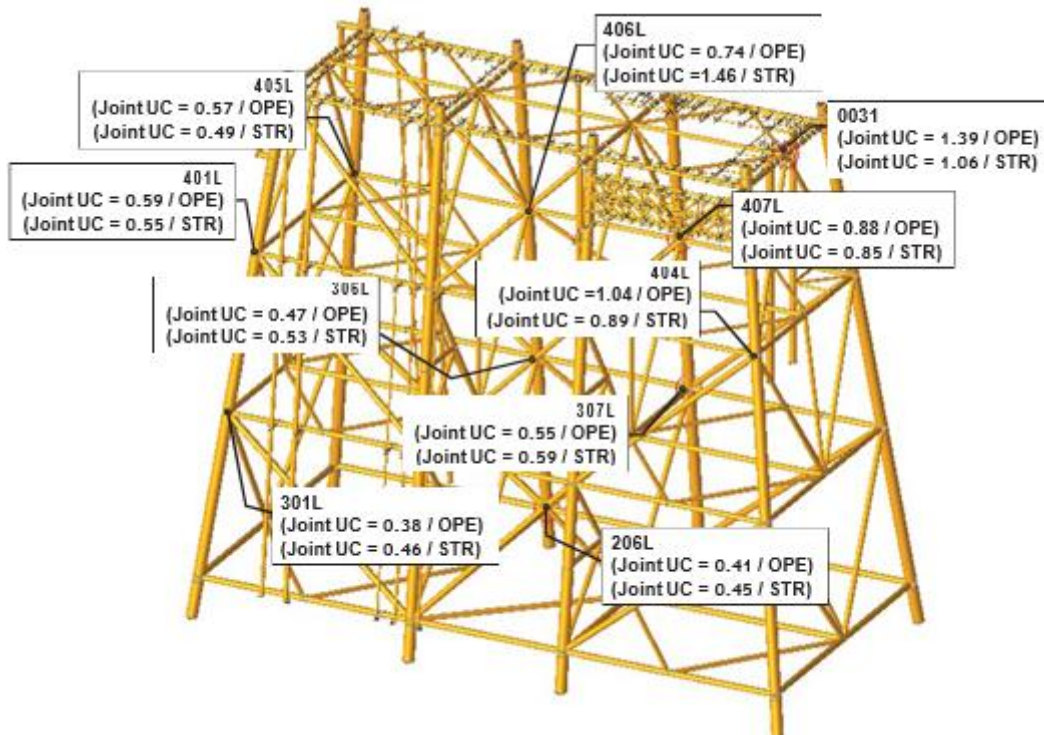
Member	Lokasi	Grup	Load Case	UC
0932-0184	<i>Main Deck Primary Beam</i>	T13	3008	0.49
1529-1506	<i>Main Deck Secondary Beam</i>	W07	3004	1.59
0127-0248	<i>Cellar Deck Primary Beam</i>	T19	3004	1.22
0523-0154	<i>Cellar Deck Secondary Beam</i>	W03	3006	0.66
708L-0127	<i>Deck Leg</i>	DLG	3002	0.77
0127-1246	<i>Deck Bracing</i>	V11	3004	1.05
0048-508L	<i>Jacket Plan EL. (+) 3.05 m</i>	FD1	3002	1.02
0020-406L	<i>Jacket Plan EL. (-) 9.14 m</i>	FC1	3005	0.25
0012-306L	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>	FB1	3005	0.21
207L-0005	<i>Jacket Plan EL. (-) 33.53 m</i>	FA1	2001	0.25
104L-204L	<i>Leg</i>	A41	2001	0.76
1145-1591	<i>Diagonal Bracing</i>	EC2	3006	0.41
608L-708L	<i>Above Mudline</i>	PL5	3002	0.79
108P	<i>Below Mudline</i>	PP1	3006	0.64
0932-0184	<i>Main Deck Primary Beam</i>	T13	5008	0.35
1529-1506	<i>Main Deck Secondary Beam</i>	W07	5007	1.19
0127-0248	<i>Cellar Deck Primary Beam</i>	T19	4004	0.93
0523-0154	<i>Cellar Deck Secondary Beam</i>	W03	5006	0.48
708L-0127	<i>Deck Leg</i>	DLG	4007	0.57
0127-1246	<i>Deck Bracing</i>	V11	4003	0.75
0048-508L	<i>Jacket Plan EL. (+) 3.05 m</i>	FD1	4001	0.68
0020-406L	<i>Jacket Plan EL. (-) 9.14 m</i>	FC1	5007	0.48
0012-306L	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>	FB1	5005	0.23
207L-0005	<i>Jacket Plan EL. (-) 33.53 m</i>	FA1	4001	0.19
104L-204L	<i>Leg</i>	A41	4001	0.57
1145-1591	<i>Diagonal Bracing</i>	EC2	4007	0.33
608L-708L	<i>Above Mudline</i>	PL5	4007	0.59
108P	<i>Below Mudline</i>	PP1	4003	0.50

Tabel 4.3 Hasil *Joint Punching Shear*

<i>Joint</i>	UC	Lokasi
Kondisi Operasi (1 Tahun)		
407L	0.88	<i>Jacket Plan EL. (-) 9.14 m</i>
307L	0.55	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
404L	1.04	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
306L	0.47	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
406L	0.74	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
206L	0.41	<i>Jacket Plan EL. (-) 33.53 m</i>
0031	1.39	<i>Jacket Plan EL. (+) 3.05 m</i>
405L	0.57	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
401L	0.59	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
301L	0.38	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
Kondisi Badai (100 Tahun)		
407L	0.85	<i>Jacket Plan EL. (-) 9.14 m</i>
307L	0.59	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
404L	0.89	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
306L	0.53	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
406L	0.65	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
206L	0.45	<i>Jacket Plan EL. (-) 33.53 m</i>
0031	1.06	<i>Jacket Plan EL. (+) 3.05 m</i>
405L	0.49	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
401L	0.55	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>
301L	0.46	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>



Gambar 4.2 Lokasi *Member UC Plot* Hasil Analisis In-Place - *Jacket*.



Gambar 4.3 Ringkasan Lokasi Joint Punching Shear Hasil Analisis In-Place

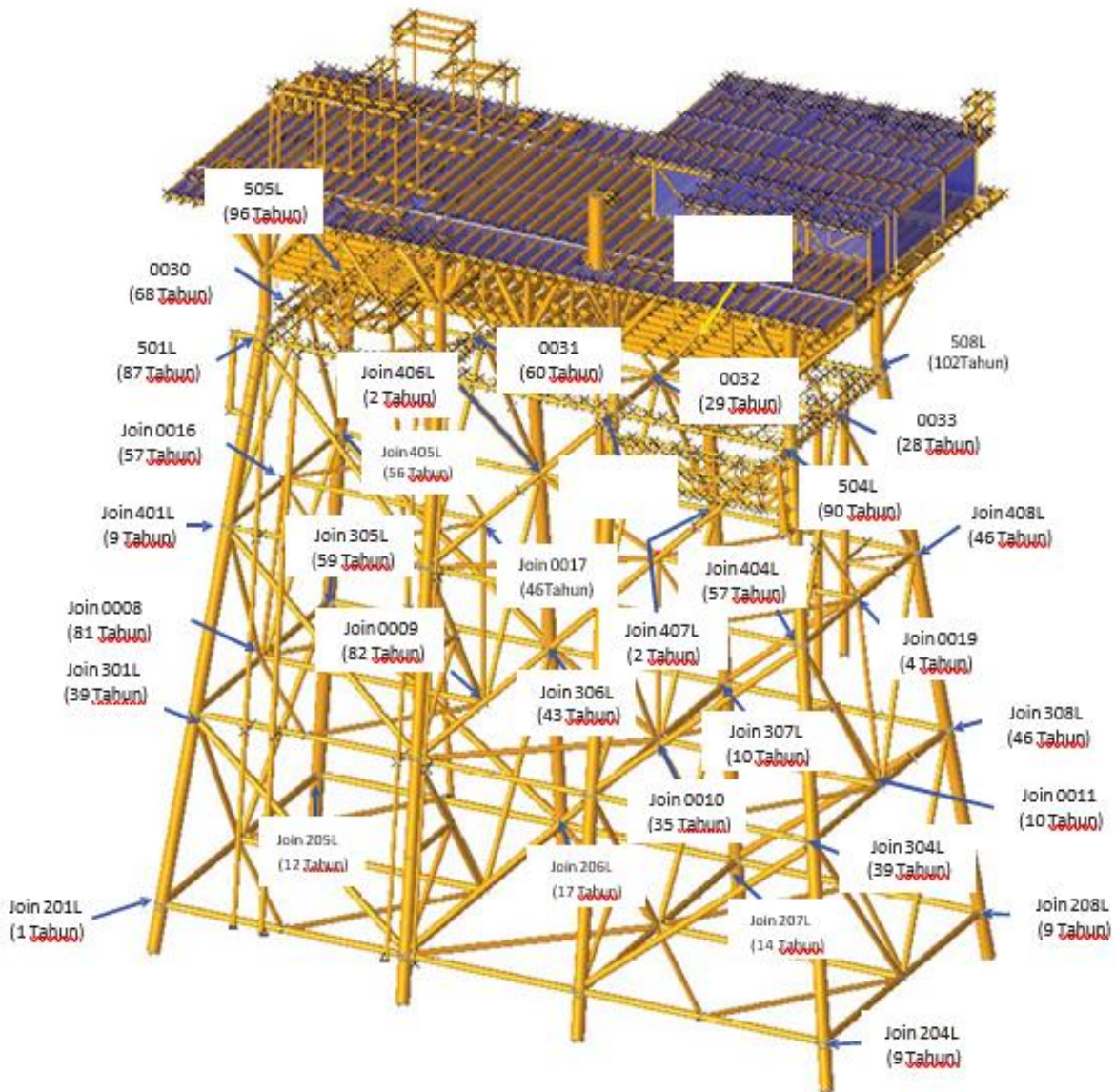
Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa terdapat beberapa member dan joint yang nilai UCnya lebih dari 1.0. Namun hal ini masih dapat diterima dikarenakan XA-Platform dalam kondisi *existing*, dimana telah beroperasi selama 43 tahun.

4.1.3 Analisis Umur Kelelahan dengan Metode *Cummulative Damage*

Setelah melakukan analisis inplace, tahap berikutnya yaitu analisis umur kelelahan dengan metode *cummulative damage*. Seperti yang telah diketahui bahwa metode *cummulative damage* dibagi lagi menjadi beberapa jenis, dua diantaranya yaitu *deterministic analysis* dan *spectral analysis*. Pada tugas akhir ini digunakan *spectral analysis* yang bertujuan untuk menentukan joint kritis yang berikutnya akan dianalisis secara lokal. Dalam melakukan *spectral analysis* ini, menggunakan bantuan *software SACS 5.6*. Berikut umur kelelahan *joint* di XA-Pro Platform yang dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan lokasi *joint* tersebut pada Gambar 4.7.

