TUGAS AKHIR – MO 141326

ANALISA UMUR KELELAHAN STRUKTUR SEPINGGAN Q PLATFORM YANG MEMILIKI RETAK AWAL SEMI-ELLIPTICAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE LINEAR ELASTIC FRACTURE MECHANICS

MUHAMMAD FAUZI

NRP. 4312.100.016

DOSEN PEMBIMBING :

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

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

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016

FINAL PROJECT – MO 141326

FATIGUE LIFE ANALYSIS OF SEPINGGAN Q PLATFORM WITH SEMI-ELLIPTICAL CRACK USING LINEAR ELASTIC FRACTURE MECHANICS METHOD

MUHAMMAD FAUZI

NRP. 4312.100.016

SUPERVISORS :

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

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

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

SURABAYA

2016

Analisa Umur Kelelahan Struktur Sepinggan Q *Platform* yang Memiliki Retak Awal *Semi-Elliptical* dengan Menggunakan Metode *Linear Elastic 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 :

Muhammad Fauzi

NRP. 4312 100 016

Disetujui oleh:

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

.....

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)

.....

3. Haryo Dwito Armono, S.T, M.Eng., Ph.D (Penguji 1)

.....

4. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

.....

5. Dirta Marina, S.T, M.T. (Penguji 3)

.....

SURABAYA, JULI 2016

ANALISA UMUR KELELAHAN STRUKTUR SEPINGGAN Q PLATFORM YANG MEMILIKI RETAK AWAL *SEMI-ELLIPTICAL* DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LINEAR ELASTIC FRACTURE MECHANICS*

Nama Mahasiswa : Muhammad Fauzi
NRP : 4312 100 016
Jurusan : Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Fatigue adalah salah satu masalah yang dapat dijumpai dalam operasi struktur bangunan lepas pantai. *Fatigue* pada struktur terjadi pada sambungan terkritis struktur dan mengalami perambatan akibat beban siklis hingga terjadi kegagalan struktur. Sambungan tubular terkritis ditentukan berdasarkan nilai *fatigue damage* tertinggi yang terjadi pada *multiplanar tubular joint* 502. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pendekatan *fracture mechanics*. Pemodelan retak awal dilakukan pada titik *hotspot* dimana terjadi tegangan terbesar. Analisis ini dimulai dengan menentukan *stress intensity factor* (SIF) dan laju perambatan retak yang terjadi pada titik *hotspot* sehingga umur kelelahan struktur dapat diprediksi. Hasil analisis yang didapat yaitu besarnya nilai SIF dengan pembebanan maksimum adalah 6,86 MPa√m sedangkan besarnya nilai SIF dengan pembebanan minimum adalah 6,02 MPa√m. Laju perambatan retak yang terjadi pada *tubular joint* 502 sebesar 1,59 x 10^{-10} in/cycle. Perhitungan umur kelelahan struktur menggunakan metode *fracture mechanics* adalah 1,12 x 10^{8} *cycles* (27 tahun).

Kata kunci: *fatigue damage*, *fracture mechanics*, *hotspot*, laju perambatan retak, *stress intensity factor*.

FATIGUE LIFE ANALYSIS OF SEPINGGAN Q PLATFORM WITH SEMI-ELLIPTICAL CRACK USING LINEAR ELASIC FRACTURE MECHANICS METHOD

Student Name	***:*** **Muhammad Fauzi**
Reg. Number	***:*** **4312 100 016**
Department	***: Ocean Engineering***
	Faculty of Marine Technology
	Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya
Supervisors	***:*** **Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.**
	Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Fatigue is one of the problems that frequently in the operational stage of offshore structures. Fatigue at structure caused by crack in critical joint of the structure and can propagate due to cyclic load up to structure failure. Most critical joint was determined by the highest fatigue damage at the multiplanar tubular joint 502*. The method used in this research was fracture mechanics approach. Modelling the initial crack at the hotspot point, which has the highest stress. This analysis began by determined the stress intensity factor (SIF) and crack propagation rate at the hotspot point so that the fatigue life of the structure can be predicted. The analytical results obtained are the value of the SIF with the maximum loading is* 6.86 MPa√m *while the value of the SIF with minimum loading was* 6.02 MPa√m*. The crack propagation rate in the tubular joint* 502 *was* 1.59×10^{-10} *in/cycle. The prediction of the fatigue life of the structure using fracture mechanics approach was* 1.12×10^{8} *cycles* (27 *years*)*.*

Keywords: crack propagation rate, fatigue damage, fracture mechanics, hotspot, stress intensity factor.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i
ABSTRAK ii
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR iv
UCAPAN TERIMA KASIH v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GRAFIK xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR SIMBOL xv
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 4
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 7
2.1 Tinjauan Pustaka 7
2.2 Dasar Teori 8
2.2.1 Pengertian Umum Struktur *Fixed Platform* 8
2.2.2 Analisis *Fatigue* 9
2.2.3 Mekanisme Mekanika Kepecahan 12

2.2.4 *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM) 14
2.2.5 *Stress Intensity Factor* (K) 14
2.2.6 *Fracture Toughness* (K_{Ic}) 19
2.2.7 Kriteria Kegagalan (*Fast Fracture Criteria*) 19
2.2.8 Perhitungan Perambatan Retak 20
2.2.9 Perambatan Retak Berdasarkan Jenis Material 21
2.2.10 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur 25
2.2.11 Metode Elemen Hingga 26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 31
3.1 Diagram Alir Penelitian 31
3.1.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum 31
3.1.2 Diagram Alir Pemodelan Sambungan Tubular Menggunakan ANSYS 16.0 33
3.2 Prosedur Penelitian 34
3.2.1 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum 34
3.2.2 Prosedur Pemodelan Menggunakan Software ANSYS 16.0 36
3.3 Pengumpulan Data 37
3.3.1 Data Struktur 37
3.3.2 Data Lingkungan 38
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Pemodelan Struktur Sepinggan Q *Platform* 43
4.2 Validasi Model 43
4.3 Penentuan Sambungan (*Joint*) Kritis 45
4.3.1 Analisis *Inplace* 45
4.3.2 Analisis *Fatigue* 46
4.3.3 Menentukan Joint Terkritis 47

4.4 Pemodelan *Joint* 502 51
4.4.1 Meshing 51
4.4.2 Kondisi Batas dan Pembebanan pada *Joint* 502 52
4.4.3 Analisis *Meshing Sensitivity* 54
4.5 Analisis SIF (*Stress Intensity Factor*) 56
4.5.1 Perhitungan *Stress Intensity Factor* (SIF) 56
4.5.2 Pemodelan Retak (*Crack*) pada *Joint* 502 60
4.5.3 *Running* SIF 61
4.5.4 Validasi SIF 62
4.6 Perhitungan *Crack Propagation Rate* 63
4.6.1 Perhitungan *Range Stress Intensity Factor* (ΔK_1) 63
4.6.2 Parameter Keretakan 63
4.6.3 Laju Perambatan Retak (*Crack Propagation Rate*) 63
4.7 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur 63
4.7.1 Penentuan Kedalam Retak Kritis (a_{cr}) 63
4.7.2 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur 64
4.7.3 Perbandingan Umur Kelelahan Struktur 65
BAB 5 PENUTUP 67
5.1 Kesimpulan 67
5.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Notasi Geometrik *Tubular Joint* 1
Gambar 1.2 Sepinggan Q Platform 3
Gambar 2.1 *Fixed Platfom* 9
Gambar 2.2 Kurva S-N 10
Gambar 2.3 Mode Perambatan Retak 15
Gambar 2.4 Sistem Koordinat dan Komponen Tegangan di depan Ujung Retak 17
Gambar 2.5 Pelat yang Memiliki Retak *Semi-Elliptical* 18
Gambar 2.6 Grafik Perbandingan a/2c dan σ/σ_{ys} 19
Gambar 2.7 Tahapan Perambatan Retak 20
Gambar 2.8 Laju perambatan *crack* pada *martensitic steel* 22
Gambar 2.9 Laju perambatan retak untuk material *ferrite-perlite* 23
Gambar 2.10Laju perambatan retak untuk material aluminium dan titanium *alloy* 24
Gambar 2.11 Grafik *fatigue crack growth* pada *ferrite-pearlite steel* 25
Gambar 2.12 Bentuk elemen yang dapat dibentuk elemen SOLID 45 27
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum 31
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan Menggunakan ANSYS 16.0 33
Gambar 4.1 Struktur Sepinggan Q *Platform* 43
Gambar 4.2 Letak Perbedaan Titik Berat Struktur 45
Gambar 4.3 Letak 10 UC Tertinggi 46
Gambar 4.4 Letak Sambungan Kritis 48
Gambar 4.5 Detail *Multiplanar Tubular Joint* 502 50
Gambar 4.6 Pemodelan *Joint* 502 Menggunakan ANSYS 51
Gambar 4.7 Pemodelan Sambungan Las pada *Joint* 502 52
Gambar 4.8 *Meshing* Sambungan Las pada *Joint* 502 52
Gambar 4.9 *Fixed Support* pada Ujung *Chord* 53
Gambar 4.10 Ilustrasi Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint* 502 dengan ANSYS 54
Gambar 4.11 Hasil Analisis *Meshing Sensitivity* Menggunakan ANSYS 54
Gambar 4.12 Parameter-Parameter dalam Perhitungan SIF 58

Gambar 4.13 *Node* yang Ditinjau untuk Posisi C*rack* 60
Gambar 4.14 Model S*urface Crack* 61
Gambar 4.15 *Meshing Surface Crack* 61
Gambar 4.16 SIF S*urface Crack* 62

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Muka Air Rata-Rata 38
Tabel 3.2 Data Angin 38
Tabel 3.3 Data Gelombang 39
Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang untuk Semua Tahun 39
Tabel 3.5 Data Arus 39
Tabel 3.6 Data *Marine Growth* 40
Tabel 3.7 Data Koefisien Hidrodinamis 40
Tabel 3.8 Data Kapasitas *Pile* 41
Tabel 3.9 Kriteria Material 41
Tabel 4.1 Komparasi *Selfweight* Model dan *Selfweight* Report 44
Tabel 4.2 Hasil Validasi Titik Berat Struktur 44
Tabel 4.3 Daftar 10 U*nity Check* Tertinggi 46
Tabel 4.4 Member dengan *Service Life* Terendah 47
Tabel 4.5 Penentuan Sambungan Terkritis 47
Tabel 4.6 Geometri *Multiplanar Tubular Joint* 502 50
Tabel 4.7 Daftar Pembebanan Kondisi Maksimum pada *Multiplanar Tubular Joint* 502 53
Tabel 4.8 Daftar Pembebanan Kondisi Minimum pada *Multiplanar Tubular Joint* 502 54
Tabel 4.9 Tabulasi Hasil Analisis *Meshing Sensitivity* 55
Tabel 4.10 Parameter Retak pada Kondisi Pembebanan Minimum 59
Tabel 4.11 Parameter Retak pada Kondisi Pembebanan Maksimum 59
Tabel 4.12 Nilai SIF Kondisi Pembebanan Minimum 59
Tabel 4.13 Nilai SIF Kondisi Pembebanan Maksimum 59
Tabel 4.14 Validasi SIF Kondisi Pembebanan Minimum 62
Tabel 4.15 Validasi SIF Kondisi Pembebanan Maksimum 62
Tabel 4.16 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur 64
Tabel 4.17 Perbandingan Umur Kelelahan Struktur 65

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Hasil Analisis *Meshing Sensitivity Joint* 502 55
Grafik 4.2 Hubungan ΔK_1 dengan da/dN 65

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A **HASIL *RUNNING* ANALISIS *INPLACE* DAN ANALISIS *FATIGUE***

LAMPIRAN B **HASIL *RUNNING* SIF**

LAMPIRAN C **PERHITUNGAN SIF**

LAMPIRAN D **PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN STRUKTUR**

LAMPIRAN E **PROSEDUR ANALISIS SIF PADA ANSYS 16.0**

DAFTAR SIMBOL

$\Delta\sigma$ = Rentang tegangan

$\Delta\sigma_{ref}$ = Rentang tegangan pada siklus sebanyak 2 x 10^6 *cycle*

m = Kemiringan kurva S-N

D = *Fatigue damage*

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

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

S = Tegangan *hotspot*

$S_{nominal}$ = Tegangan nominal

SCF = *Stress concentration factor*

σ_{ys} = Tegangan *yield*

K_I = *Stress intensity factor* mode-I

σ_x = Tegangan normal sumbu-x

σ_y = Tegangan normal sumbu-y

σ_z = Tegangan normal sumbu-z

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

τ_{xz} = Tegangan geser bidang-x arah sumbu-z

τ_{yz} = Tegangan geser bidang-y arah sumbu-z

r = Jarak *crack-tip* dengan *node* yang ditinjau

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

ν = *Poisson's Ratio*

a = Panjang retak awal

2c = Kedalaman retak

σ = Tegangan yang terjadi pada retak

Y = Fungsi koreksi terhadap dimensi dan geometri serta posisi retak

Q = Faktor koreksi *front free surface*

M_K = Faktor koreksi *back free surface*

t = Ketebalan dinding *tubular*

K_{Ic} = *Fracture Toughness*

da/dN = Kecepatan perambatan retak

ΔK_I = *Stress intensity factor range*

R = Rasio tegangan

C, m = Parameter pertumbuhan retak

N = Jumlah siklus sampai patahnya konstruksi

ε_x = Regangan arah sumbu-x

θ = Vektor termal

k = Karakteristik matrik elemen

q = Vektor elemen gaya

[K] = Kekakuan Global

[θ] = Global Termal

[Q] = Global Force

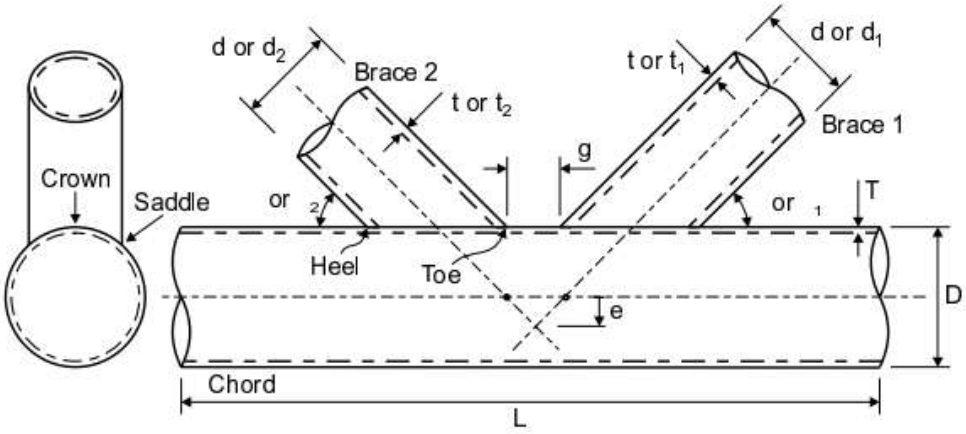
BAB I

PENDAHULUAN

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Fatigue adalah salah satu masalah yang dapat dijumpai dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai. Salah satunya adalah struktur *jacket platform*, dimana struktur tersebut teridiri dari beberapa member berbentuk silinder yang biasanya disebut *tubular*. Member *tubular* disambungkan satu sama lain menggunakan proses pengelasan. Terdapat member tubular bertindak sebagai member utama yang disebut *chord* dan member tubular bertindak sebagai cabang yang disebut *brace*. Sambungan tiap member tubular biasanya disebut *tubular joint*. Dalam sambungan tubular juga terdapat istilah-istilah atau notasi-notasi yang perlu diketahui seperti pada Gambar 1.1.



d =	brace diameter	D =	chord diameter
t =	brace wall thickness	T =	chord wall thickness
θ =	angle of brace / chord intersection	g =	gap (distance between brace toes)
L =	chord length (distance between end restraints)	e =	joint eccentricity
α =	$2L / D$	β =	d / D
γ =	$D / 2T$	τ =	t / T
ζ =	g / D	ϕ =	out-of-plane brace angle

Gambar 1.1 Notasi Geometrik *Tubular Joint* (Bowness dan Lee, 2000)

Fatigue pada struktur terjadi akibat dari munculnya retak pada salah satu bagian struktur yang kemudian menjalar secara global sehingga struktur mengalami kegagalan. Munculnya retak pada struktur bisa disebabkan oleh cacat las yang

dihasilkan dari proses pengelasan sambungan tubular. Kemudian dengan adanya pengaruh beban berulang (*cyclic*), menimbulkan tegangan dan regangan yang berulang, sehingga retak awal yang sudah ada akan mengalami proses perambatan retak (*crack propagation*) hingga struktur mengalami kegagalan (*fast fracture*). Oleh karena itu diperlukan analisa umur kelelahan pada struktur untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu hal yang sangat penting dalam analisa suatu struktur bangunan lepas pantai adalah melakukan analisa atas kemampuan suatu struktur tersebut memenuhi tujuan desain yang telah ditetapkan, termasuk disini adalah bahwa struktur tidak akan mengalami kegagalan dalam berbagai kondisi kerja (Murdjito, 1996).

Analisa umur kelelahan struktur dapat dilakukan dengan 2 pendekatan yakni, pendekatan *cumulative damage* (deterministik, *spectral analysis* dan distribusi *weibull*) dan pendekatan *fracture mechanics*. Pendekatan *fracture mechanics* merupakan analisa umur kelelahan struktur dengan memperhatikan adanya retak awal pada struktur, sehingga dapat diketahui apakah retak tersebut dapat menjalar apabila dikenai beban berulang. Dari penjalaran atau perambatan tersebut dapat dianalisa panjang retak yang diijinkan sebelum struktur mengalami kegagalan (*fast fracture*).

Pendekatan *fracture mechanics* memiliki 2 metode yaitu, *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM) dan *Elastic Plastic Fracture Mechanics* (EPFM). Dalam pendekatan *Fracture Mechanics* dikenal parameter yang disebut *Stress Intensity Factor* (SIF). Parameter ini digunakan untuk menentukan laju perambatan retak dan analisa umur kelelahan struktur. Nilainya dapat diperoleh dari distribusi tegangan yang terjadi di ujung retak yang ditinjau.

Mengingat pentingnya analisa perambatan retak yang mengakibatkan kegagalan struktur, maka dilakukan penelitian tugas akhir dengan menganalisa umur kelelahan strukutur dengan menggunakan metode *Linear Elastic Fracture Mechanics*. Asumsi retak awal berbentuk *semi-elliptical* yang terjadi pada sambungan kritis akibat beban selama masa operasi struktur.

Penelitian ini merupakan studi kasus pada struktur Sepinggan Q *Platform* milik Chevron Indonesia Company yang beroperasi di "*Sepinggan Field*" Selat Makassar. *Platform* ini memiliki 4 kaki (*tetrapod*) berfungsi sebagai *Living Quarter* atau tempat tinggal *engineer*. *Platform* didesain untuk masa operasi selama 30 tahun. *Platform* Sepinggan Q berdiri pada kedalaman 132.87 ft.

Gambar 1.2 Sepinggan Q Platform *(http://www.pbase.com/kebo/image/145489747)*

Platform Sepinggan Q (lihat Gambar 1.2) tersusun atas 2 level utama, yakni *Main Deck* pada ketinggian 72'-11 $^{11}/_{16}$" dan *Cellar Deck* pada ketinggian 51'-9" di atas MSL (*Mean Sea Level*) struktur dengan tambahan *mezzanine deck*, *sub-cellar deck* dan *quarter deck* di atas *main deck*. Setiap *deck* ditopang oleh 4 kaki *jacket* yang terpancang hingga mencapai *seabed* pada kedalaman 132'-10$^{3}/_{8}$" dibawah MSL struktur. Struktur *jacket* memiliki diameter 40" dan *ungrouted pile* berdiameter 36" dengan kedalaman penetrasi sebesar 285 ft.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah :

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

3. Berapa umur kelelahan *tubular joint* terkritis yang memiliki retak awal berbentuk *semi-elliptical*?

1.3 Tujuan

Dari perumusan masalah di atas, dapat diambil suatu tujuan dari penelitian yang dilakukan, yaitu:

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

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian yang dilaksanakan adalah.

1. Dari penelitian ini diharapkan mendapatkan model struktur yang lebih efektif dan handal (*reliable*) sehingga efisiensi dari struktur didapatkan.
2. Dari penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman mengenai analisa umur kelelahan struktur menggunakan metode *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM).

1.5 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar, sehingga batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut :

1. Peneitian ini merupakan studi kasus pada struktur Sepinggan Q milik Chevron Indonesia Company.
2. Teknik pengelasan dan pengaruh tegangan sisa pada sambungan diabaikan.
3. *Codes* dan *Standards* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah API RP-2A WSD, AISC 9th Edition dan ABS "*Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structures*".
4. Pemodelan struktur menggunakan *software* SACS 5.7.
5. Pemodelan sambungan dilakukan dengan menggunakan *software* ANSYS Workbench 16.0.
6. Retak awal (*initial crack*) pada sambungan terkritis menggunakan asumsi :

- Kedalaman retak (*crack depth*) sebesar 0.5 mm sesuai aturan ABS "*Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structures*".
- Perbandingan antara panjang retak dan kedalaman retak bernilai 0.15.

7. Bentuk retak awal yang terjadi pada sambungan adalah retak *semi-elliptical*.
8. Mode perambatan retak yang digunakan adalah mode 1.
9. Metode yang digunakan dalam analisa umur kelelahan pada sambungan adalah metode pendekatan *Linear Elastic Fracture Mechanics*.

1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Berisi mengenai tinjauan pustaka dan landasan teori yang dijadikan sebagai pedoman dalam melakukan penelitian tugas akhir.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi mengenai alur pengerjaan tugas akhir yang diinterpretasikan dalam diagram alir serta penjelasan pada setiap pengerjaan tugas akhir.

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Berisi mengenai analisa dan pembahasan yang dikerjakan dalam tugas akhir.

BAB V PENUTUP

Berisi mengenai kesimpulan yang menjawab rumusan masalah serta saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya.

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Proses perancangan merupakan proses berulang dan berlangsung secara kontinyu sesuai dengan spiral perancangan. Salah satu yang menjadi tahapan penting dalam spiral perancangan tersebut adalah pengembangan konsep analisa struktur anjungan lepas pantai yang meliputi jenis, tata letak, dan geometri struktur. Pemilihan konsep struktur merupakan tahapan pertama yang sangat penting bagi keberhasilan struktur anjungan dalam menjalani fungsinya (Rosyid, D.M, 1996).

Jacket platform adalah struktur lepas pantai yang terdiri dari komponen berbentuk silindris yang biasanya disebut member *tubular*. Member *tubular* yang utama disebut *chord* sedangkan *brace* adalah member tubular yang bertindak sebagai cabang. Member *tubular* dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan pengelasan sehingga membentuk sambungan tubular (*tubular joint*).

Proses pengelasan sambungan tubular dapat menimbulkan cacat las berupa retakan dan pemusatan tegangan (*stress concentration*). Dengan pengaruh beban yang berulang mengakibatkan tegangan pada beberapa titik sepanjang garis pengelasan menjadi sepuluh kali lipat lebih besar dari tegangan nominal yang terjadi pada bagian member sambungan tersebut. Tegangan lokal yang tinggi kemudian menjalar tegak lurus terhadap arah tegangan maksimumnya menuju ke daerah dengan tegangan lokal yang rendah sehingga struktur mengalami kegagalan. Lokasi dimana sambungan mengalami tegangan lokal tertinggi disebut dengan titik kritis atau *hotspot* (Prastianto, 2013).

Ridloudin (2004) telah melakukan penelitian tentang analisa umur kelelahan struktur *Jack-Up platform* dengan menggunakan metode *Spectral Fatigue Analysis*. Sedangkan untuk data struktur yang sama, Annastasia dan Wahyunigtyas (2005) melakukan penelitian analisa kelelahan struktur *tubular* tipe T dengan menggunakan pendekatan *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM) masing-masing dengan bentuk retak awal *semi-elliptical* dan *through-thickness*. Dengan menggunakan data struktur dan metode yang berbeda, penulis melakukan analisa

umur kelelahan pada sambungan terkritis dengan bentuk retak awal *semi-elliptical* menggunakan *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM).

2.2 Dasar Teori

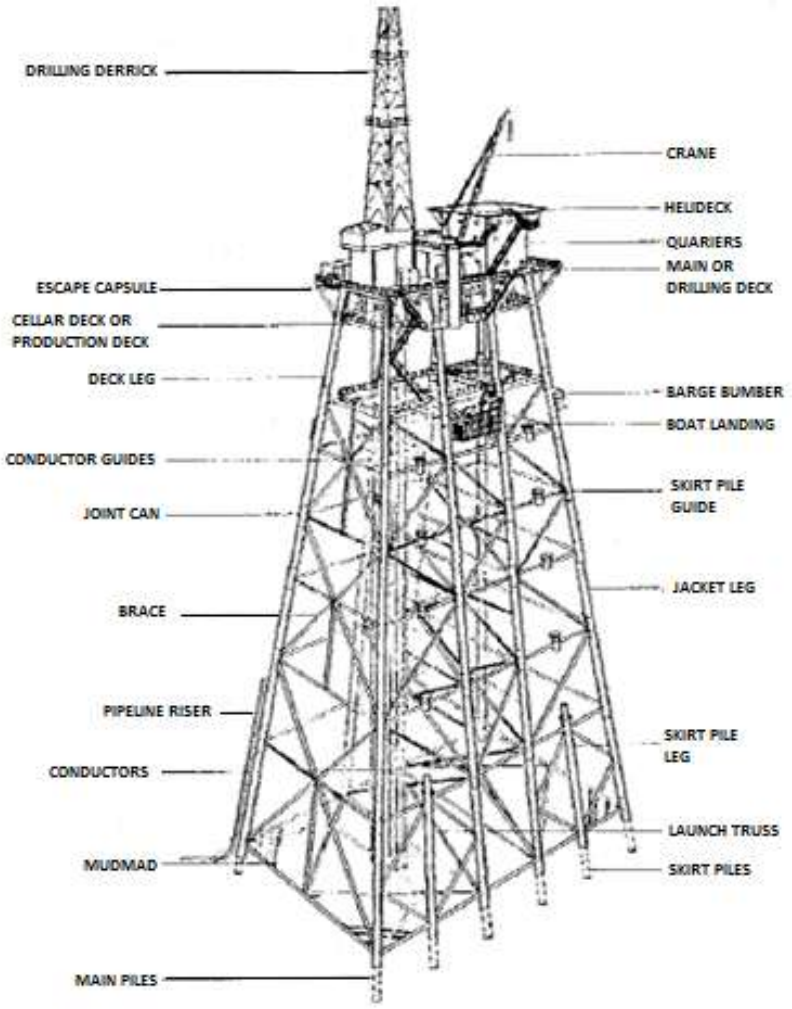
2.2.1 Pengertian Umum Struktur *Fixed Platform*

Fixed Platform mulai digunakan sejak awal industri lepas pantai, struktur ini dipancang dengan *pile* yang mempunyai *lateral stiffness* untuk menahan beban gelombang, arus, dan angin. Tipe anjungan ini memanfaatkan kekuatan dari kakinya yang didukung oleh konfigurasi member (*brace)* dan *pile* yang tertancap sangat dalam untuk menahan *payload* dan beban lateral dari angin, arus, gelombang, dan seismik yang bekerja pada struktur tersebut.

Struktur *fixed platform* merupakan bentuk struktur terpancang *(fixed structure)* yang terdiri atas beberapa komponen utama yaitu :

1. *Topside / Deck* yang berfungsi menyediakan bidang datar di atas permukaan air sebagai penunjang seluruh kegiatan, menyokong peralatan, pengeboran dan tempat fasilitas bekerja pada kru. Sub-komponen dari struktur geladak seperti *skid beam, deck beam, deck plate, main and wind trusses.*
2. *Template / Jacket* yang berfungsi sebagai penyokong *deck* yang meneruskan beban baik beban vertikal dari geladak maupun beban lateral dari angin, gelombang, arus, *boat impact* ke pondasi, serta melindungi *pile* agar tetap pada posisinya. Sub-komponen dari *jacket* antara lain *braces, launch runners, launch trusses, jacket leg, boat landings, barge bumpers, walkways, riser*.
3. *Foundation / Pile* diletakkan di dalam kaki *jacket* yang berfungsi untuk meneruskan beban dari *jacket* ke seabed. Antara *pile* dengan *jacket* terkadang dilakukan grouting untuk menambah kekakuan agar *pile* dan *jacket* menyatu. Subkomponen dari pondasi yaitu *skirt pile sleeves, skirt pile bracing*.

Beberapa sistem *fixed* yang ada di dunia, mempunyai perbedaan utama mengenai jumlah kaki, konfigurasi sistem *bracing* serta fungsinya. Jumlah kaki pada setiap struktur bervariasi, dari 1 (*monopod)* hungga 8 kaki dengan membentuk konfigurasi tertentu. Demikian juga dengan sistem konfigurasi *bracing*-nya dari yang sederhana sampai yang kompleks. Gambar 2.1 menunjukkan bagian-bagian yang ada pada struktur *fixed platform*.



Gambar 2.1 *Fixed Platfom* (Chakrabarti dkk., 2005)

2.2.2 Analisis *Fatigue*

Analisis *Fatigue* menggunakan pendekatan *cumulative damage* dapat dilakukan dengan 2 metode, yaitu metode deterministik dan spektral. Analisis *fatigue* deterministik dilakukan untuk struktur yang tidak peka terhadap gaya dinamik dan untuk kondisi dimana semua gelombang yang menyebabkan *fatigue* memiliki periode gelombang yang panjang.

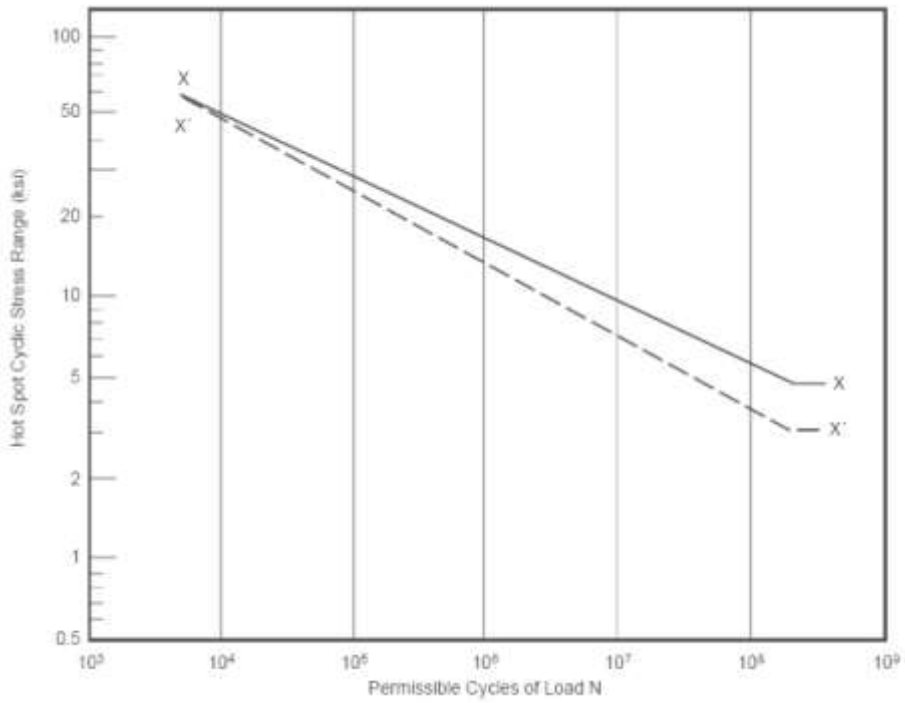
Metode analisis *fatigue* yang akan digunakan pada pemodelan dalam tugas akhir ini adalah menggunakan analisis *fatigue* spektral. Analisis *fatigue* spektral melakukan pendekatan secara statistik untuk menghitung kerusakan *fatigue* untuk struktur yang mengalami pembebanan dinamik yang memiliki sifat tetap secara statistik untuk jumlah siklus tegangan yang banyak, misalnya gaya gelombang. Metode ini memanfaatkan spektrum gelombang dan *transfer function*. Dengan begitu

menunjukkan hubungan antara rasio respon struktur terhadap ketinggian gelombang sebagai fungsi dari frekuensi gelombang untuk suatu kisaran frekuensi gelombang. Dengan demikian analisis *fatigue* spektral ini memperhitungkan distribusi nyata dari energi untuk seluruh kisaran frekuensi gelombang.

Dalam melakukan analisis *fatigue*, diperlukan adanya parameter-parameter yang digunakan. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut:

a. Kurva S-N

   Kurva S-N merupakan karakteristik *fatigue* yang digunakan dari suatu bahan yang mengalami tegangan berulang dengan besar yang sama. Kurva ini didapatkan dari tes spesimen baja yang diberi beban berulang dengan jumlah N siklus hingga terjadi *failure*. Besarnya jumlah N berbanding terbalik dengan rentang tegangan S (selisih dari tegangan maksimum dikurangi tegangan minimum). Kurva S-N tersebut merepresentasikan informasi karakteristik *fatigue* dengan amplitudo pembebanan konstan. Gambar 2.2 merupakan gambar kurva S-N menurut API-RP2A untuk *tubular joint.*



Gambar 2.2 Kurva S-N (API RP2A WSD, 2000)

Kurva S-N dapat dinyatakan dalam persamaan matematis (2.1) sebagai berikut:

$$N = 2\ x\ 10^6(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}})^{-m} \quad (2.1)$$

Dimana:

N = jumlah banyaknya siklus beban sampai member mengalami *failure*.

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

$\Delta\sigma_{ref}$ = rentang tegangan pada siklus sebanyak 2 x 10^6 *cycle*.

m = kemiringan (*gradient*) pada kurva S-N.

b. Aturan Palmgren- Miner

Untuk menentukan seberapa dekat nilai siklus dari rentang tegangan yang menyebabkan *failure* yang kemudian disebut dengan kerusakan *fatigue* dapat menggunakan aturan Palmgren-Miner (persamaan 2.2) sebagai berikut:

$$D = \sum_{i=1}^{N} \frac{Napplied_i}{Nresisted_i} \quad (2.2)$$

Dimana:

D = *fatigue damage*.

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

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

N = jumlah pembagian grup rentang tegangan .

c. Stress Concentration Factor

Untuk memeriksa kerusakan *fatigue* dari suatu batang seragam terhadap suatu tegangan aksial sangatlah mudah. Namun ketika bentuk struktur kompleks akan sulit untuk menentukan variasi tegangan karena terdapat konsentrasi-konsentrasi tegangan, khususnya ketika aliran tegangan berubah arah secara tiba-tiba.

Terdapat tiga cara umum untuk menuntaskan permasalahan tersebut, yakni:

1) Memodelkan dengan elemen hingga.
2) S-N *Curves* dengan *built-in* SCF.
3) Menggunakan faktor konsentrasi tegangan atau *stress concentration factor*.

   Pendekatan dengan cara ini umum digunakan pada *tubular joints*, dimana persamaan parametrik telah dikembangkan oleh beberapa insinyur berdasarkan analisis elemen hingga. Persamaan-persamaan tersebut tidak hanya dengan geometri *joint* tetapi juga bergantung pada bagaimana beban diaplikasikan. Itu artinya tipe *joint* hanya dapat ditentukan setelah distribusi beban pada struktur ditentukan. Pada kasus ini rentang tegangan dapat didefinisikan sebagai rentang tegangan nominal dikalikan *stress concentration factor*, seperti pada persamaan 2.3 di bawah ini.

$$S = S_{nominal} x\ SCF \tag{2.3}$$

Dimana:

S = rentang tegangan.

$S_{nominal}$ = rentang tegangan nominal.

SCF = *stress concentration factor*.

2.2.3 Mekanisme Mekanika Kepecahan

Mekanika Kepecahan merupakan metode perhitungan umur kelelahan struktur dengan memperhatikan adanya retak pada salah satu bagian tertentu, hasilnya dapat diperoleh melalui perhitungan analitis (matematis) dan empiris (percobaan). Mekanika kepecahan sering digunakan karena metode ini memperhatikan pengaruh distribusi tegangan yang terjadi akibat perambatan retak sepanjang masa operasi struktur (Rhee, 1989). Kegagalan struktur umumnya terjadi pada *member* struktur *tubular* dikarenakan bagian tersebut mengalami pemusatan tegangan yang lebih tinggi pada daerah sambungan *tubular*-nya sehingga hampir bisa dipastikan sebagai daerah munculnya retak awal. Apabila ditemukan retak awal pada salah satu bagian struktur, maka analisa terhadap perilaku retak hingga kegagalan struktur perlu dilakukan (Murthy, dkk, 2004).

