

SKRIPSI

**ANALISA PENGANGKATAN MODUL *TOPSIDE* DENGAN
MENGUNAKAN *STACKING STRUCTURE METHOD***

Disusun dan diajukan oleh:

**RAHMAD FAJAR JAMAL
D321 16 509**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISA PENGANGKATAN MODUL *TOPSIDE* DENGAN
MENGUNAKAN *STACKING STRUCTURE METHOD***

Disusun dan diajukan oleh

Rahmad Fajar Jamal
D321 16 509

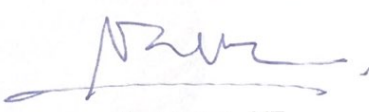
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana pada Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 17 Februari 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,


Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D
NIP 197201181998021001

Pembimbing Utama,


Ir. Juswan., MT
NIP 196212311989031031



Dr. Ir. Chailu Pactohan, S.T., M.T.
NIP 197506052007121003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Rahmad Fajar Jamal
NIM : D32116509
Program Studi : Teknik Kelautan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisa Pengangkatan Modul *Topside* Dengan Menggunakan *Stacking Structure Method*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Februari 2023

Yang Menyatakan Tanda tangan



Rahmad Fajar Jamal

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Rahmad Fajar Jamal

NIM : D32116509

Program Studi : Teknik Kelautan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Analisa Pengangkatan Modul Topside Dengan Menggunakan Stacking Structure Method

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 16 Februari 2023

Yang Menyatakan Tanda tangan

Rahmad Fajar Jamal

ABSTRAK

RAHMAD FAJAR JAMAL. *Analisa Pengangkatan Modul Topside Dengan Menggunakan Stacking Structure Method* (dibimbing oleh Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D dan Ir. Juswan., MT)

Pembuatan modul di dunia offshore sering kali tak sesuai dengan kapasitas alat angkat yang tersedia. Sering dijumpai di lapangan banyak modul-modul yang dibuat namun ketika modul tersebut selesai, perusahaan yang menjadi pemegang tender tak memiliki alat angkat yang dapat mengangkat modul yang sudah jadi. Namun disisi lain, perusahaan memiliki beberapa alat angkat lain walaupun tidak ada satupun dari semua alat angkat yang dimilikinya tidak dapat mengangkat modul tersebut. Sehingga menjadi pertanyaan, bagaimana cara mengangkat modul tersebut dengan beberapa alat angkat yang kapasitasnya lebih rendah dari beban modul. Analisis pengangkatan ini bertujuan untuk menentukan Titik berat dan besarnya gaya yang akan bekerja pada Titik Angkat. Dengan mengetahui besarnya gaya yang bekerja, kita dapat menentukan kapasitas *crane* yang akan digunakan untuk melakukan pengangkatan pada *Topside Module*. Penelitian ini menggunakan *Structure Analysis Computer System* sebagai *Software Structure Analysis* dalam menganalisa pengangkatan *module topside*. Penelitian ini terlebih dahulu memodelkan tiap beban yang ada di *Topside Module Bekok AA* yang ada beserta memasukan beberapa faktor yang digunakan untuk mendefinisikan beban yang tidak dimodelkan oleh *Software Structure Analysis*. Kemudian menentukan koordinat dari Titik Angkat, setelah itu memodelkan *slings* yang digunakan pada analisa pengangkatan yang kemudian akan dilakukan *running* setelah model telah didesain dalam *SACS*. Setelah melakukan *Running* maka hasil yang didapatkan adalah besaran gaya yang bekerja pada *slings* beserta *CoG* dari *Topside Module* setelah diberikan *slings* pada *rigging configuration*.

Kata Kunci: *Titik Berat, Titik Angkat, Slings, Topside Module*

ABSTRACT

RAHMAD FAJAR JAMAL. *Topside Module Lifting Analysis Using Stacking Structure Method* (Guided by Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D and Ir. Juswan., MT)

Manufacturing of modules in the offshore world is often not by the capacity of the available lifting equipment. It is often found in the field that many modules are made but when the module is finished, the company that is the tender holder does not have lifting equipment to lift the finished module. But on the other hand, the company has several other lifting equipments although none of the lifting equipment it has cannot lift the module. So that becomes a question, how to lift the module with some lifting equipment whose capacity is lower than the load of the module. This Lifting analysis aims to determine the Center of Gravity and the magnitude of the force that will act on the Lift Point. By knowing the magnitude of the force acting, we can determine the capacity of the crane to be used for lifting the Topside Module. This study uses the Structure Analysis Computer System as a Structure Analysis Software in analyzing the topside lifting module. This research first models each load in the existing Bekok AA Topside Module along with entering several factors used to define loads that are not modeled by Software Structure Analysis. Then determine the coordinates of the lift point,, after that model the slings used in the lifting analysis which will then be run after the model has been designed in SACS. After running, the result obtained is the magnitude of the force acting on the sling and the CoG from the Topside Module after being given a sling in the rigging configuration.

Keywords: CoG, Titik Angkat, Sling, Topside Module

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan penelitian/perancangan	2
1.4 Manfaat penelitian/perancangan	3
1.5 Ruang lingkup/Asumsi perancangan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Anjungan Lepas Pantai	4
2.2 Fixed Offshore Platforms-FOP	6
2.3 Topside.....	8
2.4 Titik berat.....	10
2.5 <i>Crane</i>	11
2.5.1 Heavy Lift Crane.....	13
2.6 Titik Angkat.....	15
2.6.1 <i>Rigging Sling System</i> dengan Empat Titik Angkat.....	19
2.7 Stacking Structure Method.....	22
2.8 Structural Analysis Computer System (SACS) CONNECT Edition Update	22
2.7.1 Graphical User Interface.....	23
2.7.2 Panduan untuk <i>Input Lines</i>	25
2.7.3 SACS 12.0 CONNECT edition.....	26
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Lokasi Penelitian.....	29
3.2 Diagram Alur Penelitian	31
3.3 Prosedur Penelitian.....	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Data Platform.....	33
4.2 Kondisi Batas/Syarat Batas.....	33
4.3 Metodologi Analisis	34
4.4 Beban	35
4.4.1 Beban Gravitasi.....	35
4.4.2 Kasus Beban Dasar.....	38
4.4.3 Kombinasi Beban.....	39
4.5 Titik Berat	39
4.6 Rigging Configuration	41
4.6. 1 Penentuan <i>Lifitng point</i>	42
4.6.2 Penentuan 2-Hook Point.....	42
4.7 Perpindahan Titik Berat	43
4.8 Gaya Tegangan <i>Sling</i>	47
4.9 Max Combined UC.....	47