Tabel 4.4 Umur kelelahan *joint* di XA-Pro Platform

NO	Lokasi	Joint	Brace To Chord (Member)	Umur Kelelahan (Tahun)
1	<i>Jacket Plan EL. (-) 21.33 m</i>	0008	305L-0008	81
2		0009	306L-0009	82
3		0010	307L-0010	57
4		0011	0011-304L	10
5	<i>Jacket Plan EL. (-) 9.14 m</i>	0016	0016-401L	57
6		0017	0017-402L	46
7		0018	0018-403L	5
8		0019	0019-404L	4
9	<i>Jacket Plan EL. (+) 30.5 m</i>	0030	0057-0030	68
10		0031	0031-0119	60
11		0032	1135-0032	67
12		0033	1383-0033	77
13	<i>Jacket Leg EL. (-) 33.83 m</i>	201L	201L-301L	10
14		204L	204L-304L	9
15		205L	205L-305L	12
16		206L	206L-306L	17
17		207L	207L-307L	14
18		208L	208L-308L	9
19	<i>Jacket Leg EL. (-) 21.33 m</i>	301L	201L-301L	39
20		304L	204L-304L	39
21		305L	205L-305L	59
22		306L	206L-306L	43
23		307L	207L-307L	34
24		308L	208L-308L	46
25	<i>Jacket Leg EL. (-) 9.14 m</i>	401L	0324-401L	9
26		404L	304L-404L	57
27		405L	1111-405L	56
28		406L	1109-406L	2
29		407L	0981-407L	2
30		408L	1094-408L	46
31	<i>Jacket Leg EL. (+) 3.05 m</i>	501L	0752-501L	87
32		504L	1091-504L	90
33		505L	1112-505L	96
34		508L	1093-508L	102



Gambar 4.4 Lokasi Joint Dengan Umur Kelelahan

Umur kelelahan minimum dari struktur berdasarkan API RP 2A

Section 15.2.1 adalah:

$$L = SF_1 \times L_1 + SF_2 \times L_2 = 2.0 \times 43 + 2.0 \times 20 = 126 \text{ tahun}$$

dimana,

L_1 = umur yang telah dicapai selama beroperasi dalam satuan tahun

L_2 = rencana penambahan umur beroperasi dalam satuan tahun,

SF_1 = Safety Factor, 2.0

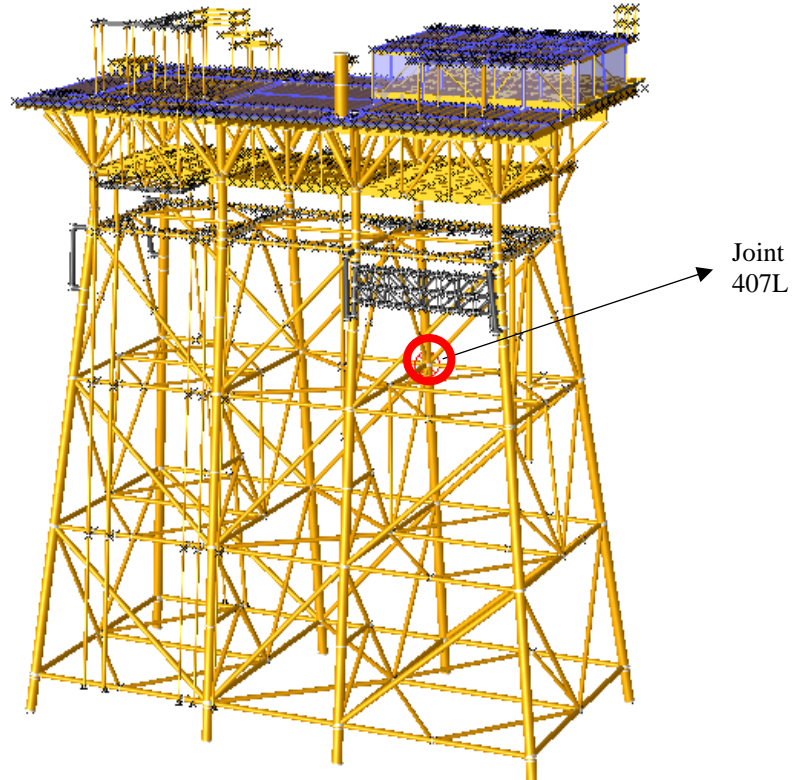
SF_2 = Safety Factor, 2.0

Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa semua joint pada Tabel 4.4 memiliki umur kelelahan kurang dari 126 tahun, sehingga butuh dilakukan inspeksi pada *joint-joint* tersebut.. Perbedaan posisi joint dengan UC tertinggi pada analisis *inplace* dan umur kelelahan diakibatkan oleh perbedaan beban yang diterima. Pada analisis *inplace*, nilai UC tertinggi diakibatkan oleh konsentrasi beban terbesar yang diterima. Sedangkan pada umur kelelahan ditinjau dari intensitas beban siklik yang diterima. Beban siklik ini diantaranya yaitu *environmental loads* dengan nilai beban yang kecil namun dengan intensitas yang tinggi mengenai *platform*. Oleh karena itu penentuan joint kritis untuk analisis lokal ditentukan dari analisis umur kelelahan.

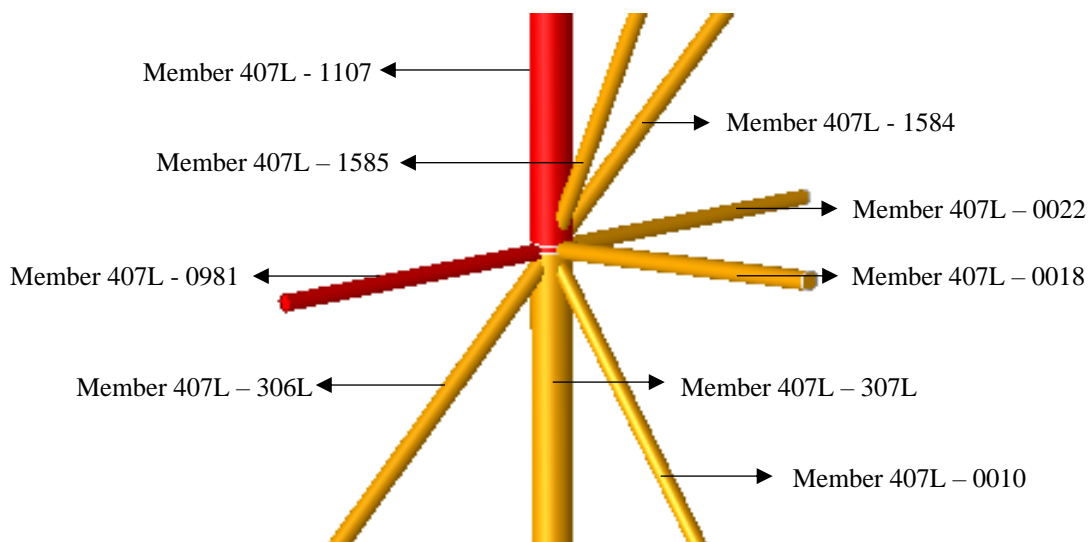
4.2 Analisis Lokal XA-Pro Platform

4.2.1 Menentukan Joint Kritis

Dalam menentukan *joint* kritis terdapat 3 pertimbangan. Pertama, *joint* kritis terletak pada struktur *jacket leg*. Kedua, dari hasil *inplace analysis* dapat ditentukan joint kritis pada struktur ditunjukkan dengan nilai UC yang mendekati 1 ataupun >1 . Ketiga, dari hasil *spectral analysis* dapat ditentukan joint kritis pada struktur ditunjukkan dengan umur kelelahan terendah. Dari umur kelelahan tersebut dapat dikatakan bahwa *joint* yang memiliki umur kelelahan terendah mengalami beban siklis terbesar diantara joint lainnya. Berdasarkan ketiga pertimbangan tersebut, didapatkan joint kritis untuk analisis lokal struktur XA-Platform terletak pada *joint* 407L. *Joint* 407L terdapat pada *jacket leg* pada elevasi (-) 9.14 m dan memiliki nilai UC 0.88 dengan umur kelelahan 1,91 tahun. Letak dan detail *joint* 407L pada struktur XA-Platform dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Untuk ukuran geometri *joint* 407L dapat dilihat pada Tabel 4.5



Gambar 4.5 Lokasi *joint* 407L



Gambar 4.6 Detail multiplanar tubular joint 407L

Tabel 4.5 Geometri multiplanar tubular joint 407L

Member	Member type	Length	O.D	W.T
		m	in	in
407L – 306L	Brace	17.3	16	0.364
407L – 307L	Chord	12.2	34	0.492
407L – 0010	Brace	14.4	14	0.368
407L – 0022	Brace	6.9	14	0.356
407L - 1584	Brace	8.7	16	0.368
407L - 1107	Chord	6.1	34	0.492
407L – 1585	Brace	7.2	14	0.368
407L - 0981	Brace	6.6	14	0.356
407L - 0018	Brace	7.8	16	0.356

4.2.2 Analisis Perubahan SIF dan Perambatan Retak

Setelah menentukan *joint* kritis, langkah selanjutnya yaitu analisis SIF (*Stress Intensity Factor*). Nilai SIF dapat diketahui besarnya dengan mengetahui nilai-nilai dari setiap parameter *crack* dan rentang tegangan pada *tubular joint* yang diperoleh dari *spectral analysis*. Setelah menghitung perubahan nilai SIF pada setiap kedalaman *crack*, maka laju perambatan retak dapat diketahui.

1. Perhitungan Perubahan SIF (*Stress Intensity Factor*)

Perhitungan perubahan SIF secara matematis atau manual dengan geometri *crack* sebagai berikut :

$$a = 0.02 \text{ in}$$

$$a/2c = 0.15$$

Perhitungan SIF ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.7 pada Bab 2 :

$$K_I = 1,12\sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} \cdot M_k \quad (4.1)$$

Dimana nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai Gambar 2.11, dengan menghubungkan nilai $a/2c$ dan σ/σ_{ys} seperti pada Persamaan 2.8 pada Bab 2 :

$$M_k = 1,0 + 1,2 \left(\frac{a}{t} - 0,5 \right) \quad (4.2)$$

dengan,

KI = *Stress Intensity Factor*

Q = Faktor koreksi *front free surface*

σ = Tegangan normal

MK = Faktor koreksi *back free surface*

a = Kedalaman retak

t = Ketebalan material

Untuk mendapatkan nilai-nilai dari setiap parameter *crack*, dapat diselesaikan sebagai berikut :

a.) Menentukan *initial crack* (a) dan *crack length* (2c)

Initial crack diasumsikan sebagai *surface crack* dengan bentuk *semi-elliptical*. Dengan berdasarkan DNV-RP-C203 “*Fatigue Design Of Offshore Steel Structures*” tahun 2008 untuk *surface crack* diasumsikan kedalaman *crack* (a) sebesar 0.02 in dan perbandingan dari kedalaman *crack* (a) dan panjang *crack* (2c) kurang dari 0.2. Nilai *crack length* (2c) didapatkan dari perhitungan berikut ini :

$$\frac{a}{2c} = 0.15$$

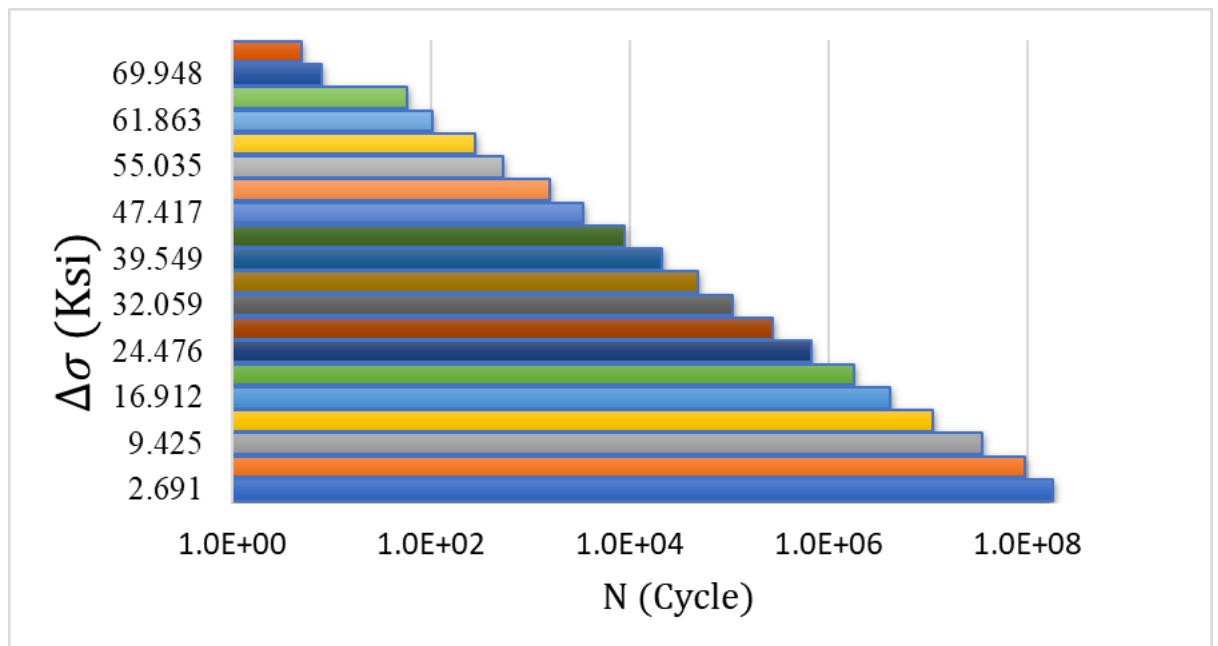
$$\frac{0.02}{2c} = 0.15$$

$$2c = 0.13$$

Sehingga diperoleh nilai *crack length* (2c) sebesar 0.13 in

b.) Menentukan besarnya rentang tegangan pada lokasi crack ($\Delta\sigma$)

Besarnya rentang tegangan pada lokasi crack diperoleh dari hasil *spectral analysis* pada bagian interaksi titik *Left* di antara *member 407L-1107 (chord)* dan *member 0981-407L (brace)* pada ketinggian gelombang 0.1 m hingga 2.7 m. Berikut merupakan rentang tegangan pada joint kritis pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.6.



