TUGAS AKHIR - MO 184804

STUDI ANALISIS DESAIN *TRUNNION* UNTUK PROSES *LIFTING JACKET* PADA SAAT PROSES FABRIKASI TAHAP *ROLL UP*

Muhammad Akbar Ridho Hilal
NRP. 043116 40000 105

Dosen Pembimbing

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

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

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2020

FINAL PROJECT - MO 184804

ANALYTICAL STUDY OF TRUNNION DESIGN FOR JACKET LIFTING PROCESS IN ROLL UP PHASE OF FABRICATION PROCESS

Muhammad Akbar Ridho Hilal

NRP. 043116 40000 105

Supervisors

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

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

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2020

STUDI ANALISIS DESAIN *TRUNNION* UNTUK PROSES *LIFTING JACKET* PADA SAAT PROSES FABRIKASI TAHAP *ROLL UP*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperolah gelar Sarjana Teknik (ST) pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD AKBAR RIDHO HILAL 04311640000105

Disetujui oleh:

1. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)

   .....

2. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 2)

   .....

3. Ir. Imam Rochani, M. Sc. (Penguji 1)

   .....

4. Dr. Dendy Satrio, S. ST (Penguji 2)

   .....

Surabaya, Agustus 2020

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

STUDI ANALISIS DESAIN *TRUNNION* UNTUK PROSES *LIFTING JACKET* PADA SAAT PROSES FABRIKASI TAHAP *ROLL UP*

Nama	: Muhammad Akbar Ridho Hilal
NRP	: 04311640000105
Departemen	: Teknik Kelautan, FTK, ITS
Dosen Pembimbing	: Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.
	Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRAK

Pembangunan bangunan lepas pantai terus dilakukan sejalan dengan ditemukannya lapangan minyak yang baru. Proses pembangunan bangunan lepas pantai itu sendiri disebut dengan fabrikasi. Salah satu tahapan kegiatan fabrikasi yaitu prosedur *roll up*. Dalam tahapan *roll up* tersebut terdapat *k*egiatan *lifting* dengan bantuan struktur *trunnion*. Pada penelitian ini, akan dilakukan studi analisis desain *trunnion* untuk proses *lifting jacket* pada saat proses fabrikasi tahap *roll up*. Berdasarkan pemodelan struktur *jacket* dengan bantuan *software* SACS 12.0 didapatkan hasil integritas struktur dengan *unitycheck* maksimum sebesar 0,95. Analisis konfigurasi *rigging* pada *crane* CR#1 sebesar 200,64 Ton menggunakan *sling* 4,0 in, *crane* CR#2 sebesar 117,39 Ton menggunakan *sling* 3,0 in, dan *crane* CR#3 sebesar 152,99 Ton menggunakan *sling* 3,5 in. Struktur *trunnion* yang digunakan berukuran diameter 762 mm pada *crane* CR#1, diameter 610 mm pada *crane* CR#2, dan diameter 660 mm pada *crane* CR#3. Masing-masing tegangan maksimum dan *unitycheck* yang terjadi pada ketiga *trunnion* sebesar 81,114 MPa dengan UC=0,53 pada *crane* CR#1, 52,687 MPa dan UC=0,34 pada *crane* CR#2, dan 75,040 MPa dan UC=0,49 pada *crane* CR#3.

Kata Kunci: *Jacket*, Konfigurasi *Rigging, Lifting, Roll Up, Trunnion*

ANALYTICAL STUDY OF TRUNNION DESIGN FOR JACKET LIFTING PROCESS IN ROLL UP PHASE OF FABRICATION PROCESS

Name	: Muhammad Akbar Ridho Hilal
NRP	: 04311640000105
Department	: Ocean Engineering, FTK, ITS
Supervisors	: Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.
	Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

The construction of offshore structures continues to be done in line with discovery of new oil fields. The process to construct of offshore structures itself is called fabrication process. One stage of fabrication activity is roll up procedure. In the stage of roll up procedure, there are lifting activities that helped by trunnion structures. In this research, analytical study of trunnion design for jacket lifting process in roll up phase of fabrication process. Based on modeling of jacket structure using SACS 12.0 software, obtained structure integrity result with maximum unitycheck of 0.95. Analysis of rigging configuration at crane CR#1 for 200.64 tonnes using 4.0 inch sling, at crane CR#2 for 117.39 tonnes using 3.0 inch sling, and at crane CR#3 for 152.99 tonnes using 3.5 inch sling. Trunnion structure that used has 762 mm diameter at crane CR#1, 610 mm diameter at crane CR#2, and 660 mm diameter at crane CR#3. The maximum stress and unitycheck value occurred on each trunnions are 81.114 MPa with UC=0.53 at crane CR#1, 52.687 MPa with UC=0.34 at crane CR#2, and 75.040 MPa with UC=0.49 at crane CR#3.

Key Words: *Jacket, Lifting, Rigging Configuration, Roll Up, Trunnion*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat, rezeki, karunia, dan bantuan-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir dengan baik dan lancar. Tugas akhir ini berjudul "Studi Analisis Desain *Trunnion* Untuk Proses *Lifting* Jacket Pada Saat Proses Fabrikasi Tahap *Roll Up*".

Tugas akhir ini disusun oleh penulis dalam rangka memenuhi syarat guna mendapatkan gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas akhir yang membahas mengenai salah satu metode *lifting* struktur *jacket* dengan bantuan struktur tambahan *trunnion* ini penulis harapkan dapat memberikan manfaat dan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang rekayasa kelautan bagi siapapun yang membaca dan mempelajarinya. Besar harapan penulis, kelak mahasiswa S-1 di Teknik Kelautan FTK-ITS mulai banyak yang mengerjakan Tugas Akhir dengan topik bahasan serupa yaitu struktur *trunnion*.

Dalam proses pengerjaan dan penulisan laporan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran/masukan kepada penulis untuk memperbaiki dan mengembangkan penulisan laporan Tugas Akhir ini pada masa yang akan datang.

Wassamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Surabaya, Juli 2020

Muhammad Akbar Ridho Hilal

UCAPAN TERIMA KASIH

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, dorongan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu sebagai bentuk rasa syukur dan apresiasi, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT., atas rahmat, rezeki, karunia, dan izin-Nya yang selalu diberikan kepada penulis.
2. Keluarga terdekat penulis yaitu ayah, ibu, dan adik tercinta yang senantiasa setiap saatnya dan tak pernah Lelah selalu mendukung penulis baik secara moril maupun materil. Berkat jasa mereka semua, penulis dapat menjadi pribadi seperti sekarang dan mampu menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D., selaku pembimbing 1 penulis, yang telah memberikan waktunya, motivasi, bimbingan, dan masukan kepada penulis. Berkat jasa beliau, penulis menjadi lebih mengerti tentang studi dalam tugas akhir ini lebih mendalam.
4. Bapak Nur Syahroni S.T., M.T., Ph.D., selaku pembimbing 2 penulis, yang telah memberikan waktunya untuk membimbing dan memberikan penulis masukan dalam proses pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir ini.
5. Prof. Ir. Mukhtasor , M.Eng., Ph.D., selaku dosen wali pembimbing, yang senantiasa membantu dan memberikan nasihat selama perkuliahan dari awal menjadi mahasiswa hingga akhirnya penulis dapat memyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Kelautan, FTK, ITS yang telah membimbing dan membagikan ilmu dan pengalamannya kepada penulis selama proses perkuliahan. Serta tidak lupa kepada segenap karyawan dan staff tata usaha yang membantu penulis selama menempuh waktu perkuliahan.
7. Nabila Defriana, sebagai orang terdekat penulis selama menyelesaikan pengerjaan tugas akhir ini dari awal hingga akhir yang senantiasa memberikan dukungan, perhatian, dan kekuatan kepada penulis.

8. Wizura Akmal Mahardika dan Tangguh Setya Ramadhan, saudara satu perantauan dalam berjuang pada dunia perkuliahan penulis mulai dari awal perkuliahan hingga satu per satu lulus “meninggalkan” penulis.
9. Teman-teman “Kura-Kura Ninja”, sebagai sahabat dan teman satu angkatan yang senantiasa berbagi dalam kebaikan nan keburukan, canda, tawa, dan kehangatan kekeluargaan di dalamnya.
10. Keluarga besar Teknik Kelautan Angkatan 2016 “ADHIWAMASTYA” P56 L34 untuk kebersamaannya selama beberapa tahun terakhir selama penulis mengenyam pendidikan di bangku perkuliahan.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK ii
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR iv
UCAPAN TERIMA KASIH v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR TABEL xii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 2
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 6
2.2.1 Jacket 6
2.2.2 Fabrikasi 8
2.2.3 *Trunnion* 10
2.2.4 *Lifting* 11
2.2.5 *Rigging Arrangement* 13
2.2.6 *Sling* 16
2.2.7 *Strongback* 17
2.2.8 Analisis Tegangan *Tubular* 18
2.2.9 Metode Elemen Hingga 24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 27
3.1 Diagram Alir Penelitian 27

3.2 Metodologi Penelitian 29
1. Studi Literatur 29
2. Pengumpulan Data Struktur dan Komponen *Lifting* 29
3. Pemodelan Struktur *Jacket* 30
4. Perhitungan Beban Struktur, Posisi CoG, *Lifting Point* dan Beban Angkat 31
5. Analisis Struktur *Jacket* Untuk Proses *Lifting* 31
6. Validasi 31
7. Analisis Konfigurasi *Rigging* 31
8. Penentuan Dimensi *Trunnion* 31
9. Analisis Kekuatan Pada *Lifting Trunnion* dengan Analisis Lokal 31
10. Pembahasan 32
11. Pengambilan Kesimpulan dan Saran 32
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 33
4.1 Pendahuluan 33
4.1.1 Studi Kasus 33
4.1.2 Pengumpulan Data 33
4.2 Pemodelan Struktur 35
4.2.1 Pemodelan Struktur *Jacket* 35
4.2.2 Pemodelan Beban Pada *Jacket* 37
4.2.3 Penentuan Titik Angkat 39
4.3 Analisis Pemodelan Struktur *Jacket* 39
4.3.1 Analisis Struktur *Jacket* Tanpa *Strongback* 39
4.3.2 Analisis Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback* 41
4.3.3 Perbandingan Hasil Analisis Struktur *Jacket* Mengunakan dan Tidak Menggunakan *Strongback* 42
4.4 Analisis Konfigurasi *Rigging* Pada Struktur *Jacket* 43
4.4.1 Perhitungan Diameter Sling dan Kapasitas Kekuatan *Sling* 44
4.4.2 Perhitungan Dimensi Panjang *Sling* Pada Tubular Kaki *Jacket* 45
4.4.3 Perhitungan Berat *Rigging* 46
4.5 Analisis Dimensi *Trunnion* Untuk *Lifting* Struktur *Jacket* 46
4.5.1 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#1 47
4.5.2 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#2 48

4.5.3 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#3 48
4.6 Analisis Dimensi *Trunnion* Untuk *Lifting* Struktur *Jacket* 49
4.6.1 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#1.....50
4.6.2 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#2.....55
4.6.3 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#3.....60
4.6.4 Hasil Rangkuman Analisis Lokal *Trunnion* 64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 66
5.1 Kesimpulan 66
5.2 Saran 67
DAFTAR PUSTAKA 68
LAMPIRAN.....71
LAMPIRAN A Perhitungan Manual Dimensi *Lifting Trunnion* 71
LAMPIRAN B SACS *Output* Pemodelan Struktur *Jacket* Tanpa Menggunakan *Strongback* 82
LAMPIRAN C SACS *Output* Pemodelan Struktur *Jacket* Dengan Menggunakan *Strongback* 90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Contoh Pemodelan Struktur *Jacket* (Pakapradana dan Hamdhan, 2015) 7
Gambar 2.2. Struktur *Jacket* (Sumber : *Jacket Platform Technology by CNPC)* 7
Gambar 2.3. (a) Struktur *Jacket Naked Bent*, (b) Struktur *Jacket Loaded Bent* 8
Gambar 2.4. Sketsa *Rigging* Saat Prosedur *Roll Up* 9
Gambar 2.5. Proses Prosedur *Roll Up* dilakukan (Sugiono, 2004).....9
Gambar 2.6. Tipe-Tipe *Trunnion* Untuk Operasi *Lifting* (Li Liang, 2004) 11
Gambar 2.7. Penggunaan *Trunnion* Saat Proses Fabrikasi (El-Reedy, 2015) 11
Gambar 2.8. Konfigurasi *Rigging* Pada Kaki *Jacket* 14
Gambar 2.9. Ilustrasi Menentukan Panjang *Sling*.....14
Gambar 2.10. Bagian-Bagian *Sling* (sumber: *Heavy-Lift Sling and Grommet Technology Course Workbook*).....16
Gambar 2.11. Contoh Struktur *Strongback* Pada Pemodelan SACS 18
Gambar 2.12. Tegangan Normal (Sumber: Popov, 1996) 18
Gambar 2.13. Tegangan Geser (Sumber: Popov, 1996) 19
Gambar 2.14. Gaya yang Bekerja Pada Tegangan Geser (Sumber: Popov, 1996) 20
Gambar 2.15. Tegangan Lentur (Sumber: Popov, 1996).....20
Gambar 2.16. Tipikal Struktur Mekanika: (a) Struktur Batang; 25
Gambar 2.17. Contoh Idealisasi Metode Elemen Hingga Pada Struktur:.....25
Gambar 2.18. Contoh Penerapan Metode Elemen Hingga Pada *Joint* Sebuah Struktur *Jacket* 26
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian 27
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (lanjutan).....28
Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian (lanjutan).....29
Gambar 3.4. Data *Drawing Jacket* (Sumber: PT. X).....30
Gambar 4.1. *Framing Jacket* Secara Horizontal.....34
Gambar 4.2. Pemodelan Struktur *Jacket Loaded Bent* Menggunakan *Software* SACS 12.0.....36
Gambar 4.3. Input Beban Anoda Pada Pemodelan.....38
Gambar 4.4. Input Beban *Mooring* Pada Pemodelan.....38

Gambar 4.5. Input Beban *Padeye* Pada Pemodelan.....38
Gambar 4.6. Penentuan Titik Angkat Pada Pemodelan Struktur *Jacket*.....39
Gambar 4.7. Hasil Analisis Permodelan Struktur *Jacket* Tanpa *Strongback*.....40
Gambar 4.8. Hasil Analisis Permodelan Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback* 41
Gambar 4.9. Sketsa Konfigurasi *Rigging* diikat Pada *Trunnion*.....43
Gambar 4.10. Sketsa Konfigurasi *Rigging* 45
Gambar 4.11. Gambar Sketsa Perencanaan *Lifting Trunnion*.....47
Gambar 4.12. Pemodelan Geometri *Trunnion* Menggunakan *Software* AutoCAD 3D.....49
Gambar 4.13. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#1.....51
Gambar 4.14. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#1 51
Gambar 4.15. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#1.....52
Gambar 4.16. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#1 53
Gambar 4.17. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#1 55
Gambar 4.18. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#155
Gambar 4.19. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#2.....56
Gambar 4.20. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#2 56
Gambar 4.21. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#2.....56
Gambar 4.22. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#2 58
Gambar 4.23. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#2 59
Gambar 4.24. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#259
Gambar 4.25. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#3.....60
Gambar 4.26. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#3 60
Gambar 4.27. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#3.....61
Gambar 4.28. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#3 62
Gambar 4.29. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#3 64
Gambar 4.30. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#364

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. *Dynamic Amplification Factors* (Sumber : DNV-OS-H205 Lifting Operations, 2014).....13
Tabel 2.2. Faktor Berat Pada Operasi *Lifting* (Sumber : DNV-OS-H205 Lifting Operations, 2014).....13
Tabel 2.3. Data MBL *Sling* PT. X 17
Tabel 2.4. *Effective Length Factor* (Sumber: DNV CN 30.1) 23
Tabel 3.1. Data Kapasitas *Sling* Milik PT. X.....30
Tabel 4.1. Data Berat Struktur Saat *Dry Condition* 34
Tabel 4.2. Data Berat Struktur Saat *Dry Condition* (lanjutan) 35
Tabel 4.3. Tabel *Tubular Member Property* 36
Tabel 4.4. Tabel *Plate Property* Pada Bagian *Mudmat* 36
Tabel 4.5. Tabel *Plate Property* Pada Bagian *Conductor Guide*.....36
Tabel 4.6. Validasi Perbandingan Berat Model dengan Berat Struktur.....37
Tabel 4.7. Hasil Input Beban Pada Pemodelan Struktur *Jacket* 39
Tabel 4.8. Hasil *Unity Check* Terbesar 40
Tabel 4.9. Berat Keseluruhan Struktur *Jacket* 40
Tabel 4.10. Koordinat Posisi *Centre of Gravity* Struktur *Jacket* 40
Tabel 4.11. Beban Angkat Dari Masing-Masing Titik Angkat 40
Tabel 4.12. Hasil *Unity Check* Terbesar Struktur Menggunakan *Strongback* 42
Tabel 4.13. Berat Keseluruhan Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback* 42
Tabel 4.14. Koordinat Posisi *Centre of Gravity* Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback* 42
Tabel 4.15. Beban Angkat Dari Masing-Masing Titik Angkat 42
Tabel 4.16. Hasil Perbandingan Analisis Dua Kondisi Struktur *Jacket* 43
Tabel 4.17. *Minimum Breaking Load* Berdasarkan Diameter *Sling* 44
Tabel 4.18. Reaksi Maksimum Hasil Analisis Pemodelan Struktur *Jacket*.....44
Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Kapasitas *Sling* 45
Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Dimensi Panjang *Sling* 46
Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Berat *Rigging* 46
Tabel 4.22. Reaksi Maksimum Pada Setiap Titik Angkat 46

Tabel 4.23. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#1 47
Tabel 4.24. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#2 48
Tabel 4.25. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#3 48
Tabel 4.26. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#3 (lanjutan) 49
Tabel 4.27. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#1 53
Tabel 4.28. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#1 54
Tabel 4.29. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#1 .54
Tabel 4.30. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#2 57
Tabel 4.31. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#2 58
Tabel 4.32. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#2 .58
Tabel 4.33. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#3 62
Tabel 4.34. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#3 63
Tabel 4.35. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#3 .63
Tabel 4.36. Perhitungan *Unity Check* Pada Masing-Masing *Trunnion* 65

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Eksplorasi serta eksploitasi minyak dan gas bumi dunia semakin gencar dilakukan seiring dengan semakin meningkatnya permintaan minyak dan gas bumi untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia. Meskipun riset dan penerapan mengenai energi alternatif turut dilakukan, tidak dapat mengurangi kegiatan eksploitasi minyak dan gas bumi dunia. Seiring berjalannya waktu, pada beberapa lapangan minyak dunia yang tersebar di beberapa negara mulai mengalami penurunan produksi. Oleh sebab itu, terus dilakukan eksplorasi lapangan minyak yang baru untuk memenuhi kebutuhan konsumsi minyak dan gas dunia. Pembangunan bangunan lepas pantai juga terus dilakukan sejalan dengan ditemukannya lapangan minyak yang baru.

Pada bangunan lepas pantai terpancang, struktur terdiri menjadi dua bagian utama yaitu struktur bagian atas atau *topside* dan struktur bagian bawah atau *jacket*. Struktur *jacket* merupakan sub-struktur berupa pipa-pipa yang terbuat dari material baja berfungsi untuk menahan gaya lateral agar dapat menjaga kestabilan konstruksi. Ukuran *jacket* dapat beragam mulai dari 3 kaki sampai dengan 16 kaki bergantung pada besar dan ukuran struktur bangunan lepas pantai yang akan dibangun. Besar atau kecilnya sebuah struktur juga bergantung kepada kedalaman laut pada titik operasi bangunan karena struktur *jacket* menjulang dari atas permukaan air laut hingga ke dasar laut.

Proses pembangunan bangunan lepas pantai itu sendiri disebut dengan proses/tahapan fabrikasi. Tahap fabrikasi merupakan tahapan paling awal pada sebuah struktur sebelum akhirnya bekerja di titik operasi. Semakin bertambahnya jumlah bangunan lepas pantai, teknologi pembangunan bangunan lepas juga kian berkembang. Pertimbangan segi ekonomis dan metode pembangunan konstruksi bangunan lepas pantai menjadi dua fokusan utama perkembangan teknologi bangunan lepas pantai di butuhkan. Salah satu metode konstruksi dalam

pembangunan struktur *jacket* adalah prosedur *roll-up*. Prosedur *roll up* merupakana salah satu tahapan fabrikasi guna membantu menghindari pekerjaan-pekerjaan yang harus dilakukan di ketinggian yang dapat menyulitkan bahkan membahayakan.

Dalam tahap prosedur *roll up,* yang menjadi kegiatan utama adalah proses *lifting*. *Lifting* merupakan proses pengangkatan sebuah struktur untuk keperluan tertentu. Pada hasil analisis lifting akan mengetahui bagaimana kondisi awal dan akhir dari struktur, *lift point*, dan kekuatan serta kondisi awal dan akhir struktur tambahan untuk proses *lifting*. Struktur tambahan yang dimaksud hanya dipakai untuk keperluan *lifting* saja seperti *lifting trunnion*. *Trunnion* merupakan sebuah struktur berbentuk tubular yang dilas pada struktur utama *jacket* guna membantu menghindari kegagalan atau *fail* pada struktur saat melakukan proses *lifting*.

Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisis *lifting* struktur *jacket* dan komponen *lifting* yaitu *lifting trunnion*. Dalam membantu pengerjaan tugas akhir ini, digunakan perangkat lunak SACS 12.0 untuk permodelan struktur utama *jacket* serta melakukan analisis lifting dan perangkat lunak ANSYS untuk melakukan analisis lokal pada *lift point* yang digunakan

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana konfigurasi *rigging* yang dapat digunakan untuk proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up*?
2. Bagaimana desain dimensi *trunnion* yang dibutuhkan agar dapat melakukan proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up?*
3. Bagaimana analisis struktur *trunnion* saat proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk menentukan konfigurasi *rigging* yang dapat digunakan untuk proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up*.

