TUGAS AKHIR (MO184804)

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *JACKET* PADA SAAT PROSES *ROLL - UP* DENGAN KONFIGURASI *RIGGING* DAN *ROLL – UP SUPPORT*

Ibrahim Tirta Sumadilaga

NRP. 043116 40000 129

Dosen Pembimbing

Nur Syahroni ST., MT., Ph.D.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

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

FINAL PROJECT – MO 184804

STRENGTH ANALYSIS OF JACKET STRUCTURE DURING ROLL-UP PROCESS WITH RIGGING CONFIGURATION AND ROLL-UP SUPPORT

IBRAHIM TIRTA SUMADILAGA

NRP. 04311640000129

SUPERVISORS

Nur Syahroni ST., MT., Ph.D.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *JACKET* PADA SAAT PROSES *ROLL - UP* DENGAN KONFIGURASI *RIGGING* DAN *ROLL – UP SUPPORT*

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Ibrahim Tirta Sumadilaga

NRP. 04311640000129

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni ST., MT., Ph.D. (Pembimbing 1)

.....

2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 2)

.....

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

.....

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

.....

Surabaya, Maret 2020

(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *JACKET* PADA SAAT PROSES *ROLL - UP* DENGAN KONFIGURASI *RIGGING* DAN *ROLL – UP SUPPORT*

Nama Mahasiswa	**: Ibrahim Tirta Sumadilaga**
NRP	**: 04311640000129**
Departemen	**: Teknik Kelautan FTK-ITS**
Dosen Pembimbing	**: Nur Syahroni ST., MT., Ph.D.**
	Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRAK

Eksplorasi dan eksploitasi laut dalam dibutuhkan infrastruktur yang mendukung untuk aktivitas eksplorasi dan eksploitasi. Salah satu jenis infrastruktur laut dalam yaitu struktur jacket, dalam pembangunan struktur jacket tahap fabrikasi merupakan tahap awal dimana pembuatan struktur dibangun dan pada tahap fabrikasi diperlukan perhatian yang sangat cermat dan teliti, sebab kondisi struktur menentukan tahap selanjutnya. Kegiatan yang perlu diperhatikan yaitu kegiatan roll-up, karena pada proses ini terdapat banyak gaya yang bekerja dan sangat berpengaruh pada struktur jacket. Dalam penelitian ini dibahas mengenai analisis kekuatan struktur dengan analisis konfigurasi rigging dan analisis roll – up support saat proses roll-up pada struktur jacket. struktur jacket dimodelkan menggunakan perangkat lunak SACS 12.0.

Melalui pemodelan struktur dengan menggunakan software SACS 12.0 didapatkan hasil analisis berupa integritas struktur dengan unitycheck terbesar 0.89, reaksi beban terbesar pada titik angkat yaitu 203.04 ton, dan reaksi beban terbesar pada tumpuan yaitu 347.13 ton. Analisis pemodelan konfigurasi rigging didapatkan pada CR#1 yaitu 88.9 mm, CR#2 yaitu 63.5 mm, dan CR#3 yaitu 88.9 mm. Analisis pemodelan roll – up support didapatkan desain dengan diameter 660 mm, ketebalan 25 mm, panjang 4028.5 mm. Pemodelan saddle pada roll – up support didapatkan desain yaitu dengan panjang 2139.42 mm. tebal 15 mm, dan lebar 732 mm.

Kata Kunci: Fabrikasi, *Jacket, Roll - Up, Konfigurasi Rigging, SACS.*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR *JACKET* PADA SAAT PROSES *ROLL - UP* DENGAN KONFIGURASI *RIGGING* DAN *ROLL – UP SUPPORT*

Name : Ibrahim Tirta Sumadilaga

NRP : 04311640000129

Department : Ocean Engineering FTK-ITS

Supervisor : Nur Syahroni ST., MT., Ph.D.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

ABSTRACT

Exploration and exploitation in the deep sea require a supportive infrastructure for the activities of them. Structure jacket is one of type marine infrastructure, in the construction of a fabrication stage jacket structure is an early stage where the creation of structures constructed and at the stage of fabrication needed very careful and through of attention. The activities to be considered are roll-up process, because in this process there are many force that work and impactful in the structure of the jacket. In this study discussed about strength analysis of structure with rigging configuration and roll-up support analysis during the roll-up process. Jacket structure is modelled using SACS 12.0 software.

The structure was modeled by using SACS 12.0 and the results of analysis were obtained in the form of structural integrity with the largest Unity check 0.89, the biggest load reaction at the lifting point is 203.04 ton, and the biggest load reaction at the support is 347.13 ton. Analysis of rigging configuration obtained in CR # 1 is 88.9 mm, CR # 2 is 63.5 mm, and CR # 3 is 88.9 mm. Roll-up support analysis is obtained with a diameter of 660 mm, thickness of 25 mm, length 4028.5 mm. Saddle modeling on roll-up support obtained design with a length of 2139.42 mm. thickness 15 mm, and width 732 mm.

Key Words: *Fabrication, Jacket, Roll - Up, Rigging, SACS*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas limpahan hidayah dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Kekuatan Struktur *Jacket* Pada Saat Proses *Roll - Up* dengan Konfigurasi *Rigging* dan *Roll – Up Support*" dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini, penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan. Maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini ataupun untuk penelitian selanjutnya. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat memberikan kontribusi dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta memicu rekan mahasiswa agar menghasilkan karya ilmiah yang jauh lebih berkualitas dan bisa bermanfaat untuk dunia pendidikan.

Wassalamualaikum Wr Wb

Surabaya, Maret 2020

Ibrahim Tirta Sumadilaga

(halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, membimbing dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa syukur dan ucapan terimakasih kepada:

1. Orang tua serta kakak – kakak penulis yang selalu mendukung baik secara moral dan materi.
2. Bapak Nur Syahroni ST., MT., Ph.D.selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing saya dengan sabar juga memberikan motivasi dan membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing saya dengan memberikan banyak saran sebagai arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Eng. Shade Rahmawati ST, MT, dosen wali penulis, dan semua dosen di Jurusan Teknik Kelautan ITS.
5. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc., Bapak Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D selaku dosen-dosen penguji yang mengevaluasi dan memberikan masukan dalam tugas akhir ini
6. Seluruh dosen dan staff ITS khususnya departemen teknik kelautan.
7. Teman- teman “Arek Arek”, “KKN”, yang menemani dan memberikan rasa kebersamaan selama menjalani kuliah di ITS
8. Teman-teman mahasiswa teknik kelautan, khususnya Angkatan 2016 “ADHIWAMASTYA” yang membantu dan memberikan semangat dalam mengerjakan tugas akhir ini.

Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan terimakasih atas semua dorongan dan doanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini

Surabaya, Maret 2020

Penulis

Ibrahim Tirta Sumadilaga

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN iii
ABSTRAK v
KATA PENGANTAR ix
UCAPAN TERIMA KASIH xi
DAFTAR ISI xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR TABEL xvii
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Masalah 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II 5
TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI 5
2.1 Tinjauan Pustaka 5
2.2 Dasar Teori 6
BAB III 25
METODOLOGI PENELITIAN 25
3.1 Metodologi Penelitian 25
3.2 Rencana Pengerjaan Tugas Akhir 27
BAB IV 31
ANALISIS DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Pengumpulan Data 31
4.2 Penentuan *Angle of Balance* 33
4.3 Penentuan Titik Angkat 34
4.4 Analisis Pemodelan *Roll – Up* 34

4.5 Menentukan Konfigurasi *Rigging* 47
4.6 Menentukan Desain *Roll – up Support* 57
BAB V 61
KESIMPULAN DAN SARAN 61
5.1 Kesimpulan 61
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 62
LAMPIRAN A
LAMPIRAN B
LAMPIRAN C
BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses *Roll – Up* struktur *jacket* 2
Gambar 2. 1 *Naked Bent* 6
Gambar 2. 2 *Proses Roll – Up* 7
Gambar 2. 3 *Loaded Bent* 7
Gambar 2. 4 Prosedur *Roll-up* 8
Gambar 2. 5 Penentuan Panjang *Sling* 12
Gambar 2. 6 Komponen *Sling* 13
Gambar 2. 7 Sudut antara *Sling* dan *Horizontal Plane* 14
Gambar 2. 8 *Strongback* 15
Gambar 2. 9 *Roll – Up Support* 15
Gambar 2. 10 *Support Section Properties* 15
Gambar 2. 11 *Saddle* 16
Gambar 2. 12 Tegangan Normal 17
Gambar 2. 13 Momen Lentur 19
Gambar 2. 14 *In-plane bending* momen 20
Gambar 2. 15 Out plane bending momen (sumber: quora.com) 20
Gambar 2. 16 Tegangan Geser (sumber: Popov,1996) 21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian 25
Gambar 3. 2 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan) 26
Gambar 3. 3 *Drawing Jacket* 27
Gambar 3. 4 *strongback* 29
Gambar 3. 5 *Roll – up Support* 30
Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur *jacket* dengan SACS 12.0 *Connect* 31
Gambar 4. 2 Pemodelan beban anode 32
Gambar 4. 3 Titik berat struktur 33
Gambar 4. 4 Mencari sudut *angle of balance* 33
Gambar 4. 5 Pemodelan struktur dengan 3 *crane* 35
Gambar 4. 6 Analisis pemodelan tanpa *strongback* 36
Gambar 4. 7 Analisis pemodelan pada posisi 0 derajat 37
Gambar 4. 8 Analisis pemodelan pada posisi 15 derajat 38
Gambar 4. 9 A nalisis pemodelan pada posisi 30 derajat 39
Gambar 4. 10 Analisis pemodelan pada posisi 45 derajat 40
Gambar 4. 11 Analisis pemodelan pada posisi 60 derajat 41
Gambar 4. 12 Analisis pemodelan pada posisi 67.6 derajat 43
Gambar 4. 13 Analisis pemodelan pada posisi 75 derajat 44
Gambar 4. 14 Analisis pemodelan pada posisi 90 derajat 45
Gambar 4. 15 *sling* diikat langsung ke *chord* 47
Gambar 4. 16 Pemodelan *sling* 50
Gambar 4. 17 Reaksi *tubular* pada *crane 1* 51
Gambar 4. 18 Grafik *Meshing Sensitivity* pada *crane* 1 51
Gambar 4. 19 Grafik *meshing sensitivity* pada *crane* 2 54
Gambar 4. 20 Reaksi *tubular* pada *crane* 2 54

Gambar 4. 21 Grafik *Meshing sensitivity* pada *crane* 3 56
Gambar 4. 22 Reaksi *tubular* pada *crane* 3 57
Gambar 4. 23 *Roll – up support* 57
Gambar 4. 24 *Saddle* 60

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 *Weight Factor in Lifting Operation* 11
Tabel 2. 2 Faktor di Operasi *Lifting* (sumber: Li Liang, NUS) 11
Tabel 2. 3 *Effevtive Length Factor, K* 18
Tabel 4. 1 Berat struktur dan anode 32
Tabel 4. 2 Tubular member properties 32
Tabel 4. 3 Titik berat struktur 34
Tabel 4. 4 *Joint fixity* pada tumpuan 35
Tabel 4. 5 *Unity check* 0 derajat tanpa *strongback* 36
Tabel 4. 6 Jumlah dan ukuran *strongback* 36
Tabel 4. 7 *Unity check* pada posisi 0 derajat 37
Tabel 4. 8 Reaksi tumpuan pada posisi 0 derajat 37
Tabel 4. 9 Reaksi *crane* pada posisi 0 derajat 38
Tabel 4. 10 *Unity check* pada posisi 15 derajat 38
Tabel 4. 11 Reaksi tumpuan pada posisi 15 derajat 39
Tabel 4. 12 Reaksi crane pada posisi 15 derajat 39
Tabel 4. 13 *Unity check* pada posisi 30 derajat 40
Tabel 4. 14 Reaksi tumpuan pada posisi 30 derajat 40
Tabel 4. 15 Reaksi crane pada posisi 30 derajat 40
Tabel 4. 16 *Unity check* tumpuan pada posisi 45 derajat 41
Tabel 4. 17 Reaksi tumpuan pada posisi 45 derajat 41
Tabel 4. 18 Reaksi *crane* pada posisi 45 derajat 41
Tabel 4. 19 *Unity check* pada posisi 60 derajat 42
Tabel 4. 20 Reaksi tumpuan pada posisi 60 derajat 42
Tabel 4. 21 Reaksi *crane* pada posisi 60 derajat 42
Tabel 4. 22 *Unity check* pada posisi 67.6 derajat 43
Tabel 4. 23 Reaksi tumpuan pada posisi 67.6 43
Tabel 4. 24 Reaksi *crane* pada posisi 67.6 derajat 44
Tabel 4. 25 *Unity check* pada posisi 75 derajat 44
Tabel 4. 26 Reaksi tumpuan pada posisi 75 derajat 45
Tabel 4. 27 Reaksi *crane* pada posisi 75 derajat 45
Tabel 4. 28 *Unity check* pada posisi 90 derajat 46
Tabel 4. 29 Reaksi tumpuan pada posisi 90 derajat 46
Tabel 4. 30 Reaksi *crane* pada posisi 90 derajat 46
Tabel 4. 31 Hasil *unity check* tiap sudut 46
Tabel 4. 32 Hasil reaksi tumpuan tiap sudut 47
Tabel 4. 33 Hasil reaksi *crane* tiap sudut 47
Tabel 4. 34 Properties pada *sling* 48
Tabel 4. 35 *Minimum breaking load* pada *sling* 48
Tabel 4. 36 Beban dan ukuran *chord* 48
Tabel 4. 37 Panjang dan diameter *sling* pada *crane#1* 49

Tabel 4. 38 Hasil Analisis pada *crane* 1 dengan ANSYS 50
Tabel 4. 39 Panjang dan diameter pada *crane#2* 51
Tabel 4. 40 Hasil Analisis pada *crane* 2 dengan ANSYS 53
Tabel 4. 41 Panjang dan diameter pada *crane#3* 54
Tabel 4. 42 Hasil Analsisis pada *crane* 3 56
Tabel 4. 43 Properti *roll – up support* 57
Tabel 4. 44 *section* property *roll -up support* 58
Tabel 4. 45 Beban terhadap *roll – up support* 58
Tabel 4. 46 Menentukan tegangan ijin *bending* 58
Tabel 4. 47 *inplane* dan *ouplane* bending 59
Tabel 4. 48 Desain *Saddle* 60

BAB I

PENDAHULUAN

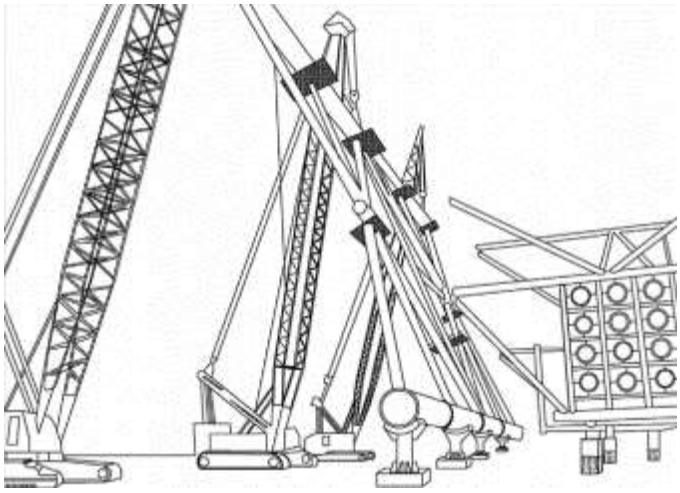
BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ekploitasi minyak bumi dan gas semakin meningkat sehingga bangunan lepas pantai semakin dikembangkan hingga saat ini. Berkembangnya bangunan lepas pantai disebabkan akan kebutuhan minyak dan gas bumi oleh masyarakat semakin banyak. Dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat, maka dilakukan eksplorasi untuk menemukan ladang-ladang minyak dan gas baru. Berbagai jenis struktur lepas pantai dikembangkan dari bangunan terpancang hingga bangunan yang dapat dipindah.

Bangunan lepas pantai terdiri dari dua struktur utama yaitu sub-struktur atas atau *deck* dan sub – struktur bawah atau disebut *jacket*. Dalam pembangunan struktur jacket terdiri dari beberapa tahap yang saling berkaitan dari tahap awal yaitu tahap fabrikasi sampai tahap akhir yaitu instalasi, jika dalam suatu tahap mengalami masalah maka tahap yang lain ikut berpengaruh. Dengan demikian dalam proses pembuatan konstruksi *jacket* diperlukan adanya sistem yang sesuai sehingga pelaksanaan pembuatan dapat berjalan dengan lancar sesuai dengan rencana dan struktur tidak mengalami kerusakan.

Tahap fabrikasi merupakan tahap awal dimana dalam pembuatan struktur diperlukan perhatian yang sangat cermat dan teliti, sebab kondisi struktur pada tahap awal menentukan tahap selanjutnya. Tahap yang perlu diperhatikan yaitu pada tahap *roll - up*, karena pada proses ini terdapat banyak gaya yang bekerja dan sangat berpengaruh pada keadaan struktur *jacket*. Gaya-gaya yang bekerja saat proses *roll-up* adalah gaya berat, yaitu berat stuktur itu sendiri, gaya geser, gaya aksial, gaya bending, dan sebagainya.



Gambar 1. 1 Proses *Roll – Up* struktur *jacket*
(sumber: Samie, N,2016)

Salah satu metode yang digunakan untuk proses *roll-up* yaitu *lifting* seperti pada Gambar 1.1. *Lifting* merupakan proses pengangkatan struktur dengan menggunakan *crane*. *Lifting* dengan menggunakan *crawler crane* merupakan salah satu kegiatan yang penting di fabrikasi. Metode *lifting* akan berhubungan dengan konfigurasi *rigging* yang digunakan, berkaitan dengan penentuan *lift point, sling, shackle. Lift point* yang akan digunakan harus direncanakan dengan tepat, karena posisi *lift point* akan mempengaruhi titik berat dari struktur terhadap sumbu globalnya.

Dalam perancangan dan pembuatan suatu struktur, salah satu yang perlu dianalisa adalah dengan melakukan analisa ketika struktur diputar atau *roll-up* tiap derajatnya. Analisa perlu dilakukan agar memenuhi kriteria saat melakukan proses *roll-up* dengan konfigurasi *rigging* dan *roll – up support*, hal ini perlu diketahui agar keamanan struktur ketika saat *roll-up* tidak boleh mengalami kerusakan atau *overstress* selama proses *roll-up.*

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana pemilihan *sling* yang dibutuhkan dan *arrangement* pada saat *jacket loaded bent* di *roll- up?*
2. Bagaimana pengaruh *rolling angle* pada saat *roll-up* terhadap kekuatan struktur *jacket loaded bent?*
3. Bagaimana desain *roll – up support* untuk *jacket loaded bent* ketika di *roll – up*?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Memilih jenis *sling* yang dibutuhkan dan *arrangement* pada saat *jacket loaded bent* di *roll – up.*
2. Menganalisis pengaruh *rolling angle* pada saat *roll – up* terhadap kekuatan struktur *jacket loaded bent.*
3. Mendesain *roll – up support* untuk *jacket loaded bent* ketika di *roll - up.*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat pengerjaan tugas akhir ini adalah didapat pemahaman mengenai pemilihan *sling* yang dibutuhkan pada *jacket* ketika proses *roll - up,* pemahaman mengenai pengaruh *rolling angle* pada saat *roll – up* terhadap kekuatan struktur *jacket,* dan pemahaman mengenai desain *roll – up support* untuk *jacket* ketika di *roll – up.*

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diambil untuk Analisa proses *roll-up* pada pengangangkatan 0 sampai 90 derajat, yaitu:

1. Struktur dianggap semua bagian terikat satu sama yang lain dengan baik.
2. Struktur *jacket* yang dimodelkan yaitu *loaded bent.*
3. Dalam analisa berat struktur paling berat yang diambil dalam proses *roll-up.*
4. *Sling* diikat langsung ke *chord.*

5. *Crane* mampu menahan beban struktur.
6. Struktur tanah di fabrikasi dianggap mampu menahan beban struktur
7. Beberapa bagian yang lain dari *jacket* tidak dianggap sebagai bagian model tetapi diasumsikan suatu beban.
8. Struktur *rollup* menggunakan sudut 0°,15°,30°,45°,60°,AoB (*Angle of Balance),* 75°, 90° *Final Position.*
9. *Tie-Back* diaangap dapat menahan beban struktur ketika melewati posisi AoB.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada BAB I Pendahuluan diterangkan berbagai hal yang dapat menyangkut penelitian yang dilakukan yakni :

1. Hal-hal yang melatar belakangi dilakukannya penelitian.
2. Permasalahan yang ingin diselesaikan dengan mengerjakan penelitian.
3. Tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat.
4. Manfaat yang diperoleh dari dilakukannya penelitian.
5. Hal-hal yang menjadi batasan dalam pengerjaan penelitian.
6. Penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam penelitian.

BAB II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori berisi tinjauan pustaka yang dijadikan acuan dalam pengerjaan penelitian ini.

BAB III Metodologi Penelitian menerangkan tentang metode yang dipergunakan dalam mengerjakan penelitian ini.

BAB IV Analisa data dan pembahasan, membahas dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisa hasil, dan pembahasan hasil analisa

BAB V Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisa dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Struktur *jacket* merupakan konstruksi *welded tubular joint* yang menjadi kaki-kaki dari *platform* dan berfungsi sebagai bagian utama (*prime member*) dari struktur tersebut. *Jacket* dibangun di sebuah fabrikasi di darat dan nanti akan dipindahkan ke laut, dimana bangunan tersebut akan beroperasi. *Jacket* mempunyai kaki yang tergantung pada besar kecilnya *platform*, yaitu 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). Kaki *jacket* dan *bracing* membuat konstruksi *jacket* menjadi suatu konstruksi yang kuat.