Gambar 4.7 Grafik rentang tegangan dan jumlah kejadiannya

Tabel 4.6 Rentang tegangan dan jumlah kejadiannya

LOAD CASE 3 (Arah East 135 ⁰)			
n	Stress Range	Stress Amplitude	Cycles
	(Ksi)	(Ksi)	
1	2.691	1.346	178879104
2	5.726	2.863	94778208
3	9.425	4.713	35196784
4	13.148	6.574	11329150
5	16.912	8.456	4190153
6	20.621	10.311	1808966
7	24.476	12.238	681468
8	28.297	14.149	278051

LOAD CASE 3 (Arah East 135 ⁰)			
n	Stress Range	Stress Amplitude	Cycles
	(Ksi)	(Ksi)	
9	32.059	16.030	107692
10	35.710	17.855	48565
11	39.549	19.775	21169
12	43.548	21.774	8843
13	47.417	23.709	3402
14	51.138	25.569	1584
15	55.035	27.518	541
16	58.195	29.098	278
17	61.863	30.932	105
18	66.112	33.056	59
19	69.948	34.974	8
20	74.814	37.407	5

c.) Menentukan nilai faktor koreksi *front free surface* (Q)

Nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai pada Gambar 2.11, dengan menghubungkan nilai $a/2c$ dan σ/σ_{sys} . Dari kedua nilai diatas dapat dihubungkan melalui perpotongan antara keduanya menggunakan grafik pada Gambar 2.11. Dari perpotongan nilai $a/2c$ dan σ/σ_{sys} , didapatkan nilai Q diantara 1-1.2 tergantung dari tegangan yang diberikan.

d.) Menentukan nilai faktor koreksi *back free surface* (M_k)

Nilai M_k bergantung pada rasio a/t . Apabila rasio $a/t > 0.5$. Maka nilai M_k ditentukan berdasarkan Persamaan 4.2. Jika tidak, maka nilai M_k adalah 1. Karena nilai M_k dipengaruhi oleh kedalaman *crack* yang berubah ubah. Maka nilai M_k dengan kedalaman *crack* 0.02 in sampai 0.23 in adalah 1. Sedangkan nilai M_k dengan kedalaman *crack* 0.24 in sampai 0.49 in berdasarkan Persamaan 4.2.

Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, selanjutnya perhitungan perubahan SIF dilakukan menggunakan persamaan 4.1 yang telah diubah menjadi persamaan berikut ini

$$\Delta K_I = 1,12 \Delta\sigma \sqrt{\pi \frac{a_{avg}}{Q}} \cdot M_k \quad (4.3)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, perhitungan perubahan SIF dilakukan pada setiap rentang tegangan yang berbeda karena menggunakan pertimbangan *variable amplitude load* pada kedalaman crack 0.02 in sampai 0.49 in dengan jarak antar kedalaman *crack* yaitu 0.02 in.

Berikut merupakan hasil perhitungan perubahan SIF yang disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Perhitungan perubahan SIF

a_0 (inch)	$2c$ (inch)	a_f (inch)	a_{avg} (inch)	a/t	ΔK_{I1}	ΔK_{I2}	ΔK_{I3}	ΔK_{I4}	ΔK_{I5}	ΔK_{I6}	ΔK_{I7}	ΔK_{I8}	ΔK_{I9}	ΔK_{I10}
0.02	0.13	0.04	0.03	0.06	0.84	1.97	3.24	4.52	5.81	7.09	7.95	9.28	10.76	11.98
0.04	0.26	0.06	0.05	0.10	1.09	2.54	4.18	5.84	7.51	9.15	10.27	11.98	13.89	15.47
0.06	0.39	0.08	0.07	0.14	1.29	3.01	4.95	6.91	8.88	10.83	12.15	14.17	16.43	18.30
0.08	0.52	0.10	0.09	0.18	1.46	3.41	5.61	7.83	10.07	12.28	13.77	16.07	18.63	20.75
0.10	0.65	0.12	0.11	0.22	1.62	3.77	6.21	8.66	11.13	13.58	15.23	17.76	20.60	22.94
0.12	0.78	0.14	0.13	0.27	1.76	4.10	6.75	9.41	12.10	14.76	16.55	19.31	22.39	24.94
0.14	0.91	0.16	0.15	0.31	1.89	4.40	7.25	10.11	13.00	15.85	17.78	20.74	24.05	26.79
0.16	1.04	0.18	0.17	0.35	2.01	4.69	7.71	10.76	13.84	16.88	18.93	22.08	25.61	28.52
0.18	1.17	0.20	0.19	0.39	2.13	4.95	8.16	11.38	14.63	17.84	20.01	23.35	27.07	30.16
0.20	1.3	0.22	0.21	0.43	2.23	5.21	8.57	11.96	15.39	18.76	21.04	24.54	28.46	31.70
0.22	1.43	0.24	0.23	0.47	2.34	5.45	8.97	12.52	16.10	19.63	22.02	25.69	29.79	33.18
0.24	1.56	0.26	0.25	0.51	2.47	5.75	9.47	13.21	16.99	20.72	23.24	27.11	31.43	35.01
0.26	1.69	0.28	0.27	0.55	2.69	6.27	10.32	14.39	18.51	22.57	25.32	29.53	34.25	38.15
0.28	1.82	0.30	0.29	0.59	2.92	6.80	11.19	15.60	20.07	24.47	27.45	32.02	37.13	41.36
0.30	1.95	0.32	0.31	0.63	3.15	7.34	12.08	16.85	21.67	26.42	29.63	34.57	40.08	44.65
0.32	2.08	0.34	0.33	0.67	3.38	7.89	12.99	18.11	23.30	28.41	31.86	37.17	43.11	48.01
0.34	2.21	0.36	0.35	0.71	3.63	8.45	13.92	19.41	24.97	30.45	34.15	39.83	46.19	51.45
0.36	2.34	0.38	0.37	0.76	3.87	9.03	14.86	20.74	26.67	32.52	36.48	42.55	49.34	54.96
0.38	2.47	0.40	0.39	0.80	4.13	9.62	15.83	22.09	28.41	34.64	38.85	45.33	52.56	58.55
0.40	2.6	0.42	0.41	0.84	4.38	10.22	16.82	23.47	30.18	36.80	41.28	48.15	55.84	62.20
0.42	2.73	0.44	0.43	0.88	4.65	10.83	17.83	24.87	31.99	39.01	43.75	51.03	59.18	65.92
0.44	2.86	0.46	0.45	0.92	4.91	11.45	18.85	26.30	33.83	41.25	46.26	53.97	62.58	69.71
0.46	2.99	0.48	0.47	0.96	5.19	12.09	19.89	27.75	35.70	43.53	48.82	56.95	66.04	73.56
0.48	3.12	0.50	0.49	1.00	5.46	12.73	20.96	29.23	37.60	45.85	51.42	59.99	69.56	77.48

Tabel 4.8 Perhitungan perubahan SIF (lanjutan)

a_0 (inch)	$2c$ (inch)	a_f (inch)	a_{avg} (inch)	a/t	ΔK_{I11}	ΔK_{I12}	ΔK_{I13}	ΔK_{I14}	ΔK_{I15}	ΔK_{I16}	ΔK_{I17}	ΔK_{I18}	ΔK_{I19}	ΔK_{I20}
0.02	0.13	0.04	0.03	0.06	13.60	14.97	16.30	17.58	18.92	20.01	21.27	22.73	24.05	25.72
0.04	0.26	0.06	0.05	0.10	17.56	19.33	21.05	22.70	24.43	25.83	27.46	29.35	31.05	33.21
0.06	0.39	0.08	0.07	0.14	20.77	22.87	24.90	26.86	28.91	30.57	32.49	34.72	36.74	39.29
0.08	0.52	0.10	0.09	0.18	23.55	25.93	28.24	30.45	32.78	34.66	36.84	39.37	41.66	44.56
0.10	0.65	0.12	0.11	0.22	26.04	28.67	31.22	33.67	36.24	38.32	40.73	43.53	46.05	49.26
0.12	0.78	0.14	0.13	0.27	28.31	31.17	33.94	36.60	39.39	41.65	44.28	47.32	50.07	53.55
0.14	0.91	0.16	0.15	0.31	30.41	33.48	36.46	39.32	42.31	44.74	47.56	50.83	53.78	57.52
0.16	1.04	0.18	0.17	0.35	32.37	35.64	38.81	41.86	45.05	47.63	50.63	54.11	57.25	61.24
0.18	1.17	0.20	0.19	0.39	34.22	37.68	41.03	44.25	47.62	50.36	53.53	57.21	60.53	64.74
0.20	1.3	0.22	0.21	0.43	35.98	39.62	43.14	46.52	50.07	52.94	56.28	60.14	63.63	68.06
0.22	1.43	0.24	0.23	0.47	37.65	41.46	45.14	48.69	52.40	55.40	58.90	62.94	66.59	71.23
0.24	1.56	0.26	0.25	0.51	39.74	43.75	47.64	51.38	55.30	58.47	62.16	66.42	70.28	75.17
0.26	1.69	0.28	0.27	0.55	43.29	47.67	51.91	55.98	60.25	63.70	67.72	72.37	76.57	81.90
0.28	1.82	0.30	0.29	0.59	46.94	51.68	56.28	60.69	65.32	69.07	73.42	78.46	83.02	88.79
0.30	1.95	0.32	0.31	0.63	50.67	55.79	60.75	65.52	70.51	74.56	79.26	84.70	89.62	95.85
0.32	2.08	0.34	0.33	0.67	54.49	60.00	65.33	70.46	75.83	80.18	85.23	91.09	96.37	103.08
0.34	2.21	0.36	0.35	0.71	58.39	64.30	70.01	75.50	81.26	85.92	91.34	97.61	103.27	110.46
0.36	2.34	0.38	0.37	0.76	62.38	68.68	74.78	80.65	86.80	91.78	97.57	104.27	110.32	117.99
0.38	2.47	0.40	0.39	0.80	66.44	73.16	79.66	85.91	92.46	97.76	103.93	111.07	117.51	125.68
0.40	2.6	0.42	0.41	0.84	70.59	77.72	84.63	91.27	98.22	103.86	110.41	117.99	124.84	133.52
0.42	2.73	0.44	0.43	0.88	74.81	82.37	89.69	96.73	104.10	110.08	117.02	125.05	132.31	141.51
0.44	2.86	0.46	0.45	0.92	79.11	87.11	94.85	102.29	110.08	116.40	123.74	132.24	139.91	149.65
0.46	2.99	0.48	0.47	0.96	83.48	91.92	100.09	107.95	116.17	122.84	130.58	139.55	147.65	157.92
0.48	3.12	0.50	0.49	1.00	87.93	96.82	105.43	113.70	122.36	129.39	137.54	146.99	155.52	166.34

2. Perhitungan Laju Perambatan Retak

Setelah mendapatkan perubahan SIF (ΔK_i) pada rentang tegangan yang berbeda-beda, dilanjutkan dengan perhitungan ΔK_{rms} . Perhitungan ΔK_{rms} dibutuhkan untuk perhitungan laju perambatan retak seperti pada Persamaan 2.14 pada Bab 2 berikut ini.

$$\Delta K_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta K_{Ii})^2}{n}} \quad (4.4)$$

dengan,

ΔK_{Ii} = Perubahan *Stress Intensity Factor*

ΔK_{rms} = Perubahan *Stress Intensity Factor (RMS Model)*

n = Jumlah siklus pada *spectrum tegangan*

Untuk menghitung laju perambatan retak digunakan persamaan *Paris-Law* yang telah dimodifikasi Barsom (1999) berikut.

$$N = \int_{a_0}^{af} \frac{da}{C(\Delta K_{rms})^m} \quad (4.5)$$

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K_{rms})^m \quad (4.6)$$

dengan:

a_0 = Panjang retak awal (*initial crack*)

af = Panjang retak akhir (*final crack*)

