



TUGAS AKHIR - MO184804

**PENGARUH *GROUT FILLING* TERHADAP
KAPASITAS BEBAN MAKSIMUM *HORIZONTAL
BRACE* TERKOROSI PADA *JACKET PLATFORM***

FADLY BOSNI BADARUDIN

NRP. 0431154000055

DOSEN PEMBIMBING:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

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

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

2019



TUGAS AKHIR - MO184804

**PENGARUH *GROUT FILLING* TERHADAP KAPASITAS
BEBAN MAKSIMUM *HORIZONTAL BRACE* PADA *JACKET
PLATFORM***

Fadly Bosni Badarudin

NRP. 04311540000055

Dosen Pembimbing :

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknolgi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT - MO184804

**GROUT FILLING EFFECTS ON MAXIMUM LOAD CAPACITY
OF CORRODED HORIZONTAL BRACE ON JACKET
PLATFORM**

Fadly Bosni Badarudin

NRP. 04311540000055

Supervisors:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

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

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2019

**PENGARUH *GROUT FILLING* TERHADAP KAPASITAS
BEBAN MAKSIMUM *HORIZONTAL BRACE* TERKOROSI
PADA *JACKET PLATFORM***

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Fadly Bosni Badarudin

NRP. 0431154000055

Disetujui oleh:

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D  (Pembimbing 1)

.....

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

.....

3. Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc  (Penguji 1)

.....

4. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.  (Penguji 2)

.....

5. Darta Marina C, S.T., M.T.  (Penguji 3)

.....

Surabaya, Juli 2019

PENGARUH *GROUT FILLING* TERHADAP KAPASITAS BEBAN MAKSIMUM *HORIZONTAL BRACE* TERKOROSI PADA *JACKET PLATFORM*

Nama Mahasiswa : Fadly Bosni Badarudin
NRP : 0431154000055
Jurusan : Teknik Kelautan FTK-ITS
Dosen Pembimbing : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRAK

Fixed jacket platform merupakan struktur rangka yang terbuat dari baja silinder berongga dan disatukan dengan pengelasan serta berfungsi untuk menyangga beban operasi diatas *platform*. Struktur lepas pantai rentan terkena korosi terutama struktur yang telah beroperasi melebihi umur desainnya. *AW Platform* merupakan fasilitas produksi minyak yang beroperasi sejak tahun 1977 di *oil field West Madura*. Korosi mengakibatkan kekuatan struktur berkurang maka perlu dilakukan penanganan khusus. Kekuatan struktur yang berkurang dapat diatasi dengan *Strengthening, Modification, dan Repair* (SMR). SMR terdiri dari beberapa teknik seperti *member removal, weld improvement, grout filling*, dll. *Grout filling* mampu mengembalikan kekuatan *member* yang hilang akibat korosi. Kekuatan *member* yang mengalami perbaikan menggunakan *grout filling* perlu ditinjau kembali. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis lokal *ultimate strength* terhadap *horizontal brace* terkorosi *AW platform* yang diperbaiki dengan teknik *grout filling*. Analisis *ultimate strength* dilakukan dengan *increment load* berdasarkan analisis *pushover AW platform*. Hasil dari analisis didapatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* terkorosi sebesar 2240.20 kN dan setelah dilakukan *grout filling* sebesar 5839.88 kN. Sehingga metode *grout filling* dapat meningkatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 terkorosi sebesar 2.6 kali.

Kata Kunci : *grout filling*, kapasitas beban, korosi

GROUT FILLING EFFECTS ON MAXIMUM LOAD CAPACITY OF CORRODED HORIZONTAL BRACE ON JACKET PLATFORM

Name : Fadly Bosni Badarudin
NRP : 0431154000055
Department : Ocean Engineering FTK-ITS
Supervisor : Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

ABSTRACT

Fixed jacket platform is frame structure which made of hollow cylindrical steel and put together with welding and also serves to support the operating load on the platform. Offshore structure susceptible to corrosion especially structures that exceeded their design life. AW Platform is an oil production facility operating since 1977 in the West Madura oil field. Corrosion can cause reduction in structural strength so specific treatment is needed. Reduction of structural strength can be overcome by Strengthening, Modification, and Repair (SMR). SMR consist of several technique such as member removal, weld improvement, grout filling, etc. Grout filling is able to restore the strength of members lost due to corrosion. The strength of members which have repaired by grout filling needs to be reviewed. In this study, local ultimate strength analysis of the corroded horizontal brace of the AW platform which is repaired by grout filling will be carried out. Ultimate strength analysis is performed by increment load based on pushover analysis of AW platform. The result of the ultimate strength analysis is maximum load capacity corroded horizontal brace is 2240.20 kN and after it had repaired by grout filling method is 5839.88 kN. So that grout filling method could increase maximum load capacity of corroded horizontal brace A1-A2 up to 2.6 times.

Key word : *corrosion, grout filling, load capacity*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh *Grout Filling* Terhadap Kapasitas Beban Maksimum *Horizontal Brace* Terkorosi pada *Jacket Platform*” dengan lancar. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir yang penulis bahas tentang pengaruh *grout filling* terhadap kapasitas beban maksimum *member* terkorosi pada struktur *jacket AW platform*.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat kesalahan karena berbagai keterbatasan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak untuk memperbaiki dan menyempurnakan penulisan laporan ini untuk sekarang ataupun di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi pembaca dan khususnya bagi penulis pribadi.

Surabaya, Juli 2019

Fadly Bosni Badarudin
NRP. 0431154000055

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT karena berkat dan rahmat-Nya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Orang tua penulis yang senantiasa mendoakan serta memberikan dukungan moral dan material kepada penulis.
3. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dalam mengerjakan Tugas Akhir.
4. Para dosen penguji, yaitu Bapak Ir. J.J. Soedjono, M.Sc., Bapak Herman pratikno, S.T., M.T., Ph.D, Ibu Dirta Marina S.T., M.T. dan Ibu Wimala L. Dhanista, S.T., M.T. untuk pendapat dan sarannya dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Seluruh dosen maupun karyawan Departemen Teknik Kelautan FTK ITS yang telah membantu kelancaran penyelesaian Tugas Akhir.
6. Teman-teman pengurus Laboratorium Hidrodinamika yang saling menyemangati, membantu, dan berjuang bersama dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman angkatan 2015 TRITONOUS yang membantu, menyemangati, dan memberikan dukungan kepada penulis.
8. Pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Surabaya, Juli 2019

Fadly Bosni Badarudin

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan.....	3
1.4. Manfaat.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	9
2.2.1. Pengertian <i>Jacket Fixed Platform</i>	9
2.2.2. Pembebanan	11
2.2.3. Kriteria Penilaian <i>Platform</i>	12
2.2.4. Analisis <i>In-place Statis</i>	13
2.2.5. Konsep Tegangan.....	14
2.2.5.1. Tegangan Normal.....	14
2.2.5.2. Tegangan Geser.....	15
2.2.6. Kriteria Tegangan Ijin.....	16
2.2.6.1. Tegangan Tarik Aksial.....	16
2.2.6.2. Tegangan Tekan Aksial	16
2.2.6.3. Tegangan Tekuk.....	17
2.2.6.4. Tegangan Geser.....	18
2.2.6.5. Kombinasi Tekan Aksial dan <i>Bending Member</i> Silinder.....	18
2.2.7. Tegangan Von Mises	19

2.2.8.	<i>Analisis Pushover Non-Linear</i>	19
2.2.9.	<i>Reserve Strength Ratio (RSR)</i>	20
2.2.10.	Member Terkorosi.....	20
2.2.11.	<i>Strengthening, Modification, dan Repair (SMR)</i>	23
2.2.12.	<i>Grout Filling</i>	25
2.2.13.	<i>Model Finite Element</i>	26
2.2.13.1.	Sifat Material <i>Non-Linear</i> Baja dan <i>Grout</i>	27
2.2.13.2.	Elemen <i>Horizontal Brace</i> dan <i>Grout Filling</i>	29
2.2.13.3.	Interaksi Baja dengan <i>Grout Filling</i>	30
2.2.14.	Analisis Lokal <i>Ultimate Strength</i>	31
2.2.15.	<i>Software SACS</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.2.	Prosedur Penelitian.....	36
3.3.	Pengumpulan Data	38
3.3.1.	Data Struktur	38
3.3.2.	Data Lingkungan.....	41
3.3.2.1.	Data Arus	41
3.3.2.2.	Data Angin	41
3.3.2.3.	Data Gelombang	42
3.3.2.4.	Data Kedalaman Perairan dan Pasang Surut.....	42
3.3.2.5.	<i>Current Blockage Factor</i>	42
3.3.2.6.	Faktor Kinematik Gelombang.....	42
3.3.2.7.	Data Pembebanan.....	43
3.3.3.	Data Inspeksi.....	45
3.3.3.1.	Horizontal Brace A1-A2	46
3.3.3.2.	Horizontal Brace B1-B2.....	46
3.3.3.3.	Horizontal Brace B2-A2	47
3.3.3.4.	Horizontal Brace A1-B1	47
3.3.3.5.	Diagonal Horizontal Brace A1 & Leg/Pile Connection.....	48
BAB IV HASIL ANALISIS & PEMBAHASAN.....		51
4.1.	Hasil Analisis.....	51
4.1.1.	Pemodelan Struktur.....	51
4.1.2.	Validasi Model Struktur.....	52

4.1.3.	<i>Analisis In-place Statis</i>	52
4.1.4.	<i>Analisis Pushover Non-Linear</i>	55
4.1.5.	<i>Simulasi Model Finite Element</i>	57
4.1.5.1.	Data Spesimen.....	57
4.1.5.2.	Sifat Material <i>Non-Linear</i> Baja.....	58
4.1.5.3.	Sifat Material <i>Non-Linear Concrete</i>	58
4.1.5.4.	Model <i>Finite Element</i> Spesimen CS-2.....	59
4.1.5.5.	Pemilihan Elemen dan <i>Meshing</i> pada Model.....	60
4.1.5.6.	Validasi Simulasi <i>Finite Element</i>	61
4.1.6.	<i>Analisis Lokal Ultimate Strength</i>	62
4.1.6.1.	<i>Horizontal Brace</i> A1-A2 Terkorosi	62
4.1.6.2.	<i>Grouted Horizontal Brace</i> A1-A2 Terkorosi.....	66
4.1.6.3.	Kapasitas Beban Maksimum <i>Horizontal Brace</i> A1-A2.....	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		71
5.1.	Kesimpulan.....	71
5.2.	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA		73
LAMPIRAN		
BIODATA PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Komponen Struktur Jacket/Tower Fixed.....	9
Gambar 2. 2. Pembebanan Aksial pada Batang Tubular.....	15
Gambar 2. 3. Pembebanan Momen Kopel pada Batang Tubular	15
Gambar 2. 4. Gaya Puntiran pada Batang Silinder.....	15
Gambar 2. 5. Korosi yang Terjadi pada <i>Horizontal Brace A1-A2</i>	21
Gambar 2. 6. Korosi Uniform pada Permukaan Logam.....	21
Gambar 2. 7. Bentuk-Bentuk Korosi Pitting	22
Gambar 2. 8. Keterkaitan antara Skenario, Skema SMR, dan Teknik SMR.....	23
Gambar 2. 9. Member Removal pada Subsea Casing Stub di Gulf of Mexico..	24
Gambar 2. 10. Injeksi Material <i>Grout</i> pada <i>Jacket</i>	25
Gambar 2. 11. <i>Grout Filling</i> pada <i>Brace</i>	26
Gambar 2. 12. Kurva <i>Stress-Strain</i> Baja	28
Gambar 2. 13. Kurva <i>Stress-Strain Concrete</i>	29
Gambar 2. 14. Geometri Elemen SOLID185	30
Gambar 2. 15. Geometri Elemen CONTA174	30
Gambar 2. 16. Kapasitas Beban Maksimum CFST	32
Gambar 3. 1. Alur Metodologi Penelitian	35
Gambar 3. 2. Alur Metodologi Penelitian (lanjutan).....	36
Gambar 3. 3. AW Platform pada Tahun 2014.....	38
Gambar 3. 4. Elevasi struktur AW Platform	39
Gambar 3. 5. Arah Utara AW Platform terhadap Utara Sebenarnya	40
Gambar 3. 6. Lokasi Inspeksi Horizontal Brace A1-A2.....	46
Gambar 3. 7. Lokasi Inspeksi Horizontal Brace B1-B2	46
Gambar 3. 8. Lokasi Inspeksi Horizontal Brace B2-A2.....	47
Gambar 3. 9. Lokasi Inspeksi Horizontal Brace A1-B1	47
Gambar 3. 10. Lokasi Inspeksi Diagonal Brace A1 & Pile Connection	48
Gambar 4. 1. Hasil Pemodelan Struktur AW Platform	51
Gambar 4. 2. Arah Beban Lingkungan AW <i>Platform</i>	52
Gambar 4. 3. Plot <i>Member Unity Check</i> pada Kondisi Operasi	53
Gambar 4. 4. Plot <i>Member</i> Plastis pada <i>Pushover</i> Arah 45°	56

Gambar 4. 5. Spesimen dan Kondisi Batas CS-2	57
Gambar 4. 6. Kurva <i>Stress-Strain</i> Baja Referensi dan Hasil Pemodelan	58
Gambar 4. 7. Kurva <i>Stress-Strain Concrete</i> Referensi dan Hasil Pemodelan	59
Gambar 4. 8. Model <i>Finite Element</i> Spesimen CS-2	60
Gambar 4. 9. (kiri) Geometri Solid C3D8R dan (kanan) SOLID185.....	60
Gambar 4. 10. <i>Meshing</i> pada Model CS-2	61
Gambar 4. 11. Perbandingan Hasil Tes CS-2 dengan Model <i>Finite Element</i>	61
Gambar 4. 12. Kurva <i>Load-Deflection</i> Referensi dan Model FE.....	62
Gambar 4. 13. Kurva <i>Stress-Strain</i> Material Baja.....	63
Gambar 4. 14. <i>Horizontal Brace</i> A1-A2 pada Model SACS	63
Gambar 4. 15. Geometri dan Pemodelan Korosi <i>Horizontal Brace</i>	64
Gambar 4. 16. <i>Meshing</i> pada <i>Horizontal Member</i> A1-A2	64
Gambar 4. 17. <i>Boundary Condition Horizontal Brace</i> A1-A2	65
Gambar 4. 18. Distribusi Tegangan <i>Horizontal Brace</i> A1-A2 Terkorosi	65
Gambar 4. 19. Kurva <i>Stress-Strain Grout</i>	66
Gambar 4. 20. Geometri dan Pemodelan <i>Grouted Horizontal Brace</i>	66
Gambar 4. 21. <i>Friction connection</i> antara baja dan <i>grout</i>	67
Gambar 4. 22. <i>Meshing</i> pada <i>Grouted Horizontal Member</i> A1-A2.....	67
Gambar 4. 23. <i>Boundary Condition Grouted Horizontal Brace</i> A1-A2	68
Gambar 4. 24. Distribusi Tegangan <i>Grouted Horizontal Brace</i> A1-A2	68
Gambar 4. 25. <i>Reaction Force Joint Horizontal Brace</i> A1-A2 Terkorosi.....	69
Gambar 4. 26. <i>Reaction Force Joint Grouted Horizontal Brace</i> A1-A2	69
Gambar 4. 27. Perbandingan Kapasitas Beban <i>Horizontal Brace</i> A1-A2.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Deskripsi struktur <i>AW Platform</i>	40
Tabel 3. 2. Spesifikasi Material Baja pada <i>AW Platform</i>	41
Tabel 3. 3. Profil Arus saat Kondisi Operasi dan Badai.....	41
Tabel 3. 4. Data Gelombang saat Kondisi Operasi dan Badai	42
Tabel 3. 5. Data Kedalaman Perairan dan Pasang Surut	42
Tabel 3. 6. <i>Current Blockage Factor</i>	42
Tabel 3. 7. Faktor Kinetik Gelombang.....	43
Tabel 3. 8. <i>Structural Dead Load</i>	43
Tabel 3. 9. Beban Perlengkapan	43
Tabel 3. 10. Beban Perlengkapan (lanjutan)	44
Tabel 3. 11. Beban <i>Crane</i>	44
Tabel 3. 12. Beban Perpipaan.....	45
Tabel 3. 13. Beban Hidup.....	45
Tabel 3. 14. Data Inspeksi <i>Horizontal Brace A1-A2</i>	46
Tabel 3. 15. Data Inspeksi <i>Horizontal Brace B1-B2</i>	47
Tabel 3. 16. Data Inspeksi <i>Horizontal Brace B2-A2</i>	47
Tabel 3. 17. Data Inspeksi <i>Horizontal Brace A1-B1</i>	48
Tabel 3. 18. Data Inspeksi <i>Diagonal Brace A1 & Pile Connection</i>	49
Tabel 4. 1. Validasi Model	52
Tabel 4. 2. UC Horizontal Brace A1-A2 pada Kondisi Operasi	54
Tabel 4. 3. UC Horizontal Brace A1-A2 pada Kondisi Badai	54
Tabel 4. 4. Reserve Strength Ratio pada 8 Arah Pembebanan.....	55
Tabel 4. 5. Defleksi Horizontal Brace A1-A2 pada Pushover Arah 45°	56

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi struktur lepas pantai berkembang pesat bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan akan minyak dan gas. Kebutuhan tersebut dapat terpenuhi dengan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi migas lepas pantai dimana membutuhkan fasilitas pendukung. Fasilitas pendukung berupa *jacket platform* merupakan struktur yang umum digunakan untuk eksploitasi migas di perairan dangkal. *Jacket fixed platform* merupakan struktur rangka baja yang terdiri dari bagian utama seperti *jacket*, *pile*, dan *topside*. Struktur lepas pantai harus mampu menahan beban *deck* dan lingkungan. Beban-beban dalam perancangan yang harus diperhitungkan antara lain beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban lingkungan (*environmental*), beban konstruksi, beban pengangkatan & reinstalasi. (Pratama, 2017)

AW *platform* merupakan fasilitas produksi minyak dan gas lepas pantai yang telah beroperasi lebih dari 35 tahun. AW *platform* berlokasi di *oil field West Madura* dengan kedalaman perairan 180 ft. terhadap *Mean Low Water (MLW)*. *Platform* tersebut dibuat pada tahun 1977 dengan konfigurasi 4 kaki dan 1 *level deck (cellar deck)*, kemudian dimodifikasi dengan menambahkan *main deck*. Pada bulan juni 2015, inspeksi NDE dilakukan untuk mengetahui keadaan *platform* terkini. Berdasarkan inspeksi tersebut terdapat beberapa bagian pada *platform* yang mengalami korosi cukup parah. Korosi pada AW *platform* mengakibatkan perubahan pada kekuatan struktur dan tidak dapat disamakan dengan desain awal.

Korosi mengakibatkan fenomena penurunan kekuatan pada struktur lepas pantai. Korosi tidak hanya terjadi pada bagian struktur lepas pantai yang terendam air, namun juga pada bagian yang terpapar kondisi lingkungan tersebut. (Gucuyen & Erdem, 2014). Korosi dapat diklasifikasikan menjadi korosi *uniform* dan lokal. Korosi *uniform* merupakan korosi yang sering terjadi dan mengakibatkan pengurangan ketebalan *member* secara merata. (Øyasæter, Aeran, Siriwardane, & Mikkelsen, 2017). Korosi lokal terjadi pada lokasi spesifik dimana lapisan pelindung telah rusak. Bentuk umum korosi lokal yaitu *pitting* dan *crevice* (Frankel &

Sridhar, 2008). Hilangnya material karena korosi akan mempengaruhi kekuatan pada *member* terkorosi.

Kekuatan struktur yang berkurang akibat korosi dapat diatasi dengan melakukan *Strengthening, Modification, & Repair (SMR)*. SMR terdiri dari beberapa teknik seperti *member removal, improved weld, grout filling*, dan lain-lain. Teknik tersebut ditentukan dengan pertimbangan teknis, operasional, dan ekonomis. Berdasarkan skema SMR yang disampaikan Dier (2004) kerusakan akibat korosi dapat diatasi dengan *member removal, load reduction*, SMR lokal, atau SMR global. *Member removal* dilakukan untuk menghindari kerusakan lebih lanjut atau perambatan retak dengan memotong *member* berdasarkan pertimbangan integritas sistem keseluruhan. *Load reduction* dilakukan dengan mengurangi beban seperti perlengkapan atau *appurtenances*. Kemudian apabila kedua teknik tersebut tidak memungkinkan maka dapat dilakukan SMR lokal. Apabila lokal SMR tidak berhasil maka dilakukan SMR global. Teknik SMR lokal yang dapat dilakukan pada struktur yang mengalami korosi yaitu *grout member, grout sleeve, dan weld patch plates*. *Grout member* atau *grout filling* merupakan teknik SMR lokal yang akan diterapkan pada Tugas Akhir ini. *Grout filling* tidak hanya mengembalikan kekuatan *member* yang rusak namun pada beberapa kasus juga meningkatkannya. (Nichols & Khan, 2017)

Kekuatan *member* setelah dilakukan perbaikan *grout filling* perlu ditinjau kembali. Berdasarkan API RP 2A WSD kekuatan *member* dapat dianalisis menggunakan *Ultimate Strength Analysis*. *Ultimate strength Analysis* dilakukan dengan menambahkan beban secara bertahap. Analisis ini menghasilkan estimasi kapasitas beban maksimal yang dapat diterima *member*.

Berdasarkan latar belakang tersebut pada maka Tugas Akhir ini melakukan analisis lokal *ultimate strength* menggunakan *increment load* berdasarkan analisis *pushover* pada *horizontal brace* yang terkorosi. Analisis tersebut akan dibatasi pada salah satu *member AW platform* yang diperbaiki dengan metode *grout filling*.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dijelaskan pada Tugas Akhir ini, antara lain :

1. Berapa kapasitas beban maksimum *horizontal brace* terkorosi?

2. Berapa kapasitas beban maksimum *horizontal brace* terkorosi setelah dilakukan *grout filling*?
3. Berapa rasio kapasitas beban maksimum *horizontal brace* saat mencapai *ultimate strength* sebelum dengan sesudah dilakukan *grout filling*?

1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mendapatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* terkorosi.
2. Mendapatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* terkorosi setelah dilakukan *grout filling*.
3. Mendapatkan rasio kapasitas beban maksimum *horizontal brace* saat mencapai *ultimate strength* sebelum dengan sesudah dilakukan *grout filling*.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui kapasitas beban *horizontal brace* terkorosi sebelum dan sesudah dilakukan *grout filling* saat mencapai *ultimate strength*. Selanjutnya mengetahui pengaruh *grout filling* terhadap kapasitas beban *horizontal brace* terkorosi pada struktur AW platform.

1.5. Batasan Masalah

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

1. Pemodelan dan analisis *in-place* struktur AW platform menggunakan software SACS 5.7.
2. Beban yang bekerja pada struktur adalah beban aksial (*payload*) dan beban lateral (*environmental load*).
3. *Horizontal brace* terkorosi sebelum dan sesudah diperbaiki *grout filling* pada analisis lokal dimodelkan menggunakan *finite element method*.
4. *Bracing V* tidak dimodelkan pada analisis lokal *horizontal brace* terkorosi.

5. Korosi dimodelkan pada *horizontal brace* terkorosi berupa pengurangan ketebalan sesuai dengan data inspeksi.
6. Elemen solid digunakan untuk memodelkan *horizontal brace* dan *grout filling*.
7. Mode kegagalan analisis lokal *ultimate strength horizontal brace* menerapkan hasil analisis *pushover AW platform*.
8. Umur kelelahan tidak dihitung pada Tugas Akhir ini.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada Tugas Akhir ini dapat dijelaskan seperti berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan Tugas Akhir, manfaat yang diperoleh, serta batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan dalam tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Tinjauan pustaka dan dasar teori merupakan pedoman Tugas Akhir ini berdasarkan beberapa penelitian terkait yang telah dilakukan oleh peneliti lainnya. Kemudian teori-teori pendukung yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi tersebut bersumber pada jurnal lokal maupun internasional, literatur, *rules / code* dan juga buku yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan tentang alur pengerjaan Tugas Akhir dengan tujuan untuk memecahkan masalah yang diangkat dalam bentuk diagram alir atau *flow chart* yang disusun secara sistematis yang dilengkapi pula dengan penjelasan detail untuk setiap langkah pengerjaannya. Kemudian, terdapat data-data yang digunakan pada Tugas Akhir ini.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hasil dan pembahasan menjelaskan analisis- analisis yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah. Kemudian dalam bab ini juga dilakukan pembahasan dari setiap hasil analisis.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan yang merupakan uraian singkat dari keseluruhan hasil analisis. Uraian singkat ini diharapkan bisa menjawab rumusan masalah yang ada pada Bab I. Pada bab ini juga berisikan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian terkait kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

Merupakan kutipan referensi-referensi yang dipakai sebagai acuan dalam pengerjaan Tugas Akhir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian terkait pengaruh korosi terhadap berkurangnya kekuatan *tubular member* telah diteliti oleh Sakthivel, dkk. (2015). Sakthivel, dkk. (2015) melakukan eksperimen dan analisis numerik kapasitas beban sisa dari *tubular member* baja terkorosi *uniform* dan *pitting*. Spesimen yang digunakan pada eksperimen memiliki panjang 1500mm, tebal 5.31mm, dan diameter 88.9mm. Terdapat plat pada ujung-ujung spesimen dengan diameter 200mm dan tebal 16mm. Spesimen terkorosi dibuat dengan merendamnya pada larutan elektrolit NaCl 3.5%. Berdasarkan hasil penelitian diketahui kapasitas beban yang dapat diterima *tubular member* terkorosi berkurang secara signifikan akibat korosi *uniform* dan *pitting*. Kapasitas beban sisa dari *tubular member* yang diberi beban tekan berkurang sampai 81% untuk pengurangan ketebalan 40% pada korosi *uniform*. Kapasitas beban sisa dari *tubular member* terkorosi berkurang hingga 93% untuk 10% korosi *pitting* yang terjadi. Moda kegagalan berupa *buckling* terjadi pada bagian yang mengalami pengurangan ketebalan.

Wang dan Shenoi (2019) melakukan penelitian eksperimen dan numerik kekuatan *ultimate tubular member* yang mengalami *pitting* korosi. Korosi lubang pada *member* yang dites dibentuk secara mekanik berbentuk lingkaran atau piramid. Lubang tersebut direpresentasikan sebagai luasan yang hilang akibat korosi. Berdasarkan eksperimen tersebut semakin banyak *pitting* korosi dan luasan yang hilang mengakibatkan berkurangnya kekuatan struktural yang besar. Spesimen utuh memiliki kapasitas beban *ultimate* 377 kN sedangkan spesimen dengan korosi *pit* 20x10 berbentuk lingkaran kapasitas beban *ultimatenya* sebesar 323 kN. Kemudian analisis numerik disesuaikan dengan hasil eksperimen. *Tubular member* dimodelkan dengan *shell elemen* 4-node dengan *quadrilateral meshes*. Model *tubular member* yang utuh memiliki kapasitas beban *ultimate* 354 kN sedangkan model dengan *pitting* korosi acak memiliki kapasitas beban *ultimate* rata-rata dan minimum sebesar 310 kN dan 260 kN.

Xiong, Xiong, & Liew (2017) meneliti tentang kelakuan *tubular member* baja yang diisi dengan *ultra high strength concrete*. Terdapat 14 spesimen yang digunakan pada penelitian ini. Eksperimen dilakukan dengan memberi beban *concentric* dan *eccentric* pada *concrete filled steel tubes* (CFST). Baja yang digunakan memiliki *yield strength* sebesar 800 N/mm^2 , sedangkan *concrete* yang digunakan memiliki kekuatan tekan sebesar 200 N/mm^2 . Kelakuan campuran CFST kolom terbilang elastis dengan daya tahan turun secara halus dari puncak beban. Spesimen CS-1 yang dikenai beban *concentric* mampu menahan beban aksial sebesar 6402 kN. Sedangkan spesimen CS-2 hanya mampu menerima beban aksial sebesar 4340 kN namun penurunan setelah mencapai beban maksimum lebih landai. Analisis numerik dengan metode *finite element* juga dilakukan pada penelitian ini menggunakan *software* ABAQUS. Sifat *non-linear* material baja dan *concrete* dimodelkan dengan kurva *stress-strain*. Kemudian hubungan antara baja dan *concrete* dimodelkan menggunakan *surface-to-surface contact*. Model kontak memungkinkan terjadinya pemisahan saat ditarik namun tidak dapat menembus satu sama lain. Kemudian koefisien gesek diaplikasikan pada kontak ini sebesar 0.25.

Penelitian yang dilakukan Kedziora & Anwaar (2018) terkait kekuatan kombinasi *concrete-steel* pada *concrete filled steel tubes* (CFST) yang dikenai beban *eccentric*. CFST dimodelkan menggunakan *software finite element* berdasarkan data eksperimen dari literatur yang lain. Material baja dimodelkan dengan elastisitas *isotropic* dan kurva *isotropic multilinear hardening*. Sedangkan untuk material *concrete* dimodelkan dengan plastisitas Drucker-Prager. Hubungan antara baja dan *concrete* dimodelkan gesekan dengan koefisien gesek 0.5. Tabung baja pada *software finite element* dimodelkan sebagai elemen *solid-shell* SOLSH190, sedangkan *concrete* dimodelkan sebagai elemen *solid* SOLID185.

Para peneliti sebelumnya melakukan analisis *ultimate strength* pada *tubular member* yang mengalami kerusakan ataupun korosi. Berdasarkan penelitian tersebut belum ada analisis *ultimate strength* pada *tubular member* terkorosi yang diperbaiki dengan metode *grout filling*. Analisis dengan mempertimbangkan *grout filling* perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh terhadap kapasitas beban *member*.

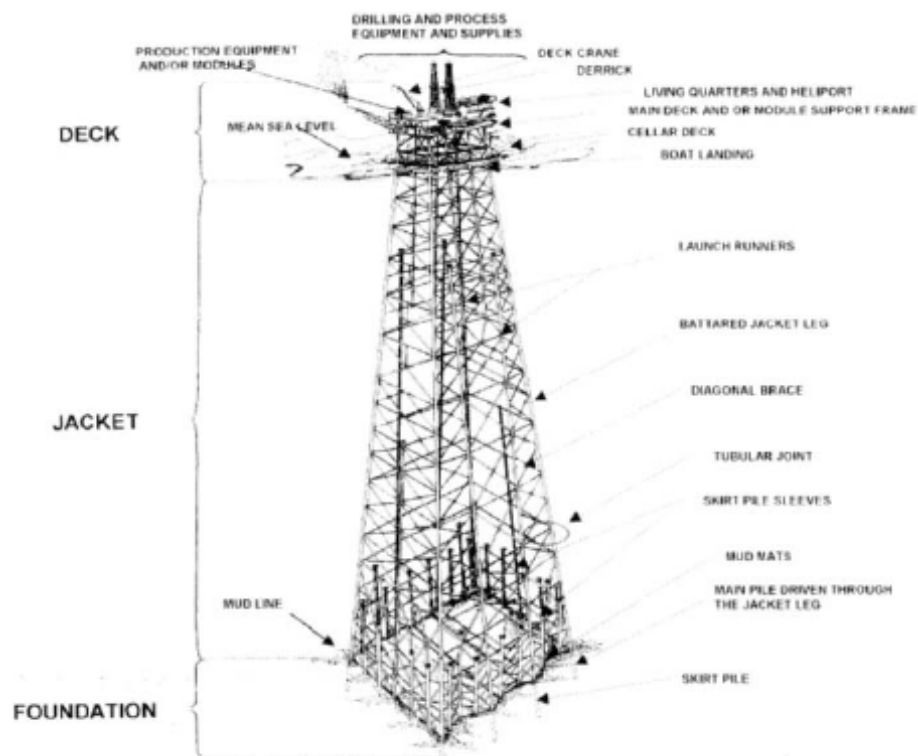
2.2. Dasar Teori

Berikut ini merupakan teori-teori pendukung yang digunakan sebagai referensi dalam Tugas Akhir ini.

