



TUGAS AKHIR - MO1326

Analisis Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform
Menggunakan Metode *Cummulative Damage* Dan *Fracture
Mechanics*

Aulia Puspitorini

NRP. 4313 100 094

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

2017



FINAL PROJECT - MO141326

Analysis of Residual Fatigue Life on UW-Pro
Platform Using Cummulative Damage and Fracture
Mechanics Methods

Aulia Puspitorini

NRP. 4313 100 094

Supervisors:

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

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

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

2017

**Analisis Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform
Menggunakan Metode Cumulative Damage Dan Fracture
Mechanics**



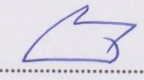
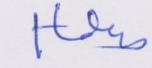
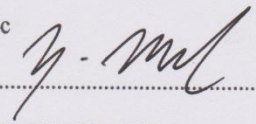
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Aulia Puspitorini
NRP. 4313 100 094

Disetujui oleh :

1. Nur Syahroni, ST, 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 1)
.....
4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D  (Penguji 2)
.....
5. Dr.Eng Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc  (Penguji 3)
.....

SURABAYA, JULI 2017

Analisis Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform Menggunakan Metode Cummulative Damage Dan Fracture Mechanics

Nama Mahasiswa : Aulia Puspitorini
NRP : 4313 100 094
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

Dalam mendesain suatu struktur atau anjungan lepas pantai didasarkan dari kebutuhan lama beroperasinya. Sehingga tiap anjungan atau struktur lepas pantai memiliki umur kelelahan yang berbeda-beda. Perhitungan umur kelelahan sendiri bisa diketahui dengan dua metode yaitu *cummulative damage* dan *fracture mechanics*. Pada penelitian ini akan menganalisa umur kelelahan struktur menggunakan perbandingan dua metode tersebut. Struktur yang dijadikan sebagai objek penelitian adalah UW-Pro Platform milik Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java. Struktur akan dianalisa secara global menggunakan metode *cummulative damage* dan joint yang memiliki *fatigue life* yang pendek akan dianalisa secara lokal. Untuk perhitungan *fracture mechanics* dimulai dengan menentukan nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) dan besarnya perambatan retak sehingga umur kelelahan dari struktur bisa diketahui. Hasil dari analisa menggunakan metode *cummulative damage* adalah sebesar 131 tahun, lalu menggunakan metode *fracture mechanics* adalah sebesar 98 tahun. Perbedaan hasil dari kedua metode tersebut adalah sebesar 33 tahun, jadi disimpulkan bahwa *crack* atau retak dapat mengurangi umur kelelahan secara signifikan.

Kata kunci : *cummulative damage, fracture mechanic, fatigue life, stress intensity factor.*

Analysis of Residual Fatigue Life on UW-Pro Platform Using Cummulative Damage and Fracture Mechanics Methods

Name of Student : Aulia Puspitorini
NRP : 4313100094
Department : Ocean Engineering - ITS
Supervisor : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto,S.T.,M.T.

ABSTRACT

In designing an offshore structure or a platform based on how long the operation is. So each platform or offshore structure has a different fatigue life. Analysis of fatigue life can be known by two methods of cummulative damage and fracture mechanics. In this study will analyze the fatigue life of the structure using a comparison between two methods. The structure used as research object is UW-Pro Platform owned by Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java. Structures will be analyzed globally using cummulative damage and joint that have short fatigue life will be analyzed locally. For the analysis of fracture mechanics begins by determining the value of Stress Intensity Factor (SIF) and the magnitude of the crack propagation so that fatigue life of the structure can be known. Fatigue life results of the analysis using cummulative damage method is 131 years, then using fracture mechanics is 98 years. The differences result between two method is 33 years, so the conclusion is a crack can reduced fatigue life significantly.

Keywords: *cummulative damage, fracture mechanics, fatigue life, stress intensity factor.*

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 sebaik-baiknya.

Tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam pengerjaan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul “**Analisis Sisa Umur Kelelahan Pada UW-Pro Platform Menggunakan Metode Cummulative Damage Dan Fracture Mechanics**” disusun guna memenuhi syarat untuk menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dalam pengerjaanya tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui sisa umur kelelahan pada *UW-Pro Platform* dengan menggunakan metode *Cummulative Damage Dan Fracture Mechanic*.

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

Surabaya,

Aulia Puspitorini

UCAPAN TERIMA KASIH

Tugas akhir ini telah selesai dikerjakan oleh penulis dengan bantuan serta dorongan moral maupun material dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, tak lupa penulis ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak di bawah ini :

1. Allah S.W.T yang telah memberikan kesehatan dan kesempatan pada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua dan kakak tercinta, yang selalu mendoakan, memberikan motivasi serta semangat kepada penulis selama ini.
3. Bapak Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah menyempatkan waktunya untuk medidik dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng Rudi Walujo Prastianto,S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing II dan wali yang telah memberikan ilmu dan waktunya untuk membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
5. Keluarga besar Teknik Kelautan 2013 (Valtameri L31), terima kasih telah mengisi masa-masa perkuliahan ini dalam suka maupun duka.
6. Serta pihak-pihak lain yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Surabaya,

Aulia Puspitorini

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	7
2.2 Dasar Teori.....	7
2.2.1 Anjungan Lepas Pantai.....	7
2.2.2 Analisis Kelelahan.....	11
2.2.3 Mekanika Kepecahan.....	14
2.2.4 Stress Intensity Factor	14
2.2.5 Fracture Toughness.....	17
2.2.6 Perambatan Retak.....	18
2.2.7 Kedalaman Retak Kritis.....	19
2.2.8 Analisa Umur Kelelahan.....	20
2.2.9 Permodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga.....	20
BAB 3.....	23
3.1 Diagram Alir Analisis Umur Kelelahan.....	23

3.2	Penjelasan Diagram Alir.....	23
3.3	Data Struktur.....	25
3.4	Data Lingkungan.....	27
3.4.1	Data Kedalaman Air.....	29
3.4.2	Data Angin.....	29
3.4.3	Data Gelombang.....	29
3.4.4	Data Sebaran Gelombang.....	30
3.4.5	Current Profile.....	30
3.4.6	Data Ketebalan Marine Growth.....	31
3.4.7	Koefisien Hidrodinamika.....	31
3.4.8	Corrosion Allowance.....	31
3.4.9	Topside Load.....	31
3.4.10	Data Material.....	32
BAB 4.....		35
4.1	Permodelan Dan Validasi Struktur UW-Pro Platform.....	35
4.2	Analisis Inplace.....	37
4.2	Periode Natural.....	39
4.3	Analisa Fatigue Dengan Menggunakan Metode Cummulative Damage...39	
4.3.1	Dynamic Amplification Factor.....	39
4.3.2	Parameter Tubular Joint.....	41
4.3.3	Fatigue Life Pada Member Kritis.....	45
4.4	Analisa Fatigue Dengan Menggunakan Metode Fracture Mechanic.....	49
4.4.1	Permodelan Lokal Joint Kritis.....	49
4.4.2	Meshing.....	51
4.4.3	Kondisi Batas dan Pembebanan.....	52
4.4.4	Meshing Sensitivity.....	53
4.4.5	Posisi Retak.....	55
4.4.6	Initial Crack Joint Kritis.....	56

4.4.7 Perhitungan Kedalaman Kritis.....	57
4.4.8 Perhitungan SIF (Stress Intensity Factor).....	57
4.4.9 Perhitungan Umur Kelelahan.....	59
4.4.10 Perbandingan Umur Kelelahan.....	66
BAB 5.....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70

LAMPIRAN :

LAMPIRAN A : Hasil Analisis Inplace

LAMPIRAN B : Hasil Analisis Fatigue

LAMPIRAN C : Perhitungan Fatigue Life

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Lokasi UW-Pro.....	2
Gambar 2.1 Daerah Pengoperasian Bangunan Lepas Pantai.....	8
Gambar 2.2 Elemen penunjang fixed platform.....	9
Gambar 2.3 Anjungan Terapung (Floating Offshore Platform).....	10
Gambar 2.4 (a) Guyed Tower (Murdjito, 2014) ; (b) Tension Leg Platform	11
Gambar 2.5 Kurva S-N.....	12
Gambar 2.6 Mode Displasmen Pada Permukaan Retak.....	15
Gambar 2.7 Grafik Perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys}	17
Gambar 2.8 Pengaruh Dari Fracture Toughness Pada Kegagalan Struktur.....	18
Gambar 2.9 Kurva Perambatan Retak.....	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	23
Gambar 3.2 UW-Process Platform.....	27
Gambar 3.3 Orientasi Arah UW-Pro Platform.....	28
Gambar 3.3 Orientasi Arah UW-Pro Platform.....	28
Gambar 4.1 Pemodelan Global UW-Pro Platform.....	35
Gambar 4.2 Elevasi Struktur Untuk Pengukuran Wall Thickness.....	36
Gambar 4.3 Letak 10 Joint Kritis Dengan Nilai Unity Check Terbesar	38
Gambar 4.4 Parameter Utama.....	41
Gambar 4.5 Geometri dari sambungan menurut Efthymiou.....	42
Gambar 4.6 Bentuk Joint 305.....	44
Gambar 4.7 Bentuk Tubular Joint 415.....	48
Gambar 4.8 Bentuk Tubular Joint 0190.....	48
Gambar 4.9 Bentuk Tubular Joint 320.....	48
Gambar 4.10 Bentuk Tubular Joint 321.....	49
Gambar 4.11 Bentuk Tubular Joint 305.....	49
Gambar 4.12 Tubular Joint 305.....	50
Gambar 4.13 Permodelan Lokal Joint 305.....	51

Gambar 4.14 Meshing Pada Permodelan Analisa Lokal.....	51
Gambar 4.15 Pembebanan Minimum dan Kondisi Batas.....	52
Gambar 4. 16 Pembebanan Maksimum dan Kondisi Batas.....	53
Gambar 4.17 Grafik Meshing Sensitivity.....	54
Gambar 4.18 Letak Tegangan Tertinggi.....	55
Gambar 4.19 (a) Permodelan Crack Pada Titik Acuan; (b) Bentuk Meshing Pada Crack.....	56
Gambar 4.20 Contoh Hasil SIF.	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kedalaman Air.....	29
Tabel 3.2 Kecepatan Angin.....	29
Tabel 3.3 Data Gelombang.....	29
Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang.....	30
Tabel 3.5 Current Profile.....	30
Tabel 3.6 Koefisien Hidrodinamis.....	31
Tabel 3.7 Topside Load.....	31
Tabel 4.1 Perbandingan Wall Thickness.....	36
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Berat struktur.....	37
Tabel 4.3 Joint Can Summary.....	37
Tabel 4.4 Periode Natural.....	39
Tabel 4.5 Data Kejadian Gelombang.....	40
Tabel 4.6 Nilai DAF (Dynamic Amplification Factor).....	41
Tabel 4.7 Parameter Utama Tubular Joint.....	44
Tabel 4.8 Parameter Turunan K-T Joint 305.....	45
Tabel 4.9 Hasil 5 Joint Dengan Umur Kelelahan Struktur Terendah.....	47
Tabel 4.10 Dimensi Tubular Joint 305.....	50
Tabel 4.11 Pembebanan Minimum Tiap Member.....	52
Tabel 4.12 Pembebanan Maximum Tiap Member.....	53
Tabel 4.13 Meshing Sensitivity.....	54
Tabel 4.14 Nilai SIF.....	57
Tabel 4.15 Umur Kelelahan.....	61
Tabel 4.16 Perbandingan Umur Kelelahan.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Banyaknya bangunan lepas pantai di Indonesia mengindikasikan bahwa eksplorasi minyak di perairan Indonesia semakin meningkat dengan teknologi yang menunjang pula. Anjungan minyak lepas pantai atau yang biasa dikenal dengan *platform* diperkirakan mulai hadir di perairan Indonesia sekitar tahun 1970-an dan terbagi atas tiga macam berdasarkan konstruksinya, yaitu struktur terpancang (*fixed structure*), struktur terapung (*floating structure*), dan struktur lentur (*compliant structure*). Anjungan lepas pantai atau *platform* ini didesain untuk beroperasi dengan masa umur tertentu. Menentukan umur kelelahan dari sebuah anjungan atau *platform* dapat didasarkan oleh penggunaan beberapa metode pendekatan, yaitu *cummulative damage (S-N curve, probabilistic, Palgren-Milner's Rule)* dan *fracture mechanics*.

Perhitungan *fatigue life* pada Platform UW-Pro milik Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java memiliki area kerja yang dibagi menjadi dua yaitu *West Area* (Avsa, Zulu, Mike-Mike, Papa, Lima, KLA) dan *East Area* (Foxtrot, Echo, Central Plant, Arco Ardjuna, Bravo, Uniform dan Kilo). Platform ini dipasang pada tahun 1982 di Lapangan Ardjuna, barat laut Laut Jawa dan memiliki koordinat 06°03' 55.89" S dan 107°45' 12.85" T. UW-Pro merupakan platform dengan 4 (empat) kaki yang beroperasi pada kedalaman 87 ft.

2. Mendapatkan nilai umur kelelahan tubular joint kritis tersebut dengan variasi retak semi elip menggunakan metode *fracture mechanic*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah mengetahui umur kelelahan serta perbandingan umur kelelahan Platform UW-Pro tanpa retak menggunakan metode *cummulative damage* dengan retak menggunakan metode *fracture mechanic*.

1.5 Batasan Masalah

Berikut adalah beberapa batasan masalah yang diterapkan dalam penelitian ini.

1. Platform UW-Pro milik Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java sebagai objek penelitian yang telah beroperasi selama 35 tahun.
2. *Code* yang digunakan adalah API-WSD 21ST Edition dan analisa permodelan sesuai dengan kemampuan penggunaan perangkat lunak SACS dan ANSYS.
3. Analisa dilakukan pada jacket UW-Pro *Platform*.

1.6 Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN. Di dalam bab ini menjelaskan tentang hal yang melatarbelakangi untuk dilakukannya studi *fracture mechanic* ini, permasalahan apa saja yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang ingin diperoleh dalam studi ini, batasan-batasan masalah yang diterapkan, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB II DASAR TEORI. Proses pengerjaan tugas akhir ini penulis menggunakan dasar-dasar teori yang di dalamnya terdapat persamaan dan rumus yang nantinya akan dicantumkan di dalam tinjauan pustaka.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN. Bab ini menguraikan tentang tahapan-tahapan dan metode dalam pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PEMBAHASAN. Pada bab ini membahas bagaimana proses pengerjaan dan penyelesaian dari permasalahan yang diteliti di dalam tugas akhir ini. Selain itu, validasi, pengolahan, analisis, dan pembahasan data hasil dari *output* hasil *running software* juga akan dibahas pada bab ini.

BAB V PENTUP. Berisi kesimpulan dari hasil analisis tugas akhir ini, pembahasan yang telah dilakukan, dan saran-saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Fracture mechanics merupakan suatu analisis penyelesaian dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di sekitar retakan yang dikorelasikan dengan parameter-parameter globalnya (beban-beban, geometri dsb) dimana retakan akan merambat. Hasil pengujian dianalisa secara grafik untuk mengetahui laju perambatan retak.

Di dalam jurnalnya, Rao et al. (1994) menyatakan bahwa sambungan tubular di struktur lepas pantai menjadi bagian dominan. Karena bagian sambungan tubular joint dikenai konsentrasi tegangan yang tinggi akibat dari efek diskontinu beban.

Dalam menganalisa umur kelelahan terdapat dua metode antara lain, cumulative damage dan fracture mechanics. Dimana metode cumulative damage akan menganalisa objek keseluruhan dan metode fracture mechanics akan menganalisa objek yang lebih spesifik. Mekanika kepecahan yang digunakan adalah linear elastic fracture mechanics (LEFM). Untuk menggunakan LEFM sangat penting untuk mengetahui distribusi tegangan di sekitar retak. Parameter utama adalah bentuk retak dan posisinya, efek retak dalam penjalarnya, variasi tegangan pada retak tersebut dan tegangan sisa.

2.2 Dasar Teori

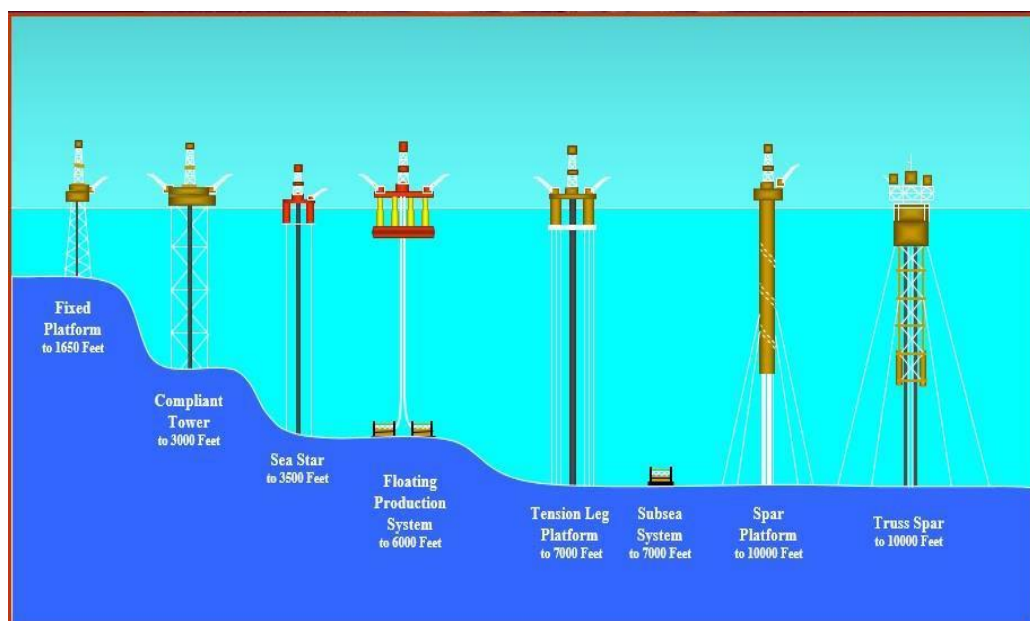
2.2.1 Anjungan Lepas Pantai

Anjungan lepas pantai adalah bangunan yang beroperasi di lepas pantai. Yang dimaksud dengan lepas pantai adalah bagian lautan yang permukaan dasarnya di bawah pasang surut terendah atau bagian lautan yang berada di luar daerah gelombang pecah arah ke laut. Ciri-ciri anjungan lepas pantai adalah:

1. Beroperasi di daerah sekitar sumur minyak atau daerah pertambangan yang terbatas, tidak dapat beroperasi di daratan dan tidak dapat berpindah-pindah.

2. Struktur tidak dibangun langsung dilapangan tetapi komponen-komponennya dibuat di daratan lalu kemudian diangkat dan dirakit langsung di lapangan.
3. Beroperasi di lapangan (di laut) untuk periode waktu yang lama sehingga bangunan harus mampu bertahan dalam kondisi cuaca baik maupun kondisi cuaca buruk yang mungkin terjadi selama beroperasi.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan oleh para engineer, suatu bangunan lepas pantai dikategorikan menjadi beberapa jenis sesuai dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya, yaitu faktor kedalaman laut, faktor lingkungan dan lain-lain. Bangunan lepas pantai beroperasi dikedalaman laut yang berbeda-beda, ada yang beroperasi di laut dalam maupun laut dangkal. Dari gambar di atas dapat dilihat pembagian bangunan lepas pantai sesuai dengan daerah pengoperasiannya.



Gambar 2.1 Daerah Pengoperasian Bangunan Lepas Pantai (Murdjito, 2014)

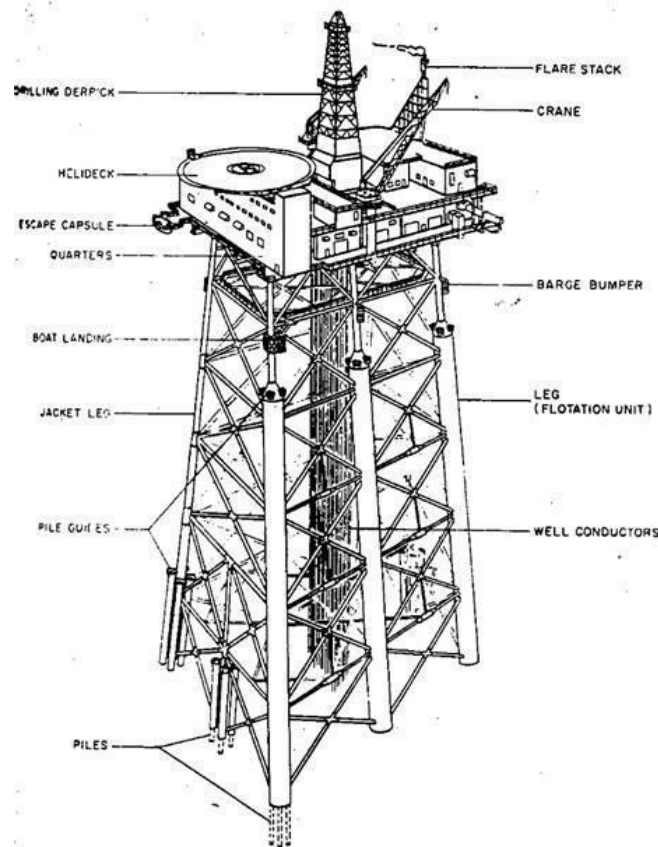
Seiring dengan peningkatan kemampuan teknologi eksplorasi minyak dan gas, serta ditemukannya cadangan minyak yang cukup besar di laut dalam, maka teknologi bangunan lepas pantai juga mengalami kemajuan pesat. Hal ini dapat dilihat dari berkembangnya beberapa alternatif konsep struktur yang dioperasikan.