N = Jumlah siklus hingga struktur patah

ΔK_{rms} = Perubahan *Stress Intensity Factor (RMS Model)*

n = Jumlah siklus pada *spectrum tegangan*

C dan m = Konstanta material

Nilai konstanta C dan m berbeda-beda berdasarkan jenis materialnya. Nilai tersebut didapatkan secara empiris menggunakan data dari tes-tes yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Jenis material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja *ferrite-pearlite* yang memiliki nilai C sebesar $3,6 \times 10^{-10}$ dan nilai m sebesar 3.0. Berikut merupakan hasil perhitungan laju perambatan retak seperti pada Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.9 Perhitungan laju perambatan retak

a ₀ (inch)	2c (inch)	a _f (inch)	a _{avg} (inch)	ΔK _{rms}	da/dN	N	ΣN
0.02	0.13	0.04	0.03	2.08	3.26E-09	6.1.E+07	6.1.E+07
0.04	0.26	0.06	0.05	2.69	7.02E-09	2.8.E+07	9.0.E+07
0.06	0.39	0.08	0.07	3.18	1.16E-08	1.7.E+07	1.1.E+08
0.08	0.52	0.10	0.09	3.61	1.70E-08	1.2.E+07	1.2.E+08
0.10	0.65	0.12	0.11	3.99	2.29E-08	8.7.E+06	1.3.E+08
0.12	0.78	0.14	0.13	4.34	2.94E-08	6.8.E+06	1.3.E+08
0.14	0.91	0.16	0.15	4.66	3.65E-08	5.5.E+06	1.4.E+08
0.16	1.04	0.18	0.17	4.96	4.40E-08	4.5.E+06	1.4.E+08
0.18	1.17	0.20	0.19	5.25	5.20E-08	3.8.E+06	1.5.E+08
0.20	1.3	0.22	0.21	5.52	6.04E-08	3.3.E+06	1.5.E+08
0.22	1.43	0.24	0.23	5.77	6.93E-08	2.9.E+06	1.5.E+08
0.24	1.56	0.26	0.25	6.09	8.14E-08	2.5.E+06	1.6.E+08
0.26	1.69	0.28	0.27	6.64	1.05E-07	1.9.E+06	1.6.E+08
0.28	1.82	0.30	0.29	7.20	1.34E-07	1.5.E+06	1.6.E+08
0.30	1.95	0.32	0.31	7.77	1.69E-07	1.2.E+06	1.6.E+08
0.32	2.08	0.34	0.33	8.35	2.10E-07	9.5.E+05	1.6.E+08
0.34	2.21	0.36	0.35	8.95	2.58E-07	7.7.E+05	1.6.E+08
0.36	2.34	0.38	0.37	9.56	3.15E-07	6.4.E+05	1.6.E+08
0.38	2.47	0.40	0.39	10.19	3.81E-07	5.3.E+05	1.6.E+08
0.40	2.6	0.42	0.41	10.82	4.56E-07	4.4.E+05	1.6.E+08
0.42	2.73	0.44	0.43	11.47	5.43E-07	3.7.E+05	1.7.E+08
0.44	2.86	0.46	0.45	12.13	6.42E-07	3.1.E+05	1.7.E+08
0.46	2.99	0.48	0.47	12.80	7.55E-07	2.6.E+05	1.7.E+08
0.48	3.12	0.50	0.49	13.48	8.82E-07	2.3.E+05	1.7.E+08

Perhitungan laju perambatan retak diasumsikan hingga ketebalan chord, dikarenakan nilai kedalaman retak kritis yang tidak diketahui (a_{cr}). Dari tabel 4.8 , maka diperoleh nilai dari laju perambatan retak awal pada *joint* 407L bagian *chord* adalah sebesar 3.26×10^{-9} in/cycle.

4.2.3 Perhitungan Umur Kelelahan

Setelah laju perambatan retak diketahui dimulai dari retak awal hingga ketebalan *chord*, umur kelelahan struktur dapat diprediksi dengan melihat nilai ΣN. Dari tabel 4.8, diperoleh nilai 1.7×10^8 cycle pada kedalaman tebal *chord*. Nilai ini kemudian diubah menjadi satuan waktu. Perhitungan dilakukan dengan membagi jumlah *cycle* yang didapatkan dari

perhitungan perambatan retak dengan jumlah *cycle* tegangan pertahun pada *Load Case 3* (arah *east 135⁰*) yang dialami oleh struktur yaitu 3×10^8 . Maka diperoleh umur kelelahan dengan metode *fracture mechanics* yaitu 0,51 tahun. Dimana nilai umur kelelahan yang diperoleh dengan metode *fracture mechanics* ini lebih kecil dibandingkan dengan metode *cumulative damage* pada *joint* yang sama.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah diperoleh dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Nilai perubahan *stress intensity factor* pada tubular joint kritis 407L yang terletak di *chord* dengan kedalaman retak 0.49 inch dan bentuk retak *semi elliptical* memiliki nilai beragam yang dipengaruhi oleh nilai *stress range* yang beragam. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai perubahan *stress intensity factor* berada pada kisaran nilai 5.46 ksi \sqrt{in} hingga 166.34 ksi \sqrt{in}
2. Laju perambatan retak awal pada tubular joint kritis 407L pada kedalaman 0.02 inch (retak awal) sebesar 3.26E-09 in/cycle dan laju perambatan retak pada kedalaman 0.49 (retak akhir) sebesar 8.82E-07 in/cycle.
3. Dengan menggunakan metode *fracture mechanics* (analisis lokal) diperoleh umur kelelahan struktur XA-Pro Platform sebesar 0,51 tahun. Umur kelelahan ini lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode *cumulative damage* (analisis global) sebesar 1,91 tahun. Dapat disimpulkan dengan adanya retak pada *tubular joint* kritis mengakibatkan berkurangnya umur kelelahan. Dari hasil analisis ini umur kelelahan berkurang 1,4 tahun.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dijadikan acuan baru dalam melakukan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan pendekatan lain dalam metode *fracture mechanics*, seperti pendekatan *crack closure*
2. Dianjurkan dalam analisis lokal menggunakan software FEM agar dapat dilakukan permodelan dan pembebanan lokal pada *joint* kritisnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

Daftar Pustaka

- Anderson, T L. 2005. *Fracture Mechanic, Fundamentals And Applications*. Department of Mechanical Engineering Texas A & University College Station. Texas.
- API RP-2A-WSD 21st. 2005. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform*. America
- B, Djamila & Mohamed B. 2015. *Determination of Stress Intensity Factor in Concrete Material Under Brazilian Disc and Three-Point Bending Tests Using Finite Element Method*. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering
- Chakrabarti, S. K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Amsterdam: Elsevier.
- Dady S, Agustinus. 2016. *Analisis Umur Kelelahan Pada Platform Kerindungan K Menggunakan Pendekatan Mekanika Kepecahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- DNV-RP-C203. 2008. *Fatigue Design Of Offshore Steel Structures*. Norway
- Graff, W.J., 1981. *Introduction to Offshore Structures*. Huston, Gulf Publishing.
- Huang X., Moan T., Cui. W. 2008. *An Engineering Model Of Fatigue Crack Growth under Variable Amplitude Loading*, Int J Fatigue, 30, p. 2-10.
- Irfan, Muhammad. 2011. *Analisis Kelelahan Berbasis Resiko Pada "ETB" Jacket Platfrom Untuk Perpanjangan Umur Operasi*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Langen, Ivar. 2002. *On Assessment of Existing Offshore Structures*. Norwegian Petroleum Directorate and Stavanger University College Stavanger. Norway
- Newman J.C., Jr. 1981. *A Crack-Closure Model For Predicting Fatigue Crack Growth Under Aircraft Spectrum Loading*, In: *Methods And Models For Predicting Fatigue Crack Growth Under Random Loading*. Chang J.B., Hudson C.M. (eds.), ASTM STP 748, p. 53–84.
- O. E, Wheeler. 1972. *Spectrum Loading And Crack Growth*. Trans. ASME, J. Basic Eng., 94, 181–186.

- PT. Pertamina EP. 2017. *Pekerjaan Pemeriksaan Topside Equipment, Requalification & Penyusunan Risk Based Inspection (Rbi) Terhadap 10 Unit Platform X-Ray*. No Dokumen : 137597-62-CN-05-RP-009.
- Puspitorini, Aulia. 2017. *Analisis Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform Menggunakan Metode Cummulative Damage Dan Fracture Mechanics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ribeiro, A.S, et al. 2011. *Variable Amplitude Fatigue Crack Growth Modelling*. Mecânica Experimental Vol 19 Pgs 33-44. Portugal
- Rolfe, S. T., & Barsom, J. M. 1999. *Fracture and Fatigue Control in Structures : Application of Fracture Mechanics (Third Edition)*. Philadelphia: ASTM.
- S, Dikshant. 2016. *A Review Of Stress Concentration Factors In Tubular And Non-Tubular Joints For Design Of Offshore Installations*. Journal of Ocean Engineering and Science Volume 1, Issue 3, September 2016, Pages 186-202.
- Walujo, R. 2015. *Diktat Kuliah Sambungan Tubular (tubular joint)*. FTK-ITS.Surabaya.
- W, Elber. 1971. *Damage Tolerance in Aircraft Structures*. ASTM STP 486,," ASTM, West Conshohocken, PA, pp. 230–242
- Y Kondo. 2003. *Fatigue Under Variable Amplitude Loading*. Comprehensive Structural Integrity Volume 4, Pages 253-279. Japan:Elsevier

LAMPIRAN

LAMPIRAN A
OUTPUT INPLACE ANALYSIS SACS 5.6

* * * M E M B E R G R O U P S U M M A R Y * * *

API RP2A 21ST/AISC 9TH

GRUP ID	CRITICAL MEMBER	LOAD COND	UNITY CHECK	MAX. DIST FROM END	* APPLIED STRESSES *								CRIT COND	EFFECTIVE CM VALUES *			
					*** ALLOWABLE STRESSES ***				*** ALLOWABLE STRESSES ***					LENGTHS		* VALUES *	
					AXIAL	EULER	BEND-Y	BEND-Z	AXIAL	EULER	BEND-Y	BEND-Z		KLY	KLZ	Y	Z
					FT	KSI	KSI	KSI	KSI	KSI	KSI	KSI		FT	FT	FT	FT
A11	101L-201L	2001	0.79	0.0	0.00	0.00	0.00	17.46	1428.75	24.64	24.64	HYDRO	10.1	10.1	0.85	0.85	
A12	301L-401L	2001	0.45	0.0	-0.30	0.28	0.01	17.48	88.40	24.69	24.69	HYDRO	40.6	40.6	0.85	0.85	
A13	401L-0324	2001	0.17	0.0	-0.19	0.18	-0.18	17.61	88.29	24.91	24.91	HYDRO	40.6	40.6	0.85	0.85	
A14	501L-0752	3006	0.05	0.0	0.72	-0.29	-0.23	21.60	85.85	27.00	27.00	TN+BN	40.6	40.6	0.85	0.85	
A21	102L-202L	2001	0.10	0.0	0.00	0.00	0.00	18.00	1396.53	27.00	27.00	HYDRO	10.1	10.0	0.85	0.85	
A22	302L-0034	3003	0.06	0.0	-0.68	0.26	-0.10	18.00	87.41	27.00	27.00	HYDRO	20.1	40.3	0.85	0.85	
A23	402L-0689	3003	0.07	0.0	-0.84	0.31	0.05	18.00	87.10	27.00	27.00	HYDRO	40.3	40.3	0.85	0.85	
A24	1067-502L	2003	0.08	2.0	-0.87	-0.87	-0.28	19.08	87.18	27.00	27.00	C<.15	40.3	40.3	0.85	0.85	
A31	103L-203L	2001	0.10	0.0	0.00	0.00	0.00	18.00	1415.85	27.00	27.00	HYDRO	10.0	10.0	0.85	0.85	
A32	303L-0040	2001	0.05	0.0	0.03	-0.30	-0.20	18.00	348.21	27.00	27.00	HYDRO	20.1	20.2	0.85	0.85	
A33	403L-0692	2007	0.08	20.2	1.20	-0.60	-0.14	21.60	87.10	27.00	27.00	TN+BN	40.3	40.3	0.85	0.85	
A34	1089-503L	3007	0.12	0.0	1.34	-0.35	-1.58	21.60	87.10	27.00	27.00	TN+BN	40.3	40.3	0.85	0.85	
A41	104L-204L	2001	0.76	0.0	0.00	0.00	0.00	17.50	1428.25	24.71	24.71	HYDRO	10.1	10.1	0.85	0.85	
A42	304L-404L	2001	0.43	0.0	0.72	0.21	0.12	17.52	88.37	24.75	24.75	HYDRO	40.6	40.6	0.85	0.85	
A43	404L-0769	2007	0.21	20.3	3.80	-0.83	-0.14	21.60	88.31	24.89	24.89	TN+BN	40.6	40.6	0.85	0.85	
A44	1091-504L	3008	0.15	2.0	2.26	0.28	-1.13	21.60	86.08	27.00	27.00	TN+BN	40.6	40.6	0.85	0.85	
B11	105L-205L	2001	0.70	0.0	0.00	0.00	0.00	17.58	1427.07	24.87	24.87	HYDRO	10.1	10.1	0.85	0.85	