Struktur *jacket* ketika di *roll-up* harus diperhatikan keamanan strukturnya ketika diangkat, terutama pada *roll – up support* yang menjadi tumpuan struktur pada saat proses *roll – up* dan juga hal yang harus diperhatikan adalah proses *lifting* yaitu ketika struktur diangkat tiap derajatnya. Pada saat proses *roll-up*, struktur tidak boleh mengalami kegagalan atau *overstress* selama proses *roll-up. Roll – up support* harus mampu menahan beban dari struktur tersebut dan ketika *lifting* akan menyebabkan member struktur mengalami *stress* yang besar (Simatupang, 2008)

Konfigurasi *rigging* merupakan salah satu faktor yang harus diperhatikan ketika *lifting* dan analisa tegangan yang terjadi pada struktur, penentuan konfigurasi *rigging* dapat menggunakan pendekatan atau formula matematis yang dipengaruhi oleh lokasi *lift point.* Faktor yang perlu diperhatikan adalah keamanan konstruksi baik waktu fabrikasi, instalasi, ataupun operasi. Sedangkan faktor lain yang menjadi perhatian pada saat proses *lifting* yaitu pemilihan *rigging* akan sangat berperan dalam proses ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Fabrikasi

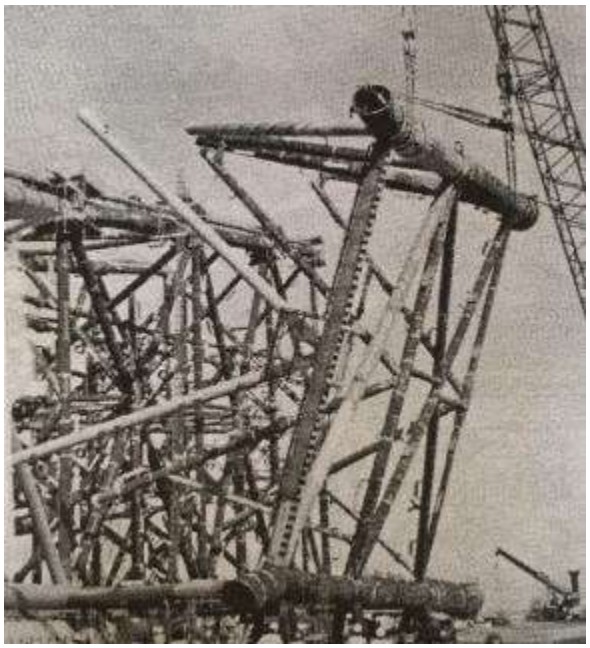
Menurut Hasni (1993) Fabrikasi adalah tahap yang pertama dimana pada tahap pembuatan suatu struktur *jacket* ini dikerjakan oleh *Fabrikator*. Dalam pembuatan struktur dimana fabrikasi diperlukan perhatian sebab kondisi struktur pada tahap pembuatan sangat menentukan pada tahap selanjutnya. Secara umum dan pemasangan dari fabrikasi terdiri dari beberapa tahapan diantaranya, yaitu:

1. *Procurement* (Pengadaan)
   Tahap ini yaitu memasok bahan dan produk untuk pelaksanaan kegiatan konstruksi
2. *Fabrication*
   Tahap fabrikasi meliputi proses seperti *cutting, rolling, pressing, fitting, welding* dan lainnya
3. *Assembly*
   Proses ini biasanya dilakukan di luar *fabrication shop* yaitu mengumpulkan bahan atau produk dari tahap fabrikasi untuk kegiatan ereksi
4. *Erection*
   Tahap ini yaitu menyatukan bahan atau produk yang sudah dikumpulkan, proses ini termasuk pemasangan dan pengelasan

2.2.2 Proses *Roll - Up*

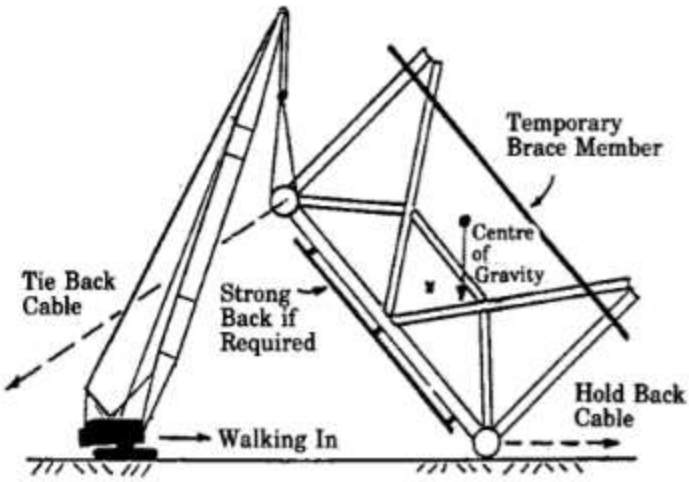
Menurut Adly (2008) *Roll - Up* adalah proses memutarkan struktur dari posisi awal sampai posisi terakhir yaitu memutarkan struktur 90 derajat, hal ini dilakukan karena struktur *jacket* saat fabrikasi dibagi menjadi dua bagian yaitu *naked bent* seperti pada Gambar 2.1 dan *loaded bent* yang nantinya di *rollup* dan disatukan seperti pada Gambar 2.2.

Gambar 2. 1 *Naked Bent*
(sumber: C.S Kole, 2013)



Gambar 2. 3 *Loaded Bent*
(sumber: Sogieno,2004)

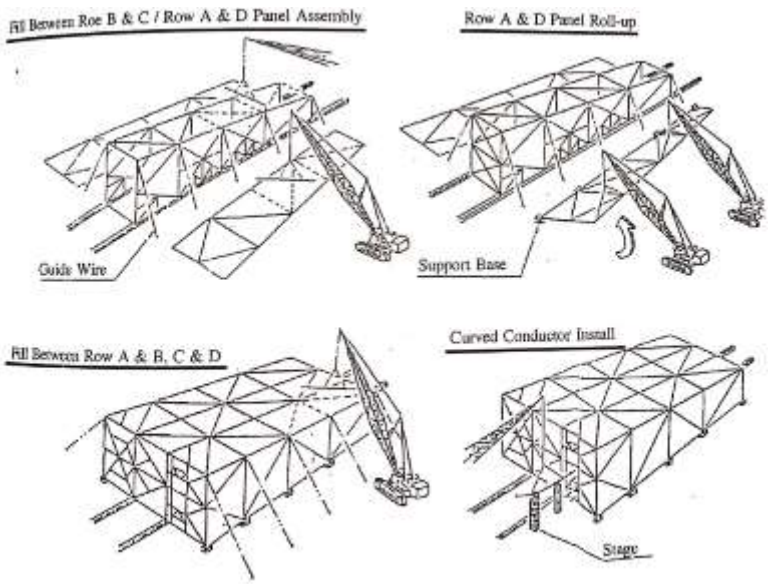
Naked bent adalah bagian *jacket* yang kaki *jacket*nya terpasang dengan *bracing* dan terhubung dengan kaki *jacket* lainnya. *Loaded bent* adalah bagian potongan *jacket* yang sudah banyak terpasang bagian – bagian *jacket* seperti *deck* elevasi, *mudmat*, *conductor*, dan lainnya. Hal ini diperlukan sebuah prosedur untuk memastikan bahwa tidak ada bagian dari struktur mengalami *overstress* ketika sedang di putar



Gambar 2. 2 *Proses Roll – Up*
(sumber: https://cdn.southampton.ac.uk)

Pada proses *roll – up* seperti pada Gambar 2.3 ketika *member jacket* tidak dapat menahan beban struktur saat diputar maka akan terjadi kegagalan, dibutuhkan *strongback* agar *tubular* dapat menahan bebannya. *Temporary brace member* berguna untuk membuat struktur stabil selama proses *roll - up.* Selama proses *roll – up,* struktur akan tidak stabil ketika *centre of gravity* dari struktur melewati *support point, tie back* dianjurkan untuk menahan struktur ketika struktur melewati *centre of gravity.* Operasi *roll – up, crawler crane* dibutuhkan untuk mengangkat struktur dan berjalan maju agar menjaga *sling* pada *jacket* tetap vertical dan dalam keadaan tegang.

2.2.2.1 Prosedur Roll – up



Gambar 2. 4 Prosedur *Roll-up*
(sumber: Soegiono,2004)

Prosedur *roll – up* seperti pada Gambar 2.4 bermacam – macam tergantung kebijakan dan kondisi lapangan dari perusahaan tersebut, untuk prosedur *roll – up* sebagai berikut:

1. Persiapkan dan pasang *roll – up support.*
2. Persiapkan *sling* dengan diameter dan panjang yang benar dan pastikan sesuai dengan Gambar desain.
3. Survei area *roll – up* dan pindahkan yang menganggu operasi *roll – up.*

4. Posisikan *crane* sesuai Gambar desain dimana akan ditempatkan selama operasi *roll – up.*
5. Kaitkan *sling* pada *crane*, *sling* dililitkan di titik pengangkatan yang ditunjukan Gambar desain.
6. Pastikan *sling* yang dikaitkan ke *crane* dan titik angkat membentuk garis vertical.
7. Semua personel yang terlibat dalam pengangkatan telah melakukan pertemuan pra-pengangkatan. Operator telah diingatkan akan bahaya dan tindakan pencegahan yang perlu diambil.
8. Semua orang yang tercantum dalam daftar periksa proses *roll - up* telah memeriksa area dan area tanggung jawab mereka serta telah menandatangani daftar periksa yang disetujui untuk melanjutkan sesuai rencana
9. Mengamankan area untuk proses *roll – up* dan mengaman kan dari orang yang tidak berkepentingan.
10. Kencangkan beban *crane* dengan kenaikan stabil dari nol hingga 75% dari beban awal perhitungan.
11. 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.
12. Secara bertahap, *crane* berjalan maju dengan memastikan *sling* berada dalam keadaan tegang.
13. Lanjutkan proses *roll – up* dengan mengangkat dan perhatikan sudut struktur ketika diangkat sesuai dengan perhitungan
14. Pada sudut AoB (*angle of balance),* beban struktur akan mulai berpindah ke sistem *tie – back.*
15. Mulai mengurangi beban *crane* dalam penurunan yang stabil hanya untuk memberikan cukup tegangan pada *sling,*
16. Secara bertahap rentangkan *sling* dari sistem *tie – back* dengan menjaga ketegangan hingga posisi struktur 90 derajat.

2.2.3 Lifting

Menurut Gayuh (2016) *Lifting* adalah aktifitas menaikan atau menurunkan sebuah struktur dengan menggunakan *crane*, proses *lifting* merupakan salah satu tahap terpenting dalam fabrikasi, beban struktur yang diperhitungkan harus sesuai dengan beban pada kondisi aslinya karena beban tersebut akan terdistribusi melalu titik angkat dan menjadi beban *sling*.

2.2.3.1 Kondisi Pembebanan

Berdasarkan API RP 2A-WSD (2005), jenis pembebanan yang harus dipertimbangkan dalam analisa *lifting* adalah sebagai berikut :

1. Beban statis
2. Beban dinamis

Beban Statis

Beban statis merupakan beban mati dari struktur di udara. Untuk penyederhanaan ada kalanya semua komponen modul tidak dimodelkan melainkan ditransformasikan menjadi beban

Beban Dinamis

Proses *lifting* dipengaruhi oleh faktor dinamis yang disebabkan adanya perubahan lingkungan. Berdasarkan 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). Nilai DAF untuk proses *lifting* berbeda beda, faktor berat yang digunakan dalam operasi pengangkatan menurut *Offshore Standard* DNV-OS-H205 pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 *Weight Factor in Lifting Operation*

Description	Weight Factor
Lift points including attachments to object (single critical elements supporting the lif points)	1.3
Lifting equipment no subjected to load testing (spreader frames or beams,plate shackle)	1.3
Main elements supporting the lift point	1.15
Other elements of lifted object	1.0

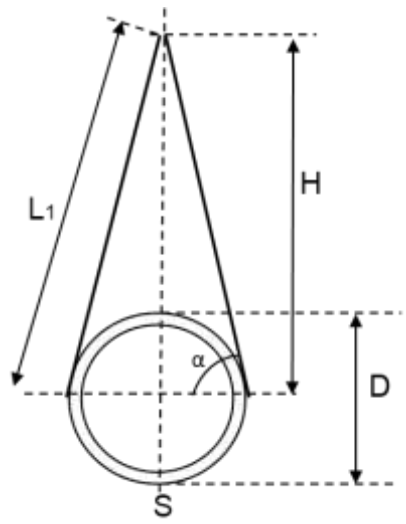
Faktor amplifikasi dinamis harus dipertimbangkan dalam menentukan pemanfaatan crane. Tabel 2.2 menunjukkan faktor amplifikasi dinamis (DAF) yang harus diterapkan.

Tabel 2. 2 Faktor di Operasi *Lifting* (sumber: Li Liang, NUS)

Description	<100 Ton	100 – 1000 ton	>1000 Ton
DAF Offshore	1.30	1.20	1.10
DAF Onshore	1.15	1.10	1.05
	Faktor menggunakan satu *crane*	**Faktor menggunakan *multi crane***	
Faktor CoG/*Tilt Factor*	1.0	1.03	

2.2.4 Rigging Arrangement

Menurut Ludfianto (2012) *Rigging* merupakan sistem yang melibatkan titik angkat, ketersedian sling, shackle dan lainnya. Konfigurasi dari *rigging* akan ikut menentukan beban dan gaya yang bekerja pada komponen *rigging*, termasuk didalamnnya *sling* dan *shackle*. Selain itu, pemilihan konfigurasi *rigging* merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam menganalisa tegangan yang terjadi pada struktur.



Gambar 2. 5 Penentuan Panjang *Sling*

Konfigurasi *rigging* seperti pada Gambar 2.5 dipengaruhi oleh lokasi titik angkat, panjang *sling* yang dapat ditentukan dengan perhitungan matematis. Perhitungan ini dapat digunakan untuk menentukan sudut *sling*, panjang *sling*, ketinggian hook diatas struktur. Sedangkan, sudut angkat minimum antara *sling* dengan bidang horizontal adalah 60°

Untuk mengetahui panjang *sling* yang melingkari setengah bagian dari *chord* dapat ditentukan dengan persamaan 2.1.

$$S = \pi \frac{D}{2} \tag{2.1}$$

Setelah didapatkan panjang *sling* dari persamaan 2.1, makan dapat diketahui panjang *sling* dari *chord* ke *hook* dengan persamaan 2.2.

$$\mathrm{L1} = \frac{(\mathrm{Lt} - \mathrm{S})}{2} \tag{2.2}$$

Sling setelah diikat pada *chord* akan membentuk sudut yang dihitung dengan persamaan 2.3.

$$\alpha = \mathrm{acos}\left(\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{Lt}}\right) \tag{2.3}$$

Tinggi *sling* dari titik tengah *chord* ke titik tengah *hook* ditarik garis tegak lurus, dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$H = L1^2 - (\frac{D}{2})^2 \quad \textbf{(2.4)}$$

Sling yang diikat ke *chord* akan mengalami reduksi, reduksi pada *sling* dihitung dengan persamaan 2.5.

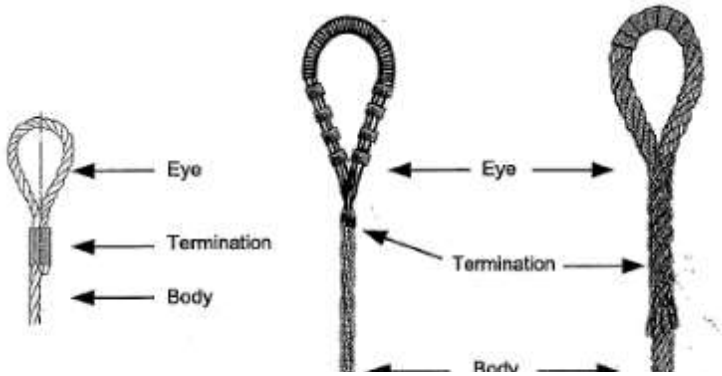
$$Eb = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{D - d}} \quad \textbf{(2.5)}$$

Catatan:

Lt	: Panjang *sling*	(mm)
S	: Panjang Setengah Lingkaran	(mm)
L_1	: Panjang sling setelah diikat	(mm)
α	: Sudut	(deg)
H	: Tinggi	(mm)
D	: Diameter Kaki	(mm)
r	: Jari – jari Kaki	(mm)
d	: Diameter Sling	(mm)
Eb	: Faktor Reduksi	

2.2.4.1 Sling

Menurut Ludfianto (2012) Sling merupakan tali kawat atau kabel seperti pada Gambar 2.6 yang digunakan dalam proses *lifting*.



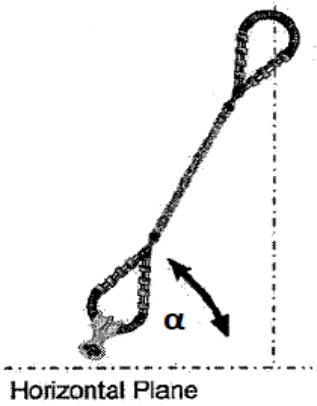
Gambar 2. 6 Komponen *Sling*
(sumber: Heavy-Lift Sling and Grommet Technology Course Workbook)

Diameter *sling eye*, kapasitas *sling*, beban dan panjang menjadi faktor pengatur dalam menentukan pemilihan *sling* yang tepat untuk operasi pengangkatan. Beban yang bekerja dalam *sling* dapat dihitung menggunakan reaksi titik angkat dan sudut tali-temali. Sudut sebenarnya (α) antara sling dan bidang horizontal seperti pada Gambar 2.7 untuk standar lebih besar dari 60˚.

Kapasitas sling dapat ditentukan dari *minimum breaking load*. Menurut operasi pengangkatan berat standar perusahaan, sling yang akan digunakan untuk operasi pengangkatan harus memiliki faktor keamanan minimum 4.

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

Faktor keamanan *sling* dapat ditentukan dengan membagi *Minimum Breaking Load* (MBL) dengan beban kerja seperti ditunjukkan pada persamaan 2.6.

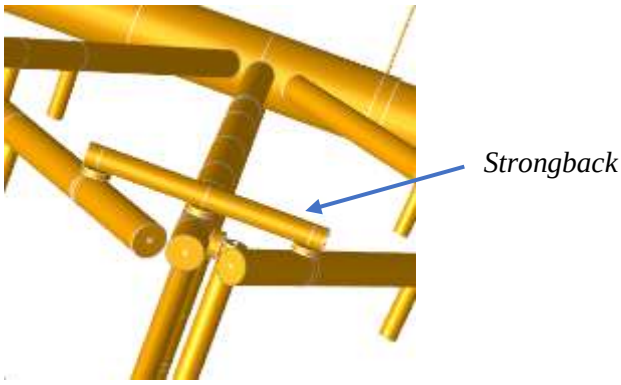


Gambar 2. 7 Sudut antara *Sling* dan *Horizontal Plane*
(sumber: Heavy-Lift Sling and Grommet Technology Course Workbook)

2.2.4.2 Shackle

Menurut Ludfianto (2012) *Shackle* merupakan pengait antara *sling* dari *crane* dengan titik angkat. *Shackle* dalam *lifting* digunakan untuk menghubungkan *sling* dengan komponen yang diangkat. Nilai beban pada *shackle* didapatkan dari beban yang terjadi pada *sling*. *Shackle* menggunakan nilai minimum *working load limit* (WLL). Dalam hal ini, nilai WLL yang digunakan sama dengan nilai MBL pada *sling*. Hal ini dikarenakan *shackle* telah memiliki nilai *safety factor* minimum empat.

2.2.5 *Strongback*

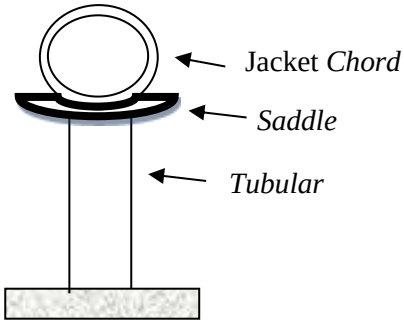


Gambar 2. 8 *Strongback*
(sumber: SACS)

Strongback seperti pada Gambar 2.8 adalah struktur pengaku yang berguna untuk memperkecil bahaya struktur mengalami *overstress*, *strongback* digunakan pada titik tumpuan ketika *tubular* tidak memiliki kemampuan untuk mendukung reaksi akhir.

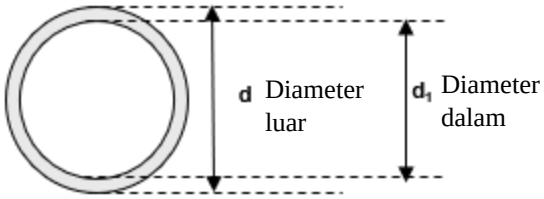
2.2.6 *Roll – Up Support*

Menurut Chakrabarti (2005) *Roll – up support* yaitu tumpuan pada struktur *jacket* yang berfungsi untuk menahan *struktur jacket* selama proses *roll - up* dari posisi 0 derajat sampai 90 derajat atau *final position* seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 *Roll – Up Support*

a) *Support Section Properties*



Gambar 2. 10 *Support Section Properties*

Properties dari *support* seperti pada Gambar 2.10 harus diketahui sepert luas, inersia, modulus, dan radius Untuk mencari luas area pada *tubular* maka dapat ditentukan dengan persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$A = \frac{\pi(do^2 - di^2)}{4} \tag{2.7}$$

Menghitung *section modulus* yaitu untuk mengerahui kemampuan atau daya tahan *tubular* terhadap pembebanan dengan persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$S = \frac{\pi(do^4 - di^4)}{32do} \tag{2.8}$$

Untuk mengetahui momen area dari inersia maka dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.9.