Konsep struktur bangunan lepas pantai dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yang lazim dioperasikan hingga saat ini, yaitu:

a. Anjungan Terpancang (*Fixed Offshore Platform*)

Anjungan terpancang merupakan anjungan yang dipancangkan di area dasar laut. Menurut Chakrabarti (2005), struktur terpancang sendiri terdiri dari beberapa elemen pendukung, diantaranya adalah.

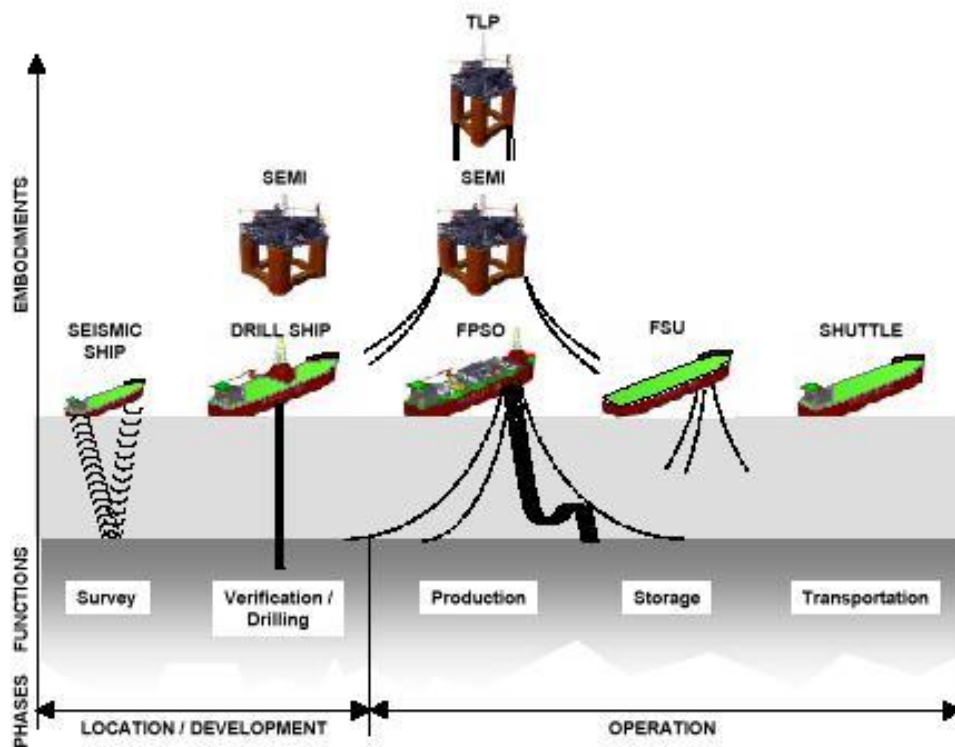
1. *Deck*, yang memiliki fungsi sebagai tempat perlengkapan atau peralatan operasional sesuai dengan dengan fungsi utama platform.
2. *Jacket*, bertugas sebagai penopang struktur yang berada di bagian atasnya, serta menahan beban beban yang mengenai struktur seperti beban lingkungan.
3. Pondasi, biasanya pondasi atau *pile* dipancangkan di dasar laut untuk meneruskan beban-beban yang ada pada struktur ke bawah tanah.



Gambar 2.2 Elemen penunjang *fixed platform* (Sumber: Chakrabarti, 2005)

b. Anjungan Terapung (*Floating Offshore Platform*)

Anjungan lepas pantai terapung merupakan anjungan yang mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Ciri khas dari *Floating Offshore Platform* (FOP) adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut. Contoh anjungan terapung diantaranya adalah semi-submersible platform, jack-up platform, dan drilling ship.



Gambar 2.3 Anjungan Terapung (*Floating Offshore Platform*) (Murdjito, 2014)

c. Anjungan Struktur Lentur (*Compliant Offshore Platform*)

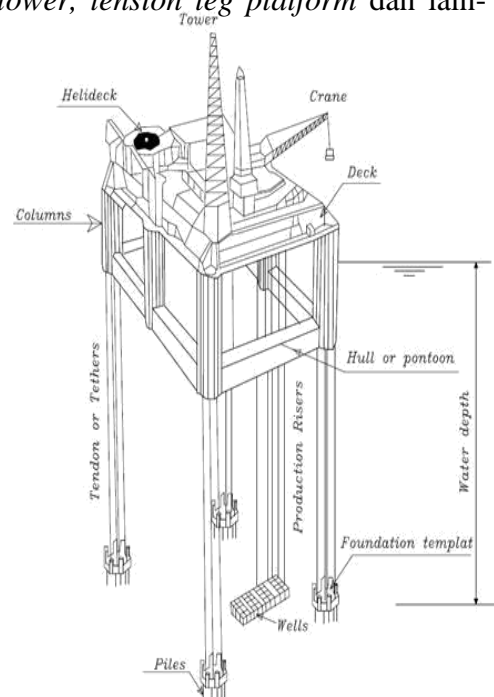
Tujuan pengembangan konsep anjungan struktur lentur adalah untuk memenuhi persyaratan fungsi-fungsi khusus seperti faktor ekonomi dan faktor teknis. Anjungan ini biasanya lebih ringan dari struktur jenis lain karena memiliki kekakuan yang tidak besar. Beberapa anjungan struktur lentur memanfaatkan gaya apung untuk menahan beban yang bekerja pada struktur tersebut. Station keeping merupakan salah satu pertimbangan yang

dianggap cukup penting dalam perencanaan anjungan struktur lentur. Oleh karena itu diperlukan sistem penambatan yang mampu menjaga struktur tersebut agar selalu berada di lokasi dalam batas-batas yang telah ditentukan.

Struktur tak tegar bisa diikatkan pada dasar laut, misalnya *guyed tower* dan sistem penambatan tunggal (*single point mooring system*). *Tension leg platform* juga bisa dimasukkan ke dalam jenis ini. Selain itu, struktur terapung lainnya juga bisa dianggap struktur tak tegar dengan gerakan ijinnya besar sebagai hasil dari penambatan (mooring). Contoh dari anjungan struktur lentur adalah *articulated tower*, *guyed tower*, *tension leg platform* dan lain-lain.



(a)



(b)

Gambar 2.4 (a) *Guyed Tower* (Murdjito, 2014) ; (b) *Tension Leg Platform* (www.pubs.sciepub.com/ajcea/2/4/1/)

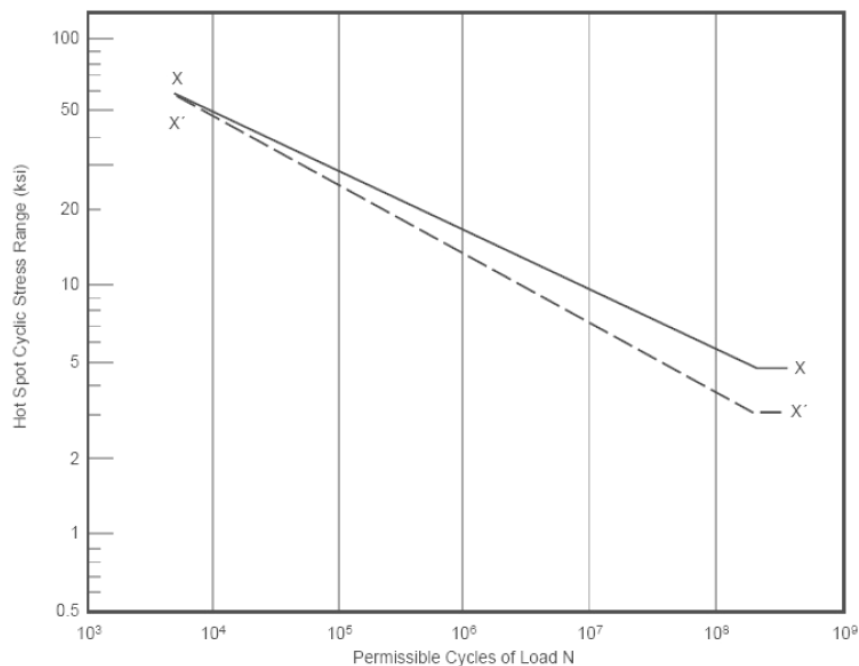
2.2.2 Analisis Kelelahan

Analisis kelelahan dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain menggunakan metode deterministik dan spektral. Analisis kelelahan deterministik

dilakukan untuk struktur yang tidak peka akan gaya dinamik dan ketika kondisi dimana semua gelombang yang menyebabkan fatigue memiliki periode gelombang yang panjang. Analisis kelelahan spektral digunakan untuk perhitungan kerusakan kelelahan suatu struktur yang mengalami pembebanan dinamik untuk jumlah siklus tegangan yang banyak seperti gaya gelombang dan gaya angin. Metode spektral menggunakan spektrum gelombang dan transfer function. Dalam tugas akhir ini, untuk perhitungan cumulative damage menggunakan metode spektral dengan pendekatan yang disederhanakan. Parameter-parameter yang digunakan dalam analisis kelelahan 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 memberikan informasi karakteristik kelelahan dengan amplitudo pembebanan konstan. Dan kurva S-N yang digunakan berdasarkan dari API RP2A untuk tubular joint ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 2.5 Kurva S-N (API RP 2 A WSD, 2000)

Secara matematis, persamaan kurva dapat dituliskan sebagai berikut:

$$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (3.1)$$

dengan:

N = banyaknya siklus beban sampai member mengalami kegagalan.

$\Delta\sigma$ = rentang tegangan (tegangan maksimum – tegangan minimum).

$\Delta\sigma_{ref}$ = rentang tegangan pada siklus sebanyak 2×10^6 kali.

b. Aturan Miner-Palmgren

Aturan ini memungkinkan perhitungan kerusakan kelelahan dengan beberapa amplitudo pembebanan berbeda. Konsep kelelahan adalah dasar dari hukum kegagalan kumulatif Palmgren-Miner yang dinyatakan pada persamaan berikut.

$$D = \sum_{i=1}^N \frac{N_{applied\ i}}{N_{resisted\ i}} \quad (3.2)$$

dengan:

D = besar kerusakan dalam 1 tahun.

$N_{applied\ i}$ = siklus pada rentang tegangan yang bekerja pada grup ke-i.

$N_{resisted\ i}$ = siklus pada rentang tegangan yang diijinkan pada grup ke-i.

N = jumlah pembagian grup rentang tegangan .

Kegagalan sambungan struktur akan terjadi apabila nilai persamaan Palmgren-Miner diatas lebih dari 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*, seperti pada persamaan berikut.

$$S = S_{nominal} \times SCF \quad (3.3)$$

dengan:

S = tegangan maksimum.

$S_{nominal}$ = tegangan nominal.

SCF = stress concentration factor.

2.2.3 Mekanika Kepecahan

Mekanika kepecahan merupakan suatu metode analisis unyuk menentukan perilaku kepecahan pada suatu struktur dengan cara mendefinisikan kondisi lokal dari tegangan dan regangan di area retakan menggunakan parameter-parameter global. Dan mekanika kepecahan digunakan untuk mengetahui nilai pertumbuhan retak awal samapi batas kritis sehingga dapat memperkirakan umur kelelahan dari suatu struktur. Proses mekanika kepecahan antara lain diawalinya degan retak awal (*crack initiation*), lalu perambatan retak (*crack propagation*), hingga pada akhirnya terjadinya retak (*final fracture*). Terdapat dua kategori di dalam mekanika kepecahan yaitu *linear elastic fracture mechanics* (LEFM) dan *elastic plastic fracture mechanics* (EPFM).

A. *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM)

Linear elastic fracture mechanics merupakan metode yang menunjukkan hubungan antara medan tegangan dengan distribusinya di sekitar ujung retak berdasarkan ukuran, bentuk, orientasi retak dan material properti akibat tegangan nominal yang dikenakan pada struktur (Barsom & Rolfe, 1977). Parameter yang digunakan dalam metode ini adalah *K* atau *SIF* digunakan untuk menentukan karakteristik dari medan tegangan yang terjadi. Dan biasanya digunakan pada material yang bersifat *brittle*.

B. *Elastic Plastic Fracture Mechanics* (EPFM)

Elastic plastic fracture mechanics merupakan metode analisa lanjutan dari *linear elastic fracture mechanics* dengan menambah perhitungan deformasi plastis dari suatu material. Umumnya sering digunakan pada material yang bersifat ductil yang memiliki sifat elastis-plastis.

2.2.4 *Stress Intensity Factor*

Salah satu parameter *fracture toughness* adalah *Stress Intensity Factor* (SIF) biasanya faktor ini yang menentukan kepecahan dari materi. SIF adalah satu fungsi tegangan, ukuran retak, dan geometri struktural. Faktor intensitas penekanan mungkin diwakili oleh persamaan berikut:

$$K = \sigma_{nom} \sqrt{\pi a} f_{(g)} \quad (3.4)$$

dengan :

K = *stress intensity factor* (ksi \sqrt{in})

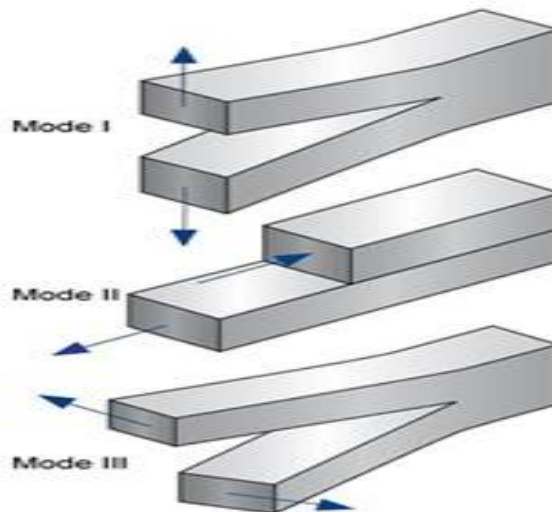
a = panjang retak awal

σ_{nom} = tegangan nominal

$f_{(g)}$ = fungsi koreksi terhadap dimensi dan geometri serta posisi retak

Berikut ini merupakan beberapa mode pembebanan yang terjadi untuk menentukan SIF.

- a. Mode I, merupakan keadaan dimana tegangan tarik arahnya lurus dengan bidang rambat retak sehingga displacement yang terjadi tegak lurus dengan bidang yang mengalami retak.
- b. Mode II, atau in-plane shear merupakan keadaan dimana tegangan geser searah dengan bidang rambat retak sehingga displacement sejajar dengan dengan bidang yang mengalami retak.
- c. Mode III, atau out-plane shear merupakan kombinasi dari mode I dan mode II sehingga displacement yang terjadi juga kombinasi.



Gambar 2.6 Mode Displasmen Pada Permukaan Retak (Barsom dan Rolfe,1987)

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, mode yang digunakan adalah mode I (*opening mode*). Untuk menentukan tegangan dan displasmen pada retak (mode I) dapat dituliskan dengan persamaan irwin sebagai berikut :

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 - \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.5)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left[1 + \sin \frac{\theta}{2} \sin \frac{3\theta}{2} \right] \quad (3.6)$$

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \quad (3.7)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin \frac{\theta}{2} \cos \frac{\theta}{2} \cos \frac{3\theta}{2} \quad (3.8)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (3.9)$$

Dengan:

K_I = *Stress Intensity Factor* untuk Mode I

σ_x = tegangan normal (MPa)

τ_{xy} = tegangan geser bidang x arah sumbu y (MPa)

r = jarak *cracktip* dengan *node* yang ditinjau (m)

θ = sudut antara *node* yang ditinjau dengan sumbu x (degree)

ν = *Poisson's Ratio*

Dan untuk perhitungan retak menggunakan semi-eliptical yang memiliki persamaan SIF sebagai berikut.

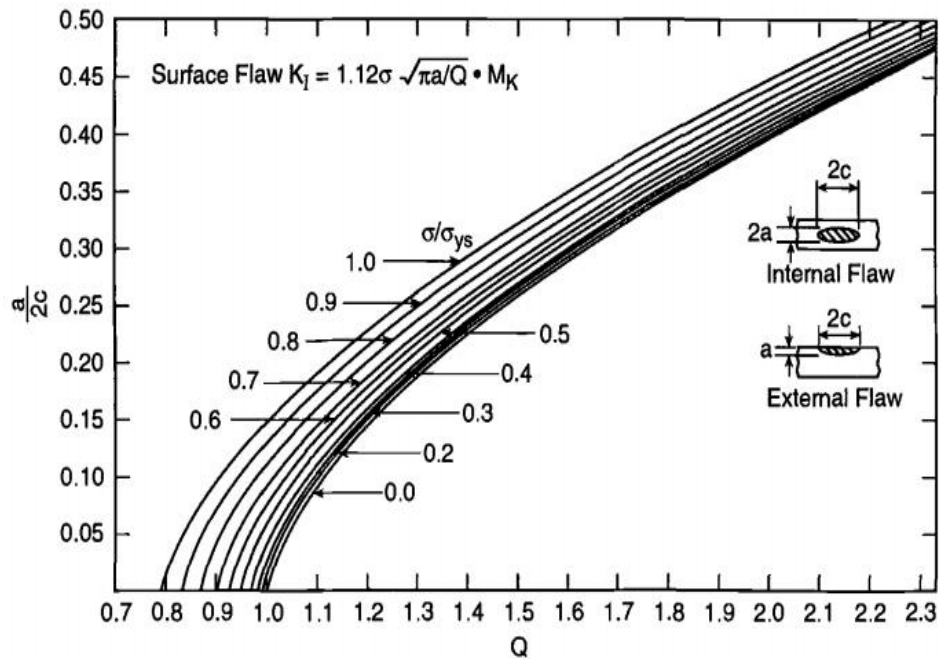
$$K_I = 1,12 \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}} M_K \quad (3.10)$$

Dimana nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai gambar 2.7, dengan menghubungkan nilai $a/2c$ dan σ/σ_{ys} .

$$M_K = 1,0 + 1,2 \left(\frac{a}{t} - 0,5 \right) \quad (3.11)$$

Keterangan :

- K_I = Stress Intensity Factor
- Q = Faktor koreksi *front free surface*
- M_K = Faktor koreksi *back free surface*
- a = Kedalaman retak
- t = Ketebalan material



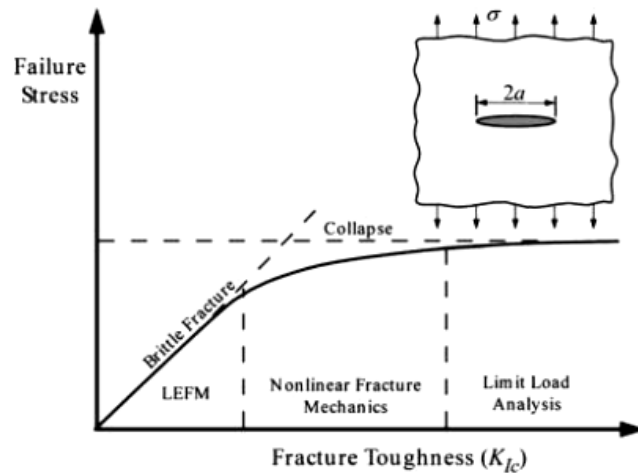
Gambar 2.7 Grafik Perbandingan $a/2c$ dan σ/σ_{ys} (Barsom dan Rolfe, 1987)

2.2.5 Fracture Toughness (K_{IC})

Fracture toughness merupakan kemampuan material untuk menahan beban atau deformasi yang terjadi akibat retak dengan memperhatikan faktor cacat material, geometri material, kondisi pembebanan, dan tentunya property material yang digunakan. Pengertian yang lebih mudah fracture toughness bisa disebut sebagai ketanguhan retak suatu material untuk mengevaluasi kemampuan komponen yang mengandung cacat untuk melawan fracture (pecah/patah).

Besarnya nilai fracture toughness dipengaruhi oleh ketebalan suatu material, semakin tebal suatu material maka nilai fracture toughness akan semakin besar akan tetapi jika tebal material melebihi batas kritis maka akan menyebabkan

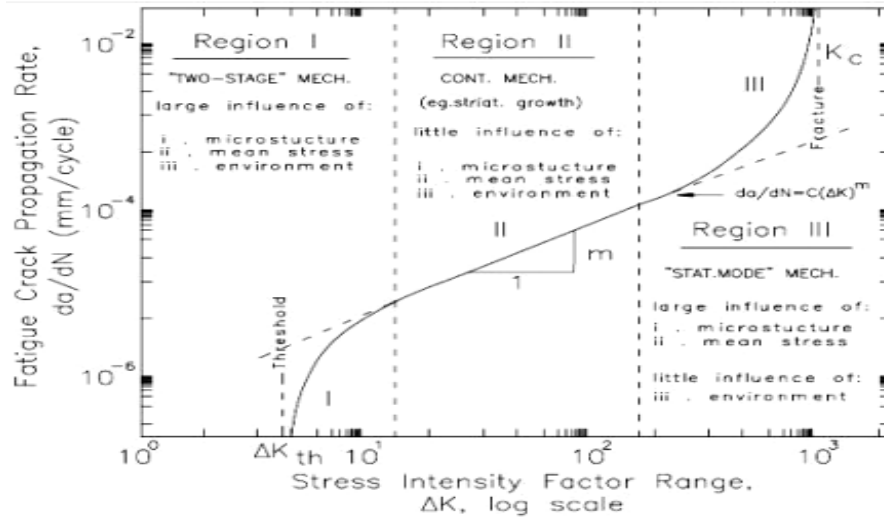
nilai fracture toughness cenderung konstan. Ketebalan suatu material dipengaruhi oleh kondisi pembebanan, jika beban yang diberikan merupakan plane strain (regangan/tarikan) maka akan membutuhkan nilai ketebalan yang lebih besar sedangkan jika beban yang diberikan merupakan plane stress (tekanan) maka membutuhkan nilai ketebalan yang relatif lebih kecil.