B12	305L-405L	2001	0.42	0.0	-0.48	0.39	-0.05	17.55	88.35	24.80	24.80	HYDRO	40.6	40.6	0.85	0.85
B13	405L-1111	2001	0.17	0.0	-0.53	0.08	0.28	17.58	88.32	24.87	24.87	HYDRO	40.6	40.6	0.85	0.85
B14	1112-505L	3007	0.05	2.0	-0.57	-0.48	-0.45	19.05	85.83	27.00	27.00	C<.15	40.6	40.6	0.85	0.85
B21	106L-206L	2001	0.73	0.0	0.00	0.00	0.00	17.531456.44		24.78	24.78	HYDRO	10.0	10.0	0.85	0.85
B22	306L-406L	2001	0.43	0.0	-0.68	0.17	-0.10	17.52	89.69	24.75	24.75	HYDRO	40.3	40.3	0.85	0.85
B23	406L-1109	2001	0.18	0.0	-0.56	0.19	0.54	17.56	89.66	24.82	24.82	HYDRO	40.3	40.3	0.85	0.85

* * J O I N T C A N S U M M A R Y * *

(UNITY CHECK ORDER)

***** ORIGINAL ***** DESIGN *****

JOINT	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC
0031	16.000	0.500	36.000	1.397	16.000	0.500	36.000	1.397
404L	34.000	0.482	36.000	1.048	34.000	0.482	36.000	1.048
0033	16.000	0.500	36.000	0.895	16.000	0.500	36.000	0.895
407L	34.000	0.486	36.000	0.882	34.000	0.486	36.000	0.882
406L	34.000	0.482	36.000	0.743	34.000	0.482	36.000	0.743
408L	34.000	0.478	36.000	0.646	34.000	0.478	36.000	0.646
401L	34.000	0.476	36.000	0.598	34.000	0.476	36.000	0.598
405L	34.000	0.486	36.000	0.574	34.000	0.486	36.000	0.574
308L	34.000	0.482	36.000	0.555	34.000	0.482	36.000	0.555
304L	34.000	0.478	36.000	0.553	34.000	0.478	36.000	0.553
307L	34.000	0.465	36.000	0.552	34.000	0.465	36.000	0.552
0003	18.000	0.368	36.000	0.533	18.000	0.368	36.000	0.533
0011	16.000	0.366	36.000	0.528	16.000	0.366	36.000	0.528
508L	34.000	0.972	36.000	0.524	34.000	0.972	36.000	0.524
0002	18.000	0.368	36.000	0.482	18.000	0.368	36.000	0.482
306L	34.000	0.482	36.000	0.475	34.000	0.482	36.000	0.475
207L	34.000	0.465	36.000	0.473	34.000	0.465	36.000	0.473
204L	34.000	0.478	36.000	0.456	34.000	0.478	36.000	0.456
0001	18.000	0.368	36.000	0.437	18.000	0.368	36.000	0.437
0010	16.000	0.366	36.000	0.414	16.000	0.366	36.000	0.414
206L	34.000	0.484	36.000	0.411	34.000	0.484	36.000	0.411
0032	16.000	0.500	36.000	0.405	16.000	0.500	36.000	0.405
205L	34.000	0.492	36.000	0.394	34.000	0.492	36.000	0.394

0000	18.000	0.368	36.000	0.388	18.000	0.368	36.000	0.388
201L	34.000	0.472	36.000	0.388	34.000	0.472	36.000	0.388
301L	34.000	0.472	36.000	0.380	34.000	0.472	36.000	0.380
305L	34.000	0.486	36.000	0.379	34.000	0.486	36.000	0.379
507L	34.000	0.976	36.000	0.366	34.000	0.976	36.000	0.366
502L	34.000	0.965	36.000	0.341	34.000	0.965	36.000	0.341
0030	16.000	0.500	36.000	0.328	16.000	0.500	36.000	0.328
0009	16.000	0.366	36.000	0.286	16.000	0.366	36.000	0.286
506L	34.000	0.978	36.000	0.278	34.000	0.978	36.000	0.278
0008	16.000	0.366	36.000	0.269	16.000	0.366	36.000	0.269
505L	34.000	0.978	36.000	0.267	34.000	0.978	36.000	0.267
504L	34.000	0.929	36.000	0.263	34.000	0.929	36.000	0.263
0018	16.000	0.356	36.000	0.240	16.000	0.356	36.000	0.240
0016	14.000	0.356	36.000	0.240	14.000	0.356	36.000	0.240
501L	34.000	0.974	36.000	0.239	34.000	0.974	36.000	0.239
503L	34.000	0.980	36.000	0.235	34.000	0.980	36.000	0.235
0019	14.000	0.356	36.000	0.211	14.000	0.356	36.000	0.211
403L	34.000	0.980	36.000	0.170	34.000	0.980	36.000	0.170
0017	16.000	0.356	36.000	0.163	16.000	0.356	36.000	0.163
402L	34.000	0.919	36.000	0.163	34.000	0.919	36.000	0.163
202L	34.000	0.935	36.000	0.130	34.000	0.935	36.000	0.130
303L	34.000	0.965	36.000	0.110	34.000	0.965	36.000	0.110
302L	34.000	0.919	36.000	0.108	34.000	0.919	36.000	0.108
203L	34.000	0.965	36.000	0.101	34.000	0.965	36.000	0.101

LAMPIRAN B
INPUT FATIGUE SPECTRAL ANALYSIS
SACS 5.6

FTOPTG7 50. 1.0 1. FLWJT SK SK KTLPMSH

FTOPT2 PTPPTVC PV WSXZYZ -10. 8.0AWS -111.0 111.0TI5 O

SCFLM 10. 2.5

RELIEF

MODE 2.0

JSLC 201L202L203L204L

JSLC 205L206L207L208L

JSLC 301L302L303L304L

JSLC 305L306L307L308L

JSLC 401L402L403L404L

JSLC 405L406L407L408L

JSLC 501L502L503L504L

JSLC 505L506L507L508L

JSLC 0000000100020003

JSLC 0008000900100011

JSLC 0016001700180019

JSLC 0030003200330031

SEAS

*

*NORTH

FTCASE 1 0.025 1.0 SPC 225.

SCATD S 1. 3.28 1. JS 1.7

SCWAV 0.10 0.30 0.50 0.70 0.90 1.10 1.30 1.50 1.70 1.90

SCPER 1.750.0037

SCPER 2.250.02800.0033

SCPER 2.75 0.0922

SCPER 3.250.00060.18200.00800.0008

SCPER 3.750.00370.10450.12500.0074

SCPER 4.250.00190.10650.09430.01390.0012

SCPER 4.750.00120.03800.06970.01140.00160.0006

SCPER 5.250.00060.00690.04120.01650.00260.00120.00090.0002

SCPER 5.75 0.00040.00410.00480.00170.00110.00120.00110.00050.0001

SCPER 6.25 0.00030.00090.00070.00110.00130.00130.00130.0010

SCPER 6.75 0.00010.00010.00010.00030.00060.00100.00130.0015

SCPER 7.25 0.00010.00030.00080.0011

SCPER 7.75 0.0001

SCPER 8.25

SCPER 8.75

*

*

*NORTH EAST

FTCASE 2 .0265 1.0 SPC 180.

SCATD S 1. 3.28 1. JS 1.7

SCWAV 0.10 0.30 0.50 0.70 0.90 1.10 1.30 1.50 1.70 1.90 2.10

SCPER 1.750.0025

SCPER 2.250.01850.0025

SCPER 2.75 0.0708

SCPER 3.250.00040.13970.00970.0015

SCPER 3.750.00250.08020.15080.01440.0001

SCPER 4.250.00120.08180.11380.02720.0023

SCPER 4.750.00080.02910.08410.02240.00300.0012 0.0001

SCPER 5.250.00040.00530.04970.03230.00500.00230.00090.0002 0.0001

SCPER 5.75 0.00030.00490.00930.00310.00210.00120.00100.00050.00050.0001

SCPER 6.25 0.00040.00180.00130.00130.00100.00120.00120.00090.0003

SCPER 6.75 0.00020.00010.00030.00050.00060.00100.00130.00150.0015

SCPER 7.25 0.00010.00030.00070.00100.0012

SCPER 7.75 0.00010.0003

SCPER 8.25 0.0001

SCPER 8.75

*

*

*EAST

FTCASE 3 .5675 1.0 SPC 135.

SCATD D 1. 3.28 1. PM 3.3 7.

SCWAV 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3 1.5 1.7 1.9 2.1

SCPER 1.750.0002

SCPER 2.250.00120.0004

SCPER 2.75 0.0105

SCPER 3.25 0.02070.0043 .0031 .0001

SCPER 3.750.00020.01190.06660.03020.0012 .0001 .0001 .0001

SCPER 4.250.00010.01210.05020.05710.03090.0006 .0001 .0001

SCPER 4.75 .00010.00430.03710.04690.04010.02400.0008 .0001 .0001 .0001 .0001
 SCPER 5.25 0.00080.02190.06770.06710.04490.02000.0024 .0001 .0001 .0001
 SCPER 5.75 0.00220.01950.04220.04140.02620.01270.00300.0003 .0001
 SCPER 6.25 0.00020.00380.01700.02650.02270.01520.00770.00270.0004
 SCPER 6.75 .00010.00020.00350.01010.01320.01220.00800.00420.0019
 SCPER 7.25 0.00010.00080.00190.00400.00460.00290.0015
 SCPER 7.75 .0001 .00010.00010.00030.00030.0004
 SCPER 8.25 0.00010.00010.00010.0001
 SCPER 8.75
 SCWAV 2.3 2.5 2.7 2.9
 SCPER 1.75
 SCPER 2.25
 SCPER 2.75
 SCPER 3.25
 SCPER 3.75
 SCPER 4.25
 SCPER 4.75
 SCPER 5.25
 SCPER 5.75
 SCPER 6.25 .0001 .0001
 SCPER 6.75 .0005 .0001 .0001
 SCPER 7.25 .0011 .0004 .0001
 SCPER 7.75 .0003 .0003 .0001
 SCPER 8.25 .0001 .0001 .0001
 SCPER 8.75 .0001 .0001

*

*SOUTH EAST

FTCASE 4 .0495 1.0 SPC 90.
 SCATD D 1. 3.28 1. PM 3.3 7.
 SCWAV 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3 1.5 1.7 1.9 2.1
 SCPER 1.75 .0008
 SCPER 2.250.00570.0015
 SCPER 2.75 0.0418
 SCPER 3.25 .00010.08250.00870.0030 .0001
 SCPER 3.75 .00080.04740.13530.0291 .0006
 SCPER 4.25 .00040.04830.10210.05490.0160 .0002

SCPER 4.75 .00030.01720.07550.04510.02080.0059 .0001
 SCPER 5.25 .00010.00310.04460.06520.03480.01100.0024 .0001
 SCPER 5.75 .00020.00440.01870.02190.01010.0031 .0005 .0003 .0001
 SCPER 6.25 .00030.00360.00880.00650.0027 .0006 .0007 .0005 .0002
 SCPER 6.75 .0002 .00020.00180.00250.0016 .0005 .0007 .0008 .0008
 SCPER 7.25 .0001 .0002 .0002 .0002 .0004 .0005 .0007
 SCPER 7.75 .0001 .0002
 SCPER 8.25
 SCPER 8.75

*

*

*

*SOUTH

FTCASE 5 .0122 1.0 SPC 45.
 SCATD D 1. 3.28 1. PM 3.3 7.
 SCWAV 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3
 SCPER 1.750.0015
 SCPER 2.250.01150.0024
 SCPER 2.75 0.0666
 SCPER 3.250.00030.1314 0.0900.0023
 SCPER 3.750.00150.07540.14050.02280.0002
 SCPER 4.250.00080.07690.14050.02280.0002
 SCPER 4.750.00050.02740.07840.03530.00490.00130.0001
 SCPER 5.250.0003 0.0050.04630.05100.00820.00250.0019
 SCPER 5.75 0.00030.00460.01470.00510.00230.0025
 SCPER 6.25 0.30.00280.00210.00150.0022
 SCPER 6.75 0.00020.00020.00040.00060.0013
 SCPER 7.25 0.0002
 SCPER 7.75

*

*SOUTH WEST

FTCASE 6 .0134 1.0 SPC 0.
 SCATD D 1. 3.28 1. PM 3.3 7.
 SCWAV 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3 1.5 1.7 1.9
 SCPER 1.750.0014
 SCPER 2.250.01050.0021

SCPER 2.75 0.0606
 SCPER 3.250.00020.11960.00850.0025
 SCPER 3.750.00140.06860.13340.02470.0003
 SCPER 4.250.00070.07000.10060.04660.0068
 SCPER 4.750.00050.02490.07440.03830.00890.00120.0001 0.0001
 SCPER 5.250.00020.00460.04390.05530.01480.00230.00170.0004 0.0001
 SCPER 5.75 0.00030.00430.01590.00930.00210.00230.00200.00090.0002
 SCPER 6.25 0.00030.00310.00380.00130.00200.00240.00240.0018
 SCPER 6.75 0.00020.00020.00080.00050.00120.00190.00250.0029
 SCPER 7.25 0.00020.00060.00140.0020
 SCPER 7.75 0.00010.0002
 SCPER 8.25 0.0001