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Templat atau struktur lepas pantai jenis jaket.....	8
Gambar 2 Saipem S7000 (SSCV with maximum of 1400 ton Capacity).....	14
Gambar 3 Sambungan <i>Titik Angkat - Padeye dan Trunnion</i>	17
Gambar 4 Konfigurasi <i>rigging</i> untuk sistem <i>slings</i> empat.....	19
Gambar 5 Konfigurasi <i>rigging</i> untuk sistem <i>slings</i> empat Titik Angkat menggunakan blok <i>main hook</i> atau <i>jib</i> dan <i>Spreader</i>	20
Gambar 6 Konfigurasi <i>rigging</i> untuk sistem <i>slings</i> empat Titik Angkat menggunakan blok <i>main</i> dan <i>jib hook</i> serta <i>Spreader bars</i>	21
Gambar 7 Distribusi beban <i>hook</i> untuk sistem <i>slings</i> empat Titik Angkat menggunakan blok <i>main hook</i> dan <i>jib</i>	21
Gambar 8 Sistem SACS	23
Gambar 9 <i>Program Display Window</i>	24
Gambar 10 <i>Programmer's File Editor</i>	24
Gambar 11 <i>Collapse Program</i>	27
Gambar 12 <i>File input mesh</i> dan <i>POST</i>	28
Gambar 13 Lepas Pantai Terengganu, lokasi Bekok AA.....	29
Gambar 14 Platform Minyak dan Gas PM9.....	30
Gambar 15 Diagram alur penelitian	31
Gambar 16 Joint Fixity	33
Gambar 17 Tampilan SACS setelah running model.....	40
Gambar 18 Tampilan SACS setelah membuka <i>file output listing</i>	40
Gambar 19 SEASTATE LOAD CASE CENTER REPORT – RELATIVE TO STRUCTURAL ORIGIN.....	41
Gambar 20 <i>Rigging Configuration</i> dengan 2-Hook Point dan 4 Lift denga <i>Spreader bar</i>	41
Gambar 21 Lokasi <i>Titik Angkat</i>	42
Gambar 22 Koordinat HK 1	42
Gambar 23 Koordinat HK 2.....	43
Gambar 24 Perpindahan Titik Berat pada Sumbu X & Y.....	44
Gambar 25 Perpindahan Titik Berat pada Sumbu X & Z.....	45
Gambar 26 Perpindahan Titik Berat pada Sumbu Y & Z.....	46
Gambar 27 Max Combined UC.....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1 <i>Topside Lifting Scenario (API Scenario vs Skew Scenario)</i>	34
Tabel 2 Desain Faktor Beban	35
Tabel 3 Ringkasan Beban Mati Struktur.....	36
Tabel 4 Beban Mati Perlengkapan <i>Topside (Dry)</i>	36
Tabel 5 Beban Perpipaan (kering)	37
Tabel 6 Beban Listrik dan Instrumen (kering).....	37
Tabel 7 Beban perlengkapan keamanan	38
Tabel 8 Kasus Beban Dasar	38
Tabel 9 Menyajikan kombinasi beban angkat.	39
Tabel 10 Perpindahan titik berat <i>Topside Modul Bekok AA</i>	43
Tabel 11 Tegangan pada setiap <i>slings</i>	47

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
CoG	<i>Center of Gravity</i>
DAF	<i>Dynamic Amplification Factor</i>
FPP	<i>Floating Production Platform</i>
FOP	<i>Fixed Offshore Palatforms</i>
FPSO	<i>Floating Production Storage and Offtake System</i>
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
HLCVs	<i>Heavy-Lift Crane Vessels</i>
MODU	<i>Mobile Offshore Drilling Units</i>
MSVs	<i>Multi Service Vessels</i>
NAG	<i>Non-associated gas</i>
SSCVs	<i>Semi Submersible Crane Vessel</i>
TLP	<i>Tension Leg Platforms</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 SACS MODELING	50
Lampiran 2 SACS INPUT	51
Lampiran 3 SACS OUTPUT	63
Lampiran 4 <i>SLING TENSION FORCE</i>	65

KATA PENGANTAR

Assalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan menyebut nama Allah ﷻ Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang. Hanya kepadaNya lah semua pujian tertuju, Yang Maha Tinggi dan Maha Mengetahui. Yang Maha Memberi kelimpahan rahmat kepada semua makhlukNya tanpa meminta balasan. Juga Sholawat dan salam kepada sosok intelektual sejati, yang menjadi contoh terbaik dan pembawa risalah terakhir, Rasulullah Muhammad ﷺ beserta keluarga dan para sahabat-sahabatnya yang menjadi inspirasi dan motivasi bagi penulis untuk melakukan dan menyelesaikan karya ilmiah ini berupa tugas akhir (Skripsi).

Penelitian ini merupakan tugas sebagai syarat kelulusan dan meraih gelar Sarjana Teknik Universitas Hasanuddin. Skripsi ini berisi penelitian tentang analisis pengangkatan modul topside dengan menggunakan *stacking structure method*. Tentu saja dalam penyelesaian penelitian ini tidak terlepas dari keterlibatan oleh beberapa pihak. Semoga dengan adanya Tugas Akhir ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca secara umum dan tekhusus kepada penulis. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kepada kedua orang tua tercinta penulis, yaitu Ayahanda Jamaluddin, S.Pd dan Ibunda tersayang Saharia Muin, S.Pd atas segala dukungan dan do'a yang telah diberikan kepada sang penulis sehingga dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah ini.
2. Bapak Prof. Daeng Paroka, ST., MT., Ph.D. Selaku Pembimbing 1, terima kasih yang begitu besar karena telah memberikan bantuan, bimbingan dan arahan selama penyusunan karya tulis ilmiah ini (Skripsi).
3. Bapak Ir.H. Juswan, MT., Selaku Pembimbing 2, terima kasih yang begitu besar karena telah memberikan bantuan, bimbingan dan arahan selama penyusunan karya tulis ilmiah ini (Skripsi).
4. Bapak Habibi Palippui, ST., MT. Selaku yang pernah menjadi Pembimbing 1, terima kasih yang begitu besar karena telah memberikan bantuan, bimbingan dan arahan selama penyusunan karya tulis ilmiah ini pada awal perencanaan hingga seminar proposal (Skripsi).
5. Bapak Dr. Ir. Chairul Paotonan, ST. MT. Selaku Ketua Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak / Ibu Dosen, Staf, dan seluruh civitas akademik Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Kepada kedua saudara kandung saya, Kakanda Rahmat Agung S.T., dan Adinda Briptu Muhammad Farhan yang juga turut memberikan dukungan dan do'a kepada sang penulis dalam menyelesaikan studinya.
8. Kepada saudara-saudari Teknik Kelautan Angkatan 2016 yang tak bisa saya sebutkan satu persatu namanya. Sebuah kesyukuran penulis pernah menghabiskan masa perkuliahan bersama kalian semua sebagai keluarga pertama sang penulis.
9. Kepada saudara-saudari Labo Manajemen dan Produksi Bangunan Lepas Pantai Angkatan 2016 (Nur Azisah dan Faidlul Haq Malik) Penulis sangat berterima kasih atas semua pengalaman yang telah dilalui bersama serta dukungan dan bantuan dalam beberapa hal dari pengambilan judul hingga pengolahan data selama pengerjaan skripsi ini.

10. Seluruh Anggota dan Pengurus HMTK FT-UH yang menjadi wadah sang penulis dalam berhimpunan dan memberikan pengalaman berorganisasi yang tidak bisa penulis dapatkan dalam ruang kelas selama menjadi mahasiswa.
11. Kepada semua keluarga besar UKMT WELCOME09 SMFT-UH dan Asisten Laboratorium Fisika Dasar FT-UH atas lingkungan yang mendukung dalam mengembangkan kemampuan softskill penulis selama berkuliah.
12. Kepada keluarga besar LDM Al-Aqsho Unhas, Madu 2016, Guidelight Project Makassar dan PUSKOMDA FSLDK Sulselbar yang menjadi bagian dari perjalanan spiritual dari Penulis sehingga tetap memiliki semangat ruhiyah dalam menyelesaikan tugas sebagai seorang manusia.
13. Untuk seluruh Keluarga Besar Batto, Suddu dan Rakilo, Terima Kasih atas segala do'a dan dukungan yang diberikan kepada Penulis selama penyusunan tugas akhir ini.
14. Dan untuk seluruh teman kerabat yang sudah senantiasa memberikan dukungan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhirnya hingga selesai.

Akhir kata, sekali lagi terima kasih yang sebesar-besarnya semoga Allah Azza Wa Jalla membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dengan baik selama ini.