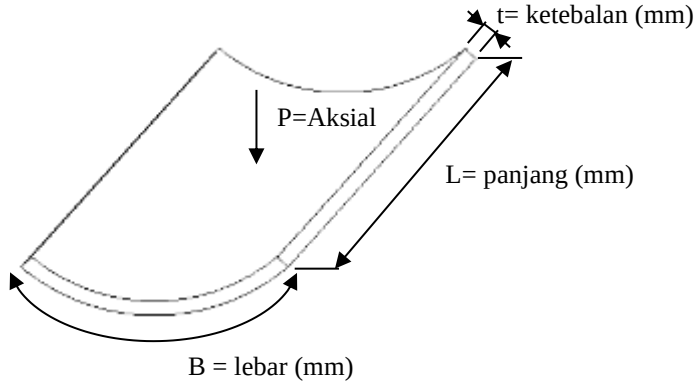
$$I = \frac{\pi(do^4 - di^4)}{64} \tag{2.9}$$

Menghitung radius rotasi dapat dihitung dengan persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$r = \frac{\sqrt{do^2 + di^2}}{4} \tag{2.10}$$

b) *Saddle*

Saddle adalah pelana seperti pada Gambar 2.11 yang bertindak sebagai dudukan antara chord dan *tubular support.*

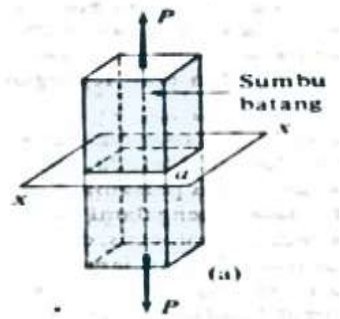


Gambar 2. 11 *Saddle*
(sumber: Data PT.X)

Untuk mengetahui gaya yang diterima oleh *saddle* menggunakan persamaan 2.11, untuk perhitungan *stress ratio* pada *saddle* dapat dihitung dengan persamaan 2.21

2.2.7 Analisis Tegangan Tubular

2.2.7.1 Tegangan Normal



Gambar 2. 12 Tegangan Normal
(sumber: Popov,1996)

Berdasarkan Popov (1996) Tegangan normal adalah gaya yang tegak lurus dan sejajar dengan irisisan seperti pada Gambar 2.12. Tegangan normal yang bekerja diasumsikan mempunyai distribusi terbagi rata diseluruh penampang dan garis kerja gaya aksial melalui pusat berat penampang melintang batang, dapat berupa tegangan tarik (*tensile stress*) atau tegangan tekan (*compresive stress*). Tegangan aksial disimbolkan σ, dapat ditentukan dengan persamaan 2.11

$$\sigma = \frac{P}{A} \tag{2.11}$$

Dimana

P : Tekanan Axial, kip (kN)

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

2.2.7.1.1 Kolom Buckling

Berdasarkan Murdjito (1998) buckling merupakan suatu proses dimana struktur tidak mampu untuk mempertahankan bentuk aslinya, dan menemukan keseimbangan baru. Untuk D/t rasio sama dengan atau kurang dari 60, tegangan tekan yang diizinkan harus ditentukan dengan persamaan 2.12, persamaan 2.13 dan persamaan 2.14 sebagai berikut:

$$F_a = \frac{\left[1-\frac{(KL/r)}{2C_c^2}\right]Fy}{\frac{5}{3}+\frac{3(KL/r)}{8C_c}-\frac{(KL/r)^3}{8{C_c}^3}} \qquad \text{for } KL/r < C_c \tag{2.12}$$

$$F_a = F_e' = \frac{12\pi^2 E}{23(KL/r)^2} \qquad \text{for } KL/r > C_c \tag{2.13}$$

$$C_c = \left(\frac{2\pi^2 E}{F_y}\right)^2 \tag{2.14}$$

Dimana :

E: Modulus elastisitas Young, ksi (Mpa)

K: faktor panjang efektif, Tabel 2. 1

L: panjang, in. (m)

r: jari-jari putaran in. (m)

Fy: kekuatan luluh, ksi (MPa)

$Fe\,'$: Euler stress, ksi (MPa)

D: diameter luar, in. (m)

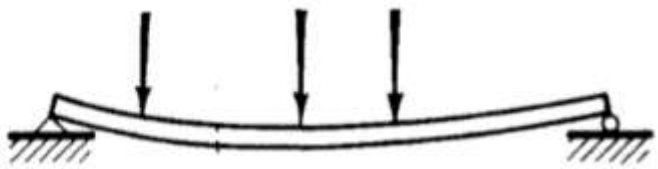
t: tebal dinding, in. (m)

Untuk member $^{D}/_{t}$ rasio lebih dari 60, dengan analisis lebih lanjut perlu dilakukan untuk menginvestigasi tekuk lokal. Dalam mendesain tubular, faktor K perlu dipertimbangkan dari Tabel 2.3

Tabel 2. 3 *Effevtive Length Factor, K*

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		TRANSLATION FIXED		
		ROTATION FREE		TRANSLATION FIXED		
		ROTATION FIXED		TRANSLATION FREE		
		ROTATION FREE		TRANSLATION FREE		

2.2.7.2 Tegangan Lentur



Gambar 2. 13 Momen Lentur
(sumber: Popov,1996)

Menurut Afandi (2017) Tegangan lentur bekerja secara tegak lurus terhadap penampang melintang dan berada dalam arah longitudinal dari balok seperti pada Gambar 2.13. Gaya yang bekerja pada jarak tetentu dari tumpuan benda dengan arah kerja tegak lurus sumbu benda. Sehingga mengakibatkan benda melentur atau melengkung di sepanjang sumbuhnya Tegangan lentur, fb, dapat ditentukan dengan persamaan 2.15

$$f_b = \frac{Mc}{I} = \frac{M}{S} \tag{2.15}$$

Dimana

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

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

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

Persamaan 2.16, persamaan 2.17, dan persamaan 2.18 digunakan untuk menentukan tegangan lentur yang diijinkan, *Fb*.

$$F_b = 0.75\, F_y \qquad for\ \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \tag{2.16}$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74\frac{F_y D}{Et}\right] F_y \qquad for\ \frac{1500}{F_y} \leq \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \tag{2.17}$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58\frac{F_y D}{Et}\right] F_y \qquad for\ \frac{3000}{F_y} \leq \frac{D}{t} \leq 300 \tag{2.18}$$

Dimana :

Fy : kekuatan luluh, ksi (MPa)

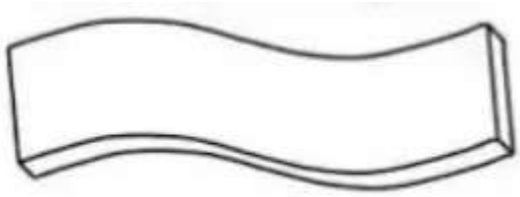
E : Modulus elastisitas Young, ksi (Mpa)

D : diameter luar, dalam. (M)

t: tebal dinding, dalam. (M)

2.2.7.2.1 In-Plane Bending Momen

Inplane bending momen seperti pada Gambar 2.14 adalah benda yang menekuk pada bidangnya sendiri dengan gaya horizontal dan vertical yang diterapkan pada bidangnya dan menghasilkan momen lentur pada bidangnya



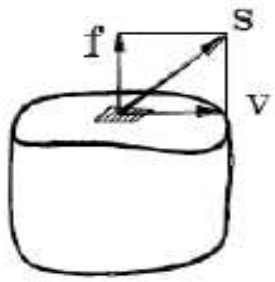
Gambar 2. 14 *In-plane bending* momen
(sumber: quora.com)

2.2.7.2.2 Out-Plane Bending Momen

Out plane bending momen seperti pada Gambar 2.15 adalah momen yang disebabkan oleh gaya dari luar pada benda atau struktur dan menghasilkan momen lentur kearah luar atau seperti membuat bentuk cekung

Gambar 2. 15 Out plane bending momen
(sumber: quora.com)

2.2.7.3 Tegangan Geser



Gambar 2. 16 Tegangan Geser
(sumber: Popov,1996)

Berdasarkan Popov (1996) Tegangan geser adalah intesitas gaya yang bekerja sejajar dengan bidang dari luas permukaan seperti pada Gambar 2.16. Tegangan geser, disimbolkan fv, untuk bagian berbentuk tabung dengan bagian lingkaran berongga dapat ditentukan dengan Persamaan. 2.19.

$$Fv = \frac{V}{0.5A} \qquad \textbf{(2. 19)}$$

Dimana

V : gaya geser, kip (kN)

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

Penyebab paling besar terjadinya tegangan geser yaitu momen puntiran aksial, momen puntir dapat ditentukan dengan persamaan 2.20

$$\tau = \frac{Tc}{I_c} \qquad \textbf{(2. 20)}$$

Dimana

T : momen puntir (N·m)

c : jari – jari dari struktur (m)

I : Inersia (m^4)

2.2.7.4 Tegangan Izin

Berdasarkan Afandi (2017) Tegangan izin digunakan dalam menganalisa tegangan kerja pada struktur yang diharapkan besarnya tegangan kerja harus lebih kecil dari tegangan izin bahan.

1. Tegangan Izin Aksial (*allowable axial stress)*

   Tegangan izin aksial dirumuskan dengan persamaan 2.21 sebagai berikut:

$$\mathrm{Fa} = 0.6 \times \mathrm{Fy} \qquad \textbf{(2. 21)}$$

   Dimana:

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

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

2. Tegangan Izin Lentur (*allowable bending stress)*

   Tegangan izin lentur dirumuskan dengan persamaan 2.22 sebagai berikut:

$$\mathrm{Fb} = 0.75 \times \mathrm{Fy} \qquad \textbf{(2. 22)}$$

   Dimana:

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

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

3. Tegangan Izin Geser (*allowable shear stress)*

   Tegangan izin geser dirumuskan dengan persamaan 2.23 sebagai berikut:

$$\mathrm{Fv} = 0.4 \times \mathrm{Fy} \qquad \textbf{(2. 23)}$$

   Dimana:

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

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

2.2.7.5 Gabungan Kompresi Aksial Dan Lentur

Berdasarkan Murdjito (1998) tegangan gabungan antara kompresi dan lentur harus memenuhi persamaan 2.15 dan persamaan 2.16 semua panjangnya. Ketika $^{fa}/_{Fa}$> 0,15, rasio tegangan maksimum harus ditentukan dengan persamaan 2.24 sebagai berikut:

$$SR = \frac{f_a}{F_a} + \frac{C_m\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{f_e'}\right)F_b} \leq 1 \qquad \textbf{(2. 24)}$$

Ketika $^{fa}/_{Fa}$ ≤0.15, maksimum stress rasio dapat ditentukan dari persamaan 2.25 berikut:

$$SR = \frac{f_a}{F_a} + \frac{\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{F_b} \leq 1 \qquad \textbf{(2. 25)}$$

Dimana :

$f\ a$: aksial tegangan tekan, ksi (MPa)

$F\ a$: tegangan tekan yang diijinkan, ksi (MPa)

$f\ bx$: tegangan lentur arah x, ksi (MPa)

$f\ by$: tegangan lentur arah y, ksi (MPa)

$F\ b$: tegangan lentur yang diijinkan, ksi (MPa)

Fy: kekuatan luluh, ksi (MPa)

Cm: faktor reduksi

Fe': Tegangan Euler, ksi (MPa)

Untuk menggunakan Persamaan. 2.24, faktor reduksi, Cm, harus ditentukan dengan ketentuan sebagaimana didefinisikan oleh AISC-ASD- edisi ke 9 dibagian H1, *chapter* H

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

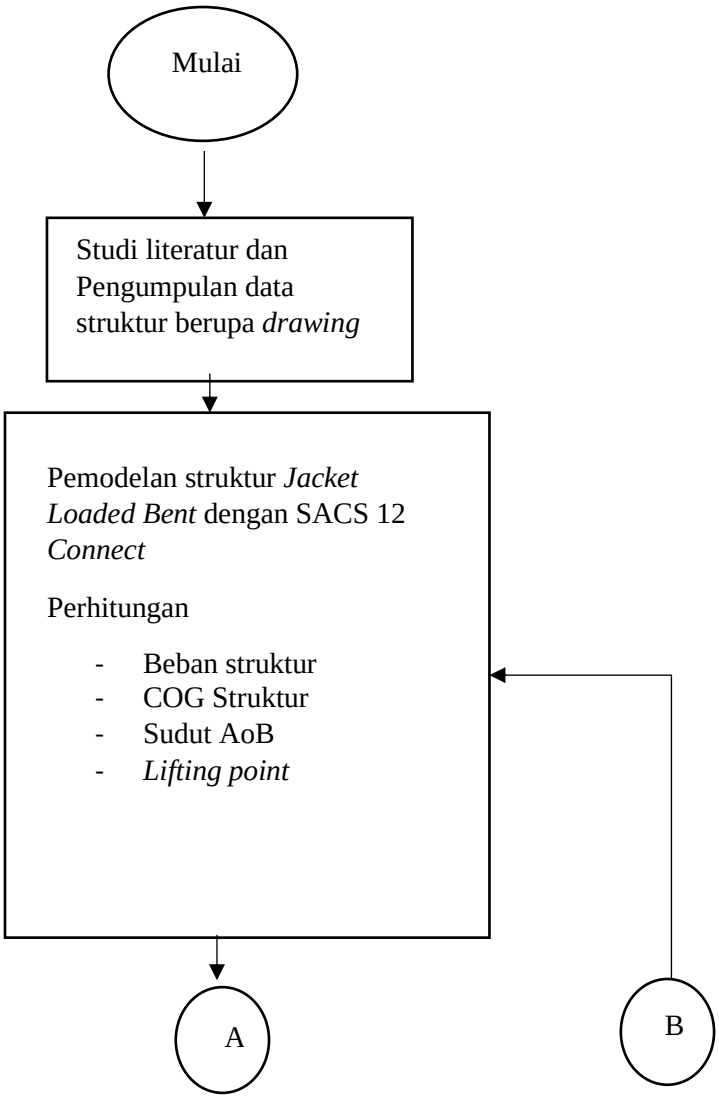
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

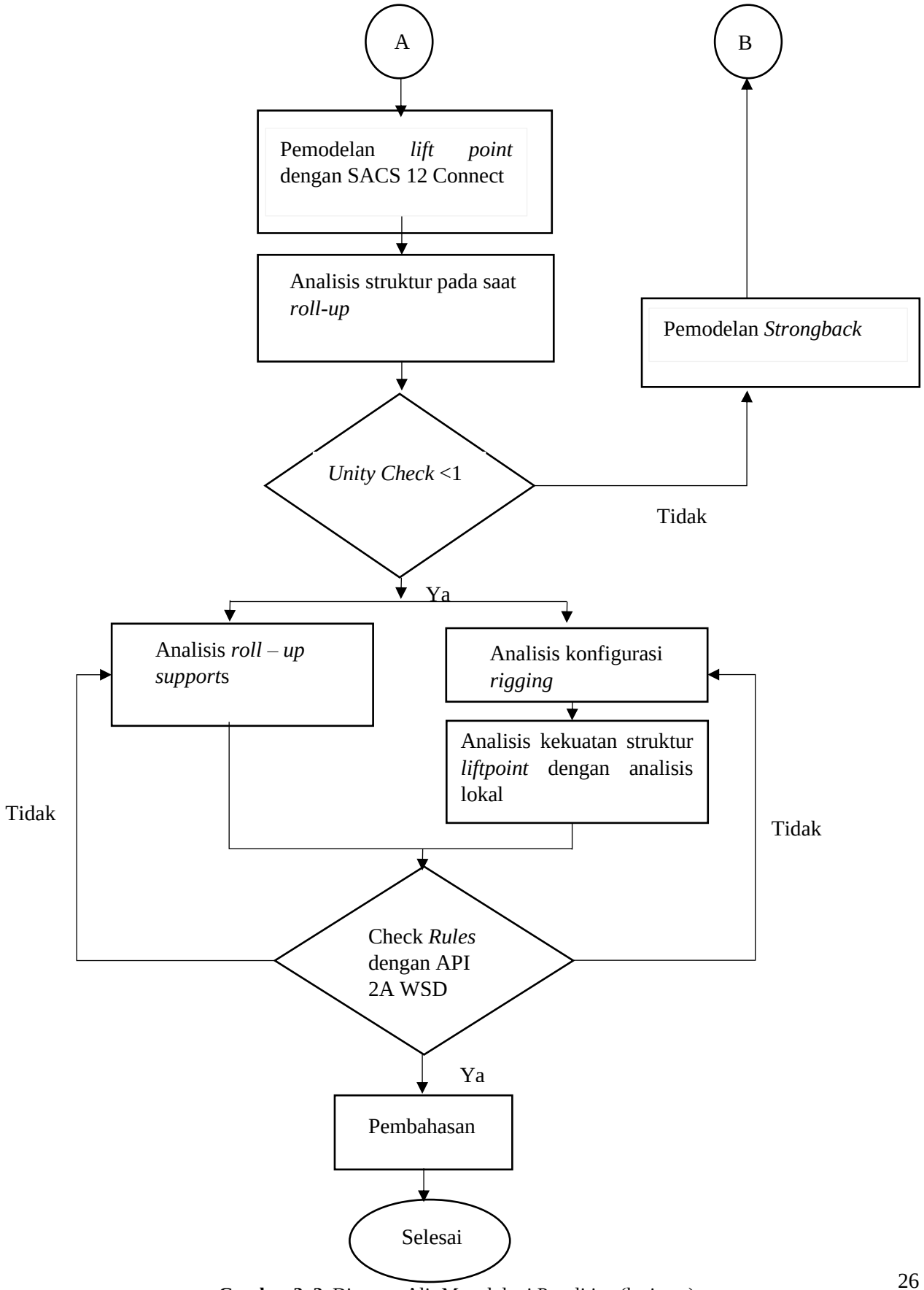
3.1 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian merupakan suatu proses penentuan tahap – tahap dalam pengerjaan suatu karya ilmiah. Pengerjaan tugas akhir ini dijelaskan secara bertahap di dalam diagram alir dan prosedur penelitian.

3.1.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

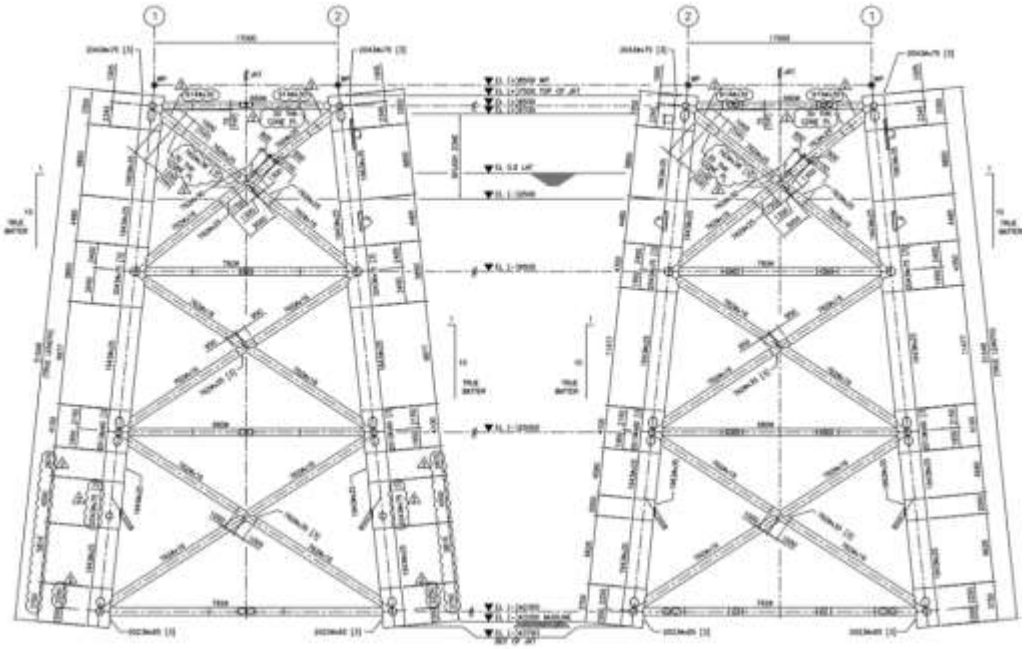


Gambar 3. 2 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)

3.2 Rencana Pengerjaan Tugas Akhir

Metodologi yang digunakan untuk mencapai penyelesaian dalam menyelesaikan masalah dan mendapatkan hasil yang baik maka dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur buku-buku atau jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.
2. Pengumpulan data-data yang diperlukan untuk menyusun tugas akhir ini, meliputi data struktur, *sling*, *shackle* dan komponen *lifting* yang digunakan



Gambar 3. 3 *Drawing Jacket*
(sumber: Data PT.X)

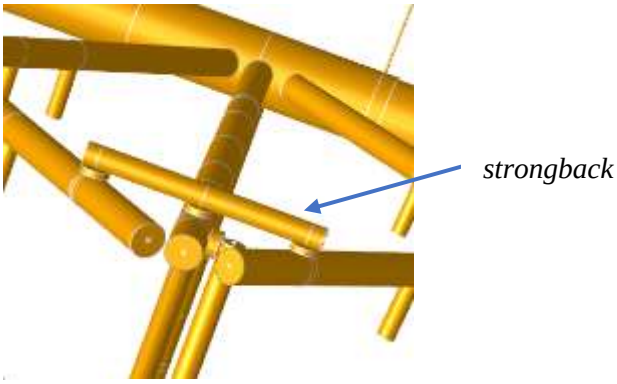
Tabel 3. 1 Data *Sling*
(sumber: Data PT.X)

Sling		
Diameter	**MBL (MT)**	**Weight (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

Tabel 3. 2 Data *Shackle*
(sumber: Data PT.X)

Shackle		
Working Load	**Length Inside (mm)**	**Weight (kg)**
6.5	83	1.5
8.5	95	2.21
9.5	108	3.16
12	115	4.31
13.5	133	5.55
17	146	7.43
25	178	12.84
35	197	18.15
42.5	222	26.29
55	260	37.6
85	329	62
120	381	110
150	400	160
200	500	235
250	540	285
300	600	340
400	650	560

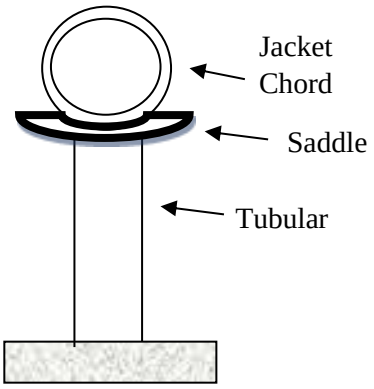
3. Pemodelan struktur *jacket loaded bent* dengan menggunakan *software* SACS 12 *Connect* meliputi *modelling* secara geometris dan material struktur disesuaikan.
4. Perhitungan beban struktur dan CoG *(Center of Gravity)* dilakukan perhitungan matematis yang kemudian dilanjutkan dengan menentukan sudut AoB *(Angle of Balance)* dan menentukan letak *point lifting*, akan tetapi dalam analisis ini *design lifting point* dipilih tipe *multipoint* dengan jumlah sebanyak tiga titik.
5. Pemodelan *lifting point* dengan *software* SACS 12 *Connect*
6. Analisis kekuatan struktur *jacket loaded bent* ketika di *rollup* dengan menggunakan *software* SACS 12 *Connect* untuk mengetahui *unity check* yang terjadi pada tiap member struktur.
7. Apabila hasil tidak sesuai maka kembali ke nomor 3 dengan menambahkan pemodelan *strongback* ditubular yang mengalami kegagalan.



Gambar 3. 4 *strongback*
(sumber: SACS)

8. Penentuan konfigurasi *rigging* dengan menggunakan pendekatan atau formula matematis untuk mendapatkan konfigurasi sling dan shackle yang tepat dan aman yang berdasarkan API 2A WSD
9. Analisis kekuatan struktur *liftpoint* dengan analisis local menggunaka *software* ANSYS 16.0
10. Apabila hasil tidak memenuhi maka kembali lagi dengan perhitungan dan analisis konfigurasi *rigging*

11. Pemodelan dengan SACS 12 *Connect* dan analisis *roll – up support*



Gambar 3. 5 *Roll – up Support*
(sumber: Data PT.X)

12. Validasi analisis *roll – up support* dengan mengecek *rules* API 2A – WSD, apabila hasil tidak sesuai maka kembali ke pemodelan dan analisis *roll – up support*.
13. Pembahasan

    Setelah melalui analisis, maka akan didapatkan tegangan – tegangan yang terjadi ketika struktur *jacket* di *roll-up*, desain *roll – up support* dan juga konfigurasi *rigging* pada *jacket loaded bent.*

BAB IV

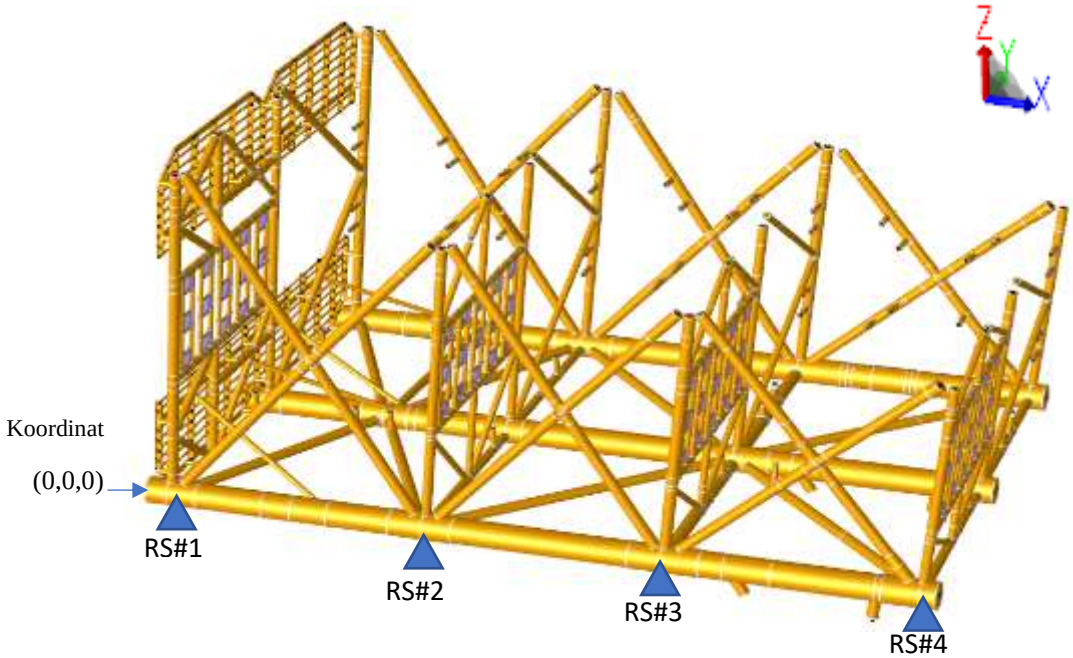
ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

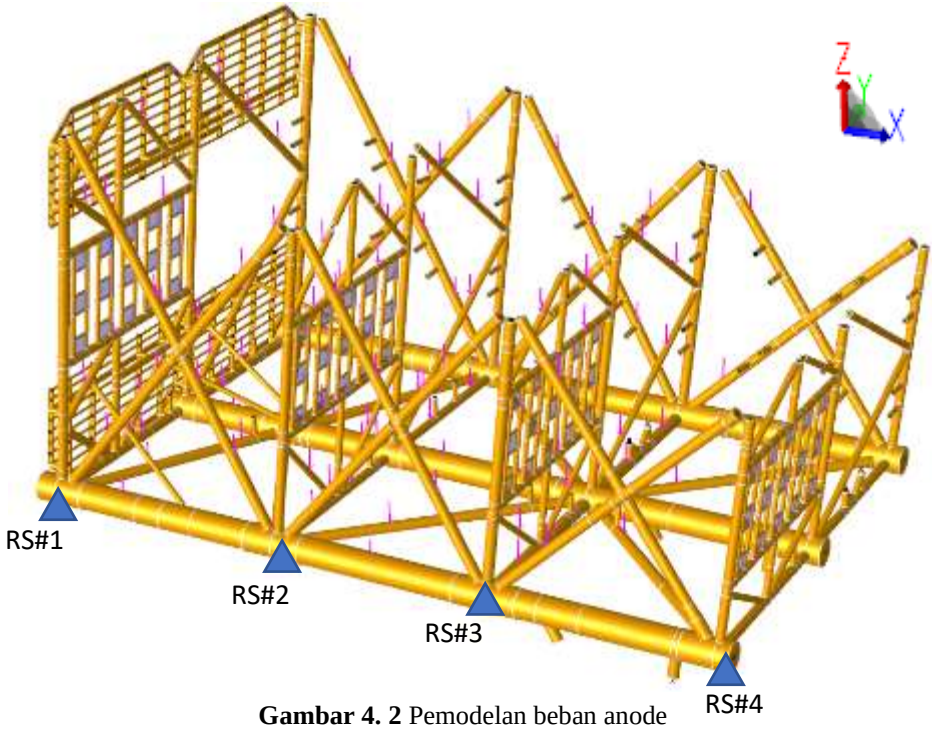
Data yang digunakan sebagai objek studi struktur adalah salah satu fabrikasi yang terletak di Kepulauan Batam. *Platform jacket* ini memiliki enam kaki yang nantinya berdiri dikedalaman air 43200 ft, dan beroperasi sebagai produksi gas. Data didapatkan berupa *drawing jacket* berbentuk 2D, data ini dijadikan dasar dari pemodelan. Struktur *jacket* ini mempunyai deck di EL (+) 6500, EL (-)9500, EL (-) 25000, EL (-)42300.