Mekanisme mekanika kepecahan tebagi menjadi 3 tahapan yaitu, *crack initiation* (retak awal), *crack propagation* (perambatan retak), *final fracture* (patah).

2.2.3.1 *Crack Initiation* (Retak Awal)

Retak awal pada struktur terjadi akibat adanya beban berulang yang diterima salah satu member struktur tersebut. Dibutuhkan jumlah siklus tegangan tertentu agar diperoleh retak pada permukaan salah satu bagian struktur.

Namun dalam perancangan struktur lepas pantai, asumsi ukuran retak awal harus ditentukan. Penentuan ukuran retak awal dalam perhitungan harus mempertimbangkan sebab-sebabnya, bisa didapatkan akibat kelalaian dalam pengelasan sambungan, geometri sambungan *tubular* dan keterlambatan inpeksi.

Menurut ABS (2003), retak awal yang terjadi permukaan struktur dimulai dari batas las-lasan dengan logam induk (*base metal*) dengan kedalaman retak sebesar 0.5 mm. Pada kondisi nyata, *crack* pada struktur terletak pada daerah *weld toe* dengan jarak 1 plat dari titik pusat dari sambungan (Huang dan Hancock, 1988).

2.2.3.2 *Crack Propagation* (Perambatan Retak)

Setelah muncul retak pada sambungan tubular, retak tersebut mengalami perambatan atau penjalaran retak akibat beban siklis yang diterima sambungan tersebut. Beban siklis tersebut memberikan pengaruh tegangan dan regangan yang nilainya lebih besar dari tegangan normal yang dialami sambungan *tubular*. Perambatan retak bisa disebabkan oleh beberapa mekanisme sebagai berikut :

- *Fatigue* yang disebabkan oleh beban siklis.
- Mulur (*creep*)
- Adanya gas hidrogen yang masuk dalam sambungan saat proses pengelasan sehingga menyebabkan keretakan
- Adanya *liquid metal* yang terdapat pada material sehingga menyebabkan keretakan.

Dari semua sebab-sebab diatas, dalam penelitian tugas akhir ini perambatan retak pada struktur diakibatkan oleh *fatigue* yang disebabkan oleh beban siklis atau beban berulang.

2.2.3.3 Final Fracture

Final Fracture merupakan fase terakhir dari mekanisme mekanika kepecahan. Apabila struktur sudah mengalami fase ini bisa dikatakan struktur tersebut mengalami kegagalan. Pada tahapan ini, struktur tidak dapat menahan beban siklis

terakhir yang diterima dikarenakan jumlah siklus tegangan (*stress cycle*) sudah melebihi dari kemampuan struktur tersebut. Proses perambatan retak terjadi semakin cepat sehingga struktur akan pecah (*fracture*) menjadi dua bagian. Berdasarkan penggunaan material dalam pembangunan struktur lepas pantai, terdapat 2 jenis kejadian *final fracture* yakni, *brittle fracture* (*cleavage*) dan *ductile fracture* (*rupture*).

2.2.4 *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM)

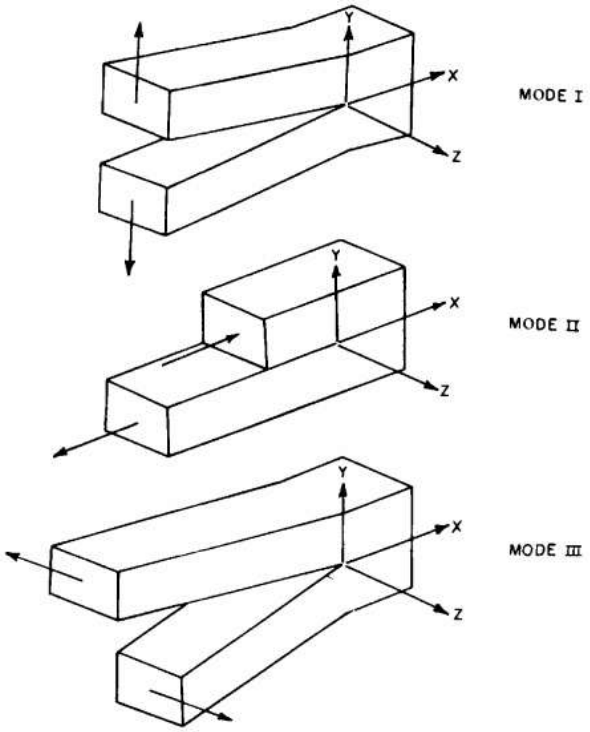
Linear elastic fracture mechanics (LEFM) didasarkan pada prosedur analitis yang menghubungkan besarnya daerah tegangan dan distribusi tegangan elastis di sekitar ujung retak dengan tegangan nominal yang dikenakan pada daerah diskontinuitas, serta bentuk retak dan sifat-sifat material itu sendiri (Barsom dan Rolfe, 1987). LEFM dapat digunakan selama daerah plastis sangat kecil dimana tegangan lebih rendah daripada tegangan ijin material ($\sigma < 0{,}8\,\sigma_{ys}$) (Broek, 1984). LEFM umumnya digunakan untuk material yang bersifat *brittle* seperti keramik, kaca, atau baja berkekuatan tinggi, dimana daerah *plastic* sangat kecil karena tegangan lebih rendah daripada tegangan ijin.

2.2.5 *Stress Intensity Factor* (K)

Kekuatan dari *fracture mechanics* (mekanika kepecahan) terletak pada hubungan antara perilaku retak dengan sambungan tergantung bentuk geometri sambungan. Nilai kekuatan ini dapat diperoleh menggunakan parameter K, yang biasanya disebut *Stress Intensity Factor* (SIF), yang sebanding dengan tegangan yang terjadi pada ujung retak member yang dikenai beban (Maddox, 1999).

2.2.5.1 *Stress Intensity Factor* dari Persamaan Westergaard dan Irwin

Westergaard dan Irwin mengemukakan bahwa distribusi tegangan di daerah ujung retak terdiri dari tiga mode, yakni mode I, mode II dan mode III. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mode Perambatan Retak (Barsom dan Rolfe, 1987)

Berikut penjelasan mengenai ketiga mode dasar pembebanan dengan perbedaan *crack surface displacement*.

MODE I : *OPENING MODE*

Retak diakibatkan karena adanya tegangan tarik yang tegak lurus terhadap arah atau bidang perambatan retak. Sehingga *displacement* permukaan retak tegak lurus bidang retak.

MODE II : *SLIDING MODE*

Retak diakibatkan karena adanya tegangan geser yang arahnya searah terhadap arah atau bidang perambatan retak. Sehingga *displacement* permukaan retak terdapat dalam bidang retak dan tegak lurus daerah ujung retak.

MODE III : *TEARING MODE*

Retak diakibatkan karena adanya tegangan geser yang bekerja pada arah melintang dan sejajar dengan bidang perambatan retak.

Sehingga *displacement* permukaan retak terdapat dalam bidang retak dan sejajar daerah ujung retak.

Dalam kondisi nyata, struktur lepas pantai mengalami ketiga mode tersebut akibat kombinasi pembebanan selama masa operasi struktur.Namun dalam penelitian tugas akhir ini digunakan mode I sebagai bentuk perubahan dan perambatan retak pada strukutur sesuai yang dicantumkan dalam Batasan Masalah.

Tegangan-tegangan yang terjadi pada *Mode I* adalah sebagai berikut (Barsom dan Rolfe, 1987) :

$$\sigma_x = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}\left[1 - \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right] \quad (2.4)$$

$$\sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cos\frac{\theta}{2}\left[1 + \sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right] \quad (2.5)$$

$$\sigma_z = v\left(\sigma_x + \sigma_y\right) = 0 \quad (2.6)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2} \quad (2.7)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yz} = 0 \quad (2.8)$$

Dimana :

K_I = *Stress Intensity Factor* untuk Mode I

σ_x = tegangan normal (MPa)

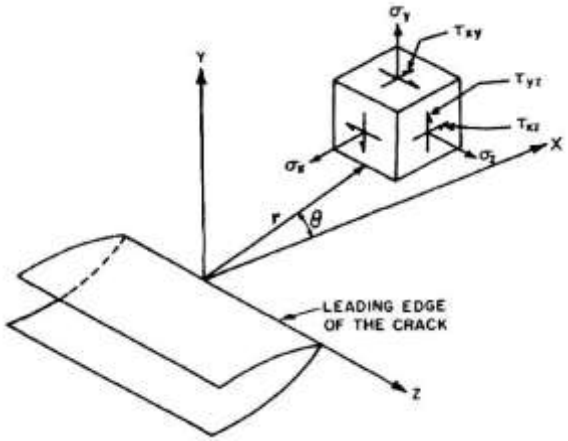
τ_{xy} = tegangan geser bidang x arah sumbu y (MPa)

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

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

v = *Poisson's Ratio*

Komponen tegangan dan koordinat r dan θ dapat dilihat pada Gambar 2.4 di bawah. Notasi K merupakan faktor intensitas tegangan yang bila diketahui, maka medan tegangan di ujung retak akan dapat diketahui. Harga K bergantung pada beban luar, geometri eksternal dan geometri retak (Barsom dan Rolfe, 1987).



Gambar 2.4 Sistem Koordinat dan Komponen Tegangan di depan Ujung Retak (Barsom dan Rolfe, 1987)

2.2.5.2 Stress Intensity Factor dari Persamaan Retak Tipe Semi-Elliptical

Harga SIF (*Stress Intensity Factor*) secara umum adalah sebagai berikut.

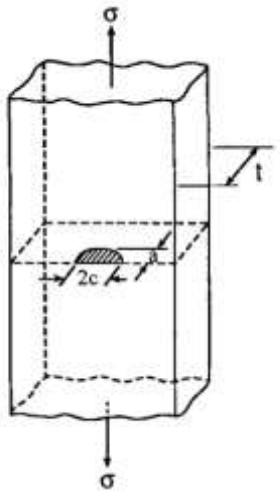
$$K = Y\sigma\sqrt{\pi a} \qquad (2.9)$$

Dimana : a = Panjang retak awal (*initial crack*)

σ = Tegangan yang terjadi pada retak

Y = Fungsi koreksi terhadap dimensi dan geometri serta posisi retak

Harga K tersebut tergantung dari dimensi, geometri serta posisi dari cacat pada sambungan. Persaman-persamaan untuk menentukan *stress intensity factor* tersebut telah banyak dikeluarkan oleh para peneliti baik menggunakan cara matematis, empiris, FEM dan lain-lain.



Gambar 2.5 Pelat yang Memiliki Retak *Semi-Elliptical* (Barsom dan Rolfe, 1987)

Stress Intensity Factor untuk retak berbentuk "kuku ibu jari" di suatu pelat yang mengalami tegangan tarik, seperti pada Gambar 2.5 dapat dihitung dengan mengunakan persamaan berikut.

$$K_I = 1.12\,\sigma\sqrt{\pi\frac{a}{Q}}\,.M_K \qquad (2.10)$$

Dimana nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai Gambar 2.6, dengan menghubungkan nilai a/2c dan σ/σ_{ys}.

$$M_K = 1.0 + 1.2\left(\frac{a}{t} - 0.5\right) \qquad (2.11)$$

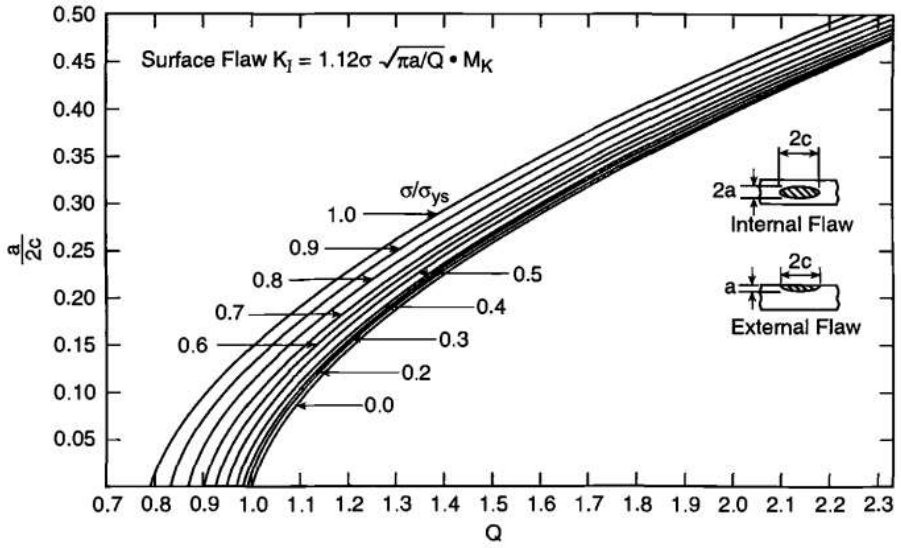
Dimana : K_I = *Stress Intensity Factor*

Q = Faktor koreksi *front free surface*

M_K = Faktor koreksi *back free surface*

a = Panjang retak awal (*initial crack*)

t = Ketebalan dinding *tubular*



Gambar 2.6 Grafik Perbandingan a/2c dan σ/σ_{ys} (Barsom dan Rolfe,1987)

2.2.6 *Fracture Toughness* (K_{Ic})

Fracture Toughness (K_{Ic}) adalah kemampuan suatu material atau bahan untuk menahan intensitas tegangan tertentu pada ujung retak dan menghambat perambatan retak. Sehingga *fracture toughnes*s (K_{Ic}) dapat dipakai sebagai standart atau kriteria dalam perancangan struktur.

Nilai *fracture toughness* (K_{Ic}) pada setiap material berbeda, karena nilainya ditentukan berdasarkan eksperimen pada material yang diuji hingga mengalami kegagalan (*fast fracture*).

2.2.7 Kriteria Kegagalan (*Fast Fracture Criteria*)

Fast fracture disebabkan oleh perambatan retak dengan kecepatan tinggi, sama dengan kecepatan bunyi, di dalam material yang tiba-tiba menjadi tidak stabil. Suatu sistem yang mempunyai cacat (retak) dengan ukuran tertentu ada suatu tekanan kritis (*critical pressure*) yang dapat menimbulkan *fast fracture* (Sutomo, 1998).

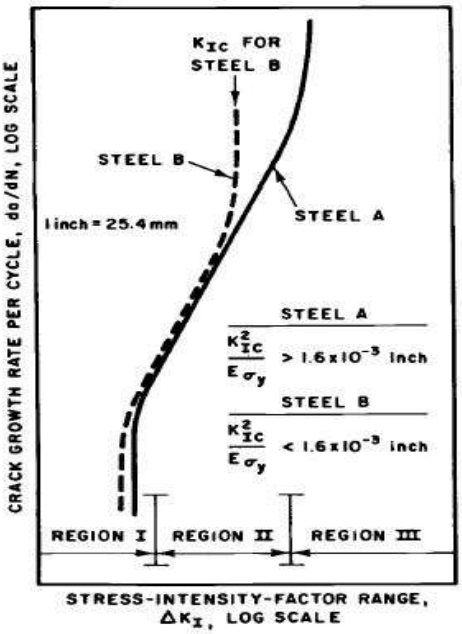
Suatu struktur dapat dikatakan mengalami kegagalan apabila mengalami *fast fracture* sekalipun tegangan yang ditimbulkan masih jauh di bawah *yield strength*-nya. Kriteria *fast fracture* adalah sebagai berikut.

$$K = K_{Ic} \qquad (2.12)$$

2.2.8 Perhitungan Perambatan Retak

Perhitungan perambatan retak lelah ditentukan oleh 2 (dua) parameter mekanika kepecahan, yaitu ΔK dan K_{max} (Stoychev,2008). Perambatan retak adalah tahap selanjutnya setelah tahap retak awal (*crack initiation*). Dalam tahap ini retak tumbuh dan menjalar hingga mencapai batas kritis (*critical size*). Dari data perambatan retak suatu prediksi umur lelah (*fatigue life*) dapat dikembangkan.

Pada awalnya, retak awal terjadi setelah adanya kondisi kritis (Varga,1993). Perambatan retak terjadi dalam waktu yang lama dalam kondisi operasi normal. Perambatan retak akibat medan tegangan dan regangan di sekitar ujung retak, ditunjukkan dengan parameter *stress intensity factor* (K), yang merupakan fungsi dari tegangan, geometri dan dimensi retak. Dari konsep *fracture mechanics*, laju perambatan retak dinyatakan dengan da/dN yang merupakan fungsi dari sifat material, panjang retak, dan tegangan operasi. Perambatan retak terdiri atas tiga tahapan seperti pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Tahapan Perambatan Retak (Barsom dan Rolfe, 1987)

Keterangan:

- *Region I* : perambatan retak pada *region* ini menunjukkan karakteristik "*fatigue threshold*" yang merupakan fluktuasi kenaikan nilai *stress intensity factor* dengan parameter ΔK_{th}. Nilai ΔK harus lebih besar dari nilai ΔK_{th} untuk

memungkinkan terjadinya perambatan retak.Nilai da/dN antara *region I* dan *region II* adalah :

$$\frac{da}{dN} = c(\Delta K^m - \Delta K + h^m) \quad (2.13)$$

- *Region II* : perambatan-perambatan retak mulai terjadi. Kecepatan perambatan retak dapat dihitung menggunakan hukum Paris-Erdogan:

  $da/dN = C\ (\Delta K)^m$ (2.14)

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

  $$\frac{da}{dN} = \frac{c\Delta K^m}{(1-R)K_c - \Delta K} \quad (2.15)$$

- *Region III* : perambatan retak yang terjadi lebih cepat daripada *region II*, merupakan awal terjadinya kepecahan. Nilai da/dN antara *region I, II* dan *region III* (bila efek R diperhitungkan) adalah:

  $$\frac{da}{dN} = \frac{\Delta K^2}{4\pi\sigma_y E}\left\{\frac{(\Delta K - \Delta K + h)}{(1-R)}\frac{(1-R)}{K_c - \Delta K}\right\}^{1/2} \quad (2.16)$$

keterangan:

da/dN : kecepatan perambatan retak (*m/cycle)*

ΔK : range faktor intensitas tegangan (MPa√m)

K : faktor intensitas tegangan (MPa√m)

K_c : harga kritis K (MPa√m)

R : rasio tegangan = $\sigma_{min}/\sigma_{max}$

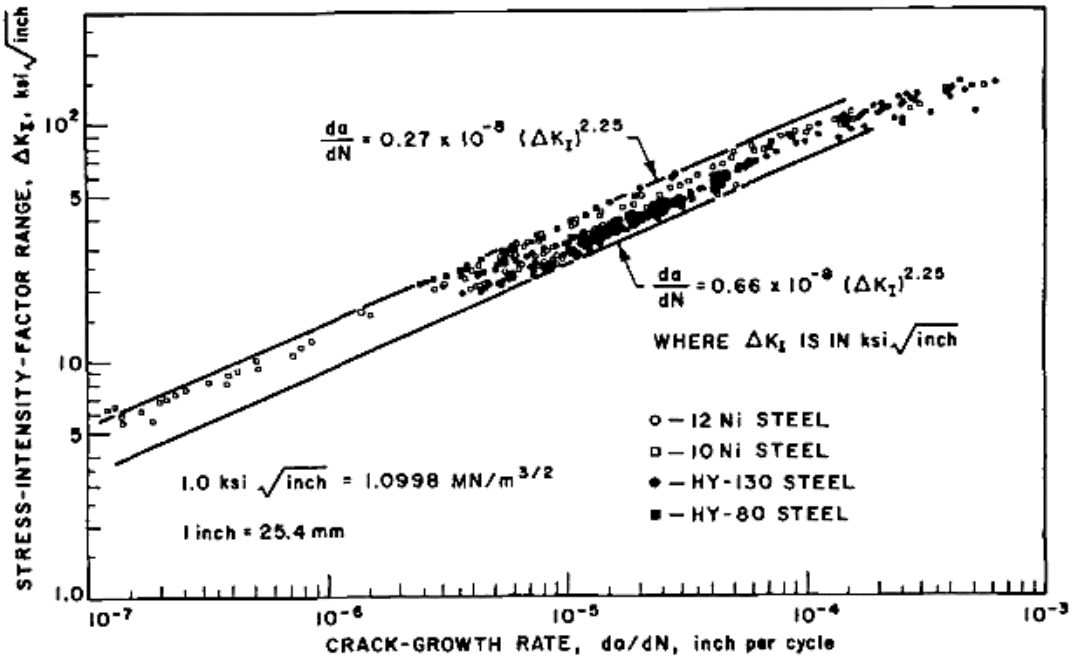
C dan m : parameter pertumbuhan retak

2.2.9 Perambatan Retak Berdasarkan Jenis Material

Menurut Barsom dan Rofle (1987), terdapat 4 jenis material bila ditinjau dari perambatan retaknya. Perambatan ini bergantung pada jenis material dan nilai *yield strength*. Berikut jenis-jenis material yang dimaksud:

a) *Martensitic Steel*

Material yang termasuk dalam kategori *martensitic steel* adalah material dengan *yield strength* diatas 80 ksi. Gambar 2.8 merupakan laju perambatan *crack* pada material jenis *martensitic steel*:



Gambar 2.8 Laju perambatan *crack* pada *martensitic steel* (Barsom dan Rofle, 1987)

Laju perambatan *crack* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\frac{da}{dN} = 0.66\ 10^{-8}\ (\Delta K_i)^{2.25} \qquad (2.17)$$

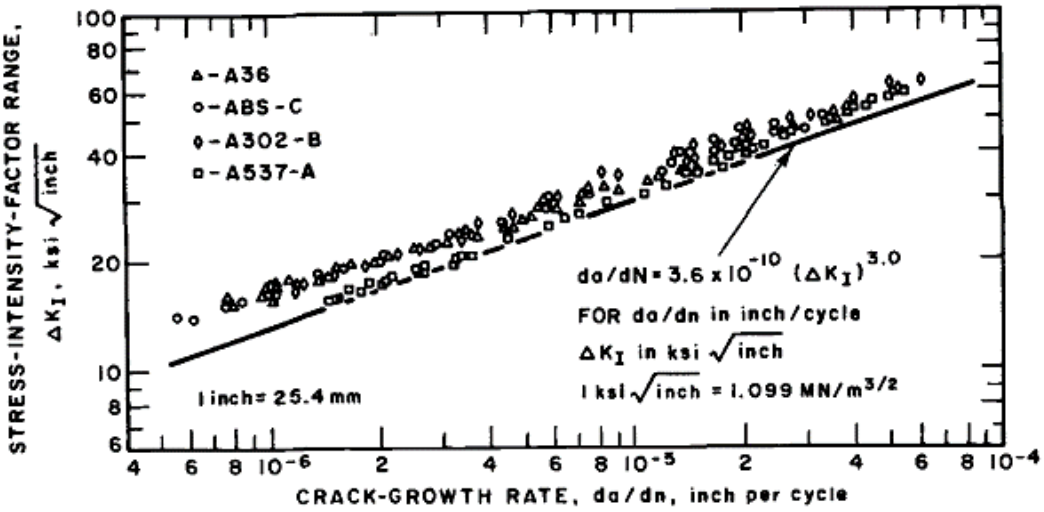
dimana,

a = kedalaman retak (in)

ΔK = perbedaan nilai SIF (ksi.√in)

b) *Ferrite-Pearlite Steel*

Material untuk jenis *ferrite-perlite steel* adalah material seperti A36, A302, ABS, dan A537. Laju perambatan retak material *ferrite-pearlite steel* seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Laju perambatan retak untuk material *ferrite-perlite* (Barsom dan Rofle, 1987)

Perhitungan laju perambatan retaknya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{da}{dN} = 3.6\ 10^{-10}\ (\Delta K_i)^{3.0} \qquad (2.18)$$

dimana,

a = kedalaman retak (in)

ΔK = perbedaan nilai SIF (ksi.√in)

c) *Austenitic Stainless Steel*

Contoh material jenis ini adalah *stainless* A316, *stainless* A304 dan *stainless* A305. Untuk formula perambatan retaknya dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{da}{dN} = 3.0\ 10^{-10}\ (\Delta K_i)^{3.25} \qquad (2.19)$$

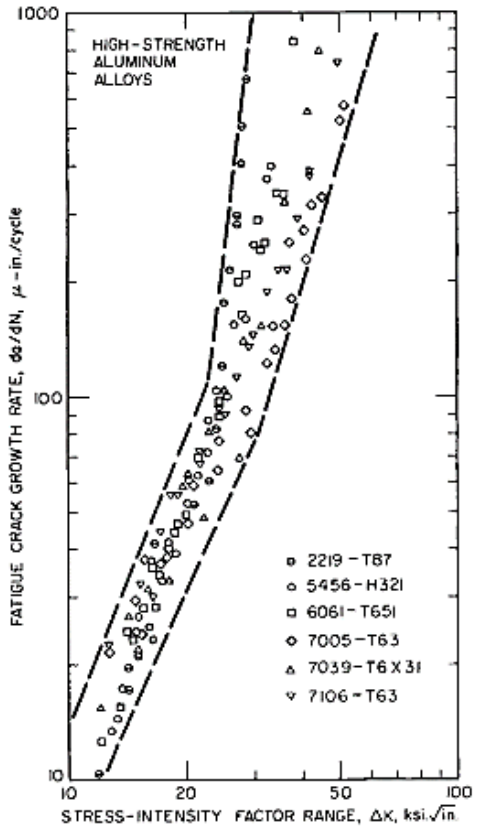
dimana,

a = kedalaman retak (in)

ΔK = perbedaan nilai SIF (ksi.√in)

d) Campuran Titanium dan Aluminium

Merupakan material dengan ragam campuran. Gambar 2.10 merupakan grafik laju perambatan retak pada material campuran titanium dan aluminium:

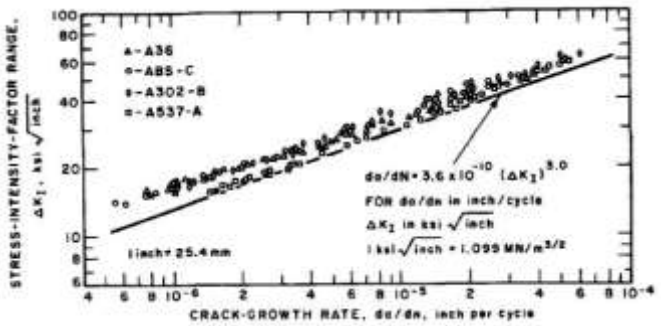


Gambar 2.10 Laju perambatan retak untuk material aluminium dan titanium *alloy* (Barsom dan Rofle, 1987)

Laju perambatan retak dari material tipe ini bergantung pada komposisi dari campuran material yang digunakan.

Dalam penelitian tugas akhir ini, material yang digunakan adalah API 5L Grade B yang tergolong jenis material *Ferrite-Pearlite Steel*. Perilaku laju perambatan retak pada *ferrite-pearlite steel* dengan $\sigma_{ys} = 30 - 80\ ksi$ (Blake, 1996) sebelum terjadinya transisi tingkat kelelahan dan di atas ΔK_{th}dapat dilihat pada Gambar 2.11. Data ini menunjukkan bahwa laju perambatan retak pada material ini dapat dihitung dari persamaan (Barsom dan Rolfe, 1987):

$$\frac{da}{dN} = 3{,}6 \times 10^{-10}(\Delta K_I)^{3,0} \qquad (2.20)$$



Gambar 2.11 Grafik *fatigue crack growth* pada *ferrite-pearlite steel* (Barsom dan Rolfe, 1987)

2.2.10 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur

Hasil perhitungan perambatan retak ini umumnya ditunjukkan sebagai umur kelelahan dari struktur yang ditinjau. Dengan memberikan masukan berupa besar retak awal dan retak akhir akan diketahui jumlah batas siklus yang masih aman dengan mengintegralkan persamaan laju keretakan berikut :

$$\int_{ni}^{nf} dN = \int_{ai}^{af} \frac{da}{C\,(\Delta K_I)^m} \qquad (2.21)$$

$$N = \int_{ai}^{af} \frac{da}{C\,(\Delta K_I)^m} \qquad (2.22)$$

dimana:

da = pertambahan panjang retak (m)

dN = pertambahan jumlah siklus beban

C, m = konstanta dari material

N = jumlah siklus sampai patahnya konstruksi

ΔK_I = rentang SIF antara pembebanan maksimum dan minimum (MPa√m)

af = panjang retak *fracture (m)*

ai = panjang retak awal (m)

nf = jumlah siklus sampai pecah

ni = jumlah siklus saat permulaan

2.2.11 Metode Elemen Hingga

Konsep dasar metode elemen hingga adalah pendekatan menggunakan informasi-informasi pada titik simpul (*node*). Dalam proses penentuan titik simpul yang di sebut dengan pendeskritan (*discretization*), suatu sistem dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, kemudian penyelesaian masalah dilakukan pada bagian-bagian tersebut dan selanjutnya digabung kembali sehingga diperoleh solusi secara menyeluruh. Usaha pendiskritan ini dilakukan agar memudahkan dalam analisa karena adanya keterbatasan dalam analisa secara global.

Metode elemen hingga ini dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah. Struktur yang dianalisa dapat berbentuk sembarang, beban dan kondisi batas semabarang sesuai analisa yang dilakukan. Untuk memudahkan penerapan konsep metode elemen hingga dapat dilakukan pemodelan dengan *software* seperti ABAQUS, ANSYS, SAAP, dan CATIA.

Metode elemen hingga ini banyak digunakan karena hasil analisa sangat dekat atau hampir sama dengan struktur sebenarnya. Namun hasil dari metode elemen hingga ini bersifat numerik, bukan merupakan persamaan yang dapat diaplikasikan untuk berbagai kasus. Selain itu data-data yang dimasukkan cenderung banyak sehingga data output yang dijalankan oleh *software* pun lebih banyak.

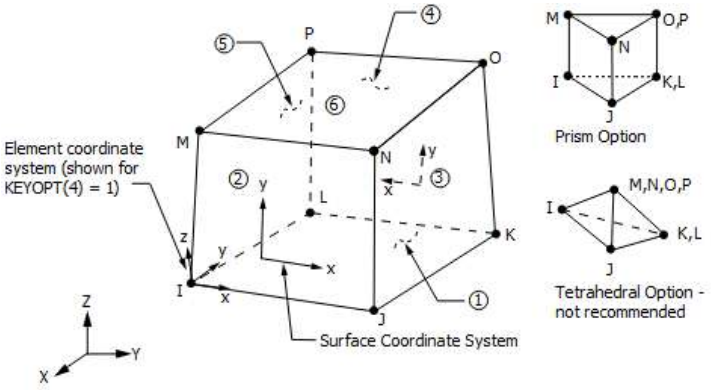
Dalam tugas akhir ini, sambungan *tubular* paling kritis akan dimodelkan menggunakan ANSYS. Dalam software ANSYS dapat dilakukan pemodelan 2D ataupun 3D dengan elemen titik, elemen garis, elemen area, dan elemen solid. Semua jenis elemen ini dapat digabungkan untuk membentuk struktur yang akan dianalisa.

Secara umum tahapan dalam perumusan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

1. **Pendiskritan dan Pemilihan Jenis Elemen**

   Pada tahap ini dilakukan pembagian model ke dalam suatu sistem yang ekuivalen yang terdiri atas *node* dan *element*. Pemilihan jenis elemen haruslah disesuaikan dengan tingkah laku fisik material.

Jenis elemen yang digunakan pada analisa struktural adalah SOLID45. Elemen SOLID 45 memiliki delapan *node* dengan masing-masing *node* memiliki tiga derajat kebebasan. Elemen ini dapat bertranslasi ke arah sumbu x dan y. Elemen ini memiliki kemampuan berdefleksi dan meregang secara besar karena memiliki sifat plastis. Elemen SOLID45 dapat membentuk elemen dengan bentuk elemen prisma dan *tetrahedral*. Elemen ini didefinisikan dengan delapan *node* dan *ortotropik material properties*. Pada permukaan elemen dapat diberikan beban tekan. Ilustrasi elemen SOLID45 sesuai pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Bentuk elemen yang dapat dibentuk elemen SOLID 45 (ANSYS 16.0)

2. Menentukan Fungsi *Displacement*

Pada tahap ini dilakukan pemilihan fungsi *displacement* pada tiap-tiap elemen. Fungsi yang didefinisikan pada tiap-tiap elemen menggunakan nilai dari *node*. Fungsi yang dipakai terdiri dari polinomial linear, kuadratik, polinomial kubik.

3. Mendefinisikan hubungan regangan-*displacement* dan tegangan-regangan

Displacement-regangan dan tegangan-regangan digunakan untuk menyusun persamaan elemen hingga. Pada kasus deformasi 1-dimensi pada arah sumbu-x yang mana regangan (ε_x) dengan *displacement* memiliki hubungan persamaan sebagai berikut,

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \tag{2.23}$$

4. Menentukan Persamaan Matrik Kekakuan Elemen

Pengembangan matrik kekakuan elemen dan persamaan elemen dipengaruhi oleh nilai koefisien kekakuan. Pada analisa struktural, matrik kekakuan elemen yang digunakan didasarkan pada hukum Fourier yakni,

$$\frac{kA}{L}\begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{Bmatrix} \text{ or } \mathbf{k}^{(e)}\boldsymbol{\theta}^{(e)} = \mathbf{q}^{(e)} \tag{2.24}$$

Dimana,

θ = vektor termal

k = karakteristik matrik elemen

q = vektor elemen gaya

5. Penggabungan Persamaan Elemen dan Penentuan Kondisi Batas

Pada tahap ini, elemen-elemen beserta persamaan kesetimbangan simpulnya digabung menjadi satu menjadi suatu persamaan global. Pada persamaan (2.24) diatas merupakan persamaan elemen, yang mana apabila persamaan untuk tiap-tiap elemen yang digabungkan menjadi satu disebut persamaan sistem global yakni,

$$[K][\theta] = [Q] \tag{2.25}$$

Dimana,

$[K]$ = Kekakuan Global

$[\theta]$ = Global Termal

$[Q]$ = Global *Force*

6. Menyelesaikan Persamaan Derajat Kebebasan Yang belum Diketahui

Pada tahap ini, harga dari besaran yang tidak diketahui pada matrik kekakuan global dapat diperoleh dengan menggunakan metode eliminasi dan iterasi.

7. Menentukan Regangan dan Tegangan Elemen

Pada analisa regangan dan tegangan dapat diperoleh dari tahap sebelumnya karena memuat persamaan *displacement*.

8. Interpretasi Hasil

Pada tahap ini dilakukan analisa pada bagian struktur yang paling rentan menerima beban. Analisa tersebut dapat berupa deformasi dan tegangan yang digambarkan dalam bentuk *graphis interface*.