Gambar 2.8 Pengaruh dari fracture toughness pada kegagalan struktur (Anderson, 2005)

2.2.6 Perambatan Retak

Retak dipermukaan (Initial crack stage) diikuti perambatan retak akibat tegangan geser (Micro crack growth stage) selanjutnya akan merambat yang akibat didominasi dengan adanya tegangan tarik (Macro crack growth stage) sampai sisa penampang komponen tidak mampu lagi mendukung tegangan kerja hingga akhirnya patah (Final fracture). Berikut ini merupakan gambar dari tahapan perambatan retak.



Gambar 2.9 Kurva Perambatan Retak (Barsom dan Stanley, 1999)

- a. Nilai da/dN antara region I dan region II adalah :

$$\frac{da}{dN} = c (\Delta K^m - \Delta K + h^m) \quad (3.12)$$

Nilai da/dN region II adalah :

$$\frac{da}{dN} = c (\Delta K^m) \quad (3.13)$$

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

$$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma_Y} \left\{ \frac{\Delta K - \Delta K + h}{(1-R)K_C - \Delta K} \right\}^{1/2} \quad (3.14)$$

Dengan:

da/dN : kecepatan perambatan retak

ΔK : range faktor intensitas tegangan

K : harga kritis K

R : rasio tegangan = min/ max

C dan m : parameter pertumbuhan retak

2.2.7 Kedalaman Retak Kritis

Nilai kedalaman retak yang telah melewati nilai dari kedalaman retak kritis menunjukkan bahwa struktur tersebut akan mengalami kelelahan. Berikut merupakan rumus dari kedalaman retak kritis.

$$a_{cr} = \left(\frac{KIC}{\sigma_{max} \sqrt{\pi}} \right)^2 \quad (3.14)$$

2.2.8 Analisa Umur Kelelahan

Analisis umur kelelahan dengan metode fracture mechanics didapatkan dari mengintegrasikan hukum Paris-Erdogan tentang perambatan retak. Hasil dari integral hukum Paris-Erdogan sebagai berikut :

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C (\Delta K)^m} \quad (3.15)$$

Dengan:

- a_0 = panjang retak awal (*initial crack*)
- a_f = panjang retak akhir (*final crack*)
- N = jumlah *cycle*
- ΔK = perubahan *stress intensity factor*
- C dan m = konstanta material

2.2.9 Permodelan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga digunakan pada masalah-masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan penyelesaian secara analitik dan metode ini menyelesaikan suatu masalah dengan cara membagi suatu obyek (spesimen) menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga. Bagian-bagian kecil ini kemudian dianalisis dan hasilnya digabungkan kembali agar mendapatkan penyelesaian untuk keseluruhan obyek (spesimen).

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini menggunakan ANSYS yang dimana perangkat lunak ini berbasis metode elemen hingga. Diharapkan hasil yang didapatkan dalam penganalisaan mendekati keadaan yang sebenarnya.

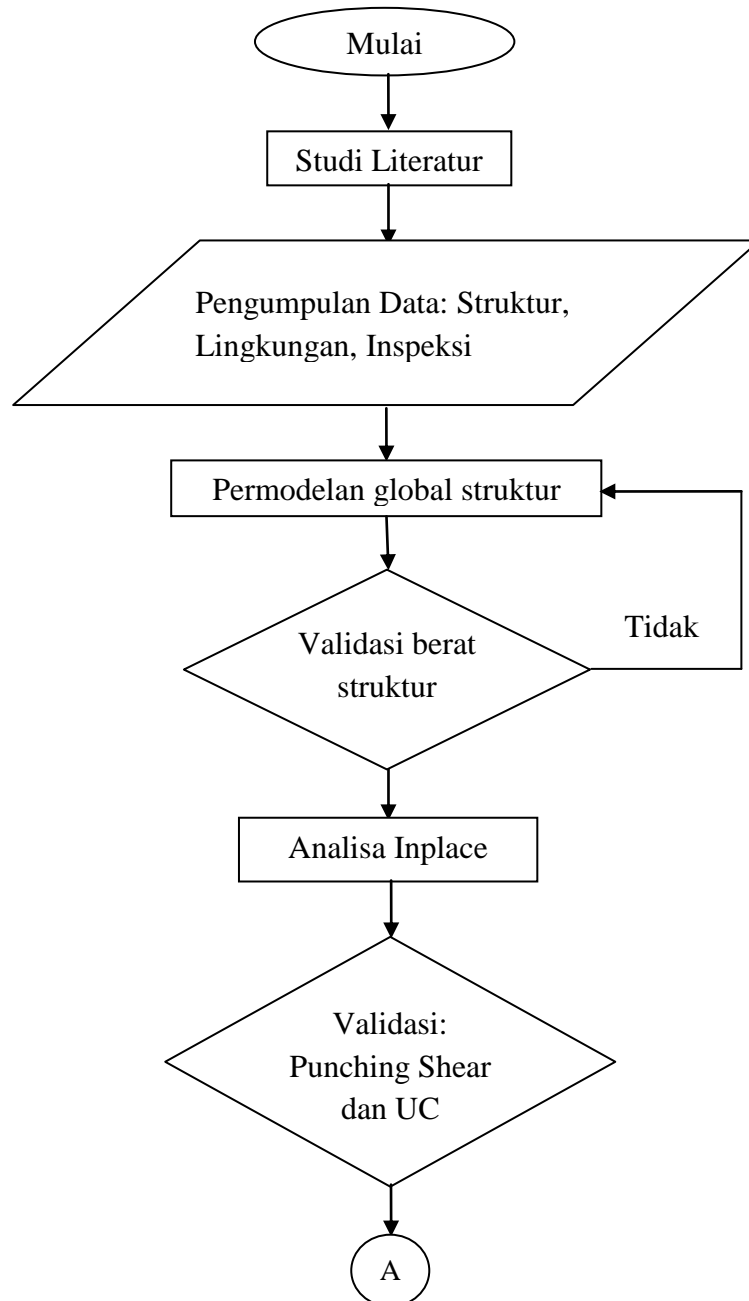
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

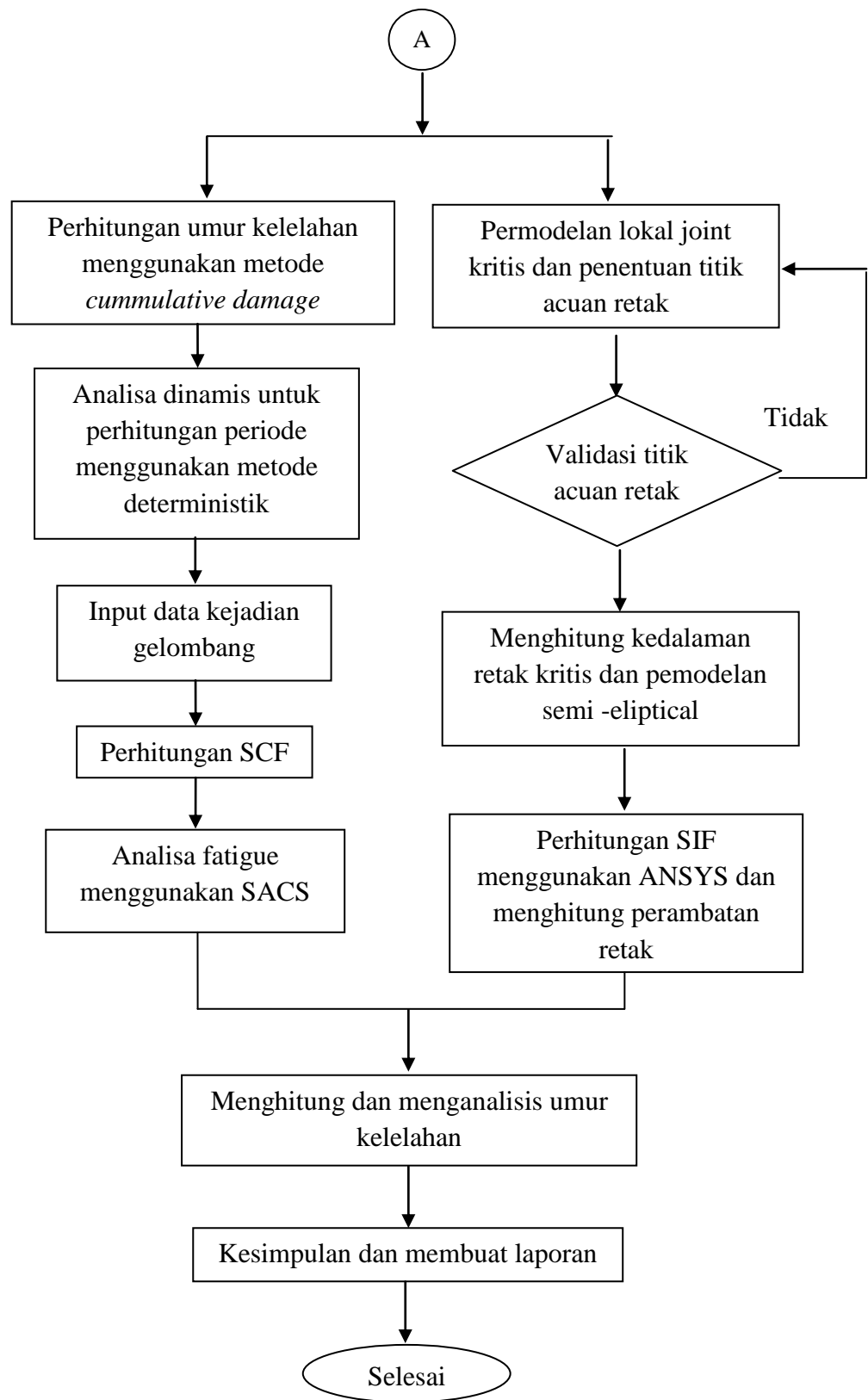
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 adalah alur penelitian yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

3.2 Penjelasan Diagram Alir

Berikut penjelasan diagram alir yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

1. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini digunakan sebagai referensi pengerjaan.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk menunjang pengerjaan dalam menganalisa studi kasus yang dapat diambil dari data yang telah dikumpulkan seperti data struktur, data lingkungan, dan data inspeksi.

3. Permodelan Global Struktur

Permodelan global struktur yang dimana sebagai objek penelitian tugas akhir dimodelkan menggunakan perangkat lunak SACS 5.7.

4. Validasi Berat Struktur

Validasi dilakukan untuk meninjau ulang struktur apakah sudah memenuhi kesamaan atau tidak.

5. Analisa In-place

Analisa in-place merupakan analisis yang dilakukan untuk menentukan kondisi tiap member pada setiap pembebanan yang diterima.

6. Validasi Punching Shear dan Unity Check

Validasi ini digunakan untuk mengetahui nilai punching shear dan unity check yang tertinggi.

7. Perhitungan Umur Kelelahan

Perhitungan umur kelelahan menggunakan metode cumulative damage yang dibantu oleh perangkat lunak SACS.

8. Permodelan Lokal Joint Kritis

Memodelkan sambungan tubular pada joint yang kritis menggunakan permodelan 3D yaitu dengan bantuan perangkat lunak SolidWorks.

9. Penentuan Titik Acuan

Dikarenakan titik hot spot stress berada pada daerah las lasan dan keterbatasan ANSYS dalam pemodelan retak, maka diambil 4 titik yang mewakili daerah tegangan maksimum tersebut.

10. Validasi Titik Acuan Retak

Titik acuan yang telah ditentukan akan divalidasi dengan cara menghitung SIF / parameter K. Hasil perhitungan SIF dengan bantuan ANSYS akan divalidasi dengan perhitungan SIF manual.

11. Menghitung Kedalaman Retak Kritis

Menghitung kedalaman kritis untuk mengetahui kemampuan struktur setelah terjadinya retak.

12. Permodelan Retak Semi-elliptical

Permodelan yang digunakan ialah retak semi-elliptical yang sudah tervalidasi titik acuannya.

13. Perhitungan SIF Menggunakan ANSYS

Perhitungan SIF akan dilakukan secara manual dan program ANSYS. Perhitungan manual menggunakan rumus SIF semi elip.

14. Perhitungan Cepat Rambat Retak

Perhitungan perambatan retak baik secara manual dan program ANSYS

15. Menghitung Umur Kelelahan

Menghitung umur kelelahan menggunakan perbandingan dua metode yaitu cumulative damage dan fracture mechanics.

16. Kesimpulan dan Laporan

Kesimpulan akan didapatkan setelah analisis selesai dan menjawab semua rumusan permasalahan, lalu hasil yang ada dimasukkan ke dalam laporan analisis tersebut.

3.3 Data Struktur

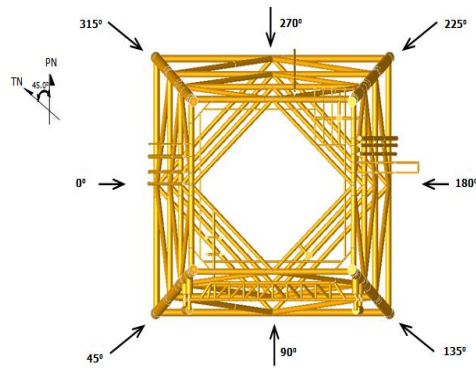
Objek studi yang digunakan ini adalah UW-Pro Platform milik Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java yang berlokasi di *Ardjuna Field* di bagian barat laut dari Laut Jawa dan beroperasi pada kedalaman 87 ft. UW-Pro di-install pada tahun 1982 yang berkoordinat di $06^{\circ}03' 55.89''$ S dan $107^{\circ}45' 12.85''$ T. Berikut merupakan spesifikasi dari UW-Pro Platform.

1. Nama Platform : UW-Process Platform



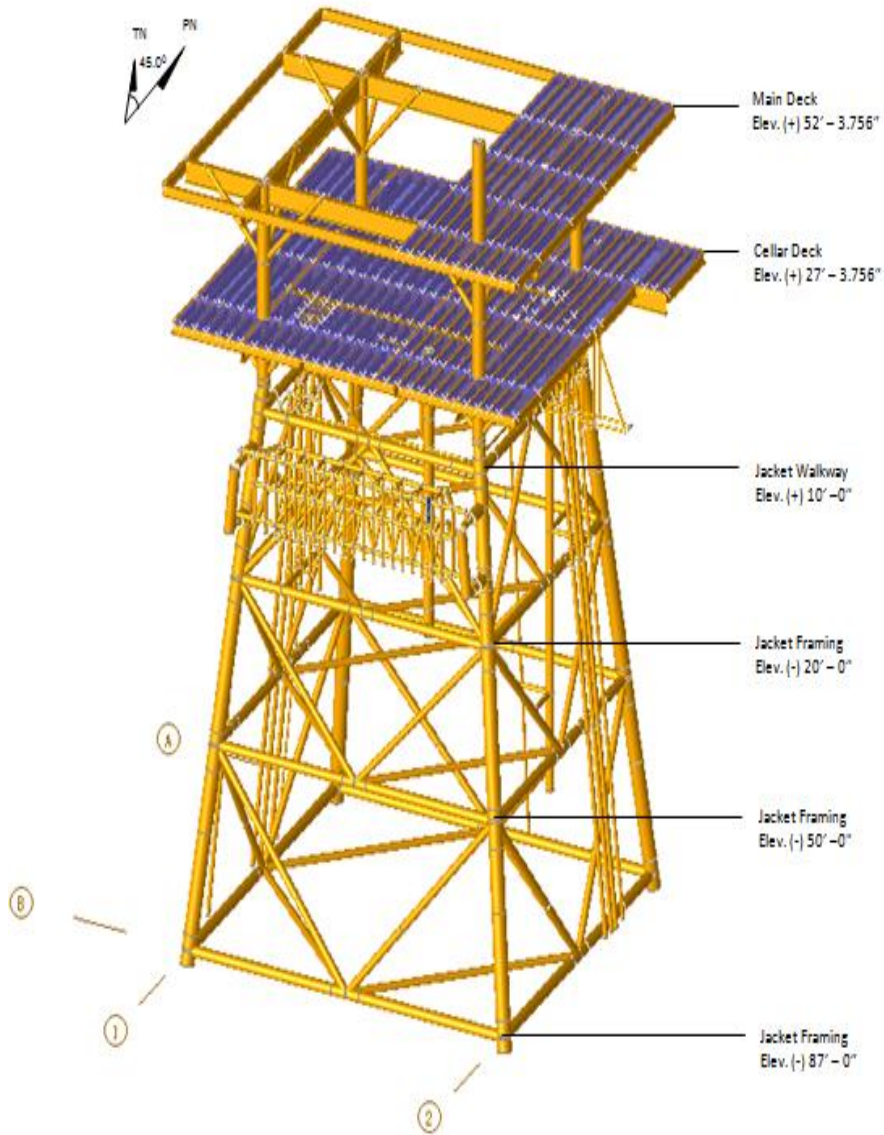
Gambar 3.2 UW-Process Platform

2. Pemilik : Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java
3. Jenis Struktur : Terpancang
4. Lokasi : *Ardjuna Field* , Barat Laut dari Laut Jawa
5. Jumlah Kaki : 4 (empat)
6. Jumlah Deck : 2 (dua)
7. Orientasi Arah Platform : Ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.3 Orientasi Arah UW-Pro Platform

8. Isometri Platform : Ditunjukkan pada Gambar 3.3



Gambar 3.4 Isometri UW-Pro Platform

3.4 Data Lingkungan

3.4.1 Data Kedalaman Air

Kedalaman air yang digunakan dalam in-place analysis sebagai berikut.

Tabel 3.1 Kedalaman Air

Description	Return Periods	
	1-Year	100-Years
Mean Sea Level (MSL)	87.00 ft.	87.00 ft.
Highest Astronomical Tide (HAT)	3.80 ft.	3.80 ft.
Storm Tide (surge)	0.50 ft.	0.80 ft.
Max. Water Depth taken (MSL + ½ HAT + Storm Tide)	89.40 ft.	89.70 ft.
Min. Water Depth taken (MSL - ½ HAT)	85.10 ft.	85.10 ft.

3.4.2 Data Angin

Data angin untuk in-place analysis sebagai berikut.

Tabel 3.2 Kecepatan Angin

Description	1-Year Return Periods	100-Years Return Periods
1-Hour Wind	38.0 Mph	63.0 Mph

3.4.3 Data Gelombang

Data gelombang 1 tahun dan 100 tahun yang digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.3 Data Gelombang

Description	1-year Return Periods	100-years Return Periods
Height of Maximum Wave	16.70 ft	28.30 ft
Period of Maximum Wave	7.10 sec	9.40 sec

3.4.4 Data Sebaran Gelombang

Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang

Wave Height (ft.)	Periode Gelombang	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
2	4.6	6,714,600	8,996,200	19,296,200	8,083,600	1,825,300	1,564,600	9,713,300	8,996,200
6	5.9	229,880	308,050	660,750	276,740	63,640	54,490	332,600	308,050
10	6.4	7,752	10,390	22,270	9,336	1,060	910	11,212	10,390
14	6.8	260	348	754	314	0	0	375	348
18	7.5	8	11	25	10	0	0	13	11
22	7.8	0	1	1	0	0	0	0	1
TOTAL		6,952,500	9,315,000	19,980,000	8,370,000	1,890,000	1,620,000	10,057,500	9,315,000

3.4.5 Current Profile

Tabel 3.5 Current Profile

Percent of Depth (%)	Current Speed (ft/sec)	
	1-Year Operating	100-Years Storm
0	3.00	4.00
10	2.80	3.70
20	2.60	3.40
30	2.40	3.20
40	2.20	2.90
50	2.00	2.60
60	1.80	2.40
70	1.60	2.20
80	1.40	2.00
90	1.20	1.70
100	0.80	1.00

3.4.6 Data Ketebalan Marine Growth

Ketebalan marine growth dari mudline hingga MSL (Mean Sea Level) sebesar 2 in dari spesifikasi pemandu perusahaan. Kepadatan marine growth diasumsikan setiap 1233,42 kg/m³.

3.4.7 Koefisien Hidrodinamika

Nilai koefisien drag (Cd) dan koefisien inerti (Cm) yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut.

Tabel 3.6 Koefisien Hidrodinamis

Member Description	In-Place Analysis		Fatigue Analysis	
	Cd	Cm	Cd	Cm
Basic Cd and Cm based on API RP 2A-WSD				
Smooth Cylinder	0.65	1.60	0.50	2.00
Rough Cylinder	1.05	1.20	0.80	2.00

3.4.8 Corrosion Allowance

Ketebalan korosi yang diijinkan sebesar 1/8" untuk seluruh member jacket yang berada pada splash zone antara elevasi (-) 8' dan (+) 10'.