*
*
*

*WEST

FTCASE 7 .0931 1.0 SPC 315.
 SCATD D 1. 3.28 1. PM 3.3 7.
 SCWAV 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.1 1.3 1.5 1.7 1.9 2.1
 SCPER 1.750.0007
 SCPER 2.250.00530.0010
 SCPER 2.75 0.0280
 SCPER 3.250.00010.05520.00690.00330.0001
 SCPER 3.750.00070.03170.10750.03230.00090.0001
 SCPER 4.250.00040.03230.08110.06110.02290.0004
 SCPER 4.750.00020.01150.06000.05010.02980.01350.0003
 SCPER 5.250.00010.00210.03540.07240.04970.02530.00750.0007
 SCPER 5.75 0.00010.00350.02080.03130.02330.00990.00380.00070.0001
 SCPER 6.25 0.00030.00400.01260.01490.00860.00450.00170.00050.0001
 SCPER 6.75 0.00010.00020.00260.00570.00500.00360.00180.00080.0004
 SCPER 7.25 0.00010.00040.00070.00120.00100.00060.0003
 SCPER 7.75 0.0001 0.00010.00010.0001
 SCPER 8.25
 SCPER 8.75
 SCWAV 2.3 2.5 2.7
 SCPER 1.75

SCPER 2.25
 SCPER 2.75
 SCPER 3.25
 SCPER 3.75
 SCPER 4.25
 SCPER 4.75
 SCPER 5.25
 SCPER 5.75
 SCPER 6.250.00010.0001
 SCPER 6.750.00030.00010.0002
 SCPER 7.250.00050.00040.0002
 SCPER 7.750.00020.00030.0002
 SCPER 8.250.00010.00010.0002
 SCPER 8.75 0.00010.0002

*

*

*NORTH WEST

FTCASE 8 .2128 1.0 SPC 270.
 SCATD D 1. 3.28 1. JS 1.7
 SCWAV 0.10 0.30 0.50 0.70 0.90 1.10 1.30 1.50 1.70 1.90 2.10
 SCPER 1.750.0009
 SCPER 2.250.00690.0010
 SCPER 2.75 0.0288
 SCPER 3.250.00020.05690.00620.00260.0001
 SCPER 3.750.00090.03270.09680.02520.00080.00010.00010.0001
 SCPER 4.250.00050.03330.07300.04760.01930.00040.00010.0001
 SCPER 4.750.00030.01190.05400.03910.02510.01550.00060.00010.00010.00010.0001
 SCPER 5.250.00020.00220.03190.05640.04200.02890.01450.00200.00010.00010.0001
 SCPER 5.75 0.00010.00320.01620.02640.02670.01900.01020.00270.00040.0001
 SCPER 6.25 0.00020.00310.01060.01700.01650.01220.00700.00310.0005
 SCPER 6.75 0.00010.00020.00220.00650.00960.00980.00720.00490.0020
 SCPER 7.25 0.00010.00050.00140.00320.00410.00340.0017
 SCPER 7.75 0.00010.00010.00010.00020.00040.0005
 SCPER 8.25 0.00010.00010.00010.0001
 SCPER 8.75

END

LAMPIRAN C
OUTPUT FREQUENCY NATURAL STRUCTURE
SACS 5.6

SACS IV-FREQUENCIES AND GENERALIZED MASS

MODE	FREQ. (CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	0.510500	1.6788140E+04	9.7196088E-02	1.9588639
2	0.525575	1.6171322E+04	9.1700419E-02	1.9026791
3	0.632122	1.0265915E+04	6.3392560E-02	1.5819729
4	1.422692	5.8855270E+03	1.2514635E-02	0.7028926
5	1.767747	6.4166649E+03	8.1058752E-03	0.5656917
6	1.948960	3.9159953E+03	6.6685981E-03	0.5130943
7	2.854897	1.5309292E+04	3.1078454E-03	0.3502754
8	3.740475	9.6672199E+03	1.8104510E-03	0.2673457
9	4.113338	5.3017243E+03	1.4971020E-03	0.2431115
10	4.584664	8.3393757E+03	1.2051058E-03	0.2181185
11	4.904121	6.5888215E+03	1.0532172E-03	0.2039102
12	4.985648	2.7452192E+03	1.0190534E-03	0.2005757
13	5.211255	4.4262484E+03	9.3272937E-04	0.1918924
14	5.515755	6.1775926E+03	8.3258843E-04	0.1812989
15	5.783275	5.5778267E+03	7.5734298E-04	0.1729124
16	6.247833	5.0158911E+03	6.4890545E-04	0.1600555
17	6.730539	5.3484759E+03	5.5916567E-04	0.1485765
18	7.292071	3.1556626E+03	4.7636353E-04	0.1371353
19	7.739584	5.0303271E+03	4.2286817E-04	0.1292059
20	8.009409	7.4707759E+03	3.9485654E-04	0.1248532
21	8.169278	2.7620304E+03	3.7955338E-04	0.1224098
22	8.590523	3.0520096E+03	3.4324248E-04	0.1164073
23	8.905516	1.9121174E+03	3.1939056E-04	0.1122900
24	8.950347	3.4698536E+03	3.1619900E-04	0.1117275
25	9.167801	2.5189795E+03	3.0137686E-04	0.1090774
26	9.536014	2.3575440E+03	2.7855210E-04	0.1048656
27	9.722129	3.1539086E+03	2.6798933E-04	0.1028581
28	9.808878	3.4482582E+03	2.6327012E-04	0.1019485
29	10.025468	2.7588147E+03	2.5201762E-04	0.0997460
30	10.206560	2.6468395E+03	2.4315401E-04	0.0979762
31	10.523029	2.6513956E+03	2.2874875E-04	0.0950297
32	10.808779	3.1222797E+03	2.1681384E-04	0.0925174
33	10.956189	2.9361409E+03	2.1101883E-04	0.0912726
34	11.088075	3.1441931E+03	2.0602880E-04	0.0901870

35	11.382180	2.0331416E+03	1.9551917E-04	0.0878566
36	11.584810	1.6866015E+03	1.8873934E-04	0.0863199
37	11.746959	4.2599192E+03	1.8356478E-04	0.0851284
38	11.879954	3.2196096E+03	1.7947781E-04	0.0841754
39	11.958055	2.8533335E+03	1.7714102E-04	0.0836256
40	12.325557	2.1982500E+03	1.6673515E-04	0.0811322

LAMPIRAN D
*OUTPUT FATIGUE LIFE AND DAMAGE SPECTRAL
ANALYSIS JOINT 407L SACS 5.6*

Fatigue Life results at Joint 407L

Brace 0981-407L Chord 407L-1107

Fatigue Life (years)	1.907	SCF Method	Marshall Method
Design Life (years)	50.000	Life Safety Fact	1.000
Maximum Damage	26.22582	Location	Left
Brace-Chord Angle (deg)	90.000	Connection Type	K

*** Brace and Chord Properties ***

S-N Type WJT - API 21st Supplement 2 - Welded Joint Standard

Member	Chord Brace	Diameter (In)	Thick (In)	*** Stress Concentration Factors ***			
				Ax-Crn	Ax-Sdl	IP-Mom	OP-Mom
407L-1107	Chord	34.000	0.492	15.690	15.690	5.635	12.679
0981-407L	Brace	14.000	0.356	5.539	5.539	4.162	7.602

*** Damage and Fatigue Life Details ***

Position	***** CHORD *****		***** BRACE *****	
	Damage	Life	Damage	Life
Top	.032477	1539.54	.1075-2	46501.3
Top Left	6.94217	7.20236	.400109	124.966
Left	26.2256	1.90654	2.00685	24.9146
Bottom Left	9.90998	5.04542	.620854	80.5342
Bottom	.200293	249.635	.8237-2	6070.15
Bottom Right	6.33326	7.89483	.481460	103.851
Right	22.1051	2.26192	1.96506	25.4445
Top Right	6.42668	7.78007	.494651	101.081
Maximum	26.2256	1.90654	2.00685	24.9146

* * * M E M B E R F A T I G U E R E P O R T * * *

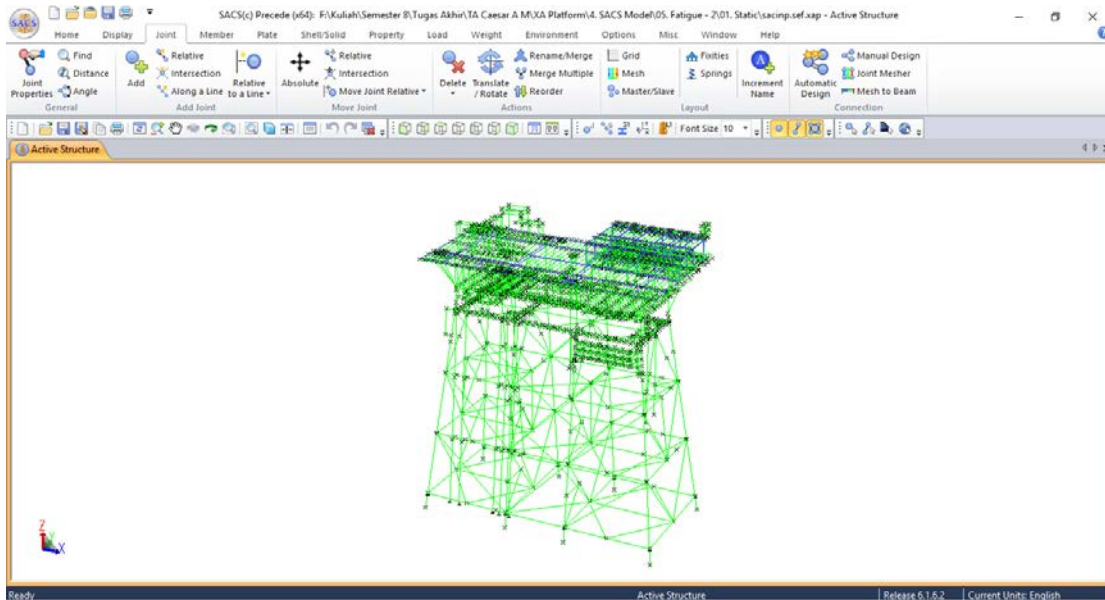
(JOINT ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP	TYPE	ORIGINAL		CHORD		LEN.	GAP	* STRESS CONC. FACTORS *				FATIGUE RESULTS		
				OD (IN)	WT (IN)	JNT TYP	MEM TYP			AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	DAMAGE	LOC	SVC LIFE
407L	407L-306L	DB2	TUB	16.00	0.364	K	BRC	80.60	-1.23	4.38	4.38	3.39	5.86	.0102936	R	4857.383
407L	307L-407L	B32	TUB	34.00	0.486	K	CHD	80.60		10.51	10.51	4.13	9.29	.3707723	R	134.8537
407L	407L-1584	DC1	TUB	16.00	0.368	K	BRC	80.60	-1.40	4.37	4.37	3.39	5.84	1.835388	R	27.24220
407L	407L-1107	B33	TUB	34.00	0.492	K	CHD	80.60		10.30	10.30	4.09	9.20	18.90950	R	2.644173
407L	0010-407L	EB1	TUB	14.00	0.368	TK	BRC	80.60	12.72	4.26	4.26	3.31	5.68	.0540983	T	924.2430
407L	307L-407L	B32	TUB	34.00	0.486	TK	CHD	80.60		7.28	7.28	3.41	7.68	.6152317	T	81.27020
407L	407L-1585	EB1	TUB	14.00	0.368	TK	BRC	80.60	12.72	3.28	3.28	2.65	4.21	.0776474	BL	643.9364
407L	407L-1107	B33	TUB	34.00	0.492	TK	CHD	80.60		4.04	4.04	2.65	5.08	.1259069	BL	397.1188
407L	0981-407L	FC1	TUB	14.00	0.356	K	BRC	80.60	-1.23	5.54	5.54	4.16	7.60	2.006852	L	24.91464
407L	407L-1107	B33	TUB	34.00	0.492	K	CHD	80.60		15.69	15.69	5.64	12.68	26.22557	L	1.906536
407L	407L-0022	FC1	TUB	14.00	0.356	K	BRC	80.60	-1.40	5.54	5.54	4.16	7.60	.1492808	B	334.9393
407L	407L-1107	B33	TUB	34.00	0.492	K	CHD	80.60		14.03	14.03	5.53	12.44	1.113290	B	44.91193
407L	407L-0018	GC2	TUB	16.00	0.356	TK	BRC	80.60	12.72	5.35	5.35	4.04	7.31	.88764-3	BL	56329.24
407L	407L-1107	B33	TUB	34.00	0.492	TK	CHD	80.60		12.41	12.41	5.03	11.31	.0381078	B	1312.069