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB III

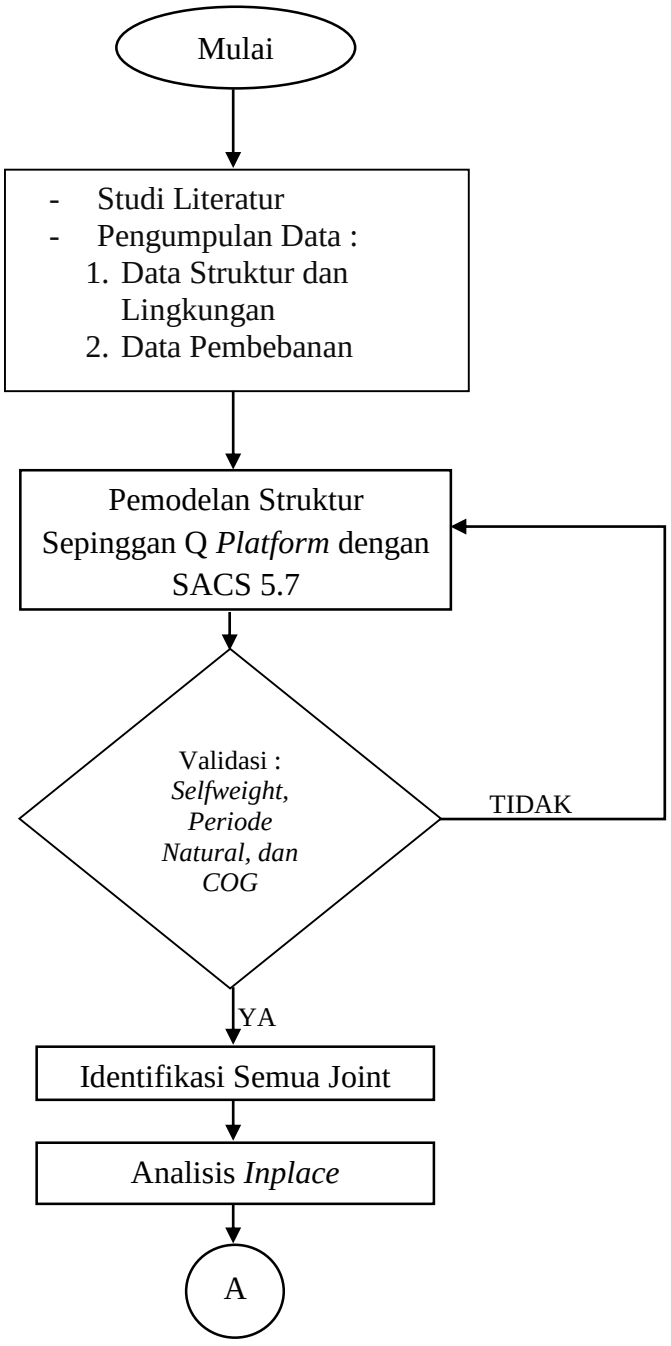
METODOLOGI PENELITIAN

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

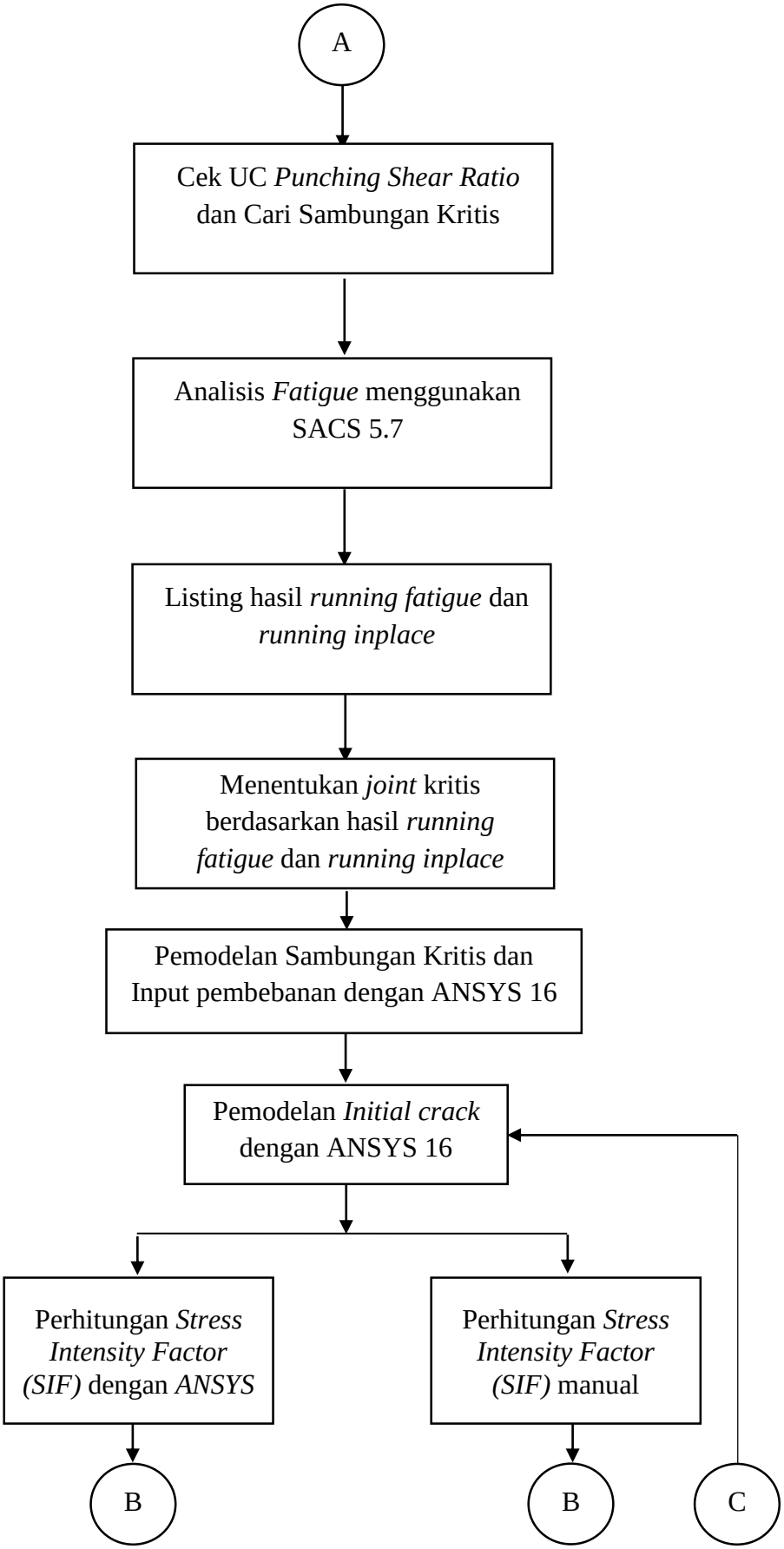
3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum

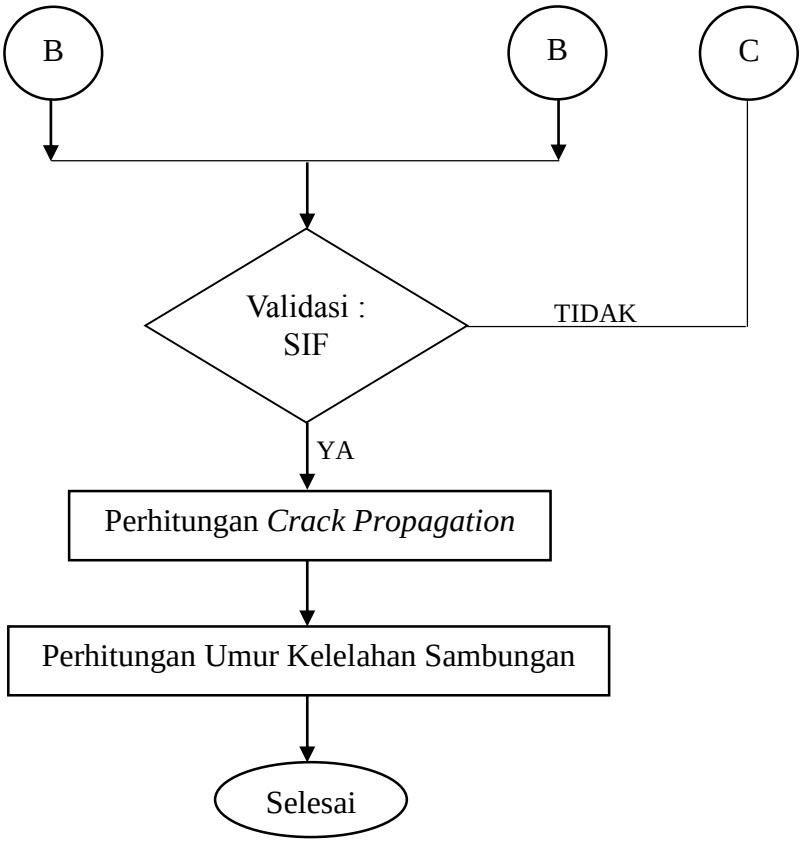
Gambar 3.1 adalah alur penelitain yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir secara umum.



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum

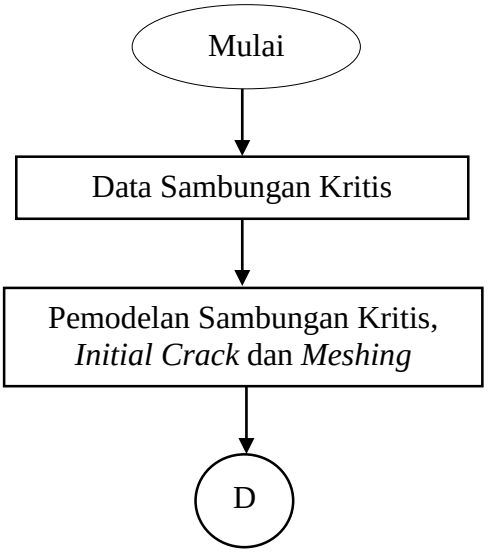


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum (lanjutan)

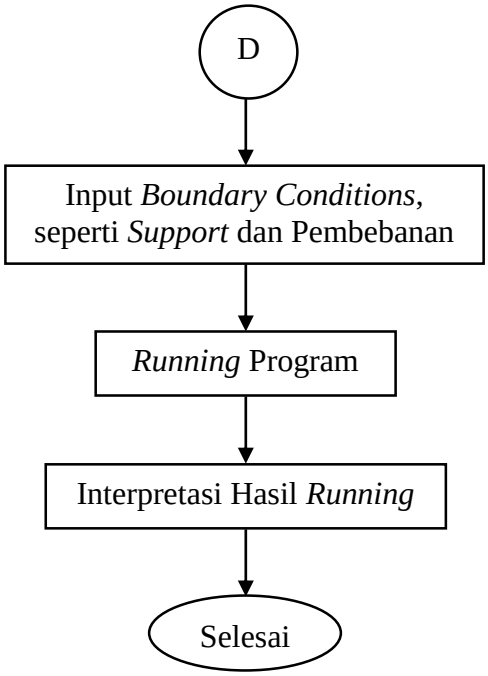


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum (lanjutan)

3.1.2 Diagram Alir Pemodelan Sambungan Tubular Menggunakan ANSYS 16.0



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan Menggunakan ANSYS 16.0



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemodelan Menggunakan ANSYS 16.0 (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Prosedur Pengerjaan Tugas Akhir Secara Umum

Prosedur penelitian yang digunakan untuk mengerjakan penelitian ini (Gambar3.1), adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur

   Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan – bahan referensi dan sumber teori – teori yang berkaitan dan diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir kali ini.

2. Pengumpulan data

   Data-data yang diperlukan adalah data struktur (*equipment*, geometri, *material properties*, dll), data-data lingkungan (kedalaman, pasang surut, gelombang, dll) pada struktur Sepinggan Q *platform*.

3. Pemodelan Sepinggan Q *platform* dengan bantuan SACS 5.7 dengan menggunakan *input* model pada *report*, data *drawing* dan pembebanan yang ada.

4. Validasi Struktur

   Pembuktian dengan menyamakan beberapa parameter seperti berat struktur, titik berat dan periode natural struktur Sepinggan Q *Platform* yang dimodelkan dengan struktur sesungguhnya. Validasi selalu dibutuhkan dalam tahap

pemodelan. Hal ini bertujuan untuk membuktikan bahwa struktur yang dimodelkan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya.

5. Identifikasi Semua *Joint.*

   Pendataan keseluruhan *joint* pada struktur Sepinggan Q *platform* agar memudahkan *input* yang dilakukan dalam analisa *inplace punching shear*.

6. Analisa *Inplace.*

   Analisa *Inplace* merupakan suatu analisa yang dilakukan untuk memastikan dan menentukan kondisi dari setiap *member* (*chord* dan *brace*) pada setiap pembebanan yang diterima di lokasi struktur tersebut diinstal.

7. Cek UC *Punching Shear Ratio* dan Cari Sambungan Kritis.

   Melakukan pengecekan UC *Punching Shear Ratio* untuk mendapatkan sambungan (*joint*) dengan nilai *Unity Check* tertinggi yang kemudian digunakan untuk analisa mekanika kepecahan.

8. Analisis *Fatigue*

   Analisis *Fatigue* dilakukan untuk menentukan letak *joint* kritis pada struktur yang akan dilakukan pemodelan retaknya dikarenakan tidak adanya data hasil inspeksi pada struktur Sepinggan Q *Platform*.

9. Listing hasil *running fatigue* dan *running inplace*

   Setelah *running fatigue* dan *running inplace* selesai dilakukan, dilakukan listing atau pengurutan mulai dari *joint* terkritis hingga teraman.

10. Menentukan *joint* kritis berdasarkan hasil *running fatigue* dan *running inplace*

    Joint kritis ditentukan berdasarkan nilai *fatigue damage* (hasil *running fatigue*) tertinggi dan nilai pembebanan diambil dari hasil analisa *inplace*.

11. Pemodelan Sambungan Kritis.

    Pemodelan dilakukan dan diberikan *input* pembebanan dengan *software* ANSYS 16 yang akan membantu perhitungan nantinya.

12. Pemodelan *Initial Crack.*

    Intial Crack pada sambungan kritis dilakukan dengan mengasumsikan retak menggunakan *code* ABS 2003 sebesar 0.5 mm.

13. Menghitung *Stress intensity factor*.

    Melakukan perhitungan faktor intensitas tegangan (SIF) dengan *software* dan manual untuk mengetahui niali intensitas tegangan pada daerah yang mengalami *initial crack*.

14. Validasi *Stress intensity factor*.

    Verifikasi untuk perbandingan hasil perhitungan secara manual dengan hasil permodelan dengan bantuan *software*.

15. Perhitungan *Crack Propagation*.

    Menghitung besarnya nilai perambatan retak pada sambungan dengan menggunakan diagram Paris (Hukum Paris-Erdogan) untuk mengetahui kecepatan perambatan setiap siklusnya.

16. Perhitungan Umur Kelelahan pada Sambungan.

    Melakukan perhitungan umur kelelahan pada sambungan *tubular* sebagai akibat adanya retak dengan laju perambatan retak tersebut.

3.2.2 Prosedur Pemodelan Menggunakan Software ANSYS 16.0

Untuk pemodelan sambungan menggunakan software ANSYS 16.0, langkah-langkah pengerjaannya (Gambar 3.2) sebagai berikut.

1. Pemodelan sambungan tubular secara lokal dilakukan dengan membuat geometri sambungan *tubular* yang ditinjau. Untuk membuat geometri sambungan *tubular* pada ANSYS 16.0, dibutuhkan *input* titik koordinat sesuai dengan posisi dari geometri sambungan yang ditinjau. Kemudian unit satuan yang digunakan dalam pemodelan harus konstan, agar mempermudah dan meningkatkan efisiensi waktu dalam pemodelan tanpa ada konversi unit satuan terlebih dahulu.
2. Setelah pemodelan geometri sambungan selesai, kemudian dibuat pemodelan las-lasan pada sambungan *tubular* yang ditinjau dan bentuk retak *semi-elliptical* pada *chord*.
3. Setelah model selesai dibuat, kemudian di-*input*-kan material dan properti dari sambungan tubular. Untuk material diberikan *input Modulus Young* (E), *Shear Modulus* (G), *Mass Density Damping* dan lain-lain sesuai dengan data material dari sambungan tubular yang ditinjau. Sedangkan properti akan di-*input*-kan jenis elemen.

4. Kemudian dilakukan *meshing* pada model *tubular joint*, dimana *meshing* pada sekitar area retak harus lebih halus daripada area yang lain agar diperoleh hasil yang lebih akurat.
5. Kemudian pemberian *boundary conditions*, seperti support dan pembebanan sesuai dengan hasil *running inplace punching shear* yang diperoleh dengan menggunakan *software* SACS 5.7.
6. Setelah semua langkah diatas selesai dilakukan, model *tubular joint* siap dianalisis. Analisis ini bertujuan untuk mendapakan tegangan kritis yang terjadi pada model *tubular joint* yang memiliki retak serta mendapatkan nilai SIF yang kemudian digunakan untuk analisa umur kelelahan struktur.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Struktur

Dalam Penelitian ini, objek studi yang digunakan adalah Sepinggan Q *Platform* yang dioperasikan oleh Chevron Indonesia Company, di "Sepinggan *Field*" selat Makassar. *Platfrom* yang berjenis *tetrapod* (empat kaki) ini berfungsi sebagai *living quarter platform.* Spesifikasi dari Sepinggan Q *platform* ini adalah sebagai berikut:

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

3.3.2 Data Lingkungan

Data lingkungan untuk struktur Sepinggan Q *Platform* didapatkan dari dokumen *General Specification Site Condition and Climate* – GES-EN-SPC-0007-0.

3.3.2.1 Data Muka Air Rata-Rata

Data muka air rata-rata untuk struktur Sepinggan Q *Platform* berdasarkan Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Data Muka Air Rata-Rata

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

3.3.2.2 Data Kecepatan Angin

Beban Angin dihitung sesuai dengan *codes* API RP-2A WSD. Referensi ketinggian untuk kecepatan angin adalah 33 ft di atas sea level. Data kecepatan angin sesuai Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data Angin

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

3.3.2.3 Data Gelombang

3.3.2.3.1 Data Desain Gelombang

Desain data gelombang untuk struktur Sepinggan Q *Platfrom* disajikan seperti Tabel 3.3. Teori gelombang yang digunakan dalam perhitungan adalah teori gelombang Stokes.

Tabel 3.3 Data Gelombang

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

3.3.2.3.2 Data Sebaran Gelombang

Data sebaran gelombang termasuk dalam studi *metocean* yang digunakan dalam analisa umur kelelahan struktur seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Data Sebaran Gelombang untuk Semua Tahun

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

3.3.2.4 Data Arus

Data arus yang terjadi pada struktur disajikan seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data Arus

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

3.3.2.5 Marine Growth

Data *marine growth* pada struktur Sepinggan Q *Platform* ditunjukkan seperti Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data *Marine Growth*

Elevation (-) ft	*Radial Growth*	*Radial Anode*
MHW to EL. -50'	3.0"	0.5"
EL. -50' to EL. -100'	2.0"	0.5"
EL. -100' to Mudline	1.0"	0.5"

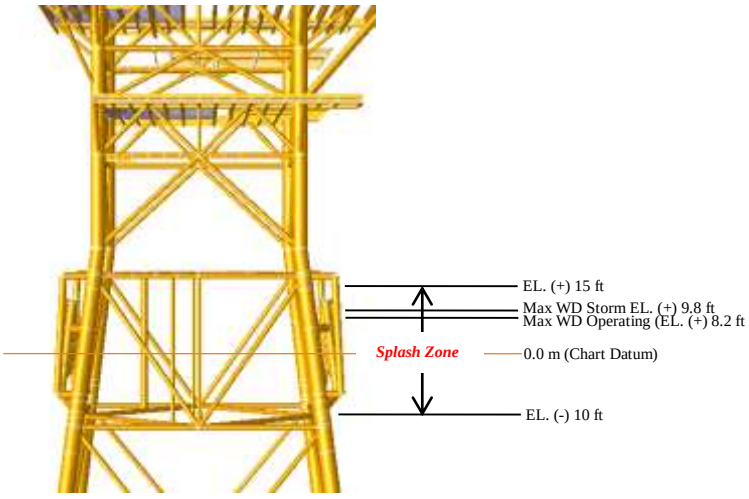
3.3.2.6 Koefisien Hidrodinamis

Data koefisien hidrodinamis sesuai *code* API RP-2A WSD seperti pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Data Koefisien Hidrodinamis

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

3.3.2.7 Splash Zone



Gambar 3.3 *Splash Zone*

Splash Zone pada Sepinggan Q *platform* (Gambar 3.3) terjadi pada elevasi EL (+) 6.38 m sampai dengan (-) 2.52 m dari MSL.

3.3.2.8 Data Tanah

Data tanah yang digunakan diambil berdasarkan *Offshore Geotechnical Investigation – Proposed Sepinggan Central Platform Site, Makasar Strait East Kalimantan,* Indonesia, 01475-123-076,Feb 1990. Data kapasitas *pile* disajikan sesuai Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Data Kapasitas *Pile*

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

3.3.2.9 Material

Kriteria material yang digunakan untuk struktur Sepinggan Q *Platform* seperti ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Kriteria Material

Parameter	*Value*	*Unit*
Material	API 5L Grade B	-
Yield Strength	35	ksi
Modulus Young	3×10^4	ksi
Poisson's Ratio	0.3	-
Fracture Toughness	165.8	ksi.√in

(halaman sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Sepinggan Q *Platform*

Pemodelan struktur Sepinggan Q *platform* menggunakan perangkat lunak SACS 5.7 dengan menggunakan data diatas, analisis *report* dan *drawing*. Perangkat lunak yang digunakan merupakan salah satu *software* struktur yang berbasis FEM (*Finite Element Method*). Gambar 4.1 adalah tampak *isometric* pada SACS 5.7 pemodelan struktur Sepinggan Q *platform.*

Gambar 4.1 Struktur Sepinggan Q *Platform*

4.2 Validasi Model

Validasi model struktur dilakukan untuk memeriksa kesesuaian antara pemodelan struktur dengan kondisi struktur asli di lapangan. Verifikasi yang dilakukan berupa komparasi *output* pemodelan struktur yang dimodelkan sendiri dengan o*utput* pemodelan struktur yang dilakukan perusahaan yang sudah tersaji dalam bentuk

report. Hasil dari validasi model memaparkan perbedaan atau selisih *error* dari beberapa parameter yang ditinjau antara lain nilai *selfweight*, periode natural dan titik berat antara struktur aslinya dengan hasil pemodelan struktur. Hasil komparasi *selftweight* model dengan *selfweight* report disajikan dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Komparasi *Selfweight* Model dan *Selfweight* Report

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

Nilai persentase selisih *selfweight* dan periode natural struktur seperti yang ditampilkan Tabel 4.1 masih memenuhi batas toleransi *error*, yakni 5%. Persentase selisih tersebut terjadi karena ketidaktelitian dalam pemodelan struktur berdasarkan data struktur yang sebenarnya.

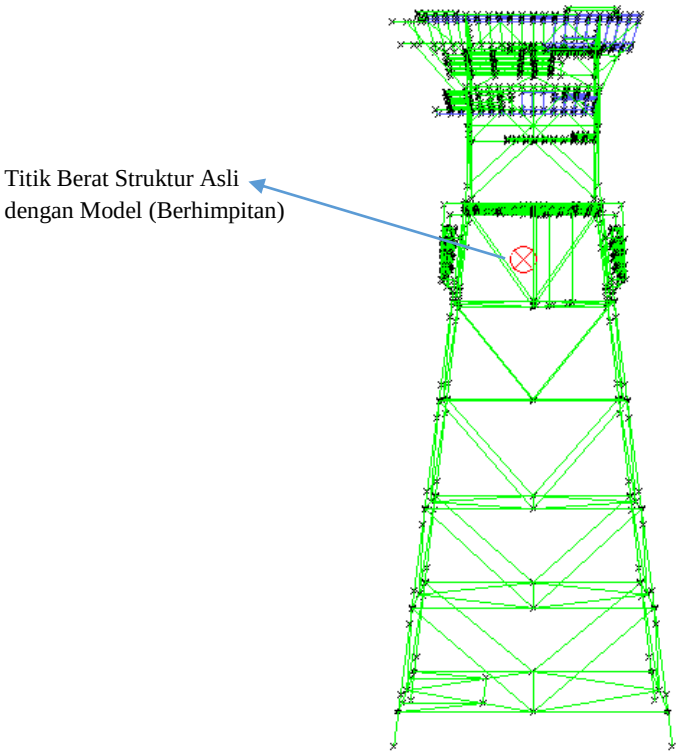
Kemudian dilakukan validasi titik berat struktur aslinya dengan hasil pemodelan. Hasil validasi titik berat struktur dapat disajikan dalam Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Hasil Validasi Titik Berat Struktur

	x	Y	z
REPORT	0.080	2.930	2.070
MODEL	0.078	2.927	2.071
***ERROR* (%)**	2.500	0.102	0.048

satuan x, y, z dalam ft

Dari Tabel 4.2 diatas dapat disimpulkan bahwa pemodelan struktur sudah hampir menyerupai struktur aslinya dengan nilai titik berat struktur yang hampir sama dan memenuhi batas *error*. Gambar 4.2 memperlihatkan perbedaan letak titik berat struktur asli dengan hasil pemodelannya.



Gambar 4.2 Letak Perbedaan Titik Berat Struktur

4.3 Penentuan Sambungan (*Joint*) Kritis

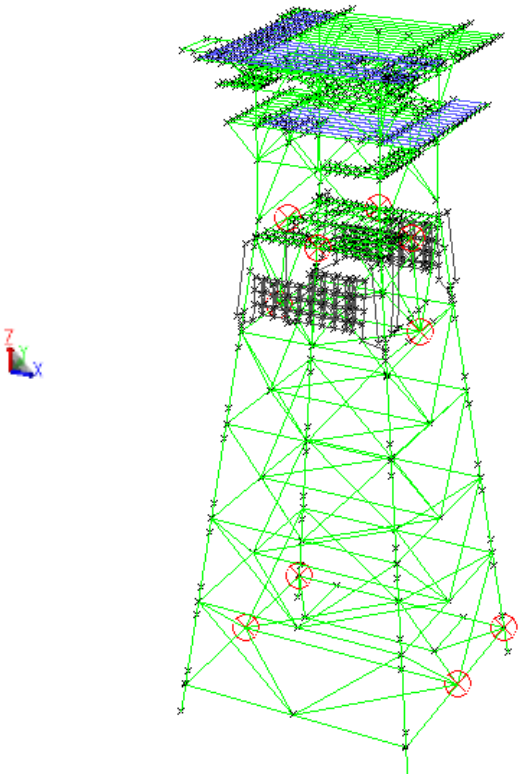
Dalam tugas akhir ini, sambungan (*joint*) kritis ditentukan berdasarkan hasil *running inplace* dan *running fatigue* pada struktur Sepinggan Q Platform.

4.3.1 Analisis *Inplace*

Analisis *Inplace* merupakan suatu analisa yang dilakukan untuk memastikan dan menentukan kondisi dari setiap *member* (*chord* dan *brace*) pada setiap pembebanan yang diterima di lokasi struktur tersebut diinstal. Analisis *inplace* dilakukan dengan mengkombinasikan seluruh beban yang ditopang struktur pada saat kondisi operasi. Analisis ini dilakukan dengan bantuan *software* SACS 5.7 untuk mendapat nilai dari UC (*unity check*) seluruh *joint* yang terdapat dalam struktur Sepinggan Q *Platform*. Nilai UC dari tiap-tiap *joint* nantinya dijadikan acuan penentuan *joint* kritis pada struktur. Tabel 4.3 dan Gambar 4.3adalah daftar dan letak 10 *unity check* tertinggi yang hasil *running inplace*.

Tabel 4.3 Daftar 10 *Unity Check* Tertinggi

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



Gambar 4.3 Letak 10 UC Tertinggi

4.3.2 Analisis *Fatigue*

Analisis *Fatigue* dilakukan dengan bantuan *software* SACS 5.7 untuk mendapatkan nilai *fatigue damage* dari tiap-tiap *joint* pada struktur. Nilai *fatigue damage* menyatakan *joint* yang mengalami *fatigue* sebelum dilakukan pemodelan retak pada *joint* tersebut.

Ringkasan hasil analisis *fatigue* berupa nilai *service life* dan *fatigue damage* dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Member dengan *Service Life* Terendah

JOINT	*SERVICE LIFE* (tahun)	*FATIGUE DAMAGE*
604	130.954	0.3055
601	1157.828	0.0345
603	1122.742	0.0356
602	118.148	0.3386
502	18.810	2.1266
504	32.800	1.2195
107L	301.416	0.1327
105L	417.537	0.0958
102	10691.230	0.0037
104	13709.560	0.0029

Dari tabel 4.4 didapatkan *joint* 502 memiliki nilai *service life* terendah dan memilki nilai *fatigue damage* tertinggi.

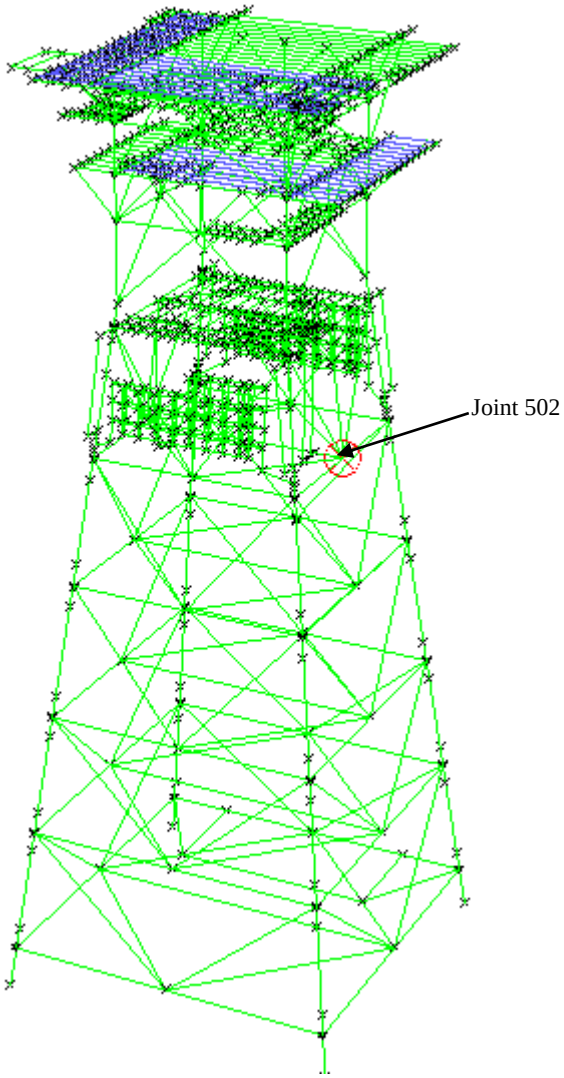
4.3.3 Menentukan Joint Terkritis

Dari analisis *fatigue* dapat ditentukan sambungan kritis pada struktur dengan ditunjukkan nilai *fatigue damage* tertinggi. Dari nilai tersebut dapat dikatakan bahwa *joint* yang memiliki nilai *fatigue damage* tertinggi mengalami beban siklis terbesar diantara *joint* lainnya. Kemudian *input* pembebanan pada *joint* terkritis dapat diambil dari analisis *inplace* dikarenakan hasil analisis *fatigue* berupa tegangan (*stress)* tidak dapat diinput secara langsung saat dilakukan pemodelan numerik. Penentuan joint terkritis untuk struktur Sepinggan Q *Platform* sesuai pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Penentuan Sambungan Terkritis

JOINT	ANALISIS INPLACE	ANALISIS FATIGUE	
	UNITY CHECK	SERVICE LIFE (YEARS)	FATIGUE DAMAGE
604	1.389	130.9537	0.3055
601	1.254	1157.828	0.0345
603	1.246	1122.742	0.0356
602	1.137	118.1484	0.3386
502	**0.903**	**18.80965**	**2.1266**
504	0.873	32.80037	1.2195
107L	0.834	301.4156	0.1327
105L	0.821	417.5374	0.0958
102	0.792	10691.23	0.0037
104	0.789	13709.56	0.0029

Berdasarkan Tabel 4.5 didapatkan sambungan kritis pada struktur Sepinggan Q Platform terletak pada *joint* 502. *Joint* 502 memilki nilai *fatigue damage* tertinggi dan juga terletak pada daerah *splash zone* (Gambar 4.4) yang langsung terkena hempasan/*slamming* fluktuasi ketinggian gelombang.



Gambar 4.4 Letak Sambungan Kritis

Dari nilai *fatigue damage* dapat diketahui jumlah siklus atau *cycle* yang terjadi dengan menggunakan persamaan 2.1 seperti berikut :

$$N = 2\ x\ 10^6 \left(\frac{\Delta\sigma}{\Delta\sigma_{ref}}\right)^{-m} \quad (4.1)$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, dilakukan perhitungan jumlah siklus dalam kurva S-N sebagai berikut.

$$N = 2\ x\ 10^6 \left(\frac{24}{79}\right)^{-3.74}$$

$$N = 1.69E + 08\ cycles$$

Kemudian jumlah siklus yang dialami *joint* 502 dapat dihitung menggunakan persamaan 2.2 seperti berikut :

$$D = \sum_{i=1}^{i} \frac{N_{applied_i}}{N_{resisted_i}} \quad (4.2)$$

Perhitungan jumlah siklus yang terjadi pada *joint* 502 dapat dijelaskan sebagai berikut.

$$D = \sum \left(\frac{n}{N}\right)$$

$$n = D\ x\ N$$

$$n = 2.12\ x\ 1.69E + 08$$

$$n = 3.58E + 08\ cycles$$

Jumlah siklus yang dialami oleh *joint* 502 adalah 3.58E+08 cycles. Dari nilai tersebut dapat dikonversi ke dalam satuan tahun denga menggunakan perhitungan berikut.

Fatigue life = n x T(periode gelombang) (4.3)

Fatigue life = 3.58E+08 x 7.7

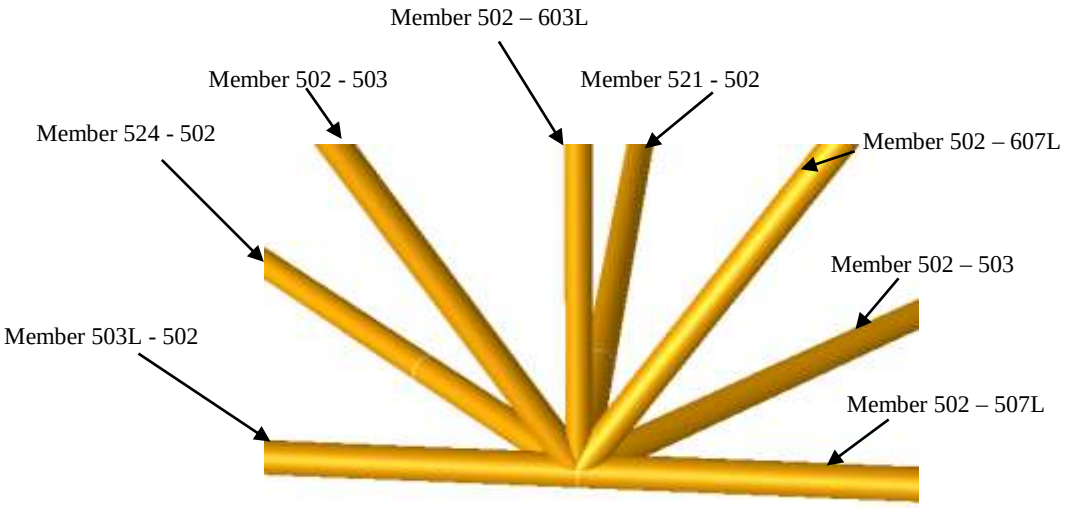
Fatigue life = 2.76E+09 detik.

Dengan nilai 1 tahun = 31536000 detik, maka nilai *fatigue life* pada *joint* 502 menggunakan pendekatan *cumulative damage* sebesar 87,5 tahun.

Gambar 4.5 merupakan geomteri sambungan kritis 502 yang termasuk tipe *multiplanar tubular joint*. Sedangkan ukuran geometri *joint* 502 disajikan seperti Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Geometri *Multiplanar Tubular Joint* 502

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

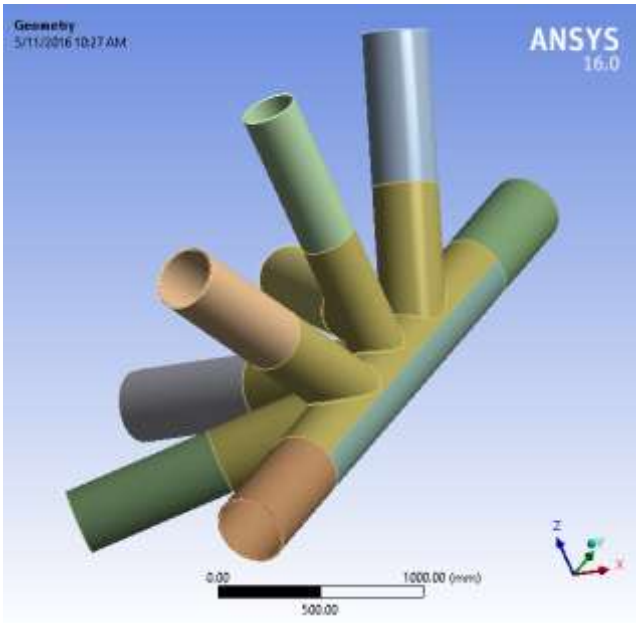


Gambar 4.5 Detail *Multiplanar Tubular Joint* 502

Kemudian sambungan kritis tersebut dilakukan pemodelan secara lokal yang digunakan untuk perhitungan umur kelelahan berdasarkan *initial crack* yang terjadi.