3.4.9 Topside Load

Tabel 3.7 Topside Load

Topside loads	Loads (kips)
Crane	20
Bulk	81.65
Equipment	159.63

Piping	381.26
Live	1158.01
Bridge	70
Riser Guard	15

3.4.10 Data Material

- Tubular < 16 in. OD	API 5L Grade B	Fy = 35 ksi
- Tubular ≥ 16 in. OD	ASTM A36	Fy = 36 ksi
- Rolled Steel Sections	ASTM A36	Fy = 36 ksi
- Tubular Cans	ASTM A36	Fy = 36 ksi
- Piles (one segment of PL1 Fy= 42ksi)	ASTM A36	Fy = 36 ksi

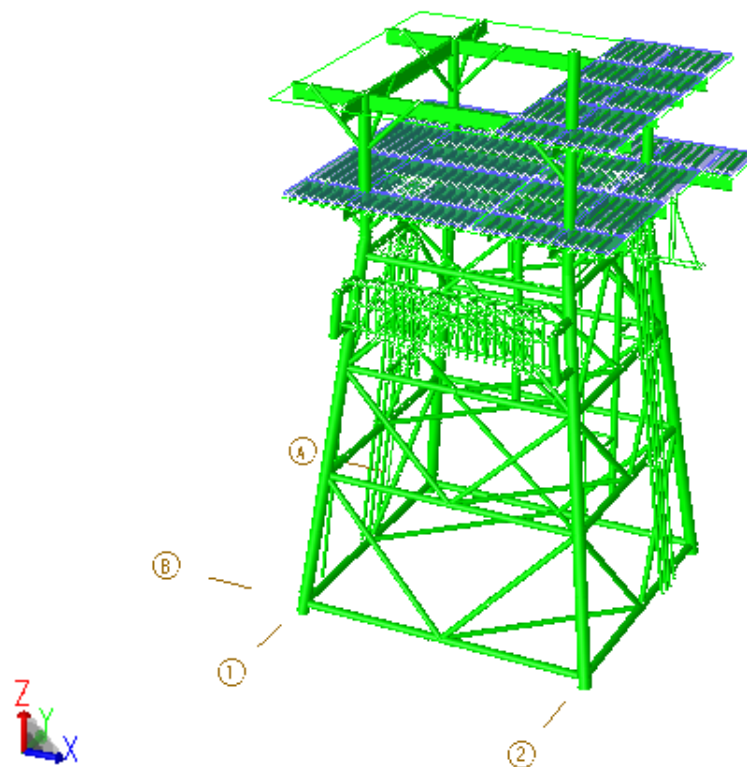
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Permodelan Dan Validasi Struktur UW-Pro Platform

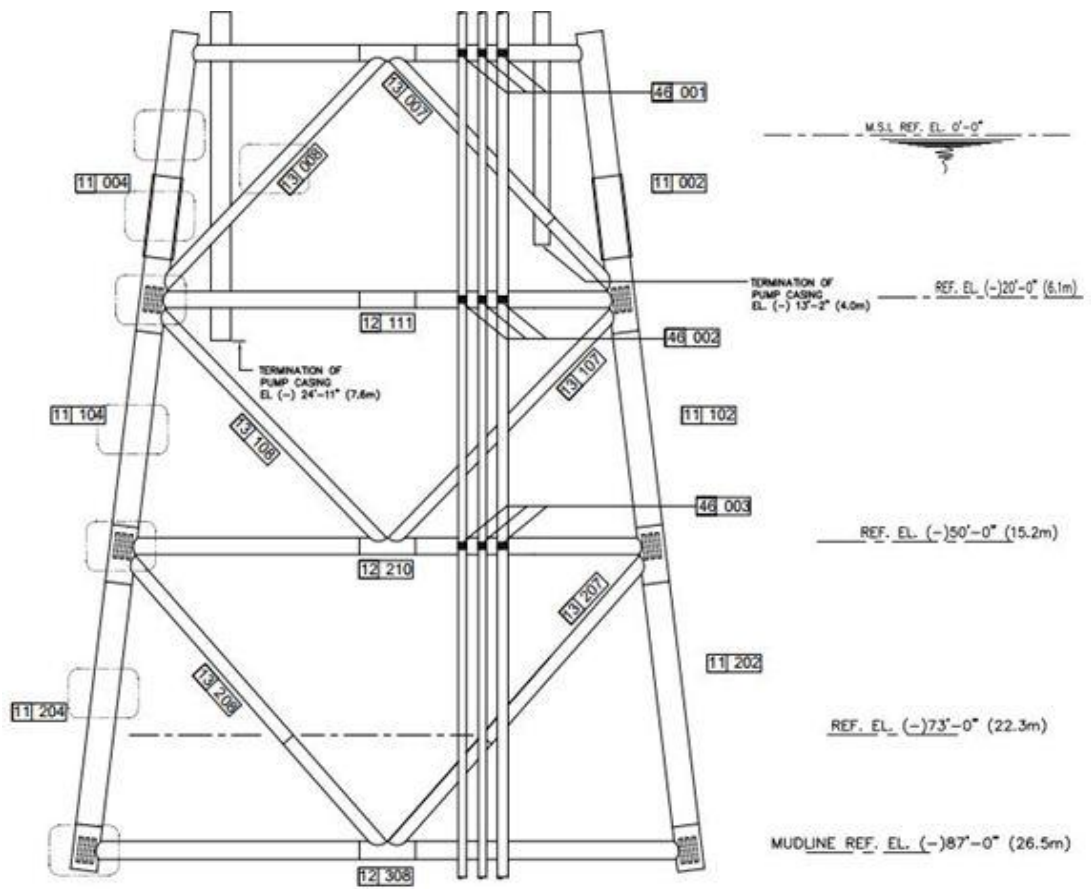
Permodelan struktur UW-Pro platform ini menggunakan perangkat lunak SACS 5.7 , dan referensi data yang digunakan adalah “*Structural Analysis Report of UW Process Platform For Service Life Extension - UNIFORM-C-CAL-0001*” dan *drawing* milik PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java.



Gambar 4.1 Permodelan Struktur UW-Pro Platform

Kondisi platform UW-Pro yang sudah beroperasi selama 35 tahun juga akan berpengaruh dalam hal ketebalan tiap member jika dibandingkan dengan ketebalan tiap member dari sebelum platform beroperasi. Pada Tabel 4.2 akan menjelaskan perbandingan ketebalan dari platform sebelum dan sesudah

beroperasi yang sesuai dengan referensi “*UW-Flowstation/Process Underwater Platform Inspection and Maintenance Report 2012 – UNIFORM-Z-ISP-0023*”



Gambar 4.2 Elevasi Struktur Untuk Pengukuran *Wall Thickness*

Tabel 4.1 Perbandingan *Wall Thickness*

No.	Elevation	Wall Thickness (mm)	
		Awal	Setelah 35 Tahun
1	EL (±) 0.00 MSL	32,0	31,75
2	EL (-) 10'-2" (3,1m)	31,95	31,75
3	EL (-) 20'-0" (6,1m)	32,1	31,75
4	EL (-) 35'-0" (10,7m)	12,85	12,7
5	EL (-) 50'-0" (15,2m)	32,0	31,75
6	EL (-) 61'-9" (18,8m)	32,0	31,75
7	EL (-) 73'-0" (22,3m)	12,9	12,7
9	EL (-) 87'-0" (26,5m)	33,1	31,75
10	13-008	25,3	20,96

Dari permodelan lalu menghasilkan berat dari struktur tersebut. Hasil berat struktur di perangkat lunak juga harus disesuaikan dengan hasil berat struktur yang ada di *report* dan hasil dari keduanya dibandingkan maka prosentase selisihnya tidak diperbolehkan lebih dari 5%. Berikut ini merupakan tabel perbandingan hasil dari berat struktur pada perangkat lunak dan hasil berat struktur pada *report*.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Berat struktur

Validasi	Model	<i>Report</i>	Selisih (%)
<i>Selfweight</i>	1980,809	1980,91	0,000005048

4.2 Analisa *Inplace*

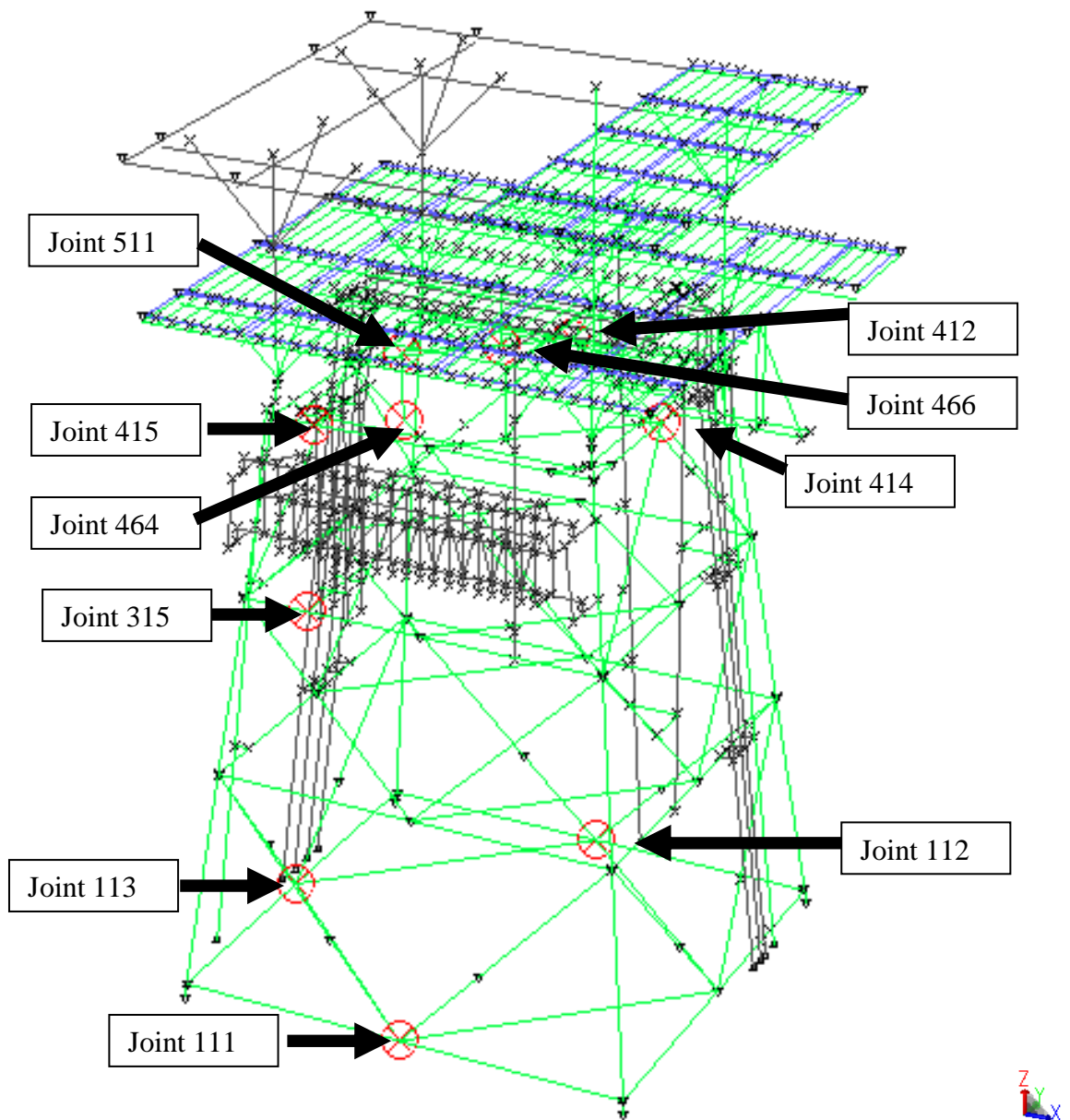
Analisa *inplace* merupakan suatu analisa yang digunakan untuk mengetahui kondisi pada tiap member pada pembebanan statis yang disesuaikan dengan kondisi lingkungan dimana platform tersebut diinstal. Untuk mengetahui kondisi member dan joint yang telah diberikan pembebanan, bisa melihat *Unity Check* (UC) dari hasil analisa menggunakan *software* SACS 5.7. Hasil UC yang memiliki nilai lebih dari 1, member dapat dianggap mendapatkan beban yang berlebih. Berikut ini merupakan 10 *Unity Check* (UC) terbesar dari hasil analisa *inplace* yang telah dilakukan.

Tabel 4.3 *Joint Can Summary*

JOINT	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YIELD STRESS (KSI)	UNITY CHECK
466	16	0,5	36	1,272
415	24	0,5	36	0,858
111	26	0,5	36	0,519
112	26	0,5	36	0,507
511	16	0,375	36	0,499
414	24	0,5	36	0,437
315	24	0,5	36	0,400

Tabel 4.3 *Joint Can Summary* (Lanjutan)

JOINT	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YIELD STRESS (KSI)	UNITY CHECK
412	24	1	36	0,399
113	26	0,5	36	0,383
464	16	0,5	36	0,363



Gambar 4.3 Letak 10 Joint Kritis Dengan Nilai Unity Check Terbesar.

4.2 Periode Natural

Dalam menganalisa fatigue menggunakan metode *cummulative damage*, dapat meninjau nilai periode natural terlebih dahulu dengan analisa *dynamic extract modeshape* menggunakan *software* SACS 5.7. Berikut ini merupakan hasil dari analisa *dynamic extract modeshape*.

Tabel 4.4 Periode Natural

MODE	FREQ.(CPS)	GEN. MASS	EIGENVALUE	PERIOD(SECS)
1	1.532765	1.3007254E+03	1.0781739E-02	0.6524155
2	2.051339	2.2188141E+03	6.0195703E-03	0.4874865
3	2.080970	8.0494915E+02	5.8493626E-03	0.4805451
4	2.119739	2.6886036E+03	5.6373540E-03	0.4717561
5	2.969777	4.8131510E+02	2.8720547E-03	0.3367257
6	3.064038	1.3031480E+03	2.6980628E-03	0.3263668
7	3.964038	7.1962575E+01	1.6119984E-03	0.2522680
8	4.585057	8.7154927E+02	1.2048992E-03	0.2180998
9	4.736648	1.2005220E+02	1.1290107E-03	0.2111198
10	4.926174	8.5287629E+01	1.0438084E-03	0.2029973

Dari hasil Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai periode natural terbesar adalah 0.6524155 *secs*, sehingga metode yang digunakan dalam analisa adalah metode deterministik yang dimana memiliki nilai periode < 3 *secs*.

4.3 Analisa Fatigue Dengan Menggunakan Metode *Cummulative Damage*

4.3.1 *Dynamic Amplification Factor*

Analisa fatigue deterministik ini dilakukan dengan memasukkan data kejadian gelombang yang sudah ditunjukkan pada Tabel 4.3. Nilai dari perhitungan DAF (*Dynamic Amplification Factor*) ini akan menunjukkan

bagaimana pengaruh osilasi struktur terhadap adanya perbesaran gelombang. Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai DAF.

$$DAF = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{T_n}{T}\right)^2\right\}^2 + 2\beta\left(\frac{T_n}{T}\right)^2}} \quad (4.1)$$

Dengan :

T_n : periode natural struktur (sekon)

T : periode gelombang (sekon)

β : damping ratio (20%) berdasarkan API RP2A

Tabel 4.5 Data Kejadian Gelombang

Wave Height (ft.)	Periode Gelombang	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
2	4.6	6,714,600	8,996,200	19,296,200	8,083,600	1,825,300	1,564,600	9,713,300	8,996,200
6	5.9	229,880	308,050	660,750	276,740	63,640	54,490	332,600	308,050
10	6.4	7,752	10,390	22,270	9,336	1,060	910	11,212	10,390
14	6.8	260	348	754	314	0	0	375	348
18	7.5	8	11	25	10	0	0	13	11
22	7.8	0	1	1	0	0	0	0	1
TOTAL		6,952,500	9,315,000	19,980,000	8,370,000	1,890,000	1,620,000	10,057,500	9,315,000

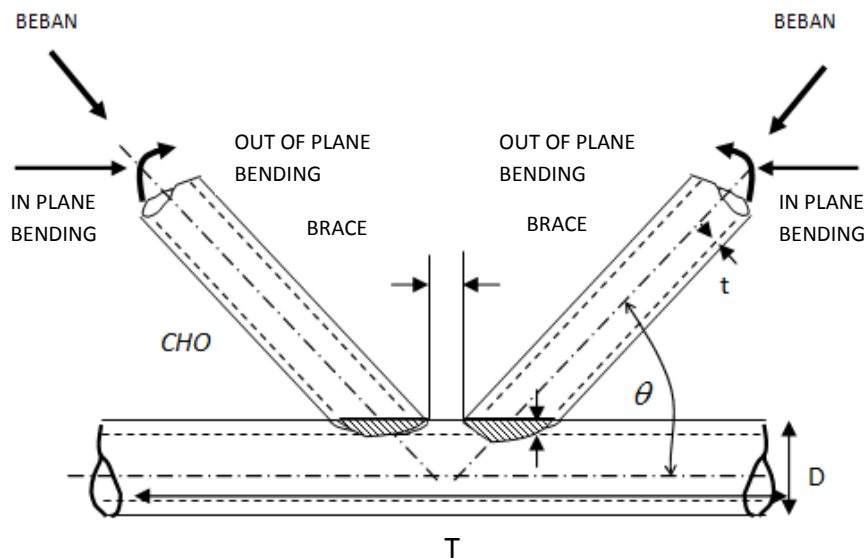
Nilai periode natural yang mendekati dengan nilai periode dari gelombang, maka akan terjadi penambahan nilai DAF (*Dynamic Amplification Factor*) yang cukup tinggi. Periode struktur yang didapatkan dari analisa yang menggunakan SACS adalah 0.6524155 detik dan $\beta = 0.05$ akan dimasukkan kedalam analisa seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6 Nilai DAF (*Dynamic Amplification Factor*)

H gelombang (ft)	T gelombang (detik)	T_n/T	$(T_n/T)^2$	DAF
2	4,6	0,1418	0,0201	1,0195
6	5,9	0,1106	0,0122	1,0117
10	6,4	0,1019	0,0104	1,0100
14	6,8	0,0959	0,0092	1,0088
18	7,5	0,0870	0,0076	1,0072
22	7,8	0,0836	0,0070	1,0067

4.3.2 Parameter Tubular Joint

Di dalam API RP-2A WSD *tubular joint* dapat diklasifikasikan menjadi tipe K, T, Y, dan X seperti pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Parameter Utama

Keterangan parameter utama :

D = diameter luar chord

L = panjang chord

d = diameter luar brace

T = ketebalan chord

t = ketebalan brace

dimana,

- Beban aksial beban yang bekerja sejajar pada sumbu brace.
- Beban in-plane bending, beban yang sejajar sumbu chord.
- Beban out-of plane bending ialah beban yang bekerja tegak lurus sumbu chord.