2. Untuk mendesain dimensi *trunnion* yang dibutuhkan agar dapat melakukan proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up*.
3. Untuk menganalisis struktur *trunnion* saat proses *lifting* pada *jacket* pada saat fabrikasi tahap *roll up*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam analisis proses *lifting jacket* dengan bantuan struktur tambahan *trunnion*, kriteria penentuan konfigurasi *rigging*, dan mengetahui kekuatan *trunnion* dengan analisis lokal pada *trunnion* saat proses *lifting jacket platform*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan dalam tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Struktur *jacket* yang dilakukan pemodelan dan analisis yaitu struktur *jacket loaded bent*.
2. Analisis beban yang digunakan adalah saat struktur melakukan proses *roll-up* pada derajat kemiringan 0 derajat.
3. Analisis dilakukan terbatas terhadap beban struktur itu sendiri.
4. Untuk mempertimbangkan faktor dinamis dilakukan dengan menggunakan pendekatan DAF (*Dynamic Amplification Factor*).
5. Analisis dilakukan terhadap struktur *jacket* dan pada *sling* dilakukan analisis dengan perhitungan manual.
6. *Crane* yang digunakan dianggap sebagai suatu struktur yang rigid dan mampu mengangkat beban angkat.
7. Permukaan tanah di tempat fabrikasi berlangsung diasumsikan kuat.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

1. BAB I : Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tentang dasar mengapa penilitian tersebut dilakukan, perumusan masalah yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang dapat diperoleh, serta batasan masalah yang akan membatasi ruang lingkup penelitian tugas akhir.

2. BAB II : Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

   Bab ini merupakan tinjauan pustaka serta dasar teori yang digunakan sebagai acuan atau pedoman yang mendukung penyelesaikan tugas akhir. Referensi tersebut dapat berupa jurnal lokal maupun internasional, rules atau code dan juga dapat berupa buku yang memiliki kaitan terhadap bahasan tugas akhir.

3. BAB III : Metodologi Penelitian

   Bab ini menjelaskan tentang metodologi penelitian yang berisi tentang alur pengerjaan tugas akhir yang disajikan dalam diagram alir atau flow chart agar dapat dipahami lebih mudah dan tersusun dengan sistematis.

4. BAB IV : Analisis dan Pembahasan

   Bab ini membahas data berdasarkan dasar teori yang ada yang dikerjakan sesuai alur pada diagram alir, sehingga didapatkan hasil olahan data yang menjadi inti bahasan untuk dianalisis berupa output dari penelitian tugas akhir

5. BAB V : Kesimpulan dan Saran

   Bab ini merupakan kesimpulan dari output yang telah didapatkan dan dianalisis, selain itu juga terdapat saran yang berisikan masukan untuk menyempurnakan hasil dari Tugas Akhir untuk penelitian kedepannya

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Konstruksi *jacket* merupakan konstruksi dengan material utama baja yang terbuat berbentuk pipa-pia dengan fungsi sebagai *template* atau *piling*. Struktur *jacket* berdiri mulai dari dasar laut menjulang hingga ke atas permukaan laut. Konstruksi *jacket* merupakan sebuah konstruksi *welded tubular joint* yang menjadi kaki-kaki atau penopang sebuah anjungan lepas pantai terpancang dengan fungsi sebagai bagian utama dari anjungan tersebut. Struktur *jacket* memiliki 3-16 kaki yang bergantung pada ukuran besar atau kecilnya dari platform tersebut (Soegiono, 2004).

Sebuah *jacket* akan dibangun oleh perusahaan fabrikator di darat dan kemudian akan dipindahkan ke laut tempat dimana *jacket* tersebut beroperasi. Tahapan tersebut disebut dengan tahapan fabrikasi. Dalam proses fabrikasi sebuah *jacket*, terdapat kegiatan yang tidak dapat dilepaskan dari fabrikasi *jacket* yaitu proses *lifting*. Pada kegiatan proses *lifting*, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan pada saat melakukan analisis sebelum dilakukan proses *lifting* tersebut. Salah satunya adalah cara mengkaitkan sebuah *sling* pada *jacket*. Apabila *sling* tidak bisa dikaitkan langsung pada member *jacket*, maka diperlukan sebuah struktur sementara yang berfungsi untuk membantu agar proses *lifting* dapat dilakukan.

Trunnion merupakan sebuah struktur temporer dengan fungsi utama membantu kegiatan proses *lifting*. Pada umumnya struktur *trunnion* merupakan struktur baja berbentuk pipa-pipa. Biasanya terdapat penahan yang disebut sebagai *stopper* dengan tujuan untuk menahan posisi *sling* agar tidak keluar. Pada saat operasi *lifting* berlangsung, *sling* akan dikaitkan pada *trunnion* untuk membantu mengangkat sebuah objek angkat.

Hal-hal yang akan dibahas pada tugas akhir ini masih belum banyak yang dilakukan penelitian, terutama pada analisis kekuatan struktur *trunnion* untuk

membantu kegiatan operasi *lifting*. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan seperti Novanda (2012) telah melakukan analisis *lifting* pada *topside* dengan pendekatan dinamik berbasi risiko, Simatupang (2008) dengan analisisnya tentang struktur *padeye* pada proses *lifting deck*, dan Pramita (2013) dalam analisisnya tentang kekuatan *padeye* pada proses *lifting jacket*. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas tidak ada yang membahas mengenai sebuah operasi *lifting* dengan bantuan struktur *trunnion*. Dengan demikian, berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan tersebut maka Tugas Akhir ini akan dilakukan analisis mengenai kekuatan struktur *trunnion* serta desainnya dalam membantu proses *lifting* pada sebuah struktur *jacket* saat melewati tahapan fabrikasi.

2.2 Dasar Teori

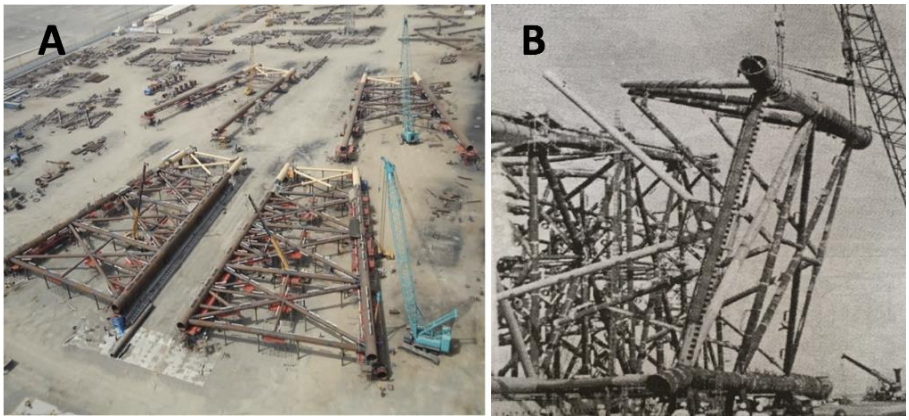
2.2.1 Jacket

Jacket atau *template* merupakan konstruksi berbahan material dasar baja dengan bentuk pipa-pipa yang berfungsi untuk menopang sebuah anjungan lepas pantai terpancang. Sebuah struktur *jacket* berdiri mulai dari dasar laut dan menjulang hingga ke atas permukaan air laut. Struktur *jacket* merupakan konstruksi *welded tubular joint* dengan fungsi sebagai kaki-kaki atau penopang dari *platform* dengan fungsi utama sebagai bagian utama dari struktur tersebut. *Jacket* memiliki jumlah kaki yang bervariasi disesuaikan berdasarkan ukuran besar dan kecilnya *platform* tersebut. Antara kaki yang satu dan lainnya dihubungkan dengan *diagonal bracing* ataupun *horizontal bracing* yang fungsinya sebagai *secondary member*. Hubungan antara kaki-kaki *jacket* dengan *tubular bracing* bisa berupa T *joint*, K *joint*, X *joint* (Soegiono. 2004).

Gambar 2.1. Contoh Pemodelan Struktur *Jacket* (Pakapradana dan Hamdhan, 2015)

Gambar 2.2. Struktur *Jacket* (Sumber : *Jacket Platform Technology by CNPC)*

Pada saat fabrikasi sebuah struktur *jacket*, biasanya *jacket* dibangun menjadi dua bagian secara terpisah yaitu struktur *jacket loaded bent* dan struktur *jacket naked bent*. Struktur *jacket naked bent* merupakan struktur *jacket* yang terdiri dari kaki *jacket* dan beberapa *bracing* yang menghubungkan satu kaki dengan kaki yang lainnya. Sementara struktur *jacket loaded bent* merupakan potongan struktur *jacket* yang didalamnya sudah terhubung dengan bagian-bagian *jacket* yang lainnya seperti *elevation deck, mudmat, riser*, dan lain sebagainya. Untuk memperjelas gambaran mengenai struktur *jacket loaded bent* dan *naked bent* dapat dilihat melalui **Gambar 2.3** di bawah ini.



Gambar 2.3. (a) Struktur *Jacket Naked Bent*, (b) Struktur *Jacket Loaded Bent*

2.2.2 Fabrikasi

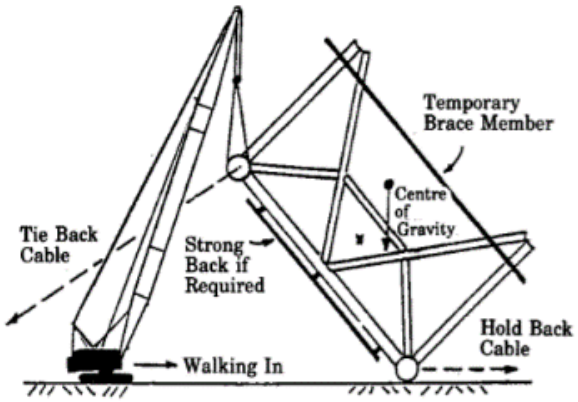
Menurut Hasni (1993) kegiatan fabrikasi merupakan tahapan paling awal dalam pembuatan anjungan lepas pantai terpancang (*jacket*) yang dikerjakan oleh pihak fabrikator. Fabrikasi untuk struktur *jacket* umumnya dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bagian seperti struktur utama *jacket*, *pile*, *boatlanding*, *riser*, dan lain-lain (Soegiono, 2004). Secara *general procedure* dan pemasangan dari fabrikasi terbagi menjadi beberapa tahapan utama yaitu :

1. *Procurement* (Pengadaan)
2. *Cut and Profile*
3. *Pre-Assembly*
4. *Assembly*
5. *Erection*

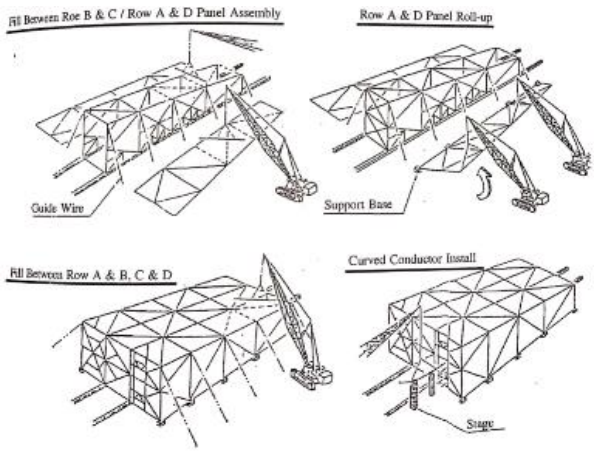
2.2.2.1 Prosedur *Roll Up Jacket*

Prosedur *roll up* pada fabrikasi merupakan proses memutarkan struktur *jacket* sampai sudut derajat kemiringan yang diinginkan. Hal tersebut dilakukan karena pada umumnya fabrikasi struktur *jacket* terbagi menjadi dua bagian terpisah. Prosedur *roll up* dilakukan untuk menyatukan struktur bagian *jacket* satu dengan yang lainnya. Tujuan utama prosedur *roll up* dilakukan adalah menghindari pekerjaan

menyatukan struktur *jacket* pada sebuah ketinggian. Sehingga pekerjaan dapat dilakukan dengan aman dan tidak berbahaya.



Gambar 2.4. Sketsa *Rigging* Saat Prosedur *Roll Up*



Gambar 2.5. Proses Prosedur *Roll Up* dilakukan (Sugiono, 2004)

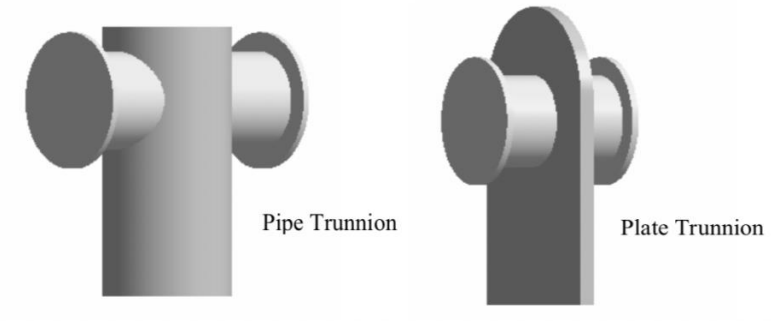
2.2.2.2 Tahapan Pelaksanaan Prosedur *Roll Up Jacket*

Tahapan pelaksaan prosedur *roll up* struktur *jacket* biasanya memiliki standar pengerjaan dan pelaksanaan yang berbeda bergantung kepada kebijakan perusahaan fabrikasi atau fabrikator. *Roll up* sendiri memiliki tujuan yang berbeda-beda sehingga tahapan yang dilakukan pun berbeda. Berikut ini tahapan prosedur *roll up jacket* yang dilakukan oleh PT. X dengan tujuan *roll up* untuk ereksi struktur *jacket loaded bent* dengan struktur *jacket naked bent*:

1. Menempatkan *roll up support* pada tempat yang telah ditentukan berdasarkan prosedur yang berlaku dan sesuai dengan hasil analisis *roll up support*.
2. Pastikan *sling* yang digunakan telah sesuai dengan diameter dan panjang yang benar.
3. Kaitkan *sling* pada struktur *trunnion* dengan benar dan pastikan sesuai dengan gambar desain prosedur.
4. Lakukan pengamanan pada area sekitar *roll up jacket* akan dilakukan dan pindahkan seluruh benda yang akan mengganggu jalannya operasi *roll up*.
5. Posisikan *crane* sesuai prosedur dan tempatkan sesuai gambar desain selama operasi *roll – up*, kemudian kaitkan *sling* dengan *crane hook* sesuai dengan gambar desain operasi.
6. Kencangkan beban *crane* dengan kenaikan stabil dari nol hingga 75% dari beban awal perhitungan.
7. Semua muatan *crane* harus diperiksa dan disesuaikan untuk memastikan bagian *jacket* di *roll - up support* tidak bergeser atau terangkat.kemudian angkat beban sampai ke beban perhitungan penuh.
8. Secara bertahap, *crane* berjalan maju dengan memastikan *sling* berada dalam keadaan tegang.
9. Lanjutkan proses *roll – up* dengan mengangkat dan perhatikan sudut struktur ketika diangkat sesuai dengan perhitungan.

2.2.3 *Trunnion*

Trunnion merupakan struktur sementara dengan fungsi utama untuk membantu operasi *lifting* pada sebuah struktur. *Trunnion* merupakan sebuah titik angkat suatu struktur pada kegiatan *lifting* yang terdiri dari *tubular* kantilever horizontal. Berdasarkan fungsinya, *trunnion* biasanya digunakan untuk memutar struktur dari horizontal ke vertikal atau sebaliknya. *Trunnion* memiliki bantalan pada bagian ujungnya untuk menahan *sling* dan memberikan ruang untuk *sling* berputar atau bekerja.



Gambar 2.6. Tipe-Tipe *Trunnion* Untuk Operasi *Lifting* (Li Liang, 2004)

Gambar 2.7. Penggunaan *Trunnion* Saat Proses Fabrikasi (El-Reedy, 2015)

2.2.4 *Lifting*

Menurut Gayuh (2016) sebuah operasi *lifting* merupakan aktivitas menaikan atau menurunkan sebuah struktur dengan menggunakan bantuan *crane*. Penggunaan *crane* pada operasi *lifting* terbagi menjadi dua kategori yaitu *heavy lifting* dan *light lifting*. Operasi *lifting* merupakan operasi yang tidak bisa dipisahkan dari kegiatan fabrikasi anjungan lepas pantai. Pada saat analisis dilakukan, beban struktur hasil analisis harus sesuai dengan beban sebenarnya karena beban tersebut akan terdistribusi terhadap jumlah titik angkat dan akan menjadi beban terhadap *sling*.

2.2.4.1. Pembebanan *Lifting*

Pembagian jenis pembebanan yang diatur dalam aturan API RP 2A-WSD (2005) menyebutkan bahwa jenis pembebanan yang harus dipertimbangkan dalam analisis *lifting* adalah sebagai berikut :

1. **Beban Statis**

   Beban statis pada beberapa sumber dapat juga disebut sebagai bobot mati merupakan berat konstruksi anjungan itu sendiri berikut perlengkapan dan peralatan yang terpasang tetap serta tidak mengalami perubahan dalam kondisi operasi anjungan yang bagaimanapun [Juswan dan Rahman, (1999)]. Namun ada kalanya untuk alasan penyederhanaan semua komponen modul tidak dimodelkan melainkan ditransformasikan menjadi input beban pada pemodelan struktur tersebut.

2. **Beban Dinamis**

   Beban dinamis pada saat operasi *lifting* merupakan beban *lifting* yang dipengaruhi oleh faktor dinamis yang disebabkan adanya perubahan lingkungan. Mengacu pada API RP 2A-WSD (2005), beban dinamis akan ditransformasikan menjadi faktor beban pada beban statis. Faktor beban akibat efek dinamis tersebut secara global dapat dihitung dengan menggunakan *dynamic amplification factor* (DAF).

2.2.4.2. Lifting Load Factor

Mengacu pada DNV-OS-H205 Lifting Operations (2014), disebutkan bahwa beban lingkungan dapat dikategorikan sebagai beban dinamis dan dapat ditransformasikan menjadi faktor beban pada beban statis. Faktor beban tersebut secara global dapat dihitung menggunakan *dynamic amplification factor* (DAF). Nilai DAF pada setiap operasi *lifting* pun berbeda-beda sesuai dengan parameter tertentu. **Tabel 2.1** berikut akan menjelaskan nilai faktor DAF pada setiap operasi *lifting*. Karena fabrikasi dilakukan di sebuah daratan, maka akan digunakan faktor *DAF Onshore*.

Tabel 2.1. *Dynamic Amplification Factors* (Sumber : DNV-OS-H205 Lifting Operations, 2014)

***Static Hook Load* (SHL)**	**DAF *Onshore***	**DAF *Inshore***	**DAF *Offshore***
100 – 300 t	1,05	1,12	1,25
300 – 1000 t	1,05	1,10	1,20
1000 – 2500 t	1,03	1,08	1,15
>2500 t	1,03	1,05	1,10

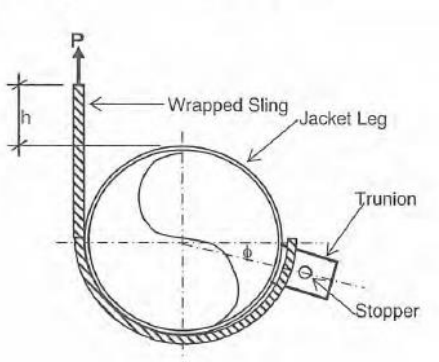
Selain DAF, dalam sebuah operasi *lifting* ada pula yang faktor berat yang turut dipertimbangkan dalam analisis *lifting*. Mengacu pada DNV-OS-H205 Lifting Operations (2014), faktor berat yang diperhitungkan dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

Tabel 2.2. Faktor Berat Pada Operasi *Lifting* (Sumber : DNV-OS-H205 Lifting Operations, 2014)

Deskripsi	**Faktor Berat**
Titik angkat yang dikaitkan pada objek angkat	1,3
Komponen *lifting* yang tidak turut serta pada analis *lifting* (*spreader bar*, *plate shackle*)	1,3
Elemen utama yang mendukung titik angkat	1,15
Elemen lain dari objek yang diangkat	1,0

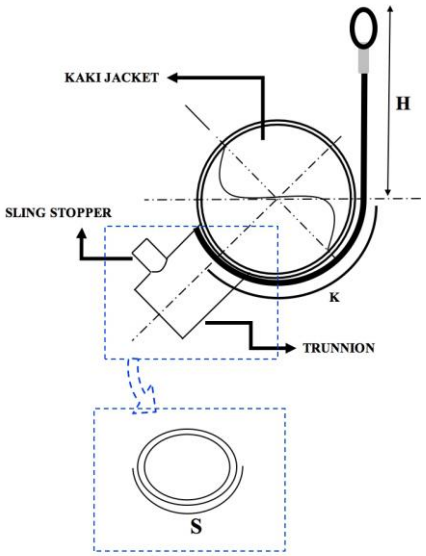
2.2.5 *Rigging Arrangement*

Rigging arrangement merupakan sebuah sistem yang melibatkan objek angkat, titik angkat, *sling*, *shackle*, dan lain lain untuk keperluan operasi *lifting*. Konfigurasi dari sebuah *rigging* akan mempengaruhi beban serta gaya yang bekerja pada komponen *rigging*. Faktor serta parameter dalam menentukan konfigurasi *rigging* ditentukan berdasarkan hasil analisis tegangan yang terjadi pada struktur.



Gambar 2.8. Konfigurasi *Rigging* Pada Kaki *Jacket*

Konfigurasi *rigging* pada umumnya akan dipengaruhi oleh panjang *sling*, lokasi titik angkat, dan sudut angkat dari *sling* terhadap objek angkat. Konfigurasi *rigging* dapat ditentukan melalui hasil perhitungan matematis untuk mendapatkan ketinggian kait diatas objek angkat, penentuan sudut angkat, dan panjang *sling*.



Gambar 2.9. Ilustrasi Menentukan Panjang *Sling*

Konfigurasi *rigging* seperti pada **Gambar 2.9** di atas merupakan operasi *lifting* yang menggunakan struktur angkat *trunnion*. Pada umumnya, *sling* telah memiliki panjang tertentu yang dikeluarkan oleh pabrik.

Perhitungan matematis dilakukan untuk mengetahui panjang minimal *sling* yang dibutuhkan untuk operasi *lifting* pada *jacket*.