2.2.1. Pengertian *Jacket Fixed Platform*

Bangunan lepas pantai dapat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan konstruksinya. Tiga jenis konstruksi pada bangunan lepas pantai yaitu struktur terpancang (*fixed structure*), struktur terapung (*floating structure*) dan struktur lentur (*compliant platform*). Contoh struktur terapung adalah *semi-submersible* dan *drilling ship*. Kemudian contoh *compliant platform* yaitu SPAR dan *Tension Leg Platform*. Sedangkan struktur terpancang memiliki persamaan yaitu terpancang ke *seabed*. Perbedaan antara struktur terpancang berkisar tentang fungsi, jumlah kaki dan konfigurasi *bracing*.

Menurut Chakrabarti (2005), secara prinsip komponen struktur dari tipe *steel jacket offshore platform* adalah *deck*, *jacket*, dan *foundation*. Gambar 2.1. menunjukkan ilustrasi komponen-komponen pada *jacket platform* :



Gambar 2. 1. Komponen Struktur *Jacket/Tower Fixed*

(Sumber: Chakrabarti, 2005)

Deck merupakan penunjang peralatan pengeboran dan produksi dan *life support system* pada *platform*. Jenis-jenis *deck* sudah berkembang untuk memenuhi prasyarat fabrikasi infrastruktur dan instalasi peralatan. Prasyarat operasional mengatur ukuran dan konfigurasi secara vertical dan horizontal pada *platform*. Hal tersebut dibutuhkan untuk efisiensi operasi dan keselamatan manusia dan lingkungan. Secara umum komponen utama *deck* adalah sebagai berikut :

- Kaki *deck*
- *Main* (longitudinal) dan *wind trusses* (jika struktur *deck* dipilih menggunakan sistem *girder* terbuka)
- *Deck beams*
- Pelat *deck*
- *Skid beams* (jika pengeboran direncanakan menggunakan *tender rig*)

Jacket/tower berfungsi untuk memberikan dukungan pada *deck*. *Jacket* memberikan ketinggian sehingga *deck* berada diatas permukaan laut. *Jacket* juga bisa berfungsi sebagai penyangga konduktor dan substruktur lainnya seperti *boat landing*, *barge bumper*, *riser*, *mud-mats*, dan lain-lain. Komponen utama dari struktur *jacket* adalah sebagai berikut. :

- Kaki *jacket*
- *Braces* (vertikal, horizontal, dan diagonal)
- *Joint*, yaitu titik perpotongan kaki dan *braces*
- *Launch runners* dan *trusses*, yaitu komponen ketika *jacket* diangkut dan diluncurkan ke laut dari *barge* menggunakan *skid* dan *tilting beam*
- *Skirt pile sleeves* dan *braces* (jika *skirt piles* dibutuhkan)
- *Appurtenances* (*boat landing*, *barge bumper*, *brace* konduktor, *risers guide*, dan lain-lain)

Foundation merupakan *pile* yang dipancang melalui kaki *jacket* atau *skirt pile sleeves* ke dasar laut hingga menembus kedalaman tertentu. *Pile* yang dipancang melalui kaki *jacket* biasanya dilas ke *kaki jacket* diatas permukaan air. *Pile* bisa juga dilakukan *grouting* ke kaki *jacket* untuk meningkatkan kekakuan. (Chakrabarti, 2005)

2.2.2. Pembebanan

Struktur anjungan lepas pantai mengalami berbagai macam kondisi pembebanan. Kondisi pembebanan. Kondisi pembebanan menurut API RP 2A WSD antara lain :

a) Beban Mati (*dead load*)

Beban Mati (*dead load*) merupakan beban dari berat *platform*, semua perlengkapan yang permanen dan struktur pelengkap yang tidak berubah selama beroperasinya *platform*. Beban mati terdiri dari :

- Berat *platform* di udara, termasuk berat *piles*, *grout* dan *ballast* yang sesuai.
- Berat perlengkapan dan struktur pelengkap permanen yang dipasang pada *platform*.
- Gaya hidrostatis yang mengenai struktur dibawah permukaan air termasuk tekanan eksternal dan *bouyancy*.

b) Beban Hidup (*live load*)

Beban hidup (*live load*) merupakan beban-beban yang mengenai struktur pada saat operasional dan dapat berubah selama operasi *platform* berlangsung. Beban hidup terdiri dari :

- Berat perlengkapan pengeboran dan produksi yang bisa ditambahkan atau dihilangkan dari *platform*.
- Berat tempat tinggal (*living quarter*), *heliport*, dan perlengkapan penunjang lainnya yang bisa ditambahkan dan dihilangkan dari *platform*.
- Berat dari *supplies* kebutuhan dan cairan lainnya yang mengisi tangki penyimpanan.
- Gaya yang terjadi pada struktur karena proses operasi seperti pengeboran, pemindahan material, penambatan kapal dan beban *helicopter*.
- Gaya yang terjadi akibat penggunaan *crane*. Gaya tersebut bersal dari pertimbangan beban mati (ketika tidak beroperasi) dan beban akibat pergerakan *crane*.

c) Beban Lingkungan (*environmetal*)

Beban lingkungan adalah beban yang mengenai struktur akibat fenomena alam seperti angin, arus, gelombang, gempa bumi, salju, es dan pergerakan kerak bumi. Beban lingkungan juga termasuk pengaruh variasi tekanan hydrostatic *bouyancy* pada setiap *member* karena perubahan tinggi air disebabkan oleh gelombang dan pasang surut.

d) Beban Konstruksi

Beban yang dihasilkan dari fabrikasi, *loadout*, transportasi dan instalasi. Dimana beban tersebut harus dipertimbangkan dalam desain.

e) Beban Pemindahan dan Instalasi Ulang

Platform yang akan dipindahkan ke lokasi yang baru, maka beban dari pemindahan, *onloading*, transportasi, *upgrading* dan instalasi ulang harus dipertimbangkan sebagai tambahan selain beban konstruksi sebelumnya.

f) Beban Dinamis

Beban dinamis merupakan beban yang mengenai *platform* akibat dari respon terhadap eksitasi siklus alam atau reaksi terhadap benturan. Eksitasi dari *platform* dapat berasal dari gelombang, angin dan gempa bumi atau permesinan sedangkan benturan berasal dari *barge* atau kapal yang merapat ke *platform* maupun proses pengeboran.

2.2.3. Kriteria Penilaian *Platform*

Proses penilaian untuk *platform* yang sudah beroperasi dibagi menjadi perlakuan keselamatan, konsekuensi apabila terjadi kegagalan, dan kriteria yang berlaku terkait lokasi dan konsekuensi. Menurut API RP 2A WSD, terdapat 6 komponen penilaian pada *existing platform* :

1. *Platform Selection*
2. *Categorization*
3. *Condition Assessment*
4. *Design Basis Check*
5. *Analysis Check*
6. *Consideration of mitigation*

Screening pada *platform* untuk menentukan penilaian *platform* yang akan dilanjutkan ke analisis terperinci dengan melakukan tiga komponen pertama dari

proses penilaian. Jika *struktur* tidak lolos *screening*, terdapat 2 *analysis check* yang dapat dilakukan :

1. *Design Level Analysis*
2. *Ultimate Strength Analysis*

Analisis pada tahap desain lebih sederhana dan lebih konservatif, sedangkan analisis kekuatan *ultimate* lebih kompleks dan kurang konservatif. Hal ini umumnya lebih efisien untuk memulai analisis dari tingkat desain kemudian dilanjutkan dengan analisis kekuatan *ultimate*. Namun, analisis tahap desain bisa di lewati untuk langsung melakukan analisis *ultimate*.

2.2.4. Analisis In-place Statis

Analisis *in-place* merupakan pendekatan analisis statis struktur untuk memastikan struktur mampu menahan beban-beban selama operasi. Analisis *in-place* mempertimbangkan *unity check* sebagai batas maksimum yang dapat diterima struktur pada 2 kondisi pembebanan. Dua kondisi pembebanan yang dimaksud antara lain :

a) Kondisi Operasi

Kondisi operasi merupakan kondisi dimana *platform* menerima semua beban yang terjadi pada saat beroperasi secara normal. Beban lingkungan yang digunakan pada analisis berupa harga ekstrim untuk periode 1 tahun yang mengenai struktur. Beban lingkungan yang dimaksud adalah beban gelombang, angin, dan arus.

b) Kondisi Badai

Kondisi badai merupakan pembebanan pada kondisi saat terjadinya badai pada lokasi struktur berada. Pada kondisi badai, beban akibat *work over rig live* tidak diperhitungkan dikarenakan tidak ada kegiatan operasional saat badai. Beban hidup pada tiap *level deck* tereduksi 25% pada kondisi ini. Selain itu, *crane* dianggap tidak bekerja selama badai, sehingga beban *crane* dianggap arah vertikal saja. Menurut peraturan dari AISC, *Allowable stress* dari tiap batang dinaikan sebesar 133%. Desain *Platform* harus pada kondisi pembebanan dimana akan menyebabkan efek terburuk terhadap struktur.

Kondisi pembebanan meliputi beban hidup dan mati kemudian dikombinasikan dengan kondisi lingkungan seperti berikut :

- Kondisi operasi normal pada *platform* mengombinasikan beban mati dan hidup maksimum dengan kondisi beban lingkungan operasional.
- Kondisi operasi normal pada *platform* mengombinasikan beban mati dan hidup minimum dengan kondisi beban lingkungan operasional.
- Kondisi ekstrim pada *platform* mengombinasikan beban mati dan hidup maksimum dengan kondisi beban lingkungan ekstrim.
- Kondisi ekstrim pada *platform* mengombinasikan beban mati dan hidup minimum dengan kondisi beban lingkungan ekstrim.

Unity check (rasio tegangan) merupakan perbandingan antara tegangan yang terjadi pada struktur dengan tegangan ijinnya, berikut persamaannya :

$$UC = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{all}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

$UC =$ *Unity check member*

$\sigma_{act} =$ Tegangan yang terjadi (ksi)

$\sigma_{all} =$ Tegangan izin (ksi)

2.2.5. Konsep Tegangan

2.2.5.1. Tegangan Normal

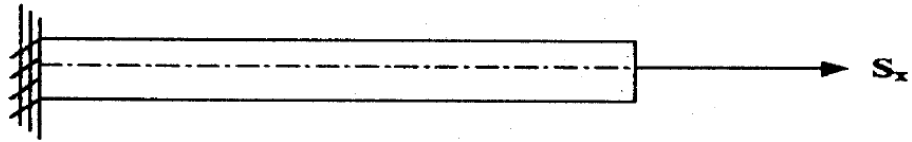
Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap penampang pada suatu titik (Popov, 1993). Beban aksial sebesar S_x pada batang *tubular* seperti ditunjukkan pada gambar 2.2. Batang tersebut mempunyai luas penampang A . Maka tegangan yang terjadi pada batang tersebut sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$F = \frac{S_x}{A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

$S_x =$ Gaya aksial (kN)

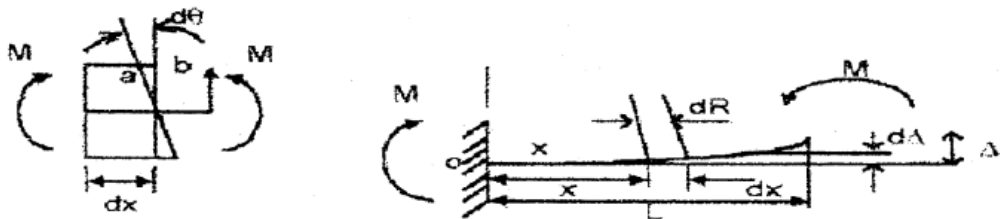
$A =$ luas penampang melintang (m^2)



Gambar 2. 2. Pembebanan Aksial pada Batang *Tubular*

(Sumber: Popov, 1933)

Selain beban aksial, tegangan aksial dapat diakibatkan juga momen lentur murni akibat kopel M yang terjadi disetiap ujungnya. Tegangan yang diakibatkan dengan adanya momen disebut sebagai *bending stress* atau tegangan lentur.

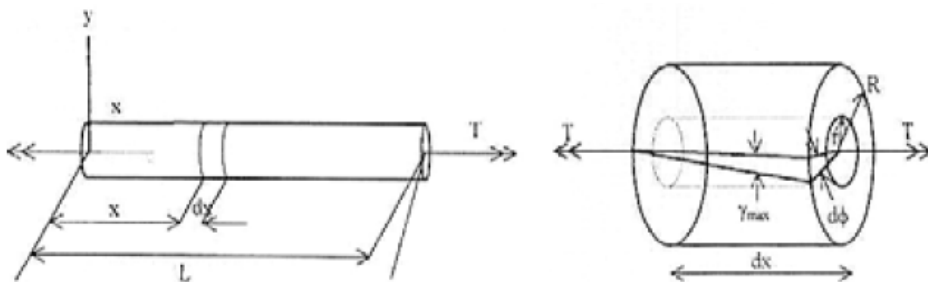


Gambar 2. 3. Pembebanan Momen Kopel pada Batang *Tubular*

(Sumber: Popov, 1933)

2.2.5.2. Tegangan Geser

Batang penampang bulat juga dapat mengalami tegangan geser walau besarnya tidak begitu berarti. Penyebabnya besar terjadinya tegangan geser pada elemen penampang bulat seperti pada kaki struktur *jacket* adalah momen puntiran aksial. Pada gambar 2.4. tampaknya batang megalami pembebanan puntiran T pada kedua ujungnya.



Gambar 2. 4. Gaya Puntiran pada Batang Silinder

(Sumber: Popov, 1933)

Tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan luar batang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{T.R}{J} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,

J = Momen inersia kutub

T = Momen torsi terkonsentrasi

R = Jari-jari penampang batang

Nilai J :

$$J = \frac{\pi}{2} (R_0^4 - R_1^4) \text{ untuk circular ring}$$

$$J = \frac{\pi}{2} (R^4) \text{ untuk round bar}$$

Tegangan geser yang bekerja pada penampang melintang lingkaran selalu berarah tegak lurus jari-jari dan mempunyai arah yang sama dengan momen puntir.

2.2.6. Kriteria Tegangan Ijin

2.2.6.1. Tegangan Tarik Aksial

Menurut API RP 2A WSD (2003), Tegangan tarik izin F_t untuk member silinder yang dikenai beban tarikan dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$F_t = 0.6 F_y \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

F_y = Tegangan yield material (Mpa)

F_t = Tegangan izin (Mpa)

2.2.6.2. Tegangan Tekan Aksial

a) Column Buckling

Tegangan ijin tekan aksial, F_a , dapat ditentukan dari persamaan AISC untuk *member* dengan perbandingan D/t kurang atau sama dengan 60 :

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)}{8C_c^2}} \text{ untuk } Kl/r < C_c \dots\dots\dots(2.5)$$

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \text{ untuk } Kl/r \geq C_c \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana,

$$C_c = \left[\frac{2\pi^2 E}{F_y} \right]^{\frac{1}{2}}$$

E = Modulus Elastisitas, Ksi (Mpa)

K = Faktor Panjang efektif

l = Panjang tanpa *bracing*, in (m)

r = jari-jari girasi, in (m)

b) *Local Buckling*

Tegangan elastis *local buckling*, dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$F_{xe} = \frac{2CEt}{D} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana,

C = Koefisien *elastic buckling* kritis

D = Diameter terluar, in (m)

t = Tebal dinding, in (m)

Tegangan tidak elastis *local buckling*, dapat ditentukan berdasarkan persamaan :

$$F_{xc} = F_y \left(1.64 - 0.23(D/t)^{1/2} \right) \leq F_{xe} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$F_{xc} = F_y \text{ untuk } (D/t) \leq 60 \dots\dots\dots(2.9)$$

2.2.6.3. Tegangan Tekuk

Menurut API (2003),Tegangan izin *bending*, Fb, dapat ditentukan dari persamaan :

$$F_b = 0.75 F_y \text{ untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \text{ untuk } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.85 \frac{F_y D}{Et} \right] F_y \text{ untuk } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300 \dots\dots\dots(2.12)$$

2.2.6.4. Tegangan Geser

Menurut API (2003), tegangan geser maksimum *beam*, f_v , untuk silinder *member* adalah sebagai berikut :

$$f_v = \frac{V}{0.5A} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana,

f_v = Tegangan geser maksimum, ksi (Mpa)

V = Gaya geser melintang, kips (MN)

A = Luas penampang, in² (m²)

Untuk tegangan geser *beam* yang diizinkan :

$$F_V = 0.4 F_y \dots\dots\dots(2.14)$$

Tegangan geser maksimum torsional F_{Vt} , untuk silinder *member* yang disebabkan oleh torsi adalah :

$$f_{Vt} = \frac{M_t(D/t)}{I_p} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana,

f_{vt} = Tegangan geser torsional maksimum, ksi (Mpa)

M_t = Momen torsional, kips-in (MN-m)

I_p = Momen inerti polar, in⁴ (m⁴)

Tegangan geser torsional izin :

$$F_{Vt} = 0.4 F_y \dots\dots\dots(2.16)$$

2.2.6.5. Kombinasi Tekan Aksial dan *Bending Member* Silinder

Menurut API RP 2A WSD (2003), *Member* silinder yang dikenai kombinasi kompresi dan tegangan harus diporsionalkan untuk memenuhi kedua persyaratan berikut setiap titik sepanjang *member*:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{C_m \sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{fa}{f'_e}\right) Fb} \leq 1.0 \dots\dots\dots(2.19)$$

$$\frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1.0 \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana,

- F_a = Tegangan aksial yang diizinkan (Mpa)
- f_a = Tegangan aksial (Mpa)
- F_b = Tegangan bending yang diizinkan (Mpa)
- C_m = Faktor reduksi

2.2.7. Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises dapat menentukan gabungan tegangan-tegangan yang terjadi pada *tubular member*. Tegangan ijin maksimum kemudian dibandingkan dengan tegangan Von Mises untuk mengetahui tegangan pada *member* tersebut. Berikut ini persamaan tegangan Von Mises.

$$\sigma_{HVM} = [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 - (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy} + \tau_{yz} + \tau_{zx})^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots(2.21)$$

Dimana,

- σ_{HVM} = Tegangan Von Mises, psi (Pa)
- σ_x = Tegangan normal sumbu-x, psi (Pa)
- σ_y = Tegangan normal sumbu-y, psi (Pa)
- σ_z = Tegangan normal sumbu-z, psi (Pa)
- τ = Tegangan Geser, psi (Pa)

2.2.8. Analisis Pushover Non-Linear

Pushover merupakan analisis yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur saat terjadi keruntuhan. Keruntuhan atau kegagalan pada struktur terjadi akibat dari ketidakmampuan struktur menerima beban yang terjadi. Sehingga analisis *pushover* dilakukan dengan cara meningkatkan beban yang mengenai struktur secara bertahap sampai struktur mengalami kegagalan. Beban yang ditingkatkan pada analisis *pushover* umumnya adalah *seismic, boat impact, drop object, over load, dan environment*.

Struktur dianggap tidak mampu menerima beban jika terdapat *member* yang mengalami plastisitas karena terbentuknya *plastic hinge*. Plastisitas yang terjadi menyebabkan berkurangnya kekakuan struktur. Kekakuan *member* dalam rentang

post *elastic-plastic* perlu dihitung menggunakan analisis *non-linier*. *Member* plastis pada struktur dapat mengakibatkan kegagalan *joint (joint failure)*. Beban yang terus meningkat memungkinkan terjadinya *buckling* akibat gaya tekan melebihi kapasitas menampangnya.

2.2.9. Reserve Strength Ratio (RSR)

RSR (*Reserve Strength Ratio*) merupakan perbandingan beban pada kondisi awal dengan beban pada saat *member* gagal. Analisis ini mengasumsikan bahwa beban awal yang diterima *member* sama seperti analisis *inplace*. Kemudian beban awal dikalikan faktor tertentu (*incremental load*). Beban tersebut secara bertahap dinaikan sampai pada batas kekuatan maksimum dari *member*. Nilai RSR dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$RSR = \frac{\text{Beban pada saat member collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Menurut API RP 2A, untuk kriteria penilaian dibedakan sebagai berikut :

Tabel 2. 1. Kriteria Penilaian Berdasarkan API RP 2A

Level	Exposure Category		Design Level Analysis	Ultimate Strength Analysis
L-1	High Consequence	Manned-Nonevacuated (Personel tanpa evakuasi)	85% beban lateral (beban lingkungan) selama 100 tahun	Reserve Strength Ratio (RSR) ≥ 1.6
		Unmanned		
L-3	Low Consequence	Unmanned	50% beban lateral (beban lingkungan) selama 100 tahun	Reserve Strength Ratio (RSR) ≥ 0.8

2.2.10. Member Terkorosi

Menurut Gucuyen dan Erdem (2014), Korosi bisa dianggap sebagai kerusakan pada struktur (*damage*). Korosi terjadi akibat teroksidasinya unsur logam dengan oksigen dari udara maupun air. Korosi mengakibatkan berkurangnya

ketebalan dan berat *tubular member*. Perubahan ketebalan dan berat mempengaruhi kekuatan struktural *tubular member*.



Gambar 2. 5. Korosi yang Terjadi pada *Horizontal Brace A1-A2*

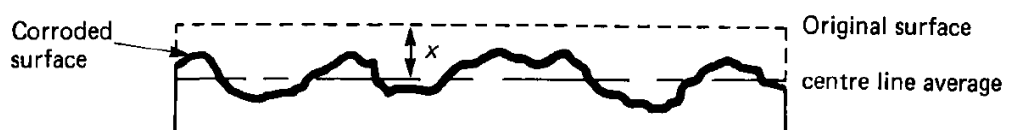
(Sumber : data proyek perusahaan)

Secara umum korosi dapat diklasifikasikan menjadi korosi *general/uniform* dan lokal. Secara singkat korosi *uniform* terjadi pada area yang luas dan merata. Sedangkan korosi lokal seperti *pitting* dan *crevice* hanya terjadi di lokasi tertentu. Berikut ini adalah penjelasan terkait jenis korosi yang telah disebutkan sebelumnya.

a) Korosi *General/Uniform*

Bentuk korosi *general* adalah yang paling umum dijumpai dan ditandai dengan korosi pada baja terjadi di udara. Terkadang korosi bentuk ini juga disebut korosi *uniform*. Hal tersebut dimaksudkan karena semua area yang terkorosi mengalami laju korosi yang kurang lebih sama, tetapi hilangnya logam sangat jarang terjadi di permukaan secara seragam. (Chandler, 1985)

Korosi pada area anodik menjadi tahan korosi setelah beberapa waktu dan area anodik baru disekitar area yang lama menjadi aktif. Pertukaran area anodik dan katodik yang menyebabkan keseragaman korosi terhadap waktu.

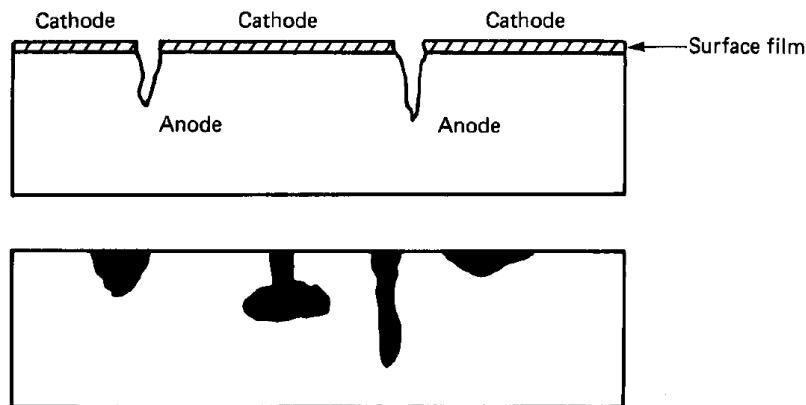


Gambar 2. 6. Korosi *Uniform* pada Permukaan Logam

(Sumber: Chandler, 1985)

b) Korosi *Pitting*

Korosi *pitting* merupakan bentuk korosi lokal yang terjadi pada area kecil pada permukaan terkorosi dengan penetrasi tertentu. Penetrasi yang terjadi memiliki kedalaman lebih besar dibanding diameter nominal dari korosi permukaan. Setelah korosi terjadi, laju korosi ditentukan oleh reaksi di dalam lubang, lubang korosi menjadi anodik dan permukaan luar menjadi katodik. Penetrasi yang terjadi terkadang berhenti pada kedalaman tertentu kemudian menyebar secara horizontal. Terkadang korosi *pitting* yang intens terjadi pada permukaan logam seperti korosi *uniform*, tetapi beberapa area disekitarnya tidak terkorosi. (Chandler, 1985)



Gambar 2. 7. Bentuk-Bentuk Korosi *Pitting*

(Sumber: Chandler, 1985)

Istilah *pitting* sulit didefinisikan secara tepat, seringkali digunakan pada situasi saat kedalaman korosi lebih besar dibanding permukaan penampang melintangnya. Hilangnya total logam relatif tidak banyak dan pada beberapa kasus *pitting* tidak berpengaruh pada kekuatan logam. Kasus dimana *pitting* menjadi masalah, maka dua pendekatan perlu dipertimbangkan. Pertama, perubahan desain untuk meniadakan situasi yang menyebabkan *pitting*. Kedua, memilih logam paduan yang lebih tahan korosi *pitting*. (Chandler, 1985)

c) Korosi *Crevice*

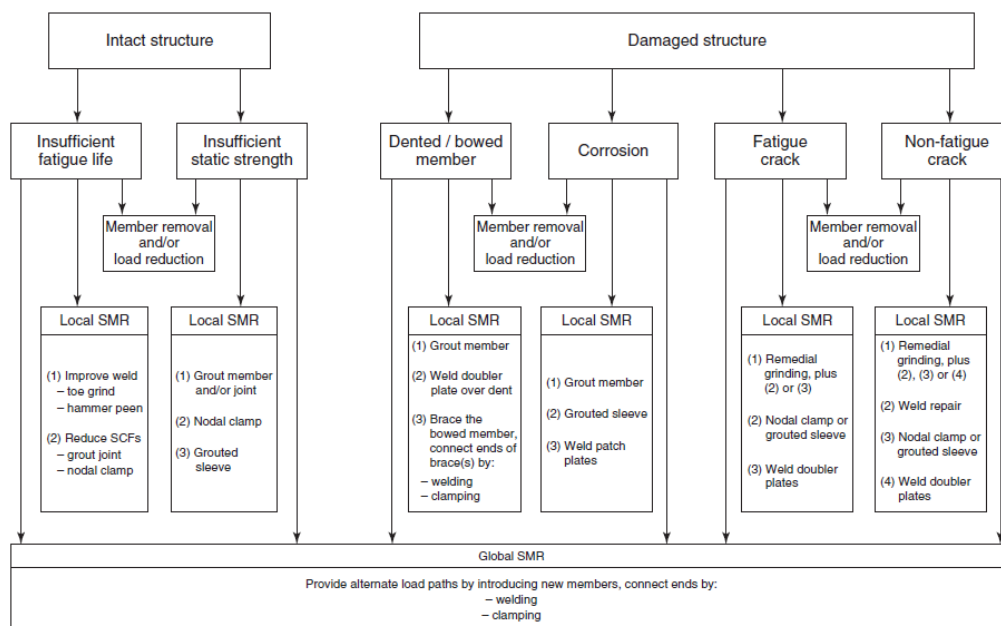
Korosi *crevice* terjadi saat celah terbentuk diantara dua permukaan sehingga mengakibatkan perbedaan kandungan oksigen. Perbedaan kandungan oksigen mengakibatkan logam di bagian luar celah menjadi katodik, sedangkan logam

di bagian dalam celah menjadi anodik. Arus katodik mengalir ke area kecil anodik pada celah mengakibatkan korosi intensif secara lokal. Korosi *crevice* bisa terjadi pada dua permukaan yang salah satunya bukan logam. Korosi *crevice* juga bisa terjadi akibat adanya endapan pasir yang menutupi permukaan logam. (Chandler, 1985)

2.2.11. Strengthening, Modification, dan Repair (SMR)

Strengthening, Modification, dan Repair (SMR) merupakan metode perbaikan untuk meningkatkan keandalan struktur. SMR dilakukan apabila struktur tidak memenuhi standar kualifikasi *Structural Integrity Management* (SIM). SIM bertujuan untuk mengelola tingkat resiko struktural. SIM dilakukan dengan menginspeksi struktur yang ditinjau dan hasilnya dievaluasi untuk menentukan tindakan perbaikan. Menurut Dier (2004) terdapat 5 pendekatan dasar SMR yaitu :

1. *Remove damage* (contoh, pembuangan *member* yang bengkok)
2. *Reduce loading*
3. SMR lokal (contoh, menggunakan mekanisme *clamp* pada *joint* atau *member*)
4. SMR global (contoh, menambahkan *member* baru)
5. SMR total (contoh, pengaturan secara keseluruhan struktur)



Gambar 2. 8. Keterkaitan antara Skenario, Skema SMR, dan Teknik SMR

(Sumber: Nichols dan Khan, 2017)

Seperti gambar 2.8. menunjukkan beberapa pilihan yang bisa diterapkan pada struktur yang perlu dilakukan SMR. Pertimbangan dalam memilih teknik disesuaikan berdasarkan keandalan, biaya, batasan kedalaman, sisa umur *platform*, dan lain-lain. Berdasarkan skema SMR tersebut kerusakan akibat korosi dapat diatasi dengan *member removal*, *load reduction*, SMR lokal, atau SMR global.

Member removal dapat ditinjau sebagai teknik perbaikan. Teknik ini diperlukan untuk menghindari kerusakan lebih lanjut atau rambatan retak. Beberapa kasus *member removal* dilakukan untuk menerapkan teknik perbaikan yang lain, seperti *clamping*. *Member removal* harus logis dimana member yang dipilih tidak mempengaruhi integritas keseluruhan. *Member* pada lokasi yang berbeda perlu ditinjau kembali setelah dilakukan *member removal* dan *clamping*.



Gambar 2. 9. *Member Removal* pada *Subsea Casing Stub* di *Gulf of Mexico*
(Sumber: Nichols dan Khan, 2017)

Load reduction dilakukan dengan mengurangi beban seperti perlengkapan atau *appurtenances*. Pengurangan *appurtenances* dapat mengurangi beban hidrodinamik dan habisnya proteksi katodik yang ada. Kemudian teknik lainnya untuk memperbaiki struktur terkorosi adalah SMR lokal.

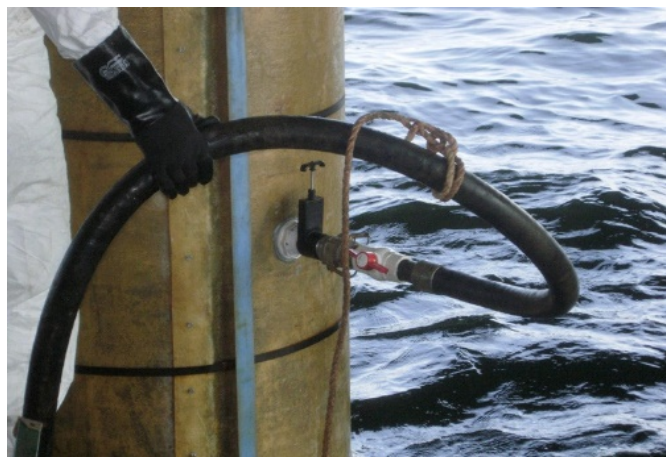
Teknik SMR lokal yang dapat dilakukan pada struktur yang mengalami korosi yaitu *grout member*, *grout sleeve*, dan *weld patch plates*. *Grout member* merupakan teknik yang menggunakan *grout* untuk mengisi rongga *member* terkorosi. Penambahan *grout* bisa memberikan kekakuan baru pada *member*. Berikutnya *grout sleeve* yang secara konsep sama seperti *grout filling* namun yang diperkuat adalah *sleeve*. Terakhir Teknik *weld patch plates* yaitu mengelas tambalan pelat tambahan pada bagian yang terkorosi. *Weld patch plates* tidak dapat

mengembalikan kekuatan struktur seperti semula namun bisa memperkuat untuk sementara waktu sampai inspeksi atau penanganan selanjutnya. Berdasarkan teknik perbaikan yang telah disebutkan sebelumnya maka akan dipilih salah satu teknik yaitu, *grout member* atau *grout filling* pada Tugas Akhir ini.