Parameter turunan :

$$\alpha = 2L/D$$

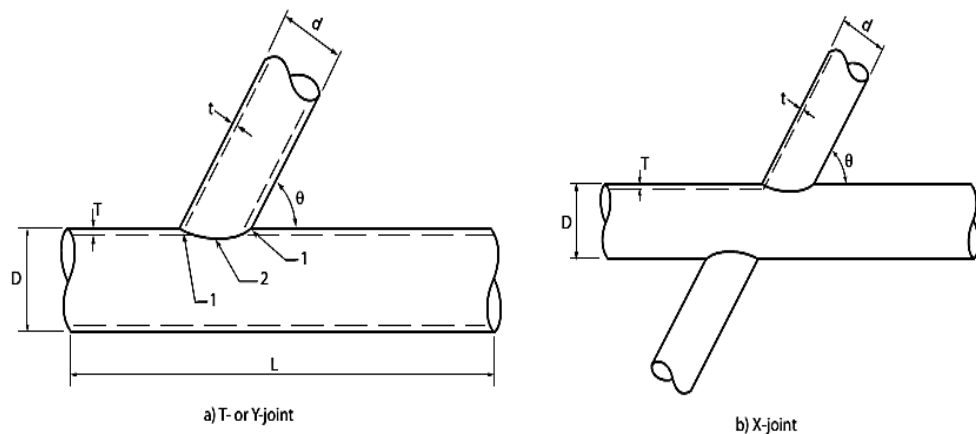
$$\tau = t/T$$

$$\beta = d/D$$

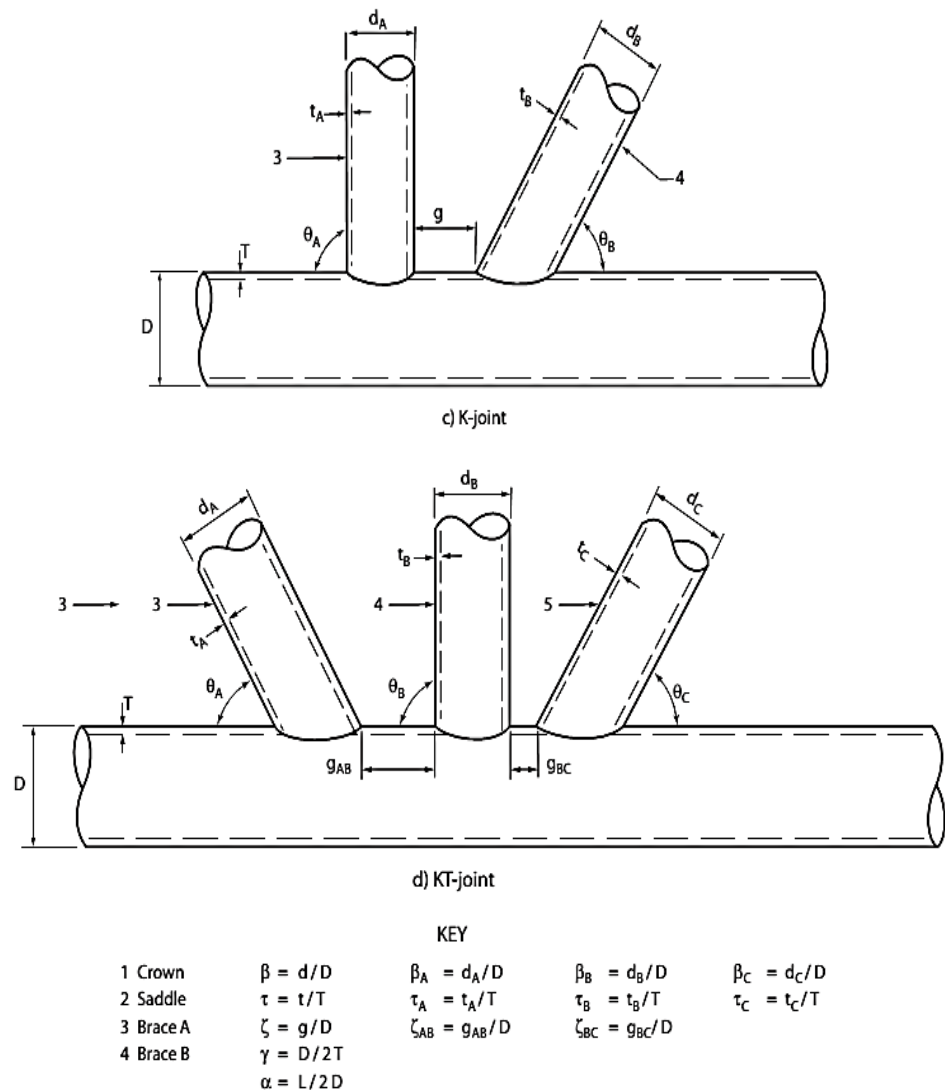
$$\xi = g/D$$

$$\gamma = D/2T$$

θ = sudut antara *brace* dan *chord*



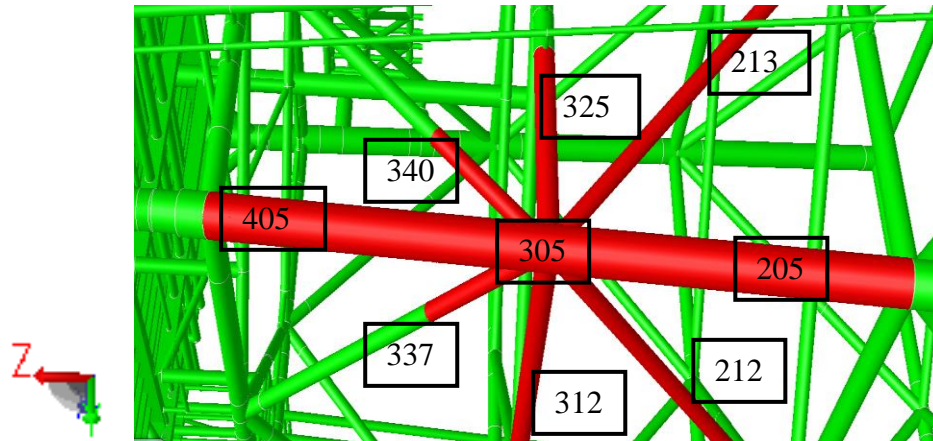
Gambar 4.5 Bentuk Geometri dari sambungan menurut Efthymiou (API RP 2 WSD, 2007)



Gambar 4.5 Bentuk Geometri dari sambungan menurut Efthymiou (API RP 2 WSD, 2007) (Lanjutan)

Perubahan geometri yang mendadak (abrupt change) mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan (stress concentration). Stress Concentration Factor (SCF) merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan yang nilainya akan berbeda tergantung geometrinya. Proses analisa yang penulis lakukan ini, menggunakan metode analisa berdasarkan analisa Efthymiou. Stress Concentration Factor (SCF) merupakan parameter terhadap kekuatan sambungan

yang nilainya akan berbeda tergantung geometrinya. Beberapa joint kritis yang ditinjau diketahui memiliki geometri sambunga T dan K antara chord dengan brace-nya. Dari data didapatkan parameter utama dari joint 305 adalah sebagai berikut.



Gambar 4.6 Bentuk Joint 305

Tabel 4.7 Parameter Utama Tubular Joint

L	=	60,93028	ft	=	18,572	m
D	=	40	in	=	1,016	m
dA	=	18	in	=	0,457	m
dB	=	24	in	=	0,610	m
dC	=	18	in	=	0,457	m
T	=	1,25	in	=	0,032	m
tA	=	0,5	in	=	0,013	m
tB	=	0,5	in	=	0,013	m
tc	=	0,5	in	=	0,013	m
gA	=	5,9	in	=	0,150	m
gB	=	10,63	in	=	0,270	m

Berikut ini merupakan parameter turunan dari sambungan berbentuk K-T joint.

Tabel 4.8 Parameter Turunan K-T Joint 305

α	=	18,140
τ_A	=	0,400

τ_B	=	0,400
τ_C	=	0,400
β_A	=	0,450

Tabel 4.8 Parameter Turunan K-T Joint 305 (Lanjutan)

β_B	=	0,600
β_C	=	0,450
x_{AB}	=	0,148
x_{BC}	=	0,266
g	=	16,000
q_A	=	37,1024
q_B	=	82,9295
q_C	=	51,2455

Validitas *range* parameter tubular joint dari struktur yang ditinjau berikut harus sesuai dengan parameter-parameter dari Efthymiou antara lain:

- β from 0.2 to 1.0
- τ from 0.2 to 1.0
- γ from 8 to 32
- α (length) from 4 to 40
- θ from 20 to 90 degrees
- ζ (gap) from $-0.6\beta/\sin\theta$ to 1.0

4.3.3 *Fatigue Life* Pada Member Kritis

Fatigue Life atau umur kelelahan dari suatu sambungan bergantung pada beberapa faktor, antara lain karakteristik material, cacat las, retak mikro, bentuk geometri dari las dan lainnya. *Cummulative damage* dapat dihitung dengan persamaan *Palmgren-Miner Rule* berikut ini.

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_m}{N_m} \quad (4.2)$$

Dengan :

- n_i = jumlah siklus (rentang) tegangan dengan harga S_i yang sebenarnya terjadi pada sambungan akibat beban eksternal (gelombang)
- N_i = jumlah siklus (rentang) tegangan dengan harga S_i yang menyebabkan kegagalan sambungan yang ditinjau. Harga besaran ini dapat diperoleh dari diagram S-N untuk jenis sambungan yang sesuai.
- S_i = rentang tegangan; 2 (dua) kali amplitudo tegangan yang terjadi pada sambungan

Besarnya jumlah siklus tegangan n_i untuk tiap tegangan S_i yang ditimbulkan dari beban gelombang dengan karakteristik tinggi H_i (m) dan periode T_i (detik) dapat dihitung dari persamaan berikut ini .

$$N_i = \frac{P_i \times T}{T_i} \quad (4.3)$$

Dimana :

P_i = frekuensi relatif kejadian tiap-tiap gelombang, dengan karakteristik tinggi H_i (m) dan periode T_i (detik) yang menyebabkan timbulnya tegangan S_i .

Variabel T = umur kelelahan struktur setelah setelah memperhitungkan siklus seluruh tegangan.

Persamaan *cummulative damage* akibat kelelahan didapatkan dengan cara mensubstitusikan persamaan (4.2) ke persamaan (4.3) menjadi berikut ini.

$$D = \frac{P_1 T}{N_1 T_1} + \frac{P_2 T}{N_2 T_2} + \frac{P_3 T}{N_3 T_3} + \dots \dots \frac{P_m T}{N_m T_m} = 1 \quad (4.4)$$

Umur kelelahan struktur dapat diturunkan menjadi satuan tahun dengan persamaan berikut.

$$T = \frac{1}{\left(\frac{P_i}{N_i T_i}\right)} \quad (4.5)$$

Dengan :

- D = Kerusakan pertahun
 n_i = Jumlah *cycles* yang terjadi pertahun dalam range tegangan (i)
 N_i = Jumlah cycle dalam range tegangan (i) yang diperlukan untuk menyebabkan fatigue
m = Jumlah range tegangan yang diperhitungkan.
 P_i = Frekuensi relative kejadian tiap-tiap gelombang dengan karakteristik tinggi H_i (m) dan periode T_i (detik) yang menyebabkan timbulnya tegangan *HSS*.
T = Umur kelelahan struktur hasil hitungan
SF = Safety factor
 T_{dsg} = Design umur kelelahan struktur

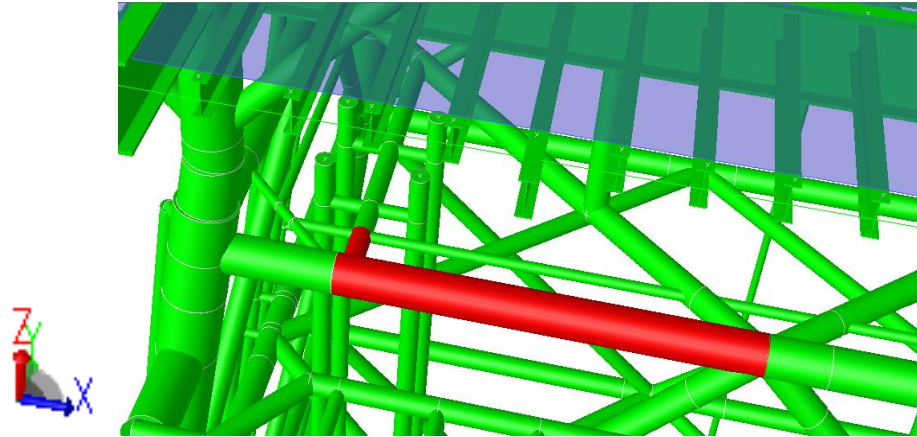
Berikut umur kelelahan struktur yang paling kritis dengan menggunakan metode *cummulative damage*.

Tabel 4.9 Hasil 5 Joint Dengan Umur Kelelahan Struktur Terendah

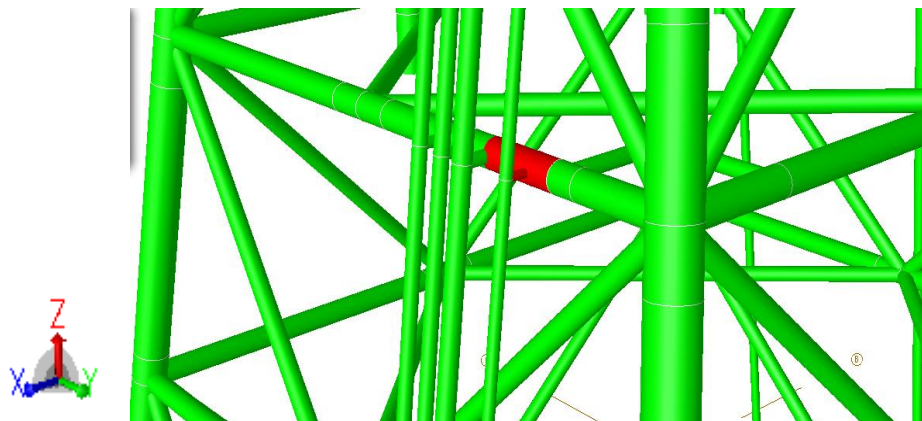
Joint	Member	Member Type	Damage	Sevice Life
415	415-468	BRC	0,10084	247,9229
415	415-411	CHD	3,5779	6,987331
0190	0190-0258	BRC	2,36319	10,57894
0190	332-0190	CHD	2,4862	10,05553
320	320-399	BRC	0,34888	71,65723
320	320-307	CHD	1,90297	13,13737
321	321-399	BRC	0,0553	452,0481
321	321-0188	CHD	0,54297	46,0434
305	305-312	BRC	0,47516	52,61415
305	305-405	CHD	0,19056	131,1893

Dari hasil umur kelelahan struktur di atas yang digunakan untuk analisa selanjutnya adalah Joint 305 yang letaknya ada pada jacket leg sebesar 131 tahun, dimana analisa berikutnya yang menggunakan metode *fracture mechanic* lebih

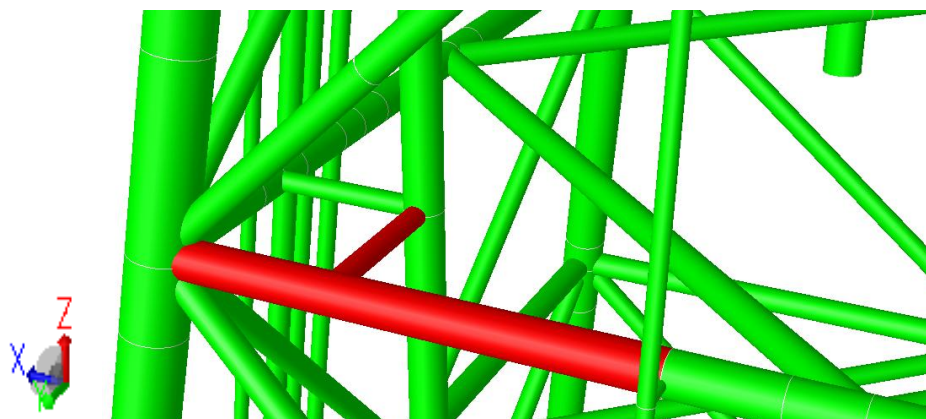
baik diaplikasikan pada jacket leg yang berpotensi terjadinya keruntuhan lebih besar pada struktur. Berikut Gambar 4.2 yang menunjukkan bentuk dari joint 305 yang akan dianalisa secara lokal.



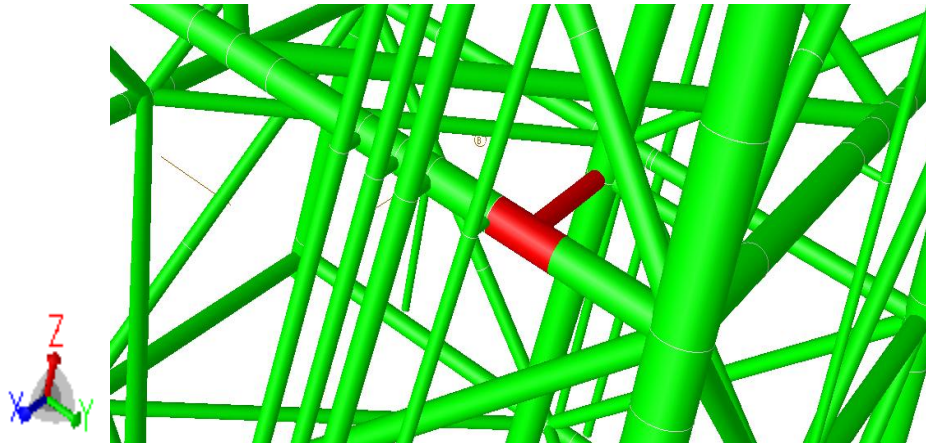
Gambar 4.7 Bentuk Tubular Joint 415



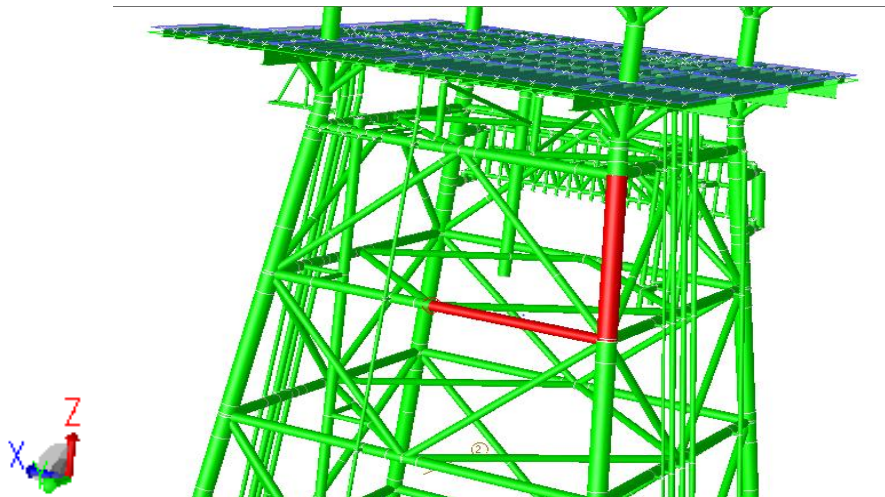
Gambar 4.8 Bentuk Tubular Joint 0190



Gambar 4.9 Bentuk Tubular Joint 320



Gambar 4.10 Bentuk Tubular Joint 321

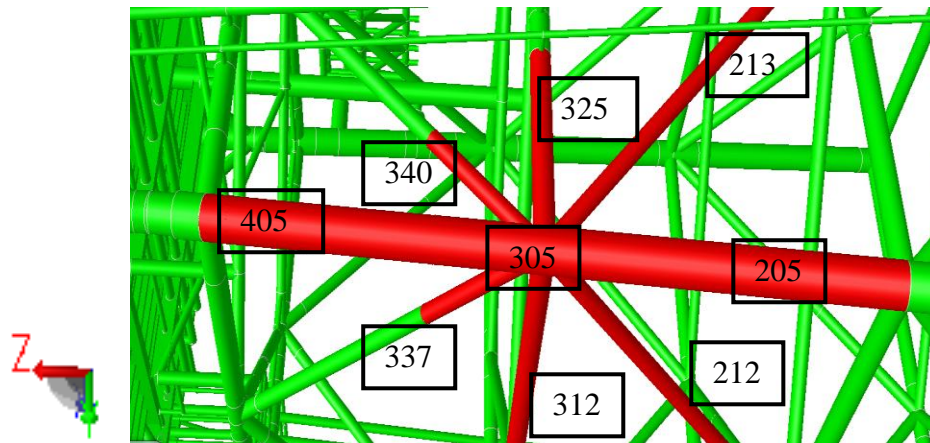


Gambar 4.11 Bentuk Tubular Joint 305

4.4 Analisa Fatigue Dengan Menggunakan Metode *Fracture Mechanic*

4.4.1 Permodelan Lokal Joint Kritis

Hasil dari analisa fatigue dengan umur kelelahan terendah dimodelkan menggunakan perangkat lunak SOLIDWORK. Joint yang digunakan dalam analisa lokal adalah joint 305. Berikut ini merupakan tabel dimensi dari joint-joint yang berhubungan dengan joint 305.