Untuk mengetahui panjang *sling* yang melingkari setengah bagian dari *trunnion* dapat ditentukan dengan **Persamaan 2.1** berikut ini.

$$S = \pi \frac{D_t}{2} \quad \textbf{(2.1)}$$

Panjang juring lingkaran antara titik pusat *tubular trunnion* dan *tubular* kaki *jacket* (K) seperti pada **Gambar 2.6** di atas, dapat ditentukan dengan **Persamaan 2.2** berikut.

$$K = \frac{\theta}{360} \pi D_l \quad \textbf{(2.2)}$$

Panjang *sling* dari titik tengah *tubular* kaki *jacket* ke blok kait pada *crane* dapat ditentukan dengan **Persamaan 2.3** berikut. Ukuran tersebut juga menjadi ukuran tinggi antara objek angkat dengan blok kait pada *crane*.

$$H = \frac{[L_s - (2K + S)]}{2} \quad \textbf{(2.3)}$$

Berdasarkan panduan DNV OS-H205, setiap *sling* yang ditekuk bulat karena *shackle*, *trunnion*, atau kaki *jacket* akan mengalami sebuah reduksi. Reduksi tersebut dihasilkan karena faktor lentur (*bending*) yang terjadi pada *sling*. Faktor reduksi tersebut dapat dihitung berdasarkan **Persamaan 2.4** berikut ini.

$$Eb = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{D_t - d}} \quad \textbf{(2.4)}$$

(Sumber: DNV OS-H205, Section 4.1.5.6)

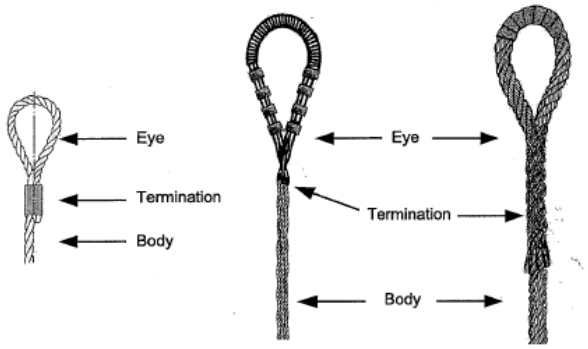
Catatan:

L_s	: Panjang *sling*	(mm)
S	: Panjang Setengah Lingkaran *Trunnion*	(mm)
θ	: Sudut	(deg)
H	: Tinggi	(mm)
D_L	: Diameter Kaki Jacket	(mm)

D_T	: Diameter *Trunnion*	(mm)
d	: Diameter Sling	(mm)
Eb	: Faktor Reduksi	

2.2.6 *Sling*

Sling merupakan sebuah tali kawat atau kabel yang dipergunakan dalam kegiatan operasi *lifting*. *Sling* menghubungan antara objek yang diangkat dengan kait pada *crane* atau pada *shackle*. Pada umumnya, *sling* terbagi menjadi tiga bagian utama yaitu *sling eye*, *termination*, dan badan *sling*. Untuk mendapatkan gambaran lebih jelas mengenai bagian-bagian utama pada *sling* dapat dilihat melalui **Gambar 2.10** berikut ini.



Gambar 2.10. Bagian-Bagian *Sling* (sumber: *Heavy-Lift Sling and Grommet Technology Course Workbook*)

Ukuran *sling* mempunyai ukuran diameter yang beragam. Berdasarkan parameter tersebut, diameter *sling* menjadi faktor utama yang menentukan kapasitas dari sebuah *sling* untuk mengangkat suatu beban. Kapasitas sebuah *sling* untuk mengangkat beban disebut dengan *Minimum Breaking Load* (MBL). Berdasarkan katalog *sling* yang dimiliki oleh PT. X, MBL yang dimiliki oleh masing-masing *sling* berdasarkan diameternya dapat dilihat melalui **Tabel 2.3** berikut ini.

Tabel 2.3. Data MBL *Sling* PT. X

Sling		
Diameter	**MBL (MT)**	**Berat (kg)**
1,25	72,5	4,3
1,5	103	6,19
1,75	139	8,44
2	180	11
2,25	224	13,9
2,5	274	17,3
2,75	333	20,8
3	389	24,7
3,25	447	29
3,5	519	33,8
3,75	585	38,7
4	665	44

Berdasarkan API 2A WSD, setiap *sling* yang bekerja untuk suatu operasi *lifting* harus memiliki faktor keamanan minimal 4. Hal tersebut berlaku untuk kegiatan fabrikasi dengan kondisi normal. Faktor keamanan atau *safety factor* didapatkan dengan membandingkan kapasitas angkat *sling* dengan beban angkat yang sebenarnya. Faktor keamanan tersebut dapat dihitung melalui **Persamaan 2.5** berikut ini.

$$SF = \frac{MBL}{Load} \geq 4 \qquad \textbf{(2.5)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 2.4.2.f)

Khusus untuk *sling* yang bekerja menekuk *tubular*, *shackle*, atau *trunnion* akan mengalami faktor reduksi. Dengan demikian, faktor keamanan untuk *sling* tersebut dapat melakukan operasi *lifting* dapat ditentukan melalui **Persamaan 2.6** berikut ini.

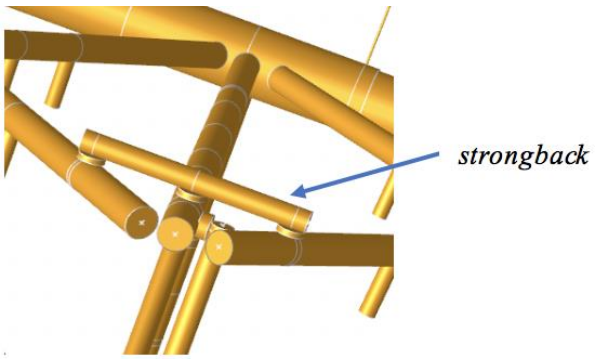
$$SF = \frac{MBL\ x\ Eb}{Load} \geq 4 \qquad \textbf{(2.6)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 2.4.2.f)

2.2.7 *Strongback*

Struktur *strongback* merupakah struktur sementara atau temprorer yang berfungsi untuk membantu tahapan fabrikasi. Bentuk dari sebuah *strongback* dapat berupa *tubular* atau *beam* tergantung bagaimana dibutuhkan

pada saat proses fabrikasi. *Strongback* digunakan untuk memberikan dukungan kepada member struktur utama. Dapat dikatakan jika *strongback* merupakan *bracing* tambahan untuk mengurangi nilai tegangan yang terjadi pada struktur utama seperti tegangan tekuk, geser, dan tegangan lain yang dapat mendeformasi struktur.

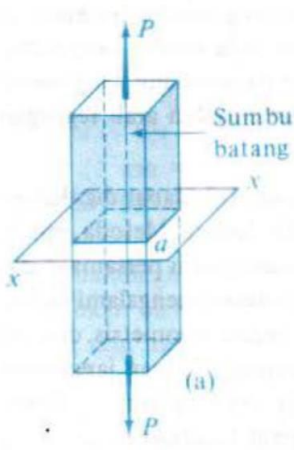


Gambar 2.11. Contoh Struktur *Strongback* Pada Pemodelan SACS

2.2.8 Analisis Tegangan *Tubular*

2.2.8.1 Tegangan Normal

Tegangan normal menurut definisinya merupakan tegangan yang berlaku tegak lurus dengan sumbu batangnya. Tegangan normal yang bekerja didistribusikan dengan merata terhadap luas penampangnya (Popov, 1996). Ilustrasi tegangan normal bekerja dapat dilihat pada **Gambar 2.12** berikut.



Gambar 2.12. Tegangan Normal (Sumber: Popov, 1996)

Garis kerja gaya aksial melalui pusat berat penampang melintang batang, dapat berupa tegangan tarik (*tensile stress*) atau tegangan tekan (*compresive stress*). Tegangan normal yang disebabkan oleh gaya aksial disimbolkan σ, dapat ditentukan dengan **Persamaa** **(2.7)** berikut.

(2.7)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(Sumber: Mechanics of Materials by E.P. Popov, Section 1-4)

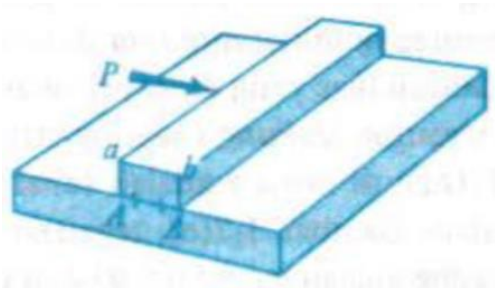
Dimana

P : Tekanan Axial, kip (kN)

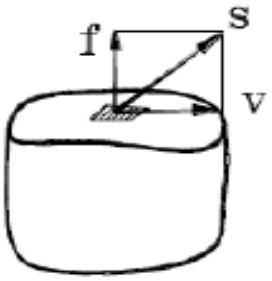
A : Area Penampang, in^2 (m^2)

2.2.8.2 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah intesitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas permukaan (Popov, 1996). Dalam kata lain, gaya-gaya yang diantarkan dari sebuah bagian benda kepada yang lainnya adalah dengan menimbulkan tegangan-tegangan dalam bidang yang sejajar dengan gaya terpakai.



Gambar 2.13. Tegangan Geser (Sumber: Popov, 1996)



Gambar 2.14. Gaya yang Bekerja Pada Tegangan Geser (Sumber: Popov, 1996)

Tegangan geser dapat ditentukan dengan **Persamaan 2.8**, dan disimbolkan Fv, untuk bagian berbentuk tabung dengan bagian lingkaran berongga.

$$Fv = \frac{V}{0.5A} \quad \textbf{(2.8)}$$

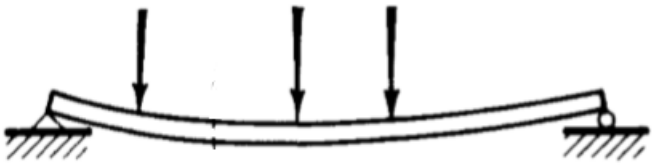
(Sumber: Mechanics of Materials by E.P. Popov, Section 1-4)

Dimana :

V : gaya geser, kip (kN)

A: luas permukaan, in^2 (m^2)

2.2.8.3 Tegangan Lentur



Gambar 2.15. Tegangan Lentur (Sumber: Popov, 1996)

Tegangan lentur bekerja secara tegak lurus terhadap penampang melintang dan berada dalam arah longitudinal dari balok (Afandi, 2017). Gaya yang bekerja pada jarak tetentu dari tumpuan benda dengan arah kerja tegak lurus sumbu benda menyebabkan benda melentur

(2.9)

atau melengkung di sepanjang sumbuhnya. Tegangan lentur, fb, dapat ditentukan dengan **Persamaan 2.9** berikut ini.

$$f_b = \frac{M.y}{I} = \frac{R}{S}$$

(Sumber: Mechanics of Materials by E.P. Popov, Section 5-4)

Dimana

M : momen lentur, kip-in. (kN m)

y : jarak vertikal dari sumbu netral (m)

I : momen inersia, in^4 (m^4)

S : modulus bagian, in^3 (in^3)

2.2.8.4 Tegangan Ijin

Bagian struktur yang menerima beban kompresi dan beban tekuk harus memenuhi kriteria kekuatan dan kriteria stabilitas. Apabila total tegangan pada setiap bagian konstruksi melebihi tegangan ijin maka kegagalan dari struktur akan terjadi (Murdjito, 1998).

Tegangan ijin untuk member silinder (API RP2A WSD, 21stedition):

A. Tegangan Aksial

Tegangan izin aksial dirumuskan dengan **Persamaan 2.10**, berikut ini :

$$\text{Fa} = 0.6 \times \text{Fy} \qquad \textbf{(2.10)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.2.1)

Dimana:

Fa = Tegangan izin aksial tekan (N/mm^2)

Fy = Tegangan luluh bahan (N/mm^2)

B. Kolom *Buckling*

Kolom *buckling* merupakan suatu kondisi dimana struktur tidak mampu untuk mempertahankan bentuk aslinya (Murdjito, 1998). Untuk rasio D/t≤60, tegangan tekan yang diizinkan harus ditentukan dengan **Persamaan 2.11**, **Persamaan 2.12** dan **Persamaan 2.13** sebagai berikut:

$$F_a = \frac{\left[1-\frac{(KL/r)}{2C_c^2}\right]Fy}{\frac{5}{3}+\frac{3(KL/r)}{8C_c}-\frac{(KL/r)^3}{8{C_c}^3}} \quad \text{for } KL/r < C_c \qquad \textbf{(2.11)}$$

$$F_a = F_e' = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \quad \text{for } KL/r \geq C_c \qquad \textbf{(2.12)}$$

$$C_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y}\right)^2 \qquad \textbf{(2.13)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.2.2.a)

Dimana :

E : Modulus elastisitas Young, ksi (Mpa)

K : faktor panjang efektif, tabel 2. 1

L : panjang, in. (m)

r : jari-jari girasi in. (m)

Fy : kekuatan luluh, ksi (MPa)

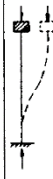
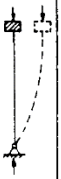
Fe' : Euler stress, ksi (MPa)

D : diameter luar, in. (m)

t : tebal dinding, in. (m)

Untuk member rasio D/t>60, dengan analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk menginvestigasi tekuk lokal anggota silinder yang tidak kaku. Dalam mendesain anggota *tubular*, faktor *K* dari member perlu dipertimbangkan dari **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4. *Effective Length Factor* (Sumber: DNV CN 30.1)

EFFECTIVE LENGTH FACTORS, K						
BUCKLED SHAPE OF COLUMN IS SHOWN BY DASHED LINE	(a)	(b)	(c) 	(d)	(e)	(f) 
THEORETICAL K VALUE	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
DESIGN VALUE OF K WHEN IDEAL CONDITIONS ARE APPROXIMATED[1]	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0
END CONDITION CODE		ROTATION FIXED ROTATION FREE ROTATION FIXED ROTATION FREE		TRANSLATION FIXED TRANSLATION FIXED TRANSLATION FREE TRANSLATION FREE		

C. Tegangan Lentur

Tegangan izin lentur dirumuskan dengan **Persamaan 2.14** sebagai berikut:

$$Fb = 0.75 \times Fy \qquad \textbf{(2.14)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.2.3)

Dimana:

Fb = Tegangan izin lentur (N/mm^2)

Fy = Tegangan luluh bahan (N/mm^2)

D. Tegangan Geser

Tegangan izin geser dirumuskan dengan **Persamaan 2.15** sebagai berikut:

$$Fv = 0.4 \times Fy \qquad \textbf{(2.15)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.2.4.a)

Dimana:

Fv = Tegangan izin geser (N/mm^2)

Fy = Tegangan luluh bahan (N/mm^2)

2.2.8.5 Tegangan Majemuk Tekan dan Tekuk Untuk Batang Silinder

Tegangan gabungan untuk member silindris dipengaruhi oleh gabungan antara kompresi dan fleksur secara proporsional harus memenuhi persyaratan berikut (API RP 2A WSD, 2002). Ketika $^{fa}/_{Fa}$> 0,15, rasio tegangan maksimum harus ditentukan dengan **Persamaan 2.16** sebagai berikut:

$$SR = \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{f_e'}\right)F_b} \leq 1 \quad \textbf{(2.16)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.3.1)

Ketika $^{fa}/_{Fa}$ ≤0.15, maksimum stress rasio dapat ditentukan dari **Persamaan 2.17** berikut:

$$SR = \frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1 \quad \textbf{(2.17)}$$

(Sumber: API 2A WSD, Section 3.3.1)

Dimana :

fa : aksial tegangan tekan, ksi (MPa)

Fa : tegangan tekan yang diijinkan, ksi (MPa)

fbx : tegangan lentur arah x, ksi (MPa)

fby : tegangan lentur arah y, ksi (MPa)

Fb : tegangan lentur yang diijinkan, ksi (MPa)

Fy : kekuatan luluh, ksi (MPa)

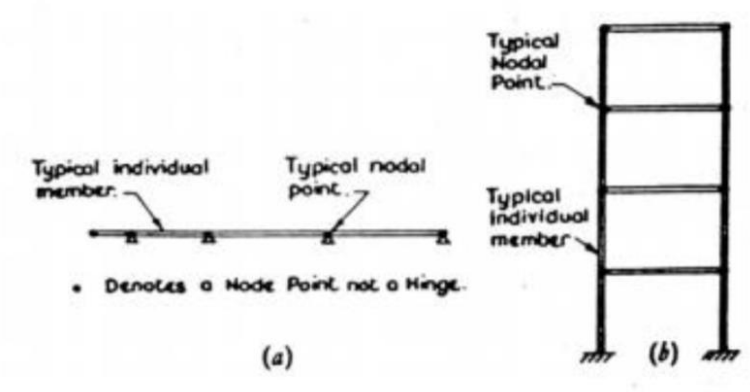
Cm : faktor reduksi

Fe' : Tegangan Euler, ksi (MPa)

2.2.9 Metode Elemen Hingga

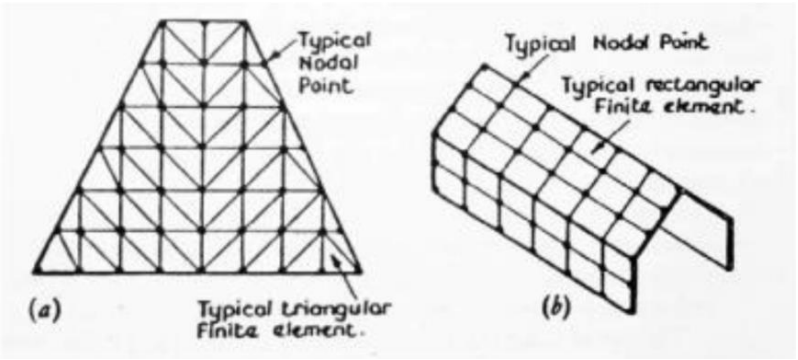
Metode elemen hingga menurut konteks fungsinya merupakan sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk mendapatkan sebuah solusi pendekatan dari sebuah permasalahan yang terjadi pada struktur.

Agar lebih mudah memahami sebuah konsep dari metode elemen hingga, akan dijelaskan melalui **Gambar 2.16** berikut yang mengambil contoh sederhana dari salah satu bentuk struktur mekanika.

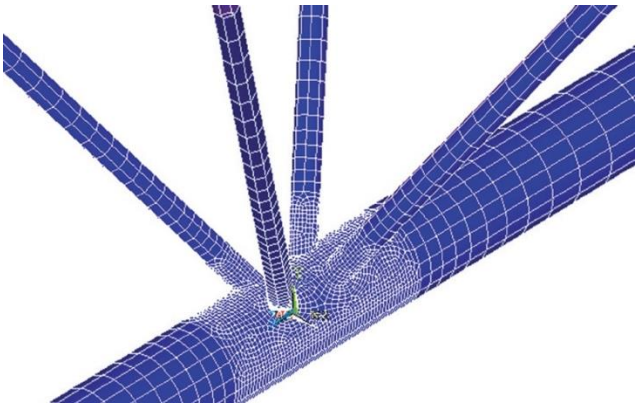


Gambar 2.16. Tipikal Struktur Mekanika: (a) Struktur Batang;
(b) Struktur Bertingkat

Seperti yang telah umum diketahui, banyak struktur mekanika terbuat dari beberapa batang yang terhubung dengan menggunakan sambungan-sambungan sehingga membentuk sebuah struktur. Setiap titik penghubung batang-batang tersebut adalah yang disebut sebagai titik nodal. Konsep pada metode elemen hingga menggunakan konsep seperti struktur tersebut dimana struktur sederhana tersebut dimana setiap struktur yang akan dilakukan analisis dibagi terlebih dahulu menjadi elemen-elemen kecil. Sebagai contoh penerapan metode elemen tak hingga, dapat dilihat melalui **Gambar 2.17** berikut ini.



Gambar 2.17. Contoh Idealisasi Metode Elemen Hingga Pada Struktur:
(a) Tembok Dam; (b) Plat Lipat



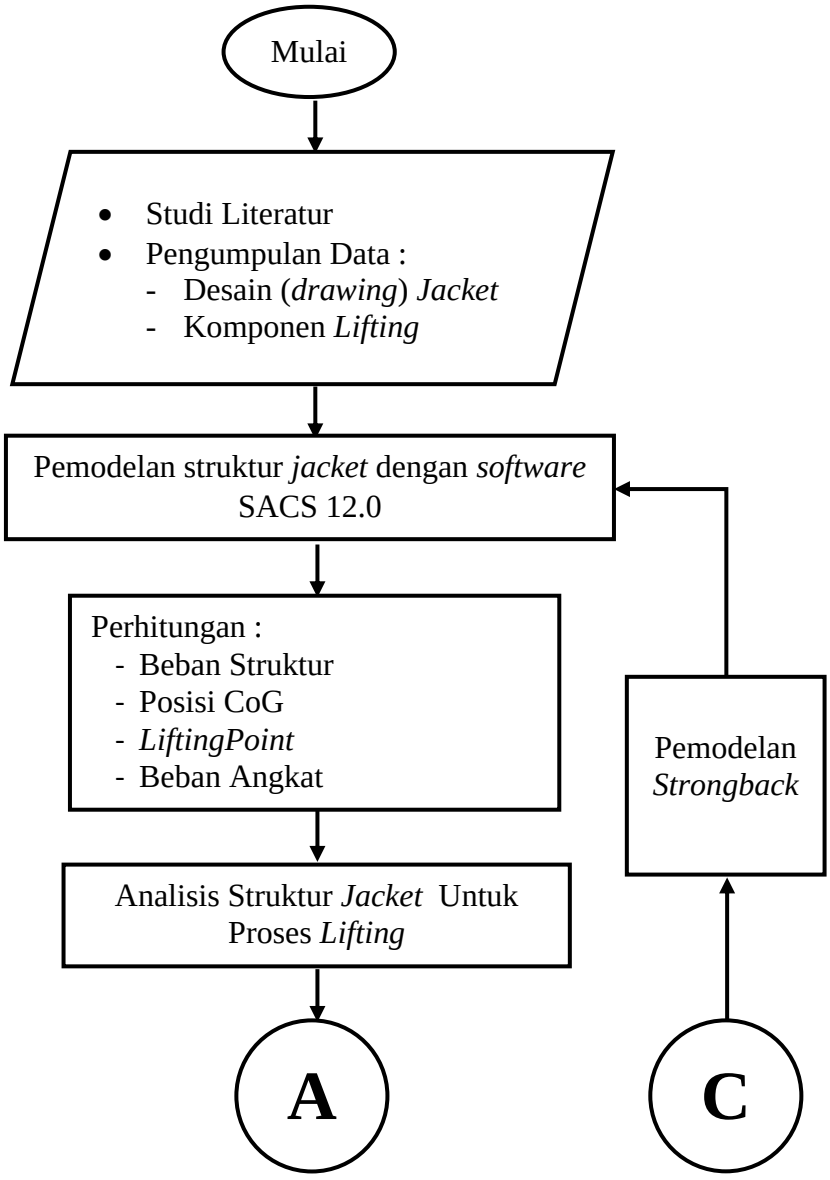
Gambar 2.18. Contoh Penerapan Metode Elemen Hingga Pada *Joint* Sebuah Struktur *Jacket*

Analisis untuk struktur tersebut dapat dilakukan dengan mengetahui terlebih dahulu bagaimana perilaku setiap elemen individual tersebut, kemudian elemen-elemen tersebut dihubungkan sedemikian rupa sehingga gaya-gaya kesetimbangannya dan kompabilitas dari perubahan posisi-posisi struktur tersebut sesuai pada setiap titik nodalnya. Analisis dapat dilakukan ketika dua kondisi tersebut telah terpenuhi. Perhitungan-perhitungan numerik diterapkan berdasarkan analisis struktur sederhana pada setiap elemen-elemen struktur tersebut. Pada perhitungan numerik yang dilakukan, digunakan metode matriks untuk menganalisis struktur secara kesinambungan.