4.4 Pemodelan *Joint* 502

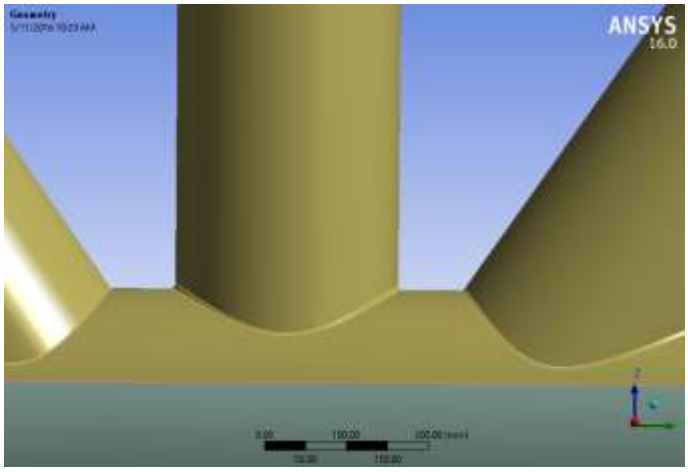
Dalam pemodelan *multiplanar tubular joint* 502 digunakan *solid element* secara menyeluruh dengan bantuan *software solid element*. Pemodelan dilakukan sesuai data yang ada pada pemodelan struktur secara global yang meliputi sudut kemiringan pada *brace* dan juga dilakukan pemodelan sambungan las antara sambungan *chord* dan *brace*. Dikarenakan keterbatasan kemampuan memori dari komputer yang digunakan sebagai media *running*, pemodelan *tubular joint* dijadikan lebih sederhana dengan memotong panjang tiap-tiap *element* sebesar 1-1,5 meter. Kemudian hasil pemodelan *solid element* di-*import* dalam format .igs agar bisa dilanjutkan analisis pada ANSYS. Hasil model pada ANSYS seperti Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pemodelan *Joint* 502 Menggunakan ANSYS

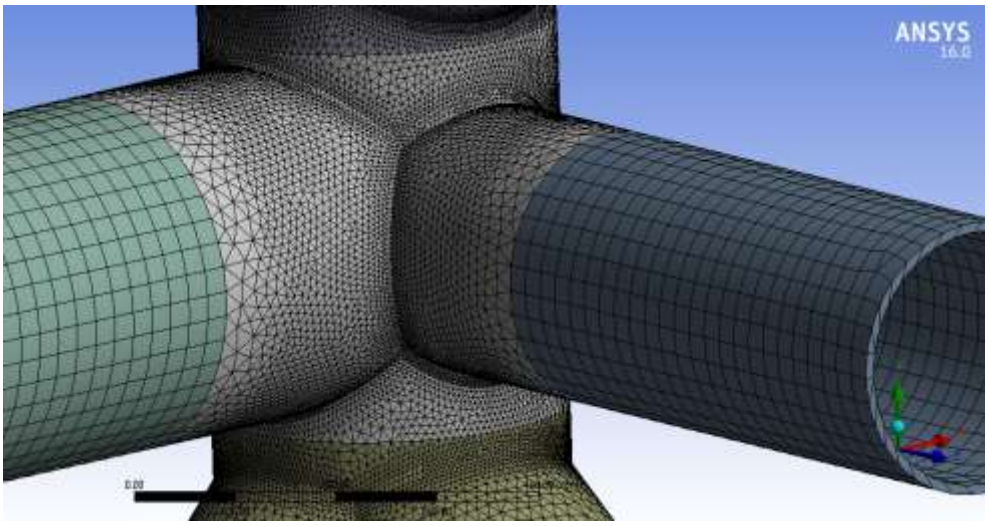
4.4.1 Meshing

Setelah di-*import* ke ANSYS dilakukan *meshing* pada model joint 502. Pada saat melakukan *meshing* bisa memilih dengan cara *default* atau otomatis, bisa juga dengan mengatur ukuran *meshing* pada *brace* maupun *chord*. Sambungan tubular disambung dengan jenis sambungan *fillet joint* berbentuk *charmfer* dengan ukuran 0.1875 inch berdasarkan *code* AWS D1.1 D1.1M-2010 pada setiap sisi sambungan *tubular*-nya seperi pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pemodelan Sambungan Las pada *Joint* 502

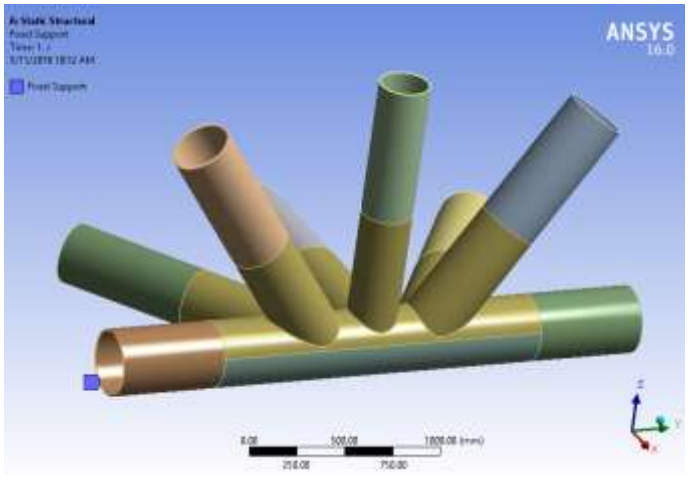
Pada daerah las-las diperlukan kerapatan *meshing* yang bagus agar hasil lebih terkonsentrasi pada daerah las-lasan tersebut seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Meshing* Sambungan Las pada *Joint* 502

4.4.2 Kondisi Batas dan Pembebanan pada *Joint* 502

Setelah pemodelan struktur selesai dibuat, tahapan selanjutnya adalah pemberian kondisi batas. Pemberian kondisi batas ini berupa tumpuan yang berada pada masing-masing ujung bagian *chord*. Kondisi batas yang diberikan, yakni *fixed support*.



Gambar 4.9 *Fixed Support* pada Ujung *Chord*

Pemberian kondisi batas seperti pada Gambar 4.9 dimaksudkan agar beban yang diberikan pada *tubular joint* dapat diketahui daerah terkritis pada *tubular joint* tersebut. Setelah kondisi batas diberikan, selanjutnya yakni pembebanan pada *joint* 502 baik pembebanan pada bagian *chord* maupun *brace*. Pembebanan didapatkan dari hasil *running inplace* berupa gaya dan momen pada ujung *chord* atau *brace*. Pembebanan yang diberikan adalah pembebanan maksimum dan minimum. Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 adalah daftar pembebanan pada pemodelan *multiplanar tubular joint* 502.

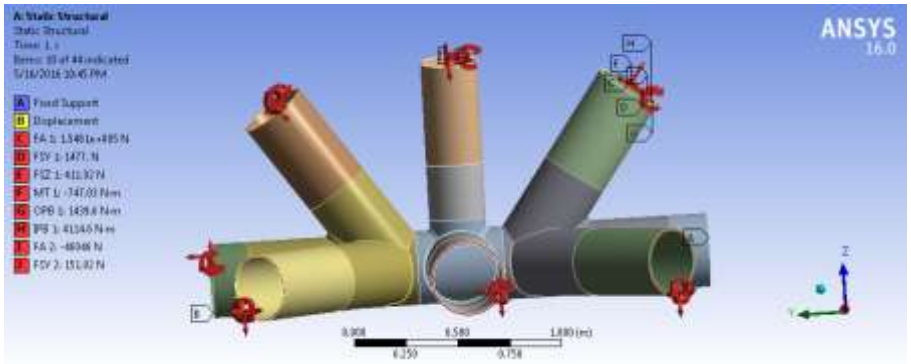
Tabel 4.7 Daftar Pembebanan Kondisi Maksimum pada *Multiplanar Tubular Joint* 502

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

Tabel 4.8 Daftar Pembebanan Kondisi Minimum pada *Multiplanar Tubular Joint* 502

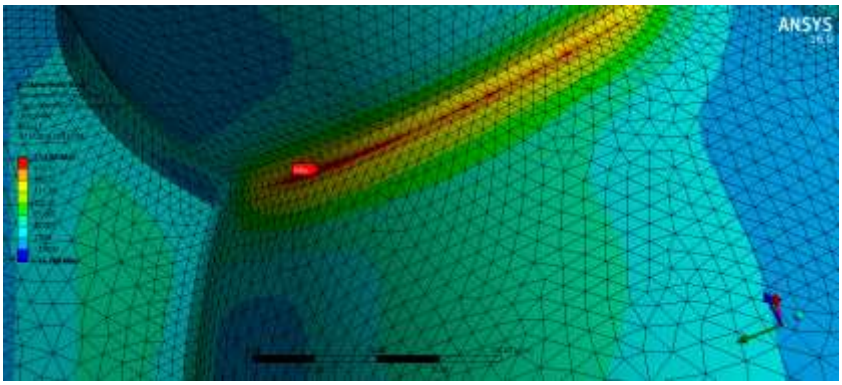
Member	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	kN	kN	kN	kN.m	kN.m	kN.m
502 - 603L	104.108	-1.094	0.835	-14.009	-15.539	112.957
502 - 602	-35.168	-0.086	-2.413	0.324	264.265	-2.178
502-607L	-44.671	1.393	-0.288	0.611	-32.132	-184.515
524-502	-6.554	0.642	-6.660	30.164	-355.799	16.372
502-503	8.555	1.282	-0.234	30.204	59.946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

Adapun ilustrasi pembebanan *joint* 502 pada ANSYS ditunjukkan seperti Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Ilustrasi Pembebanan pada *Multiplanar Tubular Joint* 502 dengan ANSYS 16.0

4.4.3 Analisis *Meshing Sensitivity*



Gambar 4.11 Hasil Analisis *Meshing Sensitivity* menggunakan ANSYS

Analisis *Meshing Sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan *output* dari pemodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Nilai pembebanan

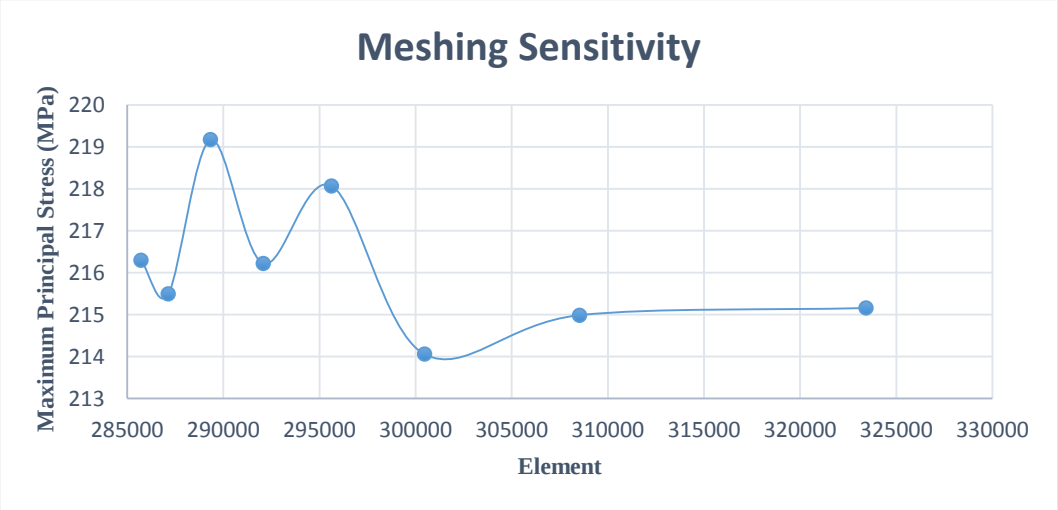
pada analisis ini sama namun penggunaan jumlah elemen divariasikan. Pada model sambungan tubular, jumlah elemen yang digunakan bervariasi dengan nilai pembebenan yang sama. Hasil analisis ini dapat disajikan dalam Gambar 4.11.

Hasil perbandigan antara ukuran elemen, jumlah elemen dan tegangan yang terjadi pada *multiplanar tubular joint* 502 dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Tabulasi Hasil Analisis *Meshing Sensitivity*

Element Size (mm)	Element	Maximum Principal Stress (MPa)
9	323425	215.16
10	**308528**	**214.99**
11	300461	214.06
12	295626	218.07
13	292069	216.22
14	289336	219.17
15	287137	215.50
16	285710	216.30

Kemudian dilakukan *ploting* hasil analisis *meshing sensitivity* seperti pada Grafik 4.1.



Grafik 4.1 Hasil Analisis *Meshing Sensitivity Joint* 502

Dari hasil *ploting*, nilai tegangan yang stabil hasil dari *running* ANSYS sebesar 214.99 MPa pada kisaran jumlah *element* sebanyak 308528 elemen.

4.5 Analisis SIF (*Stress Intensity Factor*)

Langkah selanjutnya adalah analisis SIF (*Stress Intensity Factor*). Nilai SIF dapat diketahui besarnya apabila terdapat retak pada sambungan *tubular* yang dikenai pembebanan dan perhitungan secara manual.

4.5.1 Perhitungan *Stress Intensity Factor* (SIF)

Sebelum melakukan *running* SIF pada ANSYS, terlebih dahulu dilakukan perhitungan SIF (*Stress Intensity Factor*) secara matematis atau manual. Dengan data geometri *crack* sebagai berikut:

a = 0.0005 m = 0.01969 in

a/2c = 0.15

t = 0.009525 m = 0.375 in

σ_{ys} = 240 MPa = 35 ksi (API 5L Grade B)

Perhitungan SIF ini dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.7 pada bab 2 :

$$K_I = 1.12\,\sigma\,\sqrt{\pi\frac{a}{Q}}\,.M_K \qquad (4.3)$$

Dimana nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai Gambar 4.2, dengan menghubungkan nilai a/2c dan σ/σ_{ys}.

$$M_K = 1.0 + 1.2\left(\frac{a}{t} - 0.5\right) \qquad (4.4)$$

Dimana: K_I = *Stress Intensity Factor*

Q = Faktor koreksi *front free surface*

M_K = Faktor koreksi *back free surface*

a = Panjang retak awal (*initial crack*)

t = Ketebalan dinding

σ = Tegangan utama

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

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

   Sesuai dengan aturan ABS 2003, data *initial crack* yang digunakan sebesar 0.5 mm atau 0.01969 in. Sedangkan nilai *crack length* (2c) didapatkan dari perhitungan berikut.

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

$$\frac{0.5}{2c} = 0.15$$

$$2c = \frac{0.0005}{0.15}$$

   Sehingga nilai *crack length* (2c) didapatkan sebesar 0.0033 m atau 0.1312 in.

b) Menentukan besarnya tegangan pada lokasi *crack* (σ)

   Besarnya tegangan ditentukan menggunakan *probe* atau penanda pada ANSYS yang diletakkan pada masing-masing titik atau *node* yang ditinjau. Titik yang ditinjau memiliki tegangan utama sebesar 140.05 MPa. (dapat dilihat pada Gambar 4.13)

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

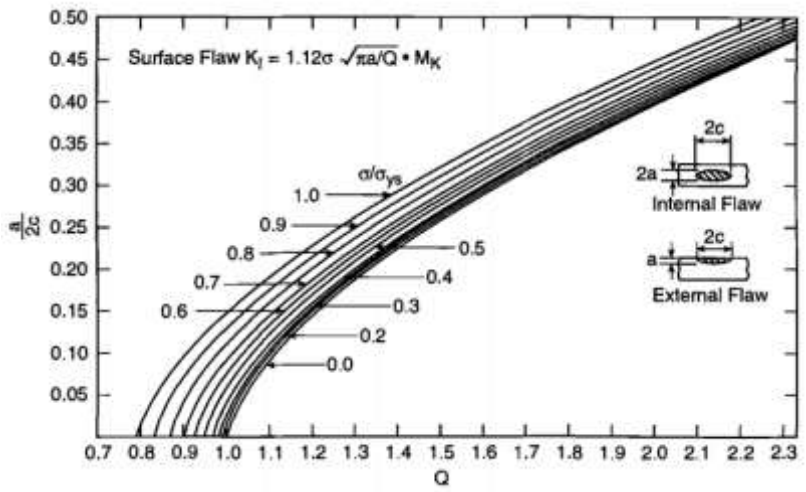
   Nilai Q dapat dicari menggunakan grafik sesuai Gambar 4.12, dengan menghubungkan nilai a/2c dan σ/σ_{ys}. Perhitungan nilai a/2c dan σ/σ_{ys} diselesaikan seperti berikut.

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

$$\frac{\sigma}{\sigma_{ys}} = \frac{140.05}{240}$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_{ys}} = 0.58$$

   Dari kedua nilai diatas dapat dihubungkan melaui perpotongan antar keduanya menggunakan grafik pada Gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Parameter-Parameter dalam Perhitungan SIF (Barsom dan Rolfe, 1987)

Dari perpotongan nilai a/2c dan σ/σ_{ys}, didapatkan nilai Q sebesar 1.22.

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

Nilai M_k bergantung pada rasio a/t. Apabila nilai a/t > 0.5 maka nilai M_k ditentukan berdasarkan persamaan $M_k = 1.0 + 1.2\ (a/t - 0.5)$. Jika tidak maka nilai M_k adalah 1. Berikut detail dari perhitungannya:

$$\frac{a}{t} = \frac{0.5}{9.525}$$

$$\frac{a}{t} = 0.05$$

Karena nilai a/t kurang dari 0.5, maka nilai M_k adalah 1.

Setelah menghitung parameter-parameter tersebut, selanjutnya perhitungan SIF dilakukan sebagai berikut.

$$K_I = 1.12\ \sigma \sqrt{\pi \frac{a}{Q}}\ .M_K \qquad (4.5)$$

$$K_I = 1.12\ (140{,}05) \sqrt{\pi \frac{0.0005}{0.58}}\ .1$$

$$K_I = 5.80\ MPa.\sqrt{m}$$

Dengan menggunakan cara yang sama, perhitungan parameter-parameter keretakan pada masing-masing *node* yang ditinjau disajikan sesuai Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.

Tabel 4.10 Parameter Retak pada Kondisi Pembebanan Minimum

Titik	σ_{min} (MPa)	σ_{ys} (MPa)	σ_{min}/σ_{ys}	Q	M_k
1	140.05	240	0.58	1.150	1
2	138.93		0.58	1.150	1
3	145.41		0.61	1.140	1
4	144.61		0.60	1.135	1
5	151.66		0.63	1.120	1

Tabel 4.11 Parameter Retak pada Kondisi Pembebanan Maksimum

Titik	σ_{max} (MPa)	σ_{ys} (MPa)	σ_{max}/σ_{ys}	Q	M_k
1	171.68	240	0.72	1.090	1
2	170.42		0.71	1.095	1
3	166.6		0.69	1.105	1
4	162.87		0.68	1.110	1
5	173.18		0.72	1.090	1

Kemudian perhitungan SIF dapat dilihat sesuai Tabel 4.12 dan Tabel 4.13.

Tabel 4.12 Nilai SIF Kondisi Pembebanan Minimum

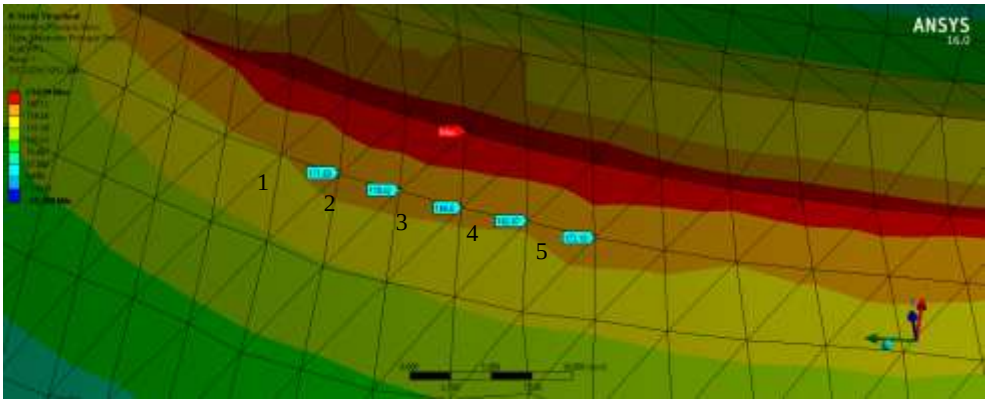
Titik	K_1 (MPa.$m^{0.5}$)
1	5.80
2	5.75
3	6.05
4	6.03
5	6.36

Tabel 4.13 Nilai SIF Kondisi Pembebanan Maksimum

Titik	K_1 (MPa.$m^{0.5}$)
1	7.30
2	7.23
3	7.04
4	6.86
5	7.36

4.5.2 Pemodelan Retak (*Crack*) pada *Joint* 502

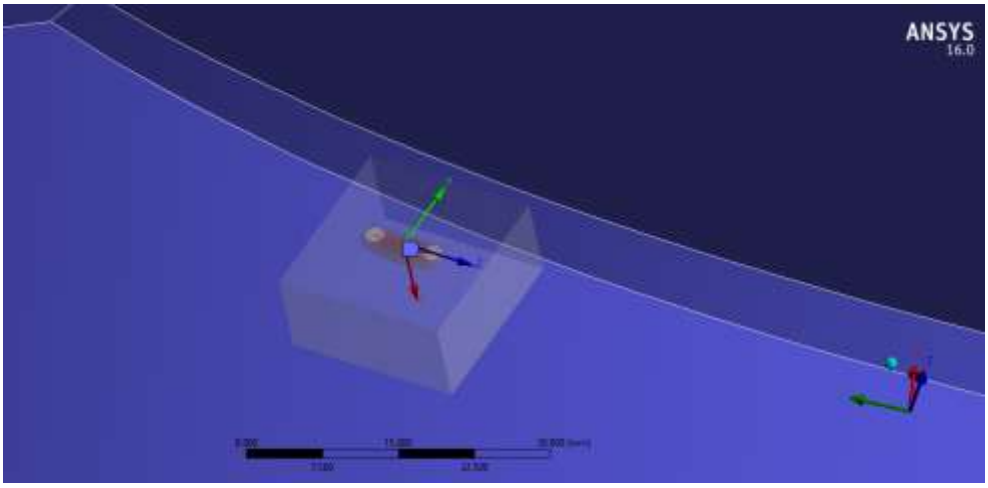
Pemodelan retak pada *joint* 502 berada pada lokasi dimana tegangan utama maksimum (*maximum principal stress*) tertinggi yang diperoleh dari analisis *meshing sensitivity* sebelumnya. Akan tetapi pemodelan retak pada titik maksimum tidak dapat dilakukan dikarenakan berada pada bagian *weld toe* dari *joint* 502, sehingga pemodelan retak dilakukan pada titik terdekat dari *weld toe* dengan nilai tegangan utama maksimum lebih rendah. Dalam hal ini dipilih 5 titik (*node*) terdekat dari posisi maksimum seperti pada Gambar 4.13.



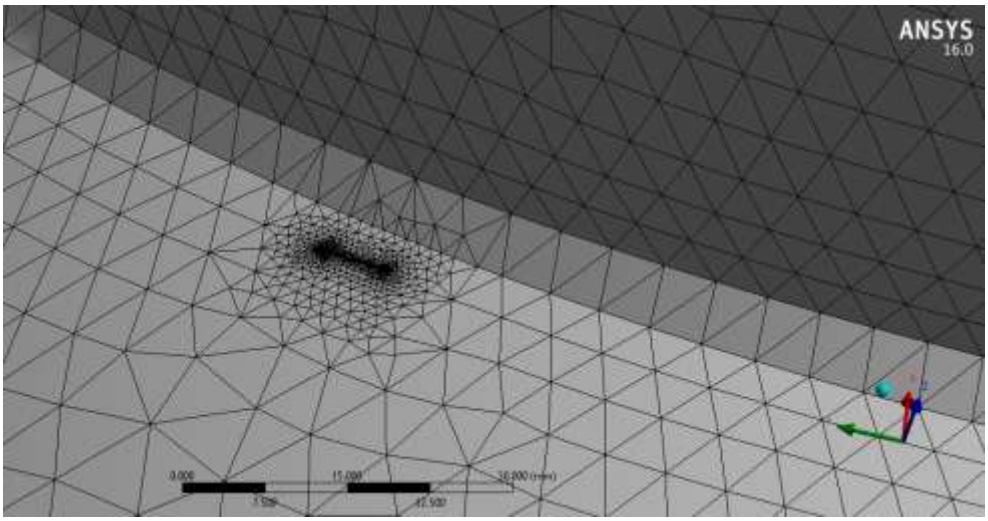
Gambar 4.13 *Node* yang Ditinjau untuk Posisi *Crack*

Selanjutnya dilakukan pemodelan retak pada 5 titik tersebut secara bergantian. Geometri kedalaman *initial crack* (a) pada *multiplananar tubular joint* 502 berdasarkan aturan ABS "*Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structures"* tahun 2003 sebesar 0.5 mm dan perbandingan *crack depth* (a) dengan *crack length* (2c) menggunakan asumsi sebesar 0.15. Sehingga nilai *crack length* yang diinputkan sebesar 3.33 mm yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya.

Pemodelan retak ditunjukkan seperti Gambar 4.14. Setelah itu, dilakukan *meshing* ulang pada model *joint* 502 untuk mengetahui apakah pemodelan retaknya sudah berada pada posisi yang benar. *Meshing* dilakukan sebanyak 2 kali antara lain, *meshing* pertama dilakukan persis seperti *meshing* sebelumnya dan *meshing* kedua yakni *meshing fracture* yang akan memunculkan model *crack* yang sesuai dengan input yang sudah diberikan sebelumnya. Kemudian dapat dilihat sesuai Gambar 4.15, hasil *meshing fracture* yang terlihat lebih rapat dan halus daripada daerah lainnya pada model.



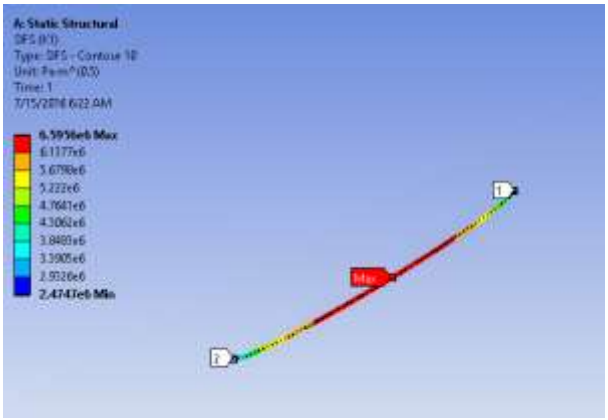
Gambar 4.14 Model *Surface Crack*



Gambar 4.15 *Meshing Surface Crack*

4.5.3 *Running* SIF

Setelah pemodelan *crack* sudah berada pada posisi yang benar, dapat dilakukan *running* pada ANSYS untuk mendapatkan nilai SIF pada masing-masing titik (*node*). Nilai SIF yang dihasilkan merupakan nilai SIF dari Mode 1 yang mempertimbangkan beban tarik aksial dalam reaksi *opening mode* pada retak yang terjadi. Nilai SIF yang dihasilkan *surface crack* dapat disajikan sesuai Gambar 4.16.



Gambar 4.16 SIF S*urface Crack*

4.5.4 Validasi SIF

Validasi hasil SIF dari ANSYS dengan hasil SIF dari perhitungan manual dilakukan untuk mengetahui selisih atau *error* yang terjadi tidak signifikan sehingga nilai SIF dapat digunakan untuk analisis selanjutnya. Untuk perhitungan *error*-nya menggunakan persamaan 4.6 berikut.

$$Error = \left|\frac{K_{1software} - K_{1manual}}{K_{1software}}\right| x\ 100\ \% \qquad (4.6)$$

Hasil validasi atau perhitungan *error* masing-masing titik pada kondisi pembebanan minimum dan maksimum disajikan dalam Tabel 4.14 dan Tabel 4.15 berikut.

Tabel 4.14 Validasi SIF Kondisi Pembebanan Minimum

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

Tabel 4.15 Validasi SIF Kondisi Pembebanan Maksimum

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

Dari kedua tabel diatas dapat disimpulkan bahwa titik 1, 2, dan titik 3 hanya memenuhi batas *error* hanya saat kondisi pembebanan minimum sedangkan titik 4 memiliki nilai SIF yang memenuhi batas *error* baik kondisi pembebanan maksimum maupun pembebanan minimum. Sehingga titik 4 dipilih sebagai letak *crack* yang terjadi pada *multiplanar tubular joint* 502.

4.6 Perhitungan *Crack Propagation Rate*

4.6.1 Perhitungan *Range Stress Intensity Factor* (ΔK_1)

Range Stress Intensity Factor (ΔK) didapat dari selisih nilai K. Berdasarkan hukum Paris-Erdogan, nilai ΔK didapat dari selisih nilai K saat pembebanan maksimum dengan nilai K saat pembebanan minimum. Nilai ΔK_1 yang didapatkan adalah sebesar 0.84 MPa.√m.

4.6.2 Parameter Keretakan

Untuk mencari kecepatan rambat retak (da/dN) dibutuhkan parameter keretakan (C dan m) berdasarkan jenis materialnya. Nilai C dan m tiap material didapatkan secara empiris menggunakan data yang didapatkan dari tes kelelahan. Jenis material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja *ferrite-pearlite* yang memiliki nilai C dan m adalah 3.6×10^{-10} dan 3.0.

4.6.3 Laju Perambatan Retak (*Crack Propagation Rate*)

Untuk menghitung laju perambatan retak digunakan persamaan 4.7 berikut.

$$\frac{da}{dN} = 3{,}6 \times 10^{-10}(\Delta K_I)^{3{,}0} \qquad (4.7)$$

Sehingga dengan menggunakan nilai *range* SIF (ΔK_I) sebesar 0.84 MPa√m atau 0.76 ksi.√in dari selisih antara SIF maksimum dan minimum yang telah didapatkan sebelumnya maka diperoleh kecepatan perambatannya (da/dN) sebesar 1.59E-10 in/cycle.

4.7 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur

4.7.1 Penentuan Kedalam Retak Kritis (a_{cr})

Kedalaman retak kritis (a_{cr}) didapatkan dengan menggunakan persamaan pada bab sebelumnya dimana parameter yang digunakan nilai *fracture toughness* (K_{IC}) dan tegangan maksimum. Nilai *fracture toughness* didapat dari hasil pengujian material baja yang dalam tugas akhir ini tidak dilakukan. Nilai *fracture toughness* dalam

tugas akhir ini berasal dari sebuah jurnal "**In-Situ Measurement of Tensile and Fracture Toughness Properties and Determination of Pipe Grade Using the Innovative ABI Test**" dengan jenis material pipa yang sama dalam tugas akhir ini yaitu API 5L Grade B dengan besar nilai *fracture toughness* 182.19 MPa√m atau 165.8 ksi√in. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai a_{cr} sebesar 8.756 in. Nilai a_{cr} ini sudah melebihi ketebalan dinding *tubular joint* 502 sehingga nilai a_{cr} yang digunakan hanya mencapai ketebalan dinding *tubular joint* 502 dengan perubahan *inceremental* sebesar 0,0005 m atau 0,02 in. Nilai a_{cr} yang dipakai adalah 0,0095 m atau 0.374 in.

4.7.2 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur

Setelah mendapatkan semua nilai parameter keretakan yaitu ΔK_1, C dan m, selanjutnya dilakukan perhitungan sisa umur kelelahannya. Dari persamaan pada bab 2 untuk menghitung umur kelelahan sampai retak mencapai ketebalan *tubular*, maka digunakan perhitungan dengan cara meng-*incremental*-kan pertambahan retak. Dalam tugas akhir ini besar tiap *incremental*-nya yaitu 0,0005 meter atau 0,02 in. Untuk perhitungan umur kelelahan struktur lebih jelasnya seperti pada Tabel 4.16.

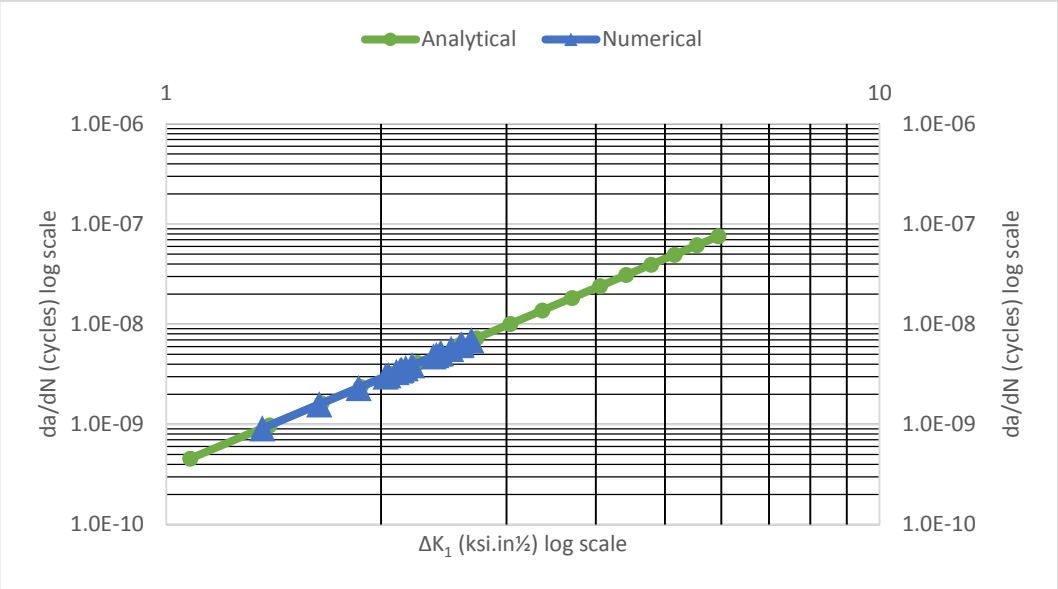
Tabel 4.16 Perhitungan Umur Kelelahan Struktur

a_0 (in)	a_f (in)	a_{avg} (in)	ΔK_1 (ksi.in½)		ANALYTICAL			NUMERICAL		
			ANALYTICAL	NUMERICAL	ΔN	∑N	N(tahun)	ΔN	∑N	N(tahun)
0.0197	0.0394	0.0295	1.081	1.364	43251266	43251266	10.56	21570905	21570905	5.27
0.0394	0.0591	0.0492	1.396	1.640	20101372	63352638	15.47	12401127	33972031	8.29
0.0591	0.0787	0.0689	1.652	1.861	12134829	75487467	18.43	8485251	42457282	10.37
0.0787	0.0984	0.0886	1.873	2.049	8323710	83811177	20.46	6352630	48809912	11.92
0.0984	0.1181	0.1083	2.071	2.029	6160156	89971333	21.97	6546176	55356088	13.52
0.1181	0.1378	0.1280	2.251	2.102	4794747	94766079	23.14	5884708	61240796	14.95
0.1378	0.1575	0.1476	2.418	2.137	3868511	98634590	24.08	5602995	66843791	16.32
0.1575	0.1772	0.1673	2.574	2.128	3206323	1.02E+08	24.87	5674387	72518177	17.71
0.1772	0.1969	0.1870	2.721	2.167	2713628	1.05E+08	25.53	5373498	77891675	19.02
0.1969	0.2165	0.2067	3.037	2.211	1952960	1.07E+08	26.01	5059034	82950709	20.25
0.2165	0.2362	0.2264	3.366	2.371	1433229	1.08E+08	26.36	4102411	87053119	21.26
0.2362	0.2559	0.2461	3.706	2.392	1073935	1.09E+08	26.62	3995308	91048427	22.23
0.2559	0.2756	0.2657	4.056	2.508	819397.7	1.1E+08	26.82	3466181	94514608	23.08
0.2756	0.2953	0.2854	4.415	2.597	635194.5	1.1E+08	26.97	3121892	97636500	23.84
0.2953	0.3150	0.3051	4.784	2.677	499373	1.11E+08	27.09	2850288	1E+08	24.54
0.3150	0.3346	0.3248	5.162	2.586	397550.6	1.11E+08	27.19	3161901	1.04E+08	25.31
0.3346	0.3543	0.3445	5.549	2.428	320077.2	1.12E+08	27.27	3820828	1.07E+08	26.24
0.3543	0.3740	0.3642	5.944	2.423	260339.5	1.12E+08	27.33	3842539	1.11E+08	27.18

Dari tabel diatas didapatkan besarnya umur kelelahan struktur pada metode analitis dan numerik secara berturut-turut adalah 27.33 tahun dan 27.18 tahun. Sehingga

apabila hasil keduanya dijadikan sebagai perbandingan, maka nilai selisih antar keduanya adalah 0,567 %.

Hubungan dari nilai ΔK dengan laju perambatan retak (da/dN) dapat dijelaskan pada Grafik 4.2 sebagai berikut:



Grafik 4.2 Hubungan ΔK_1 dengan da/dN

Dari Grafik 4.2, kedua metode memiliki *trend* kurva yang sama dan menunjukkan bahwa hubungan antara laju perambatan retak dengan range SIF sesuai dengan Hukum Paris-Erdogan dan artinya laju perambatan retak berada pada region II.

4.7.3 Perbandingan Umur Kelelahan Struktur

Nilai umur kelelahan struktur antara metode *cumulative damage* dengan metode *fracture mechanics* dapat dijelaskan seperti Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Perbandingan Umur Kelelahan Struktur

METHOD	*FRACTURE MECHANICS*	*CUMULATIVE DAMAGE*	SELISIH
N (tahun)	87.5	27.3	60.2

Dari Tabel 4.17 dapat dikatakan bahwa nilai umur kelelahan struktur dengan metode *cumulative damage* lebih besar daripada metode *fracture mechanics*. Hal ini dikarenakan pada metode *cumulative damage* pengaruh perilaku retak tidak diperhitungkan.