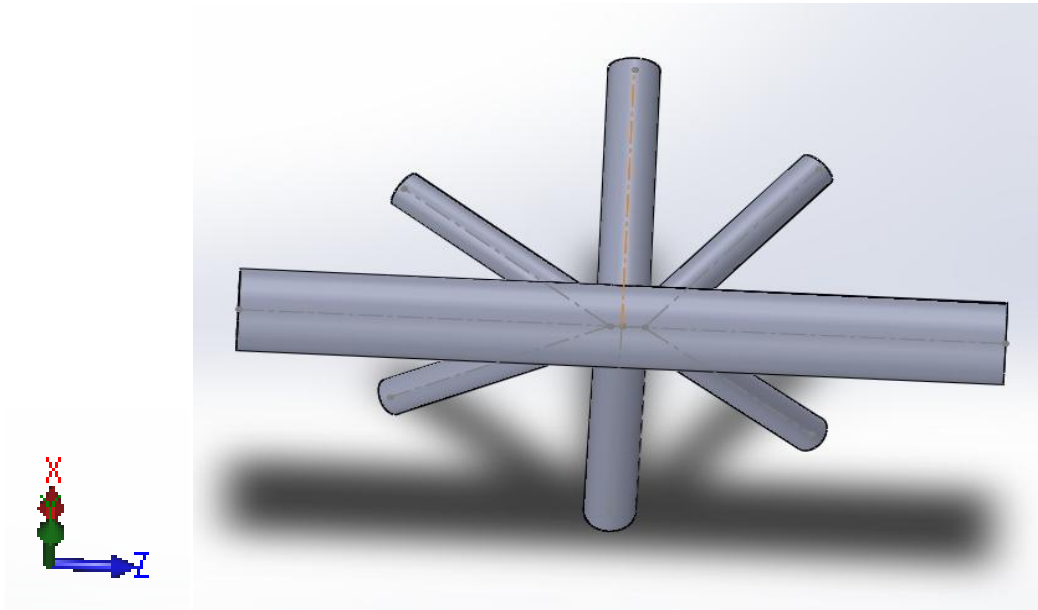


Gambar 4.12 Tubular Joint 305

Tabel 4.10 Dimensi Tubular Joint 305

Member	Member Type	Length (m)	Outside Diamater (m)	Wall Thickness (m)
305-405	CHD	9,28577	1,0160	0,03175
305-205	CHD	9,28577	1,0160	0,03175
305-325	BRC	5,18160	0,6096	0,01270
305-312	BRC	9,71550	0,6096	0,01270
305-337	BRC	4,46356	0,4572	0,01270
305-340	BRC	4,28270	0,4572	0,01270
305-212	BRC	13,39067	0,4572	0,01270
305-213	BRC	12,84851	0,4572	0,01270

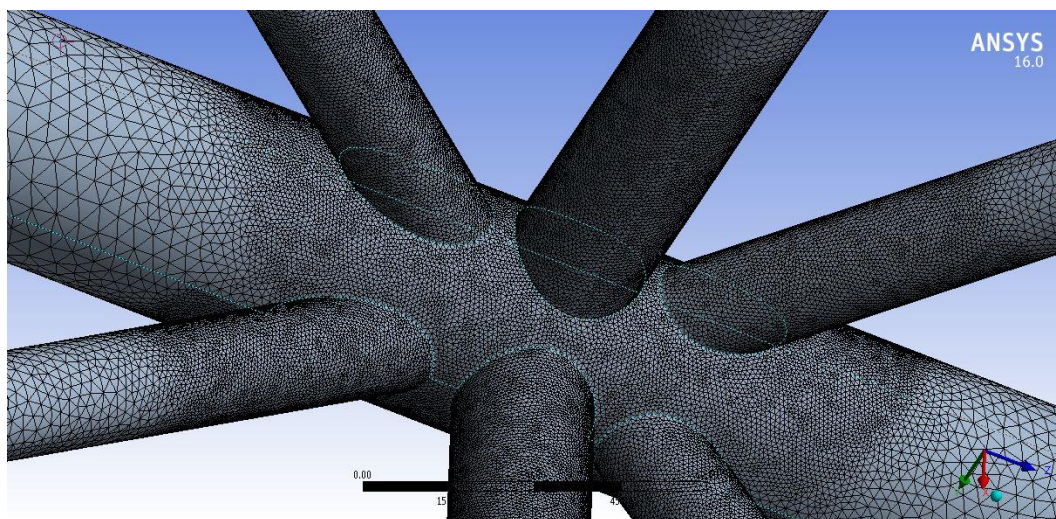
Dari data dimensi yang tertera di atas, maka joint 305 dimodelkan sesuai dengan permodelan global yang sudah dilakukan sebelumnya. Gambar 4.12 merupakan permodelan analisa lokal joint 305.



Gambar 4.13 Permodelan Lokal Joint 305

4.4.2 Meshing

Permodelan yang telah dibuat sebelumnya dari perangkat lunak SOLIDWORK di-*import* ke perangkat lunak ANSYS. *Meshing* bisa dilakukan dengan memilih pilihan default atau secara otomatis, namun bisa juga dengan mengatur ukuran *meshing* tersebut sesuai dengan kebutuhan. Pada daerah las-lasan diusahakan ukuran meshing jauh lebih rapat dibandingkan daerah lainnya seperti pada Gambar 4.13.



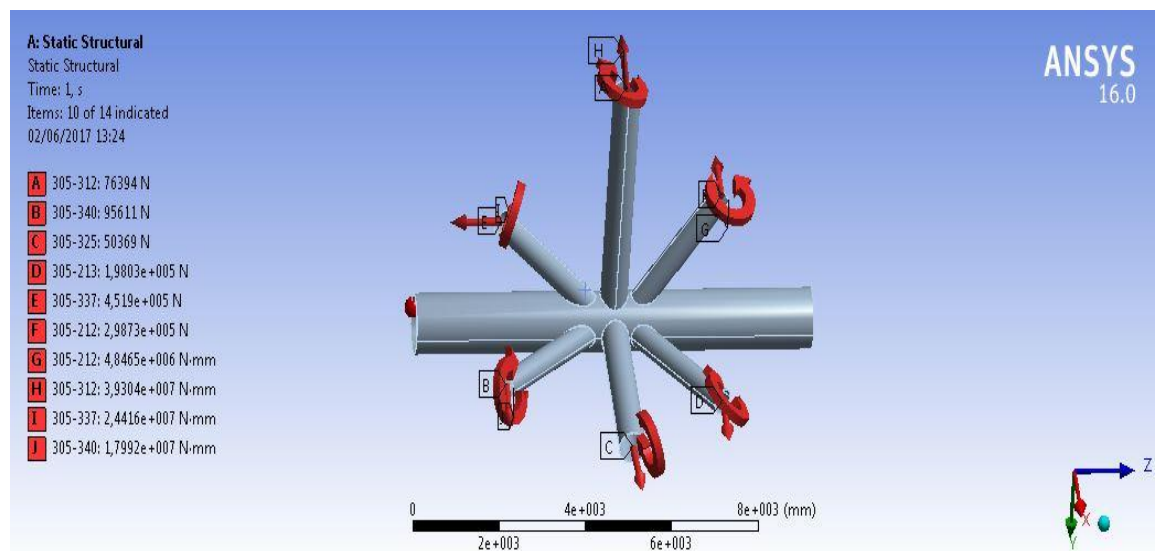
Gambar 4.14 *Meshing* Pada Permodelan Analisa Lokal

4.4.3 Kondisi Batas dan Pembebanan

Pemberian kondisi batas yang berupa tumpuan diberikan pada ujung-ujung chord 305-205 dan 305-405. Dan kondisi batas yang diberikan berupa fixed support. Setelah diberikan kondisi batas, lalu dimasukkan pembebanan pada tiap brace yang berupa gaya dan momen pada ujung. Nilai gaya dan momen di daoatkan dari analisa *inplace*. Gaya dan momen yang bekerja ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.11 Pembebanan Minimum Tiap Member

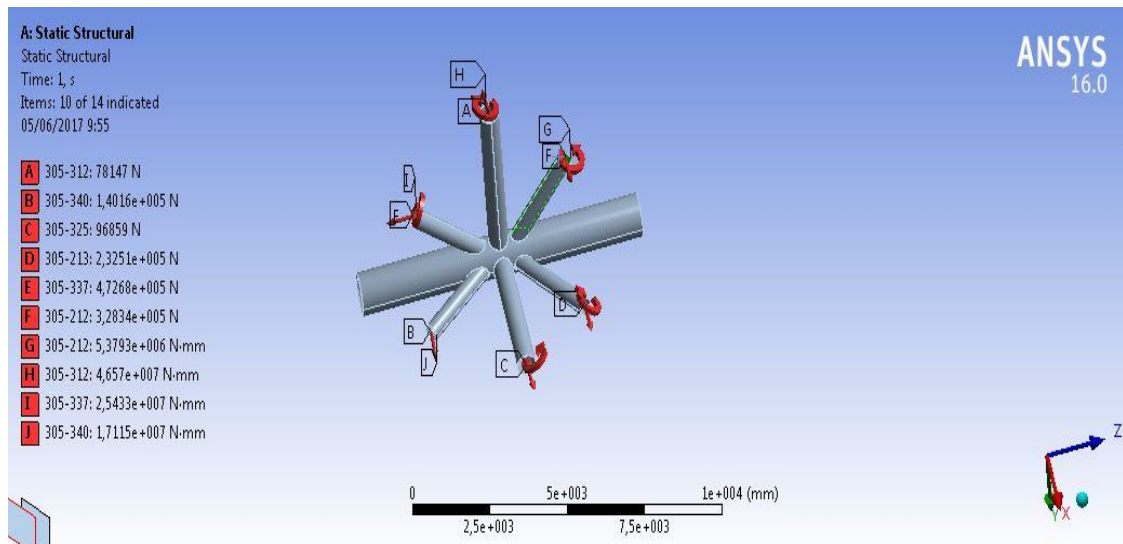
Gaya	Member							
	305-205	305-405	305-312	305-325	305-340	305-337	305-213	305-212
Mx (kips.in)	-39,8346	53,7928	34,9694	-64,2789	-79,3754	60,5462	6,2887	6,631
My (kips.in)	-237,168	335,1528	328,5835	-48,1777	69,9245	59,8009	41,5557	-40,945
Mz (kips.in)	54,1141	-34,8851	-108,735	178,1929	-119,027	198,643	-32,5478	10,9343
fx (kips)	102,9685	244,5703	16,8766	-11,268	-21,4298	-101,579	-44,5181	67,1564
fy (kips)	0,4951	-0,3195	-0,3832	0,7449	1,2266	-1,093	-0,1855	-0,0063
fz (kips)	-0,7264	2,8023	-3,16	0,835	-1,1217	-1,2024	0,3654	0,2187



Gambar 4.15 Pembebanan Minimum dan Kondisi Batas

Tabel 4.12 Pembebanan Maximum Tiap Member

Gaya	Member							
	305-205	305-405	305-312	305-325	305-340	305-337	305-213	305-212
Mx (kips.in)	7,3336	55,2902	23,421	-68,541	-74,6248	57,994	9,273	6,307
My (kips.in)	119,843	311,5691	106,2053	-27,801	-37,7207	-88,9747	10,9404	-7,855
Mz (kips.in)	-120,356	-41,0725	-68,8509	25,6245	-54,7341	199,3636	15,9717	8,0128
fx (kips)	27,9605	271,544	15,472	5,0531	-4,9884	-77,3289	-9,0726	30,421
fy (kips)	0,6591	-0,3527	0,2158	0,1244	0,4647	-1,2281	-0,0432	-0,0106
fz (kips)	-0,3839	3,1028	-1,4625	-0,4088	0,2616	0,5274	-0,1276	-0,1058



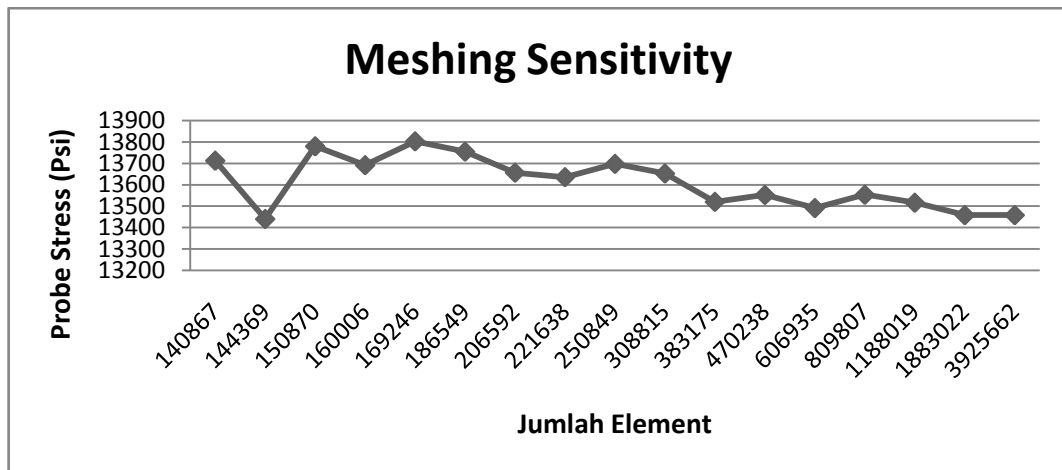
Gambar 4.16 Pembebanan Maksimum dan Kondisi Batas

4.4.4 Meshing Sensitivity

Meshing sensitivity ini *meshing sensitivity* digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi berdasarkan *meshing* yang digunakan. Semakin banyak jumlah elemen pembagi maka semakin kecil nilai kesalahan dari analisa yang dilakukan. Hasil perbandingan ukuran elemen, jumlah elemen dengan tegangan yang ada di multiplanar tubular joint 305 dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.13 *Meshing Sensitivity*

Ukuran (in)	Element	Probe Stress (Psi)
2,0	140867	13712
1,9	144369	13440
1,8	150870	13779
1,7	160006	13691
1,6	169246	13802
1,5	186549	13754
1,4	206592	13656
1,3	221638	13635
1,2	250849	13697
1,1	308815	13652
1,0	383175	13520
0,9	470238	13552
0,8	606935	13491
0,7	809807	13553
0,6	1188019	13516
0,5	1883022	13458
0,4	3925662	13458

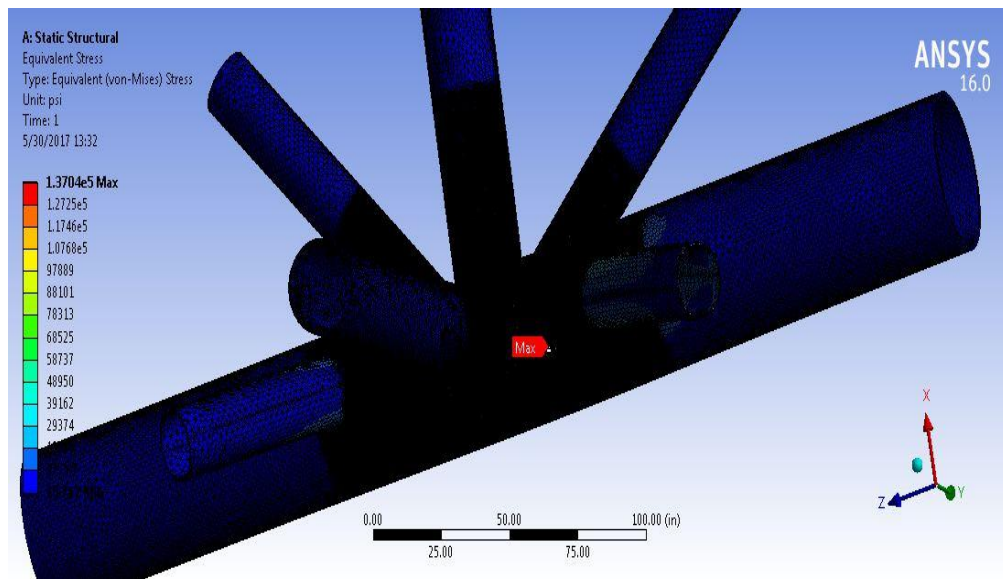


Gambar 4.17 Grafik *Meshing Sensitivity*

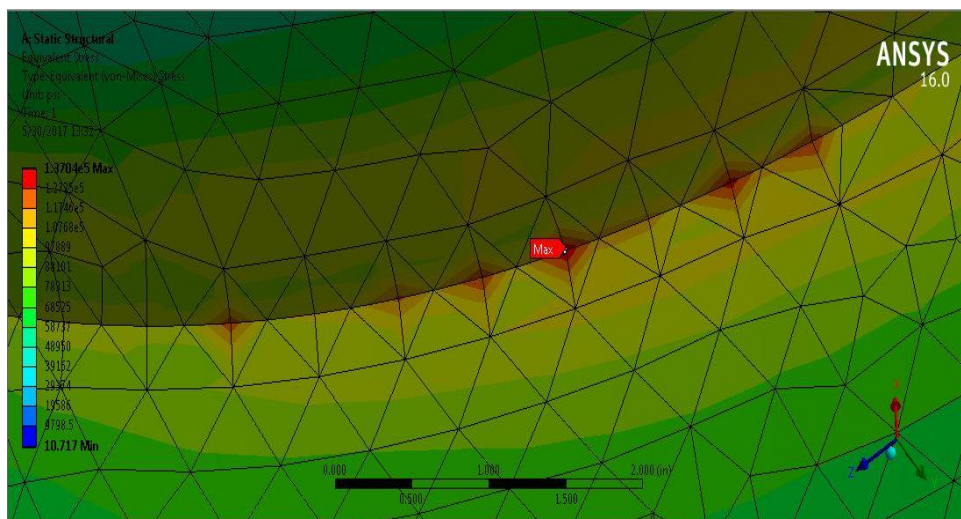
Dari Hasil pada grafik di atas nilai tegangan yang stabil untuk analisa ANSYS sebesar 13458 Psi dengan jumlah element sebanyak 1883032 elemen.

4.4.5 Posisi Retak

Posisi retak awal ditentukan dari konsentrasi tegangan tertinggi yang terjadi. Tegangan tertinggi didapatkan dari penjumlahan tegangan normal dan tegangan geser. Perhitungan ini dilakukan pada kondisi pembebanan pada chord dan brace seperti pada Gambar 4.16. Hasil analisa menunjukkan tegangan maksimum terjadi pada member 305-337.



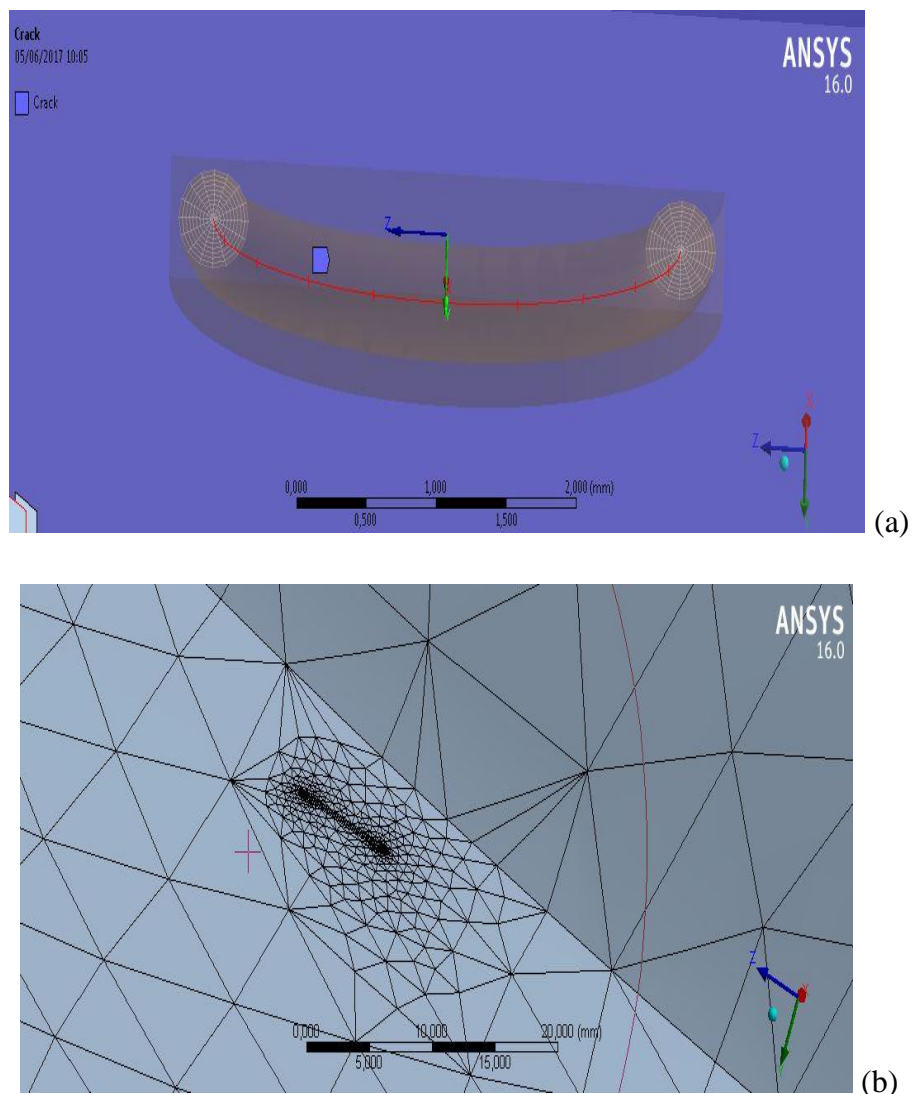
Gambar 4.18 Letak Tegangan Tertinggi



Gambar 4.18 Letak Tegangan Tertinggi (Lanjutan)

4.4.6 Initial Crack Joint Kritis

Pada joint kritis 301 akan dimodelkan sebuah *surface crack* dengan bentuk *semi-elliptical*. Dengan berdasarkan aturan ABS “Guide For Fatigue Assessment of Offshore Structures” tahun 2003 kedalaman retak (a_0) sebesar 0,5 mm dan perbandingan dari kedalaman retak (a_0) dengan panjang retak ($2c$) menggunakan asumsi sebesar 0,15 mm. Crack yang dimodelkan diletakkan pada titik acuan yang sudah ditentukan lalu dilakukan meshing dengan ukuran 0,4 in sesuai dengan meshing sensitivity, ditunjukkan seperti pada Gambar 4.18.



Gambar 4.19 (a) Permodelan Crack Pada Titik Acuan; (b) Bentuk Meshing Pada Crack

4.4.7 Perhitungan Kedalaman Kritis

Kedalaman retak maksimal pada baja A36 dapat dihitung menggunakan rumus:

$$a_{cr} = \left(\frac{KIC}{\sigma_{max}\sqrt{\pi}} \right)^2$$

Dengan,

$$KIC = 81 \text{ ksi}\sqrt{\text{in}} = 2814,318 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

$$\sigma_{max} = 215,92 \text{ Mpa}$$

Sehingga,

$$a_{cr} = \left(\frac{2814,318}{215,92\sqrt{3,14}} \right)^2$$

$$a_{cr} = 54,10 \text{ mm}$$

Jadi kedalaman retak yang menyebabkan kegagalan pada struktur terletak pada kedalaman 54,10 mm. Namun, untuk tubular ini hanya memiliki ketebalan sebesar 31,5 mm sehingga perhitungan hanya dilakukan sampai dengan kedalaman tersebut.