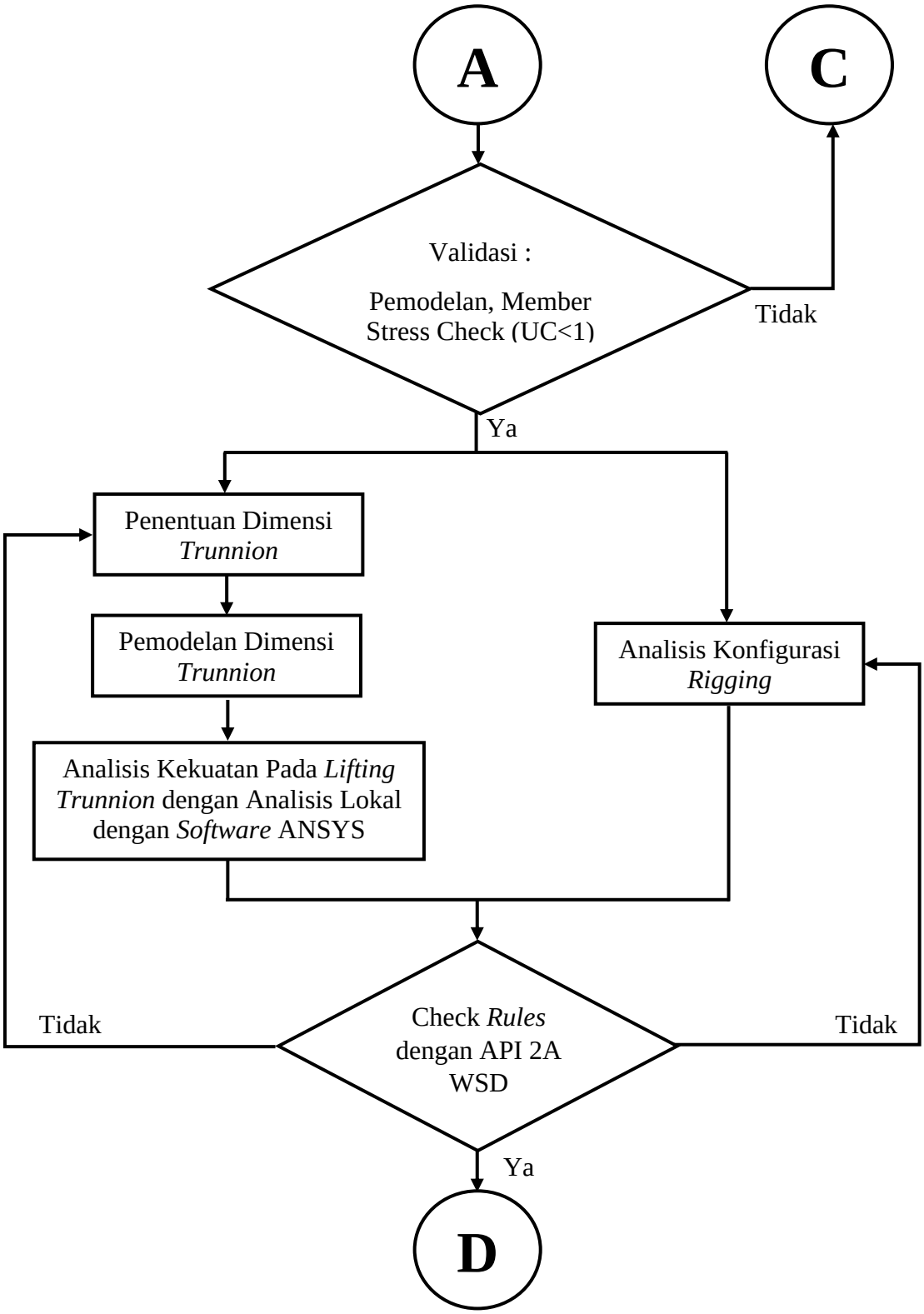
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

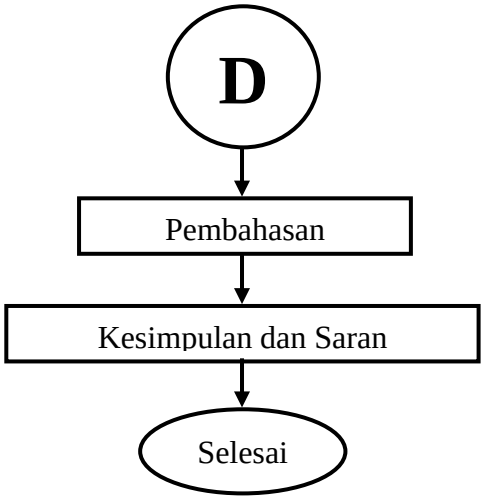
Dalam penelitian ini, penulis menggambarkan langkah-langkah pelaksanaan tugas akhir ini dalam Diagram Alir seperti di bawah ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.3. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.2 Metodologi Penelitian

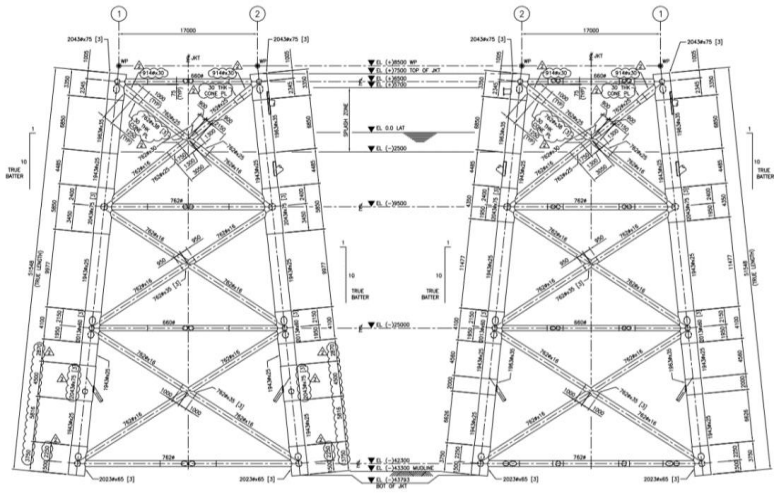
Dalam proses penyelesaian permasalahan yang ada dalam penelitian tugas akhir ini diperlukan pekerjaan yang sistematis dan bertahap. Penyelesaikan yang dilakukan perlu berurutan berdasarkan urutan kerja sehingga tujuan yang diharapkan didapatkan dengan hasil yang baik dan benar. Tahapan kerja yang digunakan untuk mencapai penyelesaian dalam menyelesaikan masalah dan mendapatkan hasil yang baik maka dilakukan sebagai berikut :

1. **Studi Literatur**

   Studi literatur tahapan awal yang sangat mendukung kelancaran proses penelitian Tugas Akhir ini. Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan jurnal-jurnal, buku pendukung, atau laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang masih memiliki relasi dengan tugas akhir ini.

2. **Pengumpulan Data Struktur dan Komponen *Lifting***

   Pengumpulan data yang diperlukan dalam proses penyusunan laporan tugas akhir ini adalah *detailed drawing* struktur *jacket* dan data komponen *lifting* meliputi *sling, shackle,* dan kapasitas *crane* yang akan digunakan.



Gambar 3.4. Data *Drawing Jacket* (Sumber: PT. X)

Tabel 3.1. Data Kapasitas *Sling* Milik PT. X

Sling		
Dia. (inch)	**MBL (Ton)**	**Berat (kg)**
0,5	12,1	0,68
0,75	26,7	1,55
1	46,9	2,75
1,25	72,5	4,3
1,5	103	6,19
1,75	139	8,44
2	180	11
2,25	224	13,9
2,5	274	17,3
2,75	333	20,8
3	389	24,7
3,25	447	29
3,5	519	33,8
3,75	585	38,7
4	665	44

3. Pemodelan Struktur *Jacket*

Proses ini bertujuan untuk memodelkan struktur *Jacket* menggunakan bantuan *software* SACS 12.0. Pemodelan yang dilakukan meliputi bentuk geometris dan material struktur tersebut berdasarkan data gambar yang telah didetailkan.

4. **Perhitungan Beban Struktur, Posisi CoG, *Lifting Point* dan Beban Angkat**

   Perhitungan beban struktur dilakukan berdasarkan gabungan akibat keseluruhan beban statis struktur itu sendiri dan beban komponen *lifting* yang digunakan pada saat proses *lifting* berlangsung. Penentuan posisi CoG (*Center of Gravity*) ditentukan berdasarkan proses perhitungan matematis.

5. **Analisis Struktur *Jacket* Untuk Proses *Lifting***

   Analisis kekuatan struktur *jacket* dilakukan berdasarkan pemodelan struktur yang telah dilakukan dengan bantuan *software* SACS 12.0 untuk mendapatkan hasil *stress ratio* atau *unity check* dari masing-masing member struktur tersebut.

6. **Validasi**

   Validasi hasil *unity check* dari setiap member dilakukan berdasarkan dan menggunakan standar AISC (*American Institute of Steel Construction*). Apabila hasil yang didapatkan tidak memenuhi standar, maka dilakukan kembali langkah no. 3 dengan menambahkan pemodelan struktur *strongback* pada setiap member yang mengalami kegagalan.

7. **Analisis Konfigurasi *Rigging***

   Penentuan konfigurasi desain *rigging* dengan menggunakan pendekatan atau formula matematis untuk mendapatkan konfigurasi *sling* dan *shackle* yang tepat dan aman yang berdasarkan API 2A WSD.

8. **Penentuan Dimensi *Trunnion***

   Penentuan dimensi *trunnion* untuk *lifting* dilakukan menggunakan perhitungan formula matematis berdasarkan API 2A WSD untuk mendapatkan konfigurasi *lifting* yang tepat dan aman.

9. **Analisis Kekuatan Pada *Lifting Trunnion* dengan Analisis Lokal**

   Proses analisis ini bertujuan untuk melakukan analisis tegangan lokal pada *lifting trunnion* dengan menggunakan bantuan *software* ANSYS.

10. Pembahasan

Setelah melakukan seluruh rangkaian proses analisis, maka didapatkan hasil tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap member struktur dan *trunnion*, serta konfigurasi *sling* yang akan digunakan untuk proses *lifting*.

11. Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pembahasan, maka penulis menulis kesimpulan jika struktur dapat memenuhi kualifikasi untuk dilakukan proses *lifting* dengan bantuan struktur *trunnion*.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

4.1.1 Studi Kasus

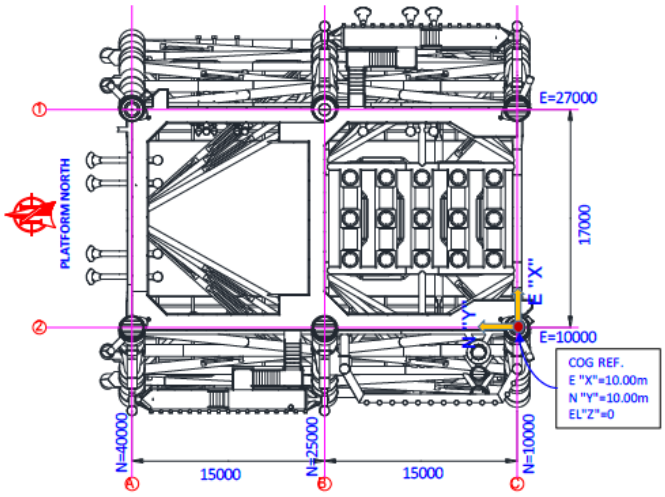
Salah satu perusahaan fabrikasi yang berada di Kota Batam, Kepulauan Riau sedang mengerjakan proyek fabrikasi sebuah struktur *jacket*. Dalam proses fabrikasi, struktur *jacket* dibangun menjadi dua bagian *jacket* secara terpisah. Bagian-bagian yang dimaksud adalah struktur *jacket loaded bent* dan struktur *jacket naked bent*. Untuk menggabungkan kedua struktur tersebut menjadi satu bagian utuh struktur *jacket* dalam proses ereksi, perlu dilakukannya operasi *roll up jacket*. Masing-masing struktur *jacket* yang terpisah akan dilakukan *roll up* hingga 90 derajat kemiringan. Operasi *roll up jacket* dilakukan dengan cara memutar struktur *jacket* dengan bantuan *crane* dan *sling* yang dikaitkan pada struktur *trunnion* pada *jacket*.

Dalam penelitian tugas akhir ini, akan dilakukan studi analisis desain *trunnion* untuk proses *lifting jacket* pada saat proses fabrikasi tahap *roll up*. Bagian yang akan menjadi fokusan utama dalam penelitian tugas akhir ini adalah penulis melakukan desain terhadap dimensi *trunnion* berdasarkan beban angkat yang ada hingga akhirnya struktur *trunnion* tersebut dapat diandalkan agar dapat membantu melakukan operasi *roll up jacket*. Bagian struktur *jacket* yang dijadikan objek penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah struktur *jacket loaded bent* saja. Dengan pertimbangan karena beban angkat yang dihasilkan lebih besar dibandingkan pada beban angkat struktur *jacket naked bent*.

4.1.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan sebagai objek studi adalah sebuah struktur *jacket* yang sedang melakukan tahapan fabrikasi di salah satu perusahaan fabrikator yang terletak di Kota Batam, Kepulauan Riau. Struktur *jacket*

tersebut nantinya akan berfungsi untuk pengeboran gas dan beroperasi di perairan Qatar dengan kedalaman 43200 ft. Data-data yang diperoleh merupakan data gambar spesifikasi *jacket* berbentuk 2D. Dari data yang diperoleh struktur *jacket* tersebut memiliki 6 (enam) kaki dan memiliki 4 *deck* yang terdiri pada elevasi EL. (+)6.500, EL. (-)9.500, EL. (-)25.000, EL. (-)42.300. Satuan elevasi tersebut menggunakan satuan milimeter.



Gambar 4.1. *Framing Jacket* Secara Horizontal

Pada penelitian tugas akhir ini, digunakan struktur *jacket* dengan kriteria laporan berat yang dapat dilihat melalui **Tabel 4.1** berikut:

Tabel 4.1. Data Berat Struktur Saat *Dry Condition*

Deskripsi	**Cont.**	***Dry Condition*** **(Ton)**
Horizontal Framing		
Horizontal Framing @EL.(+)6500	5,0%	60,075
Horizontal Framing @EL.(-)9500	5,0%	73,871
Horizontal Framing @EL.(-)25000	5,0%	61,560
Horizontal Framing @EL.(-)42300	5,0%	92,881

Tabel 4.2. Data Berat Struktur Saat *Dry Condition* (lanjutan)

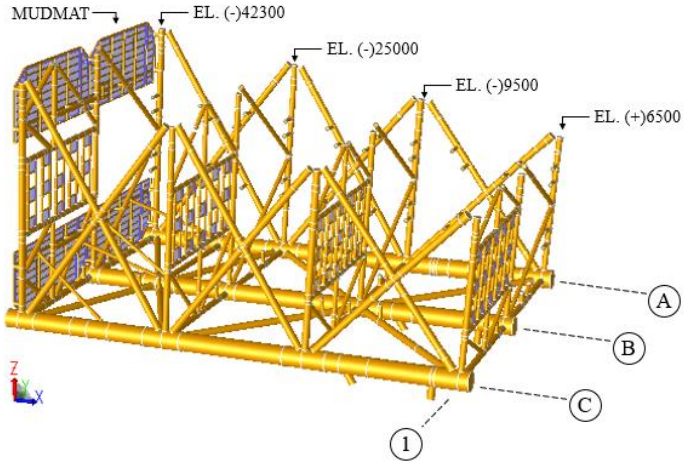
Deskripsi	Cont.	*Dry Condition* (Ton)
Jacket Legs		
A1	5,0%	112,117
B1	5,0%	92,452
C1	5,0%	98,351
Elevation Braces		
Row A	5,0%	50,303
Row C	5,0%	50,303
Berat Lain-Lain		
Anoda (149 buah)	7,5%	115,02
Padeye (2 buah)	7,5%	3,307
Mudmat	7,5%	69,576
Mooring	7,5%	2,297

*kontinjensi merupakan batas yang diijinkan dari perbedaan berat sebenarnya struktur dengan pemodelan *software* akibat suatu faktor ketidakpastian

4.2 Pemodelan Struktur

4.2.1 Pemodelan Struktur *Jacket*

Pemodelan struktur *jacket* secara global dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SACS 12.0. Pemodelan diawali dengan menggambar *joint* dan *member* sesuai dengan data *detailed drawing* dari struktur *jacket* tersebut. Kemudian dilakukan input *member properties* untuk setiap tubular dan *beam* pada struktur *jacket*. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan kondisi struktur yang sesuai dengan kondisi aslinya. Pemodelan struktur *jacket* yang akan dilakukan yaitu struktur *jacket loaded bent* sebagaimana yang telah dijelaskan pada batas masalah penelitian tugas akhir ini. Hasil pemodelan struktur *jacket* dalam bentuk 3D dapat dilihat melalui **Gambar 4.2** di bawah ini.



Gambar 4.2. Pemodelan Struktur *Jacket Loaded Bent* Menggunakan *Software* SACS 12.0

Pemodelan struktur *jacket* tersebut, terdiri dari member properti yang berbeda untuk member tubular dan member pelat. Data member properti tersebut dapat dilihat melalui **Tabel 4.3**, **Tabel 4.4**, dan **Tabel 4.5** berikut ini.

Tabel 4.3. Tabel *Tubular Member Property*

Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus Elastis	29000	Ksi
Shear Modulus	11150	Ksi
Yield Stress	50	Ksi

Tabel 4.4. Tabel *Plate Property* Pada Bagian *Mudmat*

Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus Elastis	29000	Ksi
Yield Stress	36	Ksi
Ketebalan	8	mm

Tabel 4.5. Tabel *Plate Property* Pada Bagian *Conductor Guide*

Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus Elastis	29000	Ksi
Yield Stress	36	Ksi
Ketebalan	25,4	mm

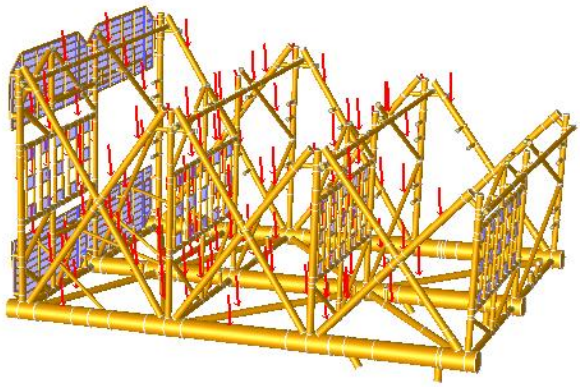
Struktur *jacket platform* yang sudah dimodelkan selanjutnya dilakukan validasi. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan berat struktur pada model dengan berat struktur yang sebenarnya.

Tabel 4.6. Validasi Perbandingan Berat Model dengan Berat Struktur

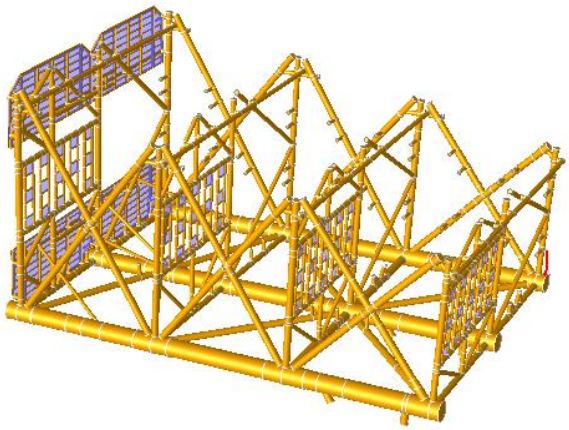
Description	***Weight Control Report* (WCR)**	**SACS Load**	**Cont.**		**Selisih**	**Ket.**
	(Ton)	**(Ton)**	**%**	**(Ton)**	**(Ton)**	
Horizontal Framing						
Horizontal Framing @EL.(+)6500	60,075	59,254	5,00%	3,00	0,821	OK
Horizontal Framing @EL.(-)9500	73,871	71,531	5,00%	3,69	2,340	OK
Horizontal Framing @EL.(-)25000	61,560	60,710	5,00%	3,08	0,850	OK
Horizontal Framing @EL.(-)42300	92,881	90,616	5,00%	4,64	2,265	OK
Jacket Legs						
A1	112,117	112,247	5,00%	5,61	0,130	OK
B1	92,452	92,874	5,00%	4,62	0,422	OK
C1	98,351	98,424	5,00%	4,92	0,073	OK
Elevation Braces						
Row A	50,303	50,431	5,00%	2,52	0,128	OK
Row C	50,303	50,431	5,00%	2,52	0,128	OK
Berat Lain-Lain						
Anoda (149 buah)	115,02	115,053	7,50%	8,63	0,033	OK
Padeye (2 buah)	3,307	3,307	7,50%	0,25	0,000	OK
Mudmat	69,576	70,805	7,50%	5,22	1,229	OK
Mooring	2,297	2,297	7,50%	0,17	0,000	OK

4.2.2 Pemodelan Beban Pada *Jacket*

Pada pemodelan struktur *jacket* yang dilakukan terdapat bagian-bagian khusus yang sulit untuk dimodelkan dan terlalu banyak jumlahnya. Dengan demikian, dilakukan input beban yang sesuai dengan data aslinya untuk diinput pada *software* SACS 12.0. Beban-beban tersebut dapat diinput pada *joint* dan/atau member tergantung dengan data aslinya. Beban yang penulis masukan sebagai input beban pada pemodelan struktur *jacket* yaitu anoda, *mooring*, dan *padeye*. Input beban pada pemodelan tersebut dapat dilihat melalui **Gambar 4.3**, **Gambar 4.4**, dan **Gambar 4.5** berikut ini.