(halaman sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

HASIL RUNNING ANALISIS *INPLACE* DAN *FATIGUE*

I. HASIL RUNNING INPLACE

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

JOINT	ORIGINAL DIAMETER (IN)	ORIGINAL THICKNESS (IN)	ORIGINAL YLD STRS (KSI)	ORIGINAL UC	DESIGN DIAMETER (IN)	DESIGN THICKNESS (IN)	DESIGN YLD STRS (KSI)	DESIGN UC
2005	36.000	0.625	36.000	3.294	36.000	0.625	36.000	3.294
2007	36.000	0.625	36.000	2.814	36.000	0.625	36.000	2.814
2001	36.000	0.625	36.000	1.840	36.000	0.625	36.000	1.840
604	12.750	0.375	35.000	1.387	12.750	0.375	35.000	1.387
3005	36.000	0.625	36.000	1.364	36.000	0.625	36.000	1.364
2003	36.000	0.625	36.000	1.333	36.000	0.625	36.000	1.333
601	12.750	0.375	35.000	1.255	12.750	0.375	35.000	1.255
603	12.750	0.375	35.000	1.249	12.750	0.375	35.000	1.249
3007	36.000	0.625	36.000	1.159	36.000	0.625	36.000	1.159
602	12.750	0.375	35.000	1.141	12.750	0.375	35.000	1.141
502	14.000	0.375	35.000	0.918	14.000	0.375	35.000	0.918
504	14.000	0.375	35.000	0.886	14.000	0.375	35.000	0.886
107L	39.500	0.750	36.000	0.834	39.500	0.750	36.000	0.834
3003	36.000	0.625	36.000	0.830	36.000	0.625	36.000	0.830
3006	14.000	0.375	36.000	0.828	14.000	0.375	36.000	0.828
105L	39.500	0.750	36.000	0.822	39.500	0.750	36.000	0.822
102	24.000	0.375	35.000	0.792	24.000	0.375	35.000	0.792
104	24.000	0.375	35.000	0.789	24.000	0.375	35.000	0.789
3001	36.000	0.625	36.000	0.765	36.000	0.625	36.000	0.765
402	16.000	0.375	35.000	0.758	16.000	0.375	35.000	0.758
103L	39.500	0.750	36.000	0.757	39.500	0.750	36.000	0.757
404	16.000	0.375	35.000	0.753	16.000	0.375	35.000	0.753
101L	39.500	0.750	36.000	0.744	39.500	0.750	36.000	0.744
501	12.750	0.375	35.000	0.690	12.750	0.375	35.000	0.690
302	18.000	0.375	35.000	0.682	18.000	0.375	35.000	0.682
304	18.000	0.375	35.000	0.679	18.000	0.375	35.000	0.679
1007	36.000	0.625	36.000	0.627	36.000	0.625	36.000	0.627
4006	10.750	0.365	35.000	0.620	10.750	0.365	35.000	0.620
503	12.750	0.375	35.000	0.599	12.750	0.375	35.000	0.599
110	18.000	0.375	35.000	0.590	18.000	0.375	35.000	0.590
109	18.000	0.375	35.000	0.590	18.000	0.375	35.000	0.590
202	20.000	0.375	35.000	0.587	20.000	0.375	35.000	0.587
204	20.000	0.375	35.000	0.585	20.000	0.375	35.000	0.585
1001	36.000	0.625	36.000	0.514	36.000	0.625	36.000	0.514
1005	36.000	0.625	36.000	0.496	36.000	0.625	36.000	0.496
3002	14.000	0.375	36.000	0.490	14.000	0.375	36.000	0.490
4010	10.750	0.365	35.000	0.430	10.750	0.365	35.000	0.430
607L	40.000	1.000	36.000	0.416	40.000	1.000	36.000	0.416
1003	36.000	0.625	36.000	0.411	36.000	0.625	36.000	0.411
605L	40.000	1.000	36.000	0.375	40.000	1.000	36.000	0.375
401	12.750	0.375	35.000	0.366	12.750	0.375	35.000	0.366
403	12.750	0.375	35.000	0.350	12.750	0.375	35.000	0.350
507L	39.500	0.750	36.000	0.349	39.500	0.750	36.000	0.349
503L	39.500	0.750	36.000	0.345	39.500	0.750	36.000	0.345
501L	39.500	0.750	36.000	0.343	39.500	0.750	36.000	0.343
505L	39.500	0.750	36.000	0.343	39.500	0.750	36.000	0.343
301	14.000	0.375	35.000	0.325	14.000	0.375	35.000	0.325
303	14.000	0.375	35.000	0.316	14.000	0.375	35.000	0.316
103	18.000	0.375	35.000	0.305	18.000	0.375	35.000	0.305
201	16.000	0.375	35.000	0.299	16.000	0.375	35.000	0.299
203	16.000	0.375	35.000	0.294	16.000	0.375	35.000	0.294
101	18.000	0.375	35.000	0.290	18.000	0.375	35.000	0.290
1011	14.000	1.000	36.000	0.284	14.000	1.000	36.000	0.284
601L	40.000	1.000	36.000	0.278	40.000	1.000	36.000	0.278
603L	40.000	1.000	36.000	0.275	40.000	1.000	36.000	0.275
407L	39.500	0.750	36.000	0.264	39.500	0.750	36.000	0.264
405L	39.500	0.750	36.000	0.264	39.500	0.750	36.000	0.264
403L	39.500	0.750	36.000	0.257	39.500	0.750	36.000	0.257
401L	39.500	0.750	36.000	0.257	39.500	0.750	36.000	0.257
207L	39.500	0.750	36.000	0.257	39.500	0.750	36.000	0.257
205L	39.500	0.750	36.000	0.256	39.500	0.750	36.000	0.256
307L	39.500	0.750	36.000	0.232	39.500	0.750	36.000	0.232
305L	39.500	0.750	36.000	0.231	39.500	0.750	36.000	0.231
1010	14.000	1.000	36.000	0.224	14.000	1.000	36.000	0.224
303L	39.500	0.750	36.000	0.218	39.500	0.750	36.000	0.218
301L	39.500	0.750	36.000	0.217	39.500	0.750	36.000	0.217
203L	39.500	0.750	36.000	0.173	39.500	0.750	36.000	0.173
201L	39.500	0.750	36.000	0.172	39.500	0.750	36.000	0.172
1009	14.000	1.000	36.000	0.136	14.000	1.000	36.000	0.136
4004	10.750	0.365	35.000	0.132	10.750	0.365	35.000	0.132
1008	14.000	1.000	36.000	0.083	14.000	1.000	36.000	0.083
4009	10.750	0.365	35.000	0.065	10.750	0.365	35.000	0.065
106	18.000	0.375	35.000	0.061	18.000	0.375	35.000	0.061
108	18.000	0.375	35.000	0.060	18.000	0.375	35.000	0.060

II. HASIL RUNNING FATIGUE

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

(DAMAGE ORDER)

JOINT	MEMBER	GRUP ID	TYPE ID	ORIGINAL OD (IN)	ORIGINAL WT (IN)	JNT TYP	MEM TYP	CHORD LEN. (FT)	GAP (IN)	STRESS CONC. FACTORS AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	FATIGUE RESULTS DAMAGE	LOC	SVC LIFE
REQUIRED OD (IN)	REQUIRED WT (IN)															
502	521- 502	H51	TUB	14.00	0.375	TK	BRC	24.73	-18.03	4.22	3.89	3.08	9.50	.0440930	L	907.1732
502	502-507L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.73		7.65	5.65	4.09	17.13	.5897831	L	67.82154
502	502- 503	H52	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	25.09	-18.03	4.11	3.27	3.20	6.63	.36326-3	L	110113.6
502	502-507L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	25.09		7.62	6.66	3.43	12.28	.82844-2	L	4828.380
502	524- 502	H52	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	25.09	-18.03	4.22	3.38	3.22	6.62	.59260-3	R	67499.60
502	503L- 502	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	25.09		7.58	6.64	3.45	12.27	.0131618	R	3039.091
502	502-603L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.91	-16.54	4.03	3.83	3.30	9.45	.2065727	L	193.6364
502	503L- 502	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.91		6.73	6.19	3.91	16.05	2.126568	L	18.80965
502	502-607L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.91	-16.54	4.04	3.84	3.31	9.38	.1927234	L	207.5513
502	502-507L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.91		6.78	6.24	3.92	16.00	1.917043	R	20.86547
502	502- 602	V52	TUB	10.75	0.375	TK	BRC	24.73	-16.54	4.10	4.50	3.58	14.83	.1238279	R	323.0290
502	502-507L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.73		6.30	6.54	5.11	19.83	.6979275	R	57.31255
504	504- 521	H51	TUB	14.00	0.375	TK	BRC	24.55	-18.03	4.27	3.91	3.08	9.37	.49200-2	R	8130.128
504	504-505L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.55		7.86	5.70	4.09	16.98	.0785186	R	509.4333
504	504- 503	H52	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.73	-18.03	4.08	3.26	3.21	6.62	.52048-3	L	76852.33
504	504-505L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.73		7.56	6.64	3.43	12.26	.0108612	R	3682.825
504	520- 504	H52	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.73	-18.03	4.19	3.38	3.23	6.61	.16029-2	L	24955.40
504	501L- 504	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.73		7.55	6.63	3.45	12.27	.0362163	L	1104.475
504	504-601L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.64	-16.54	4.40	4.13	3.29	8.19	.0879065	R	455.0288
504	501L- 504	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.64		7.98	7.22	3.90	14.84	1.182317	R	33.83189
504	504-605L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.64	-16.54	4.42	4.14	3.29	8.14	.0881445	R	453.8002
504	504-505L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.64		8.04	7.26	3.90	14.79	1.219499	L	32.80037
504	504- 604	V52	TUB	10.75	0.375	TK	BRC	24.55	-16.54	4.07	4.37	3.59	14.96	.1014010	L	394.4733
504	504-505L	H51	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	24.55		6.15	6.33	5.12	19.87	.5044508	L	79.29416
602	602- 663	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	12.71	-18.03	3.37	2.74	3.15	4.57	.25091-5	L	15942.+3
602	602-607L	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	12.71		5.77	3.55	3.14	8.77	.59777-4	L	669151.0
602	649- 602	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	12.61	-18.03	3.66	3.77	3.11	7.16	.43951-5	R	9101087.
602	602-607L	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	12.61		6.73	5.48	4.05	13.74	.11324-3	R	353225.1
602	694- 602	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	12.71	-18.03	3.15	2.56	3.17	4.63	.51408-4	L	778082.1
602	641- 602	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	12.71		5.59	3.52	3.15	8.88	.13003-2	L	30761.36
602	502- 602	V52	TUB	10.75	0.375	T	BRC	12.61		3.80	8.49	2.91	8.45	.0189324	L	2112.783
602	602-607L	H61	TUB	12.75	0.375	T	CHD	12.61		9.47	13.54	4.09	15.34	.3385572	L	118.1484
604	604- 772	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	15.34	-18.03	3.65	3.60	3.15	7.74	.96845-5	L	4130290.
604	604- 700	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	15.34		5.97	5.09	4.08	14.86	.25016-3	L	159899.2
604	604- 777	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	15.39	-18.03	3.39	2.76	3.21	5.06	.67960-6	R	58858.+3
604	604- 700	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	15.39		5.33	3.43	3.18	9.72	.15441-4	R	2590506.
604	768- 604	H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	15.39	-18.03	3.04	2.55	3.22	5.27	.44248-5	R	9039934.
604	678- 604	H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	15.39		4.82	3.34	3.18	10.11	.11066-3	R	361452.0
604	504- 604	V52	TUB	10.75	0.375	T	BRC	15.34		4.41	8.63	2.91	8.45	.0163485	R	2446.708
604	604- 700	H61	TUB	12.75	0.375	T	CHD	15.34		10.99	13.54	4.09	15.34	.3054516	R	130.9537
501	501- 520	H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	24.97	-5.28	5.29	2.87	3.07	4.04	.14885-3	TR	268719.5
501	501L- 501	H52	TUB	12.75	0.375	K	CHD	24.97		9.58	3.71	3.08	7.76	.29241-2	R	13679.59
501	501- 524	H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	24.97	-5.28	5.09	2.70	3.07	4.06	.63577-4	TL	629159.4
501	501-503L	H52	TUB	12.75	0.375	K	CHD	24.97		9.47	3.70	3.08	7.79	.10599-2	L	37740.55
501	501-601L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.82	-17.41	4.77	3.24	3.09	6.08	.0126422	R	3164.013
501	501L- 501	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.82		8.70	4.25	3.47	11.41	.1618530	R	247.1378
501	501-603L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.82	-17.41	4.79	3.25	3.09	6.04	.0170869	R	2340.981
501	501-503L	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.82		8.78	4.26	3.47	11.34	.2419685	R	165.3108
501	501- 601	V52	TUB	10.75	0.375	TK	BRC	24.67	-17.41	3.85	4.06	3.36	11.73	.0140489	R	2847.207
501	501-503L	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.67		6.21	5.99	4.63	19.61	.2102136	R	190.2827
503	502- 503	H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	24.97	-5.28	5.06	2.70	3.08	4.06	.63928-4	R	625707.6
503	503-507L	H52	TUB	12.75	0.375	K	CHD	24.97		9.41	3.69	3.09	7.80	.14318-2	R	27937.24
503	504- 503	H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	24.97	-5.28	5.23	2.86	3.08	4.06	.34919-4	L	1145522.
503	505L- 503	H52	TUB	12.75	0.375	K	CHD	24.97		9.43	3.70	3.09	7.80	.90651-3	L	44125.41
503	503-605L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.82	-17.41	4.90	3.26	3.09	5.81	.0198866	R	2011.405
503	505L- 503	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.82		9.08	4.30	3.47	11.01	.2026819	R	197.3536
503	503-607L	V51	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	24.82	-17.41	4.89	3.26	3.10	5.80	.0182348	R	2193.613
503	503-507L	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.82		9.07	4.30	3.47	11.02	.1919272	R	208.4123
503	503- 603	V52	TUB	10.75	0.375	TK	BRC	24.67	-17.41	4.07	4.48	3.36	11.31	.0145452	L	2750.052
503	503-507L	H52	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	24.67		7.05	6.63	4.63	19.25	.2152351	L	185.8433
4009	3006-4009	D41	TUB	10.75	0.365	T	BRC	14.33		5.48	4.15	2.54	5.02	.27598-2	B	14493.87
4009	3005-4009	D41	TUB	10.75	0.365	T	CHD	14.33		13.78	6.17	3.43	9.57	.2061306	B	194.0517
107L	102-107L	H11	TUB	24.00	0.375	Y	BRC	20.35		2.50	11.53	3.28	10.22	.0214734	L	1862.766
107L	107L- 187	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.35		2.96	13.21	3.31	11.57	.0531830	L	752.1198
107L	106-107L	H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.35		2.50	11.78	3.51	9.13	.0580018	L	689.6339
107L	107L- 187	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.35		3.03	13.33	3.48	9.49	.1327071	L	301.4156
107L	110-107L	H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.35		2.50	11.59	3.50	9.03	.45922-7	L	87103.+4
107L	107L- 187	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.35		3.03	13.19	3.47	9.38	.78878-7	L	50711.+4
105L	104-105L	H11	TUB	24.00	0.375	Y	BRC	20.33		2.50	11.53	3.28	10.22	.0170603	R	2344.624
105L	105L- 185	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.33		2.96	13.21	3.31	11.57	.0422724	R	946.2446
105L	109-105L	H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.33		2.50	11.59	3.50	9.03	.39834-7	R	10042.+5
105L	105L- 185	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.33		3.03	13.19	3.47	9.38	.68819-7	R	58124.+4
105L	105L- 108	H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.33		2.50	11.78	3.51	9.13	.0418133	R	956.6344
105L	105L- 185	LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.33		3.03	13.33	3.48	9.49	.0957998	R	417.5374

2007	2007-3006 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.46	5.02	11.08	.0130039	R	3076.009
2007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.42	20.00	8.95	20.00	.0822914	R	486.0776
2007	2007-3008 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.60	5.02	11.03	.22467-2	L	17803.76
2007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.35	20.00	8.95	19.95	.0147507	L	2711.736
2007	2007-4272 D32	TUB	16.00	0.375	Y	BRC	10.62			2.50	4.60	3.29	4.89	.93174-5	R	4293063.
2007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			3.13	8.06	3.24	5.59	.24559-4	R	1628724.
2005	2005-3006 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.46	5.02	11.08	.0108641	L	3681.837
2005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.42	20.00	8.95	20.00	.0702977	L	569.0085
2005	2005-3009 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.61	5.02	11.03	.22997-2	R	17393.34
2005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.34	20.00	8.95	19.94	.0153674	R	2602.907
2005	2005-4270 D32	TUB	16.00	0.375	Y	BRC	10.62			2.50	4.64	3.29	4.87	.89543-5	L	4467152.
2005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			3.11	8.15	3.24	5.58	.25890-4	L	1544985.
101L	101L- 104 H11	TUB	24.00	0.375	Y	BRC	20.33			2.50	11.53	3.28	10.22	.0109742	L	3644.914
101L	101L- 181 LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.33			2.96	13.21	3.31	11.57	.0271723	L	1472.087
101L	101L- 101 H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.33			2.50	11.78	3.51	9.13	.0294534	R	1358.078
101L	101L- 181 LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.33			3.03	13.33	3.48	9.49	.0681801	R	586.6816
103L	103L- 102 H11	TUB	24.00	0.375	Y	BRC	20.35			2.50	11.53	3.28	10.22	.90043-2	R	4442.307
103L	103L- 183 LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.35			2.96	13.21	3.31	11.57	.0222786	R	1795.442
103L	101-103L H12	TUB	18.00	0.375	Y	BRC	20.35			2.50	11.78	3.51	9.13	.0222472	L	1797.975
103L	103L- 183 LC1	TUB	39.50	0.750	Y	CHD	20.35			3.03	13.33	3.48	9.49	.0514676	L	777.1880
4010	3007-4010 D41	TUB	10.75	0.365	T	BRC	14.33			5.48	4.15	2.54	5.02	.37741-3	B	105985.3
4010	3006-4010 D41	TUB	10.75	0.365	T	CHD	14.33			13.78	6.17	3.43	9.57	.0376000	B	1063.829
603	658- 603 H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	3.40	-11.91		2.52	2.52	3.28	2.55	.80745-7	L	49538.+4
603	603- 651 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.40			3.67	3.27	3.23	4.51	.11054-5	L	36185.+3
603	690- 603 H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	3.40	-11.91		2.77	2.77	3.32	2.57	.43447-7	L	92067.+4
603	762- 603 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.40			3.64	3.31	3.26	4.56	.49565-6	L	80703.+3
603	737- 603 H63	TUB	6.62	0.280	TK	BRC	3.30	-11.91		4.32	4.94	3.41	9.92	.35600-5	L	11236.+3
603	603- 651 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.30			4.93	5.90	4.30	12.99	.13458-4	L	2972193.
603	503- 603 V52	TUB	10.75	0.375	T	BRC	3.30			2.50	6.53	2.91	6.57	.18067-2	R	22139.22
603	603- 651 H61	TUB	12.75	0.375	T	CHD	3.30			4.30	11.66	4.09	11.94	.0356271	R	1122.742
505L	504-505L H51	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.25	5.63		4.89	7.65	3.52	7.89	.0238986	L	1673.735
505L	505L- 575 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			5.21	7.91	3.40	7.74	.0348141	L	1148.961
505L	505L- 503 H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		4.65	8.13	3.48	7.34	.0152403	R	2624.622
505L	505L- 575 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			4.91	8.30	3.32	7.08	.0190547	R	2099.220
505L	403-505L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		3.26	4.84	3.17	4.81	.63180-2	R	6331.130
505L	486-505L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.81	5.82	2.65	4.64	.0138941	R	2878.922
505L	404-505L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	5.63		3.40	4.69	3.17	5.03	.55544-2	R	7201.436
505L	486-505L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.92	5.56	2.65	4.86	.0135865	R	2944.109
601	601- 611 H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	3.62	-9.67		2.54	2.54	3.19	2.55	.71955-7	R	55590.+4
601	601- 605 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.62			4.00	3.46	3.16	4.84	.13633-5	R	29341.+3
601	601- 675 H61	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	3.62	-9.67		2.74	2.74	3.18	2.55	.17379-6	L	23016.+4
601	664- 601 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.62			3.92	3.40	3.16	4.87	.34715-5	L	11522.+3
601	601- 676 H65	TUB	3.50	0.216	TK	BRC	3.40	-9.67		4.77	5.39	2.74	14.99	.25768-5	R	15523.+3
601	601- 605 H61	TUB	12.75	0.375	TK	CHD	3.40			4.32	5.05	2.84	14.91	.24342-5	R	16433.+3
601	501- 601 V52	TUB	10.75	0.375	T	BRC	3.40			2.50	6.66	2.91	6.68	.17535-2	L	22812.05
601	601- 605 H61	TUB	12.75	0.375	T	CHD	3.40			4.36	11.86	4.09	12.14	.0345474	L	1157.828
2003	2003-3002 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	6.10			2.50	9.54	5.02	10.56	.44126-3	L	90649.16
2003	2003-2993 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	6.10			8.89	20.00	8.95	19.53	.84987-2	L	4706.612
2003	2003-3008 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	6.10			2.50	9.54	5.02	10.56	.14269-2	R	28032.12
2003	2003-2993 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	6.10			8.89	20.00	8.95	19.53	.0280773	R	1424.637
507L	502-507L H51	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.25	5.63		4.88	7.67	3.52	7.89	.0188811	R	2118.521
507L	507L- 577 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			5.21	7.93	3.40	7.74	.0273499	R	1462.531
507L	503-507L H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		4.65	8.14	3.48	7.34	.0178924	L	2235.583
507L	507L- 577 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			4.90	8.31	3.32	7.08	.0221471	L	1806.109
507L	402-507L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	5.63		3.40	4.70	3.17	5.03	.54687-2	L	7314.402
507L	488-507L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.92	5.57	2.65	4.86	.0134561	L	2972.628
507L	403-507L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		3.24	4.87	3.17	4.79	.63807-2	L	6268.949
507L	488-507L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.80	5.87	2.65	4.62	.0138895	L	2879.864
503L	503L- 502 H51	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.25	5.63		4.89	7.67	3.52	7.89	.0183983	L	2174.113
503L	503L- 573 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			5.21	7.92	3.40	7.74	.0268978	L	1487.110
503L	501-503L H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		4.65	8.13	3.48	7.34	.73493-2	R	5442.701
503L	503L- 573 LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			4.91	8.30	3.32	7.08	.99460-2	R	4021.710
503L	401-503L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26		3.24	4.87	3.17	4.79	.12837-2	R	31160.01
503L	484-503L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.80	5.86	2.65	4.62	.30861-2	L	12961.50
503L	402-503L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	5.63		3.41	4.68	3.17	5.04	.72563-2	R	5512.437
503L	484-503L LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25			3.92	5.54	2.65	4.87	.0176212	R	2269.994
402	404- 402 H41	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	28.40	-18.03		4.48	4.26	3.16	10.89	.37916-4	R	1054959.
402	402-407L H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	28.40			8.51	6.44	4.27	18.58	.21793-3	R	183543.0
402	401- 402 H42	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	28.67	-18.03		3.96	4.23	3.46	8.34	.98920-6	R	40437.+3
402	403L- 402 H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	28.67			7.51	8.87	4.03	14.45	.15533-4	R	2575168.
402	402- 403 H42	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	28.67	-18.03		3.91	4.18	3.46	8.34	.91538-6	L	43698.+3
402	402-407L H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	28.67			7.48	8.82	4.04	14.47	.14179-4	L	2821088.
402	402-503L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.57	-3.48		3.83	4.35	3.66	9.35	.19927-2	TR	20073.27
402	403L- 402 H41	TUB	16.00	0.375	K	CHD	28.57			6.76	7.94	4.51	16.82	.0146624	R	2728.073
402	402-507L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.57	-3.48		3.70	4.22	3.66	9.35	.25656-2	L	15591.20
402	402-407L H41	TUB	16.00	0.375	K	CHD	28.57			6.75	7.92	4.51	16.83	.0265040	L	1509.204
2001	2001-3002 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.46	5.02	11.08	.13619-2	R	29371.26
2001	2001-3001 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.42	20.00	8.95	20.00	.89805-2	R	4454.083
2001	2001-3009 D31	TUB	12.75	1.000	Y	BRC	10.62			2.50	12.46	5.02	11.08	.31311-2	L	12774.87
2001	2001-3001 DL3	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62			9.42	20.00	8.95	20.00	.0205812	L	1943.521
404	404- 402 H41	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	28.67	-18.03		4.48	4.25	3.16	10.93	.40123-4	L	996936.1
404	404-405L H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	28.67			8.48	6.42	4.27	18.62	.23630-3	L	169279.6
404	401- 404 H42	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	29.21	-18.03		3.99	4.23	3.46	8.34	.13352-5	L	29959.+3
404	401L- 404 H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	29.21			7.56	8.89	4.04	14.46	.21455-4	L	1864346.
404	404- 403 H42	TUB	12.75	0.375	TK	BRC	29.21	-18.03		3.95	4.19	3.46	8.35	.96902-6	L	41279.+3
404	404-405L H41	TUB	16.00	0.375	TK	CHD	29.21			7.54	8.86	4.04	14.47	.11566-4	R	3458307.
404	404-501L V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	29.02	-3.48		3.85	4.36	3.66	9.34	.22012-2	TL	18171.68

404	401L- 404	H41	TUB	16.00	0.375	K	CHD	29.02		6.82	7.98	4.51	16.81	.0167202	L	2392.320
404	404-505L	V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	29.02	-3.48	3.73	4.23	3.66	9.35	.18721-2	R	21366.21
404	404-405L	H41	TUB	16.00	0.375	K	CHD	29.02		6.79	7.94	4.51	16.83	.0190352	R	2101.365
501L	501L- 504	H51	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.25	5.63	4.89	7.65	3.52	7.89	.0116576	R	3431.237
501L	501L- 571	LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25		5.22	7.91	3.40	7.74	.0170213	R	2349.992
501L	501L- 501	H52	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26	4.66	8.11	3.48	7.34	.60161-2	L	6648.855
501L	501L- 571	LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25		4.92	8.27	3.32	7.08	.80775-2	L	4952.026
501L	401-501L	V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	6.26	3.24	4.87	3.17	4.79	.14947-2	L	26760.48
501L	482-501L	LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25		3.80	5.87	2.65	4.62	.36980-2	L	10816.80
501L	404-501L	V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	30.25	5.63	3.40	4.69	3.17	5.04	.55748-2	L	7175.084
501L	482-501L	LC5	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.25		3.92	5.54	2.65	4.86	.0139200	L	2873.564
1007	1007-2055	D21	TUB	10.75	0.365	Y	BRC	14.32		2.58	6.31	3.38	4.77	.60065-6	L	66595.+3
1007	1007-2007	DL2	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	14.32		3.64	9.57	3.24	4.97	.13452-5	L	29736.+3
1007	1007-2086	D21	TUB	10.75	0.365	K	BRC	14.32	3.79	3.44	4.92	3.30	7.09	.16195-2	TR	24698.31
1007	1007-2007	DL2	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		4.37	6.76	3.10	7.38	.28459-2	TR	14055.34
1007	1007-2040	D23	TUB	12.75	0.375	K	BRC	14.32	2.36	3.66	4.41	3.38	9.66	.37714-3	L	106060.2
1007	1007-2007	DL2	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		4.51	5.79	3.31	10.52	.79593-3	L	50255.44
1007	1009-1007	SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	3.79	6.08	17.96	5.35	14.57	.50693-2	R	7890.666
1007	807-1007	DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.42	19.52	9.96	20.00	.0149526	TR	2675.111
1007	1027-1007	SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	2.36	6.42	17.03	5.35	14.49	.14323-2	L	27926.19
1007	807-1007	DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.40	18.72	9.96	20.00	.41282-2	TL	9689.416
4004	3002-4004	D41	TUB	10.75	0.365	T	BRC	14.33		5.48	4.15	2.54	5.02	.18216-3	B	219585.7
4004	3001-4004	D41	TUB	10.75	0.365	T	CHD	14.33		13.78	6.17	3.43	9.57	.0141999	B	2816.923
1005	1005-2020	D21	TUB	10.75	0.365	Y	BRC	14.32		2.58	5.41	3.28	4.26	.78862-6	R	50721.+3
1005	1005-2005	DL2	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	14.32		3.66	8.45	3.08	4.44	.13802-5	R	28982.+3
1005	1005-2084	D21	TUB	10.75	0.365	K	BRC	14.32	3.79	3.44	4.92	3.30	7.09	.12859-2	TL	31107.41
1005	1005-2005	DL2	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		4.37	6.76	3.10	7.38	.23000-2	TL	17391.01
1005	1005-2029	D23	TUB	12.75	0.375	K	BRC	14.32	2.36	3.68	4.39	3.38	9.73	.26517-3	R	150845.8
1005	1005-2005	DL2	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		4.53	5.75	3.31	10.59	.55868-3	R	71596.88
1005	1005-1009	SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	3.79	6.16	17.91	5.35	14.57	.41444-2	L	9651.583
1005	805-1005	DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.49	19.51	9.96	20.00	.0130675	TL	3061.029
1005	1011-1005	SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	2.36	6.31	17.12	5.35	14.50	.11411-2	R	35054.65
1005	805-1005	DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.33	18.76	9.96	20.00	.33234-2	TR	12035.73
202	204- 202	H21	TUB	20.00	0.375	TK	BRC	36.83	-22.63	4.94	5.04	3.26	12.30	.36743-5	R	10886.+3
202	202-207L	H21	TUB	20.00	0.375	TK	CHD	36.83		10.59	8.00	4.53	19.09	.10121-4	R	3952171.
202	201- 202	H22	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	37.88	-22.63	4.08	4.97	3.41	10.21	.67507-7	R	59253.+4
202	203L- 202	H21	TUB	20.00	0.375	TK	CHD	37.88		8.27	10.65	4.42	16.93	.98849-6	R	40466.+3
202	202- 203	H22	TUB	16.00	0.375	TK	BRC	37.88	-22.63	4.03	4.91	3.41	10.24	.55441-7	L	72148.+4
202	202-207L	H21	TUB	20.00	0.375	TK	CHD	37.88		8.23	10.58	4.42	16.96	.78432-6	L	50999.+3
202	202-303L	V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	38.10	1.18	3.81	4.42	3.33	8.99	.47898-3	TR	83511.16
202	203L- 202	H21	TUB	20.00	0.375	K	CHD	38.10		7.25	8.81	4.30	15.58	.78496-2	TR	5095.806
202	202-307L	V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	38.10	1.18	3.81	4.41	3.33	9.00	.62917-3	L	63576.24
202	202-207L	H21	TUB	20.00	0.375	K	CHD	38.10		7.24	8.78	4.30	15.59	.0106121	L	3769.293
302	304- 302	H31	TUB	18.00	0.375	TK	BRC	32.91	-19.80	4.81	4.69	3.22	11.42	.11153-4	R	3586580.
302	302-307L	H31	TUB	18.00	0.375	TK	CHD	32.91		9.89	7.30	4.42	18.65	.33752-4	R	1185127.
302	301- 302	H32	TUB	14.00	0.375	TK	BRC	33.68	-19.80	4.03	4.71	3.50	9.43	.15901-6	R	25156.+4
302	303L- 302	H31	TUB	18.00	0.375	TK	CHD	33.68		7.86	9.93	4.32	15.80	.24022-5	R	16652.+3
302	302- 303	H32	TUB	14.00	0.375	TK	BRC	33.68	-19.80	3.98	4.66	3.50	9.45	.10667-6	L	37499.+4
302	302-307L	H31	TUB	18.00	0.375	TK	CHD	33.68		7.82	9.86	4.32	15.84	.14953-5	L	26750.+3
302	302-403L	V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.50	-2.88	3.68	4.26	3.75	9.96	.77911-3	TR	51340.64
302	303L- 302	H31	TUB	18.00	0.375	K	CHD	33.50		6.59	7.91	4.77	17.86	.64748-2	TR	6177.834
302	302-407L	V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.50	-2.88	3.60	4.17	3.75	9.97	.94713-3	L	42232.71
302	302-307L	H31	TUB	18.00	0.375	K	CHD	33.50		6.57	7.87	4.78	17.88	.0104792	L	3817.102
607L	602-607L	H61	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.82	3.70	5.93	2.76	4.75	.99075-4	R	403733.5
607L	607L-707L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		3.33	5.26	2.50	3.86	.87574-4	R	456757.3
607L	657-607L	H61	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.82	3.63	6.02	2.76	4.75	.71590-3	L	55873.37
607L	607L-707L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		3.27	5.35	2.50	3.86	.60638-3	L	65965.20
607L	502-607L	V51	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.82	2.71	3.23	2.73	2.70	.31605-2	TR	12656.18
607L	588-607L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		2.58	3.24	2.50	2.50	.56154-2	L	7123.245
607L	503-607L	V51	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.82	2.73	3.19	2.73	2.75	.68993-2	TL	5797.680
607L	588-607L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		2.60	3.18	2.50	2.50	.0104079	TL	3843.217

JOINT OD	MEMBER ID	GRUP ID	TYPE	ORIGINAL OD (IN)	ORIGINAL WT (IN)	CHORD JNT TYP	CHORD MEM TYP	LEN. (FT)	GAP * (IN)	STRESS CONC. FACTORS * AX-CR	AX-SD	IN-PL	OU-PL	FATIGUE RESULTS DAMAGE	LOC	SVC LIFE
605L	700-605L	H61	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.80	3.72	5.91	2.76	4.75	.21640-3	L	184847.0
605L	605L-705L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		3.34	5.24	2.50	3.86	.18413-3	L	217239.1
605L	605L- 756	H61	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.80	3.62	6.03	2.76	4.75	.28532-3	R	140191.1
605L	605L-705L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		3.26	5.35	2.50	3.86	.23760-3	R	168348.3
605L	503-605L	V51	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.80	2.73	3.20	2.73	2.74	.57541-2	TL	6951.539
605L	586-605L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		2.60	3.20	2.50	2.50	.93270-2	L	4288.620
605L	504-605L	V51	TUB	12.75	0.375	K	BRC	15.31	8.80	2.71	3.24	2.73	2.70	.31288-2	R	12784.55
605L	586-605L	LC6	TUB	40.00	1.000	K	CHD	15.31		2.58	3.25	2.50	2.50	.54946-2	R	7279.864
3005	3005-4009	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	10.62	3.77	4.33	4.45	3.30	6.00	.30692-3	TL	130329.1
3005	3005-4005	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.98	5.19	3.10	6.25	.53859-3	TL	74267.60
3005	3005-4020	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	10.62	6.57	2.74	6.11	3.41	4.73	.56477-6	R	70825.+3
3005	3005-4005	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		3.64	9.25	3.29	4.93	.23849-5	R	16772.+3
3005	3005-4097	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	10.62	6.57	2.84	5.85	3.41	4.87	.65430-7	R	61135.+4
3005	3005-4005	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		3.88	8.72	3.29	5.07	.25641-6	R	15600.+4
3005	3005-4016	D43	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	1.44	3.57	3.96	3.39	6.61	.21716-4	R	1841963.
3005	3005-4005	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.34	5.13	3.36	7.34	.52805-4	R	757508.1
3005	3005-3024	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	3.77	5.23	8.68	3.94	8.97	.43389-2	L	9218.923
3005	2005-3005	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		5.93	10.58	4.33	9.96	.86626-2	L	4617.539
3005	3041-3005	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	1.44	5.18	7.33	3.94	9.18	.80063-3	R	49960.50
3005	2005-3005	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		5.69	8.56	4.33	10.18	.13778-2	R	29032.12
3005	3005-3182	MZ2	TUB	3.50	0.216	K	BRC	10.62	6.57	6.43	7.81	2.97	4.51	.13846-7	R	28890.+5
3005	2005-3005	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.05	6.22	2.50	3.35	.30818-8	R	12979.+6