2.2.12. *Grout Filling*

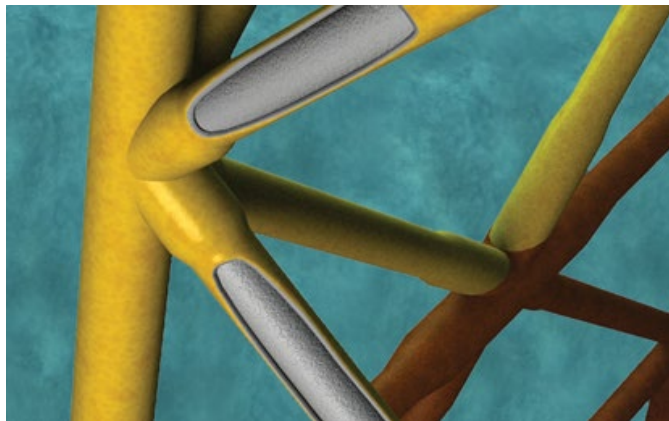
Berdasarkan Nichols dan Khan (2017), *Grout filling* pada banyak kasus tidak hanya mengembalikan kekuatan pada struktur yang mengalami kerusakan namun juga meningkatkannya. *Grout filling member* bisa menjadi bagian dari teknik SMR yang lain, contohnya *clamping*. Metode *grout filling* merupakan teknik yang sudah cukup dikembangkan dan relatif mudah digunakan di industri lepas pantai. Metode *grout filling* dapat merubah kekakuan pada bagian tersebut sehingga akan menyebabkan beban ke bagian yang tidak kaku disekitarnya.

Prosedur perbaikan *grout filling* dimulai dengan membuat material *grout* dengan komposisi sesuai *code* dan *standard*. Kemudian material *grout* diinjeksikan pada *tubular member*. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam prosedur *grout filling* seperti lokasi, orientasi, aplikasinya, dan fluida yang terpindah. Sebagai contoh pada *horizontal member* mudah terjadi rongga udara akibat *grout* tidak mengalir secara sempurna. NDE dapat dilakukan untuk mendeteksi volume *grout* apakah telah mengisi *member* secara sempurna.



Gambar 2. 10. Injeksi Material *Grout* pada *Jacket*
(Sumber: <https://www.fivestarproducts.com>, 2019)

Metode *Grout filling* yang disampaikan oleh Nichols dan Khan (2017) ada dua yaitu *grout filled tubular member* dan *grout sleeve*. Berdasarkan Hardwood, R. G. & Shuttleworth, E. P. (1988), *Grout filled tubular member* dapat meningkatkan kekuatan tekan dan *bending*. Kekuatan tarik tidak meningkat dengan penambahan *grout* karena tidak secara langsung terhubung dengan *support*. *Grout filling* dapat digunakan sebagai metode perbaikan atau memperkuat *member*. Secara garis besar penggunaan *grout filling* dilakukan untuk meningkatkan kapasitas beban *member* tanpa penyangga ke arah memanjang. *Grout filling* dapat juga digunakan untuk meningkatkan kapasitas beban *member* yang rusak karena *buckling* lokal, *dent*, dan *bent*. Menurut, Nichol dan Khan (2017), *grout filling* juga bisa digunakan untuk metode perbaikan dan penguatan akibat korosi. Perbaikan *member* terkorosi menggunakan *grout filling* memerlukan analisis lebih lanjut. Sehingga, Tugas Akhir ini akan melakukan analisis kekuatan *member* terkorosi yang diperbaiki dengan metode *grout filled tubular member*.



Gambar 2. 11. *Grout Filling* pada *Brace*

(Sumber: www.foundocean.com, 2019)

2.2.13. Model *Finite Element*

Horizontal brace terkorosi yang diperbaiki dengan *grout filling* akan dimodelkan menggunakan *software finite element*. *Finite element* dipilih karena dapat menampilkan kondisi pembebanan dan deformasi sebenarnya pada setiap komponen. Komponen yang dimodelkan dapat dibagi menjadi 3 yaitu sifat material, elemen *horizontal brace & grout filling*, dan interaksi antara baja dan *grout*. Kelakuan elemen didefinisikan dengan memasukan properti *linear* dan

nonlinear dari setiap material. Sifat material yang diinputkan pada Tugas Akhir ini berupa modulus elastisitas, modulus geser, rasio poisson's, dan *multilinear isotropic hardening*.

2.2.13.1. Sifat Material *Non-Linear* Baja dan *Grout*

Model *finite element* memerlukan sifat material *linear* dan *non-linear* untuk menganalisis kapasitas beban maksimumnya. Sifat *linear* suatu material dapat diketahui berdasarkan spesifikasi materialnya (modulus elastisitas dan rasio poisson's). Secara umum sifat *non-linear* material baja dapat dimodelkan dengan menggunakan kurva *stress-strain* seperti yang dilakukan Xiong, Xiong, & Liew (2017).

$$\sigma_s = \begin{matrix} E_s \varepsilon_s \\ f_y \\ f_u - (f_u - f_y) \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_s}{\varepsilon_u - \varepsilon_p} \right)^p \\ f_u \end{matrix} \quad \begin{matrix} 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \\ \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_p \\ \varepsilon_p \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_u \\ \varepsilon_u \leq \varepsilon_s \end{matrix} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$p = E_p \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_p}{f_u - f_y} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

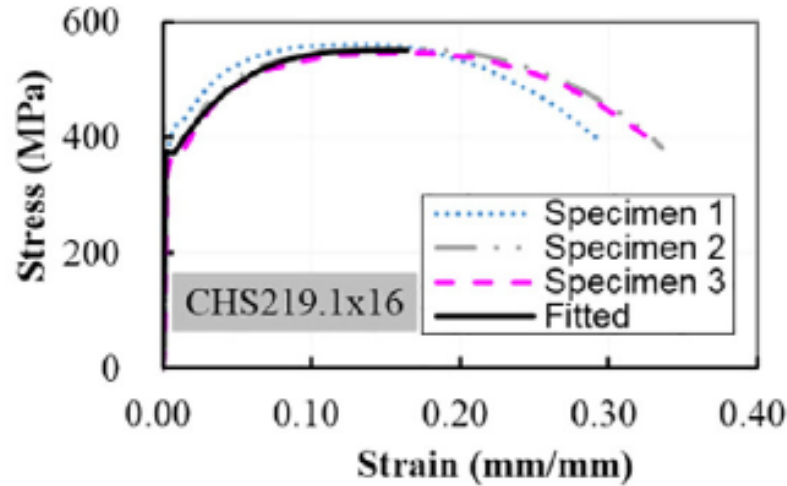
$$\varepsilon_p = \begin{matrix} 15\varepsilon_y \\ [15 - 0.018(f_y - 300)]\varepsilon_y \end{matrix} \quad \begin{matrix} f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{matrix} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$\varepsilon_u = \begin{matrix} 100\varepsilon_y \\ [100 - 0.15(f_y - 300)]\varepsilon_y \end{matrix} \quad \begin{matrix} f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{matrix} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana :

- σ_s = Tegangan (MPa)
- ε_s = Regangan (mm)
- E_s = Modulus elastisitas baja (MPa)
- f_y = *Yield strength* baja (MPa)
- ε_y = Regangan pada saat *yield* (mm)
- f_u = *Ultimate tensile strength* baja (MPa)
- ε_u = Regangan pada saat *ultimate* (mm)
- E_p = tangensial modulus (MPa)
- ε_p = Regangan saat mulai pengerasan (mm)
- p = eksponen *strain-hardening*

Berikut ini adalah kurva *non-linear* baja percobaan yang dilakukan Xiong, Xiong, & Liew (2017) dengan pemodelan menggunakan persamaan 2.23 sampai 2.26.



Gambar 2. 12. Kurva *Stress-Strain* Baja
(Sumber: Xiong, Xiong, & Liew, 2017)

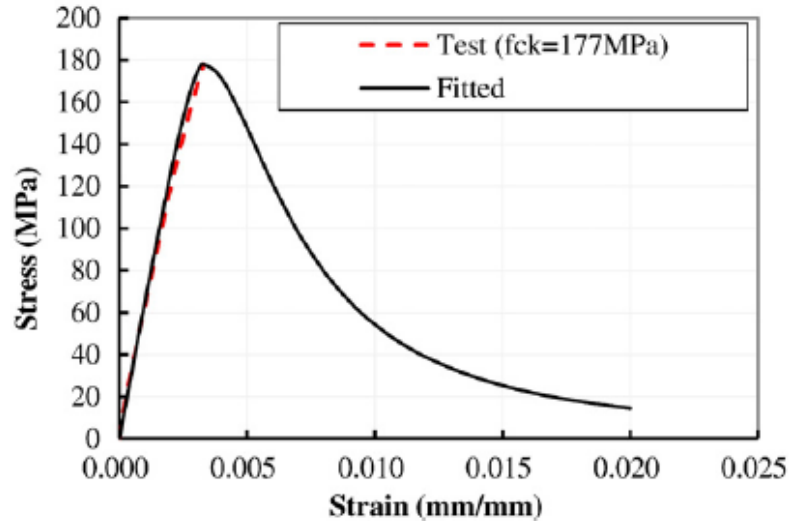
Sedangkan untuk sifat *non linear* material *concrete* atau *grout* dapat dimodelkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_s = \begin{cases} f_{ck} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} & 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_y \\ f_{ck} \frac{3\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1} + \left(2 + \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c1}}\right)^3\right)} & \varepsilon_y \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_p \end{cases} \dots\dots\dots(2.27)$$

Dimana :

- σ_c = Tegangan (MPa)
- ε_c = Regangan (mm)
- f_{ck} = Kekuatan tekan *concrete* (MPa)
- E_{cm} = Modulus elastisitas *concrete* (MPa)
- k = $1.05 E_{cm} \varepsilon_{c1} / f_{ck}$
- η = $\varepsilon_c / \varepsilon_{c1}$
- ε_{c1} = $(0.7 f_{ck}^{0.31}) / 1000$
- ε_y = Regangan pada saat *yield* (MPa)
- ε_p = Regangan saat mulai pengerasan (MPa)

Percobaan dilakukan Xiong, Xiong, & Liew (2017) untuk mengetahui sifat *non-linear concrete* dengan kekuatan tekan (f_{ck}) 177 MPa. Berikut ini hasil percobaan Xiong, & Liew (2017) dan pemodelan menggunakan persamaan 2.27.

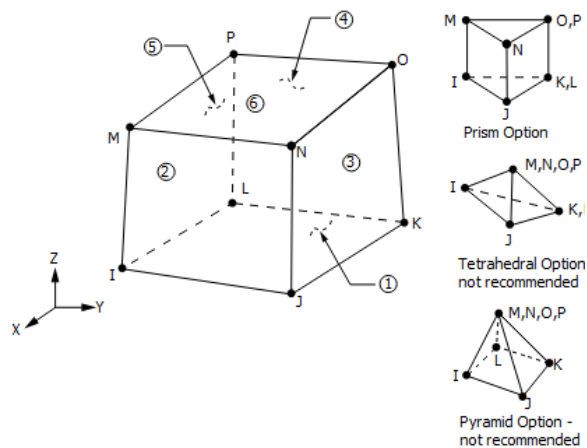


Gambar 2. 13. Kurva *Stress-Strain Concrete*

(Sumber: Xiong, Xiong, & Liew, 2017)

2.2.13.2. Elemen *Horizontal Brace* dan *Grout Filling*

Elemen SOLID185 digunakan untuk memodelkan 3-D struktur solid. Elemen ini akan digunakan untuk memodelkan *horizontal brace* dan *grout filling*. SOLID185 didefinisikan dengan delapan node yang memiliki tiga derajat kebebasan pada setiap nodenya. Derajat kebebasan pada node berupa translasi ke arah x, y, dan z. Elemen ini memiliki kapabilitas *plasticity*, *hyperelasticity*, *stress stiffening*, *creep*, *large deflection*, and *large strain*. Elemen SOLID185 juga memiliki persamaan campuran untuk mensimulasi deformasi material nyaris *incompressible elastoplastic*, dan material *incompressible hyperelastic*. Terdapat dua bentuk yang bisa dipilih yaitu, *homogeneous structural solid* dan *layered structural solid*.

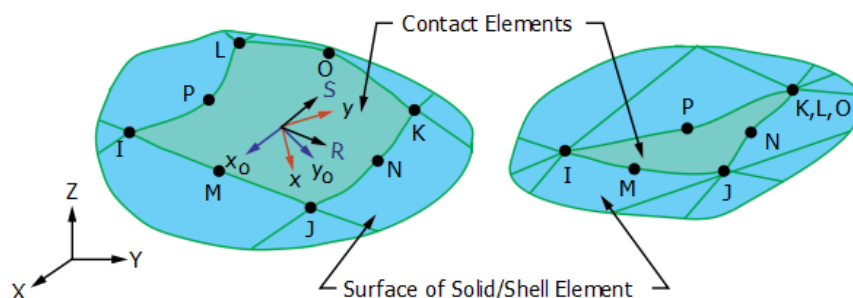


Gambar 2. 14. Geometri Elemen SOLID185

Material *horizontal brace* dan *grout filling* dimodelkan dengan kelakuan *linear* berupa modulus elastisitas dan rasio Poisson. Sedangkan untuk kelakuan *non-linear* berupa kurva *stress-strain*.

2.2.13.3. Interaksi Baja dengan *Grout Filling*

Elemen *contact surface to surface* yang digunakan adalah CONTA174. CONTA174 digunakan untuk merepresentasikan kontak dan geser antara 3D “target” *surface* (TARGE170) dan deformasi permukaan yang didefinisikan oleh elemen ini. Kontak langsung antara *horizontal brace* dengan *grout filling* disimulasikan dengan CONTA174 *surface to surface*.



Gambar 2. 15. Geometri Elemen CONTA174

Elemen CONTA174 memiliki 12 *key option* yang dapat diatur pada elemen ini. Interaksi antara *horizontal brace* dan *grout* dimodelkan sebagai *friction*. Koefisien gesek antara *horizontal brace* dan *grout filling* didefinisikan pada elemen *contact* sebesar 0.25.

2.2.14. Analisis Lokal *Ultimate Strength*

Ultimate strength merupakan sifat struktur atau komponen struktur yang dipengaruhi oleh topologi, sifat material, dan ketidaksempurnaan, dinilai pada tingkat lokal ataupun global, dengan perbedaan mode kegagalan pada tarik dan tekan. *Ultimate strength* bisa dinilai dari kumpulan beban dan kondisi batas pada waktu tertentu. Sehingga, dapat menentukan beban maksimum yang mampu diterima sebelum melanggar kriteria keamanan. (ISSC, 2018)

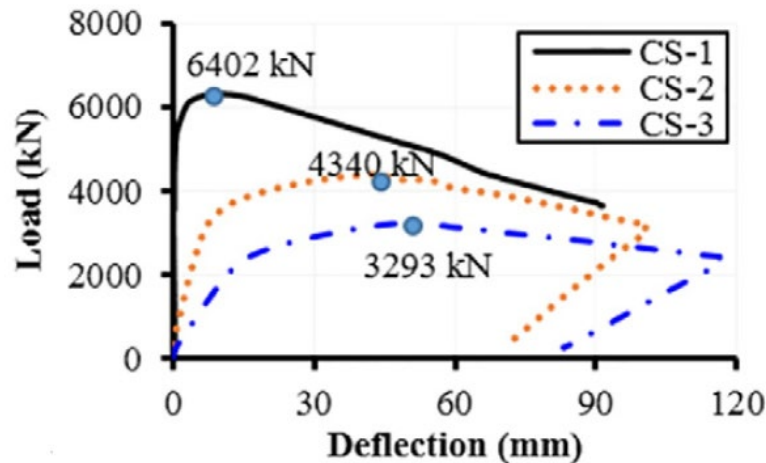
Beberapa faktor mempengaruhi ketidakpastian terkait *ultimate strength*. Faktor sifat *non-linear* struktural mempengaruhi *ultimate strength* pada kapal dan struktur lepas pantai. Faktor tersebut antara lain, beban, suhu, laju regangan, dan sifat material yang dipengaruhi waktu, ketidaksempurnaan geometri, dan tegangan sisa. (ISSC, 2018). Sifat material didapat dengan melakukan pengujian pada material tersebut. Sifat material yang dimaksud antara lain, *yield strength*, *plasticity model*, dan *Stiffness* (Young Modulus).

Semua *platform* kategori terbuka yang lolos maupun tidak persyaratan *screening* tahap analisis desain perlu menunjukkan kekuatan yang cukup untuk bertahan pada kriteria pembebanan *ultimate strength*. Berikut ini merupakan pedoman yang dapat dilakukan untuk analisis *ultimate strength*:

1. *Ultimate strength* dari *member*, *joint*, dan *pile* yang utuh menggunakan persamaan dengan semua *safety factor* dihilangkan. *Ultimate strength joint* juga bisa ditentukan menggunakan persamaan kebanyakan dibandingkan dengan persamaan batas bawah untuk *joint*.
2. *Ultimate strength* dari elemen yang rusak atau diperbaiki bisa dievaluasi berdasarkan rasio, pendekatan teknik yang dapat dipertanggungjawabkan, termasuk prosedur khusus yang dikembangkan untuk tujuan tersebut.
3. Berdasarkan *yield stress* yang terjadi (melalui tes) atau diharapkan daripada *yield stress* nominal. Peningkatan kekuatan akibat regangan dapat diketahui apabila *section* tersebut cukup padat.
4. Studi dan tes yang mengindikasikan bahwa faktor panjang efektif (K) lebih rendah untuk elemen *frame* mengalami kelebihan. Nilai K yang

lebih rendah bisa digunakan jika menunjukkan dapat diaplikasikan dan dibuktikan.

Berikut ini kapasitas beban maksimum *concrete filled steel tube* (CFST) saat mencapai *ultimate strength* pada penelitian Xiong, Xiong, & Liew (2017).



Gambar 2. 16. Kapasitas Beban Maksimum CFST

(Sumber: Xiong, Xiong, & Liew, 2017)

2.2.15. Software SACS

SACS (*Structure Analysis Computer System*) adalah program analisis struktur untuk struktur bangunan umum maupun bangunan lepas pantai. SACS memiliki kemampuan analisis statik, analisis dinamik, perhitungan beban lingkungan seperti beban gelombang, arus, dan angin, cek dan desain member, analisa pada saat peluncuran, analisis kekuatan sambungan, analisis umum faigue, analisis tiang pancag, analisis keruntuhan *non-linear* dan sebagainya.

SACS terdiri dari mobil-mobil program yang memiliki fungsi berbeda namun saling berkaitan. Modul-modul yang akan digunakan adalah :

1. SACS *Executive*

Merupakan program utama yang menghubungkan modul-modul lain dalam SACS. Modul-modul lain dijalankan dengan SACS *Executive* ini.

2. *Precede*

Merupakan program pemodelan geometri, material, properti penampang dan pembebanan sederhana

3. *Seastate*

Seastate program adalah program analisa yang memperhitungkan beban-beban lingkungan seperti beban gelombang, arus, dan angin. Program ini juga memperhitungkan efek *marine growth*, *bouyancy*, dan memodelkan gelombang untuk respon dinamik.

4. SACS IV

Merupakan program analisis elemen hingga untuk analisis struktur dan pembebanan yang telah dimasukkan pada modul sebelumnya.

5. *Joint Can*

Pemeriksaan kekuatan sambungan dan desain sambungan tubular berdasarkan kode desain

6. PSI

Simulasi interaksi tanah dengan tiang pancang untuk melakukan proses iterasi penyamaan load deflection antar struktur dengan tiang pancang.

7. *Fatigue*

Program pemeriksaan umur *fatigue* dan desain ulang sambungan.

SACS *Collapse* adalah untuk struktur dengan tipe *large deflection*, *elasto-plastic*, *non-linear finite element system*. *Feature* yang terdapat untuk analisa *collapse* antara lain :

1. *Linear and nonlinear material behavior*
2. *Nonlinear plastic pile/ soil foundation including standart T-Z and P-Y data.*
3. *For member global/local buckling including 8 or more hinge point per member*
4. *Includes tubular joint flexibility, joint plasticity and joint failure*
5. *Includes strain hardening and residual stress*
6. *User defined non-linear spring support elements*
7. *Controlled load incrementation includes both loading and unloading capabilities*

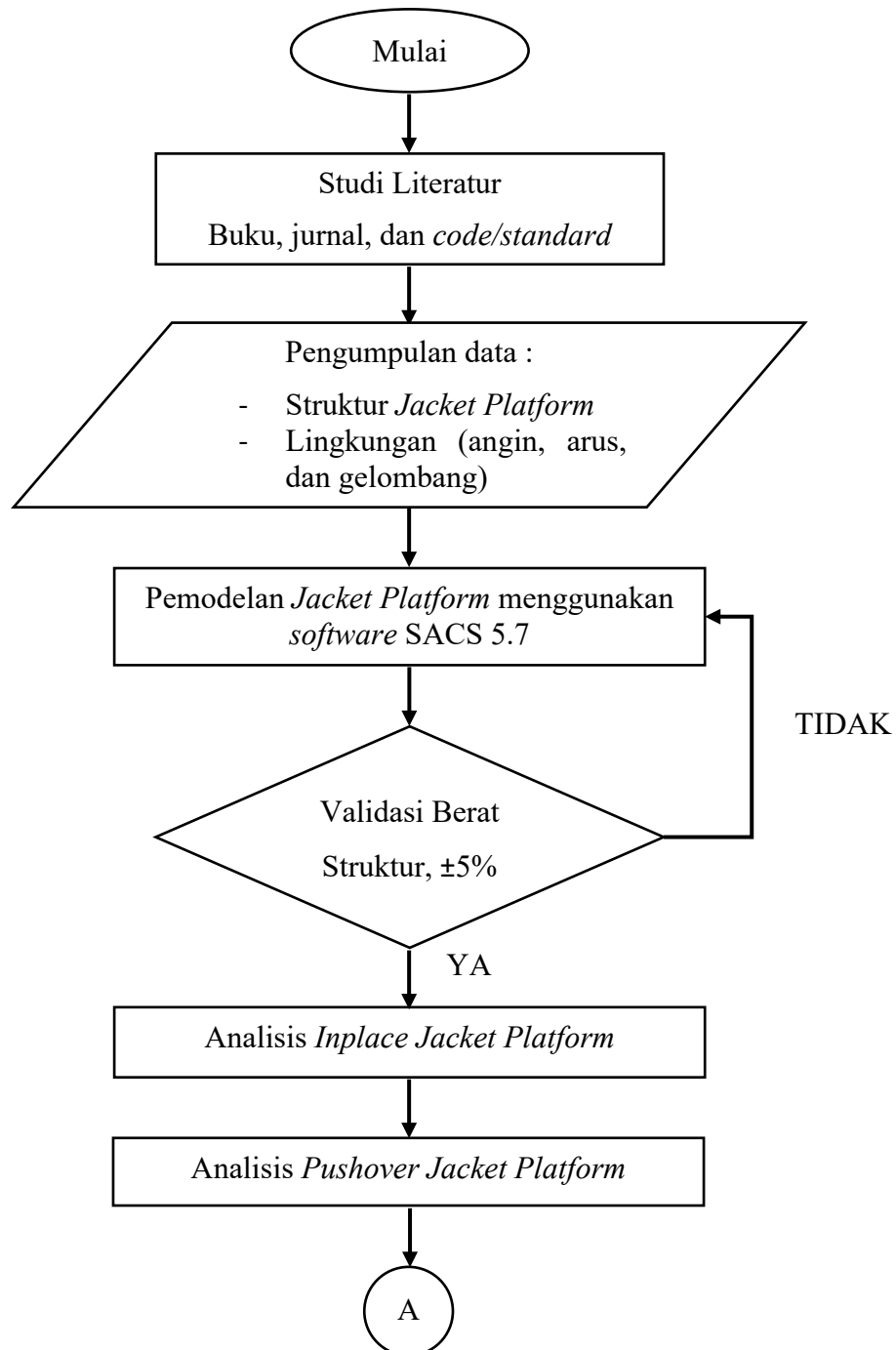
Dalam pembagian *sub element* atau *hinge* pada *member beam* secara *default*, ketika terdapat sumber yang tidak dibagi *segment* maka secara otomatis akan dibagi menjadi 8 *sub element* sepanjang member tersebut. Sedangkan untuk *member tubular* maka akan dibagi menjadi 12 *sub element*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

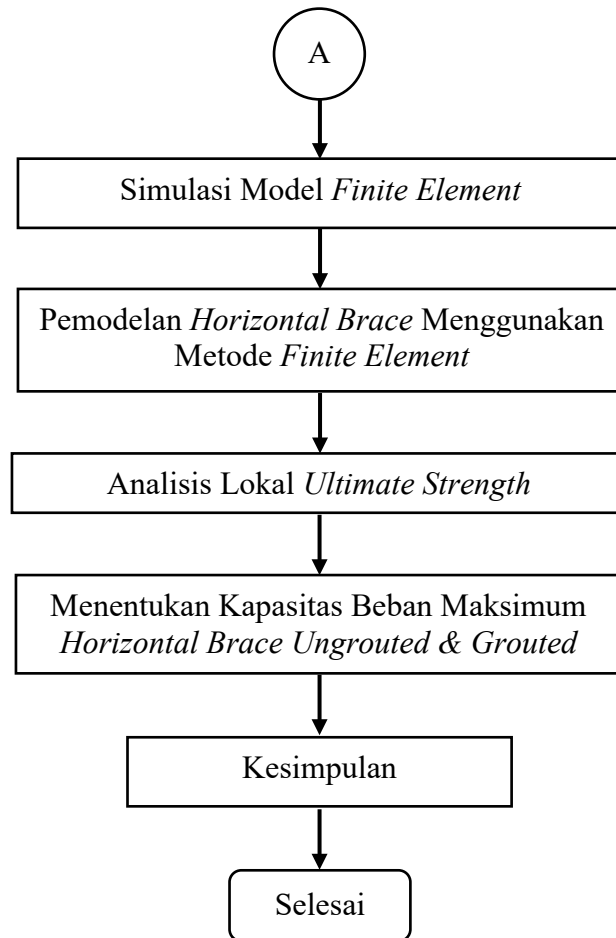
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Proses pengerjaan Tugas Akhir ini secara umum dapat dilihat pada gambar 3.1. dibawah ini :



Gambar 3. 1. Alur Metodologi Penelitian



Gambar 3. 2. Alur Metodologi Penelitian (lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Prosedur dan langkah-langkah penelitian yang dilakukan untuk mengerjakan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mengumpulkan dan mempelajari literatur sebagai bahan referensi dan teori-teori yang berkaitan dengan pengerjaan penelitian ini. Referensi diperoleh dari buku, jurnal, dan tugas akhir.

2. Pengumpulan Data

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

3. Permodelan *Jacket Platform* dengan *software SACS*

Pemodelan *AW platform* menggunakan *software* SACS 5.7 dengan menggunakan input model dari *report*, data *drawing* dan pembebanan yang ada.

4. Validasi Berat Struktur

Melakukan pengecekan berat struktur model SACS dengan struktur sebenarnya. Validasi dilakukan untuk membuktikan bahwa model struktur dapat mewakili struktur yang sebenarnya. Perbedaan berat model SACS dan struktur sebenarnya tidak boleh melebihi 5%.

5. Analisis *Inplace Jacket Platform*

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

6. Analisis *Pushover Jacket Platform*

Analisis *pushover* dilakukan dengan meningkatkan beban lingkungan tiap arah sampai struktur mengalami keruntuhan. Beban yang ditingkatkan sehingga struktur runtuh adalah beban lingkungan. Analisis *pushover* dilakukan dengan membuat *input collapse* berupa *load case*, *load factor* dan jumlah *increment*.

7. Simulasi Model *Finite Element*

Simulasi bertujuan untuk memastikan pengaruh dan hubungan *concrete* terhadap *tubular member*. Simulasi dilakukan berdasarkan referensi kemudian dibandingkan dengan model *finite element*-nya. Hal-hal yang perlu dilakukan pada tahap ini antara lain :

- Memilih spesimen percobaan
- Memodelkan sifat *non-linear* material baja dan *concrete*.
- Pemilihan *element* dan *meshing* pada model *finite element*.
- Validasi kapasitas beban maksimum percobaan dengan model.

8. Pemodelan *Horizontal Brace* Menggunakan Metode *Finite Element*

Member yang mengalami korosi parah dimodelkan menggunakan metode *finite element*. Terdapat dua model yang selanjutnya akan dilakukan analisis *ultimate strength* yaitu model *horizontal brace* terkorosi dan terisi *grout*.

9. Analisis Lokal *Ultimate Strength*

Berdasarkan analisis *pushover* didapatkan kelakuan *horizontal brace* yang ditinjau. Model *finite element horizontal brace* dikondisikan sesuai analisis *pushover*. Defleksi *joint* digunakan sebagai input pada model lokal *horizontal brace*.

10. Menentukan Kapasitas Beban Maksimum *Horizontal Brace UngROUTED & Grouted*

Model *finite element* yang telah dimodelkan diberi beban sesuai dengan hasil analisis *pushover*. Kapasitas beban kedua *horizontal brace* akan membentuk grafik dan dapat dibandingkan kapasitas maksimumnya.

3.3. Pengumpulan Data

3.3.1. Data Struktur

AW platform merupakan fasilitas produksi minyak dan gas lepas pantai. *AW platform* merupakan struktur *jacket* dengan konfigurasi empat kaki. Struktur tersebut telah beroperasi di *oil field* West Madura sejak tahun 1977. *AW platform* awalnya hanya memiliki satu *level deck (cellar deck)* kemudian dilakukan penambahan *deck* sehingga memiliki dua *level deck*, yaitu *main* dan *cellar deck*.