Pemodelan struktur *jacket* dilakukan menggunakan *software* SACS 12 *Connect* seperti pada Gambar 4.1, proses *roll – up jacket* dalam pemodelan dengan memutarkan model struktur dari 0 derajat sampai struktur posisi 90 derajat, hasil dari pemodelan tiap derajatnya akan dapat ditentukan reaksi terbesarnya yang digunakan untuk mendesain tumpuan dan konfigurasi *rigging*. Berat struktur dan anode dapat dilihat pada Tabel 4.1



Gambar 4. 1 Pemodelan Struktur *jacket* dengan SACS 12.0 *Connect*

Untuk beban struktur berupa anode dimodelkan berupa beban member seperti pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Pemodelan beban anode

Tabel 4. 1 Berat struktur dan anode

Nama	Jumlah	Berat (Ton)	Total (Ton)
Berat struktur	-	839.08	839.08
Anode	149	0.78	116.22
Total			955.3

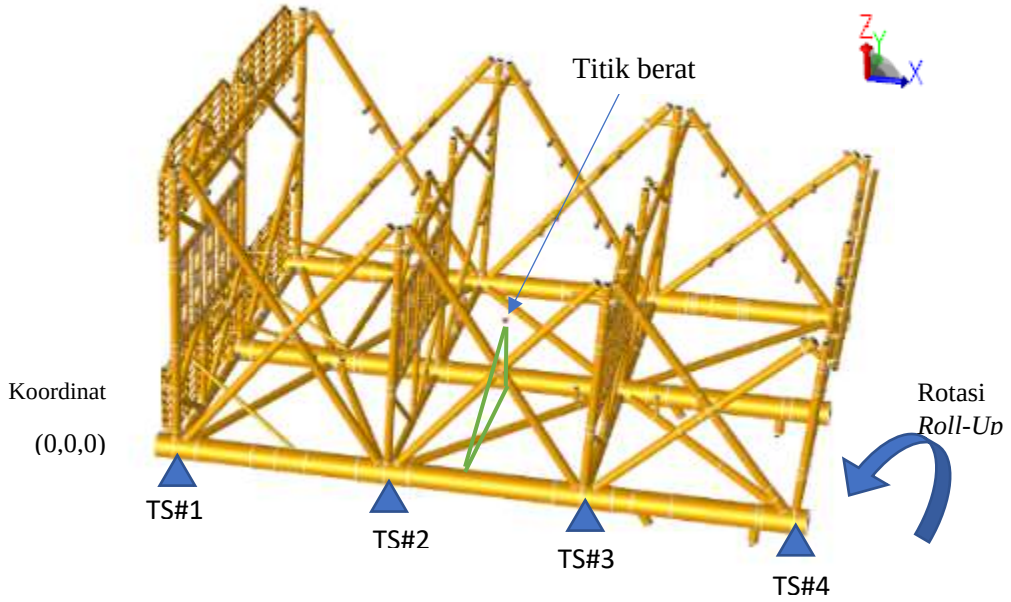
Properties dari tubular member diperlihatkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Tubular member properties

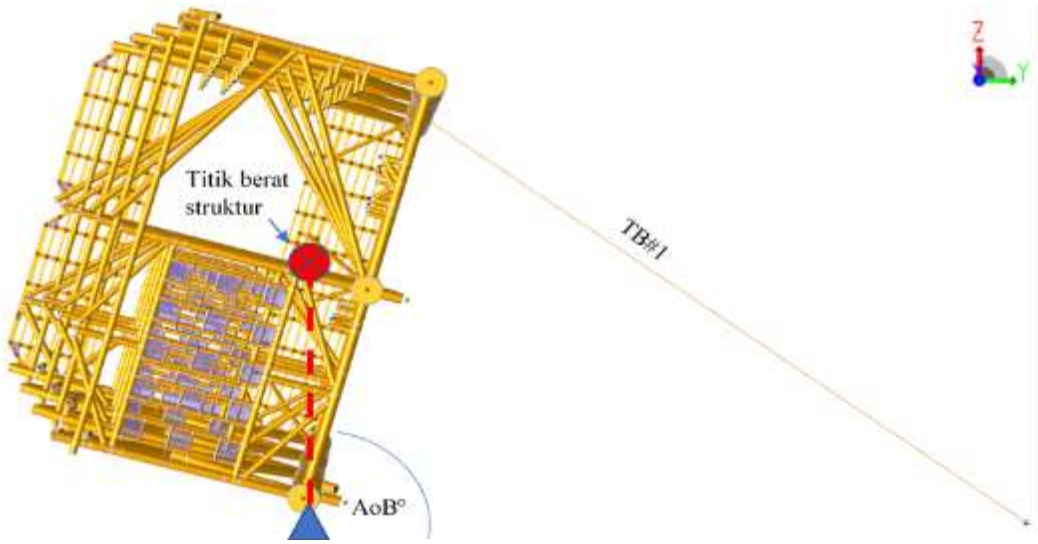
Properti	Nilai	Satuan
Young Modulus Elastis	199948.01	Mpa
Shear Modulus	76876.56	Mpa
Yield Stress	344.74	Mpa

4.2 Penentuan *Angle of Balance*

Penentuan *Angle of Balance* merupakan kondisi yang sangat berbahaya selama proses *roll – up* dimana titik berat struktur (*center of gravity)* seperti pada Gambar 4.3 tegak lurus dengan tumpuan seperti pada Gambar 4.4. Gaya inersia yang ada dan gaya berat dari *jacket* akan menimbulkan momen, akibatnya seluruh beban akan disangga oleh *support*. Maka *Tie-Back* dikencangkan untuk menahan momen pengembali.



Gambar 4. 3 Titik berat struktur



Gambar 4. 4 Mencari sudut *angle of balance*

Titik berat dari struktur *jacket* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan perhitungan untuk mengetahui sudut Aob pada perhitungan 4.1

Tabel 4. 3 Titik berat struktur

Sumbu	Panjang	Satuan
X	24.98	m
Y	14.63	m
Z	l6.01	m

$$Angle\ of\ Balance = 90 - Arc\ Tan\ \frac{Z}{Y}$$

$$= 90 - Arc\ Tan\ \frac{6.01}{14.63}$$

$$= 67.6\ Derajat \qquad \textbf{(4.1)}$$

4.3 Penentuan Titik Angkat

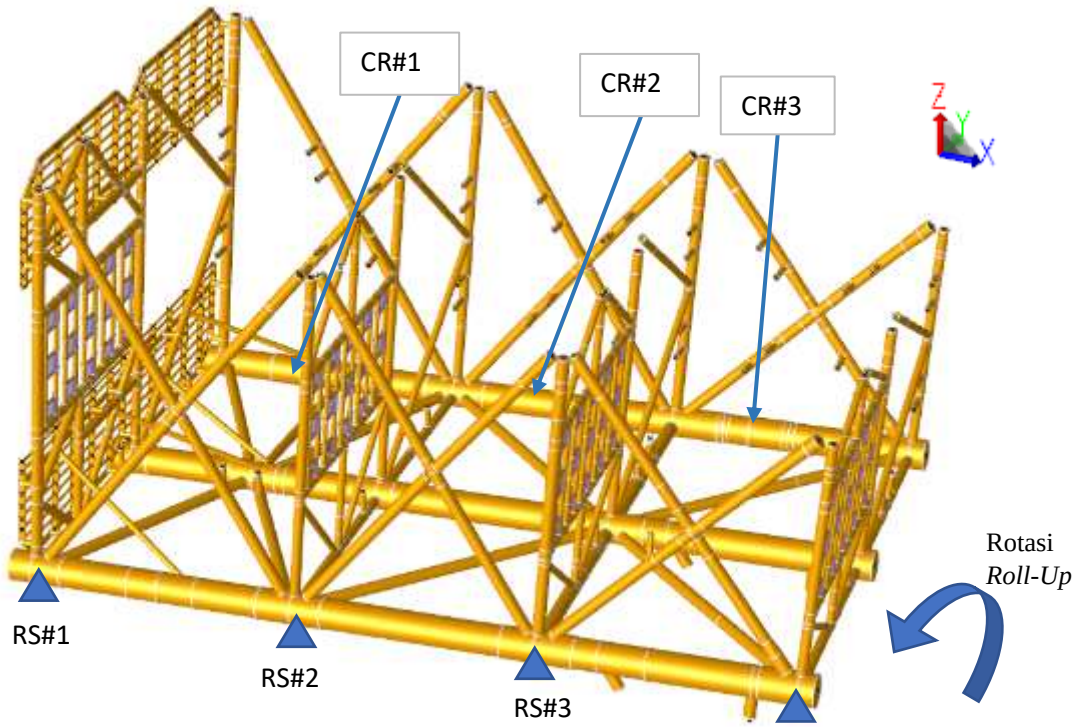
Penentuan titik angkat dengan cara melihat reaksi beban angkat struktur yang kurang lebih sama, dikarenakan agar beban angkat tidak tertumpu pada satu crane saja dan memiliki stabilitas

4.4 Analisis Pemodelan *Roll – Up*

Dalam pemodelan menggunakan SACS 12 *Connect*, untuk mengetahui integritas struktur, reaksi tumpuan dan beban angkat tiap derajatnya maka struktur diputar 15°, 30°, 45°, 60°, 67.6° AOB, 75°, dan 90°

4.4.1 Analisis Pemodelan Menggunakan 3 Crane

Pemodelan struktur *jacket* dengan menggunanakan SACS 12.0 *Connect* diawali dengan memodelkan struktur seperti pada Gambar 4.5 dari data yang didapatkan kemudian struktur diputar pada posisi 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 67.6° AoB, 75°, 90°.



Gambar 4. 5 Pemodelan struktur dengan 3 *crane*

Untuk tumpuan dan titik angkat menggunakan *joint fixty* dapat dilihat pada Tabel 4.4 yaitu:

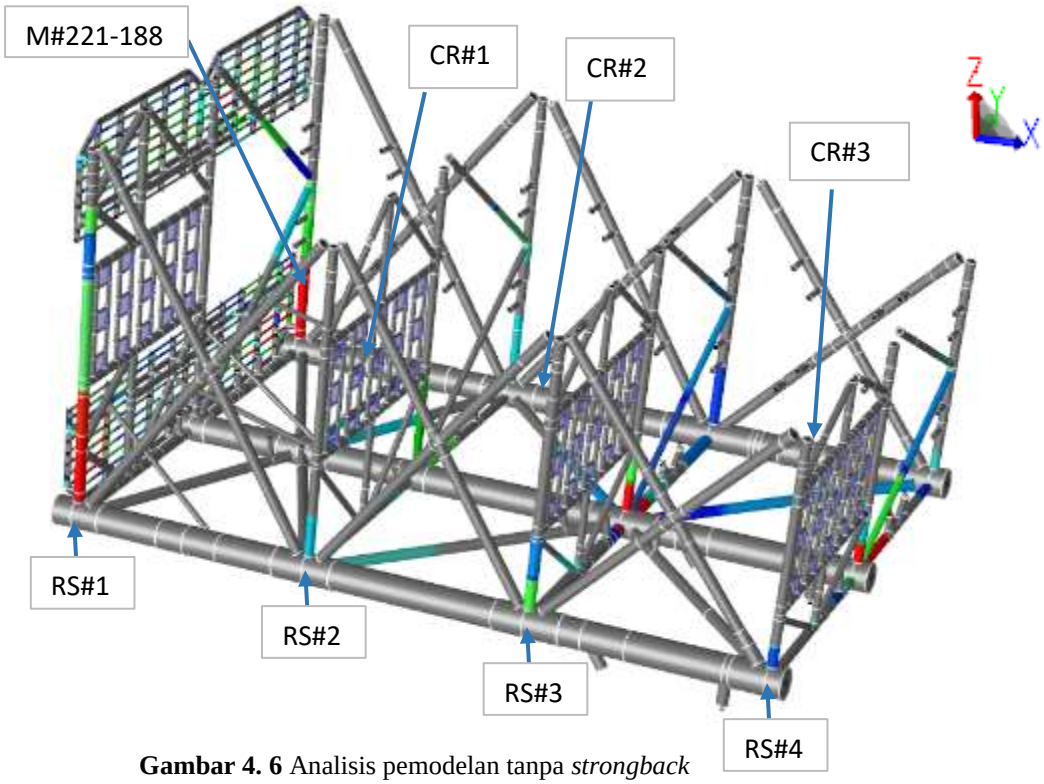
Tabel 4. 4 *Joint fixity* pada tumpuan

Jenis Tumpuan	Translasi			Rotasi		
	X	Y	Z	X	Y	Z
Tumpuan Titik Angkat	1	1	1	0	0	0
	0	0	1	0	0	0

4.4.1.1 Analisis Tanpa *Strongback*

4.4.1.1.1 0 Derajat (Posisi Awal)

Pemodelan dan analisis dilakukan saat posisi struktur 0 derajat (posisi awal) tanpa menggunakan *stongback* atau *stiffener*, untuk mengetahui *unity check* dari struktur *jacket* seperti pada Gambar 4.6



Gambar 4. 6 Analisis pemodelan tanpa *strongback*

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.5

Tabel 4. 5 *Unity check* 0 derajat tanpa *strongback*

MAX *Unity Check*	MEMBER
3.74	221-188

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa struktur *jacket* mengalami kegagalan pada member 221-188 melebihi tegangan yang diijinkan, sehingga untuk mengatasi keaadan ini yaitu dengan cara memberikan *strongback* atau *stiffener* sementara pada struktur *jacket* selama proses *roll-up*.

Maka stutruktur perlu ditambahkan *strongback* agar struktur tidak mengalami kegagalan atau *overstress* seperti pada lampiran A dan dipilih dengan ukuran *strongback* seperti pada Tabel 4.6

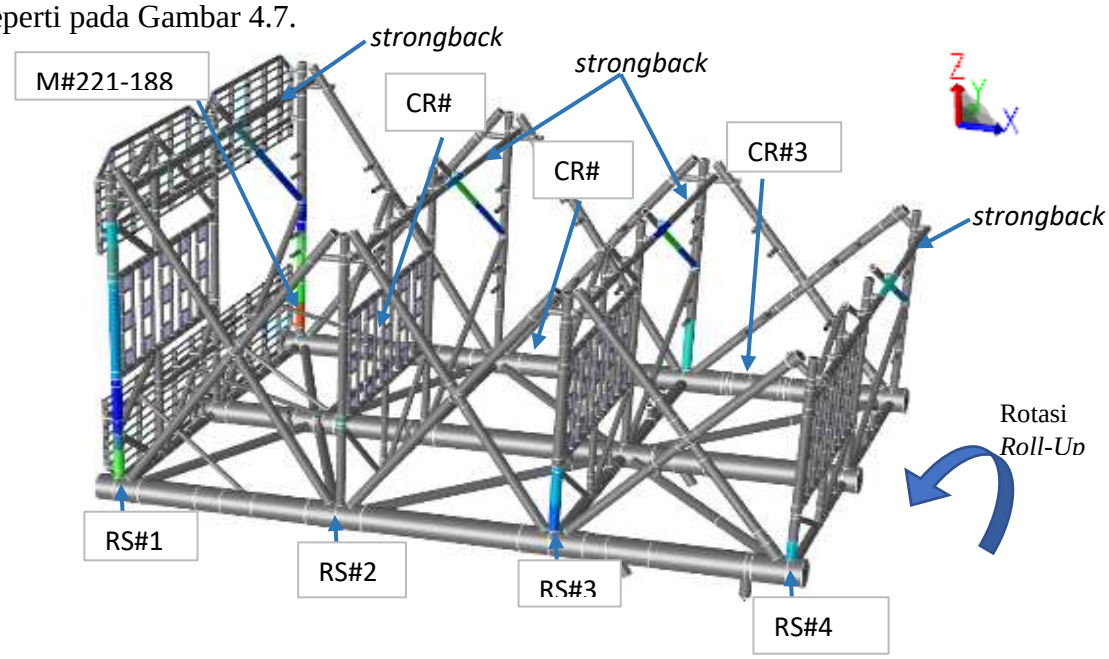
Tabel 4. 6 Jumlah dan ukuran *strongback*

Jumlah	Ukuran (mm)
14	508Ø x 15

4.4.1.2 Analisis Menggunakan *Strongback*

4.4.1.2.1 0 Derajat (Posisi Awal)

Pemodelan dan analisis dilakukan saat posisi struktur 0 derajat (posisi awal) dengan menggunakan *stongback*, untuk mengetahui *unity check* dari struktur *jacket* seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Analisis pemodelan pada posisi 0 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 *Unity check* pada posisi 0 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.891	221-188

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.8 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.9

Tabel 4. 8 Reaksi tumpuan pada posisi 0 derajat

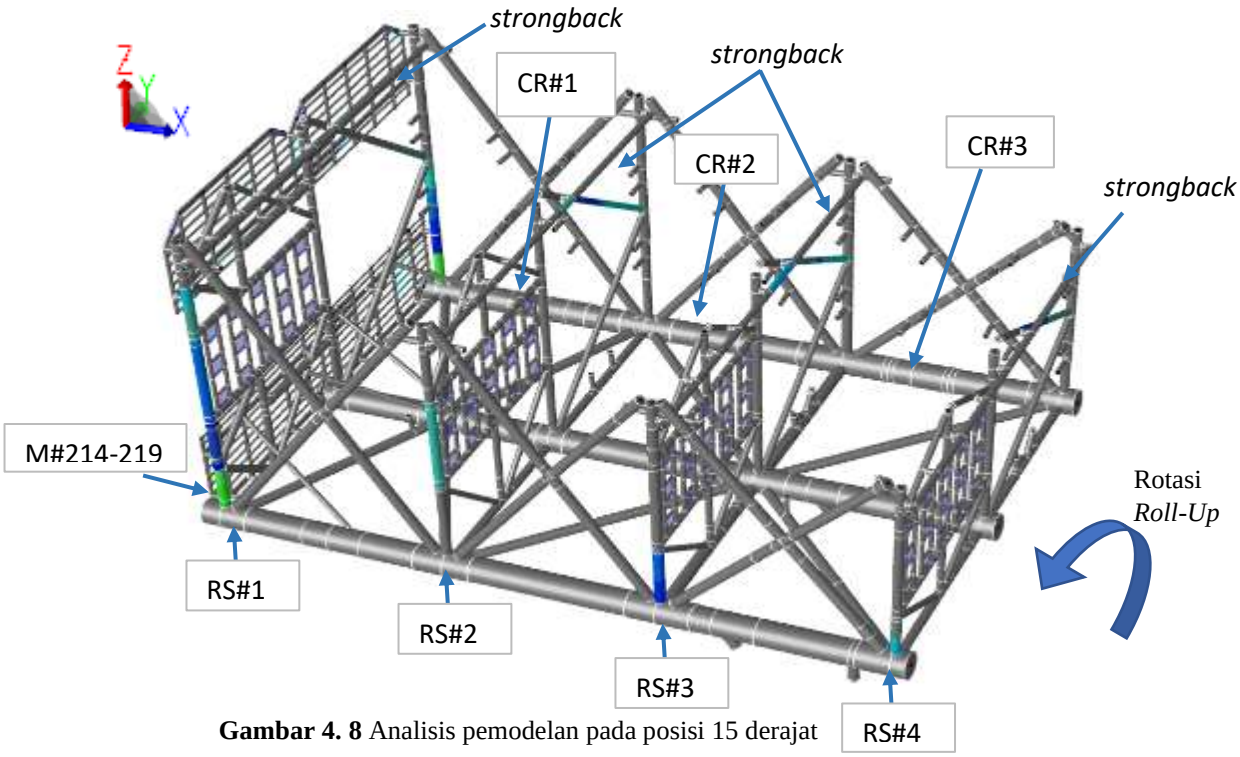
Tumpuan	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	9.12	2.94	139.64
RS#2	-5.56	-6.53	138.91
RS#3	2.39	3.88	141.70
RS#4	-5.95	-0.29	96.03
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**516.28**

Tabel 4. 9 Reaksi *crane* pada posisi 0 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	203.04
CR#2	0	0	101.59
CR#3	0	0	184.07
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**488.70**

4.4.1.2.2 15 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 15 derajat seperti pada Gambar 4.8



Gambar 4. 8 Analisis pemodelan pada posisi 15 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.9

Tabel 4. 10 *Unity check* pada posisi 15 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.78	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.11 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.12