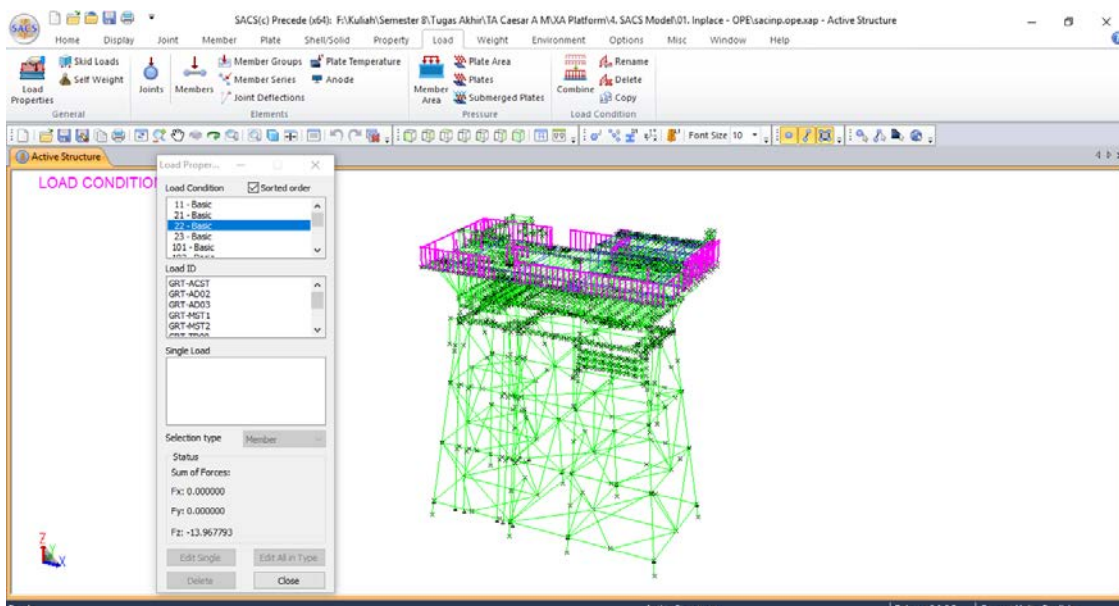
LAMPIRAN E
STEP BY STEP ANALISIS GLOBAL STRUKTUR PADA
SACS 5.6

- **PERMODELAN STRUKTUR**

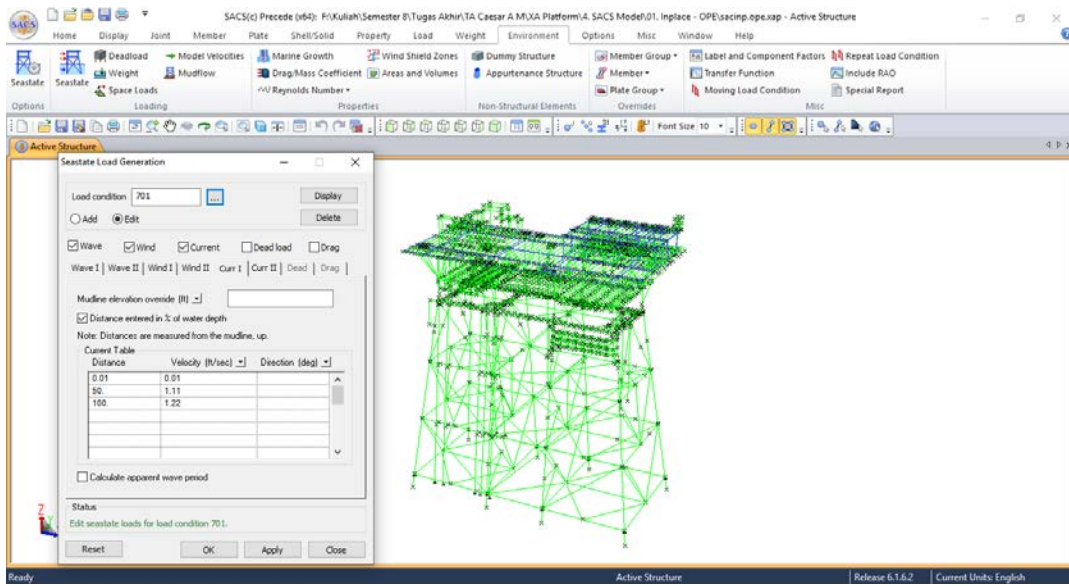
1. Membuat joint dan member pada SACS Precede sesuai data yang ada. Dimulai dari jacket leg, topside, riser, dan boatlanding.



2. Memasukan beban-beban yang ada pada struktur. Dimulai dari beban selfweight, beban equipment, hingga beban lingkungan kondisi operasi dan badai. Kemudian beban tersebut disatukan menjadi load combination



Beban Equipment



Beban lingkungan

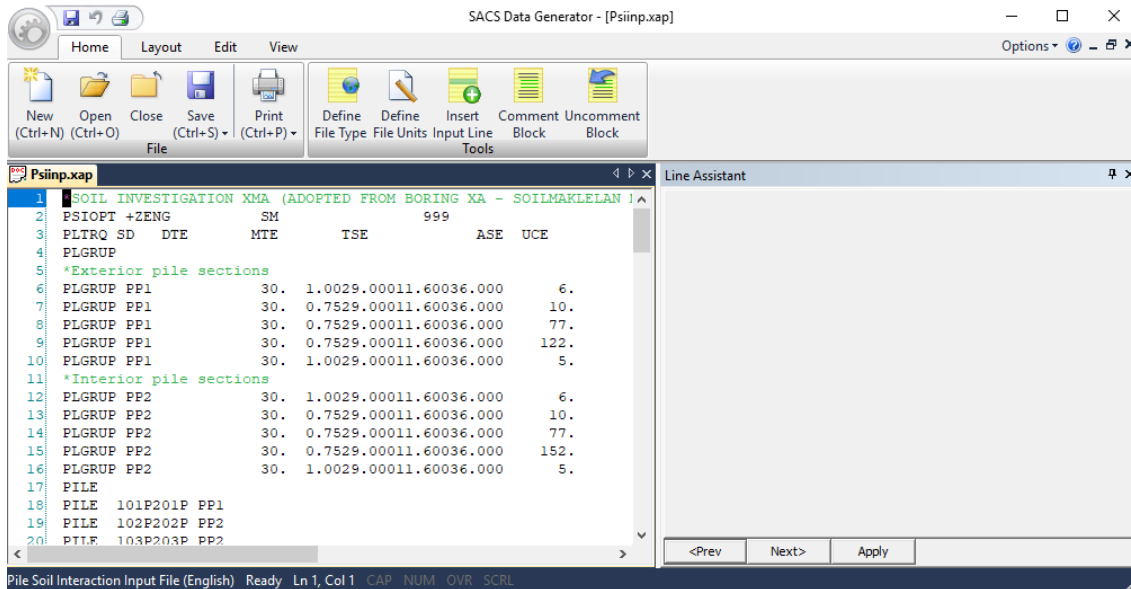
Tabel 32. Kombinasi Beban Kondisi Operasional - Kedalaman Air Maksimum.

LC	Deskripsi	Kombinasi Beban - Kondisi Operasional Kedalaman Air Maksimum									
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
1	Beban mati kondisi max wd	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
11	Beban perlengkapan jaket	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
21	Beban perlengkapan main deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
22	Beban perlengkapan main deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
23	Beban perlengkapan cellar deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
101	Beban peralatan roof deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
102	Beban peralatan Turbin Room	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
103	Beban peralatan main deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
104	Beban peralatan cellar deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
201	Beban piping main deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
202	Beban piping cellar deck	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
401	Beban hidup main deck	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
402	Beban hidup cellar deck	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
403	Beban hidup jacket walkway	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
410	Beban bridge	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	
501	Beban mati crane		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
502	Beban operasional crane vertikal		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
503	Beban operasional crane momen x		1.00	0.808	1.00	0.808		-0.808	-1.00	-0.808	
504	Beban operasional crane momen y		1.00	0.808		-0.808	-1.00	-0.808	1.00	0.808	
701	Beban lingkungan arah 0° max wd		1.00								
702	Beban lingkungan arah 45° max wd			1.00							
703	Beban lingkungan arah 90° max wd				1.00						
704	Beban lingkungan arah 135° max wd					1.00					
705	Beban lingkungan arah 180° max wd						1.00				
706	Beban lingkungan arah 225° max wd							1.00			
707	Beban lingkungan arah 270° max wd								1.00		
708	Beban lingkungan arah 315° max wd									1.00	