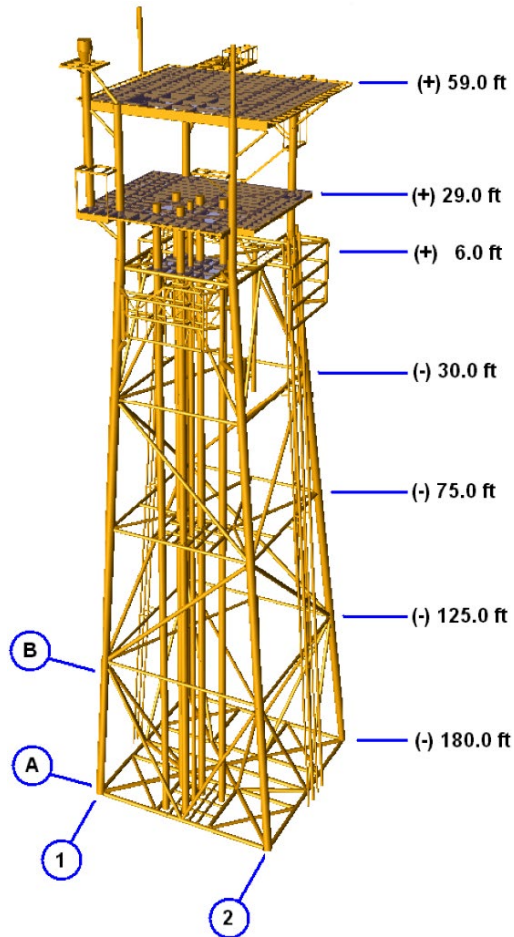


Gambar 3. 3. *AW Platform* pada Tahun 2014

(Sumber: data proyek perusahaan)

Koordinat *AW platform* berlokasi di 712,114.36 E & 926,332.3 N. *AW platform* berada pada perairan dengan kedalaman 180.0 ft. berdasarkan MLW. *AW*

platform memiliki lima *horizontal frame*. *Horizontal frame* terendah berada pada elevasi dasar laut (-)180 ft. terhadap MLW. 1st *level* berada pada elevasi (-)125 ft. terhadap MLW. 2nd *level* berada pada elevasi (-)75 ft. terhadap MLW. 3rd *level* berada pada elevasi 30 ft. terhadap MLW. 4th *level* berada pada elevasi (+)6 ft. terhadap MLW. Berikut elevasi *horizontal frame* pada struktur *AW platform*.



Gambar 3. 4. Elevasi struktur *AW Platform*

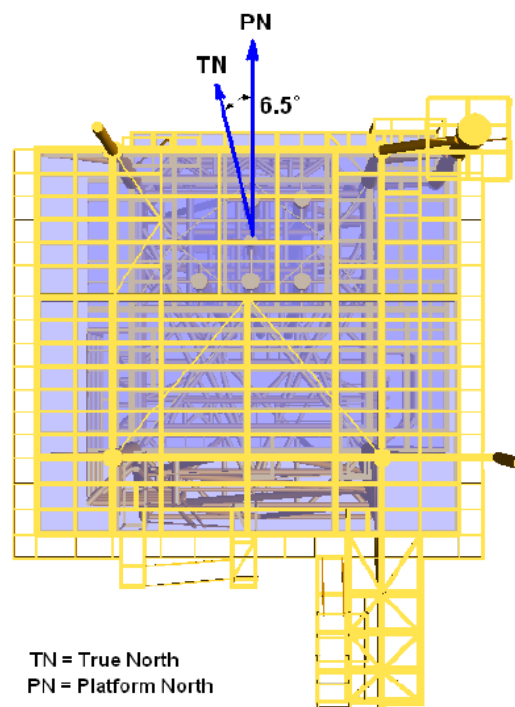
(Sumber: data proyek perusahaan)

AW platform memiliki konfigurasi 4 kaki dengan diameter luar 34 in. Keempat kaki *jacket* tersebut miring ke arah melintang sebesar 1:8 dan ke arah memanjang sebesar 1:14. Kaki *deck* dengan diameter 30 in digunakan untuk menguhungkan *deck* dan *jacket*. Jarak antara *cellar* dan *main deck* sebesar 30 ft. *Cellar deck* pada *AW platform* memiliki panjang 53 ft dan lebar 47 ft. Kemudian *main deck* memiliki panjang 55 ft dan lebar 50 ft.

Tabel 3. 1. Deskripsi struktur AW *Platform*

Platform Description	AW
Number of Legs	4
Jacket dimension at Working Point	45 ft x 35 ft
Jacket elevation at Working Point	(+)17.00 ft (MLW)
Height of Jacket	197.00 ft
Number of Piles	4
Main Deck Elevation	(+)59.00 ft (MLW)
Cellar Deck Elevation	(+)29.00 ft (MLW)

Gambar 3.5. menunjukkan tampak atas dari AW *platform*. Arah utara *platform* memiliki selisih 6.5° terhadap arah utara yang sesungguhnya.



Gambar 3. 5. Arah Utara AW *Platform* terhadap Utara Sebenarnya

(Sumber: data proyek perusahaan)

Spesifikasi baja yang digunakan pada AW *platform* mengacu kepada 2 standar yaitu ASTM dan API. Material baja yang digunakan pada struktur *jacket* AW *platform* digolongkan berdasarkan bentuk dan dimensinya. Berikut spesifikasi material baja yang digunakan pada struktur AW *platform*.

Tabel 3. 2. Spesifikasi Material Baja pada AW Platform

Description	Spesification	Yield Stess (ksi)
All steel plates, shapes & bars	ASTM 36	36
All tubular $\Phi > 18''$	ASTM 36	36
All tubular $\Phi \leq 18''$	API 5L Grade B	35

3.3.2. Data Lingkungan

3.3.2.1. Data Arus

Profil kecepatan arus berdasarkan kedalaman pada lokasi AW platform beroperasi diketahui sebagai berikut :

Tabel 3. 3. Profil Arus saat Kondisi Operasi dan Badai

Percent of Depth (%)	Current Speed (ft/sec.)	
	1-year operating	100-years storm
0	3.5	4.5
10	3.3	4.2
20	3.1	3.9
30	2.9	3.6
40	2.7	3.3
50	2.4	2.9
60	2.2	2.6
70	2.0	2.3
80	1.8	2.0
90	1.5	1.6
100	0.8	0.8

3.3.2.2. Data Angin

Kecepatan angin pada lokasi AW platform diukur dengan interval 1 jam. Kemudian kecepatan angin saat kondisi operasi sebesar 38.0 mph dan saat kondisi badai sebesar 66.0 mph.

3.3.2.3. Data Gelombang

Data karakteristik gelombang 1 dan 100 tahunan pada lokasi AW *platform* ditempatkan sebagai berikut :

Tabel 3. 4. Data Gelombang saat Kondisi Operasi dan Badai

Description	1-year Return Periode	100-years Return Periode
Height of Maximum Wave	17.00 ft	30.00 ft
Periode of Maximum Wave	7.20 sec	10.00 sec

3.3.2.4. Data Kedalaman Perairan dan Pasang Surut

Kedalaman perairan dinyatakan dengan referensi *Mean Sea Level* (MSL) adalah 180.0 feet dan data pasang surut sebagai berikut :

Tabel 3. 5. Data Kedalaman Perairan dan Pasang Surut

Description	Still Water Case	1-year operating	100-years storm
Mean Sea Level (MSL)	180.0 ft	180.0 ft	180.0 ft
Total Tide	-	8.3 ft	8.5 ft
Maximum Water Depth	-	184.15 ft	184.25 ft
Minimum Water Depth	-	175.85 ft	175.75 ft

3.3.2.5. *Current Blockage Factor*

Menurut API, kecepatan arus disekitar *platform* akan berkurang dibanding *free stream* yang telah dituliskan sebelumnya. Berikut faktor pengurangan *free stream* akibat *platform*:

Tabel 3. 6. *Current Blockage Factor*

Number of Legs	Heading	Factor
4	End-on	0.80
	diagonal	0.85

3.3.2.6. Faktor Kinematik Gelombang

Menuurut API, faktor kinematik gelombang yang diijinkan untuk badai tropis dan ekstra badai tropis adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 7. Faktor Kinetik Gelombang

Condition	Min	Max
Tropical Storm	0.85	0.95
Extra Tropical Storm	0.95	1.00

3.3.2.7. Data Pembebanan

Pembebanan pada *AW platform* dibagi menjadi 2 yaitu *dead load* dan *live load*. *Dead load* terdiri dari beban struktur, *equipment*, perpipaan, dll. Perkiraan beban-beban tersebut dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 3. 8. *Structural Dead Load*

Description	Load (Kips)
Structure Dead Weight (Min. Water Depth)	2070.615
Structure Dead Weight (Max. Water Depth)	2092.239

Berdasarkan *report Structural Analysis of AW Platform Due to additional Separator* tahun 2012 beban-beban perlengkapan yang berada pada *deck* ditunjukkan pada table 3.10. Pada pemodelan beban perlengkapan dianggap sebagai beban merata pada member *deck*. Beban perlengkapan dianggap beban lain-lain.

Tabel 3. 9. Beban Perlengkapan

Description	Load (Kips)
Main Deck	
L-108 PIG LAUNCHER	1.916
R-106 OIL BW RECEIVER	1.410
R-107 KE-23 RECEIVER	1.410
V-102 AW MP SEPARATOR	111.540
V-103 AW LP SEPARATOR	96.800
V-104 FLARE KO-DRUM	22.400
V-105 GAS LIFT SEPARATOR	26.400
V-501 HP KE-23 SEPARATOR	47.300
V-503 HP KE30 SEPARATOR	15.432

Tabel 3. 10. Beban Perlengkapan (lanjutan)

Cellar Deck	
NEW ACCESS PLATFORM ABOVE	17.902
DRY CHEMICAL SKID	1.090
GAS TANK FOR CRANE	1.000
HYDROCYCLONE @ 8,585 KIPS	17.164
INSTRUMENT SYSTEM	1.800
NEW EQUIPMENT ON EXTENSION DECK	26.248
PANEL LP-405	1.500
INHIBITOR SKID CORROSION	2.001
3-PHASE TEST SEPARATOR	25.743
INSTRUMENT GAS SCRUBBER	0.594
VERTICAL INSTRUMENT GAS FILTER	0.600
VERTICAL LP SEPARATOR	17.496
VERTICAL OIL DE-GASSER	9.991
X'MASS TREE 6 @ 2 kips	12.000
TOTAL	465.301

Beban pada *crane* dibedakan menjadi dua kondisi saat operasi dan badai. Perbedaan pada dua kondisi tersebut adalah pada beban tambahan apabila *crane* bekerja, sedangkan saat badai hanya beban crane itu sendiri. Berikut ini beban *crane* yang digunakan pada analisis.

Tabel 3. 11. Beban *Crane*

Crane Loads	Load-operating	Load-storm
Dead Load	40.000 kips	40.000 kips
Boom Rest	1.500 kips	1.500 kips
Hook Load	64.329 kips	-
Moment	16492.3 in-kips	-

Struktur ataupun non-struktur yang tidak dimodelkan pada pemodelan akan dianggap sebagai beban lain-lain. Beban lain-lain salah satunya adalah beban perpipaan.

Tabel 3. 12. Beban Perpipaan

Description	Load (Kips)
PIPING AROUND LP SEPARATOR ON MAIN DECK	1.719
PIPING AROUND MP SEPARATOR ON MAIN DECK	7.441
PIPING AROUND HP SEPARATOR ON MAIN DECK	14.701
PIPING AROUND BRIDGE ON MAIN DECK	10.828
PIPING AROUND KO-DRUM ON MAIN DECK	0.680
PIPING ON CELLAR DECK	12.827
TOTAL	42.228

Beban hidup yang terjadi dibagi menjadi tiga area yaitu, *open area*, *wellhead*, dan *laydown*. Kondisi saat badai dikurangi 25% akibat dari tidak ada aktifitas operasi ketika badai. Berikut ini penjabaran dari beban hidup.

Tabel 3. 13. Beban Hidup

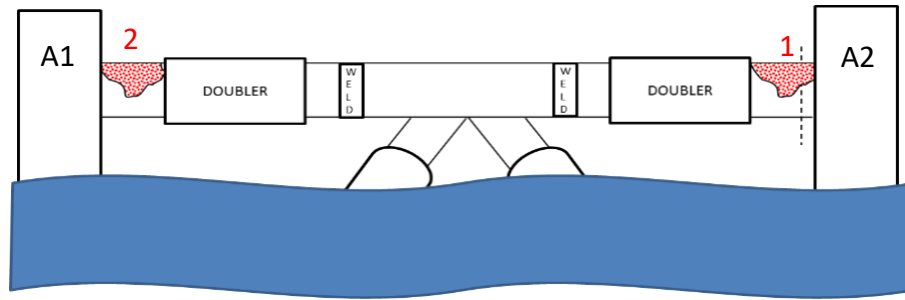
Description	Load-operation (psf)	Load-storm (25% reduction) (psf)
Open Area Deck	75.00	57.00
Wellhead Area	75.00	57.00
Boatlanding etc	100.00	0.00

3.3.3. Data Inspeksi

Berikut data inspeksi pada *AW platform* yang dilakukan pada tanggal 10 juni tahun 2015. Inspeksi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi *platform* terkini. Metode yang digunakan dalam melakukan inspeksi terdiri dari :

- 1) Melakukan inspeksi visual keadaan *jacket walkway member*, *leg/pile connection*, dan mengamati penyebaran korosi.
- 2) Mengecek dan membuat *sketch* lokasi *member* yang rusak.
- 3) Mengukur kedalaman korosi atau kehilangan logam pada tiap *member* dan menggambar area terkorosi.
- 4) Mengukur posisi luasan terkorosi terhadap titik acuan.
- 5) Mengukur ketebalan minimum saat ini pada *jacket brace* dan *horizontal member* di beberapa titik.

3.3.3.1. Horizontal Brace A1-A2



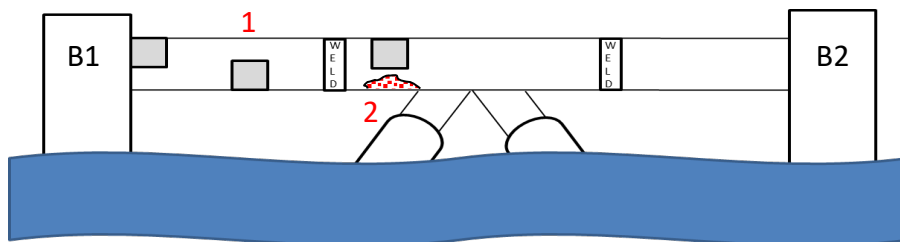
Gambar 3. 6. Lokasi Inspeksi *Horizontal Brace* A1-A2

Inspeksi yang dilakukan pada *horizontal brace* A1-A2 menunjukkan terdapat korosi yang parah sehingga menyebabkan lubang. Lokasi luasan terkorosi bedara 0 mm dari *jacket leg* A1 dan A2. Ketebalan minimum *horizontal brace* pada lokasi tersebut dianggap 0 mm karena berlubang.

Tabel 3. 14. Data Inspeksi *Horizontal Brace* A1-A2

No	Decription	Location
1	External corroded (Hole) Size : 1000mm x 380 mm	Horizontal Brace A1-A2, 0 mm from A1.
2	External corroded (Hole) Size : 800mm x 400 mm	Horizontal Brace A1-A2, 0 mm from A2

3.3.3.2. Horizontal Brace B1-B2



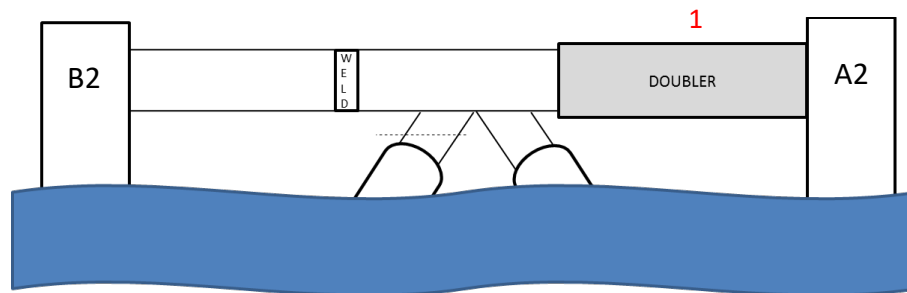
Gambar 3. 7. Lokasi Inspeksi *Horizontal Brace* B1-B2

Inspeksi yang dilakukan pada *horizontal brace* B1-B2 menunjukkan terdapat *dobler plate* berjarak 0 mm dari *jacket leg* B1. Luasan terkorosi dengan tingkat wajar juga terlihat pada lokasi 16 ft – 6 inch dari *jacket leg* B1.

Tabel 3. 15. Data Inspeksi *Horizontal Brace* B1-B2

No	Decription	Location
1	Found Doubler Plate (3ea) at Horizontal Braces B1-B2	0 mm from B1
2	Found Fair External Corrosion at Horizontal Braces B1-B2	16'-6" from B1

3.3.3.3. Horizontal Brace B2-A2



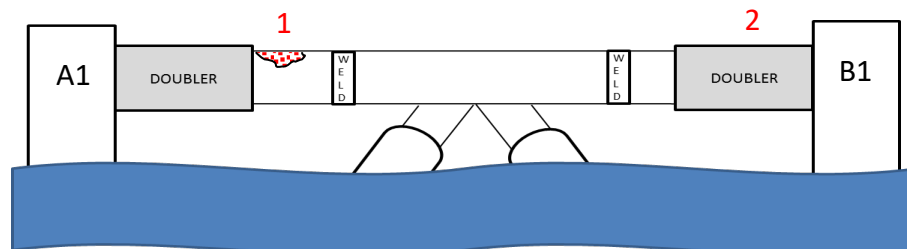
Gambar 3. 8. Lokasi Inspeksi *Horizontal Brace* B2-A2

Kondisi pada *horizontal brace* B2-A2 terlihat bagus. Terdapat *doubler plate* yang berlokasi 0 mm dari *jacket leg* B2.

Tabel 3. 16. Data Inspeksi *Horizontal Brace* B2-A2

No	Decription	Location
1	Horizontal Brace B2-A2 near Leg B2 in good condition	-
	Found Doubler Plate attached at Horizontal Braces B2-A2.	0mm from B2

3.3.3.4. Horizontal Brace A1-B1



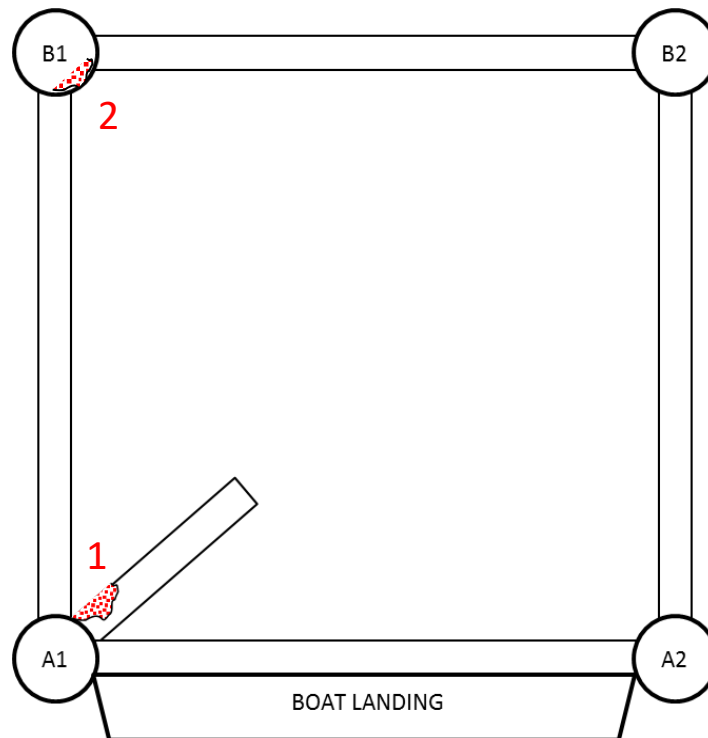
Gambar 3. 9. Lokasi Inspeksi *Horizontal Brace* A1-B1

Hasil inspeksi pada *Horizontal brace A1-B1* diketahui terdapat *dobler plate* berjarak 0 mm dari *jacket leg B1* dan *B2*. Luasan terkorosi juga terlihat pada lokasi 1160 mm dari *jacket leg A1*. Berdasarkan hasil pengukuran kedalaman korosi mencapai 5mm sehingga sisa ketebalan 3.27 mm.

Tabel 3. 17. Data Inspeksi *Horizontal Brace A1-B1*

No	Decription	Location
1	Found Doubler Plate attached at Horizontal Braces A1-B1.	0 mm from A1
	External corroded Size : 600x240 mm with depth 5 mm, remaining thickness 3.27 mm.	1160 mm from A1
2	Found Doubler Plate attached at Horizontal Braces A1-B1.	0 mm from B1

3.3.3.5. Diagonal Horizontal Brace A1 & Leg/Pile Connection



Gambar 3. 10. Lokasi Inspeksi *Diagonal Brace A1 & Pile Connection*

Korosi parah hingga berlubang ditemukan pada *diagonal horizontal brace jacket leg A1*. Area terkorosi diukur 1300x400 mm dengan lokasi 0 mm dari *jacket leg A1*. Kemudian korosi tingkat sedang juga terjadi pada sambungan *jacket leg B1*.

Tabel 3. 18. Data Inspeksi *Diagonal Brace A1 & Pile Connection*

No	Decription	Location
1	Found Bad External corrosion (Hole) Size : 1300x400mm	Location at Diagonal Horizontal Brace 0 mm from A1
2	Leg/Pile connection (crown) B1 was found moderately corroded	Leg/Pile Connection (Crown) B1

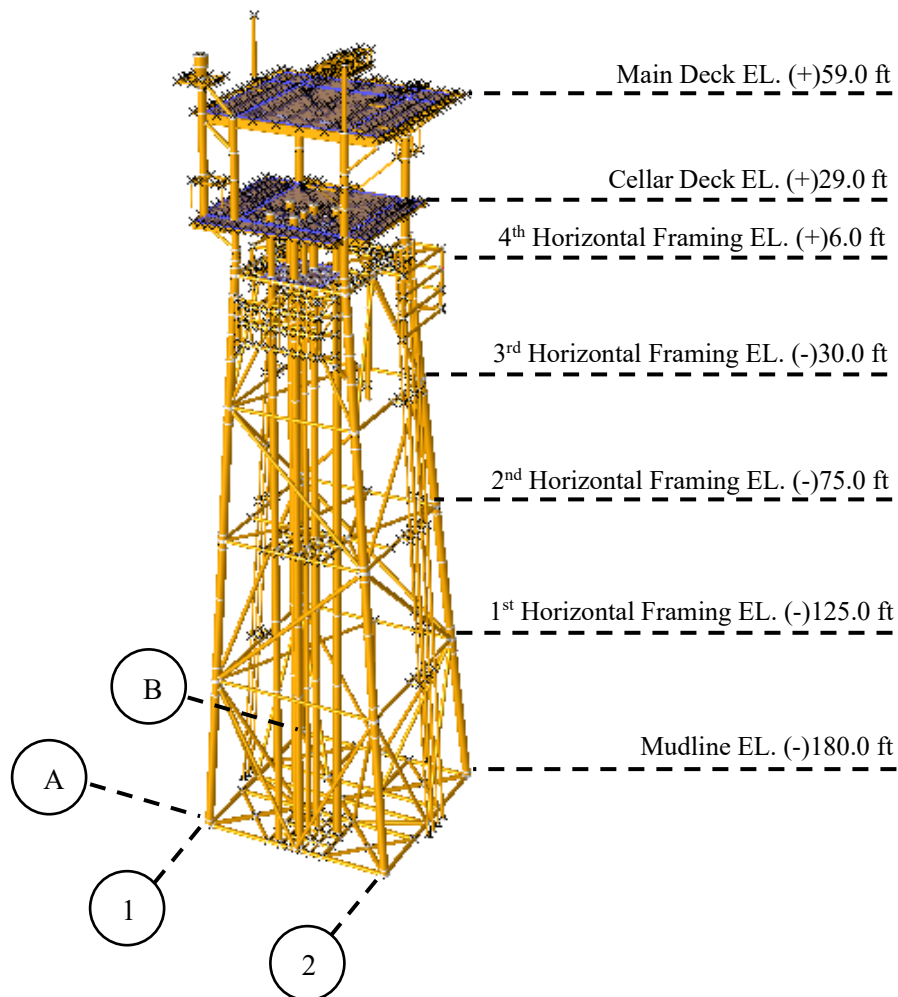
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL ANALISIS & PEMBAHASAN

4.1. Hasil Analisis

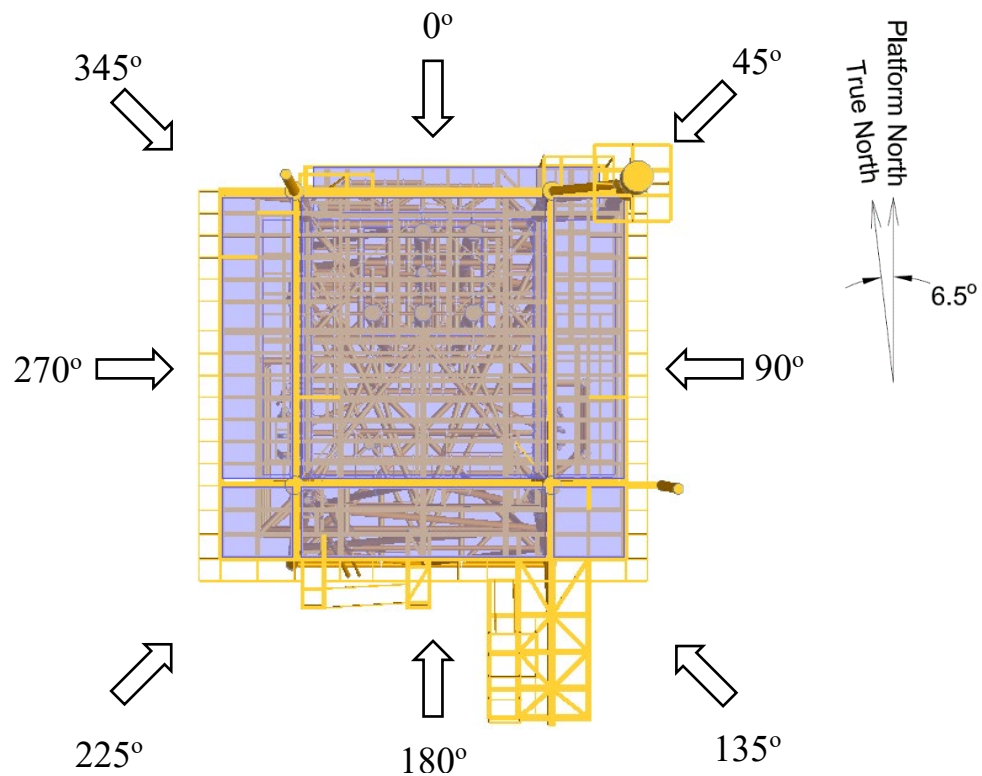
4.1.1. Pemodelan Struktur

Model struktur *jacket AW platform* dimodelkan menggunakan *software SACS 5.7*. *Equipment* tidak secara langsung dimodelkan tetapi berupa beban *member*. Model tersebut akan digunakan pada analisis *inplace* dan *pushover*.



Gambar 4. 1. Hasil Pemodelan Struktur *AW Platform*

Model struktur *AW platform* jika dilihat dari atas tampak seperti gambar 4.2. Arah utara struktur berbeda 6.5° terhadap utara sebenarnya. Terdapat 8 arah pembeban yang nantinya dilakukan pada analisis *inplace* dan *pushover*. Berikut tampak atas model *AW platform* dan arah pembebanannya.



Gambar 4. 2. Arah Beban Lingkungan AW Platform

4.1.2. Validasi Model Struktur

Validasi dilakukan untuk membandingkan model dengan struktur yang sebenarnya. Validasi pada struktur AW platform dilakukan dengan membandingkan berat model dengan berat struktur berdasarkan data dari *report* perusahaan. Berdasarkan hasil validasi model AW platform dapat merepresentasikan kondisi struktur sebenarnya. Berikut ini perbandingan berat dan selisihnya.

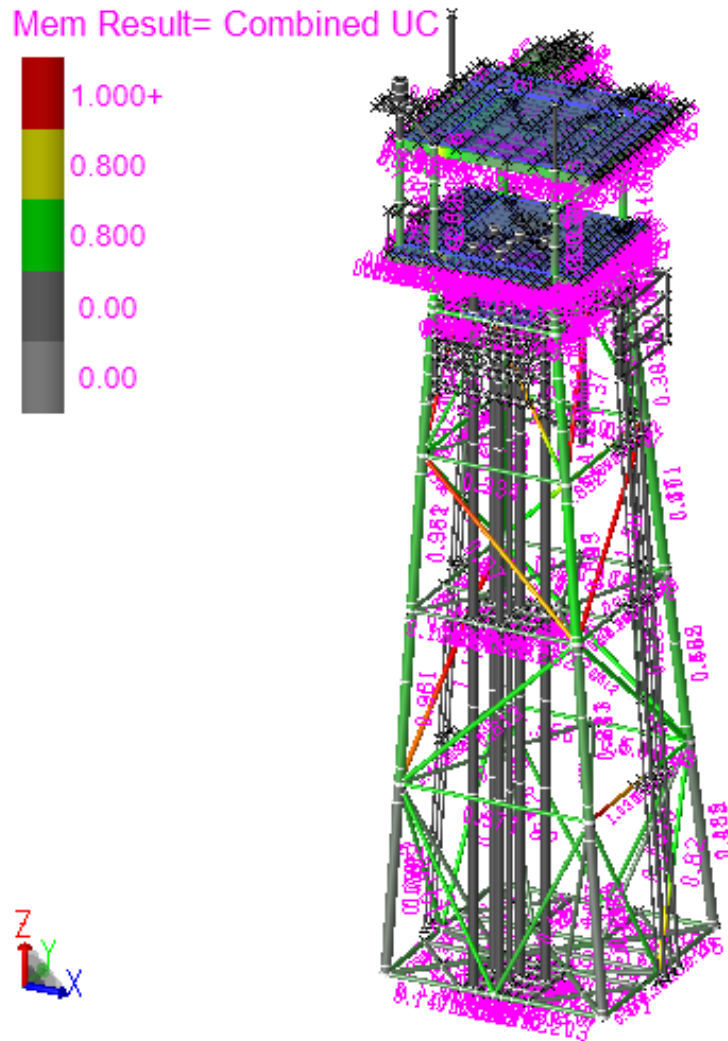
Tabel 4. 1. Validasi Model

Berat Struktur	Data (kips)	SACS (kips)	Koreksi (%)
Minimum Water Depth	2070.615	2069.31	0.06
Maximum Water Depth	2092.239	2101.38	0.4

4.1.3. Analisis *In-place Statis*

Analisa *in-place* merupakan analisis statis dimana struktur beroperasi. Kondisi pada analisis *in-place* dibagi menjadi dua yaitu kondisi operasi dan badai.

Struktur mengalami pembebanan berupa beratnya sendiri (*selfweight*) dan beban lingkungan (*environment*). Beban lingkungan dimodelkan terhadap 8 arah yaitu, 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° . Hasil dari analisis *inplace* berupa rasio tegangan aktual dengan tegangan ijin. Hal tersebut ditunjukkan dengan UC (*Unity Check*) tiap *member* pada struktur. Berikut ini plot analisis *inplace* AW platform pada kondisi operasi.



Gambar 4. 3. Plot *Member Unity Check* pada Kondisi Operasi

Berdasarkan hasil analisis *inplace* dapat diketahui tegangan yang terjadi pada tiap *member* yang ingin ditinjau. *Member* yang memiliki nilai UC < 1 dapat dinyatakan aman. Berdasarkan inspeksi, korosi yang parah terjadi pada *horizontal brace* A1-A2. Sehingga UC yang ditinjau difokuskan pada *horizontal brace* A1-

A2. Berikut ini adalah UC (*unity check*) *horizontal brace* A1-A2 pada kondisi operasi.

Tabel 4. 2. UC *Horizontal Brace* A1-A2 pada Kondisi Operasi

Group	Member	UC	Load Cond.	Location
JW5	501-512	0.70	208	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	512-513	0.65	101	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	513-514	0.32	101	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW3	514-515	0.36	101	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW4	515-516	0.15	103	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW4	516-517	0.13	102	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW3	517-518	0.19	105	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	518-519	0.16	105	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	519-520	0.39	208	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	520-503	0.43	207	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.

Kemudian analisis *inplace* dilakukan kembali pada kondisi badai. Kondisi badai memiliki beban lingkungan yang lebih besar dan ada beban tertentu yang berkurang akibat tidak ada kegiatan operasi (contoh beban hidup dan *crane*). Berikut ini adalah UC (*unity check*) *horizontal brace* A1-A2 pada kondisi badai.