Gowa, 16 Februari 2023

Rahmad Fajar Jamal

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri lepas pantai membutuhkan pengembangan teknologi baru yang berkelanjutan untuk menghasilkan minyak di wilayah yang tidak dapat diakses untuk dieksploitasi dengan teknologi yang ada. Terkadang, biaya produksi dengan pengetahuan yang ada membuatnya tidak menarik. Dengan menipisnya cadangan air dangkal di darat dan lepas pantai, eksplorasi dan produksi minyak di perairan dalam menjadi tantangan bagi industri lepas pantai. Eksplorasi lepas pantai dan produksi mineral berkembang pesat ke perairan yang lebih dalam. Banyak struktur laut dalam telah dipasang di seluruh dunia. Ladang minyak baru sedang ditemukan di perairan yang sangat dalam. Banyak dari bidang ini kecil dan perkembangan ekonominya merupakan tantangan saat ini bagi para insinyur lepas pantai. Ini telah memulai pengembangan struktur dan konsep baru. Banyak dari struktur ini unik dalam banyak hal dan desain serta pemasangannya yang efisien dan ekonomis merupakan tantangan bagi komunitas lepas pantai.

Struktur lepas pantai tidak memiliki akses tetap ke lahan kering dan mungkin diperlukan untuk tetap pada posisinya dalam segala kondisi cuaca. Struktur lepas pantai dapat dipancang di dasar laut atau mengambang. Struktur terapung dapat ditambatkan ke dasar laut, diposisikan secara dinamis oleh pendorong atau dapat dibiarkan melayang bebas. Rekayasa struktur yang terutama digunakan untuk pengangkutan barang dan orang, atau untuk konstruksi, seperti kapal laut dan komersial, *Multi Service Vessels* (MSVs) dan *Heavy-Lift Crane Vessels* (HLCVs) yang digunakan untuk mendukung operasi pengembangan lapangan sebagai serta tongkang dan kapal tunda tidak dibahas secara rinci dalam buku ini. Sementara sebagian besar struktur lepas pantai mendukung eksplorasi dan produksi minyak dan gas, struktur utama lainnya, mis. untuk memanfaatkan kekuatan dari laut, pangkalan lepas pantai, bandara lepas pantai juga mulai ada. Desain struktur ini menggunakan prinsip yang sama seperti yang dibahas dalam buku ini. namun mereka tidak secara eksplisit disertakan di sini.

Dalam dunia offshore, pembuatan modul kadang kala didapat sebuah kasus dimana perusahaan pemegang tender mengambil proyek dimana perusahaan tersebut tidak memiliki alat angkat yang memiliki kapasitas angkat yang sesuai dengan modul yang dibuat. Namun secara umum kasus pembuatan modul yang

ada di galangan selalu disesuaikan dengan kapasitas yang tersedia. Akan tetapi ada beberapa kasus dimana sebuah perusahaan menjadi sebuah tender dalam pembuatan modul walaupun tidak memiliki alat angkat yang berkapasitas cukup dan sesuai terhadap modul yang dibuat. Akan tetapi demi memenangkan tender, perusahaan tersebut mengambil proyek dengan mencari cara bagaimana melakukan pengangkatan modul dengan improvisasi menggunakan beberapa alat angkat yang dimiliki oleh perusahaan.

Sebuah perusahaan bisa saja menyewa alat angkat yang memiliki kapasitas besar, namun untuk penyewaannya memerlukan proses dan waktu yang panjang. Hal ini dapat mengakibatkan proses pengangkutan modul menjadi terhambat dan bahkan terlambat dari jadwal yang sudah ditentukan. Dan apabila pengangkutan modul terlambat, maka perusahaan pemegang tender akan terkena penalti karena melewati batas waktu yang sudah disepakati sebelumnya.

Selain menyewa alat angkat yang memiliki kapasitas lebih besar memerlukan proses pengadaan dan waktu yang lama serta biaya relatif mahal. Sehingga dibutuhkan metode dengan menggunakan alat angkat yang tersedia di perusahaan seperti Stacking Structure Method yang dapat mengimprovisasi dalam pengangkatan sebuah modul. Oleh karena itu kami bermaksud untuk membuat penelitian ini.

1.2 Rumusan masalah

Permasalahan yang di bahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menentukan Titik berat dan Titik Angkat dari modul?
2. Bagaimana menganalisa tegangan *slings* yang terjadi pada titik angkat?
3. Bagaimana menentukan jenis konfigurasi rigging yang digunakan dalam analisa pengangkatan?

1.3 Tujuan penelitian/perancangan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menentukan Titik berat dan Titik Angkat dari modul.
2. Menganalisa tegangan *slings* yang terjadi pada titik angkat.
3. Menentukan jenis konfigurasi rigging yang digunakan dalam analisa pengangkatan.

1.4 Manfaat penelitian/perancangan

Dari penulisan tugas akhir ini dapat diketahui manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui Titik berat dari modul menggunakan *Software Structure Analysis*.
2. Dapat mengetahui tenggangan *sling* pada titik angkat yang telah ditentukan.
3. Dapat mengetahui jenis konfigurasi rigging yang digunakan dalam analisa pengangkatan.

1.5 Ruang lingkup/Asumsi perancangan

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Objek yang diteliti adalah Topside Platform Bekok AA yang ada di lingkungan PT. ZEE Indonesia.
- b. Alat yang digunakan yaitu alat angkat jenis *crane* dengan jumlah 2 buah.
- c. Analisis pengangkatan menggunakan software *Structure Analysis Computer System (SACS) Trial*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anjungan Lepas Pantai

Operasi penambangan minyak dan gas di perairan pertama kali dilakukan di *Sumerland, California* (USA) pada tahun 1896, dimana sumur minyak di bor dari dermaga yang menjorok ke laut. Pada tahun 1909 dan 1910 sumur-sumur minyak juga telah digali di danau Ferry Lake, Louisiana (USA) dengan menggunakan geladak kayu yang dipasang diatas anjungan. Di danau Maracaibo, Venezuela, pada tahun 1924 telah dimulai pengeboran sumur-sumur dengan menggunakan anjungan kayu yang dipasang diatas balok-balok pancang. Anjungan-anjungan terpisah digunakan untuk menempatkan peralatan -peralatan yang ukuran ataupun bobotnya cukup besar. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Di tahun 30-an industri minyak mulai bergerak ke daerah paya-paya di pantai Selatan Louisiana dan kemudian terus berkembang ke perairan dangkal di teluk Mexico. Selama periode tersebut teknologi konvensional masih diterapkan yaitu menggunakan struktur-struktur kayu. Anjungan pertama yang dibangun di dekat pantai teluk Mexico telah berdiri tahun 1937 yang berupa tiang pancang kayu konvensional. Pada tahun 1945 Magnolia Petroleum Company membangun modifikasi rig darat diatas struktur kayu pada kedalaman sekitar 6.5 m dan merupakan sumur minyak lepas pantai pertama. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Struktur laut dan khususnya struktur lepas pantai memiliki karakteristik khusus dari sudut pandang ekonomi dan teknis. Produksi minyak dan gas bergantung pada anjungan struktur lepas pantai, yang berhubungan langsung dengan investasi global, karena berdampak langsung pada harga minyak.

Dari segi praktis, akibat kenaikan harga minyak, seperti yang terjadi pada 2008, banyak proyek struktur lepas pantai yang dimulai.