Tabel 4. 11 Reaksi tumpuan pada posisi 15 derajat

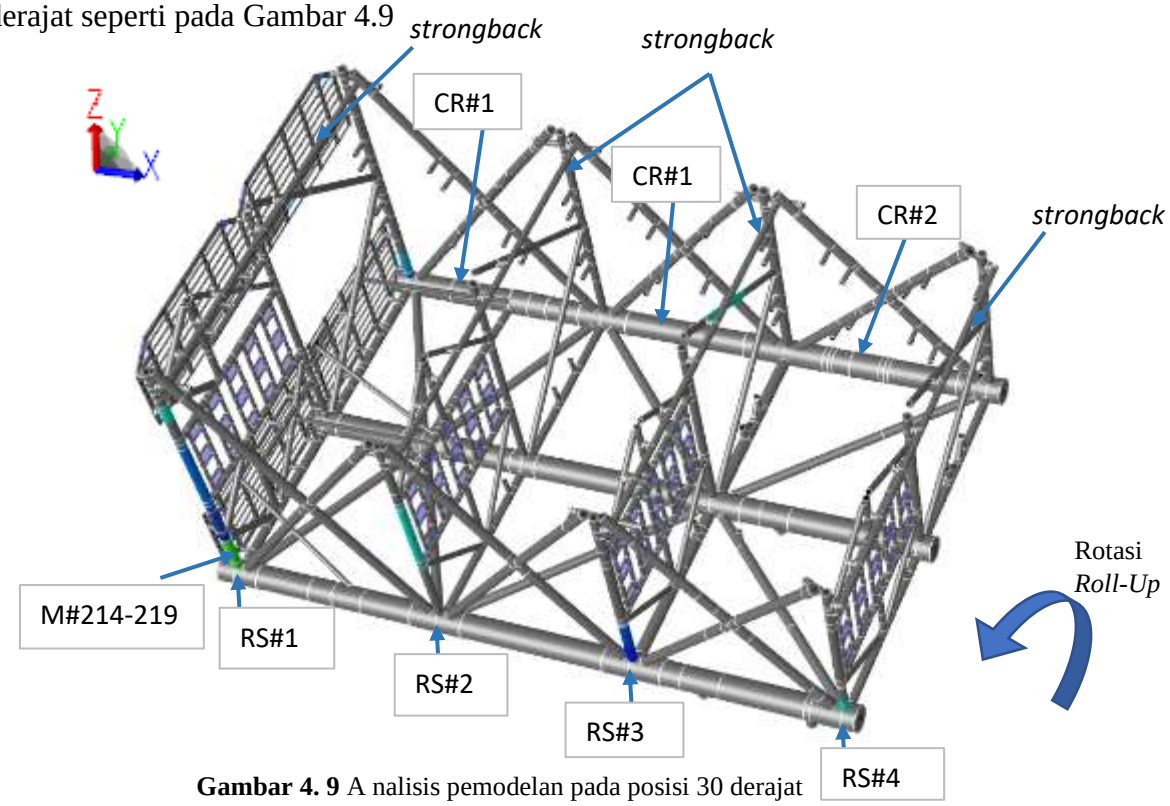
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	10.30	3.73	162.64
RS#2	-5.88	-3.14	153.25
RS#3	4.27	-5.18	154.74
RS#4	-8.70	4.60	102.68
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**573.30**

Tabel 4. 12 Reaksi crane pada posisi 15 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	167.45
CR#2	0	0	96.02
CR#3	0	0	168.20
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**431.68**

4.4.1.2.3 30 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 30 derajat seperti pada Gambar 4.9



Gambar 4. 9 A nalisis pemodelan pada posisi 30 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.13

Tabel 4. 13 *Unity check* pada posisi 30 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.75	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.14 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.15

Tabel 4. 14 Reaksi tumpuan pada posisi 30 derajat

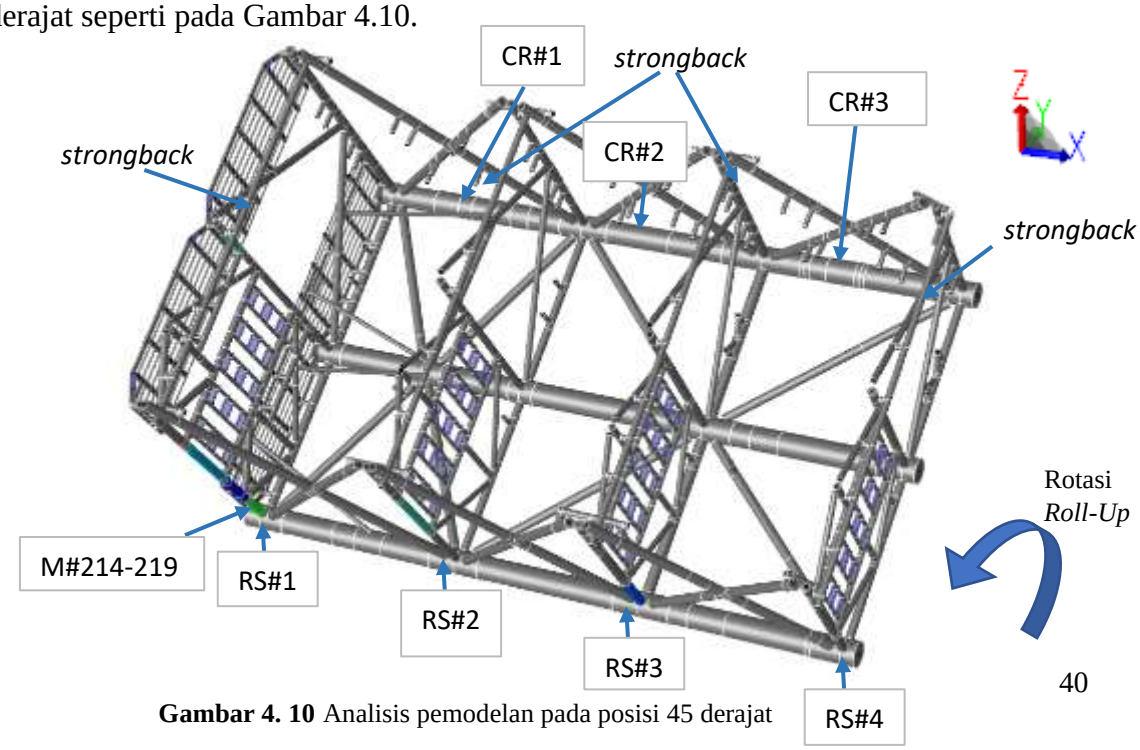
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	13.95	3.58	189.04
RS#2	-7.62	1.75	172.62
RS#3	5.85	-14.38	164.47
RS#4	-12.18	9.04	112.97
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**639.10**

Tabel 4. 15 Reaksi crane pada posisi 30 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	126.12
CR#2	0	0	90.32
CR#3	0	0	149.44
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**365.88**

4.4.1.2.4 45 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 45 derajat seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Analisis pemodelan pada posisi 45 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.16

Tabel 4. 16 *Unity check* tumpuan pada posisi 45 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.74	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.17 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.18

Tabel 4. 17 Reaksi tumpuan pada posisi 45 derajat

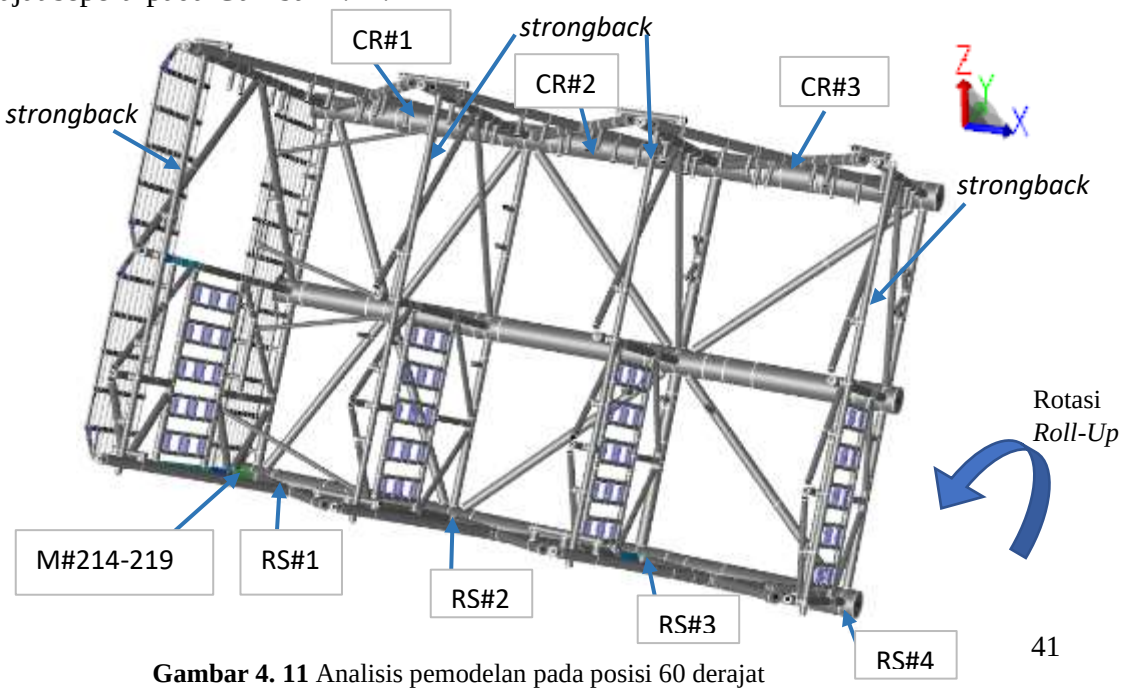
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	20.71	2.55	223.89
RS#2	-10.95	6.74	202.33
RS#3	7.06	-21.03	174.50
RS#4	-16.81	11.75	128.16
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**728.88**

Tabel 4. 18 Reaksi *crane* pada posisi 45 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	71.10
CR#2	0	0	79.92
CR#3	0	0	125.07
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**276.10**

4.4.1.2.5 60 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 60 derajat seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Analisis pemodelan pada posisi 60 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.19

Tabel 4. 19 *Unity check* pada posisi 60 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.66	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.20 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.21

Tabel 4. 20 Reaksi tumpuan pada posisi 60 derajat

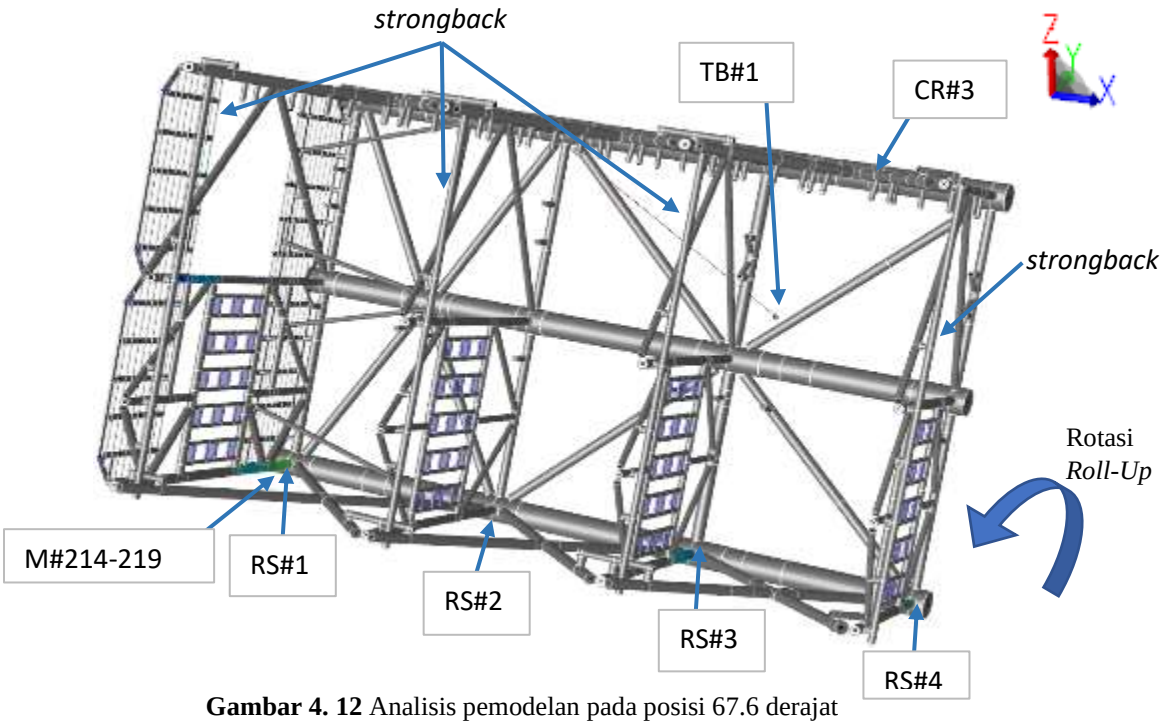
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	32.67	-1.37	273.65
RS#2	-14.64	12.42	259.80
RS#3	7.75	-20.25	200.78
RS#4	-25.78	9.21	149.93
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**884.16**

Tabel 4. 21 Reaksi *crane* pada posisi 60 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	0.00
CR#2	0	0	20.72
CR#3	0	0	100.10
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**120.82**

4.4.1.2.6 67.6 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 67.6 derajat atau pada posisi *angle of balance* nya seperti pada Gambar 4.12 pada tahap ini kinerja dari *crane* sudah mulai berkurang atau sudah tidak bekerja, dikarenakan titik berat struktur tegak lurus dengan tumpuan maka gaya berat dari *jacket* akan menimbulkan momen, akibatnya seluruh beban akan disangga oleh *support*. Maka *Tie-Back* dikencangkan untuk menahan momen pengembali.



Gambar 4. 12 Analisis pemodelan pada posisi 67.6 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.22

Tabel 4. 22 *Unity check* pada posisi 67.6 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.60	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.23 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.24

Tabel 4. 23 Reaksi tumpuan pada posisi 67.6

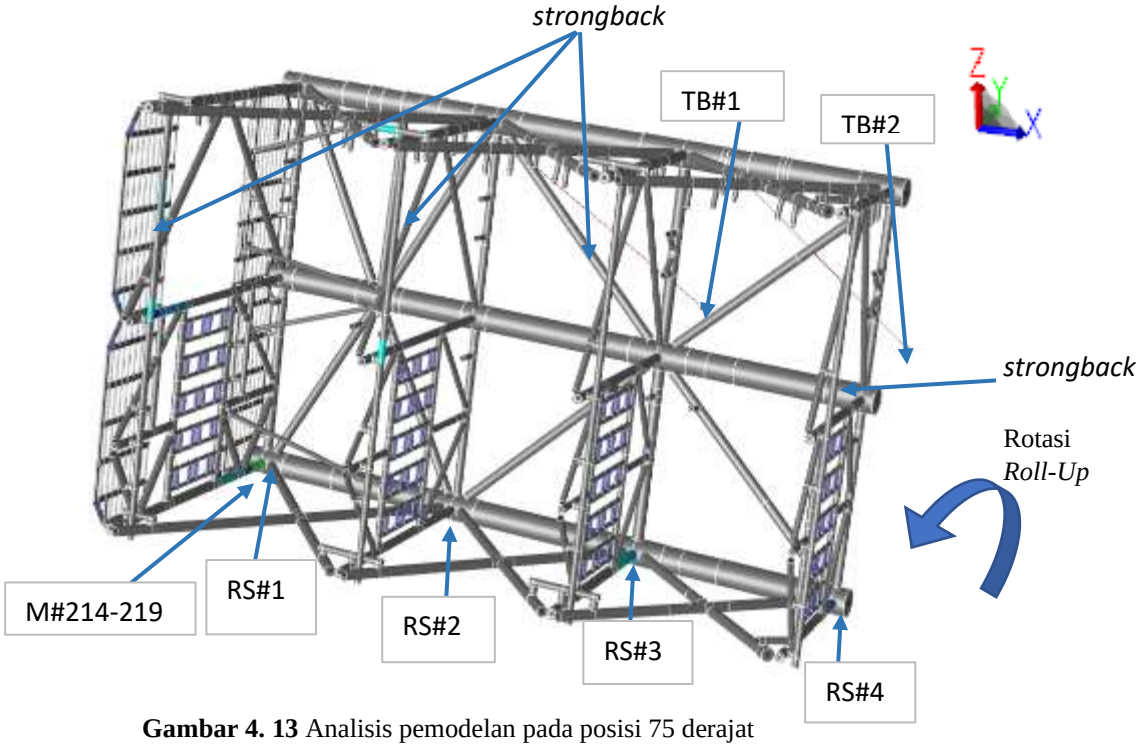
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	37.57	-28.87	282.70
RS#2	-6.17	-13.24	284.78
RS#3	7.73	-25.61	220.50
RS#4	-39.13	0.96	168.22
TOTAL	**0.00**	**-66.76**	**956.20**

Tabel 4. 24 Reaksi *crane* pada posisi 67.6 derajat

CRANE	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
CR#1	0	0	0
CR#2	0	0	0
CR#3	0	0	73.27
TOTAL	**0.00**	**0.00**	**73.33**

4.4.1.2.7 75 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 75 derajat seperti pada Gambar 4.13 pada tahap ini *crane* sudah tidak bekerja dikarenakan titik berat struktur *jacket* sudah melebihi garis tegak lurus sehingga gaya berat dari *jacket* menimbulkan momen, maka *tieback* yang akan menerima beban dari *struktur jacket*



Gambar 4. 13 Analisis pemodelan pada posisi 75 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.25

Tabel 4. 25 *Unity check* pada posisi 75 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.62	214-219

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.26 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.27

Tabel 4. 26 Reaksi tumpuan pada posisi 75 derajat

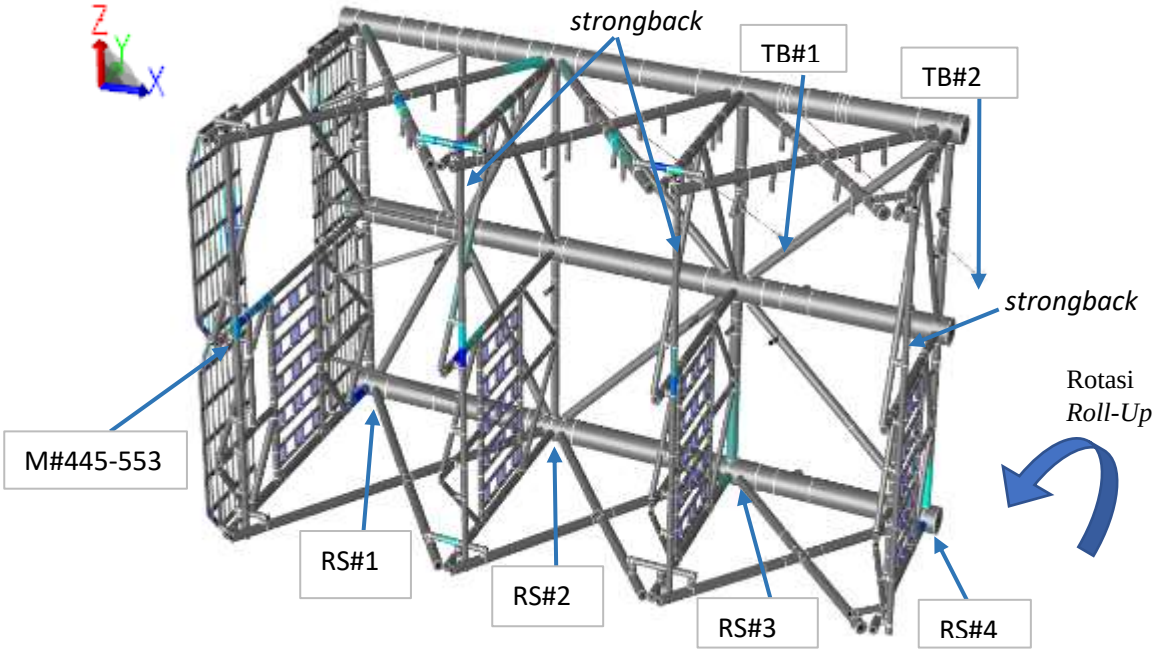
SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	37.32	-26.79	285.04
RS#2	-6.10	-13.53	307.95
RS#3	7.58	-25.81	256.32
RS#4	-38.79	-0.82	206.78
TOTAL	**0.00**	**-66.95**	**1056.09**

Tabel 4. 27 Reaksi *crane* pada posisi 75 derajat

TieBack	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
TB#1	0	62.30	-44.43
TB#2	0	4.65	-2.29
TOTAL	**0.00**	**66.95**	**-46.72**

4.4.1.2.8 90 Derajat

Pemodelan dilanjutkan dengan memutar struktur *jacket* pada saat posisi 90 derajat yang merpakan posisi akhir dari proses *roll-up* seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Analisis pemodelan pada posisi 90 derajat

Unity check terbesar seperti pada Tabel 4.28

Tabel 4. 28 *Unity check* pada posisi 90 derajat

MAX *Unity Check*	MEMBER/JOINT
0.68	445-553

Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan reaksi tumpuan seperti pada Tabel 4.29 dan beban crane yang diangkat seperti pada Tabel 4.30

Tabel 4. 29 Reaksi tumpuan pada posisi 90 derajat

SUPPORT	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
RS#1	43.55	-57.99	295.36
RS#2	-5.48	-60.21	347.13
RS#3	7.04	-58.01	278.45
RS#4	-45.11	-35.09	223.04
TOTAL	**0.00**	**-211.30**	**1143.99**

Tabel 4. 30 Reaksi *crane* pada posisi 90 derajat

TieBack	JOINT REACTION (Ton)		
	X	Y	Z
TB#1	0	142.19	-90.66
TB#2	0	69.11	-43.43
TOTAL	**0.00**	**211.30**	**-134.10**

Dari hasil yang didapatkan dari tiap derajatnya maka *unity check* tiap derajatnya dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan reaksi pada tumpuan dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan juga beban angkat *crane* dapat dilihat pada Tabel 4.33

Tabel 4. 31 Hasil *unity check* tiap sudut

Sudut	**Max Unity *Check***	**Member**
0°	**0.89**	221-188
15°	0.78	214-219
30°	0.75	214-219
45°	0.74	214-219
60°	0.66	214-219
67.6° AOB	0.60	214-219
75°	0.62	214-219
90°	0.68	445-553

Tabel 4. 32 Hasil reaksi tumpuan tiap sudut

JOINT	Force (Ton)							
	0°	15°	30°	45°	60°	67.6° AOB	75°	90°
RS#1	139.64	162.64	189.04	223.89	273.65	282.70	285.04	295.36
RS#2	138.91	153.25	172.62	202.33	259.80	284.78	307.95	347.13
RS#3	141.70	154.74	164.47	174.50	200.78	220.50	256.32	278.45
RS#4	96.03	102.68	112.97	128.16	149.93	168.22	206.78	223.04

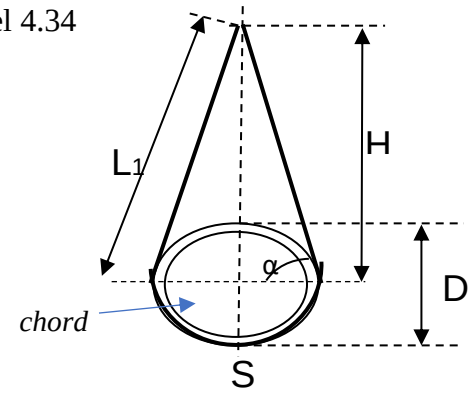
Tabel 4. 33 Hasil reaksi *crane* tiap sudut

Crane	Force (Ton)					
	0°	15°	30°	45°	60°	67.6° AOB
CR#1	203.04	167.45	126.12	71.10	0.00	0.00
CR#2	101.59	96.02	90.32	79.92	20.72	0.00
CR#3	184.07	168.20	149.44	125.07	100.10	73.27