Tabel 4. 3. UC *Horizontal Brace* A1-A2 pada Kondisi Badai

Group	Member	UC	Load Cond.	Location
JW5	501-512	0.48	208	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	512-513	0.36	101	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	513-514	0.25	201	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW3	514-515	0.31	101	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW4	515-516	0.16	204	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW4	516-517	0.16	202	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW3	517-518	0.23	205	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	518-519	0.20	105	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	519-520	0.25	207	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.
JW5	520-503	0.43	208	Horizontal Brace A1-A2 EL. (+)12 ft.

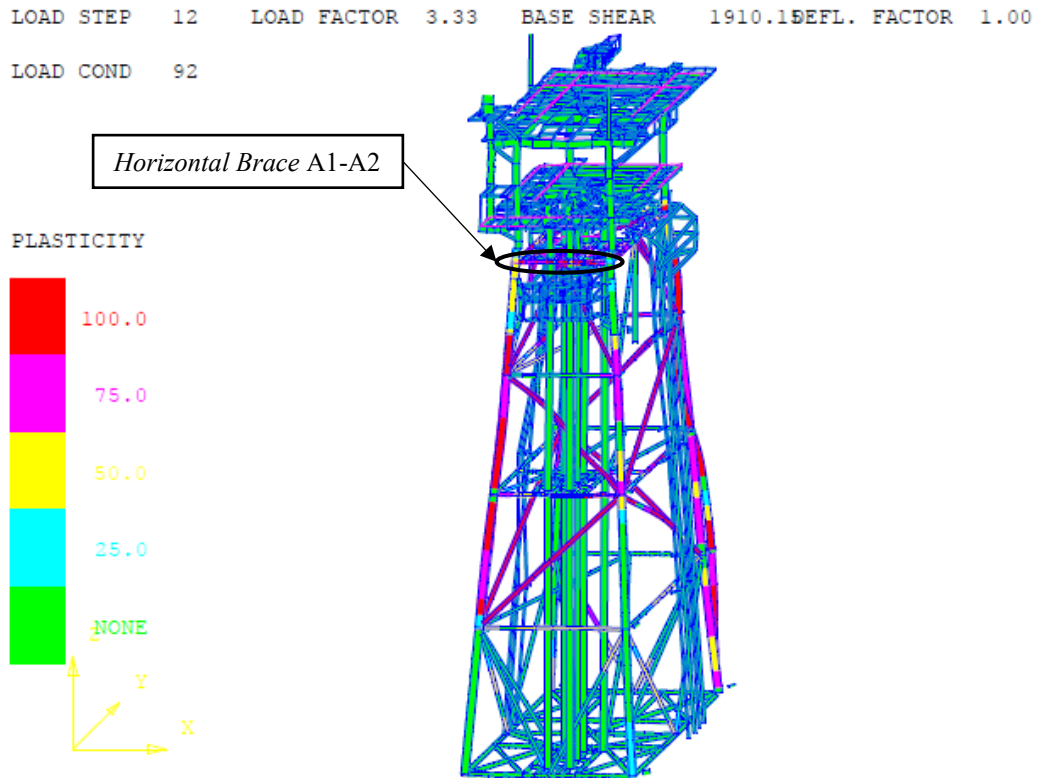
4.1.4. Analisis *Pushover Non-Linear*

Analisis *pushover* dilakukan dengan meningkatkan beban bertahap sampai struktur mengalami keruntuhan. Struktur akan mengalami keruntuhan apabila terjadi *member* plastis yang akan menyebabkan kegagalan *joint*. Beban yang digunakan pada analisis *pushover* merupakan beban lingkungan pada kondisi badai. Beban yang terjadi pada analisis *pushover* ditunjukkan oleh *base shear*. *Base shear* merupakan gaya reaksi maksimum yang terjadi dipermukaan tanah akibat beban lateral. Berikut hasil analisis *pushover* pada setiap delapan arah pembebanan.

Tabel 4. 4. *Reserve Strength Ratio* pada 8 Arah Pembebanan

Arah Pembebanan	Load Step	Load Factor	Base Shear (kips)		RSR
			Initial	Collapse	
0°	11	3.10	592.21	1803.37	3.045
45°	12	3.33	590.08	1910.15	3.237
90°	13	3.57	565.67	1969.08	3.480
135°	12	3.33	588.19	1920.03	3.264
180°	11	3.10	578.23	1772.72	3.065
225°	11	3.10	561.34	1742.20	3.103
270°	9	2.63	547.23	1441.81	2.634
315°	9	2.63	582.32	1519.69	2.609

Analisis lokal *ultimate strength* harus merepresentasikan perilaku sesungguhnya *horizontal brace* A1-A2. Karena hal tersebut analisis *pushover* dilakukan untuk mengetahui perilaku *horizontal brace* A1-A2 ketika struktur mengalami keruntuhan. Rasio plastis pada *horizontal brace* A1-A2 paling besar terjadi pada arah pembebanan 45°. Sehingga analisis *pushover* arah 45° akan digunakan pada analisis lokal. Berikut ini plot *member* plastis hasil analisis *pushover* pada arah 45°.



Gambar 4. 4. Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 45°

Berikut defleksi yang terjadi pada *joint-joint* yang termasuk dalam *horizontal brace* A1-A2. Defleksi ini nantinya akan digunakan sebagai input pada analisis lokal *ultimate strength horizontal brace* A1-A2.

Tabel 4. 5. Defleksi *Horizontal Brace* A1-A2 pada *Pushover* Arah 45°

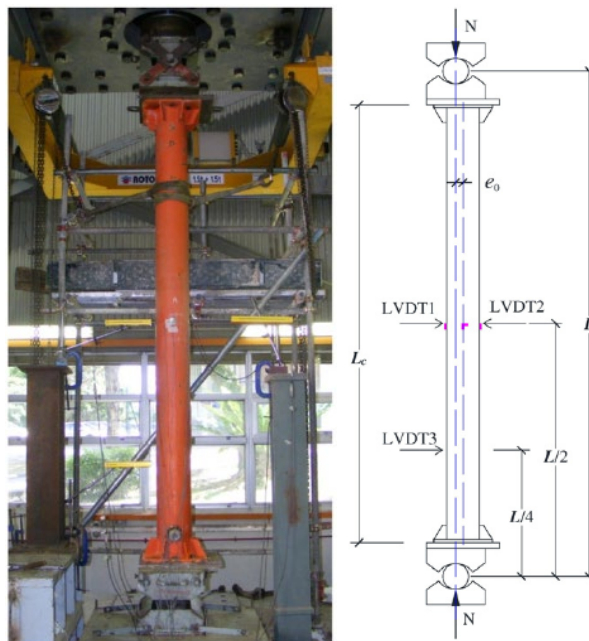
Joint	Initial Deflection (in)			Last Deflection (in)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
501	5.185	3.349	-0.027	43.003	40.778	0.368
512	5.167	3.388	-0.083	42.888	40.285	0.993
513	5.163	3.43	-0.134	42.895	39.754	2.133
514	5.158	3.463	-0.143	42.8	39.135	3.074
515	5.155	3.48	-0.128	42.748	38.662	3.248
516	5.154	3.488	-0.114	42.742	38.249	3.049
517	5.155	3.492	-0.11	42.766	37.824	2.591
518	5.157	3.496	-0.116	42.819	37.266	1.801
519	5.162	3.501	-0.137	42.912	36.43	0.557
520	5.163	3.516	-0.145	42.998	35.749	-0.186
503	5.165	3.516	-0.154	43.205	35.045	-0.37

4.1.5. Simulasi Model *Finite Element*

Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa model *tubular member* pada *AW platform* dapat merepresentasikan hubungan antara baja dengan *grout*. Xiong, Xiong, & Liew (2017) telah melakukan percobaan kelakuan *steel tubular member* yang diisi material *concrete*. Simulasi model *finite element* dibuat berdasarkan percobaan tersebut. Kemudian hasil dari analisis menggunakan metode *finite element* dibandingkan dengan data percobaan.

4.1.5.1. Data Spesimen

Model *finite element* dibuat berdasarkan data percobaan spesimen CS-2. Spesimen CS-2 memiliki diameter (D) 219.1 mm, ketebalan (t) 16 mm, dan panjang spesimen (L_c) 3000 mm. Beban yang diberikan pada spesimen memiliki selisih jarak terhadap sumbu axial sebesar 20 mm (*eccentric load* (e_0)).



Gambar 4. 5. Spesimen dan Kondisi Batas CS-2

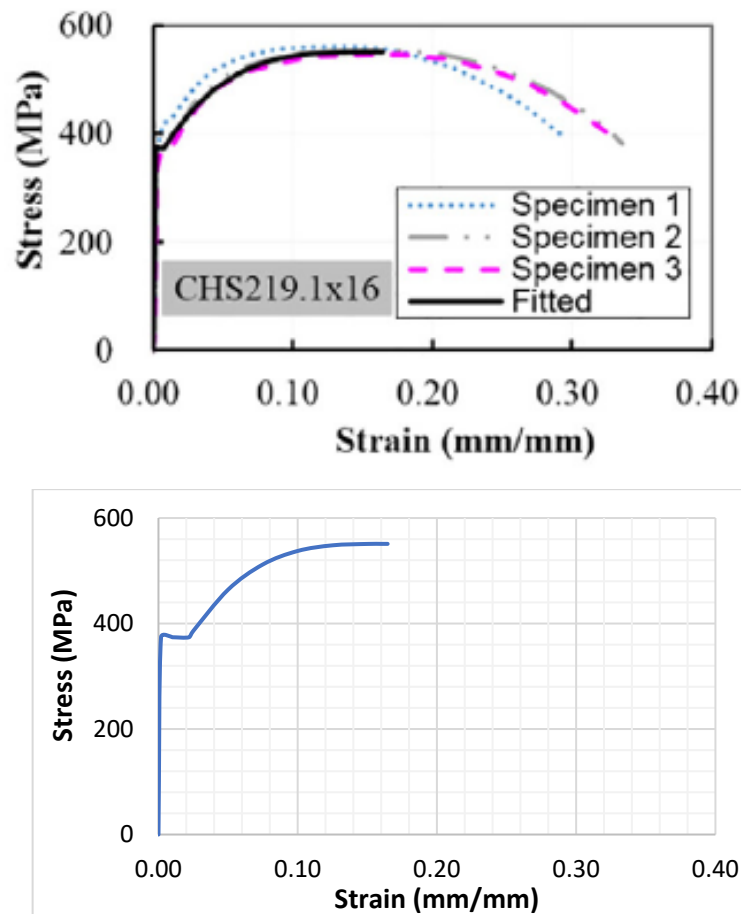
(Sumber: Xiong, Xiong, & Liew, 2017)

Baja *tubular* yang digunakan pada spesimen CS-2 memiliki *yield strength* (f_{ye}) 374 MPa, *ultimate tensile strength* (f_{ue}) 551 MPa, dan modulus elastisitas (E_{ae}) 202,000 MPa. Sedangkan untuk *concrete* yang digunakan memiliki sifat kekuatan tekan (f_{ck}) 181 MPa dan modulus elastisitas (E_{cm}) 63,200 MPa. Xiong, Xiong, &

Liew (2017) hubungan antara baja dengan *concrete* adalah gesekan dan koefisien gesek yang digunakan 0.25.

4.1.5.2. Sifat Material *Non-Linear* Baja

Material *linear* dan *non-linear* diperlukan pada pemodelan *finite element*. Sifat *linear* baja dapat diketahui dari modulus elastisitas dan rasio poisson's. Sedangkan untuk sifat *non linear* baja perlu dihitung terlebih dahulu menggunakan persamaan 2.23 sampai 2.26. Sifat *non linear* baja pada simulasi dimodelkan sebagai kurva *stress-strain*. Berikut kurva *stress-strain* baja referensi dan hasil pemodelan.

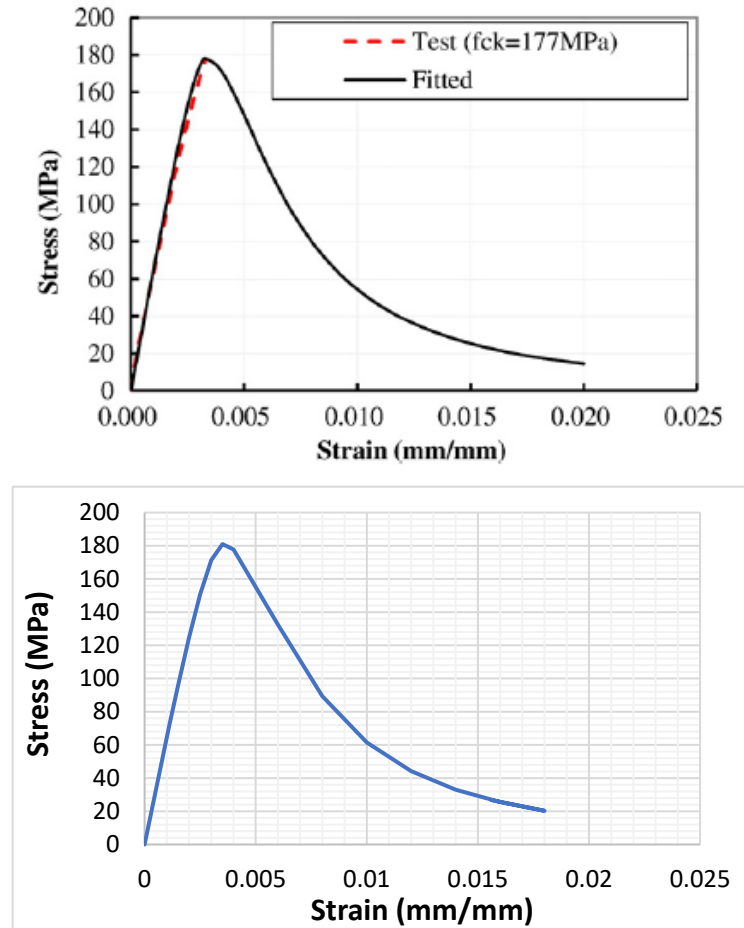


Gambar 4. 6. Kurva *Stress-Strain* Baja Referensi dan Hasil Pemodelan

4.1.5.3. Sifat Material *Non-Linear* Concrete

Sifat *linear concrete* dapat diketahui dari modulus elastisitas dan rasio poisson's. Sedangkan untuk sifat *non linear concrete* perlu dihitung terlebih dahulu

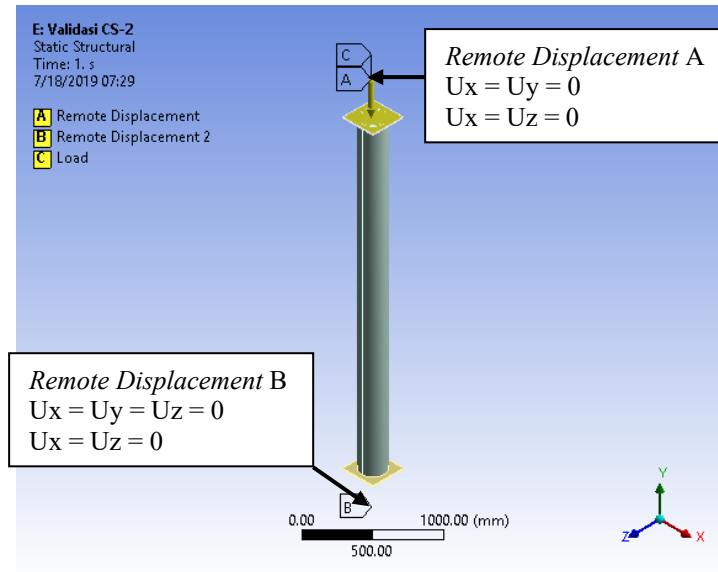
berdasarkan persamaan 2.27. Sifat *non linear concrete* pada simulasi dimodelkan sebagai kurva *stress-strain*. Berikut kurva *stress-strain* baja referensi dan hasil pemodelan.



Gambar 4. 7. Kurva *Stress-Strain Concrete* Referensi dan Hasil Pemodelan

4.1.5.4. Model *Finite Element* Spesimen CS-2

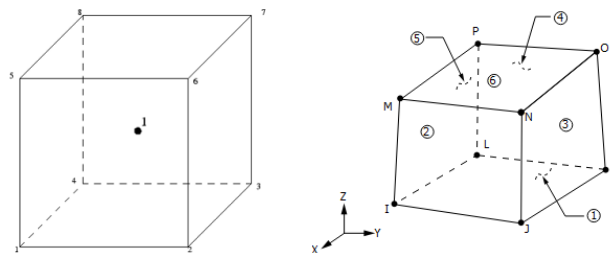
Pemodelan *finite element* dimulai dengan membuat geometri spesimen CS-2. Kemudian memasukan sifat material berdasarkan data percobaan dan model kurva *stress-strain*. Model kurva *stress-strain* diinputkan sebagai *multilinear isotropic hardening*. Setelah itu, *frictional contact* dimodelkan pada permukaan antara baja dan *concrete* dengan koefisien gesek 0.25. Kondisi batas dimodelkan sebagai *remote displacement* di kedua ujung model dengan derajat kebebasan seperti gambar 4.8.



Gambar 4. 8. Model *Finite Element* Spesimen CS-2

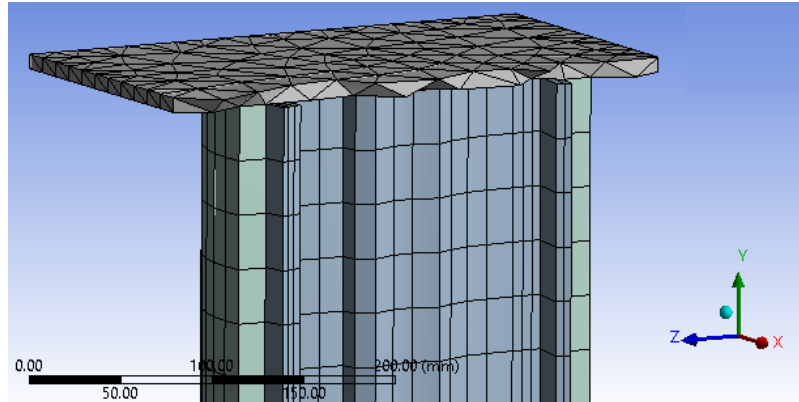
4.1.5.5. Pemilihan Elemen dan *Meshing* pada Model

Berdasarkan Xiong, Xiong, & Liew (2017), model *finite element* dibuat menggunakan *software* ABAQUS dan dimodelkan dengan elemen solid C3D8R. elemen solid C3D8R merupakan elemen balok yang memiliki 8 node. Penamaan pada *software finite element* berbeda dengan ABAQUS, salah satu elemen yang memiliki kemiripan dengan solid C3D8R adalah SOLID185. Berikut ini geometri perbandingan antara elemen solid C3D8R dengan SOLID185.



Gambar 4. 9. (kiri) Geometri Solid C3D8R dan (kanan) SOLID185

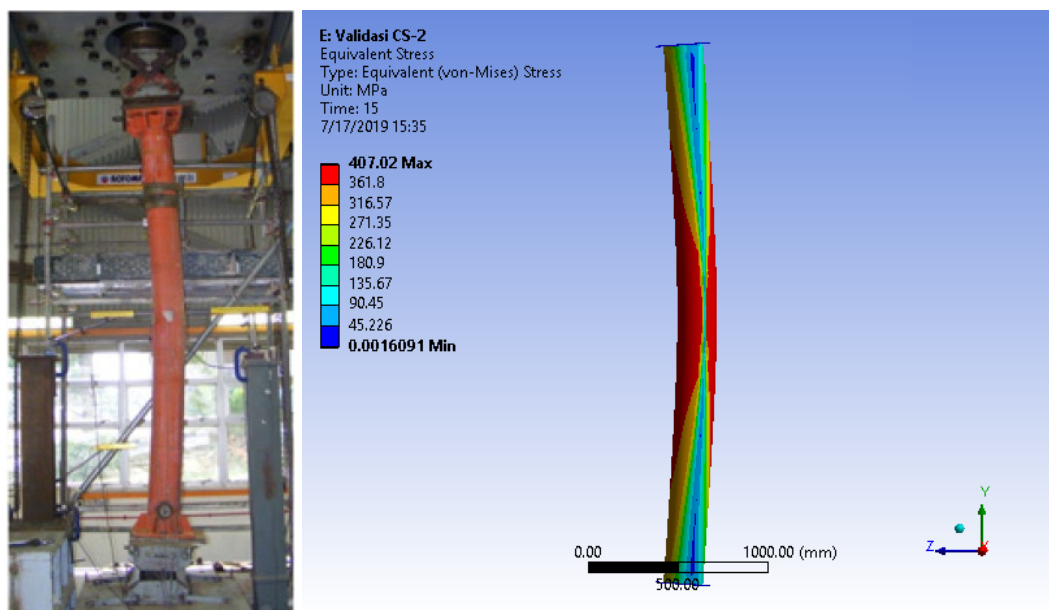
Meshing pada model *finite element* dapat dilakukan secara otomatis atau manual. *Meshing* yang diterapkan pada model CS-2 yaitu *meshing* global dengan ukuran *relevance centre medium* dan ukuran elemen sebesar 30.0 mm. kemudian metode *sweep* digunakan sehingga menghasilkan elemen SOLID185. Berikut tampak *meshing interior* pada model CS-2 jika dipotong pada penampang memanjang.



Gambar 4. 10. *Meshing* pada Model CS-2

4.1.5.6. Validasi Simulasi *Finite Element*

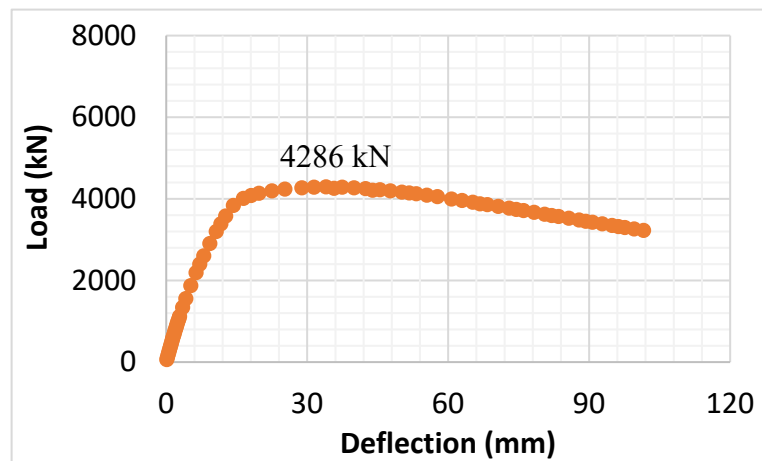
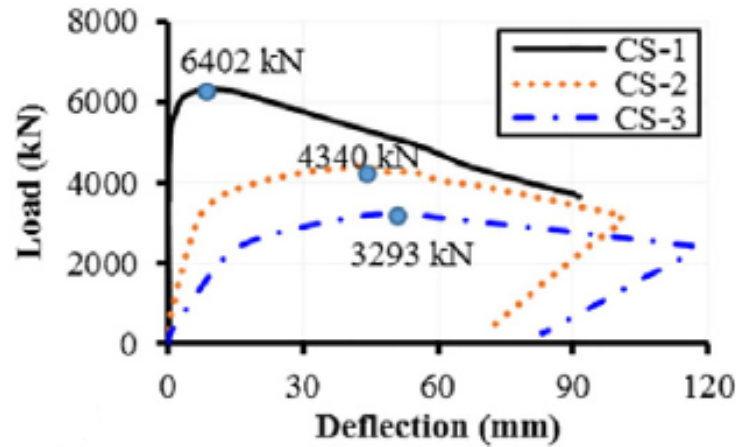
Simulasi model dilakukan dengan memberikan beban bertahap berupa defleksi sampai mencapai kapasitas beban maksimum. Berdasarkan Xiong, Xiong, & Liew (2017) *bending* terjadi pada spesimen CS-2 akibat beban eksentrik yang diberikan. Defleksi maksimum terjadi di tengah spesimen CS-2. Berikut ini adalah gambar spesimen CS-2 saat terjadi defleksi maksimum dan model *finite element*



Gambar 4. 11. Perbandingan Hasil Tes CS-2 dengan Model *Finite Element*

Berdasarkan Xiong, Xiong, & Liew (2017) Spesimen CS-2 memiliki kapasitas beban maksimum 4340 kN dan defleksi sebesar 38.73 mm. Sedangkan hasil simulasi menunjukkan pada beban 4286 kN defleksinya sebesar 34.03 mm.

Sehingga perbedaan kapasitas beban maksimum model *finite element* dengan hasil percobaan adalah 1.24 %. Berikut perbandingan kurva *Load-Deflection* percobaan dengan model *finite element*.

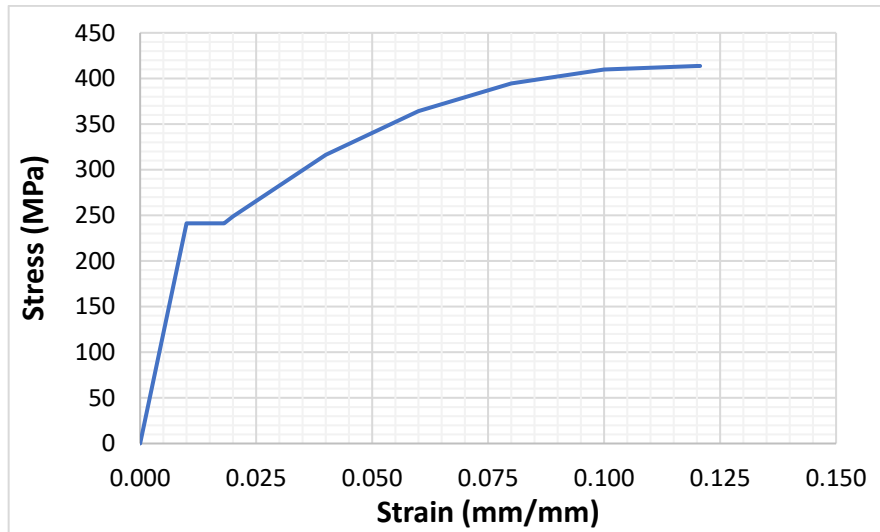


Gambar 4. 12. Kurva *Load-Deflection* Referensi dan Model FE

4.1.6. Analisis Lokal *Ultimate Strength*

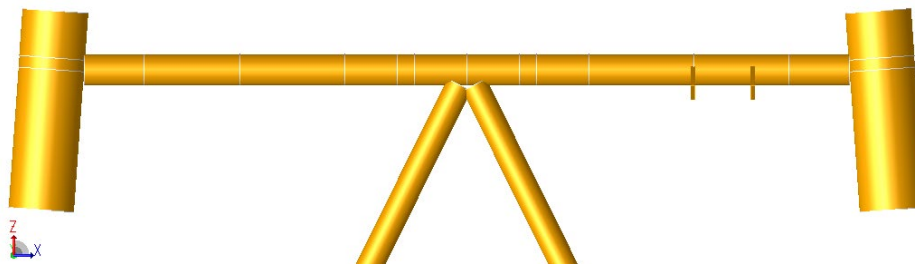
4.1.6.1. *Horizontal Brace A1-A2* Terkorosi

Pemodelan *horizontal brace* A1-A2 dimulai dengan memasukan sifat material *linear* dan *non-linear*. *Properties linear* diketahui dari *report* perusahaan berupa klasifikasi baja API 5L Grade B. Sifat *linear* dari baja API 5L Grade B yaitu modulus elastisitas sebesar 199,947.9 MPa (29,000 ksi), modulus geser 79,979.184 MPa (11,600 ksi), *yield stress* 241.316 MPa (35 ksi), dan *ultimate stress* 413.685 MPa (60 ksi). Sedangkan untuk sifat *non-linear* perlu dilakukan perhitungan seperti simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut kurva *stress-strain* material baja *horizontal brace* A1-A2.



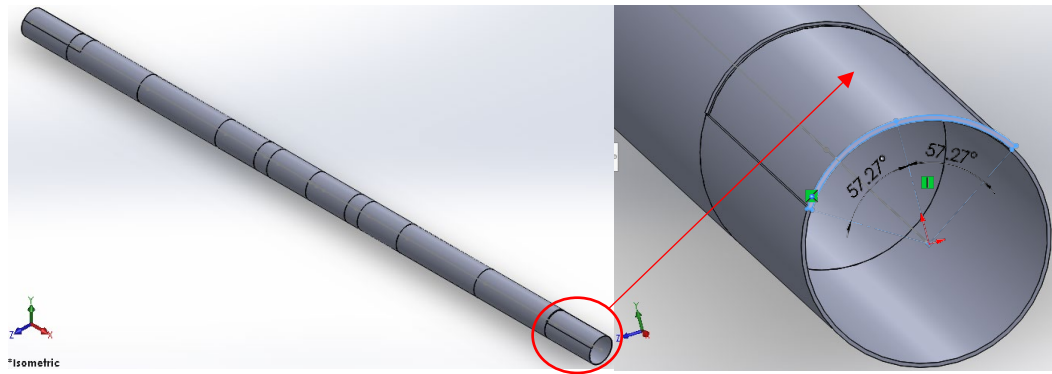
Gambar 4.13. Kurva *Stress-Strain* Material Baja

Kemudian dilanjutkan dengan membuat geometri *horizontal brace* A1-A2 menyesuaikan model SACS. Terdapat 13 *segment* sepanjang *horizontal brace* A1-A2. Berikut ini adalah *horizontal brace* A1-A2 pada model SACS.



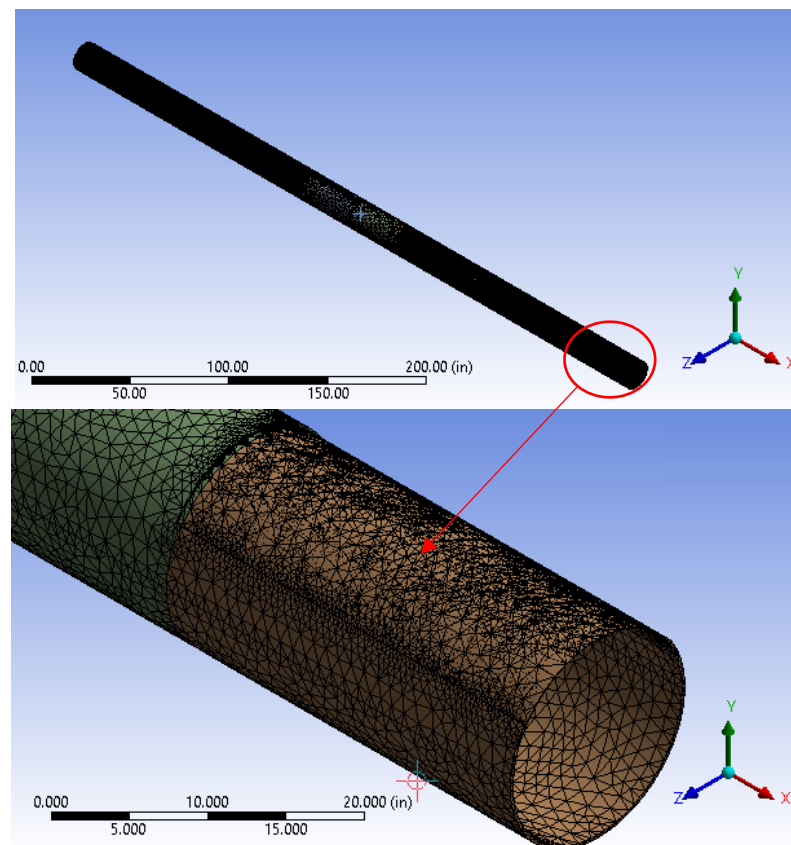
Gambar 4.14. *Horizontal Brace* A1-A2 pada Model SACS

Panjang keseluruhan *horizontal brace* A1-A2 adalah 10.025 m (394.72 in) dengan diameter luar 400 mm (15.75 in) dan ketebalan 6.35 mm (0.25 in). Namun ketebalan pada *member* 515-516 dan 516-517 berbeda yaitu 18.26 mm (0.719 in). Kemudian korosi dimodelkan berupa sisa ketebalan sebesar 0.05 in di lokasi terkorosi. Panjang korosi dimodelkan searah dengan arah longitudinal *horizontal brace*. Lebar korosi diasumsikan terhadap keliling lingkaran *horizontal brace*. Lebar korosi di A2 sebesar 400 mm (15.75 in) dan keliling lingkaran 1,257.142 mm (49.5 in). Sehingga lebar korosi dibanding keliling lingkaran adalah 0.318 dan jika diubah menjadi derajat adalah 114.54°. Begitu pula pemodelan pada korosi A1. Berikut ini model geometri lokal *horizontal brace* A1-A2 yang telah selesai.