Dari sudut pandang teknis, desain dan konstruksi platform struktur lepas pantai merupakan penggabungan antara desain struktur baja dan desain pelabuhan, dan sejumlah fakultas teknik fokus pada teknik struktur lepas pantai sebagai desain anjungan lepas pantai tetap, terapung dan jenis lainnya. Di sisi lain, jumlah proyek struktur lepas pantai terbatas dibandingkan dengan proyek struktur baja konvensional, seperti rumah tinggal, pabrik, dan bangunan lain, yang bergantung pada penelitian berkelanjutan dan studi dunia dalam jangka waktu yang lama. (El-Reedy, M. A., 2015)

Anjungan baja yang pertama di bangun telah dipasang di lepas pantai teluk Mexico pada tahun 1947 yakni sebuah di operasikan oleh Superior Oil Company pada kedalaman 6.5 m dan satu yang lain oleh Ken McGee-Philips-Stanotind-Group di kedalaman sekitar 6 m. Anjungan-anjungan baja pertama tersebut difabrikasi seluruhnya di lepas pantai. Bangunan-bangunan tersebut disangga oleh tiang-tiang pancang dalam jumlah besar (40-60 buah) yang dipasang dalam berbagai arah dan kedalaman. Bagian-bagian struktur yang akan dipasang diassembling pada lokasi yang telah ditentukan. Templates atau jacket yang di-assembling di daratan baru mulai dilaksanakan pada tahun 1950-an. Jacket baja yang telah di-assembling akan diletakkan di dasar laut dan berfungsi sebagai pelindung (templates) dari tiang-tiang pancang baja yang dibenamkan melalui lubang dasar kaki-kaki anjungan. (Juswan & Taufiqur Rahman, 2003)

Setelah kelayakan komersial dari ladang minyak dan gas lepas pantai yang ditemukan telah ditetapkan, maka menjadi penting untuk merancang, membuat, dan memasang struktur dan peralatan yang diperlukan yang akan memfasilitasi pengeboran dan penyelesaian sumur produksi; selain itu minyak dan gas yang dihasilkan perlu diolah dan diangkut ke pasar. Struktur yang paling banyak digunakan di daerah paparan benua dan sekitarnya (hingga kedalaman 500,0 m) adalah platform kerangka baja pondasi tiang pancang, yang dibuat menjadi kerangka tiga dimensi dengan mengelas bersama-sama bagian pipa baja dan ditahan di tempat oleh tumpukan baja tubular didorong ke dasar laut. Platform templat baja ini menahan beban melintang dan vertikal yang dikenakan padanya oleh angin, gelombang, arus, es, dan lingkungan seismik, serta berat platform dan peralatan di platform. (Reddy & Swamidas, 2014)

Ada dua jenis anjungan pengeboran lepas pantai: (1) anjungan yang dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain, memungkinkan pengeboran di beberapa lokasi, dan (2) anjungan yang ditempatkan secara permanen. Rig bergerak sering digunakan untuk tujuan eksplorasi karena jauh lebih murah untuk digunakan daripada platform permanen. Setelah deposit besar minyak bumi dan gas alam ditemukan, platform permanen dibangun untuk memungkinkan ekstraksinya. (Speight, G. J., 2015)

Teknologi untuk perancangan dan konstruksi anjungan lepas pantai kemudian berkembang pada empat dekade yang lalu, bersamaan dengan penyebaran industri lepas pantai di seluruh dunia dan di daerah-daerah perairan yang dalam. Sampai dengan tahun 1954 kedalaman perairan untuk operasi

anjudan rata-rata berkisar antara 12-14 m. Tahun 1955 adalah pertama kalinya sebuah anjudan dibangun untuk perairan dengan kedalaman sekitar 30 m dan selanjutnya berkembang mencapai 75 m sekitar tahun 1965 dan sampai 160 m pada tahun 1975. Di tahun 1976 anjudan milik Exxon Company USA dengan nama "Hondo" telah dipasang pada kedalaman sekitar 280 m di selat Santa Barbara, California, USA. Dan ini diikuti oleh Shell Oil Company yang membangun anjudan "Cognac" untuk dipasang di daerah palung Mississippi, teluk Mexico, pada kedalaman lebih dari 330 m. Di tahun 1984 perencanaan telah dilakukan untuk membangun anjudan di palung Norwegia, Laut Utara, pada kedalaman 400 m. Pada dasarnya konstruksi anjudan lepas pantai dapat digolongkan menjadi 3 golongan utama, yakni:

1. Anjudan terapung (*Mobile Offshore Drilling Units/MODU* atau *Floating Production Platform/FLS*), seperti: semi submersible, drilling ships, tension leg platform, jack-up, dll
2. Anjudan terpancang (*Fixed Offshore Platforms/FOP*), seperti: jacket, concrete/steel gravity, tripod, dll.
3. Anjudan struktur lentur (*Compliant Platforms*), seperti: *Articulated Tower*,
4. *Guyed Tower*, dll. (Juswan & Taufiqur Rahman, 2003)

Sebagian besar anjudan lepas pantai di dunia sekarang berupa anjudan terpancang (*jacket*) dalam berbagai konfigurasi dan digunakan untuk berbagai macam aktivitas/fungsi. Meskipun demikian penggunaan anjudan terpancang tipe jacket hanya ekonomis untuk pengoperasian di perairan terbatas, hingga 400-500 m saja. Untuk eksplorasi di perairan lebih dalam, maka telah dikembangkan konsep anjudan tipe baru, yakni menara berpegikat (*Guyed Tower*), menara berpenumpu putar (*Articulated Tower*), anjudan apung kaki terikat (*Tension Leg Platforms/TLP*), anjudan semi benam (*semi-submersible platforms*), kapal pengeboran minyak (*drilling ships*), dll. *Guyed Tower* pertama di dunia yang bernama "Lena" dioperasikan sebagai anjudan pengeboran dan produksi minyak oleh Exxon pada tahun 1983 di daerah teluk Mexico pada kedalaman 330 m. (Juswan & Taufiqur Rahman, 2003)

2.2 Fixed Offshore Platforms-FOP

Anjudan lepas pantai terpancang yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan anjudan yang paling tua dan paling banyak dibangun. FOP mempunyai banyak kegunaan, baik untuk kepentingan pemerintah maupun

industri lepas pantai. Pemakaian FOP untuk kepentingan pemerimih termasuk bangunan untuk riset oseanografi, testing bawah laut, radar pemantau pengawas, menara suar navigasi, dll. FOP untuk industri lepas pantai meliputi anjungan sebagai fasilitas pengeboran minyak dan gas, pusat tenaga/energi, penambangan mineral, terminal kapal tangki minyak (kapal tanker) dan pemancar telekomunikasi. Disini penjelasan tentang FOP akan ditekankan pada perancangan struktur dalam penggunaannya untuk pengembangan industri minyak dan gas di lepas pantai. (Juswan & Taufiqur Rahman, 2003)

Anjungan lepas pantai tetap biasanya dipasang untuk penggunaan jangka panjang sebagai anjungan produksi di kedalaman dangkal antara 5 dan 150 m. Ini memiliki substruktur, yang dipasang di dasar laut di bagian bawah, yang berdiri di kedalaman air dan keluar dari permukaan untuk menahan bangunan atas atau platform. Substruktur dapat berupa konstruksi selubung tubular baja atau beton prategang. Suprastruktur memiliki modul yang menampung peralatan pengeboran, peralatan produksi, perangkat pembangkit listrik, pompa, kompresor, cerobong asap gas, derek berputar, kapal bertahan hidup, landasan helikopter, dan tempat tinggal dengan fasilitas hotel dan katering. Beban pada jaket bergantung pada panjang jaket, dan bisa sangat parah pada beberapa kondisi cuaca. Berat platform semacam itu bisa mencapai 40.000 ton. (Misra, S. C., 2016)

Suatu FOP konvensional akan mempunyai tiga struktur utama, yakni:

1. Sub struktur baja silinder (*template/jacket*), yang berisi menerus dari dasar laut sampai keatas garis air.
2. Pipa tiang pancang baja yang ditanam melewati lubang bawah kaki jacket ke dalam dasar laut (*piles*), sehingga berfungsi juga sebagai pondasi.
3. Bagian geladak dan bangunan atas (*top side facilities*), yang diletakkan diatas jacket dan berfungsi untuk ruangan operasional. dengan beban-beban operasional serta grafitasi kedalam pondasi. Beban vertikal dan momen putar dari struktur akan ditahan oleh kemampuan aksial tiang pancang. Beban sisi dan beban-beban puntir pada dasar kaki *jacket* juga akan disalurkan kedalam tanah dasar laut oleh kelenturan tiang pancang.