Unity check terbesar yaitu pada saat akan dilakukan *roll – up* yaitu pada saat 0° sebesar 0.89 dan reaksi terbesar ketika dilakukan *lifting* yaitu pada *crane#1* sebesar 203.04 ton, pada *crane#2* sebesar 101.59 ton dan pada *crane#3* sebesar 184.07 ton sedangkan pada tumpuan reaksi terbesar pada saat struktur dalam posisi 90° yaitu sebesar 347. Reaksi pada titik angkat dan tumpuan nantinya digunakan untuk mendesain konfigurasi *rigging* dan mendesain *roll – up support.*

4.5 Menentukan Konfigurasi *Rigging*

Konfigurasi *rigging* seperti pada Gambar 4.15 ditentukan dengan beban yang di angkat oleh *crane* dari hasil pemodelan struktur *jacket* menggunakan *SACS 12.0 Connect*, beban *crane* ditentukan dengan reaksi yang terbesar dari hasil pemodelan. Konfigurasi *rigging* dengan langsung mengikatkan *sling* pada *chord.* Properties pada sling seperti pada Tabel 4.34



Gambar 4. 15 *sling* diikat langsung ke *chord*

Tabel 4. 34 Properties pada *sling*

Properties	Magnitude	Unit
Modulus Elastis	1.034213×10^{5}	N/mm^2
Shear Modulus	7.999998×10^{4}	N/mm^2
Densitas	7.850035×10^{-6}	Kg/mm^2
Yield Strength	3.399804×10^{2}	N/mm^2
Tensile Strength	4.800129×10^{2}	N/mm^2

Beban yang diambil pada *Crane#1* yaitu 203.04 ton, pada *Crane#2* 101.59 ton dan pada *Crane#3* 184.07 ton, lalu dilanjutkan dengan perhitungan penentuan *sling*,

Minimum breaking load dari berbagai ukuran *sling* dapat diketahui seperti pada Tabel 4.35

Tabel 4. 35 *Minimum breaking load* pada *sling*

sling dia (mm)	MBL (Ton)
50.8	179.06
63.5	273.09
76.2	385.13
88.9	564.19
101.6	720.25
114.3	888.30

Ukuran *chord* yang menjadi titik angkat dan beban yang diterima dapat dilihat pada Tabel 4.36

Tabel 4. 36 Beban dan ukuran *chord*

Crane	Beban (Ton)	Ukuran *Chord (mm)*
Crane#1	203.04	1943 x 25
Crane#2	101.59	1943 x 25
Crane#3	184.07	1963 x 35

1) Pada *crane#1* menggunakan *sling* seperti pada Tabel 4.37

Tabel 4. 37 Panjang dan diameter *sling* pada *crane#1*

Panjang *sling* (m)	Diameter *sling* (mm)
21.514	88.9

Faktor reduksi pada *sling* dapat dilihat pada perhitungan 4.2

$$Eb = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{D-d}}$$

$$= 1 - \frac{0.5}{\sqrt{1943-88.9}} = 0.89 \quad \textbf{(4.2)}$$

Untuk Mengetahui *Safety Factor* pada *sling* berdasarkan API 2A WSD *sling* yang digunakan minimum 4, maka dilakukan perhitungan 4.3

$$SF = \frac{MBL\ x\ 2\ x\ Eb}{Load} \geq 4$$

$$SF = \frac{5532.84\ x\ 2\ x\ 0.89}{1991.19} \geq 4$$

$$SF = 5.0 \geq 4 \quad \textbf{(4.3)}$$

Untuk mengetahui *sling* yang melingkari *chord* dapat ditentukan seperti pada perhitungan 4.4

$$S = \pi \frac{D}{2}$$

$$S = 3.142 \frac{1943}{2}$$

$$= 3052.453mm \quad \textbf{(4.4)}$$

Mengetahui panjang *sling* dari *chord* ke *hook crane#1* pada perhitungan 4.5

$$\mathrm{L1} = \frac{(\mathrm{Lt} - \mathrm{S})}{2}$$

$$\mathrm{L1} = \frac{(21514 - 3052.453)}{2}$$

$$L1 \ = \ 9230 \ mm \tag{4.5}$$

Sling setelah diikat pada *chord* akan membentuk sudut yang dihitung dengan persamaan 4.6

$$\alpha \ = \text{acos}\left(\frac{\text{r}}{\text{Lt}}\right)$$

$$\alpha \ = \text{acos}\left(\frac{971.5}{21514}\right)$$

$$= 84 \ Derajat \tag{4.6}$$

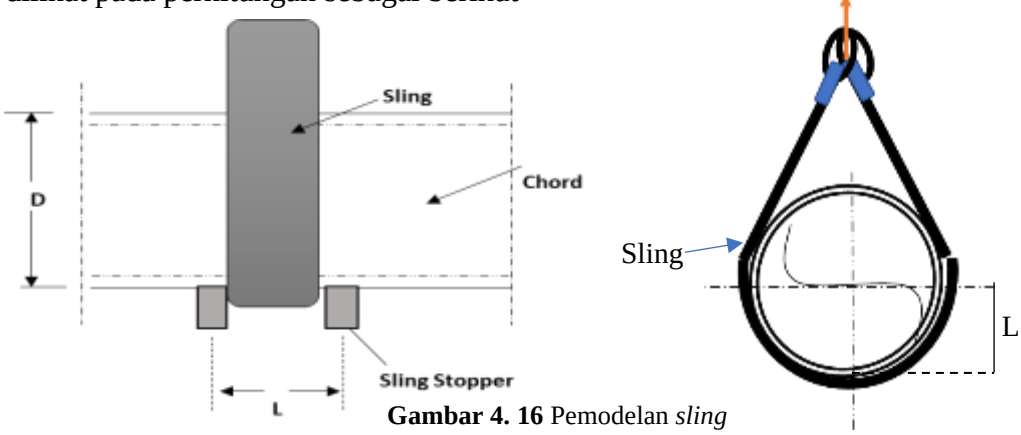
Tinggi *sling* dari titik tengah *chord* ke titik tengah *hook* ditarik garis tegak lurus, dapat dihitung dengan persamaan 4.7

$$\boldsymbol{H \ = \text{L1}^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{H \ = 18461.547^2 - \left(\frac{1943}{2}\right)^2}$$

$$\boldsymbol{H \ = 9180 \ mm} \tag{4.7}$$

Mengetahui tegangan shear, tegangan bending, dan tegangan aksial dapat dilihat pada perhitungan sebagai berikut

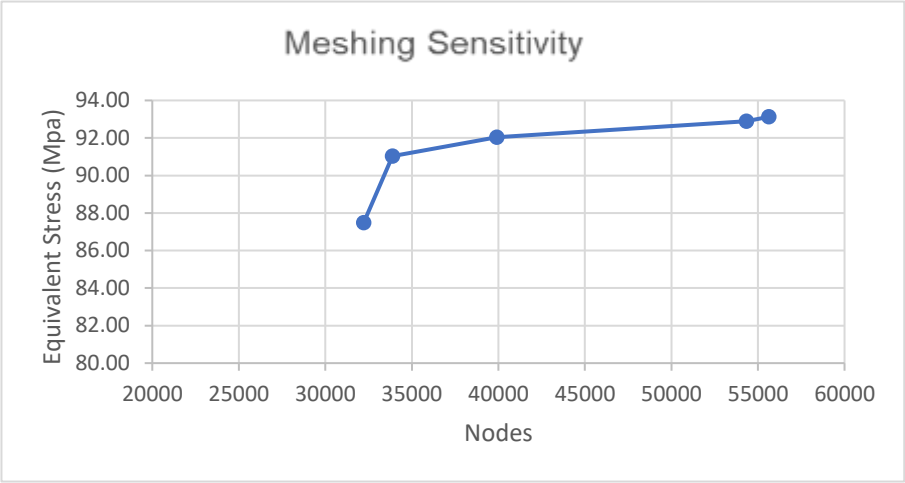


Gambar 4. 16 Pemodelan *sling*

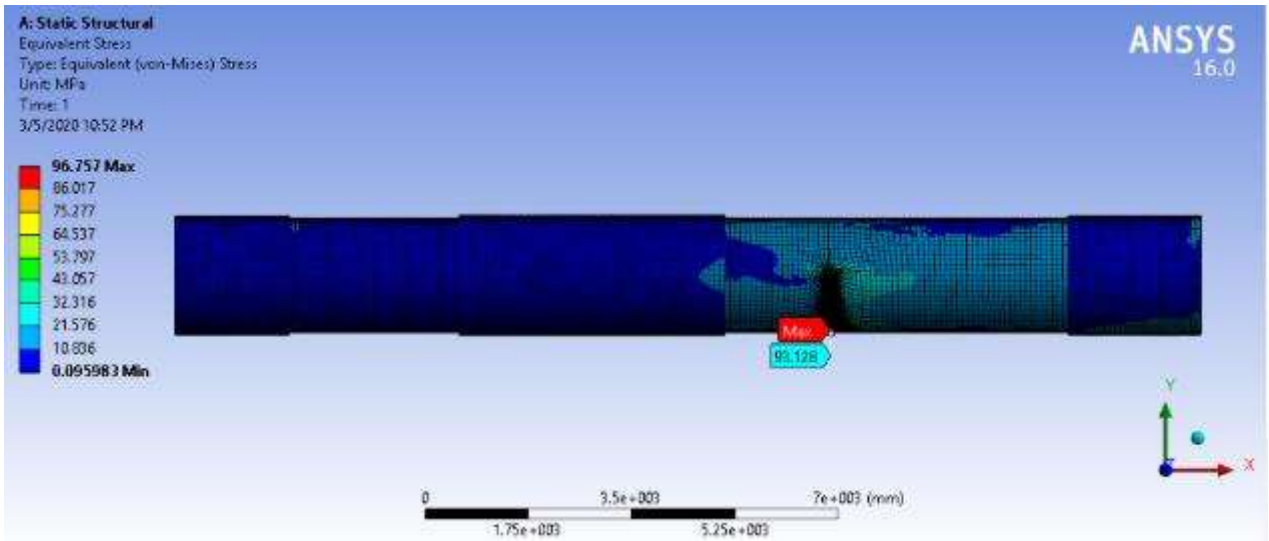
Dengan memodelkan titik angkat dengan menggunakan Ansys 16.0, *meshing sensitivity* dapat dilihat pada Tabel 4.38 dan Gambar 4.17 untuk mengetahui reaksi *tubular* ketika diangkat dengan menggunakan *sling* seperti pada Gambar 4.18

Tabel 4. 38 Hasil Analisis pada *crane* 1 dengan ANSYS

Beban (Ton)	Size (mm)	Nodes	Elements	Equivalent Stress (Mpa)
203.04	0.025	32217	33445	87.49
	0.02	33878	36784	91.04
	0.015	39909	44117	92.03
	0.01	54321	59519	92.89
	0.0095	55629	60005	93.13



Gambar 4. 17 Grafik *Meshing Sensitivity* pada *crane* 1



Gambar 4. 18 Reaksi *tubular* pada *crane 1*

Dari hasil pemodelan Ansys 16.0 dapat diketahui reaksi terbesar yaitu 96.75 MPa dan yang terendah yaitu 0.09 Mpa, untuk perhitungan *sling stopper crane* 1 dapat dilihat pada lampiran B.

2) Pada *crane#2* menggunakan *sling* seperti pada Tabel 4.39

Tabel 4. 39 Panjang dan diameter pada *crane#2*

Panjang *sling* (m)	Diameter *sling* (mm)
21.539	63.5

Faktor reduksi pada *sling* pada perhitungan 4.8

$$Eb = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{D - d}}$$

$$= 1 - \frac{0.5}{\sqrt{1943 - 63.5}} = 0.91 \quad \textbf{(4.8)}$$

Untuk Mengetahui *Safety Factor* pada *sling* berdasarkan API 2A WSD *sling* yang digunakan minimum 4, maka dilakukan perhitungan 4.9

$$SF = \frac{MBL\ x\ 2\ x\ Eb}{Load} \geq 4$$

$$SF = \frac{2678.13\ x\ 2\ x\ 0.91}{996.21} \geq 4$$

$$SF = 4.9 \geq 4 \quad \textbf{(4.9)}$$

Untuk mengetahui *sling* yang melingkari *chord* dapat ditentukan dengan perhitungan 4.10

$$S = \pi \frac{D}{2}$$

$$S = 3.142 \frac{1943}{2}$$

$$= 3052\ mm \quad \textbf{(4.10)}$$

Mengetahui panjang *sling* dari *chord* ke *hook crane#2* dapat diketahui dengan perhitungan 4.11

$$\mathrm{L1} = \frac{(\mathrm{Lt} - \mathrm{S})}{2}$$

$$\mathrm{L1} = \frac{(21514 - 3052)}{2}$$

$$= 9230.9\ mm \quad \textbf{(4.11)}$$

Sling setelah diikat pada *chord* akan membentuk sudut yang dihitung dengan persamaan 4.12

$$\alpha = \text{acos}\left(\frac{\text{r}}{\text{Lt}}\right)$$

$$\alpha = \text{acos}\left(\frac{971.5}{21514}\right)$$

$$= 84 \text{ Derajat} \quad \textbf{(4.12)}$$

Tinggi *sling* dari titik tengah *chord* ke titik tengah *hook* ditarik garis tegak lurus, dapat dihitung dengan persamaan 4.13

$$H = \text{L1}^2 - (\frac{D}{2})^2$$

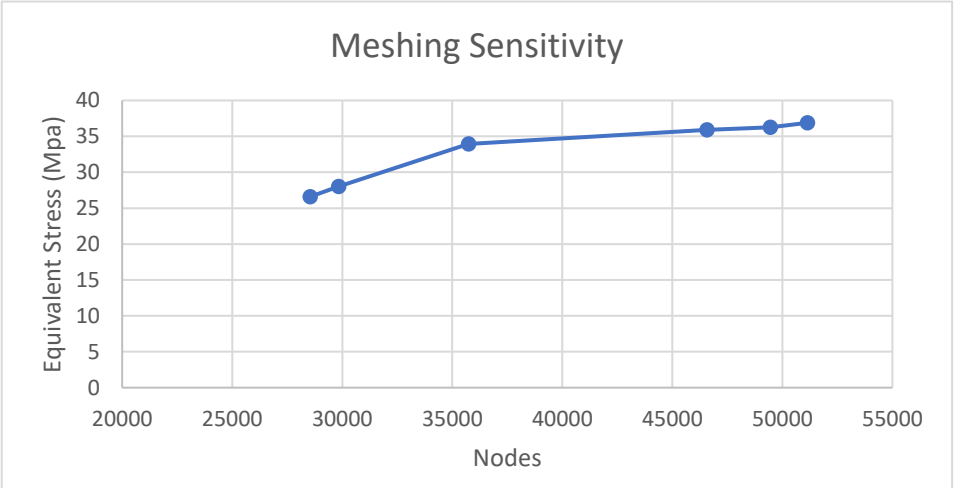
$$H = 18461.547^2 - \left(\frac{1943}{2}\right)^2$$

$$H = 9180\ mm \quad \textbf{(4.13)}$$

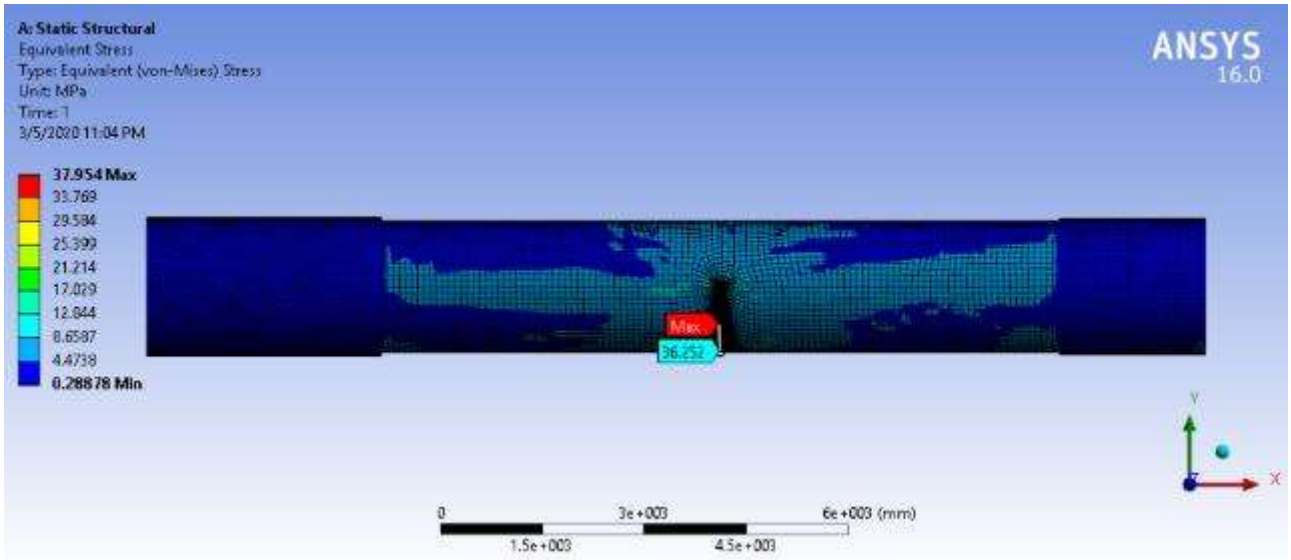
Dengan memodelkan titik angkat dengan menggunakan Ansys 16.0, *meshing sensitivity* dapat dilihat pada Tabel 4.40 dan Gambar 4.19 untuk mengetahui reaksi *tubular* ketika diangkat dengan menggunakan *sling* seperti pada Gambar 4.20

Tabel 4. 40 Hasil Analisis pada *crane* 2 dengan ANSYS

Beban (Ton)	Size (mm)	Nodes	Elements	Equivalent Stress (Mpa)
101.59	0.025	28542	27378	26.59
	0.02	29833	30194	28.027
	0.015	35740	40119	33.953
	0.01	46563	50216	35.917
	0.0095	49444	53701	36.252
	0.009	51132	54128	36.877



Gambar 4. 19 Grafik *meshing sensitivity* pada *crane* 2



Gambar 4. 20 Reaksi *tubular* pada *crane* 2

Dari hasil pemodelan Ansys 16.0 dapat diketahui reaksi terbesar yaitu 37.95 MPa dan yang terendah yaitu 0.28 Mpa, untuk perhitungan *sling stopper crane 2* dapat dilihat pada lampiran B.

3) Pada *crane#3* menggunakan *sling* seperti pada Tabel 4.41

Tabel 4. 41 Panjang dan diameter pada *crane#3*

Panjang *sling* (m)	Diameter *sling* (mm)
21.539	88.9

Faktor reduksi pada *sling* pada perhitungan 4.14

$$Eb = 1 - \frac{0.5}{\sqrt{D - d}}$$

$$= 1 - \frac{0.5}{\sqrt{1943 - 88.9}} = 0.89 \quad \textbf{(4.14)}$$

Untuk Mengetahui *Safety Factor* pada *sling* berdasarkan API 2A WSD *sling* yang digunakan minimum 4, maka dilakukan perhitungan 4.15

$$SF = \frac{MBL\ x\ 2\ x\ Eb}{Load} \geq 4$$

$$SF = \frac{5532.84\ x\ 2\ x\ 0.89}{1805.08} \geq 4$$

$$SF = 5.5 \geq 4 \quad \textbf{(4.15)}$$

Untuk mengetahui *sling* yang melingkari *chord* dapat ditentukan dengan perhitungan 4.16

$$S = \pi \frac{D}{2}$$

$$S = 3.142 \frac{1963}{2}$$

$$= 3083.87\ mm \quad \textbf{(4.16)}$$

Mengetahui panjang *sling* dari *chord* ke *hook crane#2* dapat diketahui dengan perhitungan 4.17

$$\mathrm{L1} = \frac{(\mathrm{Lt} - \mathrm{S})}{2}$$

$$\mathrm{L1} = \frac{(21539 - 3083.87)}{2}$$

$$= 9227.9\ mm \quad \textbf{(4.17)}$$

Sling setelah diikat pada *chord* akan membentuk sudut yang dihitung dengan persamaan 4.18

$$\alpha = \mathrm{acos}\left(\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{Lt}}\right)$$

$$\alpha = \text{acos}\left(\frac{981.5}{21539}\right)$$

$$= 83.9 \text{ Derajat} \quad \textbf{(4.18)}$$

Tinggi *sling* dari titik tengah *chord* ke titik tengah *hook* ditarik garis tegak lurus, dapat dihitung dengan persamaan 4.19

$$H = \text{L1}^2 - (\frac{D}{2})^2$$

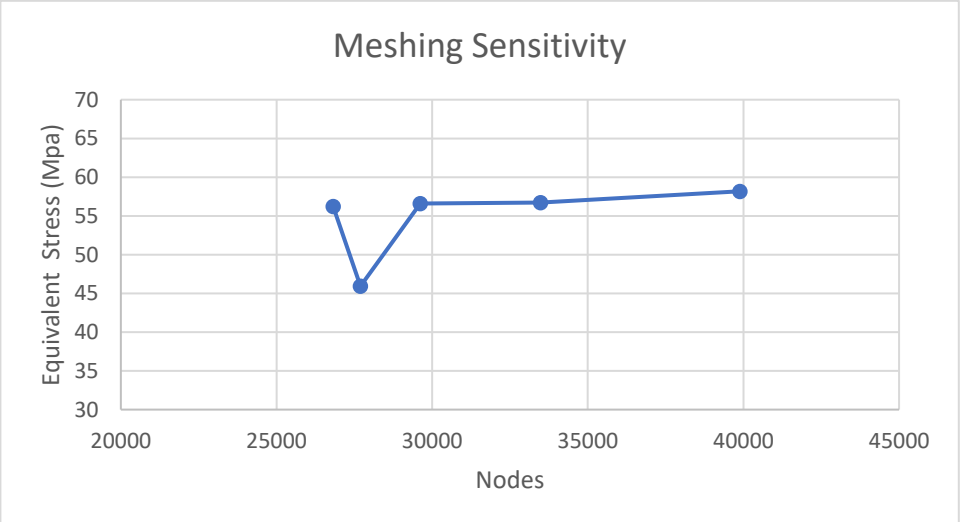
$$H = 9227.9^2 - (\frac{1963}{2})^2$$

$$H = 9176\ mm \quad \textbf{(4.19)}$$

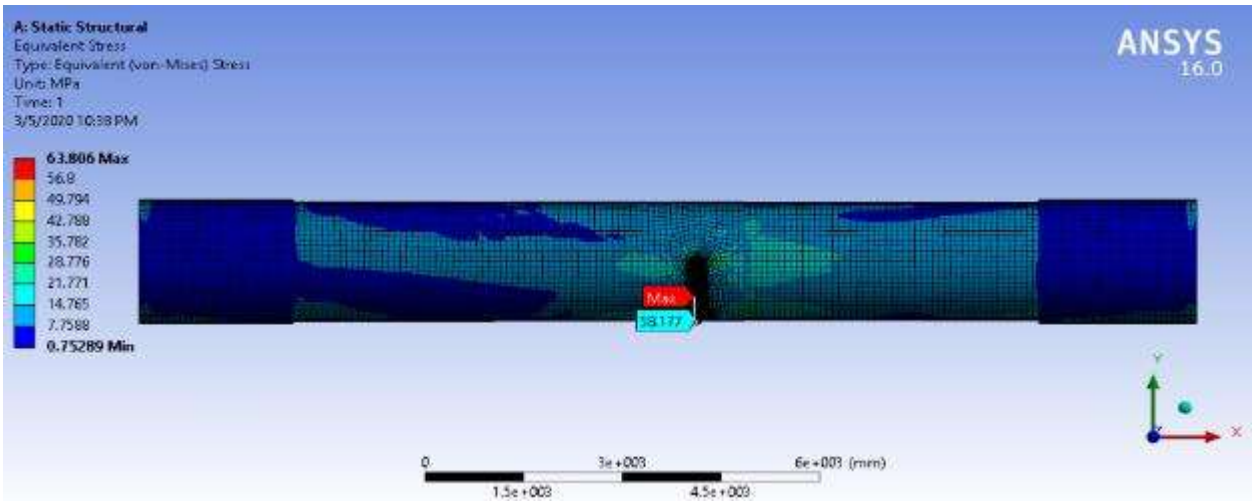
Dengan memodelkan titik angkat dengan menggunakan Ansys 16.0, *meshing sensitivity* dapat dilihat pada Tabel 4.42 dan Gambar 4.21 untuk mengetahui reaksi *tubular* ketika diangkat dengan menggunakan *sling* seperti pada Gambar 4.22

Tabel 4. 42 Hasil Analsisis pada *crane* 3

Beban (Ton)	Size (mm)	Nodes	Elements	Equivalent *stress* (Mpa)
184.07	0.03	27700	20658	56.23
	0.025	29617	24064	45.93
	0.02	33486	35754	56.61
	0.015	39885	37476	56.70
	0.01	52364	51421	58.18



Gambar 4. 21 Grafik *Meshing sensitivity* pada *crane* 3

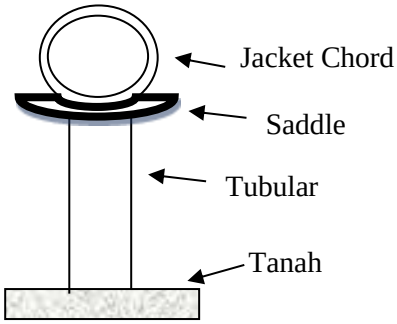


Gambar 4. 22 Reaksi *tubular* pada *crane* 3

Dari hasil pemodelan Ansys 16.0 dapat diketahui reaksi terbesar yaitu 63.80 MPa dan yang terendah yaitu 0.75 Mpa, untuk perhitungan *sling stopper crane 3* dapat dilihat pada lampiran B.