3005	3140-3005 MZ2	TUB	3.50	0.216 K	BRC	10.62	6.57	6.55	7.84	2.97	4.50	.29863-8	L	13394.+6
3005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.16	6.21	2.50	3.35	.88682-9	L	45105.+6
204	204- 202 H21	TUB	20.00	0.375 TK	BRC	36.83	-22.63	4.93	5.03	3.26	12.32	.34755-5	L	11509.+3
204	204-205L H21	TUB	20.00	0.375 TK	CHD	36.83		10.57	7.99	4.53	19.10	.88735-5	L	4507812.
204	201- 204 H22	TUB	16.00	0.375 TK	BRC	37.88	-22.63	4.08	4.97	3.41	10.23	.66750-7	L	59925.+4
204	201L- 204 H21	TUB	20.00	0.375 TK	CHD	37.88		8.25	10.62	4.42	16.95	.92958-6	L	43030.+3
605L	700-605L H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	3.72	5.91	2.76	4.75	.21640-3	L	184847.0
605L	605L-705L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.34	5.24	2.50	3.86	.18413-3	L	217239.1
605L	605L- 756 H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	3.62	6.03	2.76	4.75	.28532-3	R	140191.1
605L	605L-705L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.26	5.35	2.50	3.86	.23760-3	R	168348.3
605L	503-605L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	2.73	3.20	2.73	2.74	.57541-2	TL	6951.539
605L	586-605L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.60	3.20	2.50	2.50	.93270-2	L	4288.620
605L	504-605L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	2.71	3.24	2.73	2.70	.31288-2	R	12784.55
605L	586-605L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.58	3.25	2.50	2.50	.54946-2	R	7279.864
3005	3005-4009 D41	TUB	10.75	0.365 K	BRC	10.62	3.77	4.33	4.45	3.30	6.00	.30692-3	TL	130329.1
3005	3005-4005 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.98	5.19	3.10	6.25	.53859-3	TL	74267.60
3005	3005-4020 D41	TUB	10.75	0.365 K	BRC	10.62	6.57	2.74	6.11	3.41	4.73	.56477-6	R	70825.+3
3005	3005-4005 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		3.64	9.25	3.29	4.93	.23849-5	R	16772.+3
3005	3005-4097 D41	TUB	10.75	0.365 K	BRC	10.62	6.57	2.84	5.85	3.41	4.87	.65430-7	R	61135.+4
3005	3005-4005 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		3.88	8.72	3.29	5.07	.25641-6	R	15600.+4
3005	3005-4016 D43	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	1.44	3.57	3.96	3.39	6.61	.21716-4	R	1841963.
3005	3005-4005 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.34	5.13	3.36	7.34	.52805-4	R	757508.1
3005	3005-3024 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	3.77	5.23	8.68	3.94	8.97	.43389-2	L	9218.923
3005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		5.93	10.58	4.33	9.96	.86626-2	L	4617.539
3005	3041-3005 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	1.44	5.18	7.33	3.94	9.18	.80063-3	R	49960.50
3005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		5.69	8.56	4.33	10.18	.13778-2	R	29032.12
3005	3005-3182 MZ2	TUB	3.50	0.216 K	BRC	10.62	6.57	6.43	7.81	2.97	4.51	.13846-7	R	28890.+5
3005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.05	6.22	2.50	3.35	.30818-8	R	12979.+6
3005	3140-3005 MZ2	TUB	3.50	0.216 K	BRC	10.62	6.57	6.55	7.84	2.97	4.50	.29863-8	L	13394.+6
3005	2005-3005 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.16	6.21	2.50	3.35	.88682-9	L	45105.+6
204	204- 202 H21	TUB	20.00	0.375 TK	BRC	36.83	-22.63	4.93	5.03	3.26	12.32	.34755-5	L	11509.+3
204	204-205L H21	TUB	20.00	0.375 TK	CHD	36.83		10.57	7.99	4.53	19.10	.88735-5	L	4507812.
204	201- 204 H22	TUB	16.00	0.375 TK	BRC	37.88	-22.63	4.08	4.97	3.41	10.23	.66750-7	L	59925.+4
204	201L- 204 H21	TUB	20.00	0.375 TK	CHD	37.88		8.25	10.62	4.42	16.95	.92958-6	L	43030.+3
204	204- 203 H22	TUB	16.00	0.375 TK	BRC	37.88	-22.63	4.03	4.91	3.41	10.25	.40920-7	R	97753.+4
204	204-205L H21	TUB	20.00	0.375 TK	CHD	37.88		8.23	10.59	4.42	16.96	.74137-6	R	53954.+3
204	204-301L V21	TUB	14.00	0.375 K	BRC	38.10	1.18	3.81	4.42	3.33	8.99	.45862-3	TL	87217.59
204	201L- 204 H21	TUB	20.00	0.375 K	CHD	38.10		7.24	8.80	4.30	15.58	.75619-2	L	5289.657
204	204-305L V21	TUB	14.00	0.375 K	BRC	38.10	1.18	3.81	4.41	3.33	9.00	.49010-3	R	81615.87
204	204-205L H21	TUB	20.00	0.375 K	CHD	38.10		7.23	8.77	4.30	15.59	.83073-2	R	4815.031
304	304- 302 H31	TUB	18.00	0.375 TK	BRC	32.91	-19.80	4.80	4.68	3.23	11.44	.10849-4	L	3686852.
304	304-305L H31	TUB	18.00	0.375 TK	CHD	32.91		9.84	7.28	4.42	18.67	.32354-4	L	1236331.
304	301- 304 H32	TUB	14.00	0.375 TK	BRC	33.68	-19.80	4.03	4.70	3.50	9.42	.20762-6	L	19266.+4
304	301L- 304 H31	TUB	18.00	0.375 TK	CHD	33.68		7.85	9.91	4.32	15.81	.28575-5	L	13998.+3
304	304- 303 H32	TUB	14.00	0.375 TK	BRC	33.68	-19.80	3.98	4.65	3.50	9.45	.93777-7	R	42654.+4
304	304-305L H31	TUB	18.00	0.375 TK	CHD	33.68		7.82	9.86	4.32	15.83	.13744-5	R	29105.+3
304	304-401L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	33.50	-2.88	3.68	4.26	3.75	9.96	.77129-3	TL	51861.09
304	301L- 304 H31	TUB	18.00	0.375 K	CHD	33.50		6.59	7.90	4.77	17.86	.66208-2	L	6041.592
304	304-405L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	33.50	-2.88	3.60	4.17	3.75	9.97	.72288-3	TR	55334.46
304	304-305L H31	TUB	18.00	0.375 K	CHD	33.50		6.57	7.87	4.78	17.88	.77790-2	R	5142.065
603L	610-603L H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	3.59	6.07	2.76	4.75	.19504-3	R	205084.6
603L	603L-703L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.24	5.39	2.50	3.86	.16622-3	R	240638.0
603L	603L- 617 H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	3.82	5.78	2.76	4.75	.18046-3	L	221658.2
603L	603L-703L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.42	5.12	2.50	3.86	.14646-3	L	273112.2
603L	501-603L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	2.73	3.21	2.73	2.73	.23941-2	TL	16707.50
603L	584-603L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.60	3.21	2.50	2.50	.33294-2	TL	12014.17
603L	502-603L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.80	2.72	3.22	2.73	2.72	.44460-2	R	8996.759
603L	584-603L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.59	3.23	2.50	2.50	.74393-2	R	5376.880
407L	402-407L H41	TUB	16.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	4.90	6.47	3.53	8.84	.17091-2	TL	23404.47
407L	407L- 487 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.79	3.47	8.93	.24364-2	TL	16417.80
407L	403-407L H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	31.50	4.31	5.21	6.99	3.48	7.54	.60659-2	T	6594.264
407L	407L- 487 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.23	6.95	3.32	7.28	.62480-2	T	6402.07
407L	302-407L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	3.48	4.45	3.23	6.26	.19870-2	L	20130.73
407L	388-407L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		3.95	5.12	2.78	6.15	.42643-2	L	9380.164
407L	303-407L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	4.31	3.53	4.57	3.23	5.76	.31638-2	L	12642.96
407L	388-407L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		4.05	5.31	2.78	5.65	.71764-2	L	5573.848
405L	404-405L H41	TUB	16.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	4.90	6.47	3.53	8.84	.15944-2	TR	25087.94
405L	405L- 485 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.79	3.47	8.93	.22726-2	TR	17600.98
405L	405L- 403 H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	31.50	4.31	5.22	6.98	3.48	7.54	.60497-2	T	6611.854
405L	405L- 485 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.95	3.32	7.28	.62321-2	T	6418.372
405L	303-405L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	4.31	3.51	4.61	3.23	5.74	.30239-2	R	13227.80
405L	386-405L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		4.04	5.37	2.78	5.64	.68443-2	R	5844.238
405L	304-405L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	3.48	4.45	3.23	6.26	.18730-2	R	21356.32
405L	386-405L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		3.95	5.13	2.78	6.15	.39960-2	R	10009.99
601L	601L- 669 H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.82	3.59	6.06	2.76	4.75	.29759-3	L	134413.8
601L	601L-701L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.24	5.39	2.50	3.86	.25323-3	L	157956.4
601L	601L- 677 H61	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.82	3.82	5.79	2.76	4.75	.16664-3	R	240037.5
601L	601L-701L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		3.42	5.13	2.50	3.86	.13341-3	R	299823.4
601L	501-601L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.82	2.73	3.19	2.73	2.74	.15184-2	TL	26343.99
601L	582-601L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.60	3.19	2.50	2.50	.22609-2	R	17692.00
601L	504-601L V51	TUB	12.75	0.375 K	BRC	15.31	8.82	2.72	3.22	2.73	2.71	.37255-2	L	10736.92
601L	582-601L LC6	TUB	40.00	1.000 K	CHD	15.31		2.59	3.22	2.50	2.50	.60087-2	L	6656.993
4006	3003-4006 D41	TUB	10.75	0.365 T	BRC	14.33		5.48	4.15	2.54	5.02	.49808-4	B	803081.8
4006	3002-4006 D41	TUB	10.75	0.365 T	CHD	14.33		13.78	6.17	3.43	9.57	.50039-2	B	7993.726
403L	403L- 402 H41	TUB	16.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	4.90	6.47	3.53	8.84	.21502-2	TR	18603.24
403L	403L- 483 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.79	3.47	8.93	.30627-2	TR	13060.42
403L	401-403L H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	31.50	4.31	5.23	6.96	3.48	7.55	.14213-2	TL	28142.80
403L	403L- 483 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.92	3.32	7.28	.14732-2	TL	27152.64

403L	301-403L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	4.31	3.54	4.56	3.23	5.76	.90292-3	L	44300.63
403L	384-403L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		4.06	5.30	2.78	5.66	.20428-2	L	19580.97
403L	302-403L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	3.47	4.46	3.23	6.26	.22932-2	R	17442.64
403L	384-403L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		3.95	5.14	2.78	6.14	.48466-2	R	8253.161
1003	1003-2004 D21	TUB	10.75	0.365 K	BRC	14.32	3.79	3.46	4.92	3.30	7.13	.28875-3	TL	138529.6
1003	1003-2003 DL2	TUB	36.00	0.625 K	CHD	14.32		4.38	6.74	3.10	7.42	.52196-3	TL	76634.43
1003	1003-2043 D21	TUB	10.75	0.365 Y	BRC	14.32		2.58	6.29	3.38	4.78	.32405-7	R	12344.+5
1003	1003-2003 DL2	TUB	36.00	0.625 Y	CHD	14.32		3.65	9.51	3.24	4.98	.70420-7	R	56802.+4
1003	1003-2034 D23	TUB	12.75	0.375 K	BRC	14.32	2.36	3.70	4.37	3.38	9.81	.21328-3	TR	187549.0
1003	1003-2003 DL2	TUB	36.00	0.625 K	CHD	14.32		4.54	5.69	3.31	10.68	.46254-3	R	86478.64
1003	1003-1080 SD1	TUB	14.00	1.000 K	BRC	14.32	2.36	6.44	17.02	5.35	14.49	.16609-2	R	24082.75
1003	803-1003 DL1	TUB	36.00	0.625 K	CHD	14.32		12.42	18.72	9.96	20.00	.42950-2	TR	9313.136
1003	1029-1003 SD1	TUB	14.00	1.000 K	BRC	14.32	3.79	5.81	18.11	5.35	14.60	.62433-3	L	64068.90
1003	803-1003 DL1	TUB	36.00	0.625 K	CHD	14.32		12.21	19.55	9.96	20.00	.20613-2	TL	19405.43
3007	3007-4010 D41	TUB	10.75	0.365 K	BRC	10.62	3.77	4.17	4.47	3.30	5.86	.22577-3	TR	177173.5
3007	3007-4007 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.87	5.38	3.10	6.10	.40442-3	TR	98907.94
3007	3007-4046 D41	TUB	10.75	0.365 Y	BRC	10.62		2.55	7.11	3.51	5.30	.39092-4	L	1023215.
3007	3007-4007 DL4	TUB	36.00	0.625 Y	CHD	10.62		3.44	10.49	3.46	5.51	.48732-4	L	820823.5
3007	3007-4098 D41	TUB	10.75	0.365 K	BRC	10.62	6.57	3.12	5.82	3.41	4.92	.20966-6	L	19079.+4
3007	3007-4007 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.19	8.51	3.29	5.12	.42557-6	L	93991.+3
3007	3007-4013 D43	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	1.44	3.61	3.90	3.39	6.68	.20888-4	TL	1914945.
3007	3007-4007 DL4	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.38	4.97	3.36	7.41	.45562-4	L	877918.1
3007	3031-3007 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	3.77	5.38	8.40	3.94	9.01	.22291-2	R	17944.83
3007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		6.11	10.11	4.33	9.99	.40398-2	R	9901.409
3007	3061-3007 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	BRC	10.62	1.44	5.18	7.31	3.94	9.18	.60569-3	L	66040.85
3007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		5.69	8.52	4.33	10.19	.10315-2	L	38778.18
3007	3007-3192 MZ2	TUB	3.50	0.216 K	BRC	10.62	6.57	6.60	7.84	2.97	4.56	.13009-7	L	30748.+5
3007	2007-3007 DL3	TUB	36.00	0.625 K	CHD	10.62		4.21	6.12	2.50	3.39	.28851-8	L	13864.+6
401L	401L- 404 H41	TUB	16.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	4.90	6.48	3.53	8.84	.16362-2	TL	24446.55
401L	401L- 481 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.80	3.47	8.93	.23331-2	TL	17144.27
401L	401L- 401 H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	31.50	4.31	5.22	6.96	3.48	7.54	.14282-2	TR	28007.94
401L	401L- 481 LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		5.24	6.93	3.32	7.28	.14799-2	TR	27028.05
401L	301-401L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	4.31	3.53	4.58	3.23	5.75	.88711-3	R	45090.09
401L	382-401L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		4.05	5.32	2.78	5.65	.20056-2	R	19944.31
401L	304-401L V31	TUB	14.00	0.375 K	BRC	31.50	2.68	3.47	4.46	3.23	6.25	.18902-2	L	21162.10
401L	382-401L LC4	TUB	39.50	0.750 K	CHD	31.50		3.95	5.14	2.78	6.14	.40314-2	L	9922.047
3002	2001-3002 D31	TUB	12.75	1.000 K	BRC	20.00	-0.99	2.72	2.68	4.53	4.59	.10342-5	L	38676.+3
3002	3001-3002 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	CHD	20.00		8.12	8.60	6.33	14.62	.12106-3	L	330420.8
3002	2003-3002 D31	TUB	12.75	1.000 K	BRC	20.00	-0.99	2.68	2.69	4.52	4.57	.90858-6	L	44025.+3
3002	3002-3003 MZ1	TUB	14.00	0.375 K	CHD	20.00		8.10	8.62	6.33	14.56	.98720-4	L	405185.8
3002	3002-4004 D41	TUB	10.75	0.365 TK	BRC	20.00	-9.99	2.67	3.84	3.60	6.93	.16747-4	TL	2388505.
3002	3001-3002 MZ1	TUB	14.00	0.375 TK	CHD	20.00		3.92	7.36	3.97	12.03	.14438-3	L	277047.7
3002	3002-4006 D41	TUB	10.75	0.365 TK	BRC	20.00	-9.99	2.72	3.82	3.62	7.01	.26091-3	L	153312.0
3002	3002-3003 MZ1	TUB	14.00	0.375 TK	CHD	20.00		3.94	7.17	3.98	12.16	.37430-2	L	10686.68
3002	3002-4002 D44	TUB	8.62	0.375 TK	BRC	20.00	-9.99	4.29	6.87	3.81	12.61	.52012-4	L	769053.7
3002	3001-3002 MZ1	TUB	14.00	0.375 TK	CHD	20.00		5.58	8.86	5.65	19.18	.46024-3	L	86911.27
102	104- 102 H11	TUB	24.00	0.375 TK	BRC	41.21	-25.46	4.80	5.33	3.29	15.63	.16480-5	R	24272.+3
102	102-107L H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	41.21		9.80	8.67	4.71	20.00	.29058-5	R	13766.+3
102	101- 102 H12	TUB	18.00	0.375 TK	BRC	42.86	-25.46	3.82	5.49	3.38	14.32	.89114-7	R	44886.+4
102	103L- 102 H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	42.86		7.89	10.74	4.90	19.07	.67454-6	R	59300.+3
102	102- 110 H12	TUB	18.00	0.375 TK	BRC	42.86	-25.46	3.85	5.69	3.45	13.99	.25293-5	L	15815.+3
102	102-107L H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	42.86		8.07	11.21	5.01	18.98	.11937-4	L	3351008.
102	102-203L V11	TUB	16.00	0.375 K	BRC	43.51	3.60	3.93	4.73	3.29	9.79	.14396-3	R	277848.5
102	103L- 102 H11	TUB	24.00	0.375 K	CHD	43.51		7.70	9.42	4.73	16.82	.28822-2	R	13878.43
102	102-207L V11	TUB	16.00	0.375 K	BRC	43.51	3.60	3.93	4.66	3.29	9.82	.19262-3	L	207659.1
102	102-107L H11	TUB	24.00	0.375 K	CHD	43.51		7.65	9.21	4.73	16.86	.37414-2	L	10691.23
403	402- 403 H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	28.81	-5.28	5.35	2.71	3.11	4.13	.90390-7	TR	44253.+4
403	403-407L H42	TUB	12.75	0.375 K	CHD	28.81		9.78	3.66	3.11	7.92	.16642-5	R	24035.+3
403	404- 403 H42	TUB	12.75	0.375 K	BRC	28.81	-5.28	5.54	2.89	3.11	4.12	.73182-7	TL	54658.+4
403	405L- 403 H42	TUB	12.75	0.375 K	CHD	28.81		9.80	3.66	3.11	7.92	.11578-5	R	34547.+3
403	403-505L V41	TUB	12.75	0.375 K	BRC	28.69	-6.10	4.55	3.12	3.24	5.31	.17772-2	T	22506.99
403	405L- 403 H42	TUB	12.75	0.375 K	CHD	28.69		7.53	3.81	3.45	10.20	.29753-2	TL	13444.07
403	403-507L V41	TUB	12.75	0.375 K	BRC	28.69	-6.10	4.21	2.79	3.24	5.32	.82296-3	T	48605.27
403	403-407L H42	TUB	12.75	0.375 K	CHD	28.69		7.49	3.81	3.45	10.21	.31870-2	TR	12551.14
104	104- 102 H11	TUB	24.00	0.375 TK	BRC	41.21	-25.46	4.80	5.32	3.30	15.62	.10216-5	L	39155.+3
104	104-105L H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	41.21		9.77	8.66	4.72	20.00	.25662-5	L	15587.+3
104	101- 104 H12	TUB	18.00	0.375 TK	BRC	42.86	-25.46	3.81	5.47	3.39	14.27	.10658-6	R	37530.+4
104	101L- 104 H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	42.86		7.87	10.69	4.91	19.08	.73764-6	L	54227.+3
104	104- 109 H12	TUB	18.00	0.375 TK	BRC	42.86	-25.46	3.85	5.69	3.46	13.98	.16132-5	R	24795.+3
104	104-105L H11	TUB	24.00	0.375 TK	CHD	42.86		8.07	11.21	5.01	18.98	.71334-5	R	5607398.
104	104-201L V11	TUB	16.00	0.375 K	BRC	43.51	3.60	3.93	4.74	3.29	9.79	.14179-3	L	282110.8
104	101L- 104 H11	TUB	24.00	0.375 K	CHD	43.51		7.70	9.43	4.73	16.82	.28068-2	L	14251.04
104	104-205L V11	TUB	16.00	0.375 K	BRC	43.51	3.60	3.93	4.66	3.29	9.81	.14821-3	R	269888.7
104	104-105L H11	TUB	24.00	0.375 K	CHD	43.51		7.65	9.23	4.73	16.85	.29177-2	R	13709.56
1009	805-1009 D11	TUB	12.75	0.375 K	BRC	20.00	-3.60	2.59	2.50	2.61	2.50	.15248-2	BL	26233.38
1009	1005-1009 SD1	TUB	14.00	1.000 K	CHD	20.00		2.51	2.50	2.50	2.50	.27136-2	BL	14740.51
1009	807-1009 D11	TUB	12.75	0.375 K	BRC	20.00	-3.60	2.59	2.50	2.61	2.50	.14164-2	BR	28241.27
1009	1009-1007 SD1	TUB	14.00	1.000 K	CHD	20.00		2.51	2.50	2.50	2.50	.25264-2	BR	15833.12
1009	1009-2084 D21	TUB	10.75	0.365 TK	BRC	20.00	-10.00	2.59	2.50	2.56	2.53	.21597-3	T	185214.1
1009	1005-1009 SD1	TUB	14.00	1.000 TK	CHD	20.00		2.50	2.50	2.50	2.52	.36732-3	T	108896.2
1009	1009-2086 D21	TUB	10.75	0.365 TK	BRC	20.00	-10.00	2.59	2.50	2.56	2.53	.25127-3	T	159190.2
1009	1009-1007 SD1	TUB	14.00	1.000 TK	CHD	20.00		2.50	2.50	2.50	2.53	.42505-3	T	94105.65
1009	1009-2085 D22	TUB	8.62	0.375 TK	BRC	20.00	-10.00	2.58	3.61	2.50	3.50	.98640-6	T	40551.+3
1009	1005-1009 SD1	TUB	14.00	1.000 TK	CHD	20.00		2.50	3.59	2.50	3.21	.17748-5	T	22538.+3
1001	1001-2006 D21	TUB	10.75	0.365 K	BRC	14.32	3.79	3.44	4.93	3.30	7.07	.28492-3	T	140388.6
1001	1001-2001 DL2	TUB	36.00	0.625 K	CHD	14.32		4.37	6.77	3.10	7.35	.51781-3	TR	77248.9
1001	1001-2008 D21	TUB	10.75	0.365 Y	BRC	14.32		2.58	5.40	3.28	4.27	.35997-6	L	11112.+4
1001	1001-2001 DL2	TUB	36.00	0.625 Y	CHD	14.32		3.67	8.43	3.08	4.44	.60002-6	L	66665.+3
1001	1001-2023 D23	TUB	12.75	0.375 K	BRC	14.32	2.36	3.72	4.34	3.38	9.92	.16826-3	TL	237732.2

1001	1001-2001 DL2	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		4.56	5.62	3.31	10.79	.35220-3	TL	113570.4
1001	1001-1008 SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	3.79	5.79	18.12	5.35	14.61	.54797-3	TR	72996.79
1001	801-1001 DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.20	19.56	9.96	20.00	.18566-2	TR	21544.62
1001	1001-1011 SD1	TUB	14.00	1.000	K	BRC	14.32	2.36	6.41	17.04	5.35	14.49	.83474-3	L	47919.24
1001	801-1001 DL1	TUB	36.00	0.625	K	CHD	14.32		12.40	18.73	9.96	20.00	.26207-2	TL	15263.08
305L	304-305L H31	TUB	18.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	4.46	5.28	3.77	9.92	.46454-3	TR	86106.87
305L	305L- 385 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.67	5.49	4.12	10.31	.70726-3	TR	56556.15
305L	305L- 303 H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	4.53	6.02	3.52	8.40	.18304-2	TL	21853.73
305L	305L- 385 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.54	5.98	3.40	8.25	.18777-2	TL	21302.92
305L	203-305L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	3.57	4.54	3.32	6.96	.13538-2	TL	29545.73
305L	286-305L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.81	4.90	2.96	6.84	.19405-2	TL	20613.52
305L	204-305L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	3.60	4.28	3.44	8.10	.79238-3	TR	50480.99
305L	286-305L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.73	4.50	3.48	7.96	.10739-2	R	37248.53
307L	302-307L H31	TUB	18.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	4.46	5.28	3.77	9.92	.48867-3	TL	81855.39
307L	307L- 387 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.67	5.50	4.12	10.31	.74440-3	TL	53734.85
307L	303-307L H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	4.52	6.05	3.52	8.39	.18064-2	T	22144.10
307L	307L- 387 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.53	6.01	3.40	8.25	.18434-2	T	21698.56
307L	202-307L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	3.61	4.27	3.44	8.11	.85287-3	TL	46900.57
307L	288-307L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.73	4.49	3.48	7.97	.11546-2	TL	34644.54
307L	203-307L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	3.59	4.50	3.32	6.98	.13361-2	TR	29938.03
307L	288-307L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.81	4.84	2.96	6.86	.19171-2	TR	20864.44
303	302- 303 H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.07	-5.80	5.46	2.80	3.10	4.48	.86721-8	TR	46125.+5
303	303-307L H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	33.07		10.20	3.94	3.21	8.64	.16665-6	R	24002.+4
303	304- 303 H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.07	-5.80	5.69	3.03	3.10	4.48	.10328-7	TL	38731.+5
303	305L- 303 H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	33.07		10.20	3.94	3.20	8.64	.12180-6	TL	32839.+4
303	303-405L V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	32.96	-6.37	4.36	3.15	3.29	5.51	.85845-3	T	46595.86
303	305L- 303 H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	32.96		6.90	3.82	3.50	10.63	.15400-2	TL	25974.52
303	303-407L V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	32.96	-6.37	3.96	2.78	3.30	5.52	.40358-3	TR	99112.85
303	303-307L H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	32.96		6.81	3.81	3.50	10.65	.16233-2	TR	24641.34
3006	2005-3006 D31	TUB	12.75	1.000	K	BRC	5.01	-0.99	2.54	2.60	4.57	3.60	.60285-5	BL	6635191.
3006	3027-3006 MZ1	TUB	14.00	0.375	K	CHD	5.01		7.80	7.94	6.38	11.44	.42868-3	L	93310.70
3006	2007-3006 D31	TUB	12.75	1.000	K	BRC	5.01	-0.99	2.53	2.60	4.51	3.51	.10603-4	B	3772437.
3006	3006-3028 MZ1	TUB	14.00	0.375	K	CHD	5.01		8.02	8.24	6.32	11.15	.63225-3	L	63266.05
3006	3006-4009 D41	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	4.46	-12.12	2.69	3.60	3.60	5.46	.21108-3	T	189502.0
3006	3027-3006 MZ1	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	4.46		3.89	6.69	3.97	9.49	.14124-2	TL	28320.97
3006	3006-4010 D41	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	4.46	-12.12	2.67	3.34	3.65	5.51	.10161-3	T	393649.7
3006	3006-3028 MZ1	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	4.46		3.96	6.04	4.02	9.57	.73419-3	TL	54482.06
3006	3006-4008 D42	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	4.24	-12.12	3.91	5.23	3.65	8.75	.51162-5	T	7818286.
3006	3006-3028 MZ1	TUB	14.00	0.375	TK	CHD	4.24		5.09	7.73	5.12	15.19	.27355-4	T	1462276.
3006	3006-3187 MZ2	TUB	3.50	0.216	T	BRC	4.24		2.97	7.41	2.80	4.50	.15281-8	T	26176.+6
3006	3006-3028 MZ1	TUB	14.00	0.375	T	CHD	4.24		3.49	8.64	2.57	4.43	.10015-8	T	39939.+6
3006	3046-3006 MZ2	TUB	3.50	0.216	T	BRC	4.24		2.97	7.41	2.80	4.50	.13667-6	B	29267.+4
3006	3006-3028 MZ1	TUB	14.00	0.375	T	CHD	4.24		3.50	8.62	2.57	4.43	.89970-7	B	44459.+4
303L	303L- 302 H31	TUB	18.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	4.45	5.33	3.77	9.91	.58808-3	TR	68018.37
303L	303L- 383 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.66	5.55	4.12	10.31	.89587-3	TR	44649.51
303L	301-303L H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	4.51	6.06	3.52	8.39	.54505-3	TL	73387.66
303L	303L- 383 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.53	6.04	3.40	8.24	.56199-3	TL	71175.59
303L	201-303L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	3.56	4.57	3.32	6.95	.47375-3	L	84432.66
303L	284-303L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.81	4.94	2.96	6.83	.73583-3	L	54360.72
303L	202-303L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	3.61	4.25	3.44	8.13	.92147-3	TR	43408.71
303L	284-303L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.73	4.45	3.48	7.98	.12415-2	TR	32219.48
203	202- 203 H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	37.12	-6.63	5.42	2.97	3.06	5.01	.35841-8	TR	11160.+6
203	203-207L H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.12		10.46	4.39	3.34	9.73	.68994-7	R	57976.+4
203	204- 203 H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	37.12	-6.63	5.68	3.22	3.06	5.01	.74874-8	T	53423.+5
203	205L- 203 H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.12		10.48	4.39	3.34	9.72	.96845-7	L	41303.+4
203	203-305L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	37.27	-3.22	3.67	3.13	3.51	6.74	.16135-3	TL	247905.0
203	205L- 203 H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.27		6.35	6.10	3.83	12.55	.11642-2	TL	34358.29
203	203-307L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	37.27	-3.22	3.59	3.07	3.51	6.75	.15141-3	TR	264179.1
203	203-207L H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.27		6.27	6.02	3.84	12.58	.12266-2	TR	32610.94
301L	301L- 304 H31	TUB	18.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	4.45	5.34	3.77	9.91	.46789-3	TL	85489.84
301L	301L- 381 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.66	5.56	4.12	10.30	.71340-3	TL	56069.91
301L	301L- 301 H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	4.53	6.02	3.52	8.40	.53673-3	TR	74526.02
301L	301L- 381 LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		4.54	5.99	3.40	8.25	.55374-3	TR	72235.84
301L	201-301L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	0.77	3.59	4.48	3.32	6.99	.47871-3	R	83558.20
301L	282-301L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.81	4.83	2.96	6.86	.74700-3	R	53547.71
301L	204-301L V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	30.95	-1.25	3.61	4.25	3.44	8.12	.79095-3	TL	50572.35
301L	282-301L LC3	TUB	39.50	0.750	K	CHD	30.95		3.73	4.45	3.48	7.98	.10704-2	TL	37368.05
1010	803-1010 D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	1.50	-3.60	2.56	2.50	2.66	2.50	.55281-3	BR	72357.96
1010	1050-1010 SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	1.50		2.50	2.50	2.50	2.50	.97696-3	BR	40943.36
1010	807-1010 D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	1.50	-3.60	2.56	2.50	2.66	2.50	.42219-3	BL	94744.02
1010	1010-1051 SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	1.50		2.50	2.50	2.50	2.50	.75057-3	BL	53292.80
1010	1010-2034 D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	1.50	-10.00	2.59	2.50	2.56	2.50	.67293-4	T	594415.7
1010	1050-1010 SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	1.50		2.50	2.50	2.50	2.50	.11509-3	T	347561.4
1010	1010-2040 D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	1.50	-10.00	2.59	2.50	2.56	2.50	.91051-4	T	439314.2
1010	1010-1051 SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	1.50		2.50	2.50	2.50	2.50	.15239-3	T	262476.9
1010	1010-2037 D22	TUB	8.62	0.375	TK	BRC	1.50	-10.00	2.58	3.12	2.50	2.80	.31305-6	T	12777.+4
1010	1010-1051 SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	1.50		2.50	3.11	2.50	2.66	.56332-6	T	71007.+3
205L	204-205L H21	TUB	20.00	0.375	K	BRC	29.95	-4.28	3.80	5.85	3.74	10.71	.22660-3	R	176518.9
205L	205L- 285 LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		4.07	6.16	4.01	11.45	.35743-3	R	111910.0
205L	205L- 203 H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-2.26	3.91	6.06	3.70	9.49	.68503-3	L	58391.34
205L	205L- 285 LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.97	6.13	4.00	9.59	.82676-3	TL	48381.39
205L	103-205L V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-2.26	3.27	4.42	3.53	8.26	.16181-3	T	247210.6
205L	186-205L LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.45	4.79	3.57	8.35	.21268-3	TL	188079.0
205L	104-205L V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-4.28	3.33	4.12	3.54	9.62	.94833-4	TR	421792.6
205L	186-205L LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.41	4.33	3.61	9.71	.11801-3	TR	338953.4
207L	202-207L H21	TUB	20.00	0.375	K	BRC	29.40	-4.28	3.80	5.86	3.73	10.71	.21438-3	TL	186587.7
207L	207L- 287 LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		4.06	6.17	4.00	11.45	.34283-3	TL	116674.4
207L	203-207L H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-2.26	3.86	6.25	3.70	9.46	.66734-3	TR	59939.25