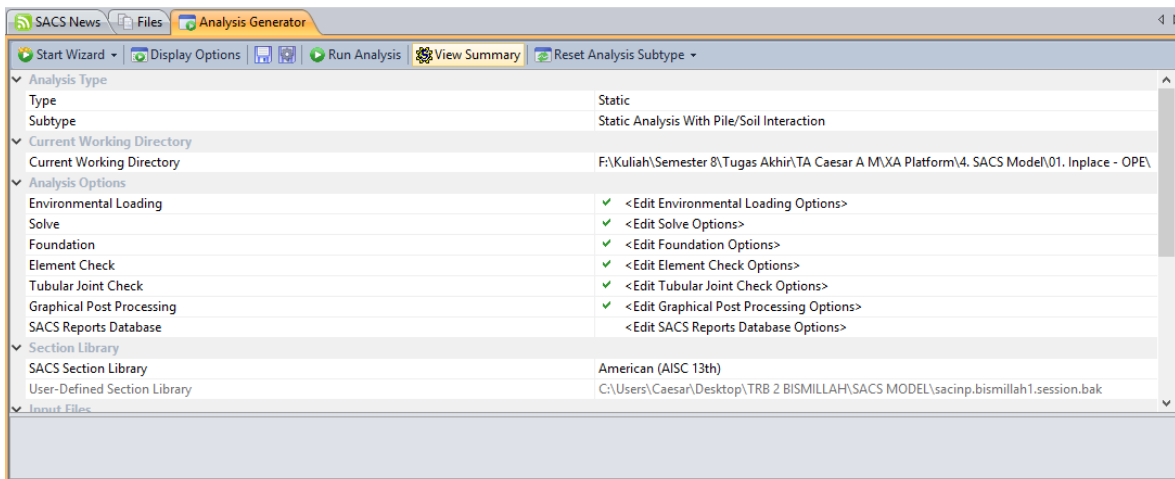
Beban Kombinasi

- ANALISIS INPLACE

1. Membuat Psi input menggunakan data generator pada SACS 5.6

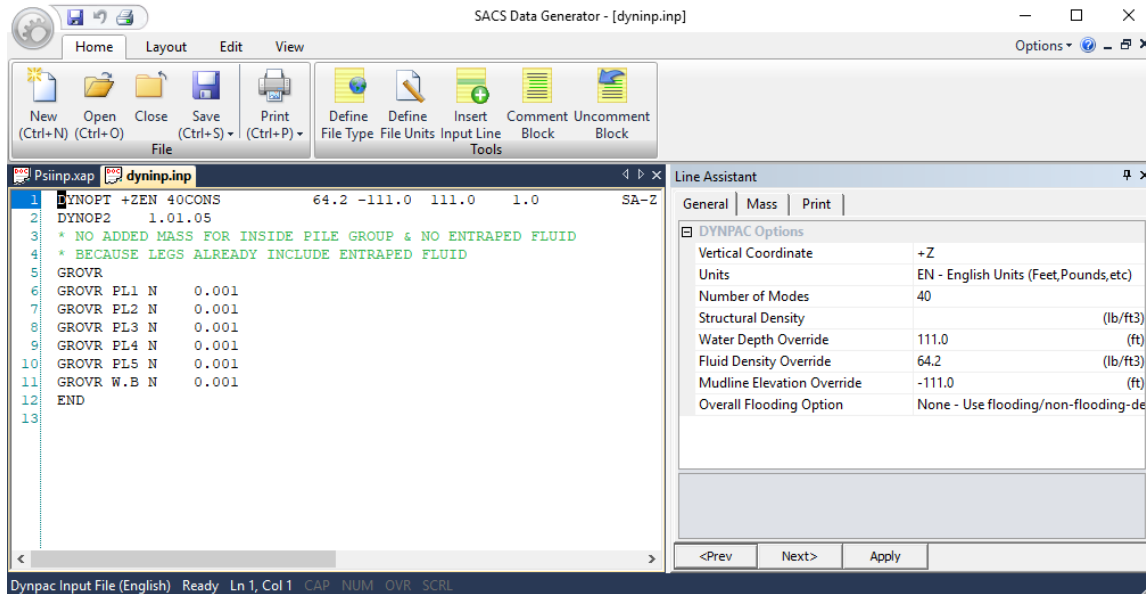


2. Running menggunakan data yang dibutuhkan ntuk analisa inplace. Psi input dan Permodelan Struktur

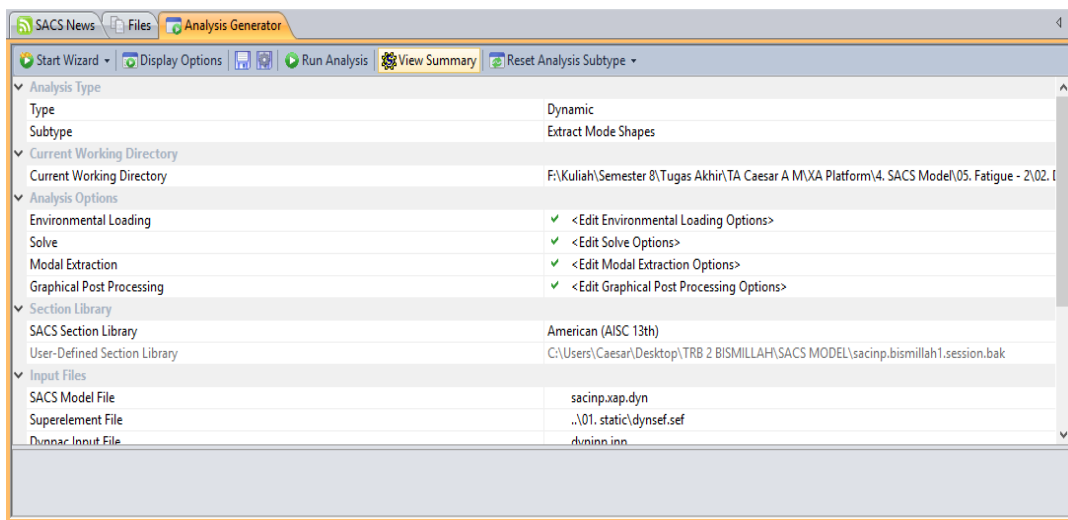


- **ANALISIS DYNAMIC**

1. Membuat dynpac input menggunakan data generator pada SACS 5.6

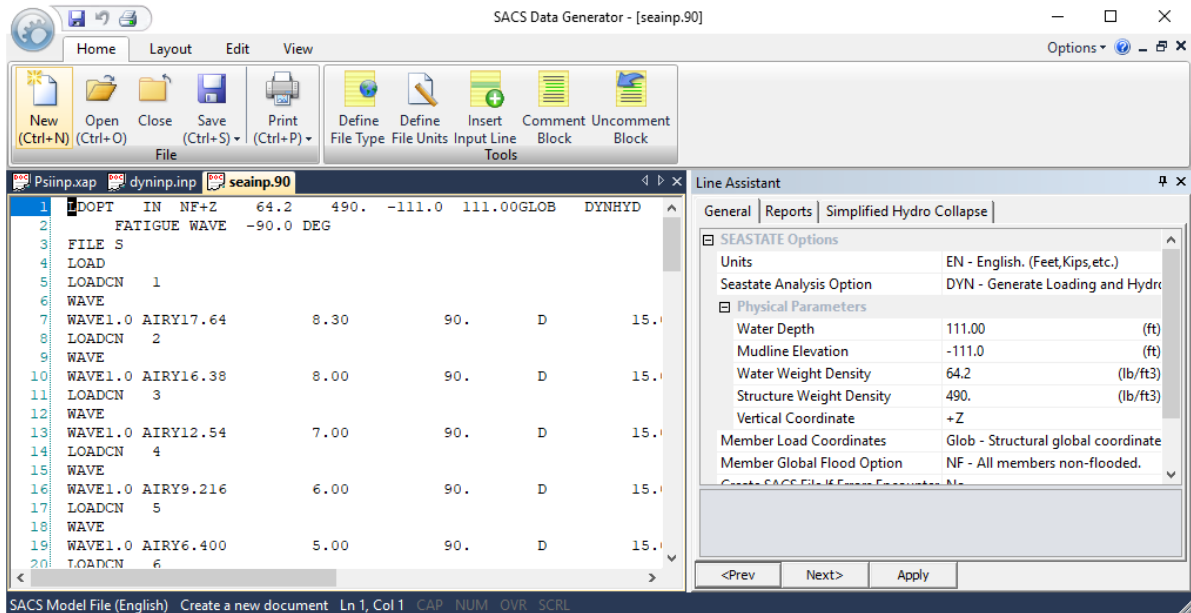


2. Running menggunakan data yang dibutuhkan untuk analisa dynamic. dynpac input dan Permodelan Struktural.

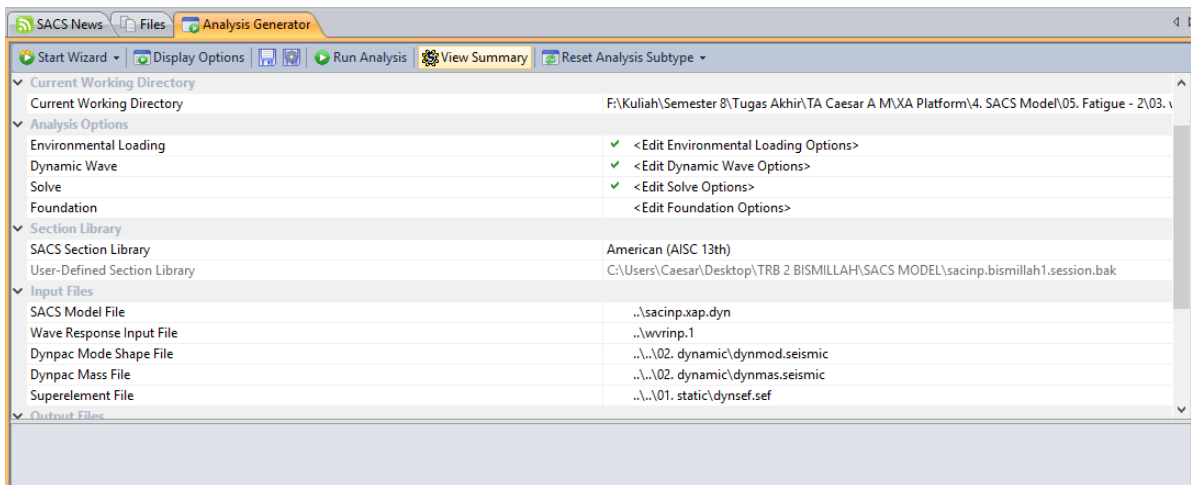


- **ANALISIS SPECTRAL FATIGUE**

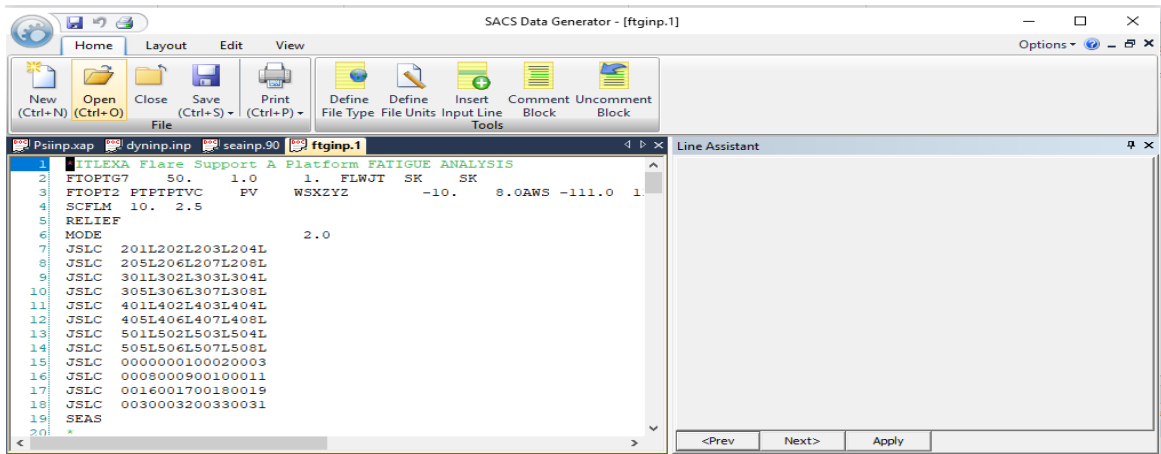
1. Membuat wave respon dengan data generator pada 8 arah gelombang, menggunakan data yang ada.



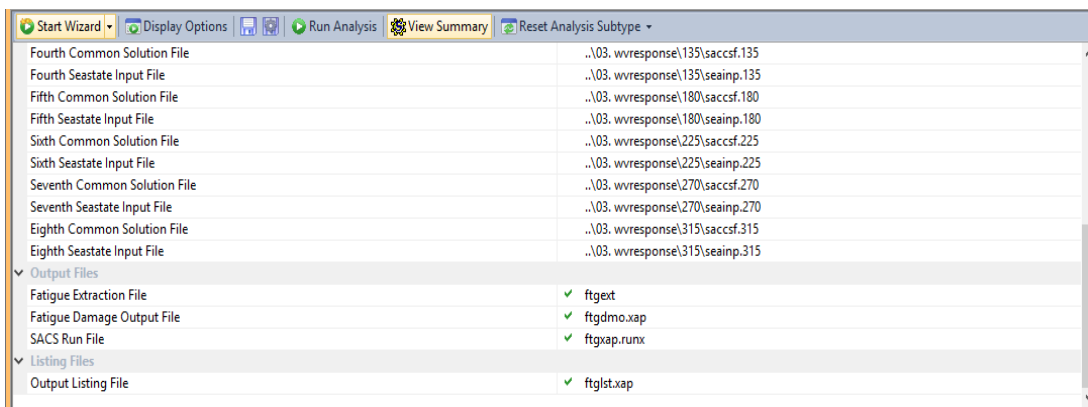
2. Melakukan running setiap wave respon untuk memperoleh hasil yang akan digunakan pada tahap selanjutnya



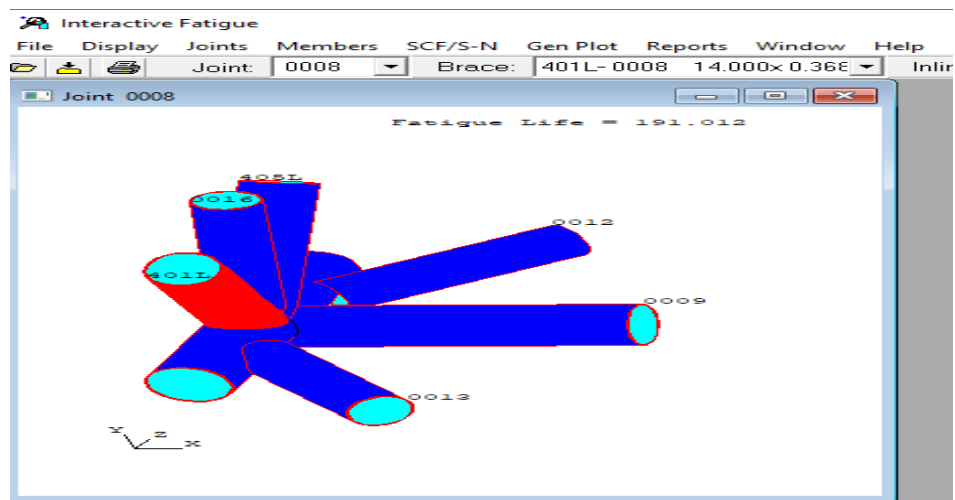
3. Membuat fatigue input menggunakan data yang ada dengan data generator



4. Melakukan running analisis fatigue menggunakan data yang sudah dibuat.



5. Untuk mengetahui hasil running fatigue dapat membuka file fatigue extraction



BIODATA PENULIS



Caesar Adza Mahendra, anak pertama dari tiga bersaudara ini lahir di Jakarta pada tanggal 6 Maret 1997. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Beji 7 Depok pada tahun 2009 dan SMP Negeri 2 Depok pada tahun 2012. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 1 Depok pada tahun 2015. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN. Selama menempuh masa perkuliahan penulis sempat aktif di organisasi kemahasiswaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Kepala Departemen Sosial Masyarakat HIMATEKLA FTK ITS periode 2017-2018. Penulis juga pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktik di PT. ZEE Indonesia selama 2 bulan. Selama masa studi, penulis sangat tertarik dengan bidang ahli perancangan bangunan laut terpancang sehingga dalam tugas akhir yang diambil berhubungan dengan bangunan laut dengan fokus pada analisis umur kelelahan.