Gambar 4. 15. Geometri dan Pemodelan Korosi *Horizontal Brace*

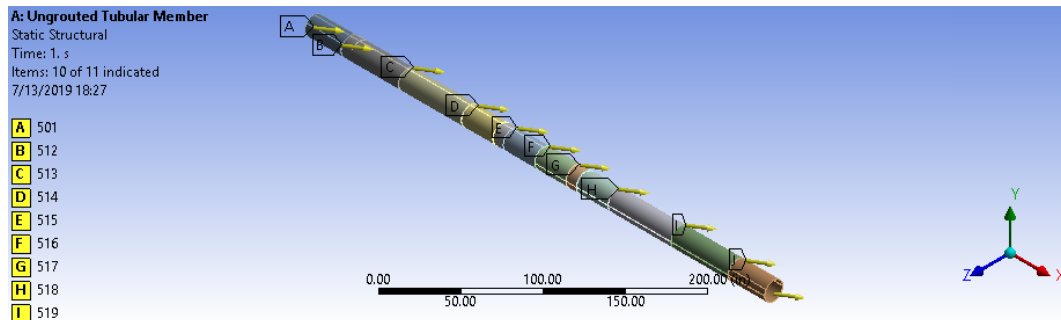
Kemudian dilanjutkan dengan *meshing* model *finite element*. *Patch conforming method* dipilih sebagai metode *meshing* karena metode *swept* tidak bisa dilakukan pada geometri yang tidak *uniform*. Ukuran elemen global dipilih 30 mm dan *refinement* (penghalusan elemen) diterapkan di sekitar korosi.



Gambar 4. 16. *Meshing* pada *Horizontal Member A1-A2*

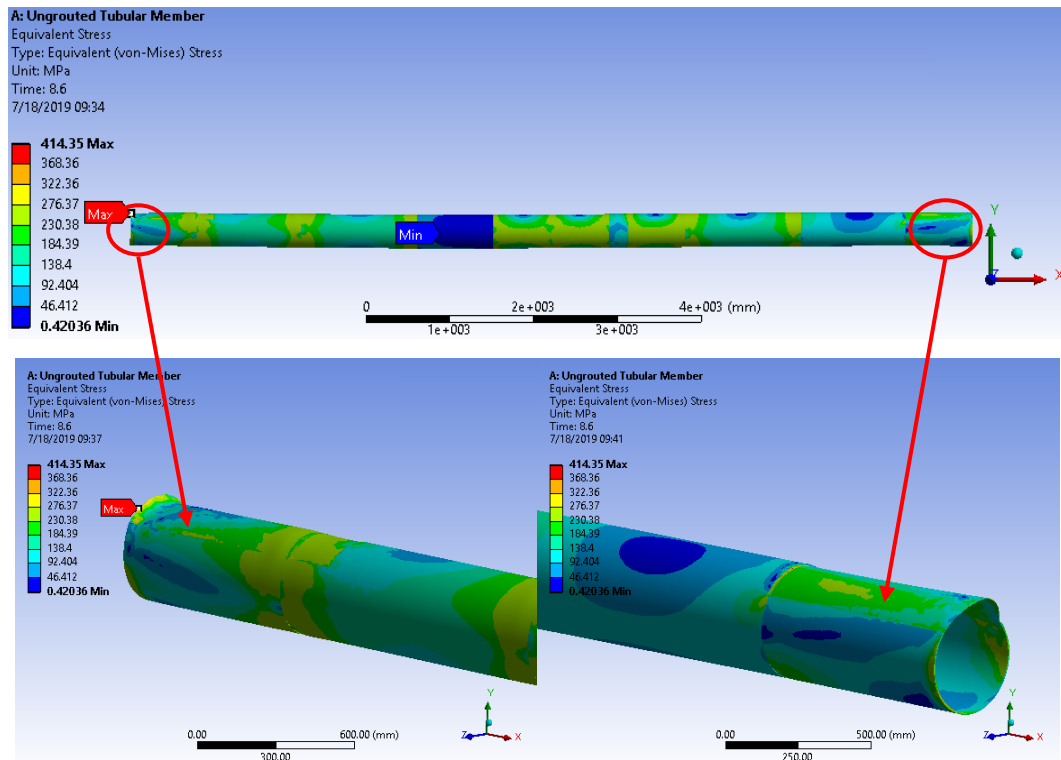
Setelah *meshing* dilanjutkan dengan *boundary condition* dan pembebanan. Defleksi *joint* pada analisis ini menjadi *boundary condition* sekaligus pembebanan.

Defleksi *joint* dapat merepresentasikan *boundary condition* yang merupakan kelakuan *horizontal brace* A1-A2 saat menerima beban. Kemudian defleksi *joint* juga menyebabkan beban berupa tarik, tekan, dan tekuk. Besar defleksi tiap *joint* disesuaikan dengan analisis *pushover* arah 45°. Pembebanan arah 45° digunakan pada analisis karena terjadi rasio plastis terbesar di *horizontal brace* A1-A2. Berikut *boundary condition* pada *filled horizontal brace* A1-A2 terkorosi.



Gambar 4. 17. *Boundary Condition Horizontal Brace A1-A2*

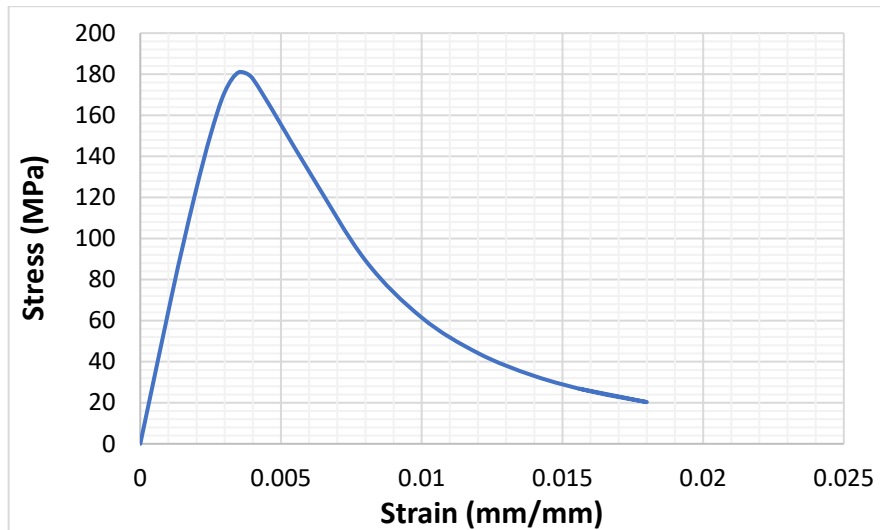
Defleksi *joint* pada model *finite element* ditingkatkan secara bertadap (*increment*) sampai batas *ultimate strength*. Berikut distribusi tegangan pada *horizontal brace* A1-A2 terkorosi ketika mencapai *ultimate strength*nya.



Gambar 4. 18. *Distribusi Tegangan Horizontal Brace A1-A2 Terkorosi*

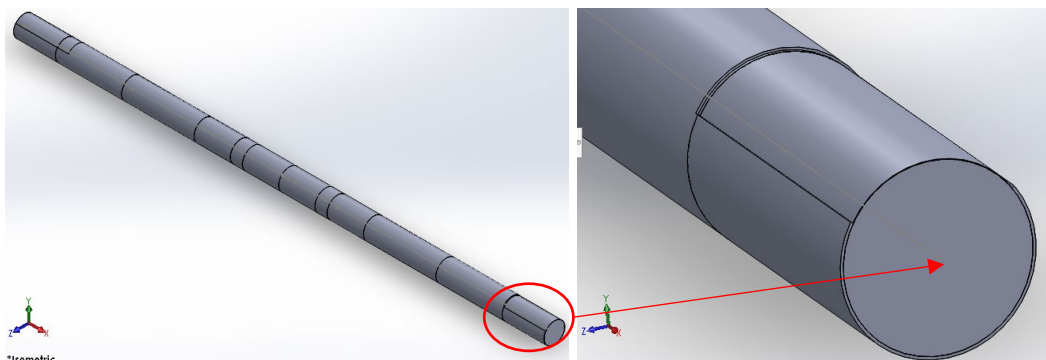
4.1.6.2. Grouted Horizontal Brace A1-A2 Terkorosi

Sifat material *grout* yang ditambahkan pada *horizontal brace* A1-A2 terkorosi sama seperti simulasi CFST. Sifat *linear grout* berupa modulus elastisitas 63200 MPa (9166,385 ksi), rasio poisson's 0.18, dan kekuatan tekan 181 MPa (26,252 ksi). Sedangkan sifat *non-linear grout* berupa kurva *stress-strain*. Berikut kurva *stress-strain* material *grout* yang digunakan pada analisis.



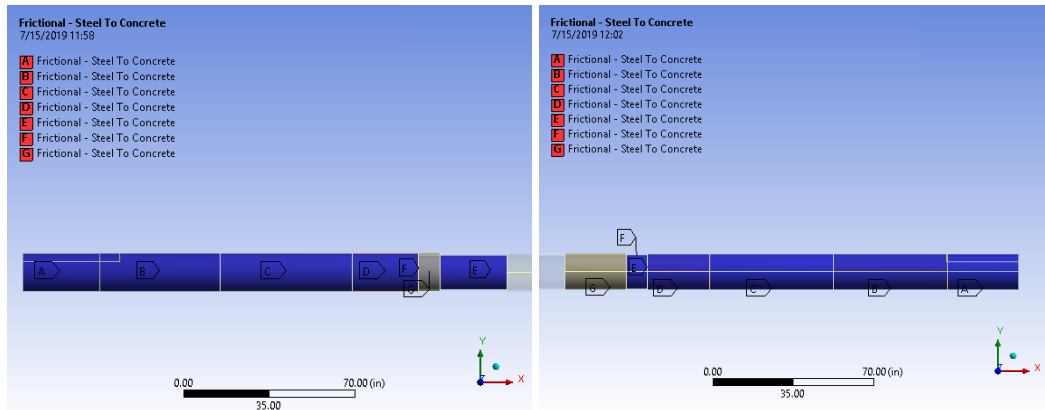
Gambar 4. 19. Kurva *Stress-Strain Grout*

Geometri *grout* ditambahkan pada model *horizontal brace* A1-A2. *Grout* pada *horizontal brace* A1-A2 dimodelkan sebagai solid yang mengisi rongga. Berikut geometri model *horizontal brace* A1-A2.



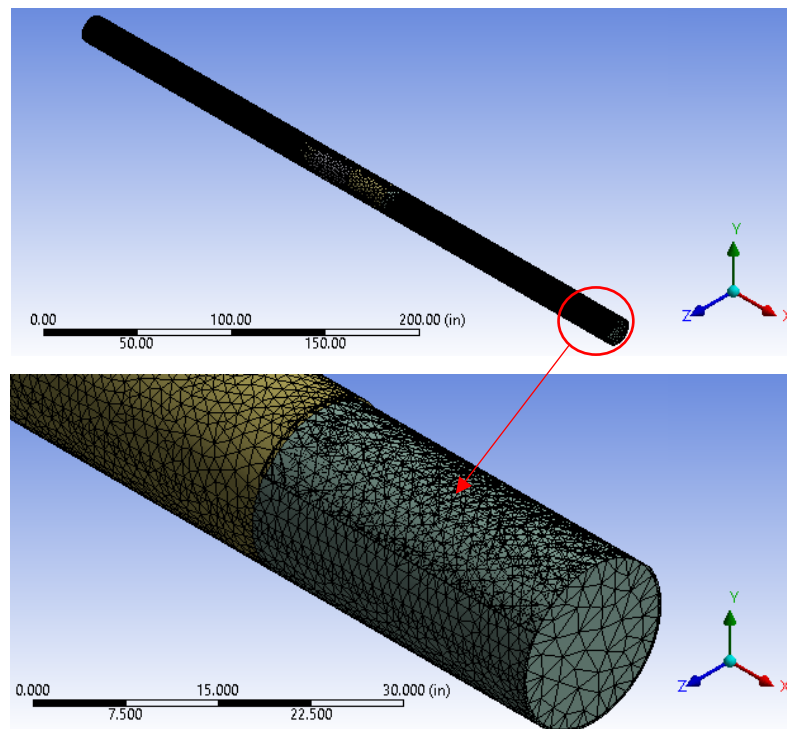
Gambar 4. 20. Geometri dan Pemodelan *Grouted Horizontal Brace*

Interaksi antara baja dan *grout* dimodelkan sebagai *connection* berupa *friction* dengan koefisien gesek 0.25. Setelah memodelkan *connection*, proses pengerjaan sama seperti sebelumnya.



Gambar 4. 21. Friction connection antara baja dan grout

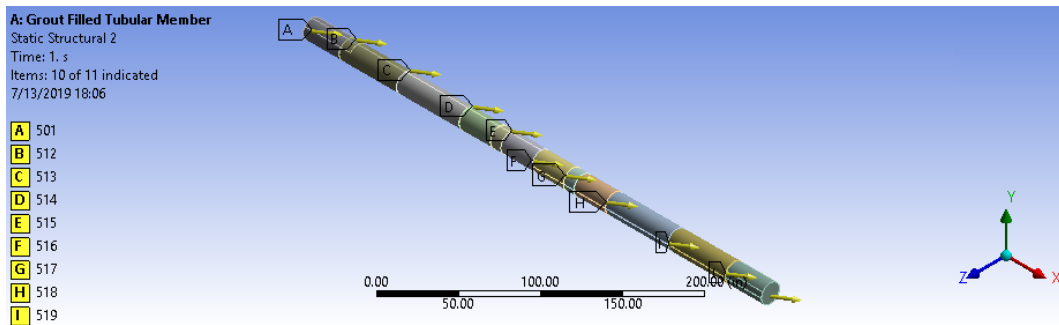
Meshing pada model *finite element* sama seperti model *horizontal brace* A1-A2. *Patch conforming method* dipilih sebagai metode *meshing* karena metode *swept* tidak bisa dilakukan pada geometri yang tidak *uniform*. Ukuran elemen global dipilih 30 mm. Berikut hasil *meshing* pada *horizontal brace* A1-A2 yang telah ditambahkan *grout*.



Gambar 4. 22. Meshing pada Grouted Horizontal Member A1-A2

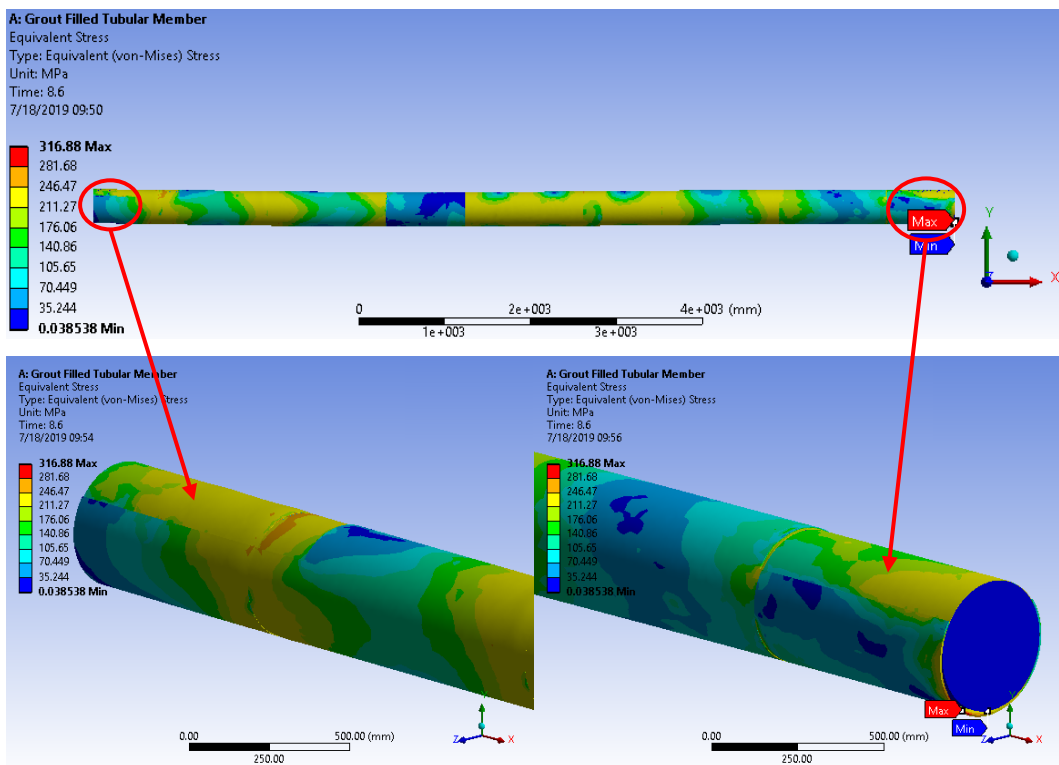
Setelah *meshing*, dilanjutkan dengan *boundary condition* dan pembebanan. Defleksi *joint* pada analisis ini menjadi *boundary condition* sekaligus

pembebanan. Besar defleksi tiap joint disesuaikan dengan analisis *pushover* arah 45° . Berikut *boundary condition* pada *grout filled horizontal brace* A1-A2.



Gambar 4. 23. *Boundary Condition Grouted Horizontal Brace A1-A2*

Defleksi *joint* pada model *finite element* ditingkatkan secara bertadap (*increment*) sampai batas *ultimate strength*. Berikut ini distribusi tegangan *grouted horizontal brace* A1-A2 ketika mencapai *ultimate strength*nya.

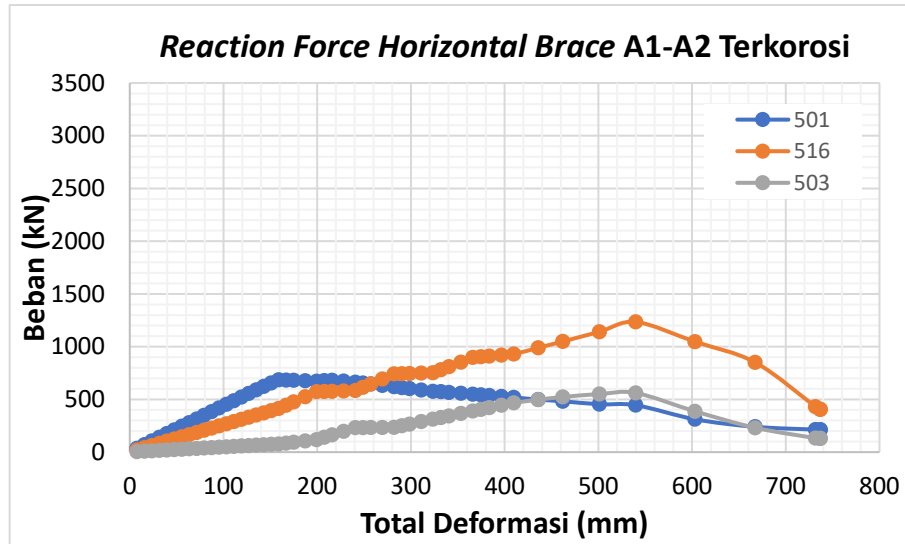


Gambar 4. 24. *Distribusi Tegangan Grouted Horizontal Brace A1-A2*

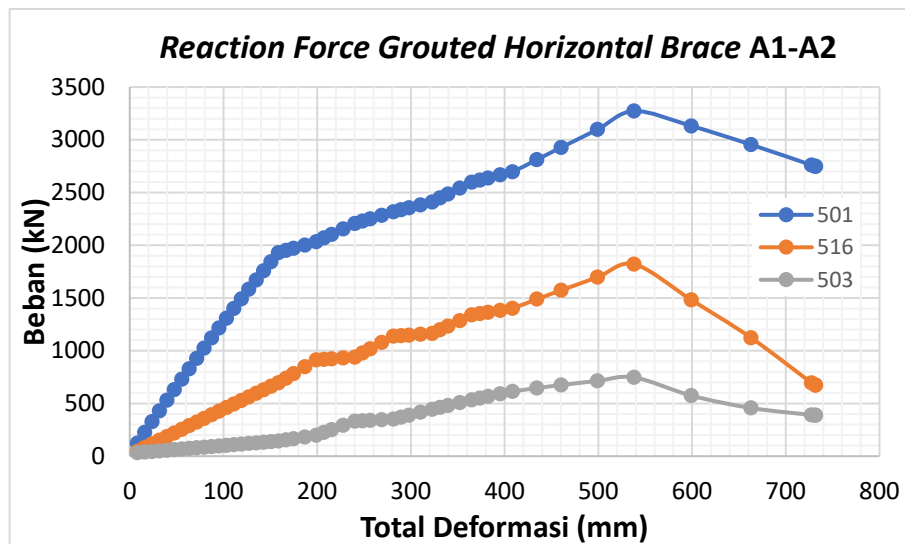
4.1.6.3. Kapasitas Beban Maksimum *Horizontal Brace* A1-A2

Output reaction force digunakan untuk mengetahui kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 sebelum dan sesudah *grouting*. *Reaction*

force pada joint 501, 516, dan 503 diasumsikan sebagai beban-beban yang terjadi pada *horizontal brace*. Joint 501, 516, dan 503 pada model global merupakan tumpuan karena terhubung dengan *jacket leg* atau *brace* penyangga. Berikut beban-beban yang terjadi pada joint 501, 516, dan 503 *horizontal brace* A1-A2 terkorosi dan setelah *digrouting*.

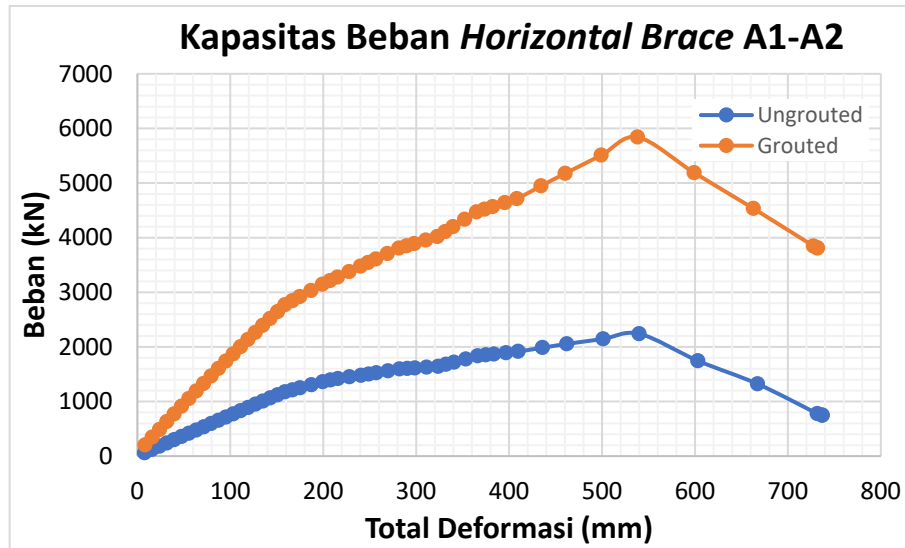


Gambar 4. 25. Reaction Force Joint Horizontal Brace A1-A2 Terkorosi



Gambar 4. 26. Reaction Force Joint Grouted Horizontal Brace A1-A2

Sehingga perbandingan kapasitas beban maksimum total pada *horizontal brace* A1-A2 terkorosi dengan *horizontal brace* A1-A2 yang telah *digrouting* adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 27. Perbandingan Kapasitas Beban *Horizontal Brace* A1-A2

Berdasarkan hasil analisis lokal *ultimate strength* pada *horizontal brace* A1-A2 terkorosi maka diketahui kapasitas beban maksimumnya sebesar 2240.20 kN (503.61 kips). Kemudian kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 setelah *digROUTING* sebesar 5839.88 kN (1312.85 kips). Berdasarkan hasil analisis lokal *ultimate strength*, perbaikan dengan metode *grout filling* dapat meningkatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 terkorosi sebesar 2.6 kali. Namun, perlu ditinjau kembali pengaruh penambahan *grout filling* terhadap kekuatan dan umur kelelahan struktur secara global.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis lokal *ultimate strength horizontal brace* A1-A2 menggunakan model *finite element* dapat disimpulkan bahwa :

1. Kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 terkorosi sebesar 2240.20 kN (503.61 kips).
2. Kapasitas beban maksimum pada *horizontal brace* A1-A2 terkorosi yang diperbaiki dengan metode *grout filling* sebesar 5839.88 kN (1312.85 kips).
3. Perbaikan dengan metode *grout filling* dapat meningkatkan kapasitas beban maksimum *horizontal brace* A1-A2 terkorosi sebesar 2.6 kali.

Hasil penelitian menunjukkan *grout filling* dapat meningkatkan kekuatan pada *horizontal brace* A1-A2. Namun, perlu ditinjau kembali pengaruhnya terhadap kekuatan dan umur kelelahan struktur secara global.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah disebutkan sebelumnya, penulis menyarankan untuk penelitian selanjutnya :

1. Perlu dilakukan eksperimen *tubular member* terkorosi terisi material *grout* untuk validasi model *finite element*.
2. Perlu ditinjau pengaruh *grout filling* terhadap kekuatan struktur secara global.
3. Perlu memperhitungkan umur kelelahan *tubular member* terkorosi yang diperbaiki *grout filling*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2007). *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design*. API Recommended Practice 2A-WSD. Washington, D.C.: API Publishing Services.
- Chakrabarti, S. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Oxford, United Kingdom: Elsevier.
- Chandler, K. A. (1985). *Marine and Offshore Corrosion*. London: Butterworth & Co (Publishers) Ltd.
- Five Star Products, Inc. (2019, Juli 15). *pilejacket-epoxylpl*. Diambil kembali dari fivestarproducts: <https://www.fivestarproducts.com/pilejacket-epoxylpl.html>
- FoundOcean Inc. (2019, Juli 15). *grout-filling*. Diambil kembali dari foundocean: <http://www.foundocean.com/en/what-we-do/strengthening-modification-and-repair/grout-filling/>
- Frankel, G. S., & Sridhar, N. (2008). Understanding localized corrosion. *materialstoday*, 11(10), 38-44.
- Gucuyen, E., & Erdem, R. T. (2014). Corrosion Effects on Structural Behaviour of Jacket Type Offshore Structures. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineering*, 11, 981-986.
- Hardwood, R. G., & Shuttleworth, E. P. (1988). *Grouted and Mechanical Strengthening and Repair of Tubular Steel Offshore Structures*. London: Techword Services.
- ISSC. (2018). Committee III.1 : Ultimate Strength. *Proceedings of the 20th International Ship and Offshore Structure Congress (ISSC 2018)*, (hal. 335-439).
- Kedziora, S., & Anwaar, M. O. (2018). Concrete-Filled Steel Tubular (CFTS) Columns Subjected to Eccentric Compressive Load. *Proceedings of the 15th Stability of Structures Symposium. 2060*, hal. 1-12. Zakopane: AIP Conference Proceedings. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5086135>

- Nichols, N. W., & Khan, R. (2017). Remediation and Repair of Offshore Structures. Dalam J. Carlton, P. Jukes, & Y.-S. Choo, *Encyclopedia of Maritime and Offshore Engineering* (hal. 2995-3010). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Ltd.
- Øyasæter, F. H., Aeran, A., Siriwardane, S. C., & Mikkelsen, O. (2017). Effect of corrosion on the buckling capacity of tubular. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 276, hal. 1-18. Norway: IOP Publishing Ltd.
- Popov, E. P. (1993). *Mekanika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Pratama, W. C. (2017). *Analisis Ultimate Strength Struktur Jacket Platform Berbasis Keandalan dengan Variasi Jenis Tanah*. Surabaya: Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kelautan, FTK, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sakthivel, M., Cinitha, A., Umesha, P. K., Pradeep Kumar, D., & Vikraman, R. (2015). Numerical Investigation on Remaining Capacity of Corroded Steel Tubular Members. *Proceedings of International Conference on Advances in Materials, Manufacturing and Applications* (hal. 1261-1268). Tiruchirapalli: Bonfring.
- Wang, R., & Sheno, R. A. (2019). Experimental and Numerical Study on Ultimate Strength of Steel Tubular Members with Pitting Corrosion Damage. *Marine Structures*, 64, 124-137.
- Xiong, M.-X., Xiong, D.-X., & Liew, J. R. (2017). Behaviour of steel tubular members infilled with ultra high strength concrete. *Journal of Constructional Steel Research*, 168-183.