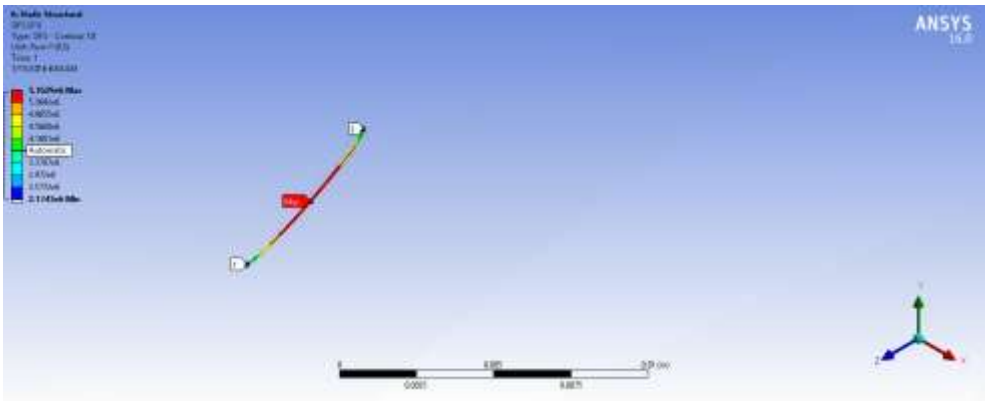
207L	207L- 287	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.95	6.35	3.99	9.56	.81224-3	TR	49246.41
207L	102-207L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-4.28	3.32	4.14	3.54	9.60	.10679-3	TL	374554.7
207L	188-207L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.40	4.36	3.61	9.70	.13285-3	TL	301100.0
207L	103-207L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-2.26	3.24	4.58	3.52	8.19	.16379-3	T	244211.2
207L	188-207L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.44	5.01	3.55	8.27	.21255-3	T	188188.5
401	401- 402	H42	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.81	-5.28	5.34	2.71	3.11	4.13	.74240-7	TL	53879.+4
401	401-403L	H42	TUB	12.75	0.375	K	CHD	28.81		9.76	3.66	3.11	7.93	.12123-5	R	32996.+3
401	401- 404	H42	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.81	-5.28	5.52	2.89	3.11	4.13	.99613-7	TR	40155.+4
401	401L- 401	H42	TUB	12.75	0.375	K	CHD	28.81		9.76	3.66	3.11	7.93	.16115-5	R	24822.+3
401	401-501L	V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.69	-6.10	4.56	3.12	3.24	5.31	.40043-3	T	99892.23
401	401L- 401	H42	TUB	12.75	0.375	K	CHD	28.69		7.54	3.81	3.45	10.20	.75047-3	TR	53299.91
401	401-503L	V41	TUB	12.75	0.375	K	BRC	28.69	-6.10	4.18	2.78	3.25	5.33	.17833-3	T	224306.4
401	401-403L	H42	TUB	12.75	0.375	K	CHD	28.69		7.42	3.80	3.45	10.23	.70151-3	R	57020.19
1011	801-1011	D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	20.00	-3.60	2.56	2.50	2.66	2.50	.40736-3	BL	98194.09
1011	1001-1011	SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	20.00		2.51	2.50	2.50	2.50	.72125-3	BL	55458.92
1011	805-1011	D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	20.00	-3.60	2.56	2.50	2.66	2.50	.37366-3	BR	107050.5
1011	1011-1005	SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	20.00		2.50	2.50	2.50	2.50	.66319-3	BR	60314.78
1011	1011-2023	D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	20.00	-10.00	2.58	2.50	2.56	2.54	.59186-4	T	675839.8
1011	1001-1011	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	20.00		2.50	2.50	2.50	2.53	.10037-3	T	398543.5
1011	1011-2029	D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	20.00	-10.00	2.59	2.50	2.56	2.52	.63979-4	T	625205.7
1011	1011-1005	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	20.00		2.50	2.50	2.50	2.52	.10724-3	T	373012.
1011	1011-2026	D22	TUB	8.62	0.375	TK	BRC	20.00	-10.00	2.58	3.55	2.50	3.52	.26042-6	B	15360.+4
1011	1001-1011	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	20.00		2.50	3.53	2.50	3.23	.46827-6	B	85420.+3
3001	3001-4004	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	10.62	3.77	4.22	4.47	3.30	5.90	.20826-4	TR	1920632.
3001	3001-4001	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.90	5.33	3.10	6.14	.37228-4	TR	1074474.
3001	3001-4017	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	10.62	6.57	3.99	6.20	3.41	4.83	.44637-9	L	89611.+6
3001	3001-4001	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.95	8.61	3.29	5.03	.14801-8	L	27026.+6
3001	3001-4018	D41	TUB	10.75	0.365	Y	BRC	10.62		2.55	6.02	3.41	4.76	.35258-8	R	11345.+6
3001	3001-4001	DL4	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	10.62		3.49	9.19	3.29	4.95	.88545-8	R	45175.+5
3001	3001-4014	D43	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	1.44	3.54	3.97	3.39	6.58	.15213-4	TL	2629388.
3001	3001-4001	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		4.32	5.17	3.36	7.30	.34051-4	TL	1174720.
3001	3001-3002	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	3.77	4.85	8.94	3.94	9.01	.23883-3	R	167484.3
3001	2001-3001	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		5.59	11.05	4.33	10.00	.49610-3	R	80629.37
3001	3001-3163	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	10.62	1.44	5.18	7.32	3.94	9.18	.42271-3	L	94628.09
3001	2001-3001	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		5.69	8.53	4.33	10.19	.68908-3	L	58048.45
3001	3120-3001	MZ2	TUB	3.50	0.216	K	BRC	10.62	6.57	6.11	7.75	2.97	4.44	.6297-10	L	63518.+7
3001	2001-3001	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	10.62		3.75	6.35	2.50	3.30	.2589-10	L	15451.+8
1008	801-1008	D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	11.59	-3.60	2.59	2.50	2.61	2.50	.28975-3	BR	138049.4
1008	1001-1008	SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	11.59		2.50	2.50	2.50	2.50	.51677-3	BR	77404.38
1008	803-1008	D11	TUB	12.75	0.375	K	BRC	11.59	-3.60	2.59	2.50	2.61	2.50	.30406-3	BL	131554.0
1008	1008-1034	SD1	TUB	14.00	1.000	K	CHD	11.59		2.50	2.50	2.50	2.50	.54079-3	BL	73965.45
1008	1008-2004	D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	11.59	-10.00	2.59	2.50	2.55	2.53	.47834-4	T	836233.9
1008	1008-1034	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	11.59		2.50	2.50	2.50	2.53	.81252-4	T	492293.9
1008	1008-2006	D21	TUB	10.75	0.365	TK	BRC	11.59	-10.00	2.60	2.50	2.55	2.53	.53739-4	T	744331.9
1008	1001-1008	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	11.59		2.50	2.50	2.50	2.53	.90796-4	T	440549.6
1008	1008-2002	D22	TUB	8.62	0.375	TK	BRC	11.59	-10.00	2.59	3.67	2.50	3.47	.22909-6	B	17461.+4
1008	1001-1008	SD1	TUB	14.00	1.000	TK	CHD	11.59		2.50	3.65	2.50	3.18	.41213-6	B	97056.+3
203L	203L- 202	H21	TUB	20.00	0.375	K	BRC	29.40	-4.28	3.81	5.81	3.74	10.71	.24939-3	R	160390.5
203L	203L- 283	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		4.06	6.12	4.01	11.46	.39206-3	R	102026.3
203L	201-203L	H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-2.26	3.88	6.16	3.70	9.48	.32818-3	L	121886.2
203L	203L- 283	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.96	6.25	3.99	9.57	.40368-3	L	99088.77
203L	101-203L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-2.26	3.25	4.54	3.52	8.21	.54179-4	TL	738289.2
203L	184-203L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.44	4.95	3.55	8.29	.73622-4	TL	543313.1
203L	102-203L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.40	-4.28	3.36	3.93	3.55	9.76	.10307-3	TR	388082.9
203L	184-203L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.40		3.41	4.07	3.63	9.86	.12673-3	TR	315619.2
301	301- 302	H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.07	-5.80	5.44	2.80	3.10	4.49	.92788-8	TL	43109.+5
301	301-303L	H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	33.07		10.14	3.93	3.21	8.65	.12453-6	L	32120.+4
301	301- 304	H32	TUB	14.00	0.375	K	BRC	33.07	-5.80	5.67	3.03	3.10	4.48	.94402-8	TR	42372.+5
301	301L- 301	H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	33.07		10.16	3.93	3.21	8.65	.21993-6	R	18187.+4
301	301-401L	V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	32.96	-6.37	4.37	3.15	3.29	5.51	.21443-3	TR	186541.9
301	301L- 301	H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	32.96		6.91	3.83	3.50	10.62	.39759-3	TR	100605.3
301	301-403L	V31	TUB	14.00	0.375	K	BRC	32.96	-6.37	3.97	2.78	3.30	5.52	.97957-4	T	408341.3
301	301-303L	H32	TUB	14.00	0.375	K	CHD	32.96		6.83	3.82	3.50	10.64	.38163-3	TL	104812.5
201L	201L- 204	H21	TUB	20.00	0.375	K	BRC	29.95	-4.28	3.81	5.83	3.74	10.71	.19158-3	TL	208791.6
201L	201L- 281	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		4.07	6.14	4.01	11.46	.30672-3	TL	130412.5
201L	201L- 201	H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-2.26	3.93	5.98	3.71	9.51	.31971-3	R	125113.4
201L	201L- 281	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.98	6.02	4.01	9.61	.39228-3	R	101967.5
201L	101-201L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-2.26	3.29	4.34	3.53	8.30	.52950-4	TR	755424.2
201L	182-201L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.45	4.68	3.58	8.39	.71954-4	TR	555909.6
201L	104-201L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	29.95	-4.28	3.36	3.93	3.55	9.76	.88801-4	TL	450445.6
201L	182-201L	LC2	TUB	39.50	0.750	K	CHD	29.95		3.41	4.07	3.63	9.86	.10848-3	TL	368727.9
3003	3003-4006	D41	TUB	10.75	0.365	K	BRC	8.04	3.77	4.16	4.40	3.30	5.73	.27834-4	TL	1437066.
3003	3003-3993	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	8.04		4.85	5.30	3.10	5.96	.50456-4	TL	792776.4
3003	3003-4040	D41	TUB	10.75	0.365	Y	BRC	8.04		2.55	5.55	3.41	4.60	.19293-8	L	20733.+6
3003	3003-3993	DL4	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	8.04		3.40	8.55	3.29	4.79	.82421-8	L	48531.+5
3003	3003-4042	D41	TUB	10.75	0.365	Y	BRC	8.04		2.55	5.51	3.41	4.62	.10452-8	R	38271.+6
3003	3003-3993	DL4	TUB	36.00	0.625	Y	CHD	8.04		3.41	8.49	3.29	4.80	.39930-8	R	10017.+6
3003	3003-4011	D43	TUB	14.00	0.375	K	BRC	8.04	1.44	3.47	3.94	3.39	6.24	.17642-4	TR	2267255.
3003	3003-3993	DL4	TUB	36.00	0.625	K	CHD	8.04		4.22	5.27	3.36	6.93	.40852-4	TR	979142.4
3003	3002-3003	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	8.04	3.77	5.29	7.99	3.94	8.68	.18618-3	L	214847.8
3003	2993-3003	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	8.04		5.96	9.73	4.33	9.64	.36002-3	L	111104.7
3003	3003-3118	MZ1	TUB	14.00	0.375	K	BRC	8.04	1.44	5.24	6.98	3.94	8.85	.20636-3	R	193839.2
3003	2993-3003	DL3	TUB	36.00	0.625	K	CHD	8.04		5.69	8.14	4.33	9.82	.31758-3	R	125950.6
201	201- 202	H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	37.12	-6.63	5.42	2.97	3.06	5.01	.65877-8	T	60719.+5
201	201-203L	H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.12		10.46	4.38	3.34	9.73	.64628-7	TL	61893.+4
201	201- 204	H22	TUB	16.00	0.375	K	BRC	37.12	-6.63	5.67	3.22	3.06	5.01	.40157-8	TR	99609.+5
201	201L- 201	H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.12		10.46	4.39	3.34	9.73	.72423-7	R	55231.+4
201	201-301L	V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	37.27	-3.22	3.67	3.13	3.51	6.74	.46758-4	TR	855463.9
201	201L- 201	H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.27		6.35	6.10	3.83	12.55	.33878-3	TR	118072.0
201	201-303L	V21	TUB	14.00	0.375	K	BRC	37.27	-3.22	3.60	3.08	3.51	6.75	.41446-4	TL	965104.1

201	201-203L	H22	TUB	16.00	0.375	K	CHD	37.27		6.30	6.05	3.84	12.57	.33289-3	TL	120158.8
103	109- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	24.37	-7.46	4.00	3.27	3.05	5.59	.26274-8	R	15224.+6
103	108- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	24.37		7.61	4.70	3.48	10.92	.63205-7	R	63286.+4
103	110- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	24.37	-7.46	3.73	2.99	3.05	5.58	.12252-8	L	32649.+6
103	103- 106	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	24.37		7.65	4.71	3.48	10.90	.32153-7	L	12441.+5
103	103-205L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	24.37	-3.50	2.87	2.87	3.45	6.88	.26035-4	TL	1536366.
103	108- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	24.37		5.03	5.18	3.88	12.95	.24111-3	L	165900.7
103	103-207L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	24.37	-3.50	2.81	2.81	3.47	6.93	.26971-4	R	1483055.
103	103- 106	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	24.37		4.84	4.97	3.90	13.05	.25693-3	R	155682.8
101	101- 102	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	41.42	-7.46	5.32	3.14	3.03	5.56	.18758-8	L	21324.+6
101	101-103L	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	41.42		10.52	4.79	3.47	10.85	.52257-7	L	76545.+4
101	101- 104	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	41.42	-7.46	5.51	3.40	3.05	5.59	.25867-8	L	15464.+6
101	101L- 101	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	41.42		10.31	4.76	3.48	10.91	.69279-7	L	57737.+4
101	101-201L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	41.79	-3.50	3.39	2.96	3.45	6.88	.76213-5	R	5248425.
101	101L- 101	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	41.79		5.86	5.64	3.88	12.96	.76603-4	R	522175.7
101	101-203L	V11	TUB	16.00	0.375	K	BRC	41.79	-3.50	3.26	2.90	3.47	6.93	.71167-5	L	5620604.
101	101-103L	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	41.79		5.56	5.37	3.90	13.05	.70656-4	L	566120.2
4005	3005-4005	DL4	TUB	36.00	0.625					5.00	5.00	5.00	5.00	.44915-6	B	89057.+3
110	110- 106	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	27.93	-15.08	2.80	2.74	3.13	7.34	.30737-8	L	13014.+6
110	110- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	27.93		4.50	4.39	3.55	13.79	.85675-7	L	46688.+4
110	110-107L	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	27.93	-15.08	3.30	4.96	2.86	4.36	.19145-8	B	20893.+6
110	110- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	27.93		6.16	8.74	4.01	8.51	.14578-7	BL	27438.+5
110	109- 110	H13	TUB	14.00	0.375	Y	BRC	27.93		2.76	7.59	3.19	6.50	.42961-8	L	93108.+5
110	110- 103	H12	TUB	18.00	0.375	Y	CHD	27.93		4.39	18.29	3.95	11.65	.20519-6	L	19494.+4
109	109- 108	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	27.93	-15.08	2.80	2.74	3.14	7.39	.18424-8	R	21711.+6
109	109- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	27.93		4.50	4.39	3.55	13.89	.51382-7	R	77849.+4
109	109-105L	H12	TUB	18.00	0.375	K	BRC	27.93	-15.08	3.30	4.96	2.86	4.36	.13763-8	B	29063.+6
109	109- 103	H12	TUB	18.00	0.375	K	CHD	27.93		6.16	8.73	4.01	8.52	.11366-7	BR	35191.+5
109	109- 110	H13	TUB	14.00	0.375	Y	BRC	27.93		2.76	7.59	3.19	6.50	.35621-8	R	11229.+6
109	109- 103	H12	TUB	18.00	0.375	Y	CHD	27.93		4.39	18.29	3.95	11.65	.18617-6	R	21486.+4
4007	3007-4007	DL4	TUB	36.00	0.625					5.00	5.00	5.00	5.00	.88176-7	T	45364.+4
4001	3001-4001	DL4	TUB	36.00	0.625					5.00	5.00	5.00	5.00	.15317-7	B	26115.+5
108	109- 108	H12	TUB	18.00	0.375	T	BRC	19.75		4.05	5.86	2.80	7.99	.45063-9	R	88765.+6
108	105L- 108	H12	TUB	18.00	0.375	T	CHD	19.75		12.38	10.06	4.01	15.60	.12293-7	R	32538.+5
106	110- 106	H12	TUB	18.00	0.375	T	BRC	19.75		4.05	5.86	2.80	7.99	.45145-9	L	88603.+6
106	106-107L	H12	TUB	18.00	0.375	T	CHD	19.75		12.38	10.06	4.01	15.60	.12144-7	L	32939.+5
4003	3993-4003	DL4	TUB	36.00	0.625					5.00	5.00	5.00	5.00	.11680-7	T	34248.+5

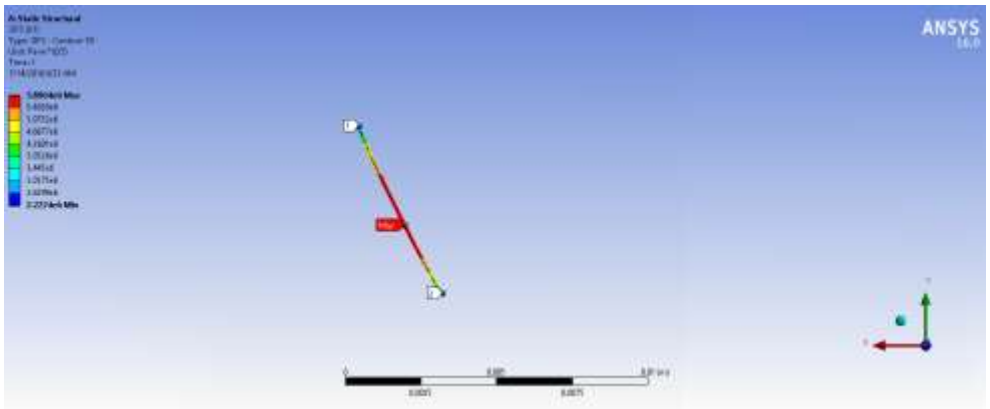
LAMPIRAN B

HASIL *RUNNING* SIF

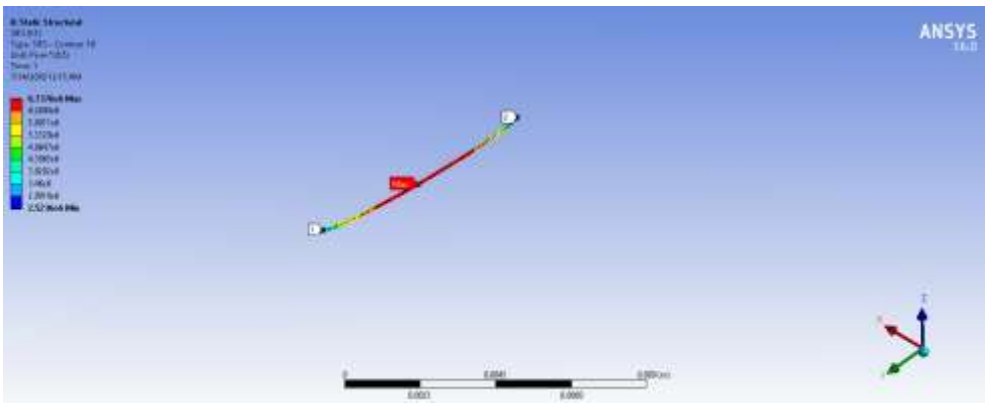
- TITIK 1 (KONDISI MINIMUM)



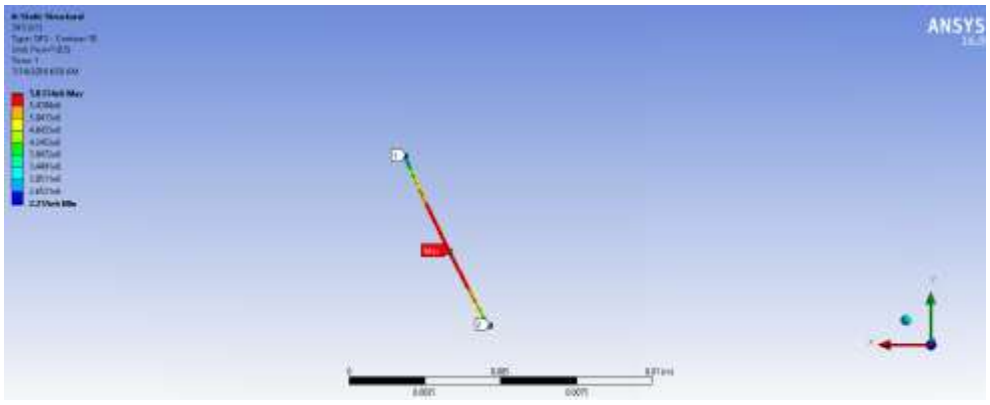
- TITIK 2 (KONDISI MINIMUM)



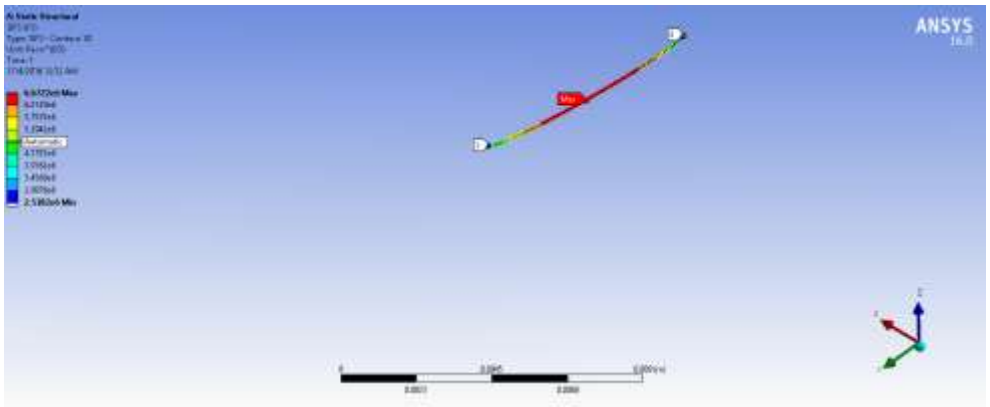
- TITIK 2 (KONDISI MAKSIMUM)



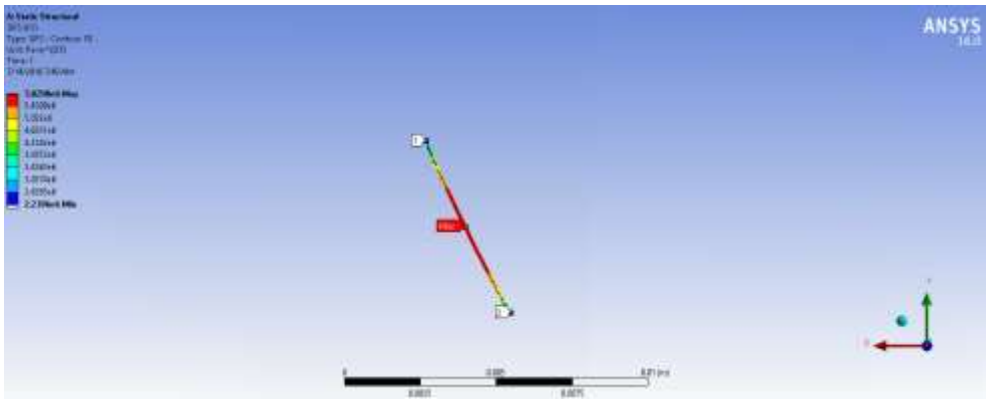
- TITIK 3 (KONDISI MINIMUM)



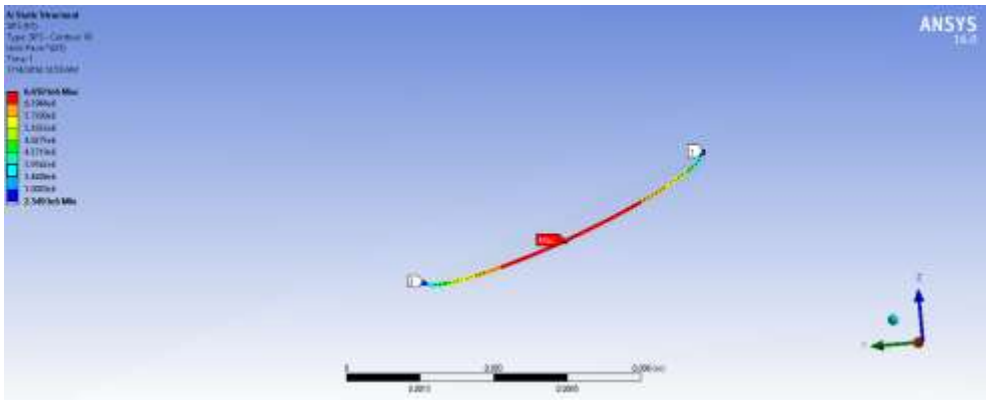
- TITIK 3 (KONDISI MAKSIMUM)



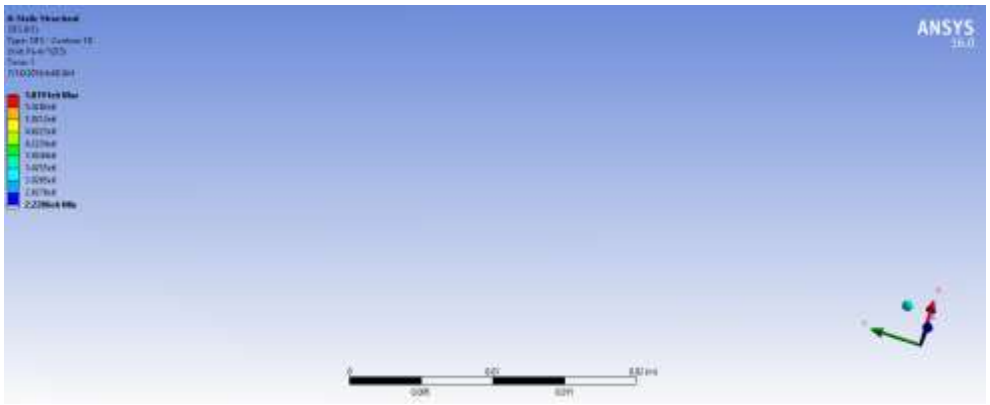
- TITIK 4 (KONDISI MINIMUM)



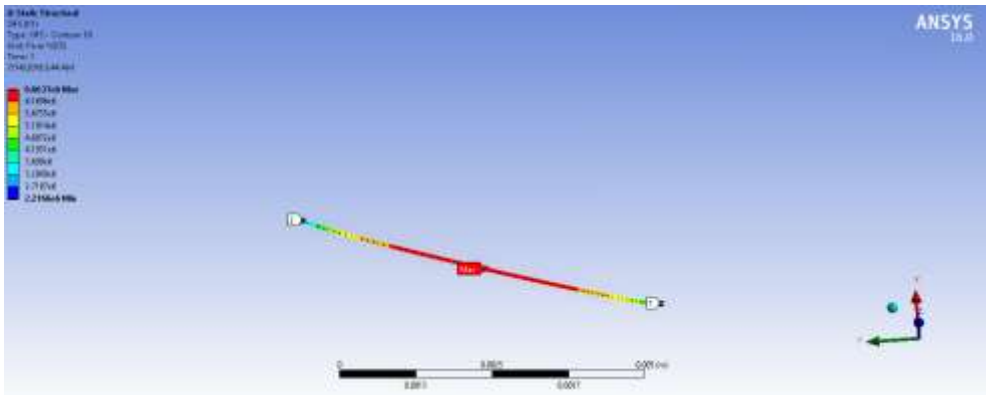
- TITIK 4 (KONDISI MAKSIMUM)



- TITIK 5 (KONDISI MINIMUM)



- TITIK 5 (KONDISI MAKSIMUM)

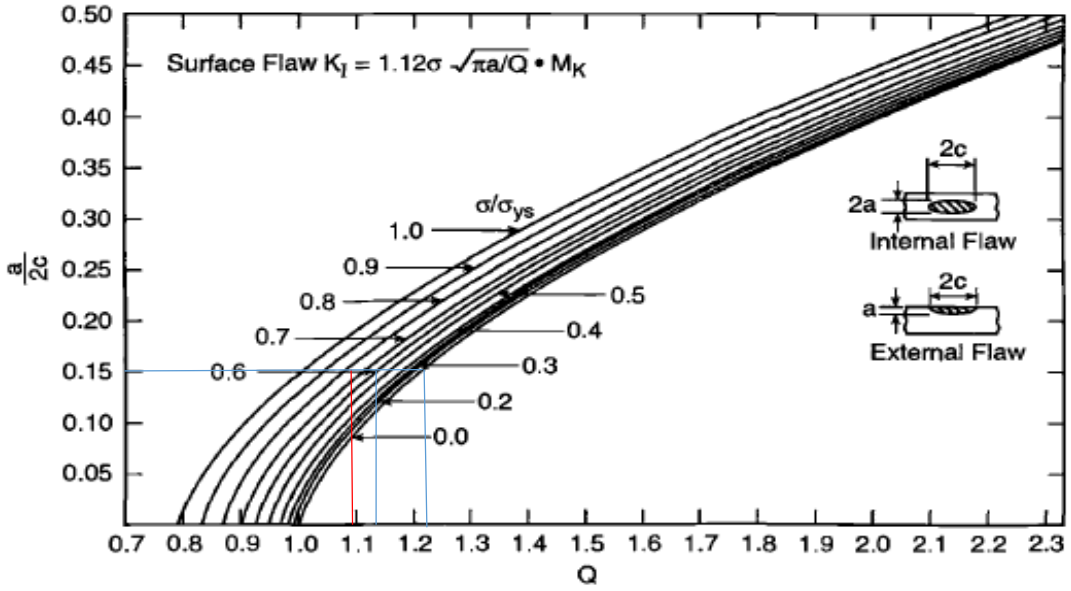


LAMPIRAN C

PERHITUNGAN SIF

Data Retak Awal

a	=	0.50	mm	=	0.0005	m
2c	=	3.33	mm	=	0.0033	m
a/2c	=	0.15				
t	=	0.375	in	=	0.009525	m
a/t	=	0.052				



Pembebanan Minimum

Titik	σ (MPa)	σys (MPa)	σ/σys	M_k	Q	K_1 (MPa.m^{-2})		Error (%)
						Manual	ANSYS	
1	140.05	240	0.58	1.00	1.150	5.797	5.763	0.590262
2	138.93		0.58		1.150	5.751	5.890	2.42824
3	145.41		0.61		1.140	6.045	5.837	3.439469
4	144.61		0.60		1.135	6.025	5.830	3.244581
5	151.66		0.63		1.120	6.361	5.819	8.522177

Pembebanan Maksimum

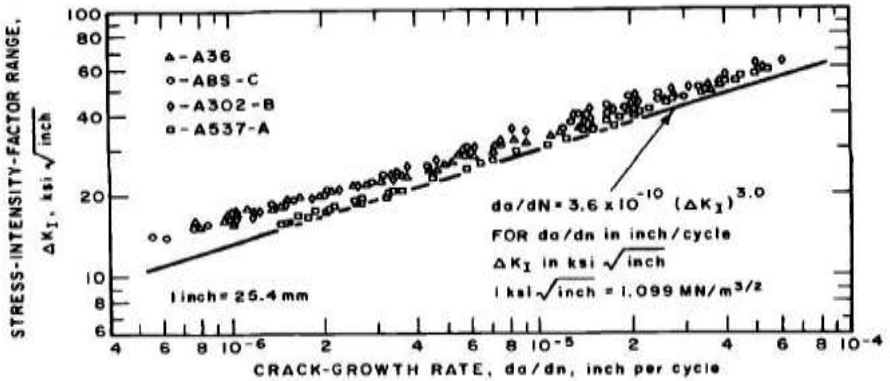
Titik	σ (MPa)	σys (MPa)	σ/σys	M_k	Q	K_1 (MPa.m^{-2})		Error (%)
						Manual	ANSYS	
1	171.68	240	0.72	1.00	1.090	7.299	6.737	7.704159
2	170.42		0.71		1.095	7.229	6.738	6.800462
3	166.6		0.69		1.105	7.035	6.677	5.087685
4	162.87		0.68		1.110	6.862	6.650	3.089551
5	173.18		0.72		1.090	7.363	6.664	9.499081

LAMPIRAN D

PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN STRUKTUR

Data Retak Awal

a	=	0.5	mm	=	0.0295	in
2c	=	3.33	mm	=	0.1969	in
a/2c	=	0.15				
σys	=	240	MPa	=	35	ksi
σmax	=	215	MPa	=	31.2	ksi
σmin	=	191	MPa	=	27.7	ksi
Δσ	=	24	MPa	=	3.5	ksi
Q	=	1.22				
t	=	0.375	in			



a_0 (in)	a_f (in)	a_{avg} (in)	2c (in)	a/t	M_k	ΔK_1 max (ksi.in½)	ΔK_1 min (ksi.in½)	ΔK_1 (ksi.in½)		ANALYTICAL		NUMERICAL	
								ANALYTICAL	NUMERICAL	ΔN	∑N	ΔN	∑N
0.0197	0.0394	0.0295	0.1969	0.079	1.000	7.320	5.957	1.081	1.364	43251266	43251266	21570905	21570905
0.0394	0.0591	0.0492	0.3281	0.131	1.000	9.125	7.485	1.396	1.640	20101372	63352638	12401127	33972031
0.0591	0.0787	0.0689	0.4593	0.184	1.000	10.505	8.644	1.652	1.861	12134829	75487467	8485251	42457282
0.0787	0.0984	0.0886	0.5906	0.236	1.000	11.711	9.662	1.873	2.049	8323710	83811177	6352630	48809912
0.0984	0.1181	0.1083	0.7218	0.289	1.000	12.469	10.440	2.071	2.029	6160156	89971333	6546176	55356088
0.1181	0.1378	0.1280	0.8530	0.341	1.000	13.262	11.160	2.251	2.102	4794747	94766079	5884708	61240796
0.1378	0.1575	0.1476	0.9843	0.394	1.000	13.980	11.843	2.418	2.137	3868511	98634590	5602995	66843791
0.1575	0.1772	0.1673	1.1155	0.446	1.000	14.516	12.388	2.574	2.128	3206323	1.02E+08	5674387	72518177
0.1772	0.1969	0.1870	1.2467	0.499	1.000	15.177	13.010	2.721	2.167	2713628	1.05E+08	5373498	77891675
0.1969	0.2165	0.2067	1.3780	0.551	1.061	15.756	13.545	3.037	2.211	1952960	1.07E+08	5059034	82950709
0.2165	0.2362	0.2264	1.5092	0.604	1.124	16.384	14.013	3.366	2.371	1433229	1.08E+08	4102411	87053119

0.2362	0.2559	0.2461	1.6404	0.656	1.187	16.927	14.535	3.706	2.392	1073935	1.09E+08	3995308	91048427
0.2559	0.2756	0.2657	1.7717	0.709	1.250	17.577	15.069	4.056	2.508	819397.7	1.1E+08	3466181	94514608
0.2756	0.2953	0.2854	1.9029	0.761	1.313	18.283	15.686	4.415	2.597	635194.5	1.1E+08	3121892	97636500
0.2953	0.3150	0.3051	2.0341	0.814	1.376	19.003	16.326	4.784	2.677	499373	1.11E+08	2850288	1E+08
0.3150	0.3346	0.3248	2.1654	0.866	1.439	19.547	16.961	5.162	2.586	397550.6	1.11E+08	3161901	1.04E+08
0.3346	0.3543	0.3445	2.2966	0.919	1.502	19.938	17.510	5.549	2.428	320077.2	1.12E+08	3820828	1.07E+08
0.3543	0.3740	0.3642	2.4278	0.971	1.565	20.526	18.103	5.944	2.423	260339.5	1.12E+08	3842539	1.11E+08

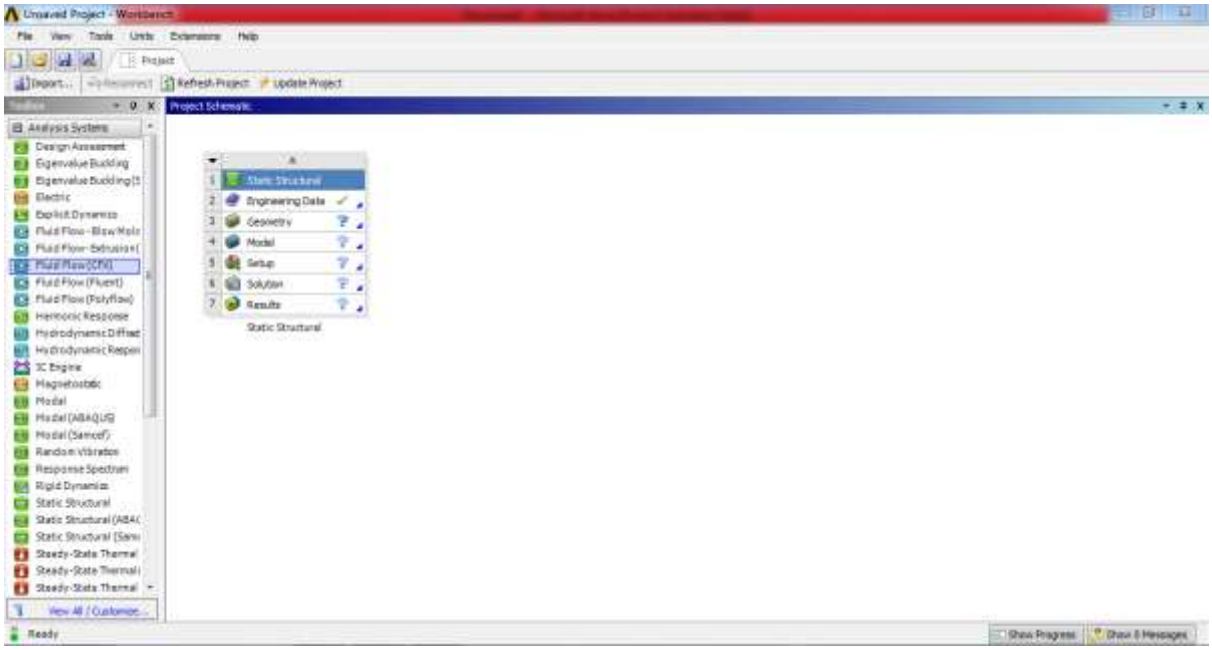
error = 0.5668 %

LAMPIRAN E

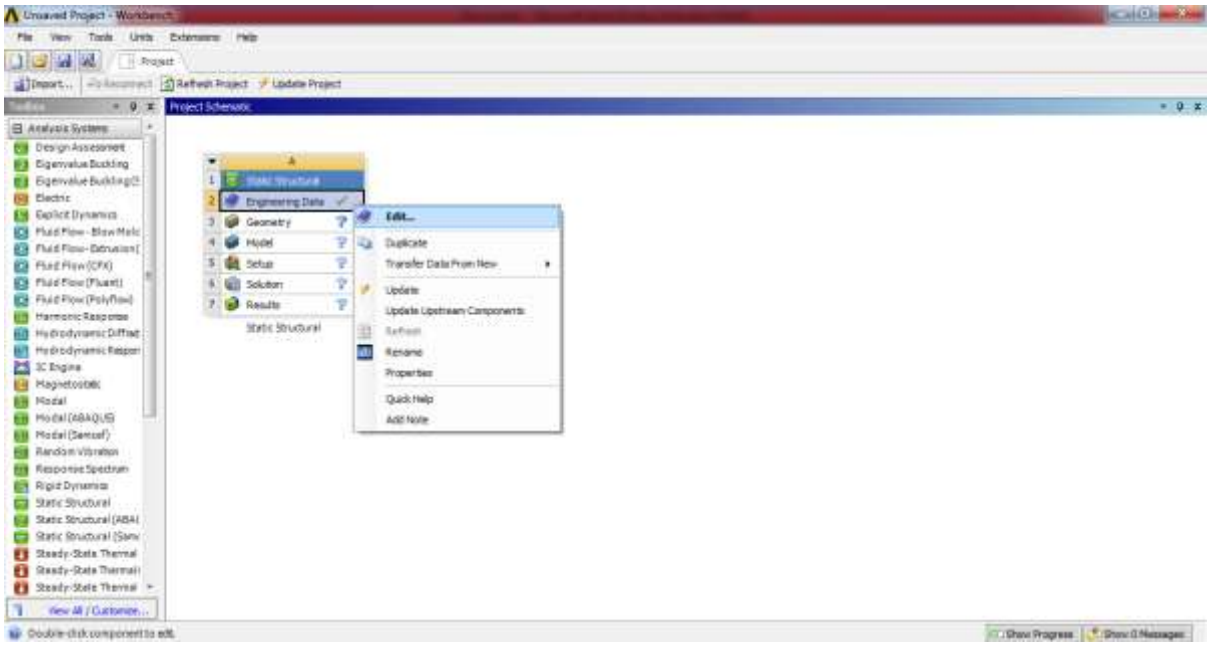
PROSEDUR ANALISIS SIF PADA ANSYS 16.0

PROSEDUR ANALISIS SIF MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ANSYS 16.0

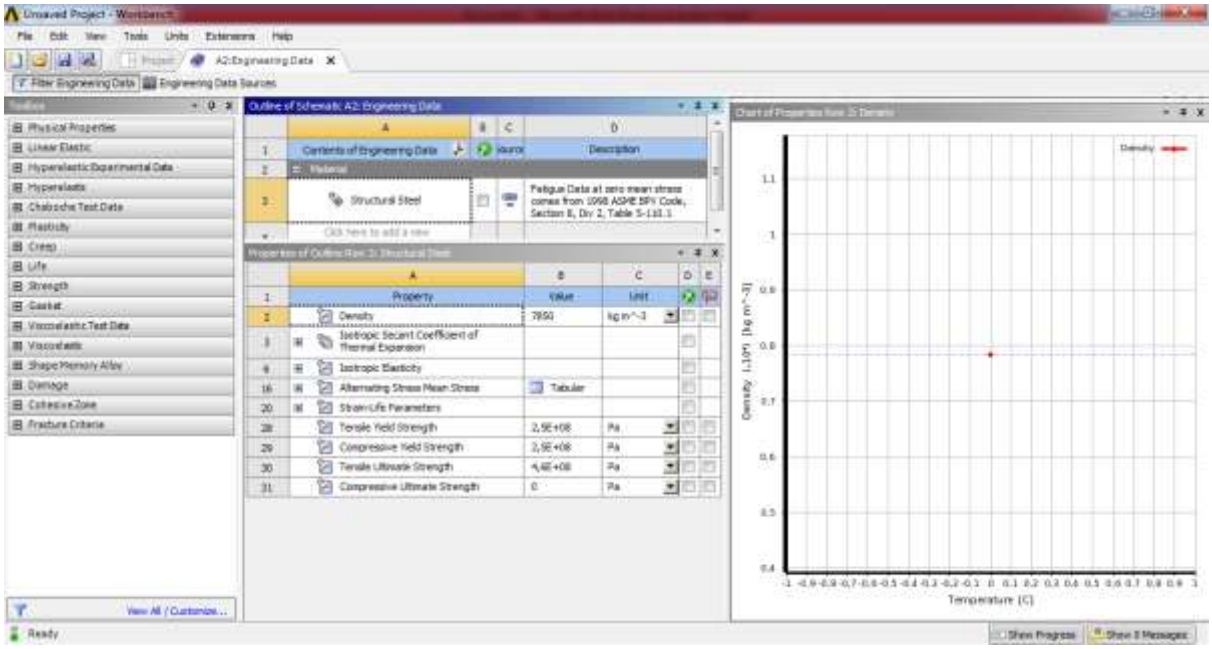
1. **Pemilihan Jenis Analisis yang Akan Digunakan**
   Saat tampilan halaman utama ANSYS 16.0 muncul, kemudian pada **Toolbox** pilih jenis analisid yang akan digunakan yakni **Static Structural**. Pemilihan jenis analisis dapat dilakukan dengan cara **klik 2 kali** pada jenis analisis tersebut atau dengan menggesernya (***drag***) ke bagian tab **Project Schematic**. Hasil tampilan dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



2. ***Input* data Kriteria Material**
   Selanjutnya pada bagian **Engineering Data**, dapat dimasukkan data-data yang berkaitan dengan *material properties* yang digunakan dalam analisis. Cara *input*-nya adalah dengan **klik kanan** pada **Engineering Data > Edit**.