Gambar 4.3. Input Beban Anoda Pada Pemodelan



Gambar 4.4. Input Beban *Mooring* Pada Pemodelan

Gambar 4.5. Input Beban *Padeye* Pada Pemodelan

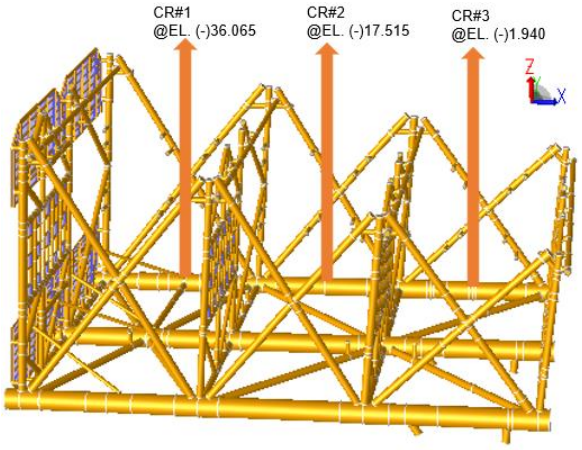
Dari hasil input beban pada pemodelan struktur *jacket* tersebut, dapat dilihat melalui **Tabel 4.7** berikut ini.

Tabel 4.7. Hasil Input Beban Pada Pemodelan Struktur *Jacket*

Beban	Jumlah	Berat (Ton)	Total Berat (Ton)
Anoda	149	0,785	115,02
Mooring	1	1,128	1,13
Padeye	2	1,500	2,99
		Jumlah	119,15

4.2.3 Penentuan Titik Angkat

Penentuan titik angkat dilakukan dengan melakukan input reaksi beban terhadap sumbu horizontal. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan reaksi beban yang akan diangkat. Penentuan titik angkat yang dilakukan oleh penulis berjumlah 3 (tiga). Masing-masing ditempatkan di antara setiap elevasi *deck* dengan tujuan kestabilan pada saat operasi *lifting* dilakukan.



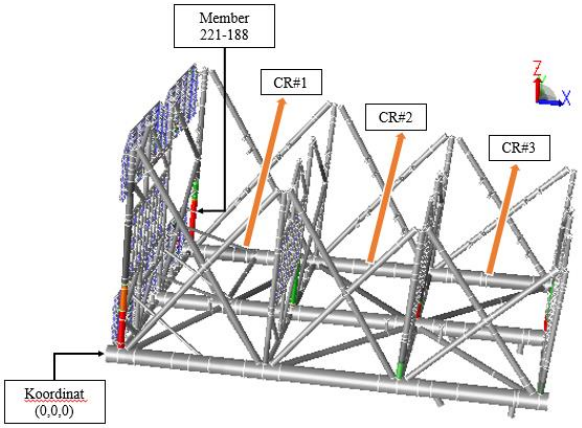
Gambar 4.6. Penentuan Titik Angkat Pada Pemodelan Struktur *Jacket*

4.3 Analisis Pemodelan Struktur *Jacket*

4.3.1 Analisis Struktur *Jacket* Tanpa *Strongback*

Hasil analisis pemodelan struktur *jacket* dilakukan dengan bantuan *software* SACS 12.0. Pemodelan struktur *jacket* dicoba terlebih dahulu dilakukan analisis tanpa menggunakan bantuan struktur bantuan *strongback* untuk menambahkan kekakuan. Apabila memenuhi persyaratan validasi model, maka pemodelan struktur *jacket* tidak perlu menambahkan struktur tambahan.

Hasil analisis pemodelan struktur *jacket* dapat dilihat melalui **Gambar 4.7** berikut.



Gambar 4.7. Hasil Analisis Permodelan Struktur *Jacket* Tanpa *Strongback*

Dari hasil analisis pemodelan struktur *jacket* tanpa *strongback*, didapatkan hasil *unity check* terbesar, beban keseluruhan struktur (termasuk input beban), letak titik *Center of Gravity*, dan reaksi pada titik angkat yang ditampilkan pada **Tabel 4.8**, **Tabel 4.9**, **Tabel 4.10**, dan **Tabel 4.11** di bawah ini.

Tabel 4.8. Hasil *Unity Check* Terbesar

Maks. *Unity Check*	MEMBER/JOINT
6,825	221-188

Tabel 4.9. Berat Keseluruhan Struktur *Jacket*

Beban	Berat (Ton)
Berat Keseluruhan Struktur	954,750

Tabel 4.10. Koordinat Posisi *Centre of Gravity* Struktur *Jacket*

Letak *Centre of Gravity* (CoG)	Posisi		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	23.874,619	14.405,700	5.743,150

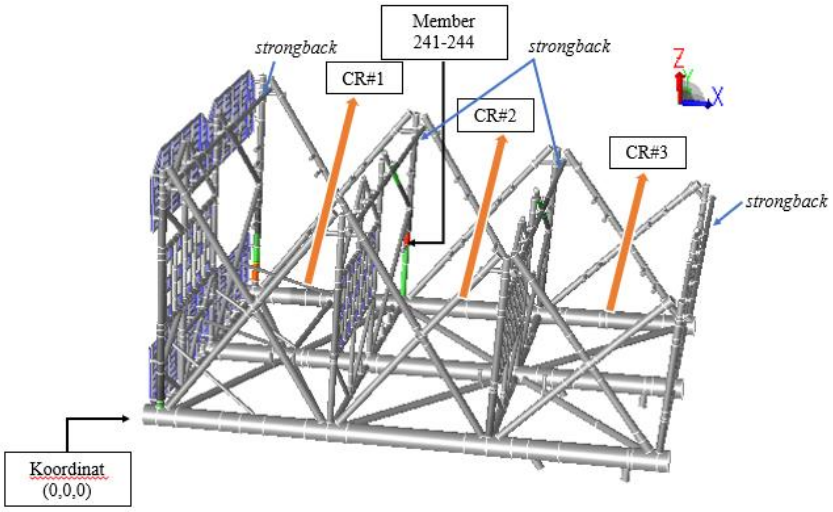
Tabel 4.11. Beban Angkat Dari Masing-Masing Titik Angkat

Nomor *Crane*	Reaksi *Joint*
	Ton
CR#1	223,933
CR#2	59,670
CR#3	174,175

Mengacu kepada *rules* yang digunakan, terdapat member yang mengalami kegagalan atau *over stress*. Member yang gagal terdapat pada **Member 221-188** dengan nilai **UC 6,825**. Hasil analisis tersebut sebagaimana dapat dilihat posisinya pada struktur *jacket* melalui **Gambar 4.7** di atas. Dengan demikian, untuk kasus pemodelan struktur *jacket* tersebut memerlukan sebuah struktur tambahan dengan tujuan menambahkan kekakuan pada struktur sehingga tidak ditemukan lagi member yang melewati tegangan ijinnya. Struktur yang dimaksud adalah struktur sementara penambah kekakuan yang disebut *strongback*.

4.3.2 Analisis Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback*

Pemodelan struktur *jacket* kembali dilanjutkan dengan menambahkan struktur *strongback* yang berfungsi untuk menambahkan kekakuan agar struktur tidak mengalami kegagalan saat melakukan operasi *lifting*. Hasil analisis pemodelan struktur *jacket* dengan menggunakan *strongback* dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut ini.



Gambar 4.8. Hasil Analisis Permodelan Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback*

Dari hasil analisis pemodelan struktur *jacket* tanpa *strongback*, didapatkan hasil *unity check* terbesar, beban keseluruhan struktur (termasuk input beban), letak titik *Center of Gravity*, dan reaksi pada titik angkat yang ditampilkan pada **Tabel 4.12**, **Tabel 4.13**, **Tabel 4.14**, dan **Tabel 4.15** di bawah ini.

Tabel 4.12. Hasil *Unity Check* Terbesar Struktur Menggunakan *Strongback*

Maks. *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0,955	241-244

Tabel 4.13. Berat Keseluruhan Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback*

Beban	Berat (Ton)
Berat Keseluruhan Struktur	977,703

Tabel 4.14. Koordinat Posisi *Centre of Gravity* Struktur *Jacket* Menggunakan *Strongback*

Letak *Centre of Gravity* (CoG)	Posisi		
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
	24.124,05	14.741,25	6.211,53

Tabel 4.15. Beban Angkat Dari Masing-Masing Titik Angkat

Nomor *Crane*	Reaksi *Joint*
	Ton
CR#1	200,637
CR#2	117,385
CR#3	152,998

Dengan demikian, dapat disimpulkan jika struktur *jacket* tersebut membutuhkan struktur tambahan *strongback* guna menambahkan kekakuan struktur agar dapat melakukan operasi *lifting*. Struktur dapat melakukan operasi *lifting* karena telah memenuhi aturan yang berlaku dengan nilai *unity check* terbesar terletak pada **Member 241-244** dengan nilai **UC 0,95** yang hasilnya dapat dilihat melalui **Gambar 4.8** di atas.

4.3.3 Perbandingan Hasil Analisis Struktur *Jacket* Mengunakan dan Tidak Menggunakan *Strongback*

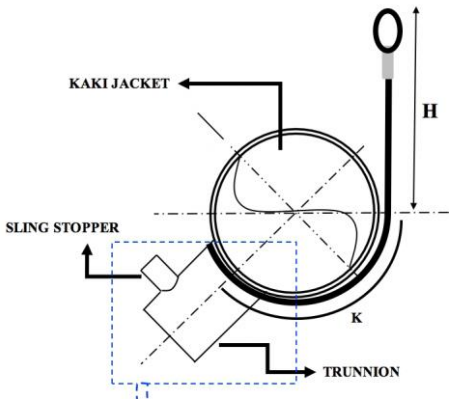
Setelah analisis menggunakan bantuan *software* SACS selesai dilakukan, baik menggunakan dan tidak menggunakan struktur *strongback*, terdapat perbedaan dari kedua hasil kondisi tersebut. Hasil perbedaan tersebut dapat dilihat melalui **Tabel 4.16** berikut ini.

Tabel 4.16. Hasil Perbandingan Analisis Dua Kondisi Struktur *Jacket*

Deskripsi	SACS *Output*		Selisih
	Tanpa *Strongback*	Menggunakan *Strongback*	
Kondisi Struktur			
Maksimum *Unity Check*	6,825 (Mem:221-188)	0,95 (Mem:241-244)	-
Berat Struktur Keseluruhan	954,750 Ton	977,703 Ton	22,953 Ton
Beban Angkat			
Crane No. CR#1	223,933 Ton	200,637 Ton	23,296 Ton
Crane No. CR#2	59,670 Ton	117,385 Ton	57,715 Ton
Crane No. CR#3	174,175 Ton	152,998 Ton	21,177 Ton

4.4 Analisis Konfigurasi *Rigging* Pada Struktur *Jacket*

Hasil reaksi pemodelan titik angkat yang didapatkan dari pemodelan struktur *jacket* akan menjadi acuan beban yang akan diangkat oleh *crane* nantinya. Dari hasil reaksi tersebut, nilai beban menjadi subjek utama untuk dilakukan analisis guna mendapatkan ukuran *sling* yang akan digunakan, *shackle*, dan *trunnion* yang akan membantu kegiatan operasi *lifting* saat berlangsung.



Gambar 4.9. Sketsa Konfigurasi *Rigging* diikat Pada *Trunnion*

Dari sketsa konfigurasi *rigging* di atas, mengacu pada API 2A WSD jenis pekerjaan yang dilakukan oleh *sling* adalah *wrapped sling*. *Wrapped sling* adalah kondisi dimana *sling* mengikat dan melingkari langsung sebuah objek angkat tanpa

menggunakan bantuan *shackle*. Jenis-jenis pengikatan *sling* pada objek angkat akan berpengaruh terhadap ukuran diameter *sling* karena masing-masing ukuran memiliki nilai *minimum breaking load* (MBL) yang berbeda-beda. **Tabel 4.17** di bawah ini menampilkan MBL dari masing-masing ukuran diameter *sling*.

Tabel 4.17. *Minimum Breaking Load* Berdasarkan Diameter *Sling*

***sling* dia (in)**	**MBL (Ton)**
2,00	179,061
2,50	273,093
3,00	385,132
3,50	564,193
4,00	720,246
4,50	888,303

Hasil analisis pada pemodelan struktur *jacket* pada *software* SACS 12.0 akan menghasilkan nilai beban yang akan dianalisis menggunakan perhitungan matematis secara manual. Beban-beban hasil analisi pemodelan dapat dilihat melalui **Tabel 4.18** di bawah ini.

Tabel 4.18. Reaksi Maksimum Hasil Analisis Pemodelan Struktur *Jacket*

Crane	**Nomor *Joint***	**Maks. Reaksi Ton**
CR#1	CR1	200,637
CR#2	CR2	117,385
CR#3	CR3	152,998
TOTAL		**471,019**

4.4.1 Perhitungan Diameter Sling dan Kapasitas Kekuatan *Sling*

Sling yang bekerja dengan kondisi *wrapped sling* akan mengalami faktor reduksi pada nilai MBL. Faktor reduksi adalah pengurangan nilai dari MBL yang diakibatkan adanya tekukan pada *sling* sehingga tidak dapat mendistribusikan beban secara sempurna ke seluruh tubuh *sling*.

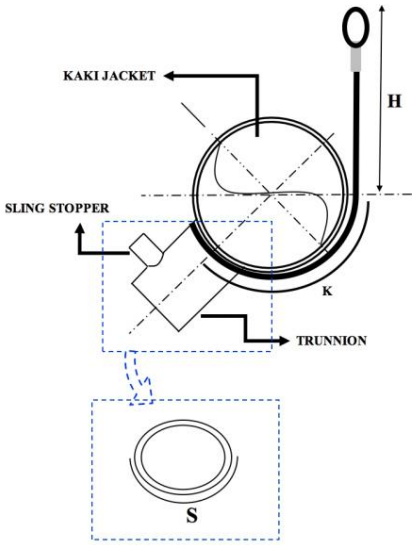
Selain itu, berdasarkan sketsa konfigurasi *rigging* yang digunakan, maka terjadi kondisi ***doubled slings***. Kondisi tersebut terjadi dimana *sling* mengelilingi objek angkat dan kedua mata *sling* mengait pada *shackle* atau blok kait *crane* secara bersamaan. Hal tersebut menyebabkan beban yang bekerja

pada *sling* terbagi menjadi dua karena seolah-olah *sling* yang bekerja ada dua. **Tabel 4.19** di bawah ini menampilkan hasil perhitungan analisis kekuatan *sling* berdasarkan hasil reaksi beban yang ada.

Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Kapasitas *Sling*

CR #	Rigg. No	Sling Dia. in	Panjang *Sling* ft	-	in	Maks. Load Ton	Bend. Dia in	Faktor Reduksi	MBL (eff) Ton	SF	Ket.
#1	1	4,0	52	-	1	100.28	30,00	0,82	588,5	5,9	*Double*
#2	2	3,0	70	-	6	58.67	24,02	0,82	317,0	5,4	*Double*
#3	3	3,5	60	-	1 1	76.47	25,98	0,82	460,5	6,0	*Double*

4.4.2 Perhitungan Dimensi Panjang *Sling* Pada Tubular Kaki *Jacket*



Gambar 4.10. Sketsa Konfigurasi *Rigging*

Standar operasi *lifting* yang diterapkan di PT. X untuk kegiatan operasi *lifting* mengatakan bahwa jarak minimum antara blok kait *crane* dengan *neutral axis* objek angkat harus lebih 1 m. Hal tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan faktor keamanan agar tidak terjadi hal fatal saat kegiatan operasi *lifting* sedang berlangsung. Berdasarkan hal tersebut, maka diperolah hasil perhitungan dimensi panjang *sling* pada **Tabel 4.20** di bawah ini.

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Dimensi Panjang *Sling*

CR#	Rigg. No	Trunnion Dia.		Leg Dia.	S	K	H	Ket.
		in	mm	mm	mm	mm	mm	
#1	1	30,00	762,0	2043	1197	3744	5467	OK!
#2	2	24,02	610,0	2013	958	3689	8421	OK!
#3	3	25,98	660,0	2023	1037	3707	6912	OK!

4.4.3 Perhitungan Berat *Rigging*

Setiap *sling* yang digunakan untuk operasi *lifting* akan mempengaruhi total berat yang akan diangkat oleh sebuah *crane*. Beban *sling* termasuk bagian dari berat *rigging* dan akan dikalikan dengan factor berat berdasarkan standar operasi *lifting* yang sudah di atur dalam DNV-OS-H205 Lifting Operations, 2014. Hasil perhitungan berat *rigging* dapat dilihat melalui **Tabel 4.21** berikut.

Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Berat *Rigging*

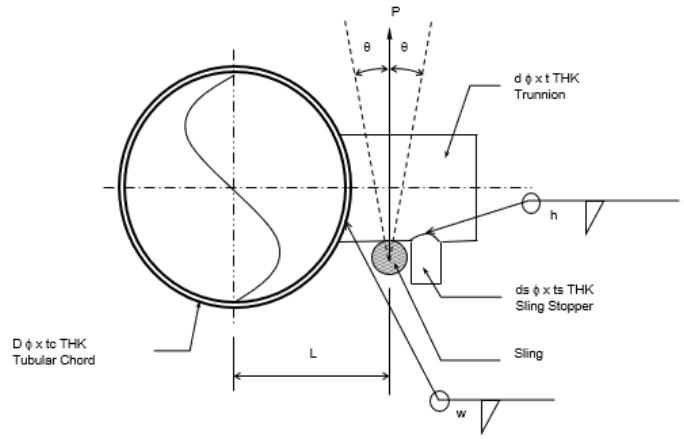
CR#	Sling			Total Berat (termasuk 3% faktor berat)
	Panjang	Berat/m	Berat	
	(mm)	(kg/m)	kg	Ton
#1	15875	44,00	698,5	0,719
#2	21488	24,70	530,8	0,547
#3	18567	33,80	627,6	0,646

4.5 Analisis Dimensi *Trunnion* Untuk *Lifting* Struktur *Jacket*

Setelah diketahui reaksi yang terjadi, dapat ditentukan desain dari *lifting trunnion* yang akan digunakan untuk melakukan *lifting* struktur *jacket*. Diketahui reaksi maksimum pada titik angkat yang akan ditampilkan oleh **Tabel 4.22** berikut.

Tabel 4.22. Reaksi Maksimum Pada Setiap Titik Angkat

Crane Number	Posisi	Reaksi Maksimum
		Ton
CR #1	EL. (-)36.065	200,57
CR #2	EL. (-)17.515	117,34
CR #3	EL. (-)1.940	152,95



Gambar 4.11. Gambar Sketsa Perencanaan *Lifting Trunnion*

Dengan menggunakan perhitungan awal yang telah diatur pada API RP 2A WSD, ditentukan desain awal dari *tubular lifting trunnion* dengan *properties* seperti yang ditampilkan oleh tabel-tabel di bawah ini. Analisis perhitungan manual *lifting trunnion* dengan menggunakan bantuan *software* Ms. Excel dapat dilihat pada **Lampiran A**.

4.5.1 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#1

Tabel 4.23. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#1

Trunnion Properties	
Outside Diameter	OD = 762 mm / 30,00 in
Wall Thickness	t = 25,4 mm / 1,00 in
Area	A = 91,106 in^2
Inertia	I = 9588,926 in^4
Sling Stopper Properties	
Outside Diameter	OD = 298,5 mm / 11,752 in
Wall Thickness	t = 20,0 mm / 0,787 in
Area	A = 27,123 in^2
Inertia	I = 406,699 in^4
Material Data	
Material	STEEL GRADE-50
Yield Strength	Fy = 50 ksi
Young Modulus	E = 29000 ksi
Safety Factor	SF = 1,50

4.5.2 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#2

Tabel 4.24. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#2

Trunnion Properties	
Outside Diameter	OD = 610 mm / 24,016 in
Wall Thickness	t = 25,4 mm / 1,00 in
Area	A = 72,306 in^2
Inertia	I = 4796,8296 in^4
Sling Stopper Properties	
Outside Diameter	OD = 273 mm / 10,748 in
Wall Thickness	t = 9,27 mm / 0,365 in
Area	A = 11,905 in^2
Inertia	I = 160,627 in^4
Material Data	
Material	STEEL GRADE-50
Yield Strength	Fy = 50 ksi
Young Modulus	E = 29000 ksi
Safety Factor	SF = 1,50

4.5.3 *Lifting Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#3

Tabel 4.25. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#3

Trunnion Properties	
Outside Diameter	OD = 660 mm / 25,984 in
Wall Thickness	t = 25,4 mm / 1,00 in
Area	A = 78,490 in^2
Inertia	I = 6134,146 in^4
Sling Stopper Properties	
Outside Diameter	OD = 273 mm / 10,748 in
Wall Thickness	t = 12,7 mm / 0,50 in
Area	A = 16,098 in^2
Inertia	I = 211,828 in^4

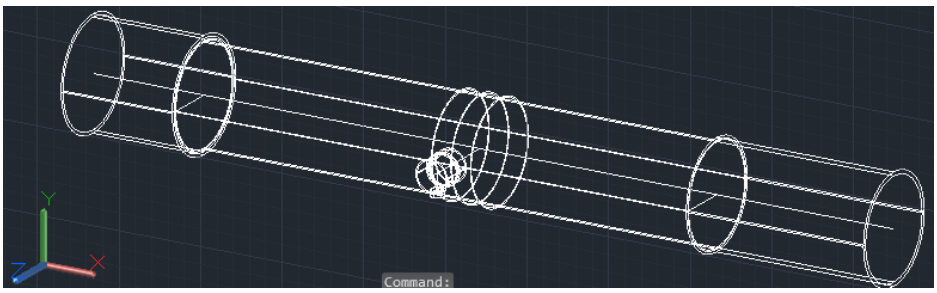
Tabel 4.26. Desan *Lifting Trunnion* Pada CR#3 (lanjutan)

Material Data	
Material	STEEL GRADE-50
Yield Strength	Fy = 50 ksi
Young Modulus	E = 29000 ksi
Safety Factor	SF = 1,50

4.6 Analisis Dimensi *Trunnion* Untuk *Lifting* Struktur *Jacket*

Setelah dilakukannya analisis statis pada struktur *jacket* dan perhitungan manual terhadap dimensi *trunnion* pada setiap titik angkat, maka selanjutnya adalah melakukan analisis lokal terhadap masing-masing *trunnion*. Pada analisis ini, langkap yang pertama kali dilakukan adalah masing-masing ukuran dimensi *trunnion* 3D dimodelkan dengan bantuan *software* AutoCAD 3D. Kemudian hasil pemodelan tersebut akan diinput pada *software* ANSYS guna dilakukan analisis lokal dengan menggunakan metode elemen hingga.