Beban-beban operasional anjungan akan disangga oleh bangunan atas maupun geladak anjungan. Sub-struktur jenis *jacket* harus mampu menahan beban lingkungan dari sisi-sisinya dan menyalurkan beban tersebut bersama-sama. (Juswan & Taufiqur Rahman, 2003)



Gambar 1 Templat atau struktur lepas pantai jenis jaket

(Sumber : Struktur Bangunan Laut. Penulisan Buku Ajar Proyek Kerjasama Segitiga Biru, Juswan & Taufiqur Rahman)

2.3 Topside

Faktor terpenting yang mengatur tata letak dan desain fasilitas *Topside* anjungan lepas pantai adalah tujuannya dan apakah akan berawak atau tidak. Fasilitas berawak akan memerlukan tempat akomodasi untuk personel dan akan dikenakan persyaratan keselamatan tambahan. Fasilitas berawak juga akan membutuhkan fasilitas transportasi, pendaratan dan evakuasi khusus untuk personel. Persyaratan ini akan membutuhkan ruang dek tambahan. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Berdasarkan persyaratan peralatan dan personel untuk fasilitas bagian atas, pertama-tama rencana tata letak geladak harus dikembangkan. Rencana tata letak didasarkan pada kemampuan kerja operasional dan pemeliharaan peralatan serta persyaratan kesehatan dan keselamatan bagi personel yang akan mengoperasikannya. Rencana tata letak dapat diakomodasi dalam satu tingkat dek atau mungkin memerlukan beberapa tingkat dek tergantung pada jenis struktur lepas pantai. Misalnya, *Floating Production Storage and Offtake System* (FPSO), yang mungkin didukung oleh kapal baru yang dibangun atau diubah bentuknya, biasanya memiliki ruang yang cukup tersedia di geladaknya untuk menampung sebagian besar peralatan dan personel di satu tingkat geladak. Di sisi lain, bagian atas jaket tetap, SPAR, atau TLP akan memiliki tapak yang lebih kecil

dan peralatan produksi dapat diletakkan di beberapa tingkat. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Item berikut memerlukan perhatian khusus dalam desain fasilitas topsides:

- Arah angin yang berlaku
- *Firewalls and Barrier Walls*
- *Process Flow*
- Area Kerja Aman
- *Storage*
- Ventilasi
- *Escape Routes*
- Perlengkapan Pemadam Kebakaran
- *Thermal Radiation*
- *Vapour Dispersion*
- *Future Expansion(s)*
- Ketentuan Operasi Simultan (seperti memproduksi saat mengebor atau mengerjakan sumur). (Chakrabarti, S. K., 2005)

Sejumlah tata letak *Topside* anjungan lepas pantai telah berkembang sebagai tanggapan terhadap persyaratan operasional dan infrastruktur fabrikasi serta ketersediaan peralatan instalasi. Persyaratan operasional menentukan ukuran dan konfigurasi dek umum (jumlah tingkat dek dan tata letaknya, dll.). Misalnya, kebutuhan akan sistem pengeboran dan produksi yang terintegrasi penuh akan menentukan lapisan vertikal dan horizontal dari struktur geladak sedemikian rupa untuk memberikan operasi yang efisien sambil juga memberikan tingkat keselamatan manusia dan lingkungan yang dapat diterima. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Jika fasilitas fabrikasi dan tenaga kerja terampil tidak tersedia di area tersebut, Pakar ekonomi dapat menentukan pembangunan dek dalam potongan dan modul yang lebih kecil dan merakitnya di lepas pantai menggunakan peralatan pengangkat lepas pantai berkapasitas rendah yang tersedia. Pendekatan ini dapat mengakibatkan peningkatan berat baja, serta waktu dan biaya konstruksi lepas pantai, sambil menghindari biaya investasi di halaman fabrikasi utama. (Chakrabarti, S. K., 2005)

Topside adalah istilah yang diterapkan pada berat struktur fasilitas, yang harus dipikul oleh lambung. Terminologi yang berbeda diterapkan pada berbagai himpunan bagian dari bobot "*Topside*" :

1. "*Maximum Topside Weight*", atau hanya "*Topsides Weight*" dapat merujuk pada jumlah muatan tetap dan variabel di bawah operasi maksimum, dan mungkin termasuk "Struktur Utama Topsides". Ini penting karena menetapkan jumlah penuh daya apung yang diperlukan (yang juga harus mencakup "Beban Lainnya").
2. "*Topside Survival Weight*" dapat merujuk pada berat topsides dalam kondisi tertutup (non-operasi) yang khas, misalnya, dari kondisi yang diasumsikan dalam Badai Teluk Meksiko. Banyak dari beban variabel dikecualikan. Bahkan mungkin ada beberapa yang disebut muatan "Tetap", yang dihapus untuk kondisi ini. Misalnya, banyak pelampung di Teluk Meksiko memiliki rig workover yang dapat dilepas, yang dipindahkan selama musim badai.
3. "*Lightship weight*" biasanya mengacu pada berat lambung kapal yang dilengkapi tanpa bagian atas, tetapi tidak termasuk peralatan tambat dan komponen yang tidak dipasang di galangan kapal.
4. "*Lift weight*" termasuk berat badan kapal, geladak atau keduanya yang harus diangkut dari galangan ke lokasi pemasangan. (Chakrabarti, S. K., 2005)

2.4 Titik berat

Konsep "*centre of mass*" dalam bentuk "Titik berat" pertama kali diperkenalkan oleh fisikawan, matematikawan, dan insinyur Yunani kuno Archimedes dari Syracuse. Dia bekerja dengan asumsi sederhana tentang gravitasi yang berjumlah medan seragam, sehingga sampai pada sifat matematika dari apa yang sekarang kita sebut pusat massa. Archimedes menunjukkan bahwa torsi yang diberikan pada tuas oleh beban yang bertumpu pada berbagai titik di sepanjang tuas adalah sama seperti jika semua beban dipindahkan ke satu titik pusat massa mereka. Dalam karya tentang benda terapung, ia menunjukkan bahwa orientasi benda terapung adalah yang membuat pusat massanya serendah mungkin. Dia mengembangkan teknik matematika untuk menemukan pusat massa benda dengan kerapatan seragam dari berbagai bentuk yang terdefinisi dengan baik.