LAMPIRAN A
MODEL & ANALISIS *INPLACE* SACS

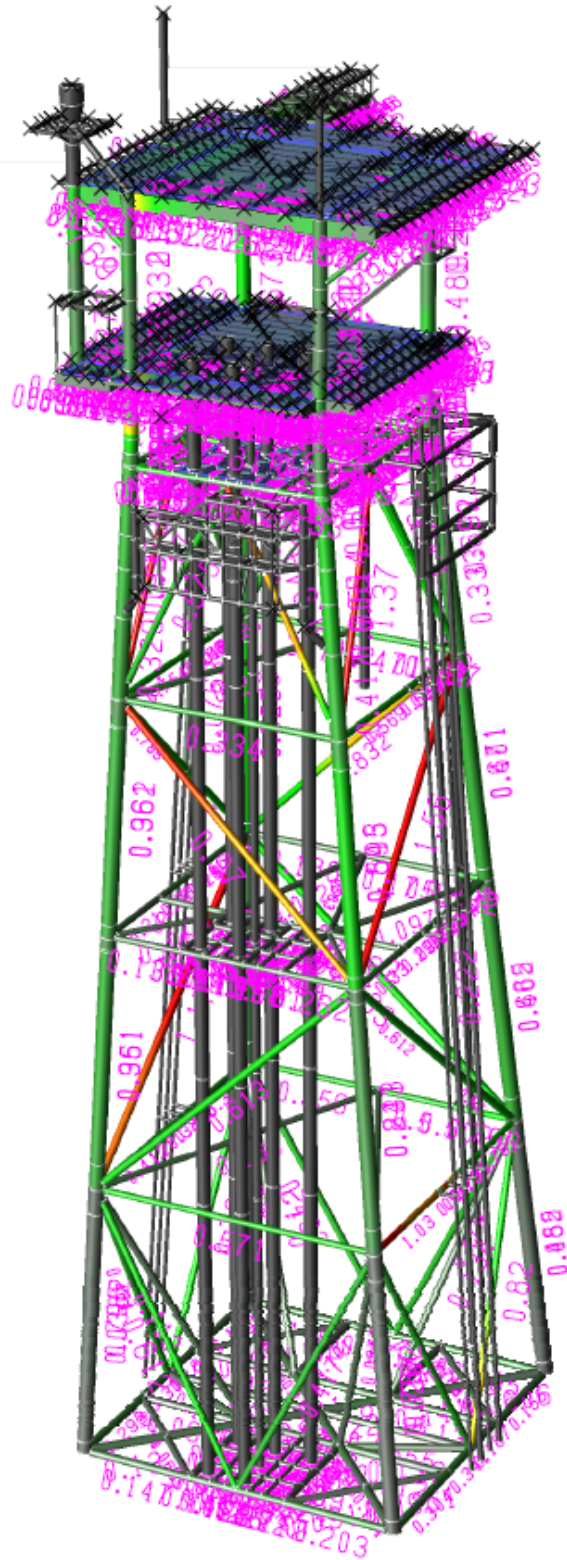
Model SACS AW Platform



Plot *Unity Check* kondisi operasi

Active Structure

Mem Result= Combined UC



Member Unity Check Range Summary kondisi operasi

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY																
GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.80 AND LESS THAN 1.00																
MEMBER	GROUP	MAXIMUM	LOAD	DIST	AXIAL	BENDING STRESS			SHEAR FORCE				SECOND-HIGHEST		THIRD-HIGHEST	
		COMBINED	COND	FROM	STRESS	Y	Z	FY	FZ	KLY/RX	KLZ/RZ	UNITY	LOAD	UNITY	LOAD	
		UNITY CK	NO.	END	KSI	KSI	KSI	KIPS	KIPS			CHECK	COND	CHECK	COND	
751-5002	BR2	0.910	101	0.0	-10.08	-11.11	0.58	-1.33	6.20	32.0	32.0	0.886	201	0.829	108	
215- 216	J21	0.940	107	3.9	-3.92	5.50	-1.45	-0.27	2.25	144.2	9.8	0.923	207	0.822	106	
216- 217	J21	0.823	107	0.0	-3.90	3.92	-1.24	0.11	-0.19	144.2	9.8	0.810	207	0.741	106	
417- 407	J41	0.982	205	7.3	1.61	-17.88	15.65	10.48	-13.90	114.2	18.1	0.921	206	0.899	105	
110- 207	JD1	0.820	107	0.0	-8.60	1.15	0.40	-0.04	-0.20	105.5	105.5	0.816	207	0.670	108	
305- 407	JD3	0.832	105	59.8	-7.22	1.66	-1.89	-0.45	0.82	110.9	110.9	0.832	205	0.587	206	
401- 303	JD3	0.970	101	0.0	-8.90	1.45	0.79	-0.15	-0.57	110.4	110.4	0.940	201	0.759	102	
403- 516	JD5	0.944	101	42.4	-9.54	3.96	-3.45	-0.42	2.30	81.3	81.3	0.827	102	0.783	201	
497- 507	JW5	0.872	201	2.0	-0.95	-19.69	-2.98	-4.35	-26.60	88.7	4.4	0.847	208	0.827	101	
477- 507	JW7	0.908	101	3.7	-4.00	-18.39	-1.42	-1.49	-9.55	10.2	10.2	0.898	102	0.869	202	
701- 751	LCL	0.807	101	3.0	-5.95	4.03	-13.79	-37.67	23.64	13.9	3.4	0.794	201	0.774	108	
202- 302	P12	0.951	106	50.1	-16.47	-0.91	0.75	1.88	-1.62	50.5	50.5	0.935	206	0.829	105	
302- 402	P13	0.961	106	0.0	-16.47	-0.91	0.75	-0.85	1.58	52.3	52.3	0.944	206	0.836	105	
402- 502	P14	0.930	106	42.1	-16.19	-1.23	0.20	0.38	-1.98	48.8	48.8	0.908	206	0.835	105	
204- 304	P32	0.843	108	29.9	-14.98	0.36	0.46	-1.86	-0.89	50.5	50.5	0.826	208	0.729	107	
304- 404	P33	0.843	108	0.0	-14.91	-0.15	-0.45	-0.01	0.39	52.3	52.3	0.826	208	0.735	107	
404- 504	P34	0.905	108	42.1	-14.64	-2.68	0.50	0.94	-2.85	48.8	48.8	0.885	208	0.804	101	
5001-5027	WC1	0.832	201	0.0	-0.79	-18.00	-0.88	1.34	53.18	31.7	25.1	0.821	101	0.794	202	
5119-5005	WC1	0.884	102	1.7	0.83	-15.92	4.70	12.76	-81.81	36.3	8.8	0.879	202	0.845	103	
5059-5060	WCX	0.984	101	0.0	1.03	18.76	1.46	-6.80	-94.76	33.2	4.3	0.979	201	0.901	108	

7001-7011	WM1	0.803	201	0.0	-0.52	-17.06	1.58	-2.14	39.27	25.4	25.1	0.796	101	0.729	208
7050-7051	WM1	0.829	103	3.0	-0.10	-19.25	-0.35	-0.56	-108.41	36.2	15.1	0.827	203	0.819	102

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.80 AND LESS THAN 1.00

MEMBER	GROUP	MAXIMUM COMBINED UNITY CK	LOAD COND NO.	DIST FROM END	AXIAL BENDING STRESS					SHEAR FORCE		SECOND-HIGHEST		THIRD-HIGHEST	
					STRESS KSI	Y KSI	Z KSI	FY KIPS	FZ KIPS	KLY/RX KLY/RX	KLZ/RZ KLZ/RZ	UNITY CHECK	LOAD COND	UNITY CHECK	LOAD COND
7111-7124	WM2	0.895	103	0.0	-4.28	14.10	-2.78	2.63	-0.11	2.2	11.2	0.894	203	0.882	107
7124-7128	WM2	0.833	103	0.0	-4.20	13.99	1.33	-1.06	-0.56	3.8	19.2	0.831	203	0.722	102
7128-7132	WM2	0.804	103	0.0	-4.17	13.77	-0.84	0.22	-4.66	3.8	19.2	0.803	203	0.701	102
7144-7147	WM2	0.927	103	0.0	4.39	16.49	0.78	0.16	-23.05	3.8	19.2	0.926	203	0.779	102
7156-7159	WM2	0.924	103	3.0	4.06	-16.10	1.53	0.71	-34.86	3.8	19.2	0.923	203	0.855	102
7159-7112	WM2	0.984	103	3.0	6.80	-12.64	-3.66	-1.52	-43.72	3.8	19.2	0.983	203	0.923	102
7052-7053	WM5	0.867	103	3.0	3.56	-14.66	0.51	3.07	-119.25	41.6	8.9	0.866	203	0.853	102

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

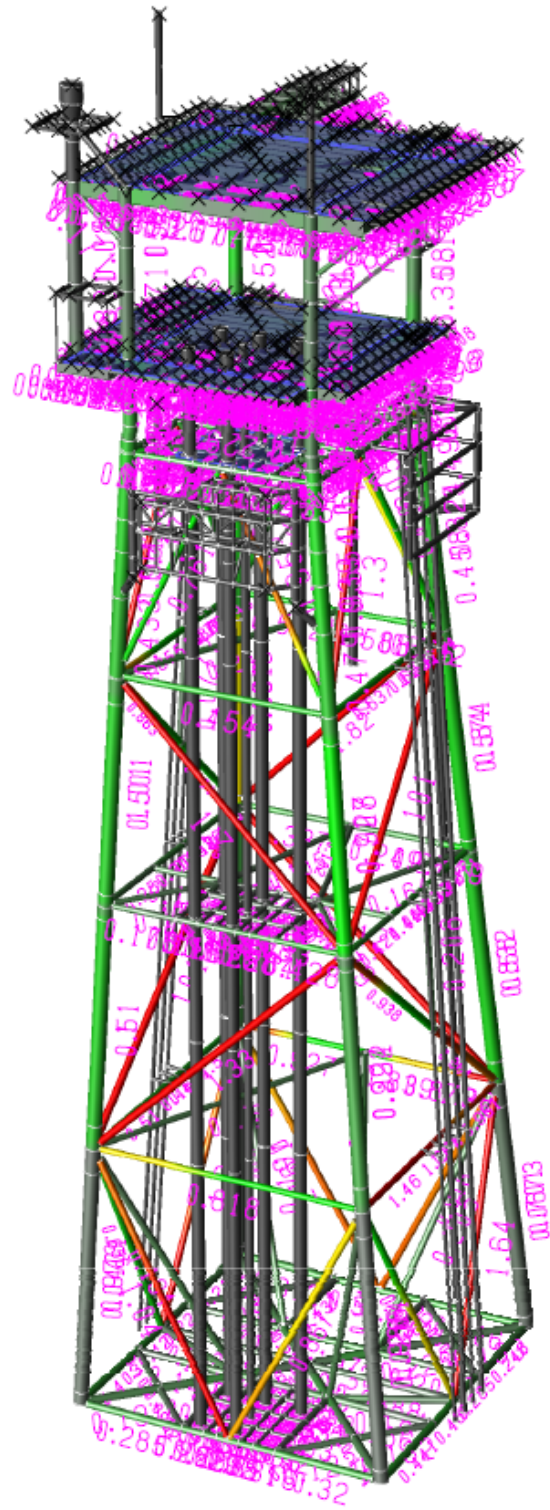
GROUP II - UNITY CHECKS GREATER THAN 1.00

MEMBER	GROUP	MAXIMUM COMBINED UNITY CK	LOAD COND NO.	DIST FROM END	AXIAL BENDING STRESS					SHEAR FORCE		SECOND-HIGHEST		THIRD-HIGHEST	
					STRESS KSI	Y KSI	Z KSI	FY KIPS	FZ KIPS	KLY/RX KLY/RX	KLZ/RZ KLZ/RZ	UNITY CHECK	LOAD COND	UNITY CHECK	LOAD COND
203- 215	J21	1.031	107	0.0	-3.94	-6.81	1.12	-0.48	1.97	143.8	59.7	1.015	207	0.916	106
201- 305	JD2	1.171	107	68.1	-9.87	1.81	-0.53	-0.12	0.87	110.7	110.7	1.156	207	0.959	108
303- 407	JD3	1.558	107	60.6	-10.86	1.33	1.02	0.22	0.44	111.8	111.8	1.418	207	1.114	106
401- 509	JD4	1.172	107	26.2	-12.81	-4.42	-0.59	-0.46	-0.07	79.4	79.4	1.172	108	1.088	208
403- 510	JD4	1.374	107	26.2	-14.62	-4.64	0.23	0.22	-0.11	79.4	79.4	1.231	108	1.197	207
5062-5001	WCX	1.163	201	1.1	2.47	-21.26	-1.40	-5.42	-110.21	33.3	3.5	1.160	101	1.099	108
7053-7005	WM5	1.117	103	1.7	3.53	-19.41	1.19	8.01	-130.09	24.3	5.2	1.116	203	1.102	102

Plot Unity Check kondisi badai

Active Structure

Mem Result= Combined UC



Member Unity Check Range Summary kondisi badai

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.80 AND LESS THAN 1.00																
MEMBER	GROUP	MAXIMUM	LOAD	DIST	AXIAL	BENDING STRESS			SHEAR FORCE				SECOND-HIGHEST	THIRD-HIGHEST		
		COMBINED	COND	FROM	STRESS	Y	Z	FY	FZ	KLY/RX	KLZ/RZ	UNITY	LOAD	UNITY	LOAD	
	ID	UNITY CK	NO.	END	KSI	KSI	KSI	KIPS	KIPS			CHECK	COND	CHECK	COND	
201-	203	J21	0.818	201	0.0	-6.46	2.80	2.08	-0.36	-0.64	137.1	130.6	0.750	101	0.586	202
205-	209	J21	0.927	205	0.0	-6.06	-5.81	3.70	-1.03	1.42	137.8	65.3	0.841	105	0.669	206
209-	210	J21	0.839	205	15.2	-5.83	5.20	-0.58	-0.96	0.87	137.7	37.8	0.763	105	0.590	204
210-	211	J21	0.873	205	2.7	-5.75	6.04	-2.13	-1.45	1.74	137.5	6.6	0.790	105	0.566	206
218-	207	J21	0.961	206	19.1	-4.97	-8.09	6.96	2.54	-3.28	143.9	47.6	0.918	207	0.889	106
401-	410	J41	0.855	207	0.0	-6.79	-8.94	-0.73	0.65	2.81	114.2	59.5	0.842	208	0.836	107
410-	411	J41	0.860	208	2.7	-5.78	9.51	11.52	1.41	3.04	114.2	6.7	0.817	207	0.804	108
413-	405	J41	0.845	208	9.4	-5.18	-9.35	-14.21	-8.03	-6.93	114.3	23.3	0.789	201	0.784	108
154-	203	JD1	0.867	205	0.0	-11.66	1.78	-0.35	0.13	-0.64	107.0	107.0	0.774	105	0.566	206
155-	207	JD1	0.916	205	0.0	-11.92	2.02	0.24	-0.06	-0.68	107.6	107.6	0.815	105	0.628	204
203-	110	JD1	0.813	203	60.2	-10.42	1.86	-0.21	0.01	0.68	111.1	111.1	0.725	103	0.687	207
205-	155	JD1	0.917	201	58.3	-12.09	1.84	0.07	-0.01	0.65	107.6	107.6	0.833	101	0.628	208
251-	207	JD2	0.964	203	0.0	-10.49	2.47	-0.24	-0.14	-1.93	117.7	117.7	0.874	204	0.864	103
303-	251	JD2	0.938	203	0.0	-10.28	1.86	1.70	-0.53	-1.49	117.6	117.6	0.836	103	0.761	207
401-	351	JD3	0.863	207	0.0	17.02	-8.86	1.02	-0.20	4.21	118.7	118.7	0.842	208	0.841	107
405-	509	JD4	0.802	208	46.5	13.40	-8.01	7.41	2.63	-4.00	90.2	90.2	0.739	207	0.734	107
403-	516	JD5	0.953	101	42.4	-12.93	5.91	-3.51	-0.44	3.40	81.3	81.3	0.943	201	0.867	202
407-	478	JD6	0.805	101	27.0	-11.29	-5.59	-1.51	0.29	0.55	81.8	81.8	0.757	201	0.695	208
497-	507	JW5	0.849	201	2.0	-0.10	-27.48	-4.57	-6.77	-35.24	88.7	4.4	0.819	202	0.769	102
477-	507	JW7	0.812	202	3.7	-5.42	-21.15	-1.61	-2.34	-10.07	10.2	10.2	0.805	201	0.784	102

305-	405	L53	0.837	208	21.5	-19.51	1.24	-0.16	-0.98	0.12	45.9	45.9	0.788	108	0.622	201
102-	202	P11	0.973	206	0.0	-13.90	-5.46	9.14	-13.50	8.99	65.0	65.0	0.909	106	0.872	207

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP I - UNITY CHECKS GREATER THAN 0.80 AND LESS THAN 1.00

MEMBER	GROUP	MAXIMUM COMBINED UNITY CK	LOAD COND NO.	DIST FROM END	AXIAL STRESS KSI	BENDING STRESS			SHEAR FORCE		KLY/RX	KLZ/RZ	SECOND-HIGHEST		THIRD-HIGHEST	
						Y	Z	FY	FZ	UNITY CHECK			LOAD COND	UNITY CHECK	LOAD COND	
402-	502	P14	0.962	206	42.1	-22.01	-1.97	0.77	1.18	-3.09	48.8	48.8	0.917	106	0.831	205
502-	601	P15	0.823	206	0.0	-22.01	-1.97	0.77	3.86	28.10	2.9	2.9	0.785	106	0.715	205
104-	204	P31	0.986	208	0.0	-13.40	-6.32	-10.07	14.94	9.79	65.0	65.0	0.916	108	0.867	207
204-	304	P32	0.924	208	29.9	-21.53	0.76	1.03	-4.28	-2.39	50.5	50.5	0.881	108	0.775	201
304-	404	P33	0.927	208	0.0	-21.46	-0.50	-1.08	0.36	0.34	52.3	52.3	0.883	108	0.783	201
404-	504	P34	0.939	208	42.1	-21.19	-2.45	-0.11	0.56	-2.24	48.8	48.8	0.894	108	0.799	201
504-	603	P35	0.804	208	0.0	-21.19	-2.45	-0.11	-3.82	14.67	2.9	2.9	0.766	108	0.690	201
206-	306	P52	0.849	204	29.9	-20.10	0.65	-0.30	1.46	-2.00	51.0	51.0	0.810	104	0.720	205
306-	406	P53	0.861	204	45.5	-19.90	-1.09	0.28	-0.14	-1.21	52.7	52.7	0.821	104	0.726	205
406-	506	P54	0.853	204	42.4	-19.76	-1.57	0.08	-0.19	-1.17	49.2	49.2	0.811	104	0.691	205
208-	308	P72	0.832	202	50.5	-18.67	-2.02	-0.43	-0.97	-4.23	51.0	51.0	0.791	102	0.660	201
308-	408	P73	0.840	202	0.0	-18.67	-2.02	-0.43	0.49	3.01	52.7	52.7	0.799	102	0.666	201
408-	508	P74	0.824	202	42.4	-18.39	-2.29	-0.88	-0.96	-3.46	49.2	49.2	0.784	102	0.665	201

SACS-IV MEMBER UNITY CHECK RANGE SUMMARY

GROUP II - UNITY CHECKS GREATER THAN 1.00

MEMBER	GROUP	MAXIMUM COMBINED UNITY CK	LOAD COND NO.	DIST FROM END	AXIAL STRESS KSI	BENDING STRESS			SHEAR FORCE		KLY/RX	KLZ/RZ	SECOND-HIGHEST		THIRD-HIGHEST	
						Y	Z	FY	FZ	UNITY CHECK			LOAD COND	UNITY CHECK	LOAD COND	
203-	215	J21	1.457	207	0.0	-6.71	-9.48	0.94	-0.66	2.74	143.8	59.7	1.315	107	1.207	206
211-	207	J21	1.277	205	8.4	-5.67	-13.79	-4.45	-0.85	-10.80	137.7	20.8	1.160	105	1.075	206
215-	216	J21	1.261	207	3.9	-6.63	7.17	-2.06	-0.41	3.50	144.2	9.8	1.154	107	1.041	206

216- 217 J21	1.077	207	3.9	-6.54	5.12	-1.14	-0.01	1.50	144.2	9.8	0.999	107	0.919	206
217- 218 J21	1.004	207	3.9	-6.46	4.42	-0.16	0.14	0.37	144.1	9.8	0.933	107	0.872	206
417- 407 J41	1.036	205	7.3	1.69	-21.93	26.16	17.65	-17.00	114.2	18.1	1.004	206	0.934	105
109- 205 JD1	1.195	207	0.0	-14.37	2.37	-0.72	0.14	-0.71	105.5	105.5	1.069	107	0.854	208
110- 207 JD1	1.636	207	0.0	-15.88	2.96	0.60	-0.07	-0.82	105.5	105.5	1.335	107	1.000	208
201- 154 JD1	1.041	201	57.9	-13.01	2.27	-0.44	-0.14	0.71	107.0	107.0	0.927	101	0.684	208
201- 303 JD2	1.333	205	68.0	-13.21	3.13	1.87	0.37	1.94	110.8	110.8	1.121	105	0.790	204
201- 305 JD2	101.177	207	68.1	-16.42	3.62	-1.69	-0.41	1.88	110.7	110.7	3.601	107	1.566	208
305- 207 JD2	1.787	201	0.0	-14.06	2.96	-3.46	0.82	-1.76	111.2	111.2	1.447	101	1.118	208
303- 407 JD3	101.250	207	60.6	-16.59	4.65	2.41	0.58	2.31	111.8	111.8	101.204	107	2.200	206
305- 407 JD3	1.820	205	59.8	-13.58	4.53	-4.20	-1.05	2.48	110.9	110.9	1.499	105	1.048	206
401- 303 JD3	1.703	201	0.0	-13.92	4.34	2.08	-0.38	-2.17	110.4	110.4	1.515	101	1.166	202
401- 509 JD4	1.165	107	26.2	-16.63	-6.40	-0.28	-0.55	0.15	79.4	79.4	1.146	208	1.137	207
403- 510 JD4	1.303	107	26.2	-18.35	-6.53	-0.06	0.30	0.18	79.4	79.4	1.277	207	1.142	208
202- 302 P12	1.003	206	50.1	-22.28	-2.07	1.77	4.45	-4.21	50.5	50.5	0.958	106	0.835	205
302- 402 P13	1.014	206	0.0	-22.28	-2.07	1.77	-2.01	2.99	52.3	52.3	0.968	106	0.843	205

LAMPIRAN B
ANALISIS PUSHOVER NON-LINEAR

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 0°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIRIM1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 91 30      1.  8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WM5 WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 45°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIRIM1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 92 30      1.  8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WM5 WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 90°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIRIM1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 93 30      1.  8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WM5 WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 135°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIRIM1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 94 30      1.  8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WM5 WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 180°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIR1M1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 95 30      1.      8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WMS WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 225°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIR1M1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 96 30      1.      8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WMS WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 270°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIR1M1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 97 30      1.      8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WMS WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

```

- Input Analisis *Pushover* Arah Pembebanan 315°

```

CLPOPT      20      8 20      CN  LBJFPPJS      LR  0.100.0010.010 500.0.005
CLPRPT PIR1M1      J1SMMS
LDSEQ AAAAA      GRVT  1      1.0 98 30      1.      8.
*roof
GRPELA      CB1 WCR BRC BRR
*main deck
GRPELA      CM1 WM0 WM1 WM2 WM3 WM4 WMS WMS
*cellar deck
GRPELA      CC1 WCS WCX WC1 WC2 WC3 WC4 WC5 WC6 WC7 WC8 WCX
*walkway
GRPELA      AST WST
*boat landing
GRPELA      BL1 BL2 BL3 BL4
*bracing
GRPELA      BR1 BR2 BR3 BR4 BRC BRR
*deck leg
GRPELA      HS1 LCL LR1 LR2 LR3 LS0 LS1 LX1
*riser
GRPELA      R11 R12 R22 R31 R32 RC1
END