Berikut ini adalah hasil pemodelan yang dilakukan menggunakan bantuan *software* AutoCAD 3D pada masing-masing *trunnion*.



Gambar 4.12. Pemodelan Geometri *Trunnion* Menggunakan *Software* AutoCAD 3D

Analisis *meshing sensivity* akan dilakukan untuk mengukur keakuratan tegangan dari pemodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Nilai pembebanan pada analisis menjadi variabel tetap namun penggunaan jumlah elemen divariasikan. Analisis *meshing sensitivity* ini dilakukan pada titik yang sama dengan variasi kerapatan *meshing* yang berbeda-

beda. Dari hasil tegangan yang dihasilkan, yaitu *equivalent stress* didapatkan perbedaan hasil yang kurang dari 5%.

Dalam penentuan tegangan yang terjadi digunakan analisis tegangan *von mises* untuk mengetahui distribusi tegangan pada seluruh bagian *trunnion* akibat pembebanan yang diberikan. Pengertian tegangan *von mises* sendiri adalah tegangan gabungan terhadap semua arah bidang elemen dengan pendekatan matriks. Validasi diperlukan untuk mengetahui keakuratan perhitungan yang ada pada software ANSYS, maka dari itu diperlukan perhitungan secara manual dan disesuaikan dengan hasil perhitungan pada ANSYS menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy} + \tau_{yz} + \tau_{xz})}{2}}$$

(Sumber: Fracture of Mechanics by E.E. Gdoutos)

Dimana :

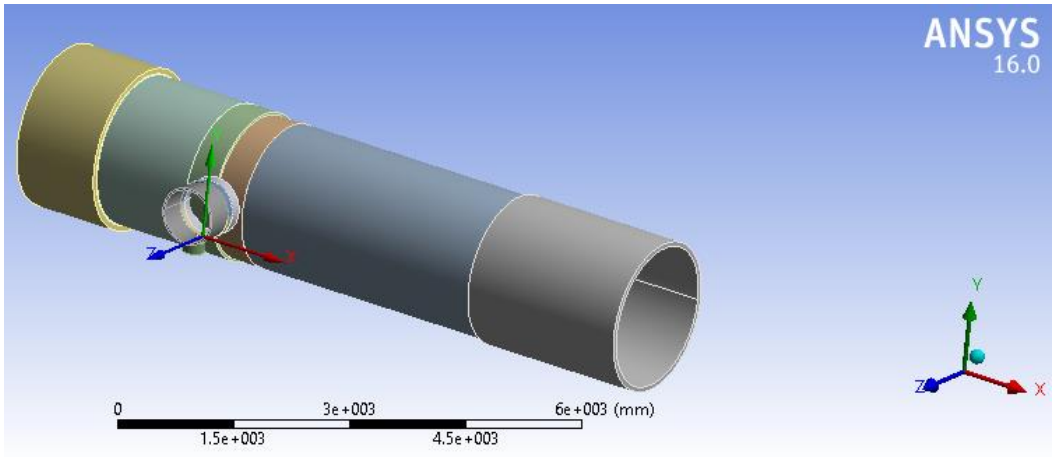
σ_{VM} = Tegangan Von Mises (MPa)

σ = Tegangan Normal (MPa)

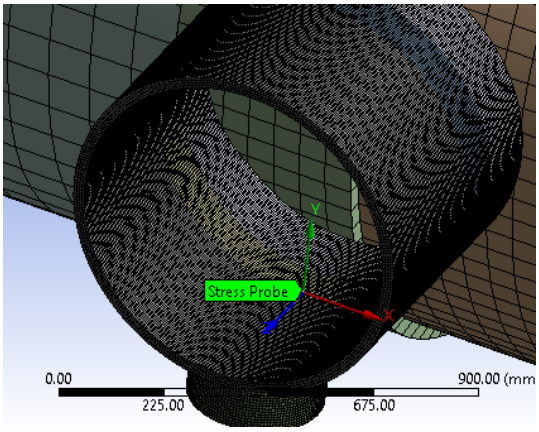
τ = Tegangan Geser (MPa)

4.6.1 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#1

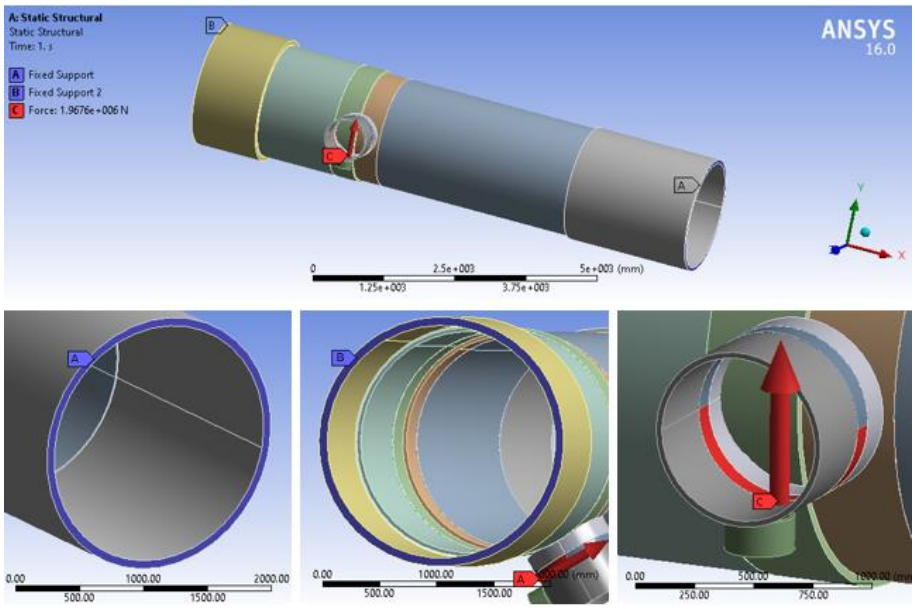
Bentuk geometri beserta sistem koordinat dan lokasi *stress probe* struktur *trunnion* yang akan dianalisis dapat dilihat pada **Gambar 4.13** berikut ini.



Gambar 4.13. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#1



Gambar 4.14. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#1



Gambar 4.15. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#1

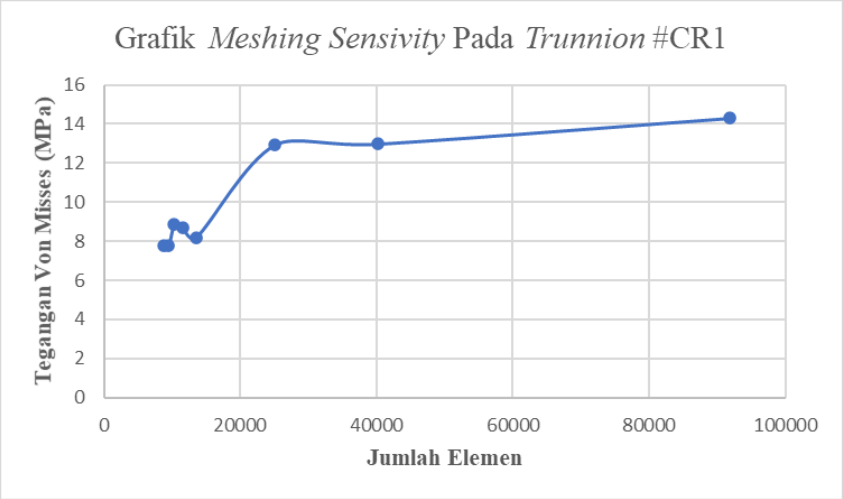
Pada **Gambar 4.15** di atas, ditampilkan kondisi batas (*boundary condition*) struktur yang akan dijelaskan sebagai berikut :

A. **Label A**, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS karena merupakan potongan dari struktur kaki *jacket* dan pada kondisi asli bagian tersebut menempel dan dilas terhadap member struktur *jacket* yang lainnya.
B. **Label B**, serupa dengan yang terjadi pada Label A, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS.
C. **Label C**, bagian struktur *trunnion* yang mengalami kontak dengan *sling* diberikan gaya terhadap sumbu Y positif sebesar nilai angkat pada *Trunnion* CR#1 yaitu **200,57 Ton**.

Analisa *meshing sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan output dari pemodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Elemen yang digunakan adalah jenis elemen *solid*. Hasil perbandingan antara ukuran elemen, jumlah elemen dan tegangan yang terjadi pada *meshing sensivity* terhadap *trunnion* CR#1 dapat dilihat melalui **Tabel 4.27** serta sajian data grafik pada **Gambar 4.16** berikut ini.

Tabel 4.27. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#1

Ukuran (mm)	Jumlah Nodes	Jumlah Element	Tegangan Von Misses (Mpa)	Diff
50	18706	8862	7,78	-
45	20042	9507	7,75	0,0301
40	21697	10329	8,84	1,0888
35	24181	11531	8,69	0,1459
30	28265	13537	8,19	0,4958
25	43739	25130	12,93	4,7333
20	65955	40158	12,97	0,041
15	132799	91887	14,28	1,315



Gambar 4.16. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#1

Berdasarkan hasil analisis *meshing sensivity* yang telah dilakukan dengan variasi beberapa ukuran *mesh*, hasil telah menunjukan perhitungan *error* atau *difference* kurang dari 5% dan hasil grafik yang sudah konvergen saat ukuran *meshing* yang digunakan sebesar **15 mm**.

Dari hasil pemodelan ANSYS, struktur *trunnion* CR#1 memiliki nilai *equivalent von mises* sebesar **14,28 MPa**. Kemudian komponen tegangan yang terjadi diketahui seperti yang terlihat pada **Tabel 4.28** dan validasi perhitungan tegangan *von mises* dapat dilihat pada **Tabel 4.29** berikut ini.

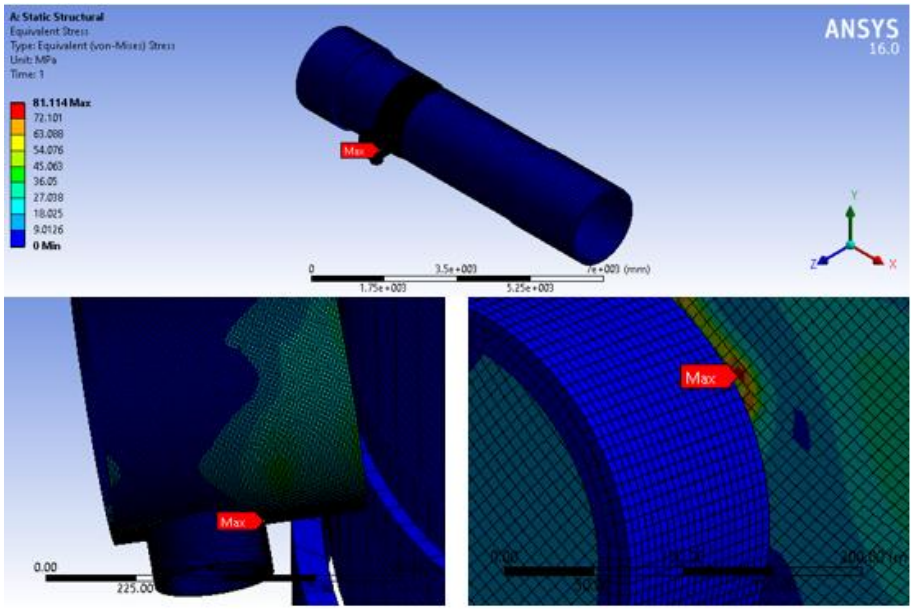
Tabel 4.28. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#1

Besar Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe*			
σ_x	=	-4,7846	Mpa
σ_y	=	-0,76518	Mpa
σ_z	=	-15,443	Mpa
τ_{xy}	=	3,10E-02	Mpa
τ_{yz}	=	-3,2368	Mpa
τ_{xz}	=	-5,91E-03	Mpa

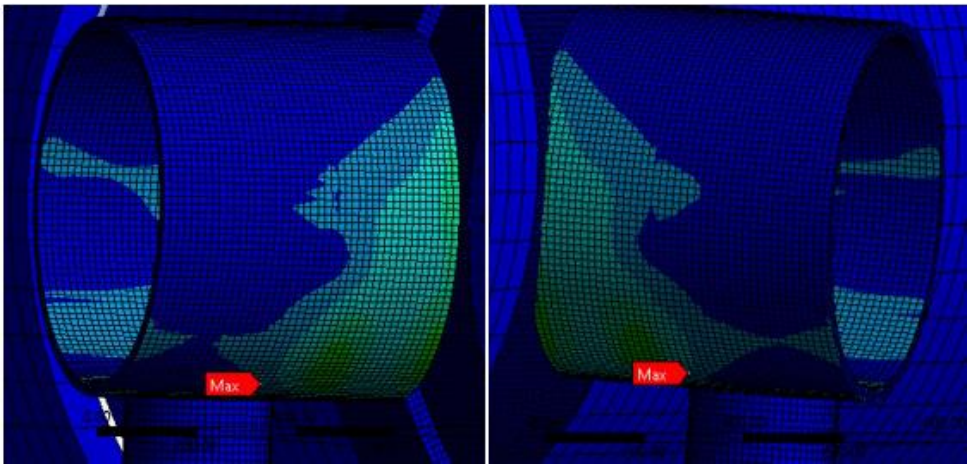
Tabel 4.29. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#1

Von Misses Manual (Mpa)	**Von Misses Ansys (Mpa)**	**Diff.**
14,27	14,28	0,01711

Tujuan dari analisis metode elemen hingga adalah untuk mengetahui tegangan kritis yang terjadi pada *trunnion*. Dengan demikian, diharapkan hasil tegangan yang terjadi tidak melebihi dari tegangan ijin material. Dari hasil analisis yang dilakukan, didapatkan tegangan maksimum yang dapat terjadi sebesar **81,114 MPa**. **Gambar 4.17** berikut ini menunjukan letak titik kritis yang terjadi pada struktur *trunnion* CR#1.



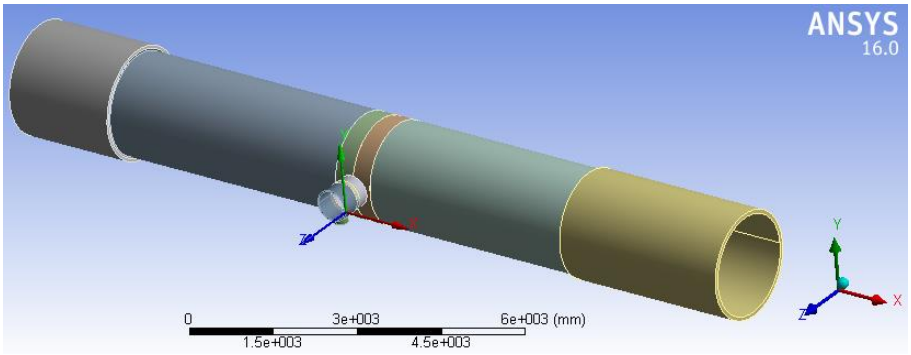
Gambar 4.17. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#1



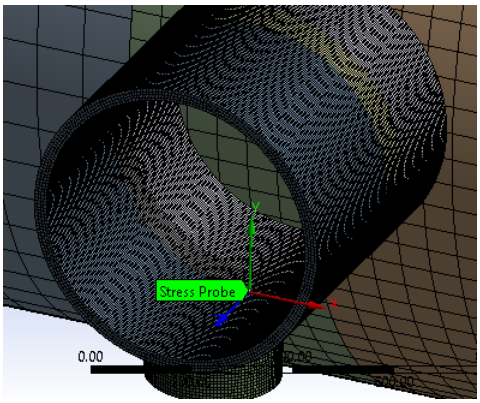
Gambar 4.18. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#1

4.6.2 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#2

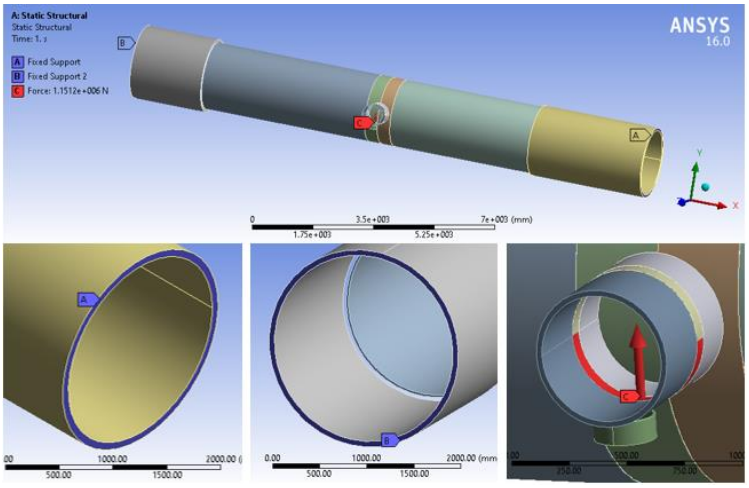
Bentuk geometri beserta sistem koordinat dan lokasi *stress probe* struktur *trunnion* yang akan dianalisis dapat dilihat pada **Gambar 4.19** berikut ini.



Gambar 4.19. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#2



Gambar 4.20. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#2



Gambar 4.21. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#2

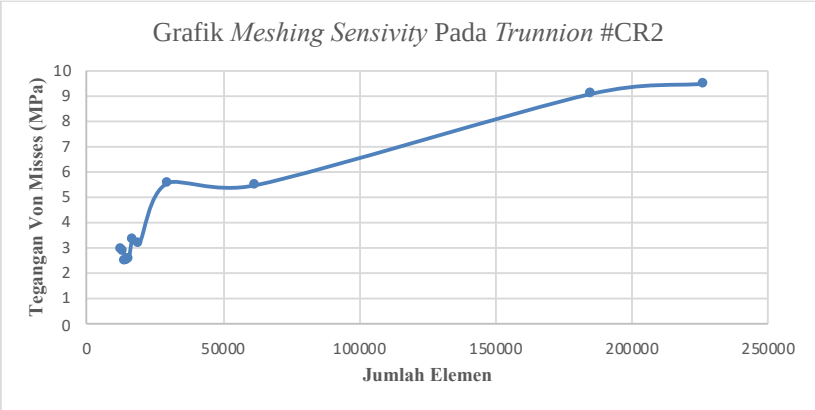
Pada **Gambar 4.21** di atas, ditampilkan kondisi batas (*boundary condition*) struktur yang akan dijelaskan sebagai berikut :

A. **Label A**, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS karena merupakan potongan dari struktur kaki *jacket* dan pada kondisi asli bagian tersebut menempel dan dilas terhadap member struktur *jacket* yang lainnya.
B. **Label B**, serupa dengan yang terjadi pada Label A, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS.
C. **Label C**, bagian struktur *trunnion* yang mengalami kontak dengan *sling* diberikan gaya terhadap sumbu Y positif sebesar nilai angkat pada *Trunnion* CR#2 yaitu **117,34 Ton**.

Analisa *meshing sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan output dari pemodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Elemen yang digunakan adalah jenis elemen *solid*. Hasil perbandingan antara ukuran elemen, jumlah elemen dan tegangan yang terjadi pada *meshing sensivity* terhadap *trunnion* CR#2 dapat dilihat melalui **Tabel 4.30** serta sajian data grafik pada **Gambar 4.22** berikut ini.

Tabel 4.30. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#2

Ukuran (mm)	Jumlah Nodes	Jumlah Element	Tegangan Von Misses (Mpa)	Diff
50	26260	12892	2,96	-
45	27568	13524	2,83	0,0301
40	29276	14326	2,45	1,0888
35	31284	15282	2,54	0,1459
30	34462	16716	3,34	0,4958
25	39722	19114	3,16	4,7333
20	56136	29581	5,55	0,041
15	100800	62050	5,47	1,315
10	259706	185098	9,05	5,2366
9	314784	226231	9,45	0,4022



Gambar 4.22. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#2

Berdasarkan hasil analisis *meshing sensivity* yang telah dilakukan dengan variasi beberapa ukuran *mesh*, hasil telah menunjukan perhitungan *error* atau *difference* kurang dari 5% dan hasil grafik yang sudah konvergen saat ukuran *meshing* yang digunakan sebesar **9 mm**.

Dari hasil pemodelan ANSYS, struktur *trunnion* CR#2 memiliki nilai *equivalent von mises* sebesar **9,45 MPa**. Kemudian komponen tegangan yang terjadi diketahui seperti yang terlihat pada **Tabel 4.31** dan validasi perhitungan tegangan *von mises* dapat dilihat pada **Tabel 4.32** berikut ini.