4.6 Menentukan Desain *Roll – up Support*

Menentukan *support* untuk kegiatan *roll – up* harus diperhatikan, ukuran *tubular* yang dipilih harus dapat menahan beban yang diterima karena *tubular support* menerima tegangan kompresi aksial dari beban struktur, perhitungan kompresi aksial dapat dilihat pada Gambar 4.23



Gambar 4. 23 *Roll – up support*

Properti dari *roll – up support* dapat dilihat pada Tabel 4.43 dan *section property* dapat dilihat pada Tabel 4.44

Tabel 4. 43 Properti *roll – up support*

Diameter (mm)	Ketebalan (mm)	Tinggi tubular (mm)	*Yield Stress (Mpa)*
680	25	2000	345

Tabel 4. 44 *section* property *roll -up support*

Area (A) m^2	Section Modulus (S) m^3	Momen inersia (I) m^4	*Radius (r) m*	D/t
0.0514	0.812	0.0028	23.16	27.2

Beban yang diambil untuk desain *roll – up* support diambil dari hasil reaksi tumpuan pada hasil analisis pemodelan menggunakan SACS 12.0 *Connect*, untuk data pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.45

Tabel 4. 45 Beban terhadap *roll – up support*

Beban aksial (Ton)	MIPB (Ton-m)	MOPB (Ton-m)	Tegangan Geser *(Ton)*	Safety Faktor
347.13	69.42	1.81	69.42	1.5

Perhitungan tegangan kompresi aksial dapat dilihat pada persamaan 4.20

$$fa = \frac{P\ x\ SF}{A}$$

$$fa = 99.26\ Mpa$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)}{2C_c^2}\right] Fy}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8{C_c}^3}}$$

$$F_a = 206.63\ Mpa$$

$$Stress\ Ratio = \frac{fa}{Fa} < 1.0$$

$$Stress\ Ratio = 0.48 < 1.0 \qquad \textbf{(4.20)}$$

Dan tegangan ijin pada bending *stress dapat* dilihat pada Tabel 4.46

Tabel 4. 46 Menentukan tegangan ijin *bending*

D/t	1500/Fy	3000/Fy
27.20	30.00	60.00

Dikarenakan D/t lebih kecil dari 1500/Fy maka tegangan ijin pada bending dihitung menggunakan persamaan 4.21

$$F_b = 0.75\ F_y$$

$$F_b = 258.55\ Mpa \tag{4.21}$$

Dengan mengetahui tegangan ijin ketika *bending* maka dicari *inplane bending moment* dan *outplane bending moment* pada Tabel 4.50

Tabel 4. 47 *inplane* dan *ouplane* bending

	Inplane Bending Moment	*Outplane Bending Moment*
Bending Stress	125.67 Mpa	3.25 Mpa
Stress Ratio	0.49 < 1.0	0.01 < 1.0

Perhitungan kombinasi tegangan aksial dan *bending* harus ditentukan, dikarenakan fa/Fa menghasilkan 0.28 yaitu berarti fa/Fa>0.15 maka dihitung dengan persamaan 4.22

$$SR = \frac{f_a}{0.6F_y} + \frac{C_m\sqrt{f_{bx}^2 + f_{by}^2}}{\left(1 - \frac{f_a}{f_e'}\right)F_b} \leq 1$$

$$SR = 0.97 \leq 1 \tag{4.22}$$

Tegangan shear dapat dicari dengan persamaan dan tegangan ijinnya pada persamaan 4.23

$$fv = \frac{V\ x\ SF}{0.5A}$$

$$fv = 39.71\ Mpa$$

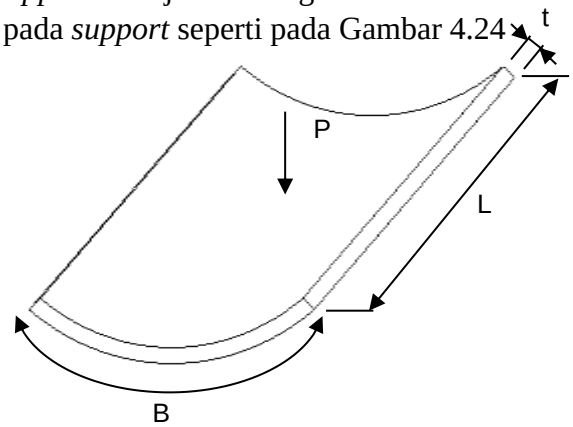
$$\text{Fv} = 0.4\ \times\ \text{Fy}$$

$$\text{Fv} = 137.89\ \text{Mpa}$$

$$SR = \frac{fv}{Fv}$$

$$\text{SR} = 0.29 < 1.0 \tag{4.23}$$

Setelah desain untuk *support* dilanjutkan dengan menentukan *saddle* yang fungsinya untuk dudukan *chord* pada *support* seperti pada Gambar 4.24



Gambar 4. 24 *Saddle*

Pada Tabel 4.48 merupakan desain dari *saddle* dan untuk mengetahui tegangan beban struktur pada saddle maka dilakukan perhitungan dengan persamaan 4.24

Tabel 4. 48 Desain *Saddle*

Beban (Ton)	Lebar *saddle* (mm)	Panjang *saddle* (mm)	Tebal *saddle* (mm)	Material (Mpa)	Dia. Support (mm)	Tebal support (mm)	Safety Faktor
347.13	732	2139.42	15.00	345	680	25	1.5

$$F = \frac{3404.22}{732\ x\ 2139.42}$$

$$F = 2.17\ Mpa$$

$$SR = \frac{3404.22\ x\ 1.5}{0.6\ x\ 50}$$

$$SR = 0.016 < 1.00 \qquad \textbf{(4.24)}$$

Perhitungan tubular *support* pada *saddle* dapat diperhitungkan dengan persamaan 4.25

$$F = \frac{3404.22}{51443.57}$$

$$F = 66.17\ Mpa$$

$$SR = \frac{3404.22\ x\ 1.5}{0.6\ x\ 50}$$

$$SR = 0.48 < 1.00 \qquad \textbf{(4.25)}$$

BAB V

PENUTUP

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis struktur *jacket* pada saat *roll – up* dengan konfigurasi *rigging* dan *roll – up support*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis pemodelan struktur menggunakan *software* SACS 12.0 berupa integritas struktur dengan *unitycheck* terbesar pada posisi struktur 0° yaitu 0.89, reaksi beban terbesar pada titik angkat berada di CR#1 yaitu 203.04 ton, dan reaksi beban terbesar pada tumpuan berada di RS#2 yaitu 347.13 ton.
2. Pemodelan konfigurasi *rigging* menggunakan hasil pemodelan struktur dari *software* SACS 12.0 dengan reaksi beban titik angkat terbesar pada CR#1 yaitu 203.04 ton, CR#2 yaitu 101.59 ton, CR#3 yaitu 184.07 ton. Maka ditentukan ukuran sling pada CR#1 yaitu 88.9 mm, CR#2 yaitu 63.5 mm, dan CR#3 yaitu 88.9 mm.
3. Analisis pemodelan *roll – up support* atau tumpuan dengan menggunakan reaksi beban terberat yaitu 347.13 ton, maka desain tumpuan menggunakan *tubular* berdimensi diameter 660 mm, ketebalan 25 mm, panjang 2000 mm.
4. Pemodelan *saddle* pada *roll – up support* dengan menggunakan reaksi beban terberat dan desain tumpuan seperti pada nomor 3, maka dihasilkan desain *saddle* dengan dimensi panjang 2139.42 mm, tebal 15 mm, dan lebar 732 mm.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini adalah sebagai beriku:

1. Diharapkan penelitian dengan topik yang sama menggunakan variasi struktur yang berbeda dan dianalisa dengan menggunakan software yang berbeda.
2. Analisa dapat dilanjutkan dengan menganalisis kekuatan dari *tie -back* dan kekuatan pada *crane.*

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Adly, Emil. 2013. *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*.

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

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

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. *Analisa Konfigurasi Rigging Pada Proses Lifting Deck Structure.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS

Meinandi, Dwiki. 2015. *Desain Dan Analisis Lifting Struktur Jacket 8 Kaki.* Bandung: Tugas Akhir FTSL-ITB

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

OSHS. 1992. *Approved Code of Practice For Load – Lifting Rigging.* New Zealand: Department of Labour.

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

Raharjaning, Iqbal. 2016. *Analisis Keandalan Struktur Padeye Berdasarkan Konfigurasi Rigging Pada Lifting Upper Deck Modul Modec Dengan Pendekatan Dinamik.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS

Samie, N. N. (2016). Disciplines Involved in Offshore Platform Design. Practical Engineering Management of Offshore Oil and Gas Platforms, 25–212.

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

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

Tumurang, Olivia. M. 2016. *Analisis Tata Letak Stiffener Terhadap Tekuk Lokal Baja.* Manado: Tugas Akhir FT-UNSRAT

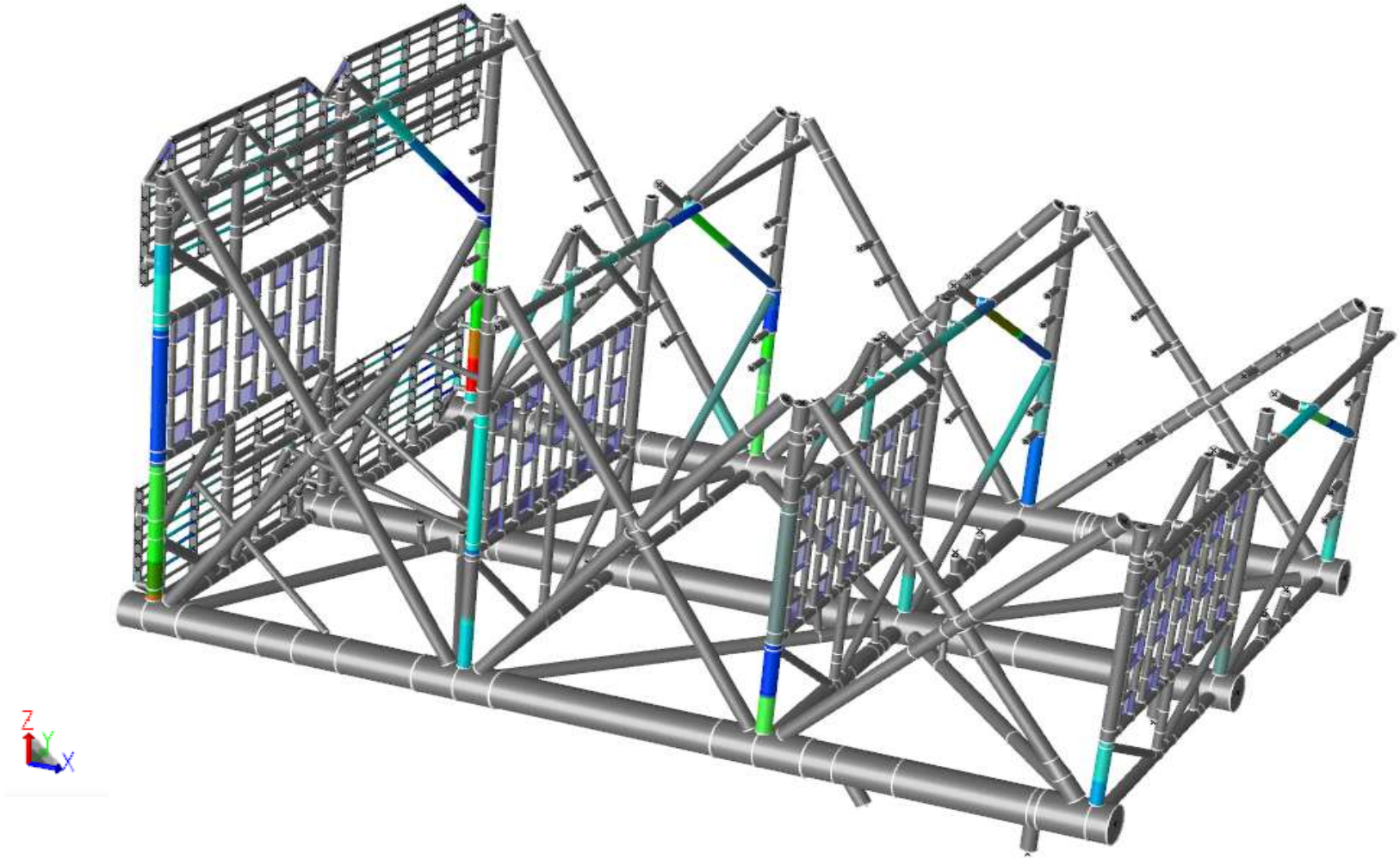
Yanisari. 2010. *Analisa Gerakan Struktur Jacket Tripod Wellhead Platform, Pada Proses Instalasi Dengan Metode Roll – Up Upending.* Surabaya: Tugas Akhir FTK-ITS

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

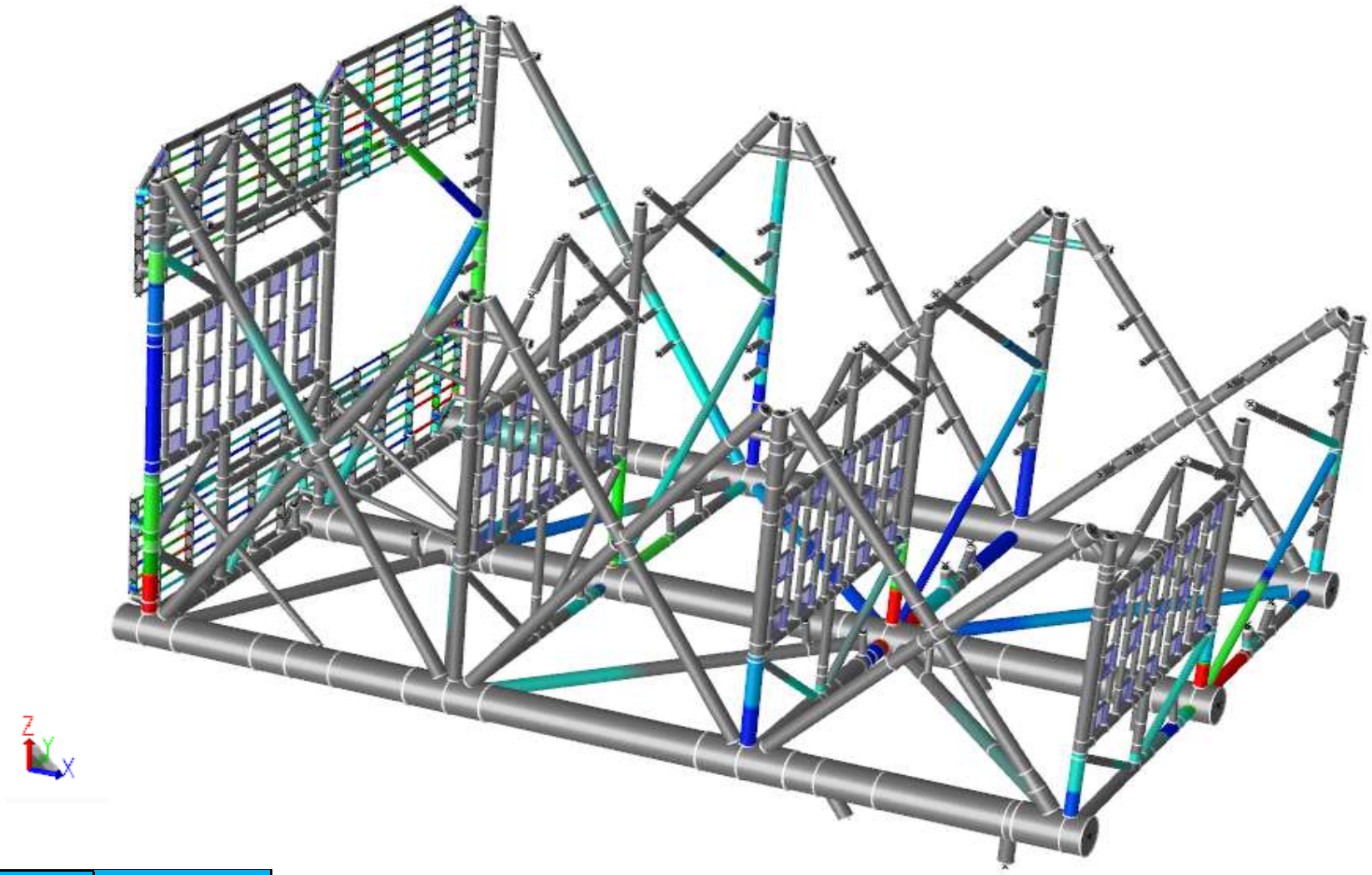
Hasil analisis struktur menggunakan *Strongback* dengan *Software* SACS 12