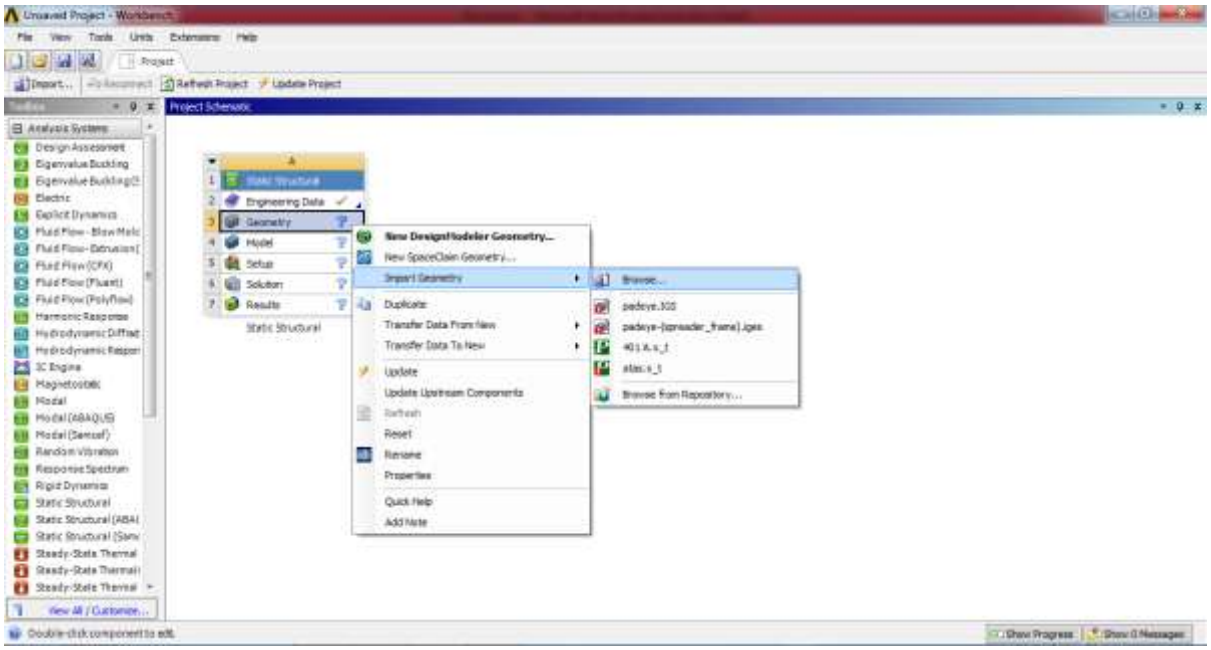


Kemudian akan muncul tab dialog baru untuk memasukkan data-data yang berkaitan dengan *material properties* seperti pada gambar di bawah ini.

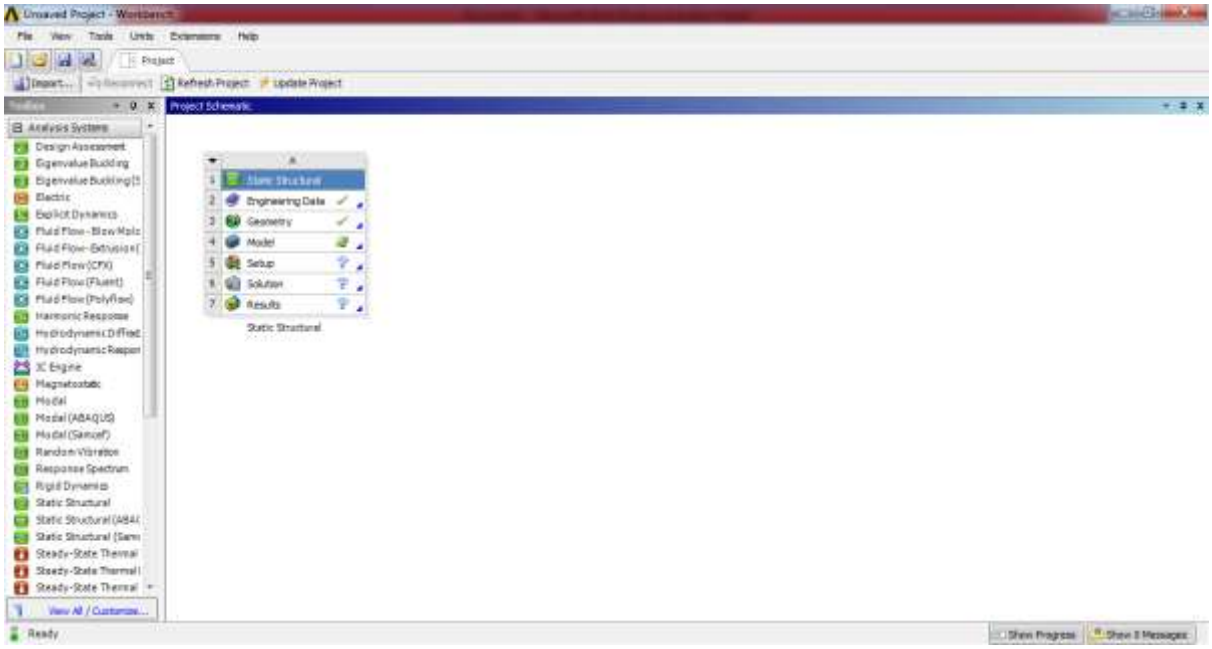


3. ***Import* Model *Solid Element* ke ANSYS**

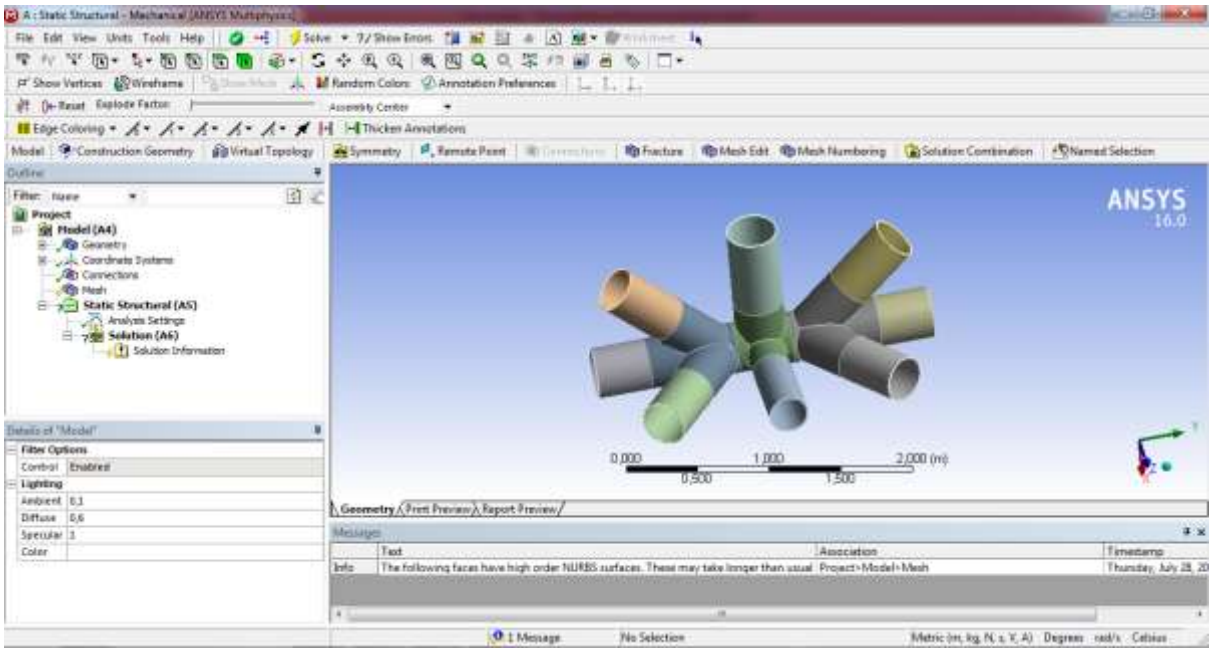
Langkah selanjutnya adalah *import* model *solid element* ke ANSYS dengan cara **klik kanan** pada bagian **Geometry** kemudian **klik Import Geometry > Browse..**



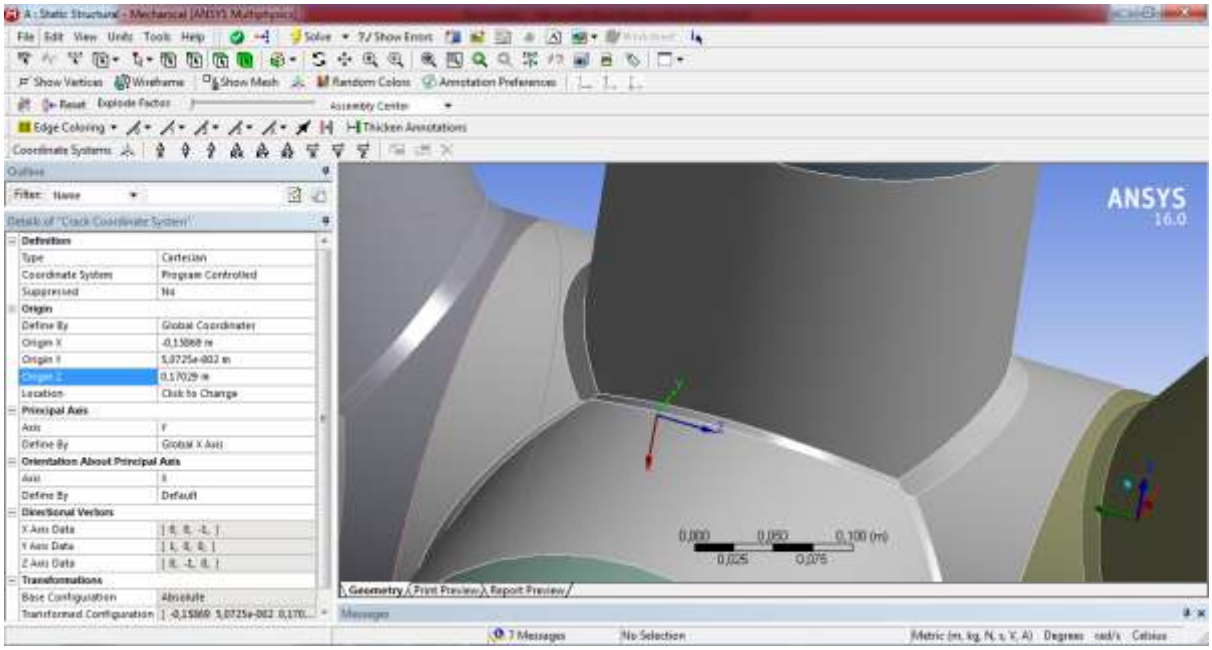
Kemudian pilih model *solid element* yang akan digunakan. Dalam penelitian model *solid element* sudah dibagi menjadi beberapa bagian dikarenakan untuk mempermudah pengaturan saat proses *meshing*. Apabila sudah terdapat tanda *checklist* (√) maka model *solid element* sudah selesai di-*input*-kan.



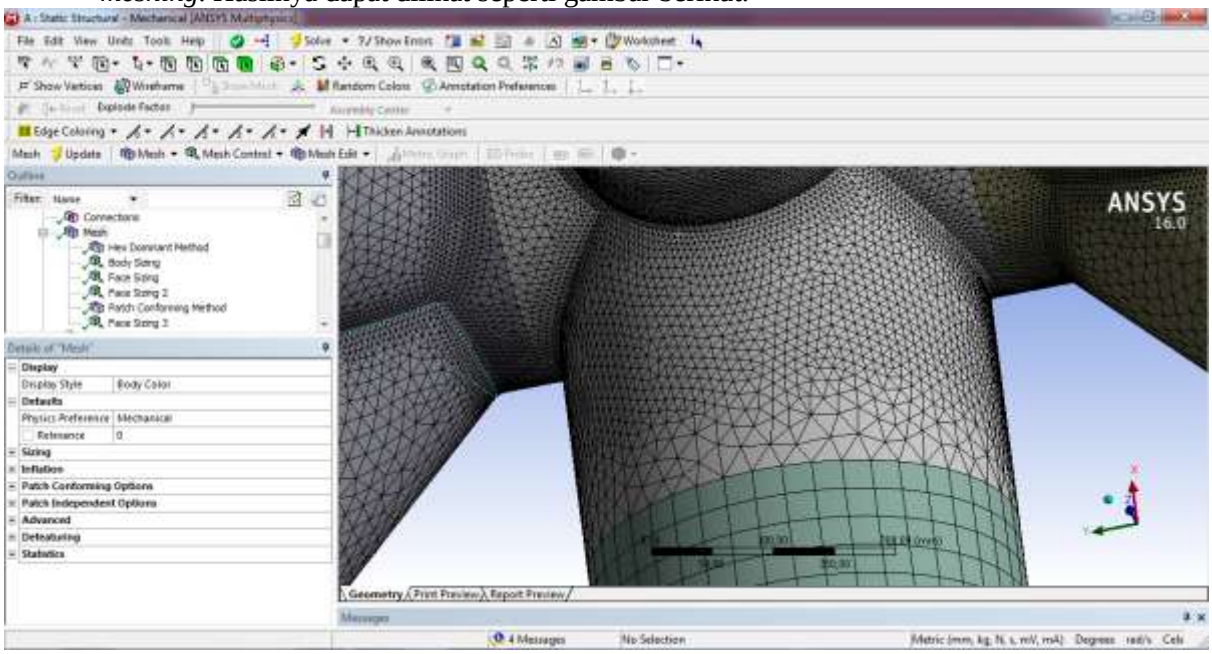
4. **Menentukan Sistem Koordinat untuk Posisi *Crack***
   Kemudian untuk memulai pemodelan *crack* dapat dilakukan dengan cara **klik 2 kali** pada bagian **Model**. Kemudian muncul tampilan utama dari ANSYS Multiphysics seperti gambar berikut.



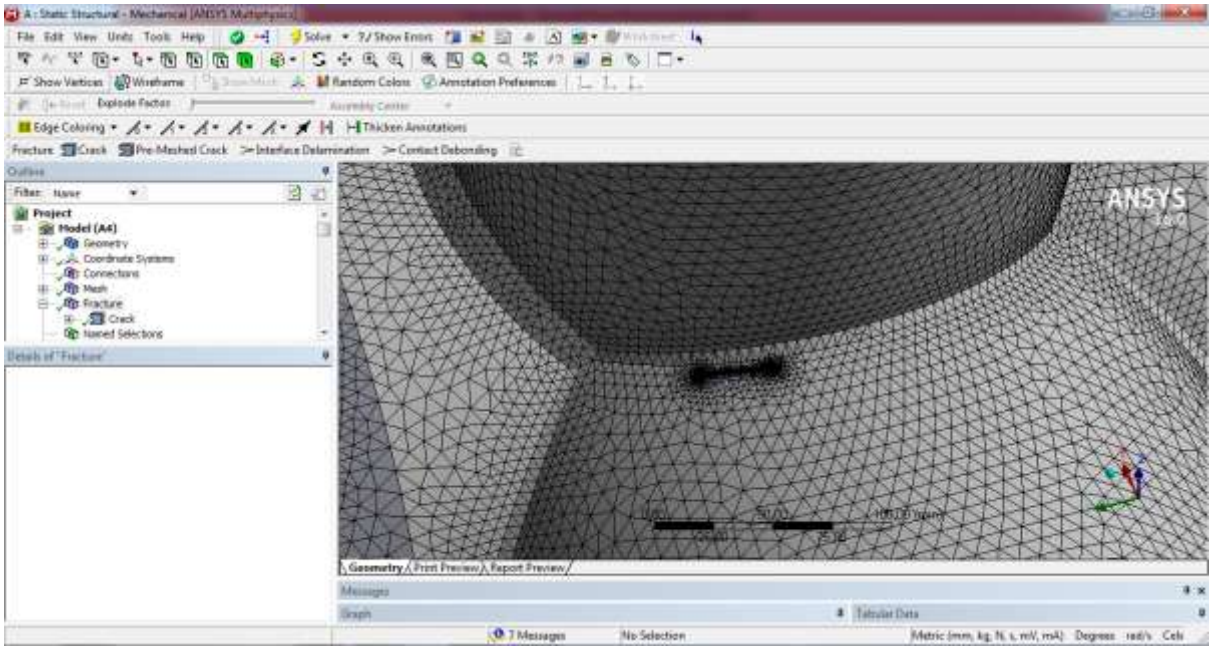
Untuk menentukan koordinat *crack*, dapat dilakukan dengan cara **klik kanan** pada **Coordinate Systems > klik insert > klik Coordinate Systems**. Kemudian letak koordinat *crack* dapat dimasukkan.



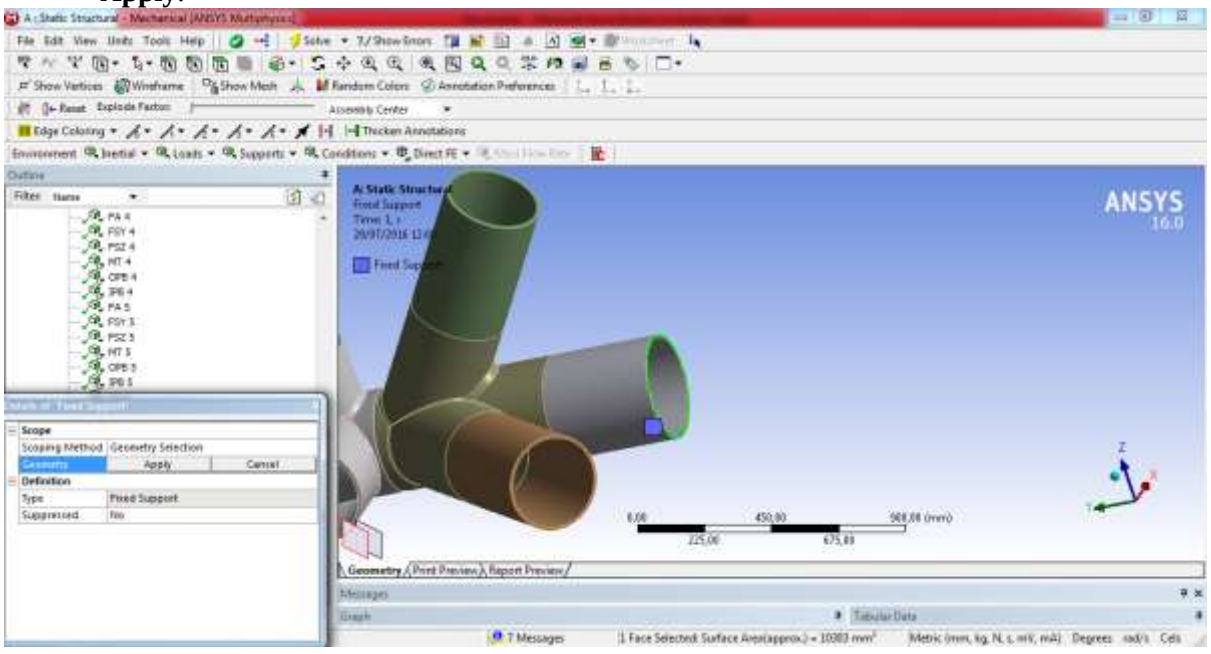
5. **Melakukan *Meshing* pada Model**
   Kemudian melakukan *meshing* pada model dengan ketentuan *meshing* pada bagian *crack* diperhalus agar hasil analisis terfokus pada daerah *crack*-nya. Cara *input meshing* terdiri dari 2 tahap, yaitu *input* metode *meshing* dan *input* ukuran *meshing*. Hasilnya dapat dilihat seperti gambar berikut.



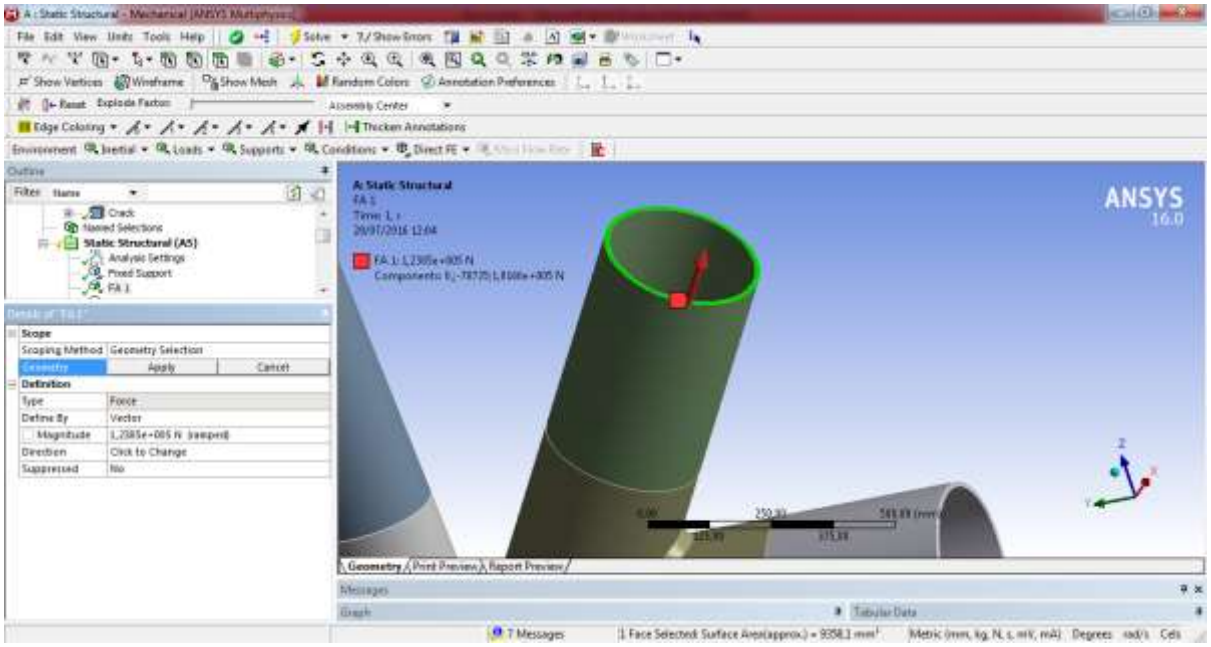
6. **Melakukan *Meshing Fracture* pada Model**
   Untuk *meshing fracture* dilakukan *input* model *crack* dengan cara **klik kanan** pada bagian **Fracture > klik Insert > klik Crack.** Kemudian geometri *crack* dapat dimasukkan. Selanjutnya dilakukan *meshing* ulang dengan cara **klik kanan Mesh > klik Update**. Hasilnya dapat dilihat seperti gambar berikut.



7. **Pemberian Kondisi Batas dan Pembebanan**
   Pemberian Kondisi Batas pada Model dapat dilakukan dengan cara **klik kanan Static Structural (A5) > klik Fixed Support**. Akan muncul tab dialog baru kemudian arahkan kursor ke bagian yang akan diberikan kondisi batas lalu **klik Apply**.

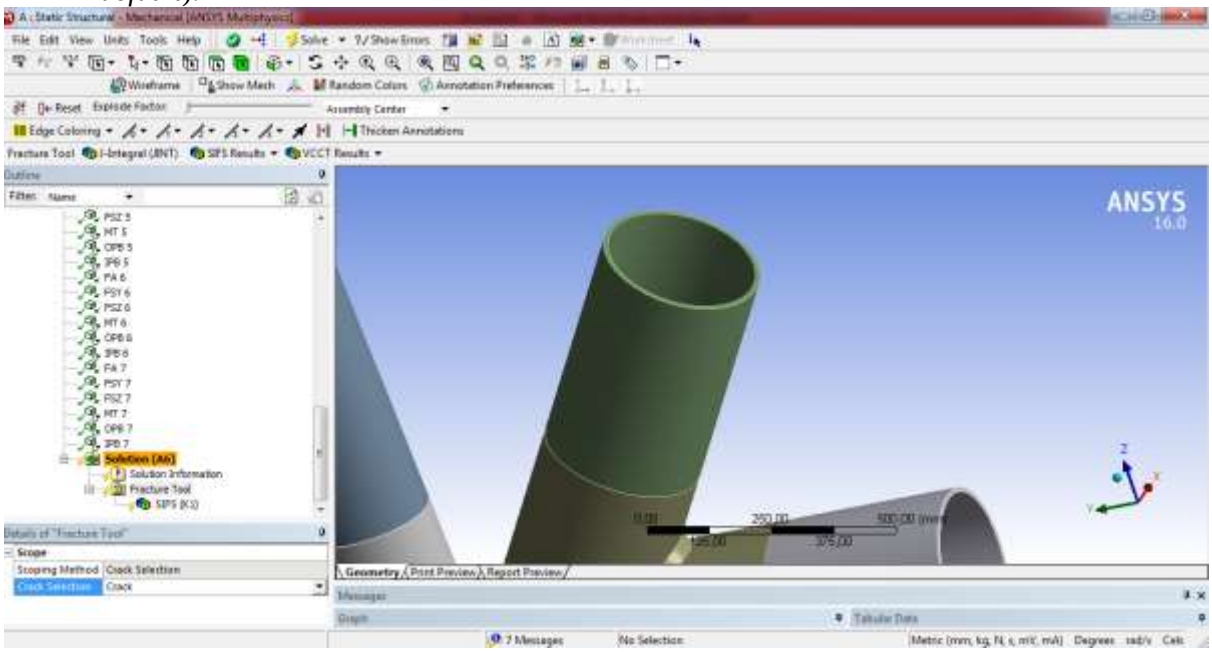


Input Pembebanan pada Model dilakukan dengan cara **klik kanan Static Structural (A5) > klik Force/Moment**. Akan muncul tab dialog baru kemudian lakukan hal yang sama seperti *input* kondisi batas.

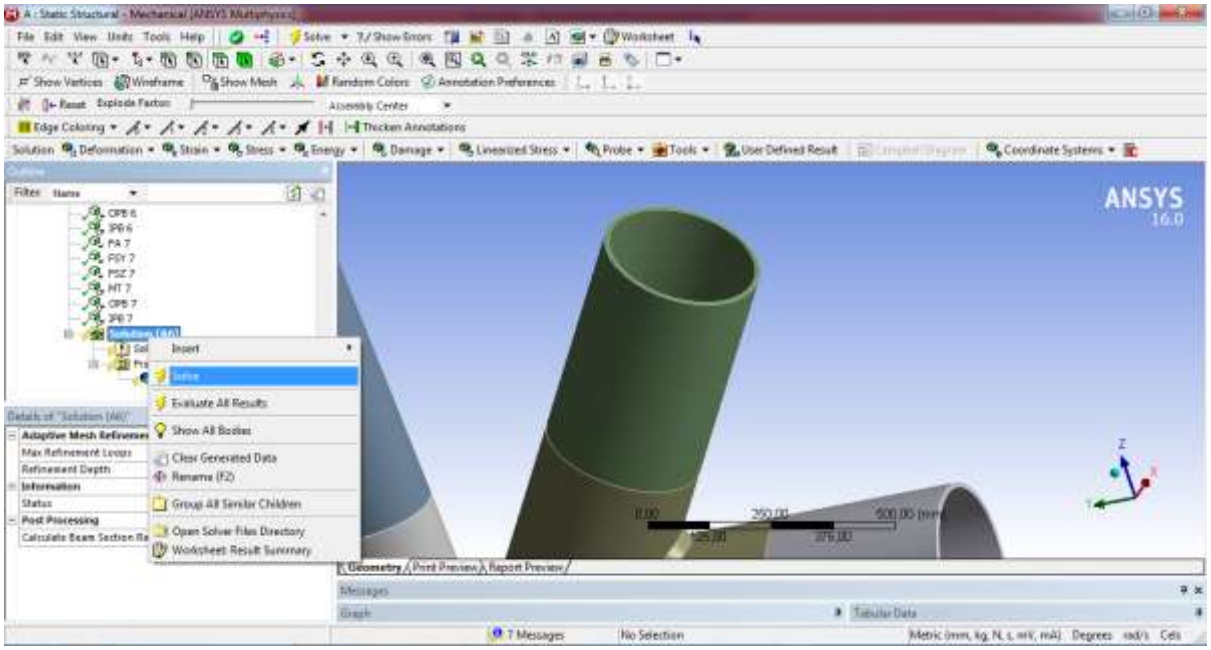


8. **Melakukan *Running Solving***

Sebelum melakukan *running solving*, terlebih dahulu dipilih *output* yang diinginkan, misalnya nilai SIF. Pemilihan *output* tersebut dapat dilakukan dengan cara **klik kanan Solution (A6) > klik Insert > klik Fracture Tool**. Akan muncul tab dialog baru "**Fracture Tool"** lalu **klik** bagian **Crack Selection** dan pilih nama *crack* yang ditinjau (nama tetap "*crack"* apabila masih dalam kondisi *default*).



Selanjutnya *running solving* dapat dilakukan dengan cara **klik kanan Solution (A6) > klik Solve.**



Tunggu *running solving* selesai, dan hasil analisis dapat diinterpretasikan.

BAB V
PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Dari berbagai hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, maka didapatkan beberapa kesimpulan yang bisa ditarik sekaligus menjawab semua rumusan masalah pada Bab I. Kesimpulan-kesimpulan yang didapatkan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) terbesar dengan pembebanan maksimum 6,86 MPa√m dan 6,02 MPa√m dengan pembebanan minimum serta nilai ini masih jauh dari besarnya nilai *fracture toughness* yaitu 182.19 MPa√m yang merupakan nilai SIF kritis, sehingga kondisi *tubular joint* 502 masih memenuhi dalam kriteria perancangan.
2. Laju perambatan retak terbesar pada *tubular joint* 502 yaitu 1,59E-10 in/cycle, yang merupakan laju perambatan retak region II, yang berarti laju perambatan retak masih dalam kategori stabil.
3. Perhitungan umur kelelahan yang terjadi pada *tubular joint* 502 dengan meninjau kedalaman retak terkritis dengan metode analitis dan numerik secara berturut-turut adalah 27,33 tahun dan 27,18 tahun. Sedangkan nilai umur kelelahan struktur dengan metode *cumulative damage* adalah 87,5 tahun. Selisih umur kelelahan struktur antara metode *cumulative damage* dengan metode *fracture mechanics* sebesar 60,2 tahun.

4.2 Saran

Beberapa hal yang dapat dijadikan saran dari penulis bagi yang ingin melanjutkan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperoleh nilai umur kelelahan yang sesungguhnya, harus mempertimbangkan seluruh data sebaran gelombang yang ada.
2. Diperlukan analisa lebih lanjut untuk menentukan sisa umur kelelahan dengan data inspeksi yang sudah dilakukan atau dengan menggunakan variasi parameter a/2c pada kondisi retak awal.

3. Analisa keandalan perlu dilakukan untuk mengetahui indeks keandalan sambungan kritis tehadap umur kelelahan struktur yang diakibatkan oleh *surface crack.*

DAFTAR PUSTAKA

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

ABS. (2003). "***Guide For Fatigue Assesment of Offshore Structures***". USA: American Bureau of Shipping.

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

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

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

Barsom, J. M., dan Rolfe, S.T. 1987. ***Fracture and Fatigue Control in Structures, Third Edition***. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

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

Bowness, D., dan M.M.K. Lee. 2000. ***Fracture Mechanics Assessment of Fatigue Cracks in Offshore Tubular Structures***. Unted Kingdom : Offshore Technology Report.

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

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

Huang, X., dan Hancock, J. W. 1988. The Stress Intensity Factor of Semi-Elliptical Crack in a Tubular Welded T-Joint under Axial Loading**.** **Engineering Fracture Mechanics**, 75, 2469-2479.

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

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

Murthy, dkk. 2004. An Efficient FE Modelling Strategy for Fracture Analysis of Tubular Joints. ***Journal of Structural Engineering Research Centre***, 85, 17-25.

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

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

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

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

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

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

Varga, T., 1993, Crack Initiation, Propagation and Arrest Criteria for Steel Structure Safety Assessment, ***Structural Safety 12***, 93-98.

Widyaningtyas, Ayu. 2005. "**Analisa Umur Kelelahan Tubular Joint Tipe T Yang Memiliki Retak Through Thickness Pada Chord Dengan Metode Linear Elastic Fracture Mechanics"**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

BIODATA PENULIS

Muhammad Fauzi, anak kedua dari tiga bersaudara ini lahir di Lumajang pada tanggal 10 April 1994. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Citrodiwangsan 02 Lumajang pada tahun 2006 dan SMP Negeri 1 Lumajang pada tahun 2009. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 2 Lumajang pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalu jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4312100016. Selama menempuh masa perkuliahan penulis sempat aktif di organisasi kemahasiswaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis pernah mendapatkan amanah sebagai Staf Ahli Departemen Sosial Masyarakat (SOSMAS) HIMATEKLA FTK ITS periode 2014-2015. Penulis pernah berkesempatan untuk melaksanakan kerja praktek di PT. *Global Process Systems* (GPS) Indonesia 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 fokusan pada mekanika kepecahan.