Kemungkinan pergeseran pusat gravitasi harus diperhitungkan dengan menerapkan faktor pergeseran titik berat (f_{cog}) untuk semua bobot yang ditetapkan dalam kombinasi beban. f_{cog} dihitung untuk seluruh struktur. Titik berat

dari analisis harus digunakan dalam perhitungan perpindahan titik berat. (Vladimir Matusek & Eva Matusekova, 2015)

Titik berat dari struktur yang diteliti adalah titik di mana seluruh beratnya dapat terkonsentrasi. Untuk mengangkat tingkatan, kait *crane* atau titik suspensi harus jelas di atas titik ini. Meskipun sedikit variasi biasanya diperbolehkan, jika pengait mesin derek terlalu jauh ke salah satu sisi COG, kemiringan yang berbahaya dapat terjadi. Untuk alasan ini, ketika titik berat lebih dekat ke satu titik lampiran *sling* daripada yang lain, *sling* harus memiliki panjang yang tidak sama. Sudut selempang dan tegangan selempang juga tidak seimbang. Faktor perpindahan titik berat (SFCOG) digunakan untuk memperhitungkan beban tambahan karena kemungkinan terjadi perpindahan titik berat selama operasi pengangkatan. Untuk kasus yang diteliti, SFCOG untuk titik angkat empat kali lipat dapat diabaikan (SFCOG = 1). (Chima Clement, 2015)

2.5 Crane

Alat berat merupakan faktor penting di dalam proyek, terutama proyek-proyek konstruksi dengan skala yang besar. Produktivitas yang kecil dan waktu penyelesaian pekerjaan yang lama akan menyebabkan pembengkakan (*over budget*) biaya proyek. Kegiatan proyek harus merencanakan kegiatan-kegiatan dimasa yang akan datang, mengendalikan dan mengevaluasi kegiatan-kegiatan yang berlangsung dan bersikap produktif, tanggap terhadap segala sesuatu yang terjadi didalam proyek maupun dilingkungan sekitarnya. Berbagai macam tujuan dalam pedoman aktivitas manajemen proyek antara lain :Menekan biaya produksi , Menekan biaya persediaan, Memanfaatkan sebaik mungkin fasilitas proyek. Fungsi dari *crane* sebagai alat angkat untuk mengangkat suatu equipment dengan dimensi yang cukup besar dan beban yang cukup berat. Dengan memperhatikan kondisi alat berat yang akan disediakan atau ketersediaan alat berat di proyek tersebut perlu dipertimbangkan biaya, mutu, waktu, keselamatan kerja dan lingkungan dan hal yang nantinya akan mempengaruhi jalannya pelaksanaan pekerjaan di proyek. Selain fungsi dari alat berat itu sendiri, juga harus di pertimbangkan kapasitas alat berat, cara pengorasian alat berat, pembatasan dari metode yang akan dipakai, nilai ekonomi, jenis proyek, lokasi proyek, serta kondisi proyek. (Priyono, 2015)

Operasi pengangkatan dengan derek lepas pantai atau derek SIMOPS harus selalu dilakukan dengan minimal tiga orang/peran yang terlibat: operator alat pengangkat, pemberi sinyal dan slinger. Untuk semua peralatan pengangkat permanen lainnya, analisis risiko yang menentukan jumlah minimum staf yang diperlukan untuk melakukan operasi pengangkatan harus tersedia. Untuk operasi pengangkatan yang dilakukan dengan derek lepas pantai pada instalasi terapung, beban harus diatur dengan benar dan setiap energi potensial harus dilepaskan untuk mengendalikan gerakan rotasi atau pendulum, sebelum slinger dapat menyentuh beban setelah perintah siap diberikan oleh operator derek langsung di radio. (Hetland, S. H., 2016)

Istilah alat pengangkat digunakan di sini untuk menunjukkan seluruh elemen yang digunakan untuk menangguhkan, menaikkan atau menurunkan beban atau memindahkannya dari satu posisi ke posisi lain saat ditangguhkan atau ditopang, misalnya derek dan seluruh mekanismenya. Peralatan pengangkat harus ditempatkan dan dilindungi sedemikian rupa untuk mengurangi seminimal mungkin bahaya bagi personel, dengan memperhatikan bagian yang bergerak atau bahaya lainnya. Ketentuan yang memadai harus dibuat untuk memudahkan pembersihan, inspeksi dan pemeliharaan. Di atas unit lepas pantai, derek dan area berbaring harus ditempatkan sedemikian rupa untuk meminimalkan pengangkatan beban di atas kepala sumur dan area proses, jika relevan. (Bureau Veritas, 2015)

Cara kerja *crane* sebagai alat angkat adalah mengangkat secara vertical material atau equipment yang akan dipindahkan, memindahkan secara horizontal, kemudian menurunkan material di tempat yang diinginkan. Sebenarnya selain pekerjaan pengangkatan material atau equipment, crane juga dapat dipakai untuk penggalian dan pemasangan tiang atau suatu material atau equipment yang membutuhkan verticality. Tentu saja untuk kedua pekerjaan ini alat yang di pasang akan berbeda. Jenis Alat Pengeraknya : *Mobile Crane ; Static crane*. Dalam pemilihan alat berat, ada beberapa faktor yang harus di perhatikan sehingga kesalahan dalam pemilihan alat berat dapat dihindari. Faktor-faktor tersebut antara lain : Fungsi alat berat ; Kapasitas alat berat ; Cara operasi alat harus disesuaikan arah (horisontal atau vertikal) jarak gerakan, kecepatan, frekuensi gerakan dan lain sebagainya ; Mobilisasi dan *Handling*; Nilai ekonomi ; Jenis proyek ; Lokasi proyek ; Kondisi lapangan. Setiap pengangkatan dapat diasumsikan secara umum dan garis besarnya, bahwa kemampuan maksimum *crane* dalam mengangkat beban adalah 90%

dari kapasitas *crane* tersebut yang tercantum dalam *crane's chart capacity* yang dikeluarkan perusahaan produsen *crane*. Atau total beban yang akan diangkat : Untuk mesin beroda *crawler* adalah 75% dari kapasitas alat ; Untuk mesin beroda ban atau juga memiliki *outrigger* adalah 85% dari kapasitas alat. Untuk pengangkatan beban dengan menggunakan lebih dari satu *crane*, ada beberapa hal yang menjadi pertimbangan:

- Ukuran (panjang, lebar) *equipment* dan berat beban yang akan diangkat
- Ukuran (panjang, lebar) *equipment* dan berat beban yang akan diangkat
- Untuk kapasitas pekerjaan yang besar, perlu diperhatikan sifat dari pengangkatannya, dari karakteristik *equipment* yang akan diangkat. Pengangkatan dipastikan disesuaikan dengan sudut pengangkatan.
- Hampir semua *crane* dan perencanaan keamanan pengangkatan, kapasitas angkat *crane* yang tercantum pada *chart capacity* harus direduksi dari kemampuan tercatatnya, tidak 100% dari kemampuan aktual tercatatnya.
- Pembagian beban angkat (*load distribution*) dapat disesuaikan, jika terdapat dari satu *crane* yang berbeda kapasitasnya dalam satu pengangkatan.
- Tidak disarankan untuk melakukan *swing* dan *hoisting* dalam waktu yang bersamaan.
- Perhitungan pengangkatan. (Priyono, 2015)

2.5.1 Heavy Lift Crane

Pada pertengahan 1980-an, kapasitas angkat yang tersedia meningkat secara dramatis dengan diperkenalkannya generasi terbaru *Semi Submersible Crane Vessel* (SSCVs): S7000 (dengan kapasitas hingga 14000 ton) pada Gambar 2 dan DB102 (dengan kapasitas hingga 12000 ton) . Ditambah dengan peningkatan *Heerema* SSCVs, *Balder* dan *Hermod*, ketersediaan *vesses* ini telah menyebabkan pengembangan konsep jaket angkat untuk air menengah dan lebih dalam dan modul dengan berat lebih dari 10.000 ton. (Li Liang, 2004)



Gambar 2 Saipem S7000 (SSCV with maximum of 1400 ton Capacity).