Struktur mengalami kegagalan dengan *unitcheck* sebesar 1.12



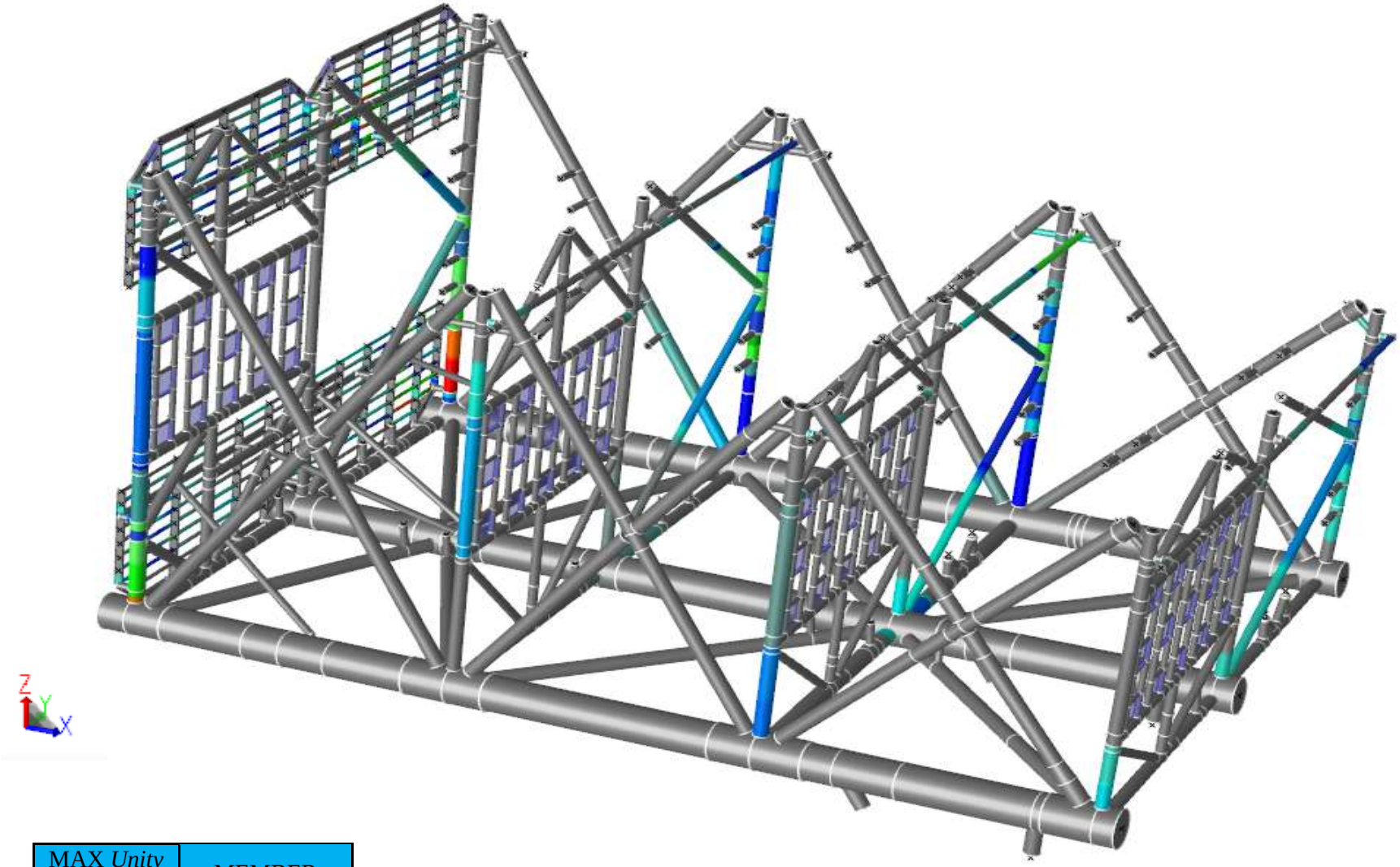
MAX *Unity Check*	MEMBER
1.12	221-188

Struktur mengalami kegagalan dengan *unitcheck* sebesar 4.16



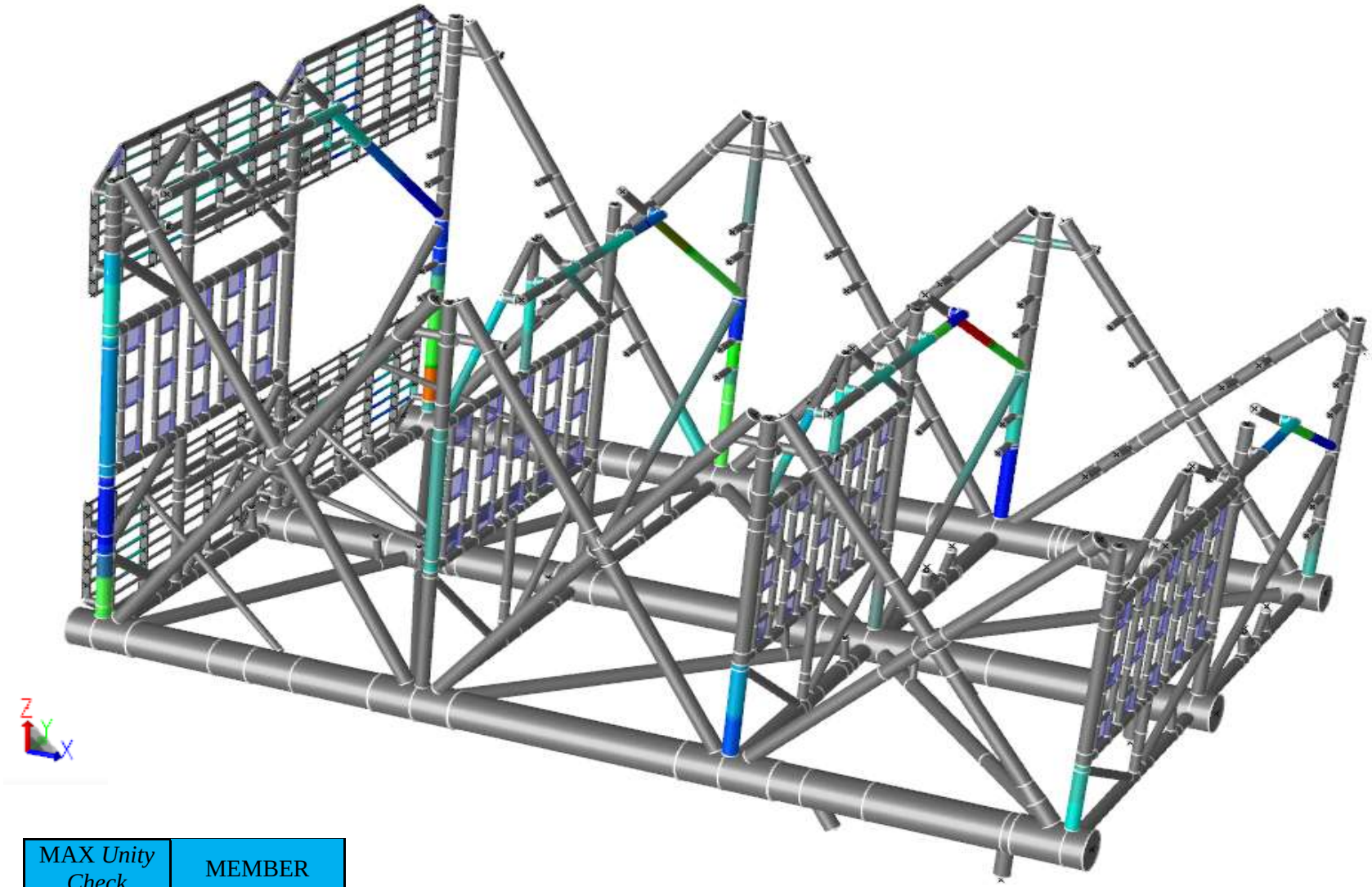
MAX *Unity Check*	MEMBER
4.16	178-179

Struktur mengalami kegagalan dengan *unitcheck* sebesar 2.74



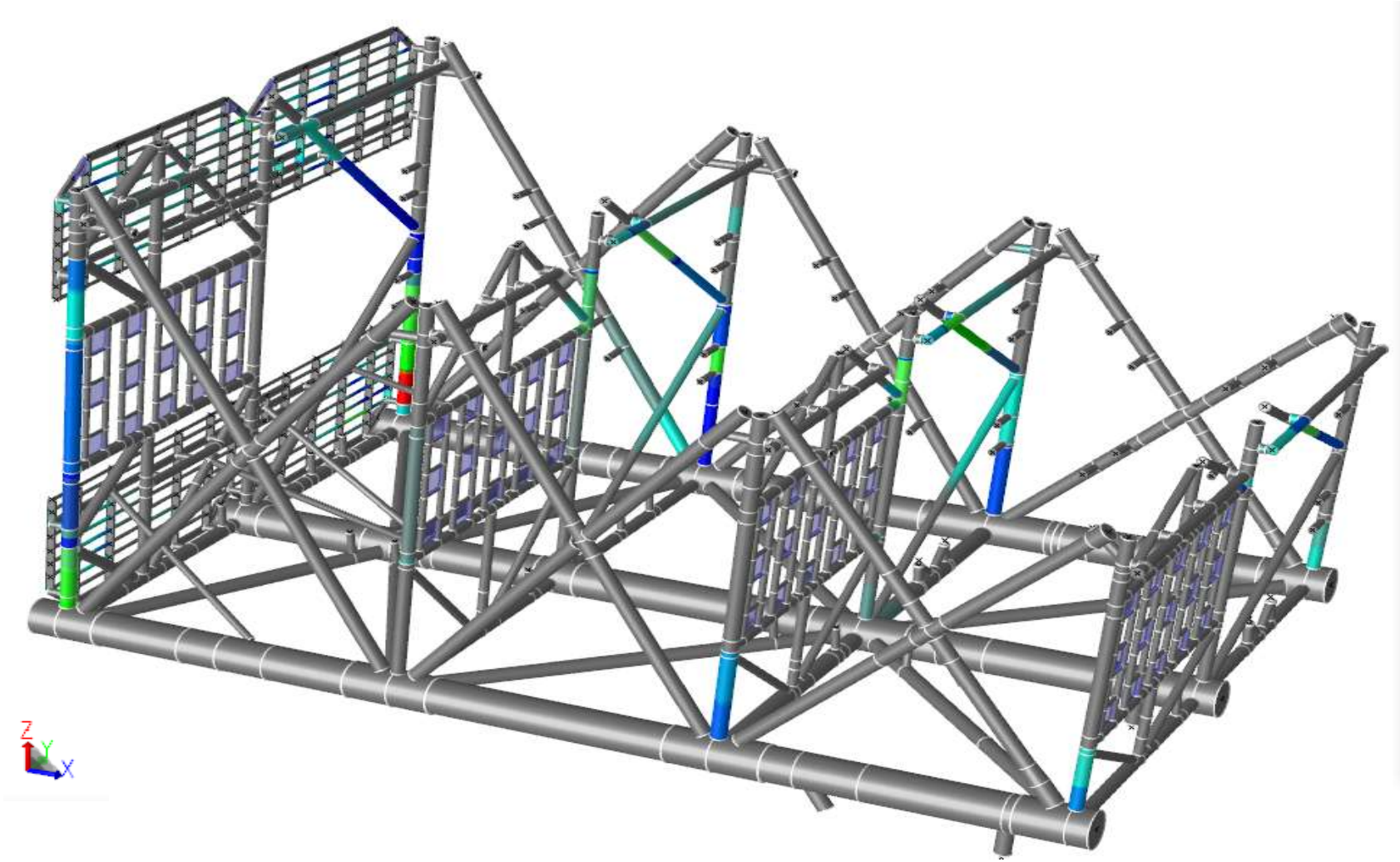
MAX *Unity Check*	MEMBER
2.74	178-179

Struktur mengalami kegagalan dengan *unitcheck* sebesar 1.04



MAX *Unity Check*	MEMBER
1.04	616-531

Struktur mengalami kegagalan dengan *unitcheck* sebesar 1.05



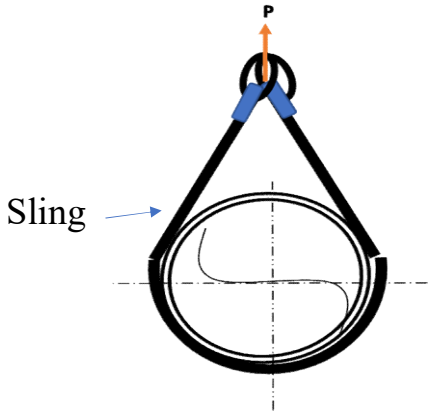
MAX *Unity Check*	MEMBER
1.05	221-118

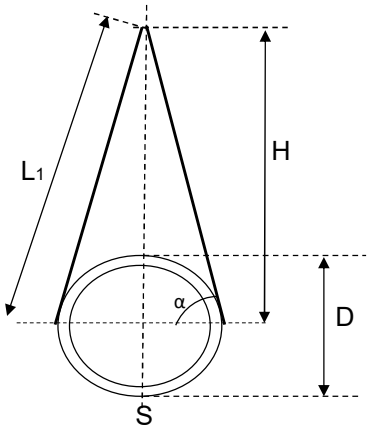
LAMPIRAN B

Hasil perhitungan konfigurasi *rigging*

MAX REACTIONS

CRANE	MAX. REACTION (kN)					
	0°	15°	30°	45°	60°	67.6° TB
#1	1991.19	1642.10	1236.84	697.30	0.00	0.00
#2	996.21	941.68	885.74	783.75	203.22	0.00
#3	1805.08	1649.51	1465.50	1226.54	981.62	718.57
TOTAL	**2987.40**	**2583.78**	**2122.59**	**1481.05**	**203.22**	**0.00**





Note :

L_t = Sling Length (mm)

S = π D/2 (Half Circle Lenght) (mm)

L_1 = (Lt - S)/2 (mm)

β = $\text{acos}\left(\frac{d_2}{L_t}\right)$ (deg)

H = $L1^2 - (D/2)^2$ (mm)

Eb = $1 - \frac{0.5}{\sqrt{D-d}}$

RIGGING ARRANGEMENT

Max. Load On Sling

Crane	Rigging	MAX. LOAD			
#1	1	1991.19	KN	202.98	MT
#2	2	996.21	KN	101.55	MT
#3	3	1805.08	KN	184.00	MT

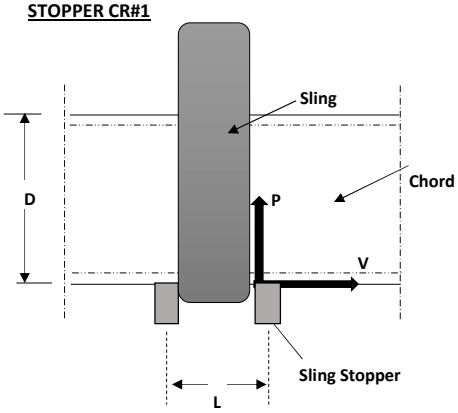
Sling Capacity Check

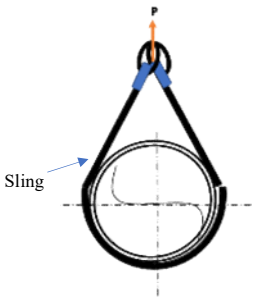
No	CR#	Rigging	Sling Dia.	Sling Length				Max. Load	Bend. Dia	Reduction (Eb)	MBL	SF	Remark
		No	in	mm	ft	-	in	MT	in	factor	MT		
1	#1	1	3.5	21514	70	-	7	101.49	76.50	0.89	503.7	5.0	Double
2	#2	2	2.5	178	0	-	7	101.55	76.50	0.91	248.3	4.9	Double
3	#3	3	3.5	21539	70	-	8	184.00	77.28	0.89	504.0	5.5	Double

Sling on Wrapped

CR#	Rig	Sling	Leg Dia.		Lt	S	L1	H	α
	No	No	in	mm	mm	mm	mm	mm	deg
#1	1	1	76.50	1943.0	21514	3052	9230.9	9180	84.0
#2	2	2	76.50	1943.0	178	3052	-1437.1	1059	132.5
#3	3	1	77.28	1963.0	21539	3083	9227.9	9176	83.9

STOPPER CR#1





Geometry Data:

Sling Properties

d =	3.50	in

Sling Stopper Properties

ds =	4.72	in
L =	4.33	in
ts =	0.98	in

A =	11.57	sq.in
I =	21.62	in^4
S =	9.15	in^3

Load and Material Data:

P =	1991.91	KN	=	447.80	kips			
V =	44.78	kips				E =	29000.00	ksi
MIPB =	193.93	kip.in				Fy =	50.00	Ksi
MOPB =	0.00	kip.in				SF =	1.50	

Sling Stopper Stress Check:

Shear Check

$$fv = \frac{V}{0.5\ A}$$

fv = 7.74 Ksi

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

SR = 0.58 **SR < 1.0 ...(OK)**

Bending Check

The Alllowable Bending Stress

D/t =	4.80
1500/Fy =	30.00
3000/Fy =	60.00

The Allowable Bending Stress : **Fb** = 37.50 ksi

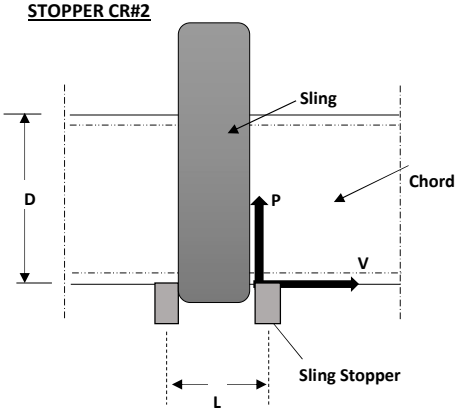
In plane Bending Moment

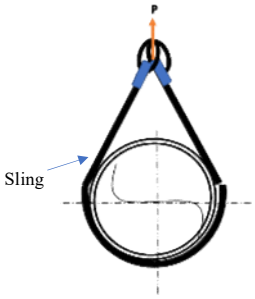
Bending stress : **fbIPB** =	31.78	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.85	**SR < 1.0 ...(OK)**

Out Of Plane Bending Moment

Bending stress : **fbOPB** =	0.00	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.000	**SR < 1.0 ...(OK)**

STOPPER CR#2





Geometry Data:

Sling Properties

d =	3.50	in

Sling Stopper Properties

ds =	4.72	in
L =	4.33	in
ts =	0.98	in

A =	11.57	sq.in
I =	21.62	in^4
S =	9.15	in^3

Load and Material Data:

P =	996.21	KN	=	223.96	kips			
V =	22.40	kips				E =	29000.00	ksi
MIPB =	96.99	kip.in				Fy =	50.00	Ksi
MOPB =	0.00	kip.in				SF =	1.50	

Sling Stopper Stress Check:

Shear Check

$$fv = \frac{V}{0.5\ A}$$

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

fv = 3.87 Ksi

SR = 0.29 **SR < 1.0 ...(OK)**

Bending Check

The Alllowable Bending Stress

D/t =	4.80
1500/Fy =	30.00
3000/Fy =	60.00

The Allowable Bending Stress : **Fb** = 37.50 ksi

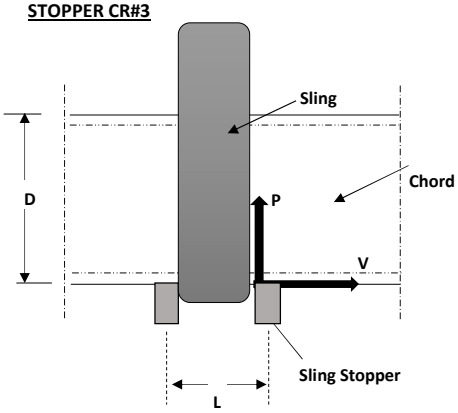
In plane Bending Moment

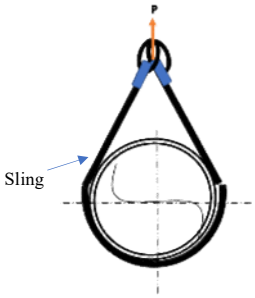
Bending stress : **fbIPB** =	15.89	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.42	**SR < 1.0 ...(OK)**

Out Of Plane Bending Moment

Bending stress : **fbOPB** =	0.00	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.000	**SR < 1.0 ...(OK)**

STOPPER CR#3





Geometry Data:

Sling Properties

d =	3.50	in

Sling Stopper Properties

ds =	4.72	in
L =	4.33	in
ts =	0.98	in

A =	11.57	sq.in
I =	21.62	in^4
S =	9.15	in^3

Load and Material Data:

P =	1805.08	KN	=	405.80	kips			
V =	40.58	kips				E =	29000.00	ksi
MIPB =	175.74	kip.in				Fy =	50.00	Ksi
MOPB =	0.00	kip.in				SF =	1.50	

Sling Stopper Stress Check:

Shear Check

$$fv = \frac{V}{0.5\ A}$$

fv = 7.02 Ksi

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

SR = 0.53 **SR < 1.0 ...(OK)**

Bending Check

The Alllowable Bending Stress

D/t =	4.80
1500/Fy =	30.00
3000/Fy =	60.00

The Allowable Bending Stress : **Fb** = 37.50 ksi

In plane Bending Moment

Bending stress : **fbIPB** =	28.80	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.77	**SR < 1.0 ...(OK)**

Out Of Plane Bending Moment

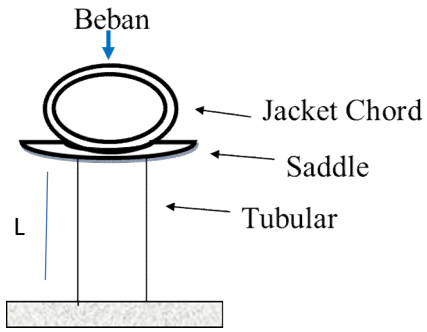
Bending stress : **fbOPB** =	0.00	
Stress Ratio : **SRIPB** =	0.000	**SR < 1.0 ...(OK)**

LAMPIRAN C

Hasil perhitungan *roll – up support*

1. TUBULAR DATA

Diameter : D =	26.772	in
Wall thk : t =	0.984	in
Member length : L =	78.740	in
Yield Stress : Fy =	50.000	ksi
Young Modulus : E =	29,000.000	ksi



SECTION PROPERTIES

Area : A =	79.74	in^2
Section Modulus : S =	495.88	in^3
Mom. of Inertia : I =	6,637.75	in^4
Radius of Gyr. : r =	9.12	in
D/t =	27.20	

2. LOADING DATA

Axial Force : **P** =	-765.30	kips
In Plane Bending Moment : **MIPB** =	6,025.97	kips-in
Out of Plane Bending Moment : **MOPB** =	-157.74	kips-in
Shear Force : **V** =	-153.06	kips
Safety Factor : **SF** =	1.50	

(-) for Compression Force

3,404.22 KN

3. AXIAL STRESS CHECK

3.1. AXIAL COMPRESSION

3.1.a. COLUMN BUCKLING

Axial Compressive Stress : **fa** =	14.397	ksi
K factor =	0.05	
KL/r =	0.4	
Cc =	107.00	
Euler's Stress : **Fe'** =	802002.98	ksi
Allowable Compressive Stress : **Fa** =	29.97	ksi
Stress Ratio : **SRa** =	0.48	< 1.0 .....OK !

KL/r < Cc

4. BENDING STRESS CHECK

4.1. THE ALLOWABLE BENDING STRESS

D/t = 27.20

1500/Fy = 30.00 **D/t <= 1500/Fy**

3000/Fy = 60.00

The Allowable Bending Stress : **Fb** = **37.50** ksi

4.2. IN PLANE BENDING MOMENT

Bending stress : **fbIPB** = **18.228** ksi

Stress Ratio : **SRIPB** = **0.49** **< 1.0 .....OK !**

4.3. OUT OF PLANE BENDING MOMENT

Bending stress : **fbOPB** = **-0.477** ksi

Stress Ratio : **SRIPB** = **-0.01** **< 1.0 .....OK !**

5. COMBINED AXIAL AND BENDING STRESS CHECK

5.1. AXIAL COMPRESSION + BENDING STRESS

(1) SR max = $\frac{fa}{Fa} + \frac{C_m(fb_{IPB}^2 + fb_{OPB}^2)^{0.5}}{(1 - fa/Fe')\ Fb}$

C_m = 1

SR max = **0.97** **< 1.0 .....OK !**

6. SHEAR STRESS CHECK

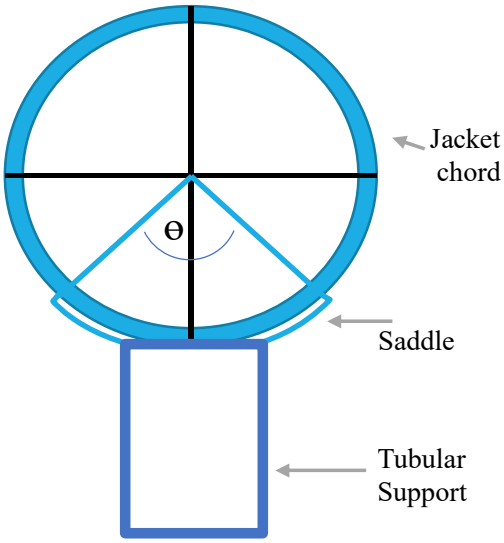
fv = $\frac{V * SF}{0.5\ A}$ ksi

fv = **5.76** ksi

Fv = **20.00** ksi -

SRv = **0.29** **< 1.0 .....OK !**

1. GEOMETRY DATA

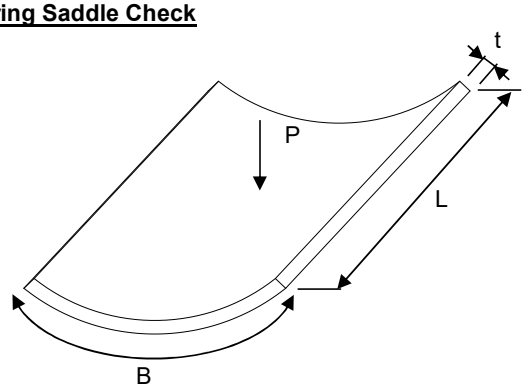


Dia. Leg/pile	=	2,043.00	mm
thickness	=	75.00	mm
θ	=	120.00	deg
t saddle	=	15.00	mm
Fy	=	345	MPa
E	=	200000	MPa
SF	=	1.50	

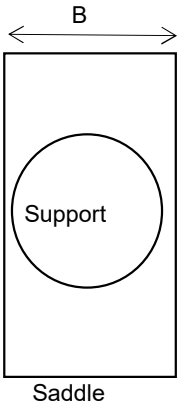
2. LOADING DATA

P = 3404.22 KN (Maximum Reaction)

Bearing Saddle Check



t =	15.00	mm
L =	732	mm
B =	2139.42	mm
Dia. Supp =	680.00	mm
thk supp. =	25.00	mm



630.00

Leg act to saddle

Pmax = 3,404.22 KN

A = B x L

1566058.81 mm^2

$F_{bear} = \frac{P}{A}$

= 2.17 Mpa

$SR. = \frac{F_{bear} \times SF}{0.9 \times Fy}$

= 0.016 ***O.K!***

Tubular react to saddle

Pmax = 3,404.22 KN

$A_{bearing}$ = Π*D^2/4

= 51443.58 mm^2

$F_{bear} = \frac{P}{A}$

= 66.17 Mpa

$SR. = \frac{F_{bear} \times SF}{0.9 \times Fy}$

= 0.480 ***O.K!***

BIODATA PENULIS

Ibrahim Tirta Sumadilaga dilahirkan di Bandung pada tanggal 3 Juni 1998. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN Banjarsari Bandung 2004-2010, kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah di SMPN 22 Bandung 2010-2013, penulis juga melanjutkan Pendidikan menengah atas di SMAN 23 Bandung 2013-2016. Setelah lulus SMAN, Penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di berbagai organisasi mahasiswa dan beberapa seminar. Penulis mempunyai pengalaman kerja praktek di perusahaan fabrikasi PT Mcdermott Indonesia. Penulis memiliki minat dibidang perancangan struktur sehingga pada tahun 2020 penulis menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "**Analisis Kekuatan Struktur *Jacket* Pada Saat Proses *Roll – Up* dengan Konfigurasi *Rigging* dan *Roll – up Support***"