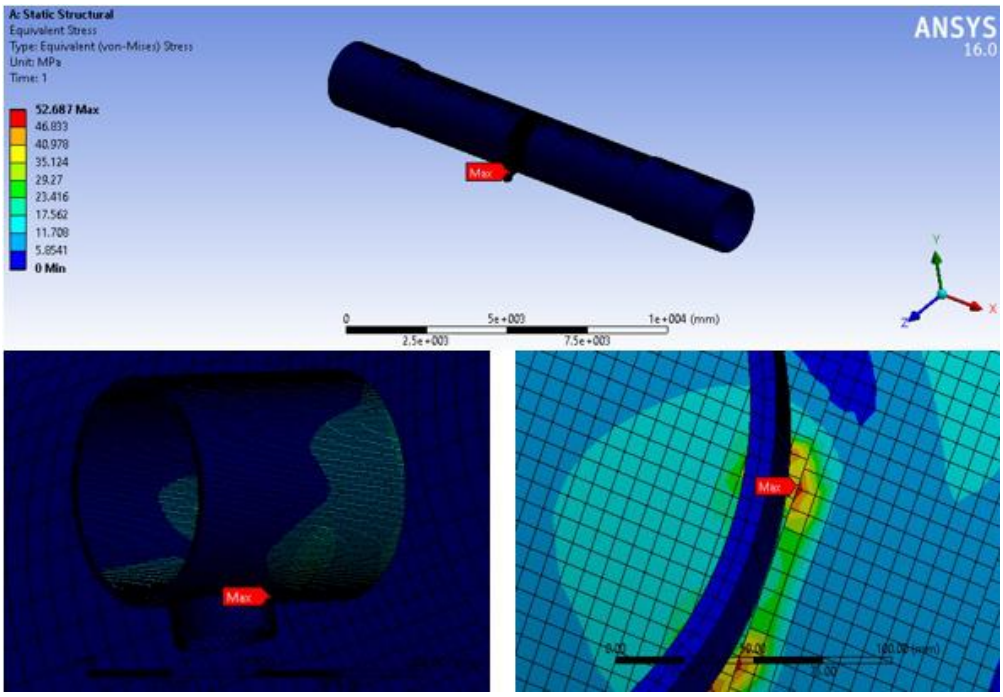
Tabel 4.31. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#2

Besar Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe*			
σ_x	=	3,7586	Mpa
σ_y	=	-0,86506	Mpa
σ_z	=	-6,7078	Mpa
τ_{xy}	=	-4,73E-03	Mpa
τ_{yz}	=	-1,5016	Mpa
τ_{xz}	=	-1,37E-02	Mpa

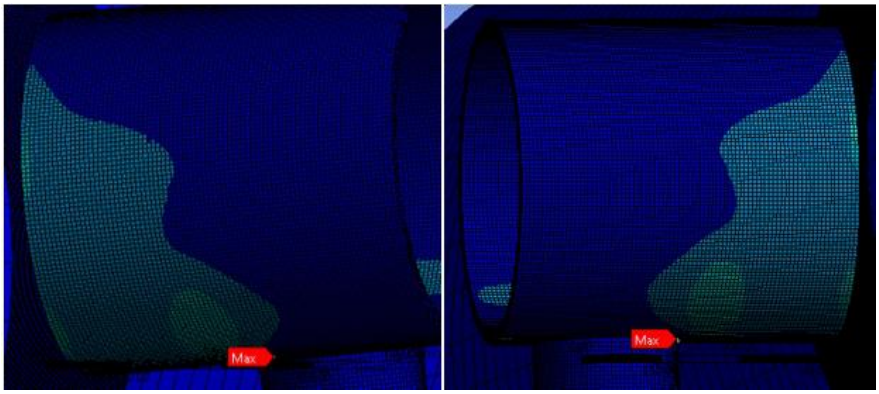
Tabel 4.32. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#2

Von Misses Manual (Mpa)	**Von Misses Ansys (Mpa)**	**Diff.**
9,46	9,45	0,009

Tujuan dari analisis metode elemen hingga adalah untuk mengetahui tegangan kritis yang terjadi pada *trunnion*. Dengan demikian, diharapkan hasil tegangan yang terjadi tidak melebihi dari tegangan ijin material. Dari hasil analisis yang dilakukan, didapatkan tegangan maksimum yang dapat terjadi sebesar **52,687 MPa**. **Gambar 4.23** berikut ini menunjukan letak titik kritis yang terjadi pada struktur *trunnion* CR#2.



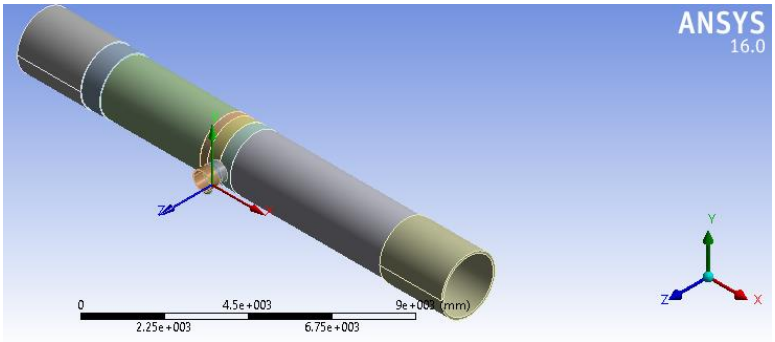
Gambar 4.23. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#2



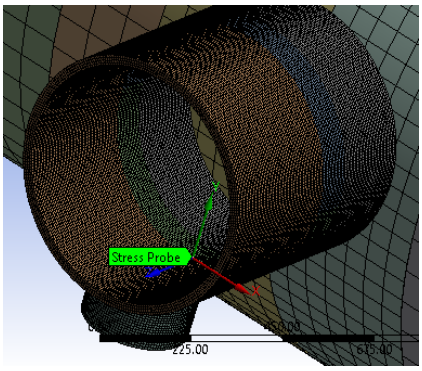
Gambar 4.24. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#2

4.6.3 Analisis Lokal *Trunnion* Pada *Rigging Crane* No. CR#3

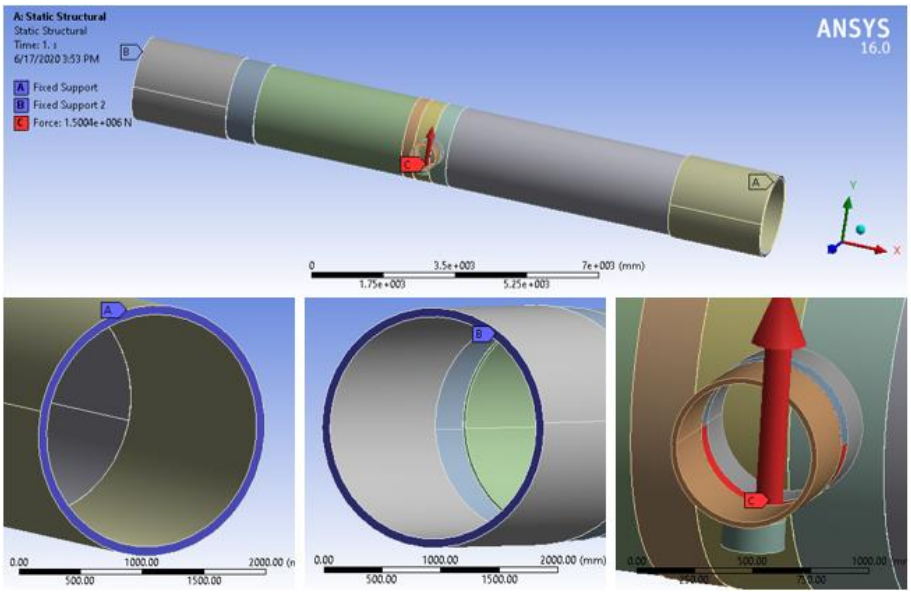
Bentuk geometri beserta sistem koordinat dan lokasi *stress probe* struktur *trunnion* yang akan dianalisis dapat dilihat pada **Gambar 4.25** berikut ini.



Gambar 4.25. Bentuk Geometri dan Sistem Koordinat *Trunnion* CR#3



Gambar 4.26. Lokasi *Stress Probe* Pada *Trunnion* CR#3



Gambar 4.27. Kondisi Batas Analisis Elemen Hingga *Trunnion* CR#3

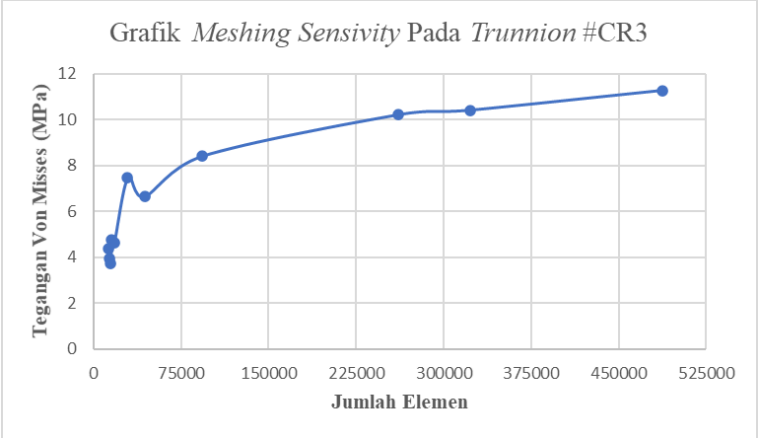
Pada **Gambar 4.27** di atas, ditampilkan kondisi batas (*boundary condition*) struktur yang akan dijelaskan sebagai berikut :

A. **Label A**, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS karena merupakan potongan dari struktur kaki *jacket* dan pada kondisi asli bagian tersebut menempel dan dilas terhadap member struktur *jacket* yang lainnya.
B. **Label B**, serupa dengan yang terjadi pada Label A, bagian struktur diberikan *command 'fixed support'* pada *software* ANSYS.
C. **Label C**, bagian struktur *trunnion* yang mengalami kontak dengan *sling* diberikan gaya terhadap sumbu Y positif sebesar nilai angkat pada *Trunnion* CR#3 yaitu **152,95 Ton**.

Analisa *meshing sensitivity* dilakukan untuk mengukur keakuratan output dari pemodelan ANSYS akibat dari penggunaan jumlah elemen. Elemen yang digunakan adalah jenis elemen *solid*. Hasil perbandingan antara ukuran elemen, jumlah elemen dan tegangan yang terjadi pada *meshing sensivity* terhadap *trunnion* CR#3 dapat dilihat melalui **Tabel 4.33** serta sajian data grafik pada **Gambar 4.28** berikut ini.

Tabel 4.33. Perbandingan Hasil Analisis *Meshing Sensivity Trunnion* CR#3

Ukuran (mm)	Jumlah Nodes	Jumlah Element	Tegangan Von Mises (Mpa)	Diff
50	27282	13173	4,40	-
45	28434	13733	3,97	0,4299
40	30092	14565	3,75	0,2127
35	32524	15739	4,77	1,0152
30	36464	17689	4,63	0,1414
25	51597	29243	7,46	2,8285
20	72801	43695	6,65	0,8041
15	136933	93050	8,41	1,7532
10	345723	260847	10,21	1,8023
9	422574	322439	10,41	0,204
8	611608	487325	11,27	0,857



Gambar 4.28. Grafik *Meshing Sensivity Trunnion* CR#3

Berdasarkan hasil analisis *meshing sensivity* yang telah dilakukan dengan variasi beberapa ukuran *mesh*, hasil telah menunjukan perhitungan *error* atau *difference* kurang dari 5% dan hasil grafik yang sudah konvergen saat ukuran *meshing* yang digunakan sebesar **8 mm**.

Dari hasil pemodelan ANSYS, struktur *trunnion* CR#3 memiliki nilai *equivalent von mises* sebesar **11,27 MPa**. Kemudian komponen tegangan yang terjadi diketahui seperti yang terlihat pada **Tabel 4.34** dan validasi perhitungan tegangan *von mises* dapat dilihat pada **Tabel 4.35** berikut ini.

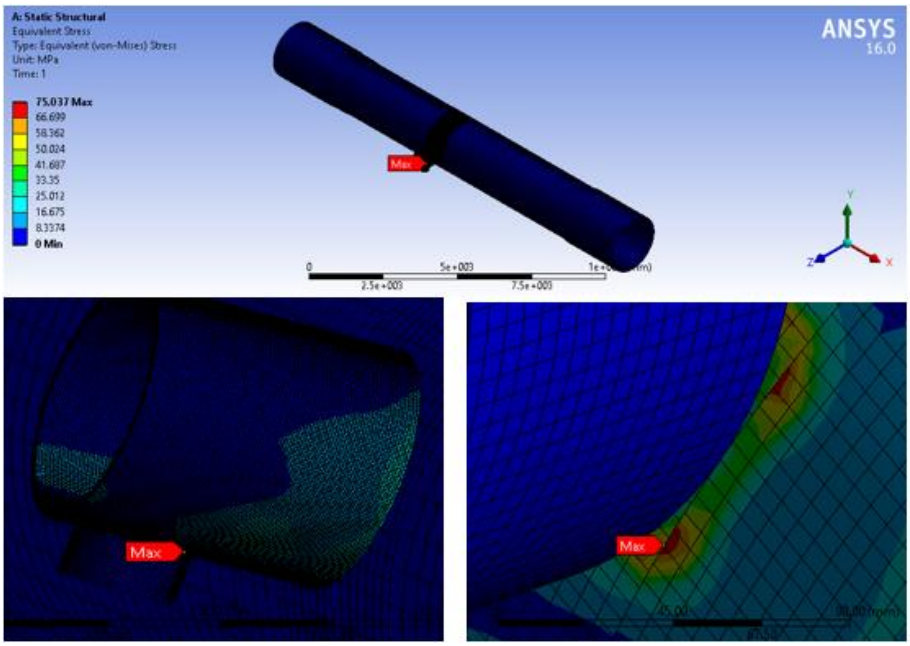
Tabel 4.34. Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe Trunnion* CR#3

Besar Tegangan Normal dan Tegangan Geser Pada *Stress Probe*			
σ_x	=	1,2028	Mpa
σ_y	=	-1,0818	Mpa
σ_z	=	-10,329	Mpa
τ_{xy}	=	-3,31E-03	Mpa
τ_{yz}	=	-2,2463	Mpa
τ_{xz}	=	-1,88E-03	Mpa

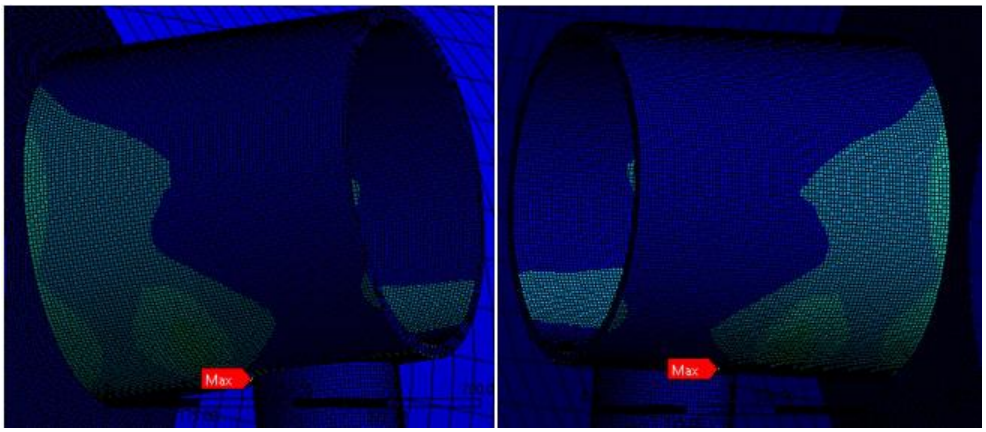
Tabel 4.35. Validasi Perhitungan *Von Mises* Pada *Stress Probe Trunnion* CR#3

Von Misses Manual (Mpa)	**Von Misses Ansys (Mpa)**	**Diff.**
11,27	11,27	0,003

Tujuan dari analisis metode elemen hingga adalah untuk mengetahui tegangan kritis yang terjadi pada *trunnion*. Dengan demikian, diharapkan hasil tegangan yang terjadi tidak melebihi dari tegangan ijin material. Dari hasil analisis yang dilakukan, didapatkan tegangan maksimum yang dapat terjadi sebesar **121,75 MPa**. **Gambar 4.29** berikut ini menunjukan letak titik kritis yang terjadi pada struktur *trunnion* CR#3.



Gambar 4.29. Tegangan *Von Mises* Pada *Trunnion* CR#3



Gambar 4.30. Tegangan *Von Mises* Pada Area Sekitar Las Pada *Trunnion* CR#3

4.6.4 Hasil Rangkuman Analisis Lokal *Trunnion*

Dengan didapatkannya nilai tegangan maksimum dan tegangan minimun yang didapatkan dari hasil analisis metode elemen hingga, dapat dilakukan perhitungan *unity check* untuk mengetahui kemampuan struktur menahan tegangan maksimum yang terjadi. *Unity Check* merupakan hasil perbandingan rasio antara tegangan yang terjadi dengan tegangan ijin material dengan memperhatikan faktor keamanan. Tabel hasil perhitungan *unity check* dapat dilihat pada **Tabel 4.36**.

Tabel 4.36. Perhitungan *Unity Check* Pada Masing-Masing *Trunnion*

Deskripsi	Material	σ_{yield} (MPa)	Von Misses Factor	Safety Factor	σ_{VM} Max (MPa)	UC
Trunnion #CR1	S50	345	0,67	1,50	81,11	0,53
Trunnion #CR2	S50	345	0,67	1,50	52,69	0,34
Trunnion #CR3	S50	345	0,67	1,50	75,04	0,49

$$UC = \frac{\sigma_{VM(Max)}\ x\ SF}{0{,}67\ x\ \sigma_{yield}}$$

(Sumber: Heavy Lift Installation by Li Liang, Chapter 8)

Dimana :

σ_{VM} : Tegangan Von Mises (MPa)

SF : *Safety Factor*

σ_{yield} : Tegangan Ijin Material (MPa)

Berdasarkan hasil perhitungan *unity check* yang dilakukan, dapat disimpulkan jika seluruh struktur *trunnion* yang digunakan tidak mengalami kegagalan. Dengan demikian, seluruh dimensi struktur *trunnion* yang telah dilakukan analisis dapat digunakan untuk proses fabrikasi.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang studi analisis desain *trunnion* untuk proses *lifting jacket* pada saat proses fabrikasi tahap *roll up*, maka didapatkan kesimpulan sebagai jawaban atas rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis pemodelan struktur menggunakan *software* SACS 12.0 berupa integritas struktur menunjukan beban angkat pada *crane* CR#1 sebesar **200,64 Ton**, *crane* CR#2 sebesar **117,39 Ton**, dan *crane* CR#3 sebesar **152,99 Ton**. Kemudian hasil perhitungan manual konfigurasi *rigging* menghasilkan kesimpulan operasi *lifting* akan menggunakan sistem *wrapped sling* yang dikaitkan pada *trunnion*. Pada setiap nomor *crane* akan menggunakan ukuran diameter *sling* yang berbeda-beda yaitu, *crane* CR#1 menggunakan ***sling* 4,0 in**, *crane* CR#2 menggunakan ***sling* 3,0 in**, dan *crane* CR#3 menggunakan ***sling* 3,5 in**.
2. Hasil analisis menunjukan reaksi yang akan menjadi beban angkat pada setiap *trunnion* berbeda-beda. Dengan demikian, desain dimensi *trunnion* yang akan digunakan juga berbeda. *Trunnion* pada *crane* CR#1 akan menggunakan pipa baja dengan **diameter 762 mm** dan **tebal 25,4 mm**, dengan *sling stopper* dengan **diameter 298,5 mm** dan **tebal 20 mm**. *Trunnion* pada *crane* CR#2 akan menggunakan pipa baja dengan **diameter 610 mm** dan **tebal 25,4 mm**, dengan *sling stopper* dengan **diameter 273 mm** dan **tebal 9,27 mm**. *Trunnion* pada *crane* CR#3 akan menggunakan pipa baja dengan **diameter 660 mm** dan **tebal 25,4 mm**, dengan *sling stopper* dengan **diameter 273 mm** dan **tebal 12,7 mm**.
3. Kondisi beban angkat yang berbeda pada masing-masing *trunnion* menghasilkan nilai tegangan maksimum yang berbeda. Tegangan maksimum terjadi pada sekitar area *trunnion* yang bersinggungan dengan *sling*. Nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *trunnion* CR#1 sebesar **81,114 MPa**, *trunnion* CR#2 sebesar **52,687 MPa**, dan *trunnion* CR#3

sebesar **75,037 MPa**. Kemudian diketahui hasil rasio antara tegangan yang terjadi dengan tegangan ijin Von Mises pada *trunnion* CR#1 sebesar **0,53**, *trunnion* CR#2 sebesar **0,34**, dan *trunnion* CR#3 sebesar **0,49**.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi masukan dan bahan pertimbangan dalam pengembangan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Melakukan analisis kekuatan dan pengujian kapasitas dari *crane* pada saat operasi *lifting* akan berlangsung.
2. Melakukan analisis kekuatan struktur *trunnion* pada setiap derajat kemiringan *roll up* yang dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, F. K., 2018. *Analisis Tegangan Krisis Skid Frame Saat Skidding Load Out Struktur Wellhead Platform*. Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Adly, Emil, dan Frans Trulyadi. *Analisa Perbandingan Metode Flip Over dan Roll-Up Pada Assembly Jacket Structure (Studi Kasus Jacket WHTC Kepodang di PT.McDermott Indonesia).* Batam: Universitas International Batam.

Afandi, Akmal. 2017. *Perbandingan Umur Struktur Kaki Jacket Akbiat Beban Aksial dan Beban Gelombang.* Makasar: Tugas Akhir FT-UNHAS.

Alfian, Fajar. 2019. *Analisis Risiko Lifting pada Proses Decommisioning Fixed Jacket Platform Dengan Metode Simulasi Monte Carlo.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

AISC ASD (American Institute of Steel Construction, Inc). 1989. *Manual of Steel Construction Allowable Stress Design 9th Edition*.

Anderson, T.L., 2005. *Third Edition, Fracture Mechanics: Fundamental and Applications*. Florida: Taylor and Francis Group Publishers.

API BULLETIN 2U (BULL 2U). *Bulletin On Stability Design of Cylindrical Shells.* Washington DC: American Petroleum Institute.

API RP 2A WSD. 2005. *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design.* Washington DC: American Petroleum Institute.

ASME B30.9. 2014. *Slings. Safety Standard for Cableways, Cranes, Derricks, Hoists, Hooks, Jacks, and Slings*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.

Chakrabarti, S. K., 2005. *Handbook of Offshore Engineering Volume I, 1st ed.* United Kingdom: Elsevier.

DNV OS H205. 2014. *Lifting Operations (VMO Stadard- Part 2-5).* Norway: Det Norske Veritas.

Gayuh, Iqbal. 2016. *Analisis Keandalan Struktur Padeye Berdasarkan Konfigurasi Rigging pada Lifting Upper Deck Modul MODEC dengan Pendekatan Dinamik* . Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Gdoutos, E. E., 1993. *Fracture Mechanics (An Introduction)*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Gere, James M., 2004. *Mechanics of Materials (Sixth Edition)*. Belmont USA: Thomson Learning Inc.

Hasni. 1993. *Tegangan Pada Jacket Selama Proses Roll - Up.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Liang, Li. 2004. *Heavy Lift Installaton Study of Offshore Structures*. Singapore: National University of Singapore.

Ludfianto, Bagus R. 2012. *Analisis Konfigurasi Rigging Pada Proses Lifting Deck Structure.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Murdjito. (1998). Bangunan Lepas Pantai. Buku Kuliah FT Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya: FT Kelautan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Popov, E.P. 1996. *Mechanics of Materials*. Berkeley: University of California

Pramita, H.G. 2013. *Analisis Struktur Padeye pada Proses LiftingJacket Empat Kaki dengan Pendekatan Dinamik*. Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Prayuda, W. K., Wisnu Wardana, dan Murdjito. *Analisa Variasi Diameter dan Variasi Design By-Pass Pada Sistem Perpipaan ROPP-030*. Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Simatupang, Reni. 2008. *Analisis Struktur Padeye pada Proses Lifting Deck Structure*. Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

Soegiono. 2004. *Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut.* Surabaya: Airlangga Univesity Press.