(Sumber : *Heavy Lift Installation Study of Offshore Li Liang*)

Saat ini secara umum diakui bahwa penerapan SSCV besar, seperti McDermott's DB102 (kapasitas 12000 ton) dan S7000 Saipem (kapasitas 14000 ton), dapat mengurangi biaya pekerjaan instalasi lepas pantai secara signifikan, terutama untuk topside terintegrasi yang besar dan struktur jaket yang dapat diangkat. Aspek dinamis dari instalasi angkat berat sampai batas tertentu belum diketahui. Namun, pengetahuan tentang aspek-aspek ini sangat penting untuk menilai kelayakan dan keamanan operasi pengangkatan berat dengan benar. (Li Liang, 2004)

Kedua kapasitas angkat dan *heavy lift* yang terpasang telah meningkat secara dramatis selama dua dekade terakhir. Untuk waktu yang lama, kapasitas *crane* lepas pantai yang tersedia jauh di atas permintaan dan tidak memberlakukan batasan signifikan pada berat dan dimensi anjungan lepas pantai yang dipasang dengan pengangkatan. Namun, dalam beberapa tahun terakhir, kapasitas derek maksimum yang tersedia dari SSCV besar telah menjadi faktor pembatas dalam desain bagian atas yang terintegrasi dan jaket yang dapat diangkat. (Li Liang, 2004)

Misalnya, dimensi maksimum jaket yang dapat diangkat secara efektif dibatasi oleh kapasitas derek dan jangkauan SSCV besar, serta oleh persyaratan jarak bebas minimum antara kaki jaket dan boom derek. Selain itu, menjadi jelas

bahwa aspek dinamis dari instalasi lepas pantai yang besar tidak boleh diabaikan karena hal ini dapat berdampak serius pada kelayakan, keselamatan, dan jadwal operasi pengangkatan. (Li Liang, 2004)

Menyadari kecenderungan ini, banyak ahli telah aktif sejak tahap awal dan seterusnya dalam mempromosikan pengembangan teoretis dan praktis dari analisis pengangkatan berat lepas pantai sebagai pertimbangan integral dalam desain struktur lepas pantai besar yang dapat diangkat. Tujuan dari analisis tersebut adalah tiga kali lipat: pertama, mengingat bobot dan ukuran besar dari bagian atas terintegrasi saat ini dan jaket yang dapat diangkat, ekstrapolasi berdasarkan pengalaman masa lalu seringkali tidak mungkin dan tidak dapat diandalkan, dan oleh karena itu orang ingin diyakinkan sebelumnya bahwa instalasi pengangkatan yang diusulkan secara teknis layak. Kedua, harus diverifikasi bahwa operasi pengangkatan dapat dilakukan dengan cara yang aman tanpa risiko yang tidak dapat diterima bagi personel yang terlibat atau terhadap struktur atau kapal derek. Ketiga, penilaian kemampuan kerja (atau waktu henti cuaca) dari operasi pengangkatan diperlukan oleh manajemen proyek ketika memutuskan waktu pemasangan sehubungan dengan jadwal fabrikasi. Selain itu, mungkin menarik untuk menentukan apakah kemampuan kerja ditentukan oleh faktor-faktor di bawah kendali tim proyek desain teknik atau kontraktor instalasi. (Li Liang, 2004)

Dalam proyek yang sebenarnya, pilihan antara *integrated deck* atau modul terpisah bisa jadi sulit. Konsep modul split adalah memisahkan dek terintegrasi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut modul, dengan membelah dek terintegrasi dalam arah vertikal atau horizontal, yang dapat dengan mudah diangkat oleh vessel *crane* yang lebih kecil (dengan biaya lebih rendah), tetapi menghasilkan hook-up lepas pantai yang biayanya lebih tinggi. Selain menggunakan vessel *crane* yang lebih besar untuk memasang *integrated deck*, metode "Float-over" juga digunakan untuk pemasangan dek berat tanpa batasan berat. (Li Liang, 2004)

2.6 Titik Angkat

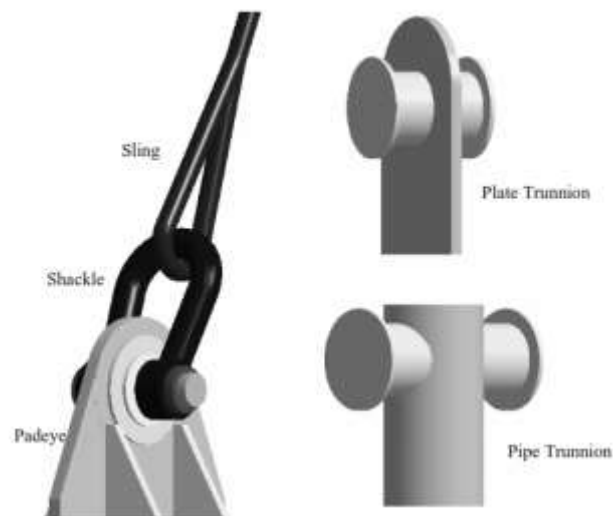
Titik angkat adalah lokasi di mana tegangan *slings* besar ditransmisikan ke struktur modul yang diangkat. Titik angkat harus dipilih dengan benar untuk memungkinkan tegangan *slings* berpindah dengan lancar ke komponen struktur yang kuat. Dua jenis titik angkat yang umum yang menghubungkan sistem *rigging*

ke struktur modul adalah padeye dan trunnion. Dengan faktor ketegangan *sling* yang sesuai, *sling* dan belunggu dapat dipilih dari daftar *sling* dan belunggu yang tersedia (persediaan) atau dipesan dari pemasok. Itu selalu menjadi fokus dari kode desain untuk memberikan faktor keamanan yang konsisten untuk komponen pengangkatan dalam sistem rigging untuk angkat berat. (Li Liang, 2004)

Ada berbagai operasi pengangkatan yang dilakukan di industri konstruksi darat, lepas pantai, dan bawah laut. Untuk mengategorikan semua lift sebagai rutinitas atau non-rutin. Atau ke dalam sub-kategori yang dapat diterapkan di seluruh industri ini mungkin akan sangat menantang. Misalnya, sebuah perusahaan mungkin mengategorikan pengangkatan sebagai rutinitas karena mungkin melakukan pengangkatan semacam itu dalam waktu lama secara sangat teratur; perusahaan lain akan mengategorikan pengangkatan yang sama sebagai non-rutin karena hal itu tidak biasa bagi mereka dan melibatkan perencanaan ekstra. (IMCA, 2017)

Titik angkat dan sambungannya ke struktur harus dirancang untuk beban *sling* maksimum, kemungkinan sudut *sling* dan efek beban lokal, seperti yang ditentukan dalam desain titik angkat yang mungkin gagal sebagai akibat dari penyimpangan sedang dalam arah gaya *sling* harus dihindari. Padeyes biasanya harus disejajarkan sedemikian rupa sehingga gaya angkat bekerja sejajar dengan pelat padeye utama. Padeyes biasanya harus disejajarkan sedemikian rupa sehingga gaya angkat bekerja sejajar dengan pelat padeye utama. (DNV, 2014)

Titik angkat adalah lokasi di mana ketegangan *sling* intensif bertemu dengan struktur modul. Titik angkat harus dirancang dengan benar untuk memungkinkan tegangan *sling* berpindah dengan lancar ke komponen struktur kuat lainnya. Tergantung pada beban angkat terfaktor, *sling* dan belunggu dapat dipilih dari daftar *sling* dan belunggu yang tersedia (persediaan) atau dipesan dari pemasok. Cara mendapatkan beban titik angkat yang cukup aman namun dengan faktor yang masuk akal telah menjadi fokus dari semua kode desain industri. Pada dasarnya ada dua jenis titik angkat yang menghubungkan sistem rigging ke struktur modul: *Padeye* dan *trunnion*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. (Li Liang, 2004)