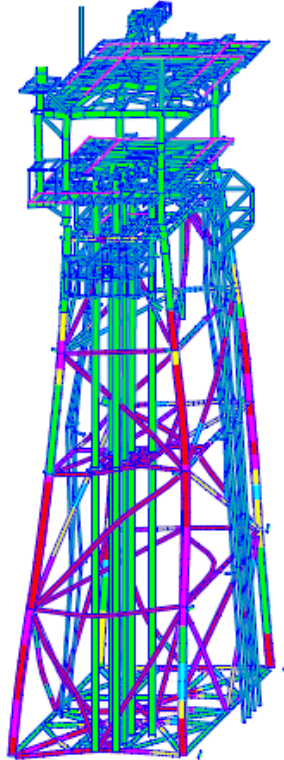
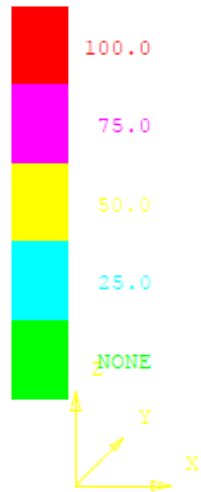
```

- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 0°

LOAD STEP 11 LOAD FACTOR 3.10 BASE SHEAR 1803.3 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 91

PLASTICITY

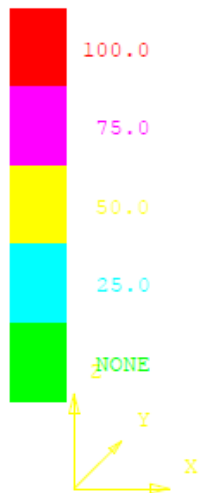


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 45°

LOAD STEP 12 LOAD FACTOR 3.33 BASE SHEAR 1910.15 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 92

PLASTICITY

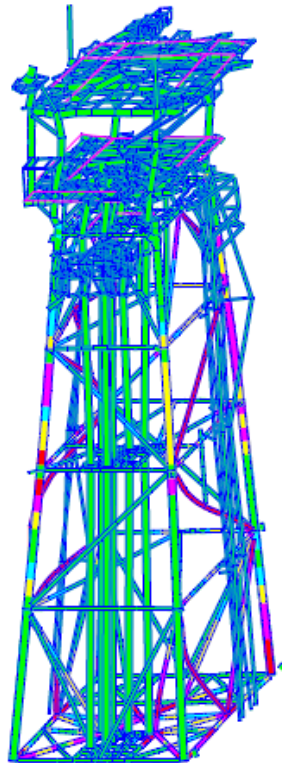


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 90°

LOAD STEP 13 LOAD FACTOR 3.57 BASE SHEAR 1969.00 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 93

PLASTICITY

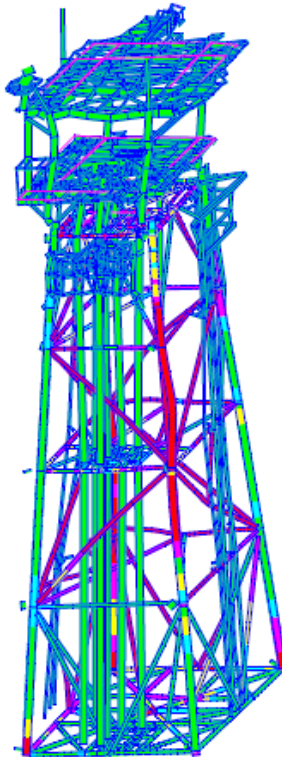
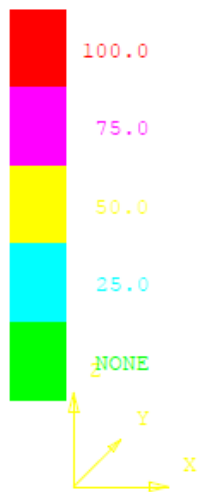


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 135°

LOAD STEP 12 LOAD FACTOR 3.33 BASE SHEAR 1920.00 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 94

PLASTICITY

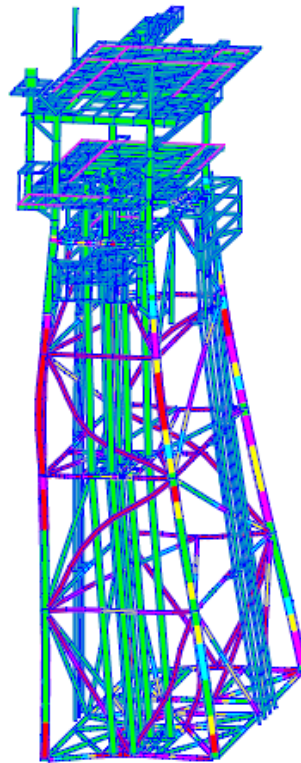
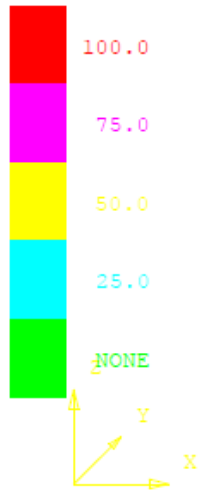


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 180°

LOAD STEP 11 LOAD FACTOR 3.10 BASE SHEAR 1772.7 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 95

PLASTICITY

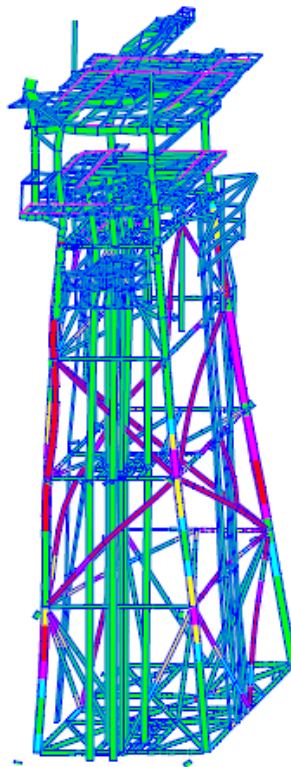
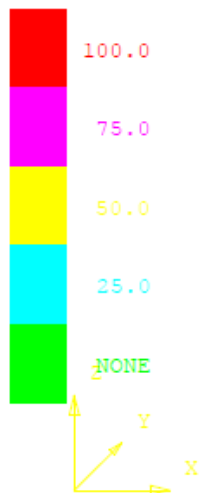


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 225°

LOAD STEP 11 LOAD FACTOR 3.10 BASE SHEAR 1742.2 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 96

PLASTICITY

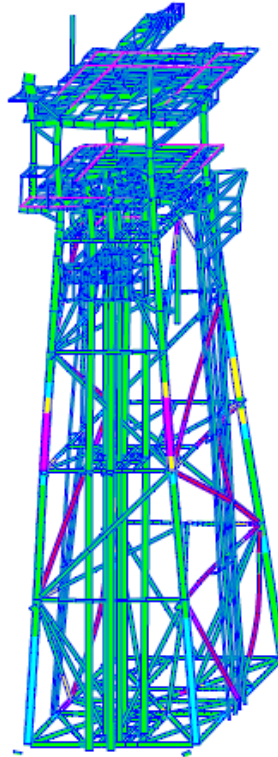
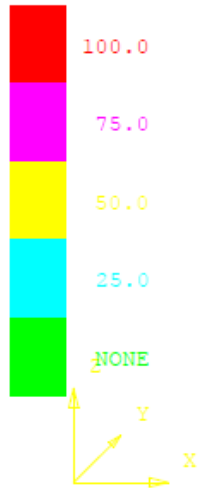


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 270°

LOAD STEP 9 LOAD FACTOR 2.63 BASE SHEAR 1441.8 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 97

PLASTICITY

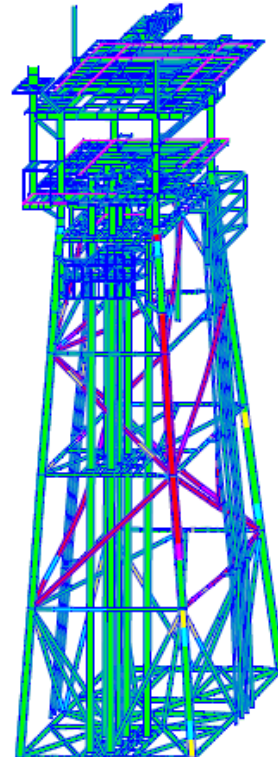
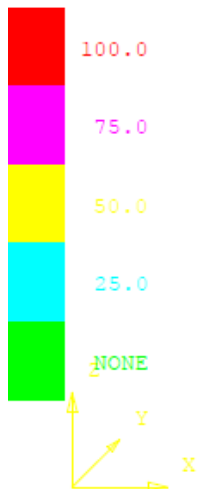


- Plot *Member Plastis* pada *Pushover* Arah 315°

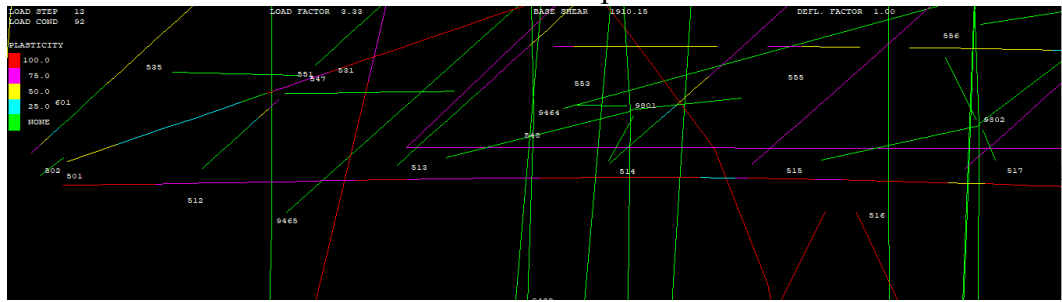
LOAD STEP 9 LOAD FACTOR 2.63 BASE SHEAR 1519.6 DEFL. FACTOR 1.00

LOAD COND 98

PLASTICITY



- Plot *Member Plastic Horizontal Brace A1-A2* pada *Pushover Arah 45°*



- Defleksi *Joint* tiap *Increment Load* pada *Pushover Arah 45°*

**** INCREMENT NO. 2 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 1.000

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	5.185	3.349	-0.027	-0.00009	0.00092	0.00046
512	5.167	3.388	-0.083	-0.00045	0.00123	0.00093
513	5.163	3.430	-0.134	-0.00097	0.00061	0.00064
514	5.158	3.463	-0.143	-0.00121	-0.00019	0.00046
515	5.155	3.480	-0.128	-0.00125	-0.00047	0.00030
516	5.154	3.488	-0.114	-0.00099	-0.00043	0.00023
517	5.155	3.492	-0.110	-0.00131	-0.00008	0.00011
518	5.157	3.496	-0.116	-0.00124	0.00028	0.00007
519	5.162	3.501	-0.137	-0.00077	0.00040	0.00021
520	5.163	3.516	-0.145	-0.00044	0.00011	0.00019

**** INCREMENT NO. 3 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 1.233

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	6.337	4.444	0.085	-0.00027	0.00110	0.00054
503	6.317	4.635	-0.083	-0.00039	0.00052	-0.00035
512	6.319	4.488	0.022	-0.00060	0.00136	0.00107
513	6.314	4.536	-0.034	-0.00107	0.00070	0.00075
514	6.308	4.576	-0.046	-0.00122	-0.00020	0.00056
515	6.305	4.596	-0.029	-0.00121	-0.00053	0.00035
516	6.303	4.606	-0.013	-0.00091	-0.00051	0.00026
517	6.304	4.610	-0.008	-0.00127	-0.00008	0.00010

518	6.307	4.613	-0.016	-0.00125	0.00038	0.00005
519	6.313	4.617	-0.046	-0.00081	0.00061	0.00023
520	6.314	4.635	-0.065	-0.00057	0.00032	0.00022

**** INCREMENT NO. 4 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 1.467

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	7.505	5.552	0.191	-0.00045	0.00128	0.00063
503	7.485	5.768	-0.017	-0.00057	0.00065	-0.00043
512	7.485	5.602	0.120	-0.00074	0.00149	0.00121
513	7.480	5.657	0.058	-0.00116	0.00080	0.00086
514	7.474	5.704	0.045	-0.00122	-0.00021	0.00065
515	7.470	5.727	0.063	-0.00117	-0.00060	0.00040
516	7.468	5.738	0.081	-0.00082	-0.00058	0.00029
517	7.469	5.743	0.087	-0.00123	-0.00009	0.00009
518	7.472	5.745	0.078	-0.00124	0.00048	0.00002
519	7.478	5.748	0.039	-0.00084	0.00082	0.00025
520	7.479	5.769	0.009	-0.00069	0.00052	0.00026

**** INCREMENT NO. 5 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 1.700

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	8.673	6.662	0.294	-0.00063	0.00145	0.00071
503	8.653	6.904	0.046	-0.00075	0.00078	-0.00050
512	8.653	6.718	0.216	-0.00089	0.00163	0.00136
513	8.648	6.780	0.148	-0.00125	0.00091	0.00097
514	8.640	6.833	0.132	-0.00122	-0.00022	0.00074
515	8.635	6.860	0.152	-0.00111	-0.00066	0.00045
516	8.633	6.872	0.172	-0.00073	-0.00066	0.00032
517	8.635	6.877	0.179	-0.00119	-0.00011	0.00009
518	8.638	6.879	0.169	-0.00124	0.00058	0.00000
519	8.645	6.881	0.121	-0.00088	0.00102	0.00027
520	8.647	6.905	0.081	-0.00082	0.00073	0.00030

**** INCREMENT NO. 6 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 1.933

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	9.842	7.773	0.395	-0.00081	0.00163	0.00080
503	9.823	8.042	0.106	-0.00093	0.00091	-0.00057
512	9.822	7.835	0.309	-0.00103	0.00177	0.00150
513	9.816	7.904	0.235	-0.00133	0.00101	0.00108
514	9.808	7.964	0.217	-0.00121	-0.00023	0.00084
515	9.802	7.994	0.238	-0.00105	-0.00073	0.00050
516	9.800	8.008	0.260	-0.00063	-0.00074	0.00036
517	9.802	8.013	0.269	-0.00114	-0.00012	0.00009
518	9.806	8.014	0.257	-0.00122	0.00068	-0.00002
519	9.813	8.016	0.200	-0.00090	0.00122	0.00030
520	9.815	8.043	0.149	-0.00094	0.00094	0.00034

**** INCREMENT NO. 7 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 2.167

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	11.036	8.910	0.483	-0.00099	0.00182	0.00089
503	11.016	9.206	0.153	-0.00111	0.00104	-0.00065
512	11.014	8.978	0.388	-0.00117	0.00194	0.00165
513	11.008	9.054	0.307	-0.00141	0.00113	0.00120
514	10.999	9.121	0.286	-0.00119	-0.00024	0.00093
515	10.993	9.155	0.309	-0.00098	-0.00080	0.00055
516	10.990	9.169	0.333	-0.00051	-0.00083	0.00040
517	10.992	9.176	0.343	-0.00107	-0.00015	0.00009
518	10.996	9.176	0.330	-0.00120	0.00076	-0.00004
519	11.004	9.177	0.265	-0.00092	0.00142	0.00033
520	11.006	9.207	0.205	-0.00105	0.00114	0.00039

**** INCREMENT NO. 8 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 2.400

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z

	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	12.263	10.071	0.577	-0.00116	0.00200	0.00097
503	12.244	10.400	0.206	-0.00128	0.00118	-0.00072
512	12.240	10.146	0.474	-0.00131	0.00210	0.00182
513	12.235	10.229	0.385	-0.00150	0.00125	0.00133
514	12.224	10.305	0.361	-0.00120	-0.00024	0.00104
515	12.218	10.342	0.385	-0.00093	-0.00087	0.00062
516	12.215	10.359	0.412	-0.00042	-0.00092	0.00045
517	12.217	10.366	0.423	-0.00103	-0.00018	0.00010
518	12.221	10.366	0.409	-0.00119	0.00084	-0.00006
519	12.230	10.367	0.337	-0.00095	0.00161	0.00037
520	12.232	10.401	0.266	-0.00117	0.00135	0.00044

**** INCREMENT NO. 9 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 2.633

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	15.890	13.652	0.702	-0.00227	0.00300	0.00099
503	15.871	14.002	0.145	-0.00213	0.00211	-0.00098
512	15.864	13.738	0.558	-0.00245	0.00282	0.00215
513	15.857	13.836	0.438	-0.00269	0.00188	0.00148
514	15.843	13.918	0.390	-0.00217	0.00005	0.00109
515	15.834	13.958	0.407	-0.00177	-0.00073	0.00059
516	15.830	13.974	0.431	-0.00122	-0.00082	0.00041
517	15.833	13.979	0.439	-0.00186	-0.00006	-0.00001
518	15.840	13.975	0.420	-0.00196	0.00102	-0.00023
519	15.852	13.967	0.333	-0.00157	0.00207	0.00032
520	15.855	14.005	0.239	-0.00192	0.00188	0.00050

**** INCREMENT NO. 10 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 2.867

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	24.712	22.846	0.401	-0.00498	0.00584	-0.00206
512	24.689	22.789	-0.008	-0.00396	0.01029	-0.00074
513	24.679	22.746	-0.505	-0.00240	0.00797	-0.00129

514	24.682	22.680	-0.853	0.00048	0.00321	-0.00155
515	24.684	22.627	-0.860	0.00234	-0.00309	-0.00186
516	24.684	22.578	-0.743	0.00332	-0.00585	-0.00175
517	24.687	22.521	-0.568	0.00166	-0.00686	-0.00234
518	24.697	22.428	-0.275	-0.00048	-0.00844	-0.00272
519	24.715	22.282	0.168	-0.00364	-0.00526	-0.00229
520	24.712	22.186	0.360	-0.00476	-0.00143	-0.00259

**** INCREMENT NO. 11 DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD CASE 92 ****

LOAD FACTOR 3.100

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	41.267	32.283	-0.577	-0.00888	0.00583	0.00925
503	41.251	36.090	0.543	-0.00558	0.00377	0.00504
512	41.211	32.732	-1.036	-0.00687	0.01200	0.00942
513	41.188	33.190	-1.618	-0.00360	0.00893	0.00914
514	41.187	33.691	-2.003	0.00073	0.00277	0.00903
515	41.187	34.018	-1.927	0.00383	-0.00726	0.00880
516	41.183	34.257	-1.684	0.00514	-0.01119	0.00908
517	41.184	34.493	-1.350	0.00296	-0.01292	0.00859
518	41.197	34.792	-0.795	0.00008	-0.01633	0.00829
519	41.227	35.251	0.079	-0.00432	-0.01108	0.00928
520	41.225	35.739	0.517	-0.00552	-0.00513	0.00873

**** FINAL DEFLECTIONS AND ROTATIONS FOR LOAD SEQUENCE AAAA ****

LOAD CASE 92

LOAD FACTOR 3.333

JOINT	***** DEFLECTIONS *****			***** ROTATIONS *****		
	X	Y	Z	X	Y	Z
	IN	IN	IN	RAD	RAD	RAD
501	43.003	40.778	0.368	-0.02177	-0.00166	-0.01096
503	43.205	35.045	-0.370	-0.01656	-0.00126	-0.01499
512	42.888	40.285	0.993	-0.02648	-0.02219	-0.01016
513	42.895	39.754	2.133	-0.03456	-0.01821	-0.01154
514	42.800	39.135	3.074	-0.04471	-0.01088	-0.01300
515	42.748	38.662	3.248	-0.04942	0.00205	-0.01580
516	42.742	38.249	3.049	-0.05219	0.01268	-0.01757

517	42.766	37.824	2.591	-0.04753	0.01721	-0.01676
518	42.819	37.266	1.801	-0.03873	0.02163	-0.01671
519	42.912	36.430	0.557	-0.02280	0.01880	-0.01497
520	42.998	35.749	-0.186	-0.01838	0.00967	-0.01453

LAMPIRAN C
SIMULASI MODEL *FINITE ELEMENT*

- Perhitungan Sifat *Non-Linear* Material Baja

Steel Tube Properties

Yield strength	$f_{ye} =$	374	Mpa
Ultimate strength	$f_{ue} =$	551	Mpa
Modulus elastisitas	$E_{ae} =$	202000	Mpa
yield Tensile strength	$f_{ty} =$	800	Mpa

Eccentric load

$$e_0 = 20 \text{ mm}$$

Friction Coeffisien

$$\text{Coef} = 0.25$$

Strain at the beginning of strain hardening

$$\epsilon_p = \begin{cases} 15\epsilon_y & f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ [15 - 0.018(f_y - 300)]\epsilon_y & 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_p &= 0.027772 \quad / \quad 0.021973 \\ &= 0.021973 \end{aligned}$$

Ultimate strain at ultimate strength

$$\epsilon_u = \begin{cases} 100\epsilon_y & f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ [100 - 0.15(f_y - 300)]\epsilon_y & 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_u &= 0.185149 \quad / \quad 0.164597 \\ &= 0.164597 \end{aligned}$$

Stress-Strain model of steel material

$$\sigma_s = \begin{cases} E_s \epsilon_s & 0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_y \\ f_y & \epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_p \\ f_u - (f_u - f_y) \left(\frac{\epsilon_u - \epsilon_s}{\epsilon_u - \epsilon_p} \right)^p & \epsilon_p \leq \epsilon_s \leq \epsilon_u \\ f_u & \epsilon_s \geq \epsilon_u \end{cases}$$

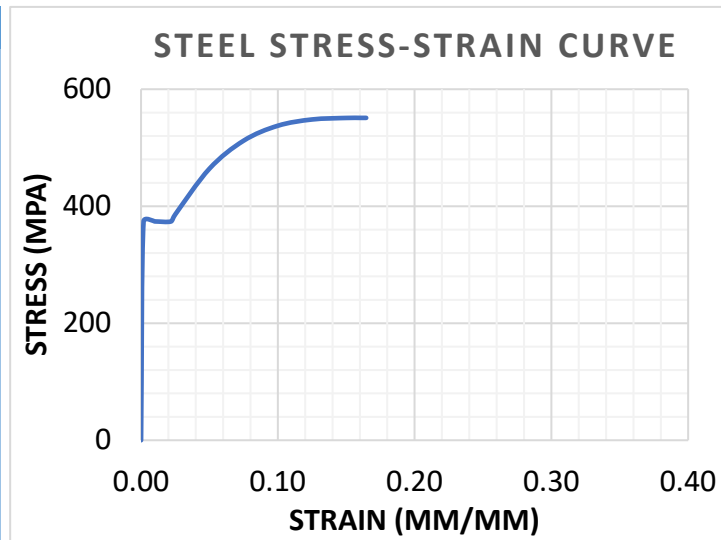
Strain-hardening exponent

$$p = E_p \left(\frac{\epsilon_u - \epsilon_p}{f_u - f_y} \right)$$

$$p = 3.25536$$

Stress-Strain Model Steel

σ_s	ϵ_s
0.000	0.000
374.000	0.002
374.000	0.010
374.000	0.022
385.937	0.025
464.173	0.050
512.031	0.075
537.566	0.100
548.269	0.125
550.894	0.150
550.998	0.160
551.000	0.165



- Perhitungan Sifat *Non-Linear Material Concrete*

Concrete Properties

Compress strength $f_{ck} = 181$ MPa

Modulus elastisitas $E_{cm} = 63200$ MPa

The strain at peak stress

$$\epsilon_{c1} = (0.7 \times f_{ck}^{0.31}) / 1000$$

$$\epsilon_{c1} = 0.003507 \quad 0/00$$

The strain at ultimate stress

$$\epsilon_u = (2.8 + 27 \times ((98 - f_{ck}) / 100)^4) / 1000$$

$$\epsilon_u = 0.015613 \quad 0/00$$

Stress-Strain model proposed by EN 1992-1-1

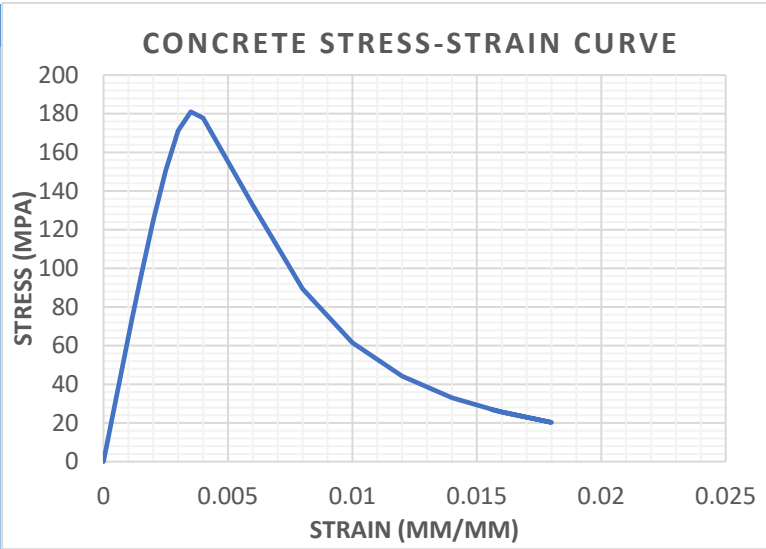
$$\sigma_c = \begin{cases} f_{ck} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} & 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_y \\ f_{ck} \frac{3\epsilon_c}{\epsilon_{c1} \left(2 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^3 \right)} & \epsilon_y \leq \epsilon_c \leq \epsilon_p \end{cases}$$

$$k = 1.05 \times E_{cm} \times \epsilon_{c1} / f_{ck}$$

$$k = 1.285897$$

Stress-Stain Model Concrete

σ_s	ϵ_s
0	0
72.40013	0.001121
95.64425	0.0015
124.6049	0.002
150.5911	0.0025
171.2689	0.003
181	0.003507
177.7804	0.004
132.5814	0.006
89.31701	0.008
61.49085	0.01
44.18053	0.012
33.04103	0.014
25.5542	0.016
20.31575	0.018
26.79212	0.015614



LAMPIRAN D
ANALISIS LOKAL *ULTIMATE STRENGTH*
HORIZONTAL BRACE A1-A2

- Perhitungan Sifat *Non-Linear* Material Baja API 5L Grade B

Steel Tube Properties

Yield strength $f_{ye} = 241.31653 \text{ Mpa}$

Ultimate strength $f_{ue} = 413.685 \text{ Mpa}$

Modulus elastisitas $E_{ae} = 199947.9 \text{ Mpa}$

Strain at the beginning of strain hardening

$$\varepsilon_p = \begin{cases} 15\varepsilon_y & f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ [15 - 0.018(f_y - 300)]\varepsilon_y & 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\varepsilon_p = 0.0181035 \quad / \quad 0.017206$$

$$= 0.0181035$$

Ultimate strain at ultimate strength

$$\varepsilon_u = \begin{cases} 100\varepsilon_y & f_y \leq 300 \text{ MPa} \\ [100 - 0.15(f_y - 300)]\varepsilon_y & 300 \text{ MPa} \leq f_y \leq 800 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\varepsilon_u = 0.1206897 \quad / \quad 0.131313$$

$$= 0.1206897$$

Stress-Strain model of steel material

$$\sigma_s = \begin{cases} E_s \varepsilon_s & 0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \\ f_y & \varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_p \\ f_u - (f_u - f_y) \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_s}{\varepsilon_u - \varepsilon_p} \right)^p & \varepsilon_p \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_u \\ f_u & \varepsilon_s \geq \varepsilon_u \end{cases}$$

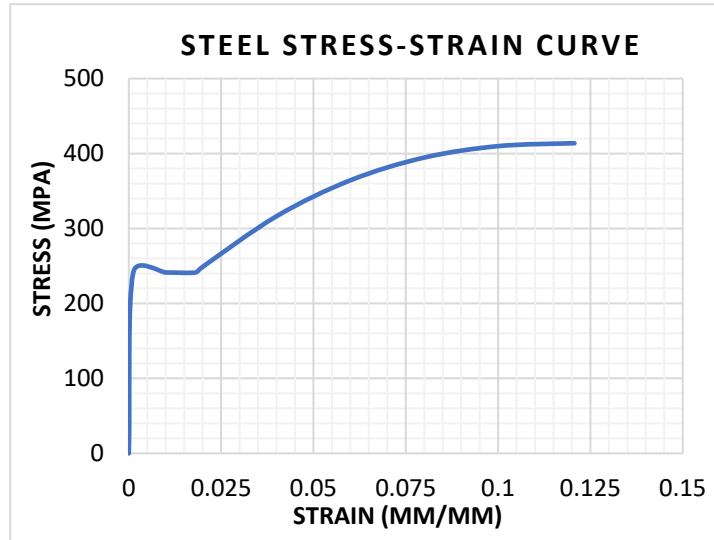
Strain-hardening exponent

$$p = E_p \left(\frac{\varepsilon_u - \varepsilon_p}{f_u - f_y} \right)$$

$$p = 2.3800067$$

Stress-Strain Model Steel

σ_s	ϵ_s
0	0
241.31653	0.001207
241.31653	0.015
241.31653	0.018103
267.62723	0.025
342.64021	0.05
388.5412	0.075
409.86946	0.1
411.70974	0.105
412.8925	0.11
413.50833	0.115
413.685	0.12069



- Perhitungan Sifat *Non-Linear* Material Grout

Grout Filling Properties

Compress strength $f_{ck} = 181$ MPa

Modulus elastisitas $E_{cm} = 63200$ MPa

The strain at peak stress

$$\epsilon_{c1} = (0.7 \times f_{ck}^{0.31}) / 1000$$

$$\epsilon_{c1} = 0.003507 \quad 0/00$$

The strain at ultimate stress

$$\epsilon_u = (2.8 + 27 \times ((98 - f_{ck}) / 100)^4) / 1000$$

$$\epsilon_u = 0.015613 \quad 0/00$$

Stress-Strain model proposed by EN 1992-1-1

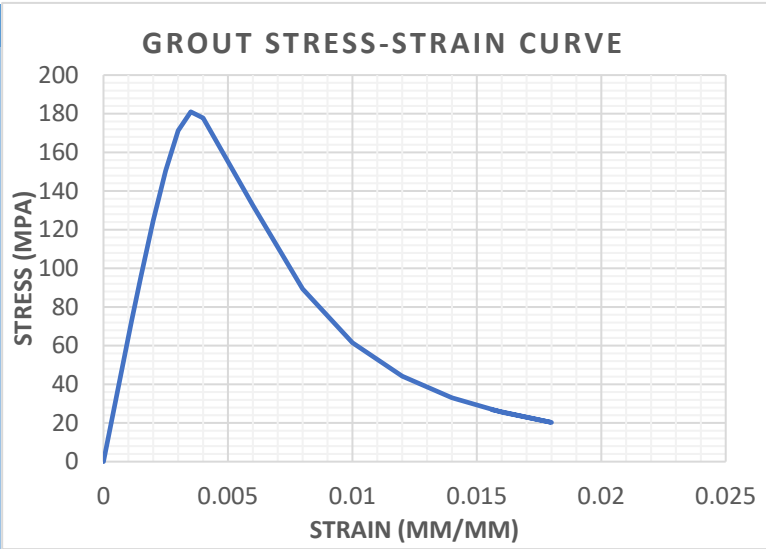
$$\sigma_c = \begin{cases} f_{ck} \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} & 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_y \\ f_{ck} \frac{3\epsilon_c}{\epsilon_{c1} \left(2 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}} \right)^3 \right)} & \epsilon_y \leq \epsilon_c \leq \epsilon_p \end{cases}$$

$$k = 1.05 \times E_{cm} \times \epsilon_{c1} / f_{ck}$$

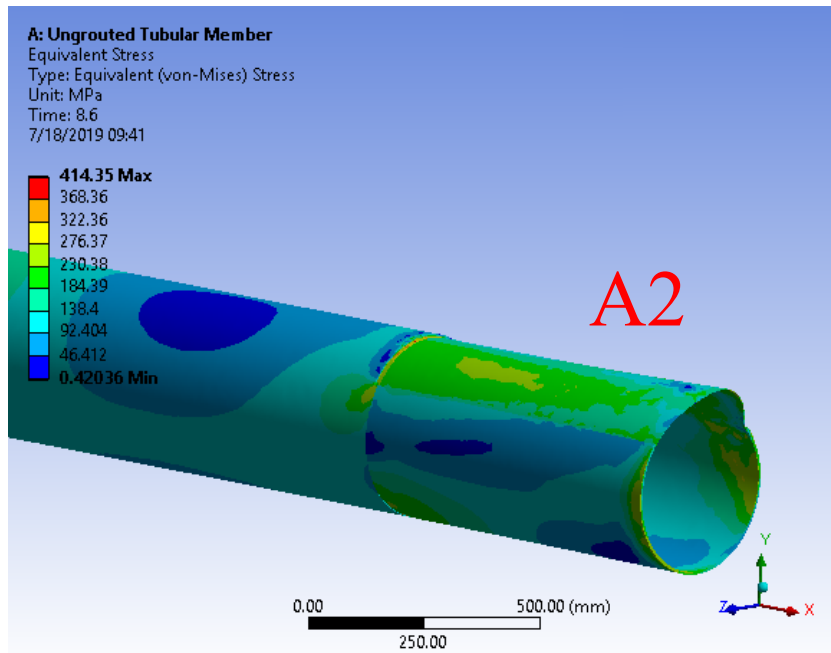
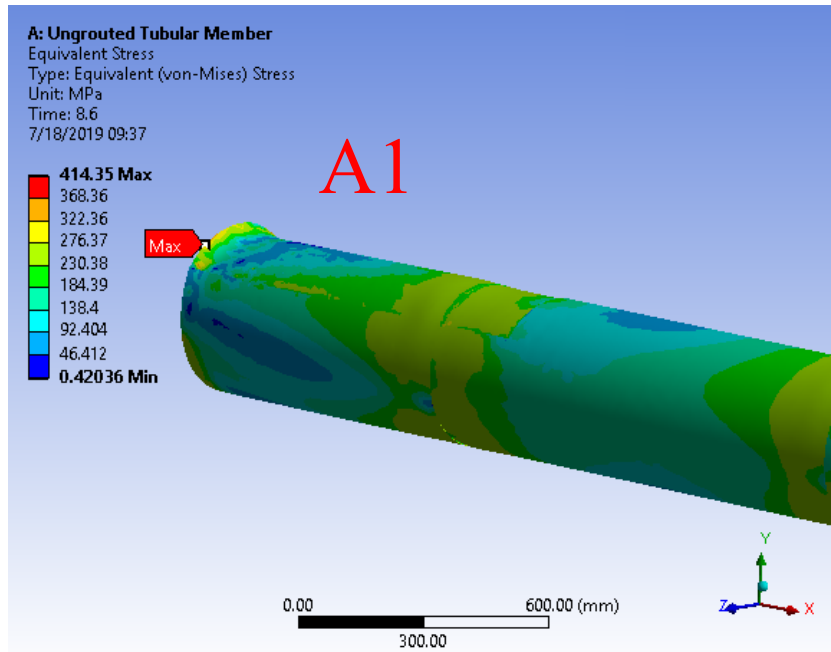
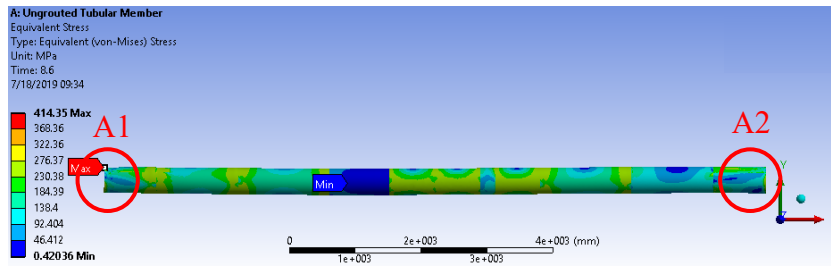
$$k = 1.285897$$

Stress-Strain Model *Grout*

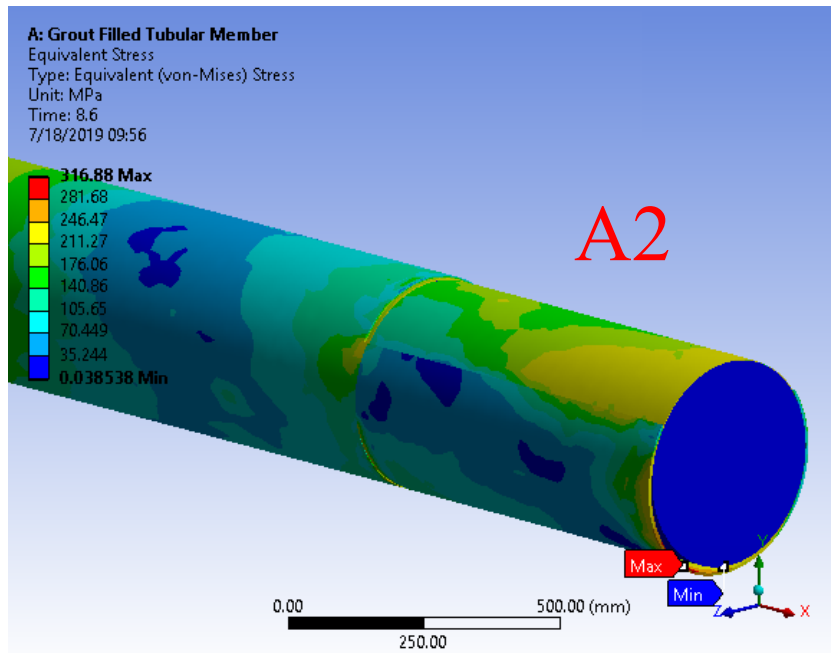
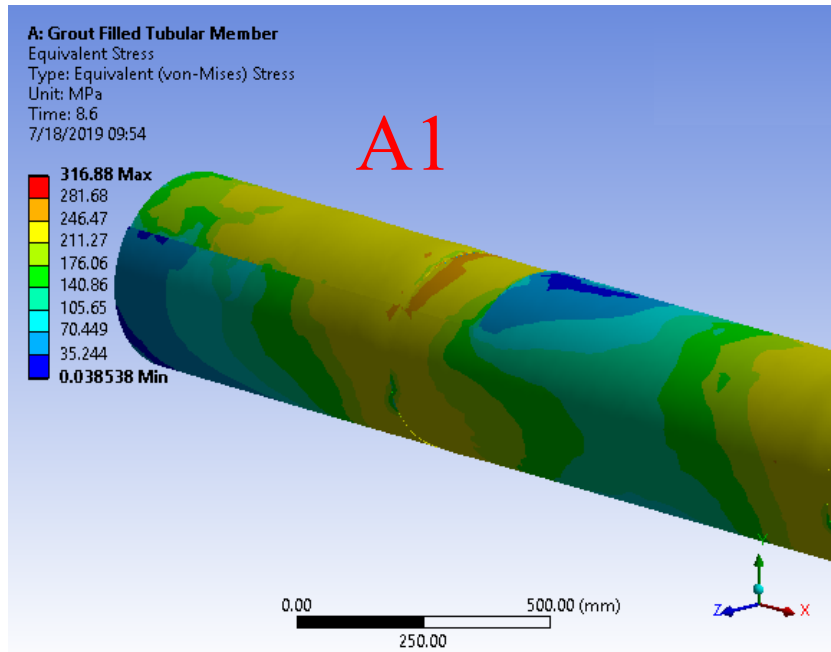
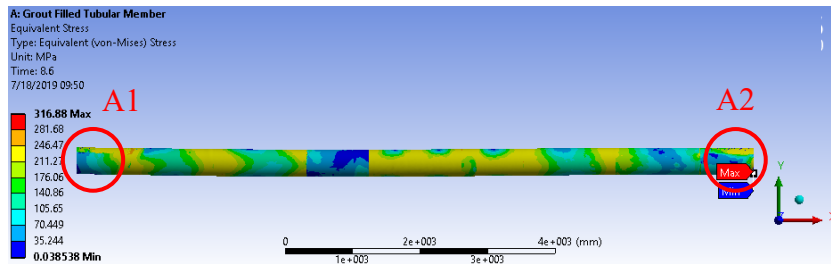
σ_s	ϵ_s
0	0
72.40013	0.001121
95.64425	0.0015
124.6049	0.002
150.5911	0.0025
171.2689	0.003
181	0.003507
177.7804	0.004
132.5814	0.006
89.31701	0.008
61.49085	0.01
44.18053	0.012
33.04103	0.014
25.5542	0.016
20.31575	0.018
26.79212	0.015614



- Distribusi tegangan *horizontal brace* A1-A2 terkorosi



- Distribusi tegangan *grouted horizontal brace A1-A2*



BIODATA PENULIS



Fadly Bosni Badarudin, lahir di kota Bogor pada tanggal 8 Februari 1997, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan di SDN Polisi 4 Bogor sampai tahun 2009. Kemudian melanjutkan pendidikan selama 3 tahun di SMPN 1 Bogor dan lulus pada tahun 2012. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 5 Bogor pada tahun 2012 sampai 2015. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan studi ke tahap S1 di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan – Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Selama masa perkuliahan penulis mengikuti kompetisi *Oil Rig Design Competition* yang diselenggarakan pada acara Oil Expo 2015, PetroWeek 2016, dan IP Week 2017. Kemudian pada kompetisi PetroWeek 2016 penulis berhasil meraih juara kedua. Penulis juga aktif mengikuti organisasi mahasiswa, sebagai ketua *Offshore Oil Rig Club (OORC)* Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan pada tahun 2018. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan seperti, OCEANO 2017, OCEANO 2018, SENTA 2018. Pada tahun 2019, penulis menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Pengaruh *Grout Filling* Terhadap Kapasitas Beban Maksimum *Horizontal Brace* Terkorosi pada *Jacket Platform*" selama 1 semester sebagai syarat kelulusan. Permasalahan yang penulis angkat merupakan salah satu bidang keahlian Departemen Teknik Kelautan yaitu Struktur Bangunan Lepas Pantai (*Offshore Structure*).

Email : fadlybosni@gmail.com