4.4.8 Perhitungan SIF (*Stress Intensity Factor*)

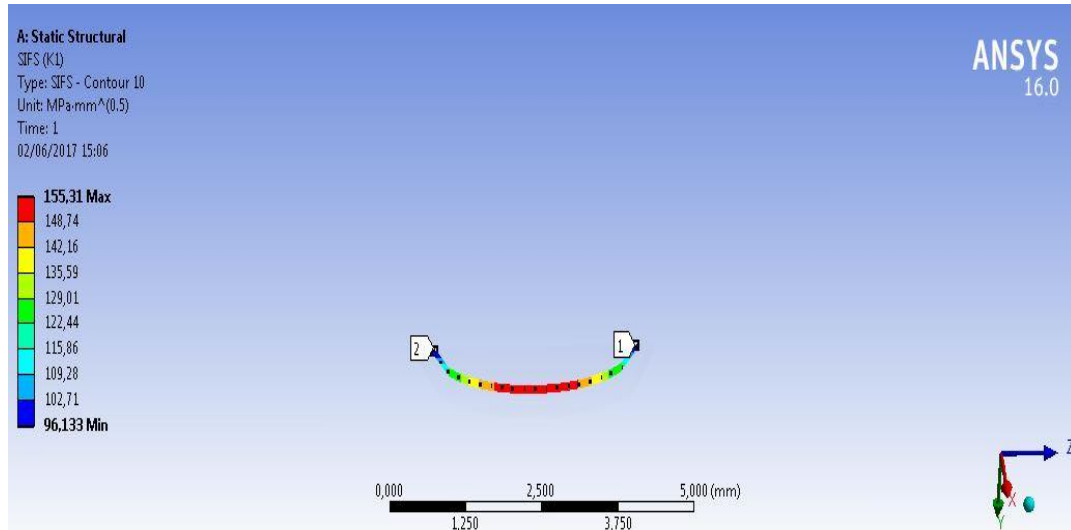
Perhitungan pada software ANSYS ini dapat dilakukan dilakukan pada tiap penambahan panjang sebuah *crack* sehingga didapatkannya nilai SIF yang berbeda-beda pula. Nilai perhitungan SIF juga digunakan untuk menghitung nilai dari *crack propagation rate* hingga nilai *cycle* pada *joint* 301. Pada Tabel 4.14 menunjukkan nilai SIF pada *increment crack growth* sebesar 0,5 mm.

Tabel 4.14 Nilai SIF

a (mm)	2c (mm)	SIF min (Mpa√m)	SIF max (Mpa√m)	ΔK (Ksi√in)
0,5	3,33	155,31	157,7	2,39
1	6,67	216,49	218,91	2,42
1,5	10,00	261,9	265,1	3,2
2	13,33	300,16	303,8	3,64

a (mm)	2c (mm)	SIF min (MpaVm)	SIF max (MpaVm)	ΔK (KsiVin)
2,5	16,67	330,85	334,7	3,85
3	20,00	357,64	361,83	4,19
3,5	23,33	385,57	389,93	4,36
4	26,67	408,01	412,48	4,47
4,5	30,00	431,75	436,3	4,55
5	33,33	449,82	455,03	5,21
5,5	36,67	461,64	467,22	5,58
6	40,00	485,88	491,68	5,8
6,5	43,33	498,23	504,34	6,11
7	46,67	509,87	516,21	6,34
7,5	50,00	517,99	524,58	6,59
8	53,33	532,69	539,54	6,85
8,5	56,67	559,51	566,79	7,28
9	60,00	573,77	581,1	7,33
9,5	63,33	590,82	598,48	7,66
10	66,67	613,12	620,92	7,8
10,5	70,00	638,81	647,26	8,45
11	73,33	652,16	660,85	8,69
11,5	76,67	678,47	687,82	9,35
12	80,00	694,05	703,72	9,67
12,5	83,33	718,38	728,31	9,93
13	86,67	731,28	741,8	10,52
13,5	90,00	757,86	769,04	11,18
14	93,33	782,94	795,3	12,36
14,5	96,67	811,35	825,12	13,77
15	100,00	838,6	853,24	14,64
15,5	103,33	859,36	875,94	16,58
16	106,67	886,47	905,05	18,58
16,5	110,00	901,58	920,83	19,25
17	113,33	925,94	946,41	20,47
17,5	116,67	949,31	970,85	21,54
18	120,00	967,42	989,63	22,21
18,5	123,33	988,87	1012,3	23,43
19	126,67	1015,63	1040,23	24,6
19,5	130,00	1038,82	1063,88	25,06
20	133,33	1052,76	1078,2	25,44
20,5	136,67	1077,42	1103,73	26,31
21	140,00	1092,16	1118,88	26,72
21,5	143,33	1106,2	1133,41	27,21
22	146,67	1129,68	1158,67	28,99
22,5	150,00	1146,89	1176,09	29,2

a (mm)	2c (mm)	SIF min (MpaVm)	SIF max (MpaVm)	ΔK (KsiVin)
23	153,33	1168,49	1199,43	30,94
23,5	156,67	1181,56	1211,93	30,37
24	160,00	1199,32	1231,25	31,93
24,5	163,33	1205,98	1238,24	32,26
25	166,67	1219,57	1252,98	33,41
25,5	170,00	1233,37	1267,55	34,18
26	173,33	1259,69	1295,35	35,66
26,5	176,67	1278,55	1314,51	35,96
27	180,00	1304,81	1341,29	36,48
27,5	183,33	1329,46	1367,44	37,98
28	186,67	1354,7	1393,35	38,65
28,5	190,00	1375,51	1414,65	39,14
29	193,33	1398,29	1438,92	40,63
29,5	196,67	1416,79	1458,18	41,39
30	200,00	1449,05	1491,33	42,28
30,5	203,33	1476,75	1519,12	42,37
31	206,67	1493,27	1536,87	43,6
31,5	210,00	1512,48	1557,43	44,95



Gambar 4.20 Contoh Hasil SIF

4.4.9 Perhitungan Umur Kelelahan

Perhitungan umur kelelahan didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$N = \int_{a_0}^{a_f} \frac{da}{C (\Delta K)^m}$$

Dengan,

a_0 = kedalaman retak awal (initial crack)

a_f = kedalaman retak akhir (final crack)

N = jumlah cycle

ΔK = perubahan stress intensity factor

C dan m = konstanta material

Dan hasil perhitungan umur kelelahan menggunakan persamaan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Umur Kelelahan

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
10,00	1,5	2	1,75	0,0591	0,0788	0,06895	3,2	1,17965E-08	42385525,2	2,42E+08
13,33	2	2,5	2,25	0,0788	0,0985	0,08865	3,64	1,73623E-08	28798068	2,71E+08
16,67	2,5	3	2,75	0,0985	0,1182	0,10835	3,85	2,0544E-08	24338024	2,95E+08
20,00	3	3,5	3,25	0,1182	0,1379	0,12805	4,19	2,64816E-08	18881019,2	3,14E+08
23,33	3,5	4	3,75	0,1379	0,1576	0,14775	4,36	2,98375E-08	16757454	3,31E+08
26,67	4	4,5	4,25	0,1576	0,1773	0,16745	4,47	3,21533E-08	15550520,6	3,46E+08
30,00	4,5	5	4,75	0,1773	0,197	0,18715	4,55	3,39107E-08	14744610,8	3,61E+08
33,33	5	5,5	5,25	0,197	0,2167	0,20685	5,21	5,09115E-08	9820968,85	3,71E+08
36,67	5,5	6	5,75	0,2167	0,2364	0,22655	5,58	6,25468E-08	7994014,04	3,79E+08
40,00	6	6,5	6,25	0,2364	0,2561	0,24625	5,8	7,02403E-08	7118418,59	3,86E+08
43,33	6,5	7	6,75	0,2561	0,2758	0,26595	6,11	8,21157E-08	6088970,54	3,92E+08
46,67	7	7,5	7,25	0,2758	0,2955	0,28565	6,34	9,17424E-08	5450040,5	3,98E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
50,00	7,5	8	7,75	0,2955	0,3152	0,30535	6,59	1,03029E-07	4853010,82	4,03E+08
53,33	8	8,5	8,25	0,3152	0,3349	0,32505	6,85	1,15711E-07	4321114,65	4,07E+08
56,67	8,5	9	8,75	0,3349	0,3546	0,34475	7,28	1,38898E-07	3599758,5	4,1E+08
60,00	9	9,5	9,25	0,3546	0,3743	0,36445	7,33	1,4178E-07	3526594,94	4,14E+08
63,33	9,5	10	9,75	0,3743	0,394	0,38415	7,66	1,61804E-07	3090161,62	4,17E+08
66,67	10	10,5	10,25	0,394	0,4137	0,40385	7,8	1,70839E-07	2926736,98	4,2E+08
70,00	10,5	11	10,75	0,4137	0,4334	0,42355	8,45	2,17206E-07	2301957,9	4,22E+08
73,33	11	11,5	11,25	0,4334	0,4531	0,44325	8,69	2,36245E-07	2116450,79	4,24E+08
76,67	11,5	12	11,75	0,4531	0,4728	0,46295	9,35	2,94264E-07	1699153,72	4,26E+08
80,00	12	12,5	12,25	0,4728	0,4925	0,48265	9,67	3,25523E-07	1535988,91	4,28E+08
83,33	12,5	13	12,75	0,4925	0,5122	0,50235	9,93	3,52493E-07	1418468,7	4,29E+08
86,67	13	13,5	13,25	0,5122	0,5319	0,52205	10,52	4,19131E-07	1192944,62	4,3E+08
90,00	13,5	14	13,75	0,5319	0,5516	0,54175	11,18	5,03069E-07	993898,632	4,31E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
93,33	14	14,5	14,25	0,5516	0,5713	0,56145	12,36	6,79764E-07	735549,816	4,32E+08
96,67	14,5	15	14,75	0,5713	0,591	0,58115	13,77	9,39949E-07	531943,716	4,33E+08
100,00	15	15,5	15,25	0,591	0,6107	0,60085	14,64	1,1296E-06	442633,494	4,33E+08
103,33	15,5	16	15,75	0,6107	0,6304	0,62055	16,58	1,6408E-06	304729,097	4,33E+08
106,67	16	16,5	16,25	0,6304	0,6501	0,64025	18,58	2,30908E-06	216536,132	4,33E+08
110,00	16,5	17	16,75	0,6501	0,6698	0,65995	19,25	2,568E-06	194704,192	4,34E+08
113,33	17	17,5	17,25	0,6698	0,6895	0,67965	20,47	3,08785E-06	161925,026	4,34E+08
116,67	17,5	18	17,75	0,6895	0,7092	0,69935	21,54	3,59782E-06	138972,992	4,34E+08
120,00	18	18,5	18,25	0,7092	0,7289	0,71905	22,21	3,9441E-06	126771,558	4,34E+08
123,33	18,5	19	18,75	0,7289	0,7486	0,73875	23,43	4,63041E-06	107981,819	4,34E+08
126,67	19	19,5	19,25	0,7486	0,7683	0,75845	24,6	5,3593E-06	93295,8192	4,34E+08
130,00	19,5	20	19,75	0,7683	0,788	0,77815	25,06	5,6656E-06	88251,9486	4,34E+08
133,33	20	20,5	20,25	0,788	0,8077	0,79785	25,44	5,92726E-06	84356,0397	4,34E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
136,67	20,5	21	20,75	0,8077	0,8274	0,81755	26,31	6,55639E-06	76261,4326	4,35E+08
140,00	21	21,5	21,25	0,8274	0,8471	0,83725	26,72	6,86771E-06	72804,4863	4,35E+08
143,33	21,5	22	21,75	0,8471	0,8668	0,85695	27,21	7,25251E-06	68941,6825	4,35E+08
146,67	22	22,5	22,25	0,8668	0,8865	0,87665	28,99	8,77096E-06	57006,3005	4,35E+08
150,00	22,5	23	22,75	0,8865	0,9062	0,89635	29,2	8,96295E-06	55785,1942	4,35E+08
153,33	23	23,5	23,25	0,9062	0,9259	0,91605	30,94	1,06626E-05	46892,8443	4,35E+08
156,67	23,5	24	23,75	0,9259	0,9456	0,93575	30,37	1,00841E-05	49583,0374	4,35E+08
160,00	24	24,5	24,25	0,9456	0,9653	0,95545	31,93	1,17192E-05	42664,9016	4,35E+08
163,33	24,5	25	24,75	0,9653	0,985	0,97515	32,26	1,20864E-05	41368,942	4,35E+08
166,67	25	25,5	25,25	0,985	1,0047	0,99485	33,41	1,34255E-05	37242,4357	4,35E+08
170,00	25,5	26	25,75	1,0047	1,0244	1,01455	34,18	1,43754E-05	34781,7419	4,35E+08
173,33	26	26,5	26,25	1,0244	1,0441	1,03425	35,66	1,63247E-05	30628,3419	4,35E+08
176,67	26,5	27	26,75	1,0441	1,0638	1,05395	35,96	1,67402E-05	29868,159	4,35E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
180,00	27	27,5	27,25	1,0638	1,0835	1,07365	36,48	1,7477E-05	28609,0222	4,35E+08
183,33	27,5	28	27,75	1,0835	1,1032	1,09335	37,98	1,97227E-05	25351,4394	4,35E+08
186,67	28	28,5	28,25	1,1032	1,1229	1,11305	38,65	2,0785E-05	24055,7559	4,35E+08
190,00	28,5	29	28,75	1,1229	1,1426	1,13275	39,14	2,15856E-05	23163,5458	4,35E+08
193,33	29	29,5	29,25	1,1426	1,1623	1,15245	40,63	2,41459E-05	20707,4698	4,35E+08
196,67	29,5	30	29,75	1,1623	1,182	1,17215	41,39	2,55264E-05	19587,5999	4,35E+08
200,00	30	30,5	30,25	1,182	1,2017	1,19185	42,28	2,72087E-05	18376,4902	4,35E+08
203,33	30,5	31	30,75	1,2017	1,2214	1,21155	42,37	2,73828E-05	18259,6358	4,35E+08
206,67	31	31,5	31,25	1,2214	1,2411	1,23125	43,6	2,98375E-05	16757,454	4,35E+08
210,00	31,5	32	31,75	1,2411	1,2608	1,25095	44,95	3,26958E-05	15292,4974	4,35E+08
								N=	435320263	

Dari hasil perhitungan umur kelelahan menggunakan metode *fracture mechanics* di atas didapatkan nilai N sejumlah $4,35E+08$ cycles atau sama dengan 98 tahun.

4.4.10 Perbandingan Umur Kelelahan

Dari hasil analisa menggunakan metode cumulative damage dan fracture mechanic yang telah dilakukan, maka nilai keduanya dapat digunakan untuk mengetahui nilai perbandingan umur kelelahan platform seperti pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Perbandingan Umur Kelelahan

Perbandingan Umur Kelelahan		
Metode	Tahun	Selisih (Tahun)
Cummulative Damage	131	33
Fracture Mechanic	98	

Dari Tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa selisih umur kelelahan sebesar 33 tahun adalah akibat adanya retak di bagian struktur atau platform yang mengakibatkan pengurangan umur kelelahan yang signifikan jika dibandingkan dengan sebelum tidak adanya retak tersebut.

(

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari analisis umur kelelahan *UW-Pro platform* ini antara lain :

- a. Nilai umur kelelahan *UW-Pro platform* pada sambungan kritis *joint 305* dengan menggunakan metode *cummulative damage* ialah sebesar 131 tahun.
- b. Dengan metode *fracture mechanic* diperoleh umur kelelahan *UW-Pro platform* sebesar $4,35E+08$ cycles atau 98 tahun. Dan dari perbandingan hasil perhitungan umur kelelahan, dapat disimpulkan bahwa dengan adanya retak mengakibatkan umur kelelahan berkurang signifikan. Pada analisa ini umur kelelahan berkurang 33 tahun.

5.2 Saran

Saran yang berguna untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

- a. Dianjurkan analisis selanjutnya menggunakan model retak selain semi elip untuk lebih mengakuratkan hasil mekanika kepecahan.
- b. Menganalisa pembebanan dilakukan pada kondisi badai.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, S. A. (2005). *Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T dengan Menggunakan Metode Elastic Plastic Fracture Mechanics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- American Bureau of Shipping (ABS). (2003). *Fatigue Assessment of Offshore Structure*.
- Annastasia, R. P. (2005). *Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T yang Memiliki Retak Semi Elliptical pada Chord dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- API RP-2A-WSD. (2000). *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platform*.
- Broek, D. (1988). *The Practical Use of Fracture Mechanics*. Netherlands: Kluwer Academic.
- Chakrabarti, S. K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Amsterdam: Elsevier.
- Murdjito. (2014). *Overview Bangunan Lepas Pantai*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan.
- Rolfe, S. T., & Barsom, J. M. (1977). *Fracture and Fatigue Control in Structures : Application of Fracture Mechanics*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Rolfe, S. T., & Barsom, J. M. (1999). *Fracture and Fatigue Control in Structures : Application of Fracture Mechanics (Third Edition)*. Philadelphia: ASTM.
- PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (2012). Underwater Platform Inspection and Maintenance Report 2012 No dokumen: UNIFORM-Z-ISP-0023
- Syahroni, N. (2014). *Fracture Mechanics – An Introduction*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan.
- PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (2015). STRUCTURAL ANALYSIS REPORT OF ‘UW’ PROCESS PLATFORM FOR SERVICE LIFE EXTENSION No dokumen: UNIFORM-C-CAL-0001

DAFTAR LAMPIRAN :

LAMPIRAN A : HASIL ANALISIS INPLACE

LAMPIRAN B : HASIL ANALISIS FATIGUE

LAMPIRAN C : PERHITUNGAN FATIGUE LIFE

LAMPIRAN A :
HASIL ANALISIS INPLACE

* * JOINT CAN SUMMARY * *
(UNITY CHECK ORDER)

JOINT	ORIGINAL				DESIGN			
	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC
466	16.000	0.500	36.000	1.272	16.000	0.500	36.000	1.272
415	24.000	0.500	36.000	0.858	24.000	0.500	36.000	0.858
111	26.000	0.500	36.000	0.519	26.000	0.500	36.000	0.519
112	26.000	0.500	36.000	0.507	26.000	0.500	36.000	0.507
511	16.000	0.375	36.000	0.499	16.000	0.375	36.000	0.499
414	24.000	0.500	36.000	0.437	24.000	0.500	36.000	0.437
315	24.000	0.500	36.000	0.400	24.000	0.500	36.000	0.400
412	24.000	1.000	36.000	0.399	24.000	1.000	36.000	0.399
113	26.000	0.500	36.000	0.383	26.000	0.500	36.000	0.383
464	16.000	0.500	36.000	0.363	16.000	0.500	36.000	0.363
114	26.000	0.500	36.000	0.351	26.000	0.500	36.000	0.351
514	16.000	0.375	36.000	0.326	16.000	0.375	36.000	0.326
415	12.750	0.500	36.000	0.326	12.750	0.500	36.000	0.326
438	24.000	0.500	36.000	0.312	24.000	0.500	36.000	0.312
444	16.000	0.500	36.000	0.283	16.000	0.500	36.000	0.283
708	36.000	1.500	36.000	0.280	36.000	1.500	36.000	0.280
606	36.000	1.500	36.000	0.279	36.000	1.500	36.000	0.279
418	16.000	0.500	36.000	0.275	16.000	0.500	36.000	0.275
446	6.625	0.280	36.000	0.274	6.625	0.280	36.000	0.274
320	24.000	0.500	36.000	0.269	24.000	0.500	36.000	0.269
411	24.000	1.000	36.000	0.269	24.000	1.000	36.000	0.269
606	36.000	1.500	36.000	0.265	36.000	1.500	36.000	0.265
471	24.000	0.500	36.000	0.259	24.000	0.500	36.000	0.259
445	16.000	0.500	36.000	0.259	16.000	0.500	36.000	0.259
477	6.625	0.280	36.000	0.256	6.625	0.280	36.000	0.256
440	16.000	0.500	36.000	0.243	16.000	0.500	36.000	0.243
321	24.000	0.500	36.000	0.240	24.000	0.500	36.000	0.240
602	36.000	1.500	36.000	0.240	36.000	1.500	36.000	0.240
413	24.000	1.000	36.000	0.240	24.000	1.000	36.000	0.240
441	16.000	0.500	36.000	0.238	16.000	0.500	36.000	0.238
450	6.625	0.280	36.000	0.238	6.625	0.280	36.000	0.238
468	12.750	0.500	36.000	0.228	12.750	0.500	36.000	0.228
604	36.000	1.500	36.000	0.228	36.000	1.500	36.000	0.228
465	16.000	0.500	36.000	0.227	16.000	0.500	36.000	0.227
417	12.750	0.500	36.000	0.226	12.750	0.500	36.000	0.226
317	12.750	0.500	36.000	0.225	12.750	0.500	36.000	0.225
407	40.000	1.250	36.000	0.211	40.000	1.250	36.000	0.211
470	24.000	0.500	36.000	0.208	24.000	0.500	36.000	0.208
607	36.000	1.500	36.000	0.207	36.000	1.500	36.000	0.207
469	12.750	0.500	36.000	0.205	12.750	0.500	36.000	0.205
403	40.000	1.250	36.000	0.205	40.000	1.250	36.000	0.205
305	40.000	1.250	36.000	0.183	40.000	1.250	36.000	0.183
107	40.000	1.250	36.000	0.180	40.000	1.250	36.000	0.180
603	36.000	1.500	36.000	0.176	36.000	1.500	36.000	0.176
704	36.000	1.500	36.000	0.173	36.000	1.500	36.000	0.173
458	6.625	0.280	36.000	0.173	6.625	0.280	36.000	0.173
301	40.000	1.250	36.000	0.172	40.000	1.250	36.000	0.172
103	40.000	1.250	36.000	0.171	40.000	1.250	36.000	0.171
448	16.000	0.500	36.000	0.171	16.000	0.500	36.000	0.171
452	16.000	0.500	36.000	0.158	16.000	0.500	36.000	0.158