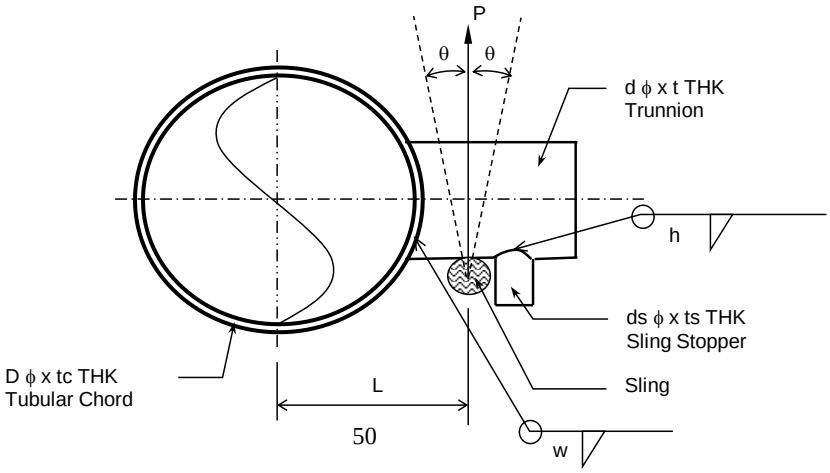
Sukma, B. A. D., 2019. *Analisis Kekuatan Struktur Padeye Saat Lifting Loadout Struktur Topside Wellhead Platform*. Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS.

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN MANUAL DIMENSI *LIFTING TRUNNION*

DESAIN LIFTING TRUNNION PADA CR#1

EL. (-)36.065



Data Geometri

Trunnion Properties

d =	30,000	in	A =	91,106 sq.in
t =	1,000	in	I =	9588,926 in^4
			S =	639,262 in^3

Sling Stopper Properties

ds =	11,752	in	A =	27,123 sq.in
ts =	0,787	in	I =	409,699 in^4
			S =	69,724 in^3

Tubular Chord Properties

D =	76,496	in	A =	325,184 sq.in
tc =	1,378	in	I =	229442,723 in^4
			S =	5998,811 in^3
L =	50,000	in		

Load & Material Data :

P =	442,33	kips	Fy =	50,00 ksi
q =	10,00	degree	SF =	1,50

M_{IPB} = 5198,24 kip.in

M_{OPB} = 519,82 kip.in (asumsi 10% dari M_{IPB})

Semua kalkulasi dilakukan berdasarkan panduan API RP 2A WSD)

Trunnion Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

$f_v =$ 9,71 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,73 **< 1.00 , OK !**

2. Bending Check

$$f_{IPB} = \frac{M_{IPB}}{S}$$

$f_{IPB} =$ 8,13 ksi

$$f_{OPB} = \frac{M_{OPB}}{S}$$

$f_{OPB} =$ 0,81 ksi

$$SR = \frac{(f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,45 **< 1.00 , OK !**

3. Axial Check

$$f_a = \frac{P * \tan q}{A}$$

$f_a =$ 0,86 ksi

$$SR = \frac{f_a * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,06 **< 1.00 , OK !**

4. Combined Stress (Axial + Bending)

$$SR = \frac{(fa + f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,49 **< 1.00 , OK !**

Sling Stopper Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

f_v = 5,75 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,43 **< 1.00 , OK !**

2. Fillet Welds Check

Weld size = 0,500 in Allowable stress on welds metal = 21,00 ksi

A_{eff} = 13,444 sq.in

$$f_v = \frac{2 * V}{A_{eff}}$$

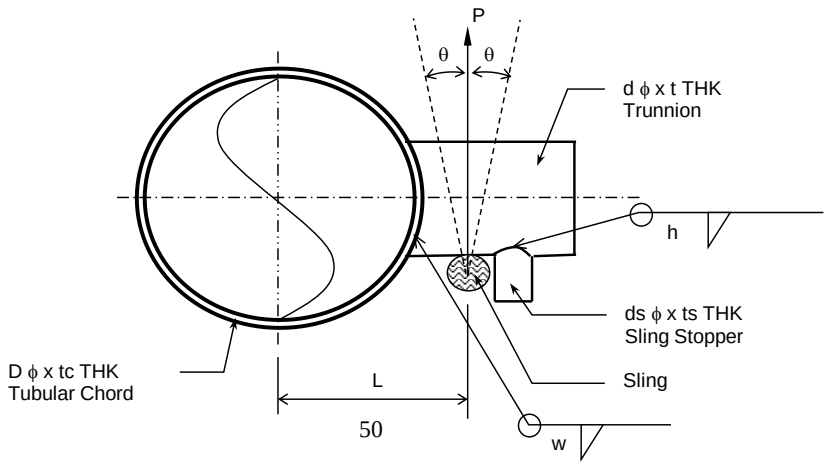
f_v = 11,60 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{21,00}$$

SR = 0,83 **< 1.00 , OK !**

DESAIN LIFTING TRUNNION PADA CR#2

EL. (-)17.515



Data Geometri

Trunnion Properties

d =	24,016	in	A =	72,306 sq.in
t =	1,000	in	I =	4796,829 in^4
			S =	399,474 in^3

Sling Stopper Properties

ds =	10,748	in	A =	11,905 sq.in
ts =	0,365	in	I =	160,627 in^4
			S =	29,890 in^3

Tubular Chord Properties

D =	76,496	in	A =	233,491 sq.in
tc =	0,984	in	I =	166450,313 in^4
			S =	4351,866 in^3
L =	50,000	in		

Load & Material Data :

P =	258,79	kips	Fy =	50,00 ksi
q =	10,00	degree	SF =	1,50

M_{IPB} = 3041,28 kip.in

M_{OPB} = 304,13 kip.in (asumsi 10% dari M_{IPB})

Semua kalkulasi dilakukan berdasarkan panduan API RP 2A WSD)

Trunnion Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

$f_v =$ 7,16 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,54 **< 1.00 , OK !**

2. Bending Check

$$f_{IPB} = \frac{M_{IPB}}{S}$$

$f_{IPB} =$ 7,61 ksi

$$f_{OPB} = \frac{M_{OPB}}{S}$$

$f_{OPB} =$ 0,76 ksi

$$SR = \frac{(f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,42 **< 1.00 , OK !**

3. Axial Check

$$f_a = \frac{P * \tan q}{A}$$

$f_a =$ 0,63 ksi

$$SR = \frac{f_a * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,05 **< 1.00 , OK !**

4. Combined Stress (Axial + Bending)

$$SR = \frac{(fa + f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,45 **< 1.00 , OK !**

Sling Stopper Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

$f_v =$ 7,67 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,57 **< 1.00 , OK !**

2. Fillet Welds Check

Weld size = 0,500 in Allowable stress on welds metal = 21,00 ksi

$A_{eff} =$ 12,329 sq.in

$$f_v = \frac{2 * V}{A_{eff}}$$

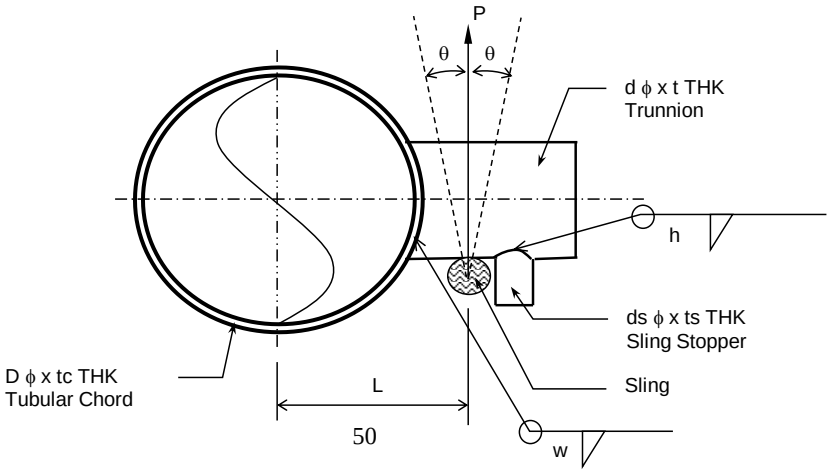
$f_v =$ 7,40 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{21,00}$$

SR = 0,53 **< 1.00 , OK !**

DESAIN LIFTING TRUNNION PADA CR#3

EL. (-)1.940



Data Geometri

Trunnion Properties

d =	25,984	in	A =	78,490 sq.in
t =	1,000	in	I =	6134,146 in^4
			S =	472,143 in^3

Sling Stopper Properties

ds =	10,748	in	A =	16,098 sq.in
ts =	0,500	in	I =	211,828 in^4
			S =	39,417 in^3

Tubular Chord Properties

D =	77,283	in	A =	235,926 sq.in
tc =	0,984	in	I =	171711,195 in^4
			S =	4443,672 in^3
L =	50,000	in		

Load & Material Data :

P =	337,30	kips	Fy =	50,00 ksi
q =	10,00	degree	SF =	1,50

M_{IPB} = 3831,17 kip.in

M_{OPB} = 383,12 kip.in (asumsi 10% dari M_{IPB})

Semua kalkulasi dilakukan berdasarkan panduan API RP 2A WSD)

Trunnion Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

$f_v =$ 8,59 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,64 **< 1.00 , OK !**

2. Bending Check

$$f_{IPB} = \frac{M_{IPB}}{S}$$

$f_{IPB} =$ 8,11 ksi

$$f_{OPB} = \frac{M_{OPB}}{S}$$

$f_{OPB} =$ 0,81 ksi

$$SR = \frac{(f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,45 **< 1.00 , OK !**

3. Axial Check

$$f_a = \frac{P * \tan q}{A}$$

$f_a =$ 0,76 ksi

$$SR = \frac{f_a * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,06 **< 1.00 , OK !**

4. Combined Stress (Axial + Bending)

$$SR = \frac{(fa + f_{IPB} + f_{OPB}) * SF}{0.6 * Fy}$$

SR = 0,48 **< 1.00 , OK !**

Sling Stopper Stress Check

1. Shear Check

$$f_v = \frac{2 * V}{A}$$

f_v = 7,39 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{0.4 * Fy}$$

SR = 0,55 **< 1.00 , OK !**

2. Fillet Welds Check

Weld size = 0,500 in Allowable stress on welds metal = 21,00 ksi

A_{eff} = 12,329 sq.in

$$f_v = \frac{2 * V}{A_{eff}}$$

f_v = 9,65 ksi

$$SR = \frac{f_v * SF}{21,00}$$

SR = 0,69 **< 1.00 , OK !**

LAMPIRAN B

SACS *OUTPUT* PEMODELAN STRUKTUR *JACKET* TANPA MENGGUNAKAN *STRONGBACK*

**** LOAD CASE STATUS REPORT ****

LOAD CASE	LOAD ID	PRINT OPTION	DEAD LOAD	P-DELTA LOAD	LOAD FACTOR	AMOD FACTOR
1	1	YES	NO	NO	1.00	1.00
2	2	YES	NO	NO	1.00	1.00
3	3	YES	NO	NO	1.00	1.00
4	4	YES	NO	NO	1.00	1.00
5	CB1	YES	NO	NO	1.00	1.00

APPLIED LOAD SUMMARY

LOAD NO.	CASE ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	-1.393248E-06	-5.665285E-07	-2.536485E+02
2	2	-2.467220E-06	-4.716670E-06	-1.838862E+03
3	3	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.064000E+00
4	4	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.290600E+00

FIXED DEGREE OF FREEDOM REACTION SUMMARY

LOAD CASE NO.	ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	3.551768E-06	5.665087E-07	2.536485E+02
2	2	1.416815E-05	4.716517E-06	1.838862E+03
3	3	-6.160966E-09	-6.872081E-14	5.064000E+00
4	4	-4.860151E-09	-4.573608E-14	7.290600E+00

SPRING FORCE SUMMARY

LOAD CASE NO.	ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	2.158525E-06	0.000000E+00	0.000000E+00
2	2	1.170088E-05	0.000000E+00	0.000000E+00
3	3	-6.161839E-09	0.000000E+00	0.000000E+00
4	4	-4.860865E-09	0.000000E+00	0.000000E+00

***** SACS LOAD CASE REPORT *****

LOAD NO.	LOAD CASE	TYPE	PRINT OPTION	AMOD FACTOR	WATER DEPTH FT	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	F
1	1	BASIC	YES	1.000	0.0										
2	2	BASIC	YES	1.000	0.0										
3	3	BASIC	YES	1.000	0.0										
4	4	BASIC	YES	1.000	0.0										
5	CB1	COMB	YES	1.000	0.0	1	1.00	2	1.00	3	1.00	4	1.00		

SACS-IV SYSTEM FIXED JOINTS REACTION FORCES AND MOMENTS

JOINT NUMBER	LOAD CASE	********** KIPS ********** FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	********** FT-KIPS ********** MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
CR1	1	0.000	0.000	63.037	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	429.745	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	0.503	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	0.404	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	493.689	0.000	0.000	0.000
CR2	1	0.000	0.000	34.538	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	103.510	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	-3.603	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	-2.897	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	131.549	0.000	0.000	0.000
CR3	1	0.000	0.000	19.942	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	349.748	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	8.164	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	6.138	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	383.991	0.000	0.000	0.000
RS1	1	1.333	3.986	41.528	0.000	0.000	0.000
	2	-5.089	28.990	288.307	0.000	0.000	0.000
	3	0.002	-0.001	-0.043	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	-0.001	-0.047	0.000	0.000	0.000
	CB1	-3.755	32.975	329.744	0.000	0.000	0.000
RS2	1	-0.090	-6.409	49.426	0.000	0.000	0.000
	2	0.940	-45.850	226.014	0.000	0.000	0.000
	3	-0.006	0.001	-0.038	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.001	0.049	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.844	-52.257	275.451	0.000	0.000	0.000
RS3	1	-0.869	0.460	39.907	0.000	0.000	0.000
	2	8.179	1.846	242.418	0.000	0.000	0.000
	3	-0.004	0.000	-0.030	0.000	0.000	0.000
	4	-0.042	0.001	-0.371	0.000	0.000	0.000
	CB1	7.264	2.308	281.924	0.000	0.000	0.000
RS4	1	-0.374	1.963	5.271	0.000	0.000	0.000
	2	-4.031	15.013	199.120	0.000	0.000	0.000
	3	0.009	0.000	0.111	0.000	0.000	0.000
	4	0.041	-0.001	4.015	0.000	0.000	0.000
	CB1	-4.354	16.974	208.517	0.000	0.000	0.000

SACS-IV SYSTEM FIXED JOINTS REACTION FORCES AND MOMENTS SUMMARY
*** MOMENTS SUMMED ABOUT ORIGIN ***

LOAD CASE	********** KIPS ********** FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	********** FT-KIPS ********** MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
1	0.000	0.000	253.649	11566.551	-16003.933	0.000
2	0.000	0.000	1838.862	86909.688	-144035.812	-0.001
3	0.000	0.000	5.064	498.424	-839.730	0.000
4	0.000	0.000	7.291	358.789	-1232.991	0.000
CB1	0.000	0.000	2104.865	99333.461	-162112.469	-0.001

LAMPIRAN C

SACS *OUTPUT* PEMODELAN STRUKTUR *JACKET* DENGAN MENGGUNAKAN *STRONGBACK*

**** LOAD CASE STATUS REPORT ****

LOAD CASE	LOAD ID	PRINT OPTION	DEAD LOAD	P-DELTA LOAD	LOAD FACTOR	AMOD FACTOR
1	1	YES	NO	NO	1.00	1.00
2	2	YES	NO	NO	1.00	1.00
3	3	YES	NO	NO	1.00	1.00
4	4	YES	NO	NO	1.00	1.00
5	CB1	YES	NO	NO	1.00	1.00

APPLIED LOAD SUMMARY

LOAD NO.	CASE ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	-1.368831E-06	-5.387038E-07	-2.536485E+02
2	2	-2.660965E-06	-1.158378E-05	-1.889464E+03
3	3	0.000000E+00	0.000000E+00	-7.290600E+00
4	4	0.000000E+00	0.000000E+00	-5.064000E+00

FIXED DEGREE OF FREEDOM REACTION SUMMARY

LOAD CASE NO.	ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	1.726692E-06	5.385915E-07	2.536485E+02
2	2	5.727101E-06	1.158271E-05	1.889464E+03
3	3	3.129440E-08	-5.586191E-12	7.290600E+00
4	4	3.841367E-08	-6.867254E-12	5.064000E+00

SPRING FORCE SUMMARY

LOAD CASE NO.	ID	TOTAL FORCE(X) KIPS	TOTAL FORCE(Y) KIPS	TOTAL FORCE(Z) KIPS
1	1	3.577754E-07	0.000000E+00	0.000000E+00
2	2	3.065544E-06	0.000000E+00	0.000000E+00
3	3	3.129266E-08	0.000000E+00	0.000000E+00
4	4	3.841151E-08	0.000000E+00	0.000000E+00

***** SACS LOAD CASE REPORT *****

LOAD NO.	LOAD CASE	TYPE	PRINT OPTION	AMOD FACTOR	WATER DEPTH FT	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	FACTOR	LC	F
1	1	BASIC	YES	1.000	0.0										
2	2	BASIC	YES	1.000	0.0										
3	3	BASIC	YES	1.000	0.0										
4	4	BASIC	YES	1.000	0.0										
5	CB1	COMB	YES	1.000	0.0	1	1.00	2	1.00	3	1.00	4	1.00		

SACS-IV SYSTEM FIXED JOINTS REACTION FORCES AND MOMENTS

JOINT NUMBER	LOAD CASE	********** KIPS ********** FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	********** FT-KIPS ********** MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
CR1	1	0.000	0.000	58.469	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	384.729	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	-0.391	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	-0.478	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	442.329	0.000	0.000	0.000
CR2	1	0.000	0.000	45.092	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	216.361	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	-1.179	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	-1.485	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	258.789	0.000	0.000	0.000
CR3	1	0.000	0.000	14.380	0.000	0.000	0.000
	2	0.000	0.000	310.680	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	0.000	5.215	0.000	0.000	0.000
	4	0.000	0.000	7.027	0.000	0.000	0.000
	CB1	0.000	0.000	337.302	0.000	0.000	0.000
RS1	1	4.175	0.998	39.450	0.000	0.000	0.000
	2	12.450	7.997	286.281	0.000	0.000	0.000
	3	0.000	-0.027	-0.020	0.000	0.000	0.000
	4	0.002	-0.033	-0.009	0.000	0.000	0.000
	CB1	16.627	8.936	325.703	0.000	0.000	0.000
RS2	1	-0.981	-2.354	51.131	0.000	0.000	0.000
	2	-7.857	-16.660	239.273	0.000	0.000	0.000
	3	0.034	-0.019	0.001	0.000	0.000	0.000
	4	0.030	-0.025	-0.101	0.000	0.000	0.000
	CB1	-8.775	-19.059	290.303	0.000	0.000	0.000
RS3	1	-1.243	1.591	41.916	0.000	0.000	0.000
	2	6.003	8.408	257.071	0.000	0.000	0.000
	3	-0.053	0.119	-0.338	0.000	0.000	0.000
	4	-0.010	0.148	0.021	0.000	0.000	0.000
	CB1	4.697	10.266	298.669	0.000	0.000	0.000
RS4	1	-1.951	-0.235	3.210	0.000	0.000	0.000
	2	-10.596	0.255	195.070	0.000	0.000	0.000
	3	0.019	-0.073	4.002	0.000	0.000	0.000
	4	-0.022	-0.091	0.090	0.000	0.000	0.000
	CB1	-12.549	-0.144	202.372	0.000	0.000	0.000

SACS-IV SYSTEM FIXED JOINTS REACTION FORCES AND MOMENTS SUMMARY
*** MOMENTS SUMMED ABOUT ORIGIN ***

LOAD CASE	********** KIPS ********** FORCE(X)	FORCE(Y)	FORCE(Z)	********** FT-KIPS ********** MOMENT(X)	MOMENT(Y)	MOMENT(Z)
1	0.000	0.000	253.649	11608.409	-16015.380	0.000
2	0.000	0.000	1889.464	89740.984	-149072.453	0.001
3	0.000	0.000	7.291	358.789	-1232.991	0.000
4	0.000	0.000	5.064	498.424	-839.730	0.000
CB1	0.000	0.000	2155.467	102206.609	-167160.547	0.001

BIODATA PENULIS

Muhammad Akbar Ridho Hilal lahir di Bandung, 12 Desember 1997. Penulis menempuh pendidikan formal pertamanya di SD Assalaam Bandung (lulus tahun 2010), kemudian melanjutkan pendidikannya di SMP Negeri 2 Bandung (lulus tahun 2013), dan menyelesaikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 3 Bandung. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan sarjana (Strata I) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya melalui jalur mandiri. Selama mengenyam pendidikan di bangku perkuliah, penulis kerap aktif di berbagai organisasi kemahasiswaan. Penulis pernah mengemban amanah sebagai Staff Ahli Bidang Pelatihan di Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia HIMATEKLA FTK ITS, *Instructing Committee* Kaderisasi Mahasiswa Baru HIMATEKLA FTK ITS, Ketua Divisi Internal Forum Daerah Mahasiswa Bandung-ITS (BandITS), dan Kepala Departemen Kajian Strategis BEM FTK ITS. Penulis pernah mendapatkan pengalaman berharga saat melakukan kegiatan kerja praktik (magang) di perusahaan fabrikasi PT. McDermott Indonesia, Batam, Kep. Riau. Penulis memiliki minat besar pada struktur bangunan lepas pantai terpancang setelah menyelesaikan kegiatan kerja praktik. Hingga akhirnya, pada tahun 2020 dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **"Studi Analisis Desain *Trunnion* Untuk Proses *Lifting Jacket* Pada Saat Proses Fabrikasi Tahap *Roll Up*"**.

Semoga apa yang telah dilakukan penulis terhadap penulisan tugas akhir ini dapat berkontribusi dan bermanfaat bagi orang banyak. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih banyak telah meluangkan waktu untuk membaca tugas akhir ini.

Kontak Penulis:
e-mail : ridhohilal012@gmail.com
Telp : +62 812 2445 5924