UW FLOW STATION PLATFORM REQUALIFICATION - PSI RUN

DATE 21-MAR-2017 TIME 20:54:36 JCN PAGE 65

* * JOINT CAN SUMMARY * *
(UNITY CHECK ORDER)

JOINT	ORIGINAL				DESIGN			
	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC
303	40.000	1.250	36.000	0.158	40.000	1.250	36.000	0.158
454	24.000	0.500	36.000	0.157	24.000	0.500	36.000	0.157
0258	10.000	0.365	35.000	0.154	10.000	0.365	35.000	0.154
447	16.000	0.500	36.000	0.142	16.000	0.500	36.000	0.142
499	12.750	0.500	36.000	0.142	12.750	0.500	36.000	0.142
457	24.000	0.500	36.000	0.141	24.000	0.500	36.000	0.141
201	40.000	1.250	36.000	0.140	40.000	1.250	36.000	0.140
399	12.750	0.500	36.000	0.140	12.750	0.500	36.000	0.140
207	40.000	1.250	36.000	0.138	40.000	1.250	36.000	0.138
307	40.000	1.250	36.000	0.135	40.000	1.250	36.000	0.135
105	40.000	1.250	36.000	0.134	40.000	1.250	36.000	0.134
101	40.000	1.250	36.000	0.134	40.000	1.250	36.000	0.134
316	12.750	0.500	36.000	0.132	12.750	0.500	36.000	0.132
442	6.625	0.280	36.000	0.131	6.625	0.280	36.000	0.131
205	40.000	1.250	36.000	0.130	40.000	1.250	36.000	0.130
401	40.000	1.250	36.000	0.130	40.000	1.250	36.000	0.130
203	40.000	1.250	36.000	0.126	40.000	1.250	36.000	0.126
420	24.000	0.500	36.000	0.118	24.000	0.500	36.000	0.118
419	24.000	0.500	36.000	0.116	24.000	0.500	36.000	0.116
449	6.625	0.280	36.000	0.116	6.625	0.280	36.000	0.116
410	6.625	0.280	36.000	0.116	6.625	0.280	36.000	0.116
0190	24.000	0.500	36.000	0.111	24.000	0.500	36.000	0.111
473	6.625	0.280	36.000	0.106	6.625	0.280	36.000	0.106
474	6.625	0.280	36.000	0.105	6.625	0.280	36.000	0.105
451	16.000	0.500	36.000	0.104	16.000	0.500	36.000	0.104
211	24.000	1.000	36.000	0.104	24.000	1.000	36.000	0.104
605	36.000	1.500	36.000	0.102	36.000	1.500	36.000	0.102
744	6.625	0.280	36.000	0.102	6.625	0.280	36.000	0.102
434	24.000	0.500	36.000	0.101	24.000	0.500	36.000	0.101
443	6.625	0.280	36.000	0.099	6.625	0.280	36.000	0.099
478	6.625	0.280	36.000	0.097	6.625	0.280	36.000	0.097
405	40.000	1.250	36.000	0.096	40.000	1.250	36.000	0.096
212	24.000	1.000	36.000	0.093	24.000	1.000	36.000	0.093
436	24.000	0.500	36.000	0.091	24.000	0.500	36.000	0.091
437	24.000	0.500	36.000	0.088	24.000	0.500	36.000	0.088
467	16.000	0.500	36.000	0.088	16.000	0.500	36.000	0.088
318	18.000	0.500	36.000	0.087	18.000	0.500	36.000	0.087
456	24.000	0.500	36.000	0.083	24.000	0.500	36.000	0.083
435	24.000	0.500	36.000	0.082	24.000	0.500	36.000	0.082
601	36.000	1.500	36.000	0.081	36.000	1.500	36.000	0.081
409	6.625	0.280	36.000	0.080	6.625	0.280	36.000	0.080
0158	24.000	0.500	36.000	0.080	24.000	0.500	36.000	0.080
453	6.625	0.280	36.000	0.080	6.625	0.280	36.000	0.080
476	6.625	0.280	36.000	0.076	6.625	0.280	36.000	0.076
455	24.000	0.500	36.000	0.075	24.000	0.500	36.000	0.075
0215	24.000	0.500	36.000	0.074	24.000	0.500	36.000	0.074
461	16.000	0.500	36.000	0.073	16.000	0.500	36.000	0.073
479	6.625	0.280	36.000	0.073	6.625	0.280	36.000	0.073
462	6.625	0.280	36.000	0.073	6.625	0.280	36.000	0.073
460	6.625	0.280	36.000	0.071	6.625	0.280	36.000	0.071

JW FLOW STATION PLATFORM REQUALIFICATION - PSI RUN

DATE 21-MAR-2017 TIME 20:54:36 JCN PAGE 66

* * J O I N T C A N S U M M A R Y * *
(UNITY CHECK ORDER)

JOINT	ORIGINAL				DESIGN			
	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC	DIAMETER (IN)	THICKNESS (IN)	YLD STRS (KSI)	UC
214	24.000	1.000	36.000	0.069	24.000	1.000	36.000	0.069
213	24.000	1.000	36.000	0.068	24.000	1.000	36.000	0.068
463	6.625	0.280	36.000	0.065	6.625	0.280	36.000	0.065
313	24.000	1.000	36.000	0.065	24.000	1.000	36.000	0.065
299	12.750	0.500	36.000	0.064	12.750	0.500	36.000	0.064
0216	12.000	0.375	35.000	0.062	12.000	0.375	35.000	0.062
439	24.000	0.500	36.000	0.060	24.000	0.500	36.000	0.060
459	16.000	0.500	36.000	0.056	16.000	0.500	36.000	0.056
314	24.000	1.000	36.000	0.056	24.000	1.000	36.000	0.056
311	24.000	1.000	36.000	0.048	24.000	1.000	36.000	0.048
475	6.625	0.280	36.000	0.045	6.625	0.280	36.000	0.045
472	6.625	0.280	36.000	0.043	6.625	0.280	36.000	0.043
0217	24.000	0.500	36.000	0.042	24.000	0.500	36.000	0.042
229	18.000	0.500	36.000	0.039	18.000	0.500	36.000	0.039
0185	12.000	0.375	35.000	0.039	12.000	0.375	35.000	0.039
0186	10.000	0.365	35.000	0.038	10.000	0.365	35.000	0.038
312	24.000	1.000	36.000	0.036	24.000	1.000	36.000	0.036
0252	12.000	0.375	35.000	0.035	12.000	0.375	35.000	0.035
228	18.000	0.500	36.000	0.035	18.000	0.500	36.000	0.035
480	6.625	0.280	36.000	0.029	6.625	0.280	36.000	0.029

LAMPIRAN B :
HASIL ANALISIS FATIGUE

* * * MEMBER FATIGUE REPORT * * *
(DAMAGE ORDER)

JOINT	MEMBER	GRP ID	TYPE ID	ORIGINAL OD (IN)	WT (IN)	JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS AX-CR	CONC. AX-SD	FACTORS IN-PL	OU-PL	FATIGUE DAMAGE	RESULTS LOC	SVC LIFE	REQUIRED OD (IN)	WT (IN)
307	307-	407	L63	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.83	1.90	0.97	2.03	.42239-4	R	591872.9		
307	307-	342	V21	TUB	18.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.78	1.80	1.73	2.21	.21782-3	B	114775.0	
307	307-	407	L63	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.86	1.89	0.90	1.98	.74255-4	BL	336678.2		

301	301-0215	C01	TUB	24.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.41	2.38	2.04	2.68	.2123046	B	117.7553		
301	301-	901	L3A	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.51	2.28	1.64	2.61	.0780284	B	320.3960		
301	301-	315	C02	TUB	24.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.41	2.39	2.03	2.69	.1349315	B	185.2792	
301	301-	901	L3A	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.51	2.28	1.63	2.62	.0362601	R	689.4637		
301	211-	301	V11	TUB	18.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.68	2.18	1.67	2.74	.0175850	L	1421.663	
301	201-	301	L62	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.66	2.19	1.10	2.45	.0153602	L	1627.578		
301	213-	301	V11	TUB	18.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.67	2.11	1.66	2.66	.0520067	L	480.7072	
301	201-	301	L62	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.65	2.14	1.07	2.39	.0441837	L	565.8192		
301	301-	335	V21	TUB	18.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.83	1.85	1.74	2.38	.13133-2	BL	19036.70	
301	301-	901	L3A	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.90	1.94	0.95	2.13	.14135-3	L	176867.3		
301	301-	339	V21	TUB	18.00	0.500	TK	BRC	30.47	4.00	1.77	1.79	1.72	2.18	.21360-2	L	11703.93	
‡ UW FLOW STATION PLATFORM REQUALIFICATION - PSI RUN										DATE 07-APR-2017 TIME 14:36:04 FTG PAGE 1041								

* * * MEMBER FATIGUE REPORT * * *
(DAMAGE ORDER)

JOINT	MEMBER	GRP ID	TYPE ID	ORIGINAL OD (IN)	WT (IN)	JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	* STRESS AX-CR	CONC. AX-SD	FACTORS IN-PL	OU-PL	FATIGUE DAMAGE	RESULTS LOC	SVC LIFE	REQUIRED OD (IN)	WT (IN)
301	301-	901	L3A	TUB	40.00	1.250	TK	CHD	30.47	1.83	1.87	0.89	1.95	.15661-2	L	15962.89		

317	317-	396	C05	TUB	8.62	0.500	T	BRC	18.91	1.33	2.47	0.74	1.83	.0000000	T	INFINITE		
317	316-	317	C04	TUB	12.75	0.500	T	CHD	18.91	2.93	3.68	1.00	3.02	.41585-3	R	60117.90		
317	317-	397	C05	TUB	8.62	0.500	T	BRC	18.91	1.33	2.47	0.74	1.83	.23114-2	L	10815.91		
317	316-	317	C04	TUB	12.75	0.500	T	CHD	18.91	2.94	3.68	1.00	3.02	.1431803	L	174.6050		

111	111-	113	A02	TUB	18.00	0.500	K	BRC	40.25	2.00	1.48	2.15	1.00	2.58	.0000000	T	INFINITE	
111	101-	111	A01	TUB	26.00	0.500	K	CHD	40.25	3.09	4.62	1.28	4.44	.0000000	T	INFINITE		
111	111-	114	A02	TUB	18.00	0.500	K	BRC	40.25	2.00	1.24	1.15	1.43	1.68	.0000000	T	INFINITE	
111	103-	111	A03	TUB	26.00	1.125	K	CHD	40.25	1.35	1.36	0.80	1.79	.0000000	T	INFINITE		
111	111-	115	V01	TUB	20.00	0.500	K	BRC	40.25	2.00	1.67	1.69	1.12	2.85	.19677-2	TL	12705.24	
111	101-	111	A01	TUB	26.00	0.500	K	CHD	40.25	3.04	3.08	1.46	5.10	.1262281	T	198.0542		
111	111-	116	V01	TUB	20.00	0.500	K	BRC	40.25	2.00	1.34	1.34	1.43	2.10	.39058-3	TL	64007.96	
111	103-	111	A03	TUB	26.00	1.125	K	CHD	40.25	1.46	1.45	0.85	2.34	.46763-3	TL	53461.12		

316	316-	394	C05	TUB	8.62	0.500	T	BRC	18.90	1.33	2.47	0.74	1.83	.0000000	T	INFINITE		
‡ UW FLOW STATION PLATFORM REQUALIFICATION - PSI RUN										DATE 07-APR-2017 TIME 14:36:04 FTG PAGE 1042								

LAMPIRAN C :
PERHITUNGAN FATIGUE LIFE

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
3,33	0,5	1	0,75	0,0197	0,0394	0,02955	2,39	4,91469E-09	101735799	1,02E+08
6,67	1	1,5	1,25	0,0394	0,0591	0,04925	2,42	5,1021E-09	97998946,2	2E+08
10,00	1,5	2	1,75	0,0591	0,0788	0,06895	3,2	1,17965E-08	42385525,2	2,42E+08
13,33	2	2,5	2,25	0,0788	0,0985	0,08865	3,64	1,73623E-08	28798068	2,71E+08
16,67	2,5	3	2,75	0,0985	0,1182	0,10835	3,85	2,0544E-08	24338024	2,95E+08
20,00	3	3,5	3,25	0,1182	0,1379	0,12805	4,19	2,64816E-08	18881019,2	3,14E+08
23,33	3,5	4	3,75	0,1379	0,1576	0,14775	4,36	2,98375E-08	16757454	3,31E+08
26,67	4	4,5	4,25	0,1576	0,1773	0,16745	4,47	3,21533E-08	15550520,6	3,46E+08
30,00	4,5	5	4,75	0,1773	0,197	0,18715	4,55	3,39107E-08	14744610,8	3,61E+08
33,33	5	5,5	5,25	0,197	0,2167	0,20685	5,21	5,09115E-08	9820968,85	3,71E+08
36,67	5,5	6	5,75	0,2167	0,2364	0,22655	5,58	6,25468E-08	7994014,04	3,79E+08
40,00	6	6,5	6,25	0,2364	0,2561	0,24625	5,8	7,02403E-08	7118418,59	3,86E+08
43,33	6,5	7	6,75	0,2561	0,2758	0,26595	6,11	8,21157E-08	6088970,54	3,92E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
46,67	7	7,5	7,25	0,2758	0,2955	0,28565	6,34	9,17424E-08	5450040,5	3,98E+08
50,00	7,5	8	7,75	0,2955	0,3152	0,30535	6,59	1,03029E-07	4853010,82	4,03E+08
53,33	8	8,5	8,25	0,3152	0,3349	0,32505	6,85	1,15711E-07	4321114,65	4,07E+08
56,67	8,5	9	8,75	0,3349	0,3546	0,34475	7,28	1,38898E-07	3599758,5	4,1E+08
60,00	9	9,5	9,25	0,3546	0,3743	0,36445	7,33	1,4178E-07	3526594,94	4,14E+08
63,33	9,5	10	9,75	0,3743	0,394	0,38415	7,66	1,61804E-07	3090161,62	4,17E+08
66,67	10	10,5	10,25	0,394	0,4137	0,40385	7,8	1,70839E-07	2926736,98	4,2E+08
70,00	10,5	11	10,75	0,4137	0,4334	0,42355	8,45	2,17206E-07	2301957,9	4,22E+08
73,33	11	11,5	11,25	0,4334	0,4531	0,44325	8,69	2,36245E-07	2116450,79	4,24E+08
76,67	11,5	12	11,75	0,4531	0,4728	0,46295	9,35	2,94264E-07	1699153,72	4,26E+08
80,00	12	12,5	12,25	0,4728	0,4925	0,48265	9,67	3,25523E-07	1535988,91	4,28E+08
83,33	12,5	13	12,75	0,4925	0,5122	0,50235	9,93	3,52493E-07	1418468,7	4,29E+08
86,67	13	13,5	13,25	0,5122	0,5319	0,52205	10,52	4,19131E-07	1192944,62	4,3E+08
90,00	13,5	14	13,75	0,5319	0,5516	0,54175	11,18	5,03069E-07	993898,632	4,31E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
93,33	14	14,5	14,25	0,5516	0,5713	0,56145	12,36	6,79764E-07	735549,816	4,32E+08
96,67	14,5	15	14,75	0,5713	0,591	0,58115	13,77	9,39949E-07	531943,716	4,33E+08
100,00	15	15,5	15,25	0,591	0,6107	0,60085	14,64	1,1296E-06	442633,494	4,33E+08
103,33	15,5	16	15,75	0,6107	0,6304	0,62055	16,58	1,6408E-06	304729,097	4,33E+08
106,67	16	16,5	16,25	0,6304	0,6501	0,64025	18,58	2,30908E-06	216536,132	4,33E+08
110,00	16,5	17	16,75	0,6501	0,6698	0,65995	19,25	2,568E-06	194704,192	4,34E+08
113,33	17	17,5	17,25	0,6698	0,6895	0,67965	20,47	3,08785E-06	161925,026	4,34E+08
116,67	17,5	18	17,75	0,6895	0,7092	0,69935	21,54	3,59782E-06	138972,992	4,34E+08
120,00	18	18,5	18,25	0,7092	0,7289	0,71905	22,21	3,9441E-06	126771,558	4,34E+08
123,33	18,5	19	18,75	0,7289	0,7486	0,73875	23,43	4,63041E-06	107981,819	4,34E+08
126,67	19	19,5	19,25	0,7486	0,7683	0,75845	24,6	5,3593E-06	93295,8192	4,34E+08
130,00	19,5	20	19,75	0,7683	0,788	0,77815	25,06	5,6656E-06	88251,9486	4,34E+08
133,33	20	20,5	20,25	0,788	0,8077	0,79785	25,44	5,92726E-06	84356,0397	4,34E+08
136,67	20,5	21	20,75	0,8077	0,8274	0,81755	26,31	6,55639E-06	76261,4326	4,35E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
140,00	21	21,5	21,25	0,8274	0,8471	0,83725	26,72	6,86771E-06	72804,4863	4,35E+08
143,33	21,5	22	21,75	0,8471	0,8668	0,85695	27,21	7,25251E-06	68941,6825	4,35E+08
146,67	22	22,5	22,25	0,8668	0,8865	0,87665	28,99	8,77096E-06	57006,3005	4,35E+08
150,00	22,5	23	22,75	0,8865	0,9062	0,89635	29,2	8,96295E-06	55785,1942	4,35E+08
153,33	23	23,5	23,25	0,9062	0,9259	0,91605	30,94	1,06626E-05	46892,8443	4,35E+08
156,67	23,5	24	23,75	0,9259	0,9456	0,93575	30,37	1,00841E-05	49583,0374	4,35E+08
160,00	24	24,5	24,25	0,9456	0,9653	0,95545	31,93	1,17192E-05	42664,9016	4,35E+08
163,33	24,5	25	24,75	0,9653	0,985	0,97515	32,26	1,20864E-05	41368,942	4,35E+08
166,67	25	25,5	25,25	0,985	1,0047	0,99485	33,41	1,34255E-05	37242,4357	4,35E+08
170,00	25,5	26	25,75	1,0047	1,0244	1,01455	34,18	1,43754E-05	34781,7419	4,35E+08
173,33	26	26,5	26,25	1,0244	1,0441	1,03425	35,66	1,63247E-05	30628,3419	4,35E+08
176,67	26,5	27	26,75	1,0441	1,0638	1,05395	35,96	1,67402E-05	29868,159	4,35E+08
180,00	27	27,5	27,25	1,0638	1,0835	1,07365	36,48	1,7477E-05	28609,0222	4,35E+08
183,33	27,5	28	27,75	1,0835	1,1032	1,09335	37,98	1,97227E-05	25351,4394	4,35E+08

2c (mm)	a (mm)	af	a avg	a (in)	af (in)	a avg (in)	ΔK (Ksi $\sqrt{\text{in}}$)	$\Delta a/\Delta N$	ΔN	N
186,67	28	28,5	28,25	1,1032	1,1229	1,11305	38,65	2,0785E-05	24055,7559	4,35E+08
190,00	28,5	29	28,75	1,1229	1,1426	1,13275	39,14	2,15856E-05	23163,5458	4,35E+08
193,33	29	29,5	29,25	1,1426	1,1623	1,15245	40,63	2,41459E-05	20707,4698	4,35E+08
196,67	29,5	30	29,75	1,1623	1,182	1,17215	41,39	2,55264E-05	19587,5999	4,35E+08
200,00	30	30,5	30,25	1,182	1,2017	1,19185	42,28	2,72087E-05	18376,4902	4,35E+08
203,33	30,5	31	30,75	1,2017	1,2214	1,21155	42,37	2,73828E-05	18259,6358	4,35E+08
206,67	31	31,5	31,25	1,2214	1,2411	1,23125	43,6	2,98375E-05	16757,454	4,35E+08
210,00	31,5	32	31,75	1,2411	1,2608	1,25095	44,95	3,26958E-05	15292,4974	4,35E+08
									N=	435320263

BIODATA PENULIS



Aulia Puspitorini, anak kedua dari dua bersaudara ini lahir di Surabaya pada tanggal 22 April 1995. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Klampis Ngasem 1 Surabaya pada tahun 2007 dan SMP Negeri 19 Surabaya pada tahun 2010. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 17 Surabaya pada tahun 2013. 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 SBMPTN atau ujian tertulis. Selama menempuh masa perkuliahan penulis sempat aktif di organisasi kemahasiswaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Staf Departemen Dalam Negeri HIMATEKLA FTK ITS periode 2014-2015. Penulis juga pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java selama 2 bulan. Selama masa studi, penulis sangat tertarik dengan bidang ahli perancangan dan produksi bangunan laut sehingga dalam tugas akhir yang diambil berhubungan dengan bangunan laut dengan fokus pada analisis umur kelelahan.