Gambar 3 Sambungan Titik Angkat - Padeye dan Trunnion

(Sumber : *Heavy Lift Installation Study of Offshore*, Li Liang)

Padeye adalah komponen angkat yang penting, yang menghubungkan struktur modul dan belunggu. Dalam pengaturan *pengangkatan*, *shackle* mengunci *padeye* dengan memasukkan *shackle pin* melalui lubang *padeye*, sedangkan *shackle bow* terhubung ke *sling*. (Li Liang, 2004)

Desain padeye membutuhkan perhatian dan detail khusus. Direkomendasikan agar padeye dirancang dengan sambungan utama dalam keadaan geser daripada dalam keadaan tarik. Beban tegangan tinggi pada arah ketebalan material baja harus dihindari. Padeyes juga harus diberi dimensi agar pas dengan belunggu dan menghindari area kontak yang tidak rata, yang biasanya diselesaikan dengan menggunakan pelat pipi dan pelat pengatur jarak. (Li Liang, 2004)

Meskipun padeye itu sendiri biasanya dirancang secara memadai untuk beban vertikal dan horizontal, struktur yang dihubungkan dengan padeye harus dapat menerima dan meneruskan gaya vertikal dan horizontal total kembali ke dalam struktur. (Li Liang, 2004)

Trunnion biasanya digunakan untuk mengangkat modul yang sangat berat. Keuntungan dari trunnion adalah kesederhanaannya dalam sambungan rigging di mana *sling* atau grommet dilingkarkan di atas kawat gigi tanpa menggunakan belunggu, dan kebebasan untuk selempang atau grommet untuk berputar di sekitar penjepit *trunnion*. Yang terakhir mungkin bermanfaat untuk modul yang terbalik, terbalik atau berputar. (Li Liang, 2004)

Trunnion dapat berupa cast atau fabrikasi. Idealnya diameter trunnion harus empat kali diameter *sling*. Penggunaan *trunnion* cor berarti bahwa desain awal diperlukan karena coran memiliki lead time yang lama. Trunnion fabrikasi sering digunakan dalam industri lepas pantai. (Li Liang, 2004)

Dalam semua operasi pengangkatan, kehati-hatian harus diberikan untuk memastikan bahwa beban yang dikenakan pada item peralatan apa pun atau pada bagian dari item apa pun tidak melebihi beban kerja amannya. Ketika ada ketidakpastian tentang berat beban atau beban yang mungkin diterapkan pada bagian tertentu dari peralatan, direkomendasikan agar perangkat sensor beban digunakan. Selain hal di atas, kehati-hatian harus dilakukan untuk memastikan bahwa pada semua tahap pengangkatan beban tetap dalam kondisi stabil. Secara umum beban mungkin tidak stabil jika sewaktu-waktu (1) titik berat beban tidak berada secara vertikal di bawah pengait derek, atau (2) titik berat beban lebih tinggi dari titik pemasangan *sling* ke beban. Ada penyebab ketidakstabilan lain yang perlu dipertimbangkan, misalnya cairan yang bergerak di dalam bejana, dll. (NearSpace launch, 2008)

Sistem rigging yang sesuai mencakup titik angkat yang tersedia (titik kuat dalam struktur modul), *sling* yang tersedia dalam inventaris, struktur penyebar (batang atau rangka) dan blok pengait dari tongkang derek. Dalam pengaturan rigging yang sebenarnya, sistem *sling* dapat melibatkan empat, enam, delapan atau lebih titik angkat, dan batang penyebar atau rangka dapat digunakan untuk melindungi modul dari gaya tekan yang signifikan atau kemungkinan kerusakan. (Li Liang, 2004)

Operasi rigging yang aman membutuhkan rigger untuk mengetahuinya

- Berat beban dan perangkat keras rigging
- Kapasitas alat angkat
- Batas beban kerja tali pengangkat, *sling*, dan perangkat keras.

Ketika bobot dan kapasitas diketahui, rigger kemudian harus menentukan cara mengangkat beban agar stabil. Pelatihan dan pengalaman memungkinkan rigger untuk mengenali bahaya yang dapat berdampak pada operasi pengangkatan. Riggers harus menyadari unsur-unsur yang dapat mempengaruhi keselamatan mengangkat, faktor-faktor yang mengurangi kapasitas, dan praktik yang aman dalam muatan rigging, pengangkatan, dan pendaratan. Riggers juga harus terbiasa dengan pemeriksaan yang tepat dan penggunaan *sling* dan perangkat keras rigging lainnya. Sebagian besar kecelakaan crane dan rigging

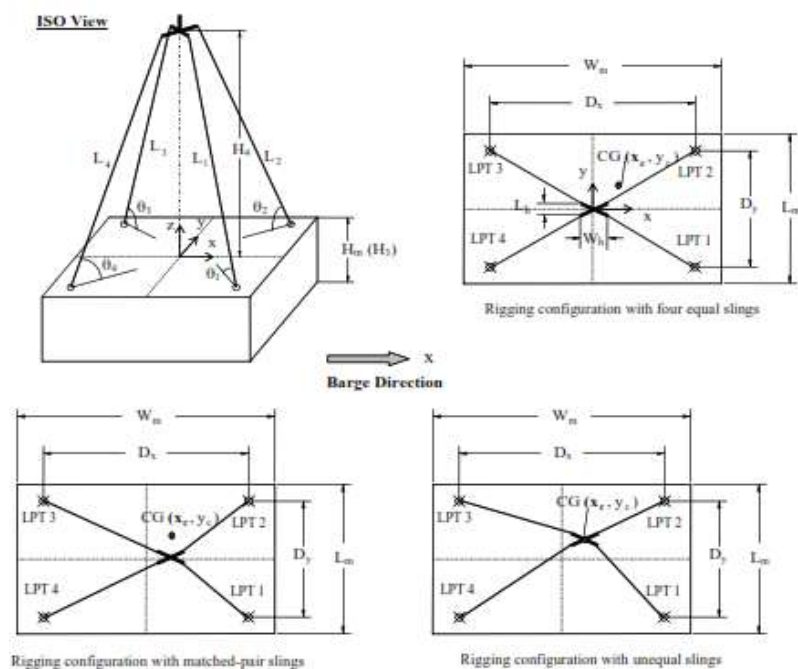
dapat dicegah oleh personel lapangan dengan mengikuti praktik dasar hoisting dan rigging yang aman. Ketika operator crane bekerja dengan rigger atau kru rigging, sangat penting bagi operator untuk mengetahui semua aspek lift dan sarana komunikasi telah disepakati, termasuk sinyal apa yang akan digunakan. (IHSA, 2020)

2.6.1 Rigging Sling System dengan Empat Titik Angkat

Sistem *sling rigging* dengan empat titik angkat sering digunakan dalam pemasangan modul lepas pantai dan laut di mana titik angkat dapat ditempatkan di kaki jaket atau komponen struktural yang kuat. (Li Liang, 2004)

1. Menggunakan Main atau Jib Hook tanpa Struktur *Spreader*

Tiga pengaturan rigging tipikal dalam hal posisi hook sehubungan dengan Titik berat (CG) ditunjukkan pada Gambar 4. Ini adalah konfigurasi dengan (1) *sling* empat-sama, (2) dua *sling* berpasangan dan (3) *sling* empat-tidak sama. (Li Liang, 2004)



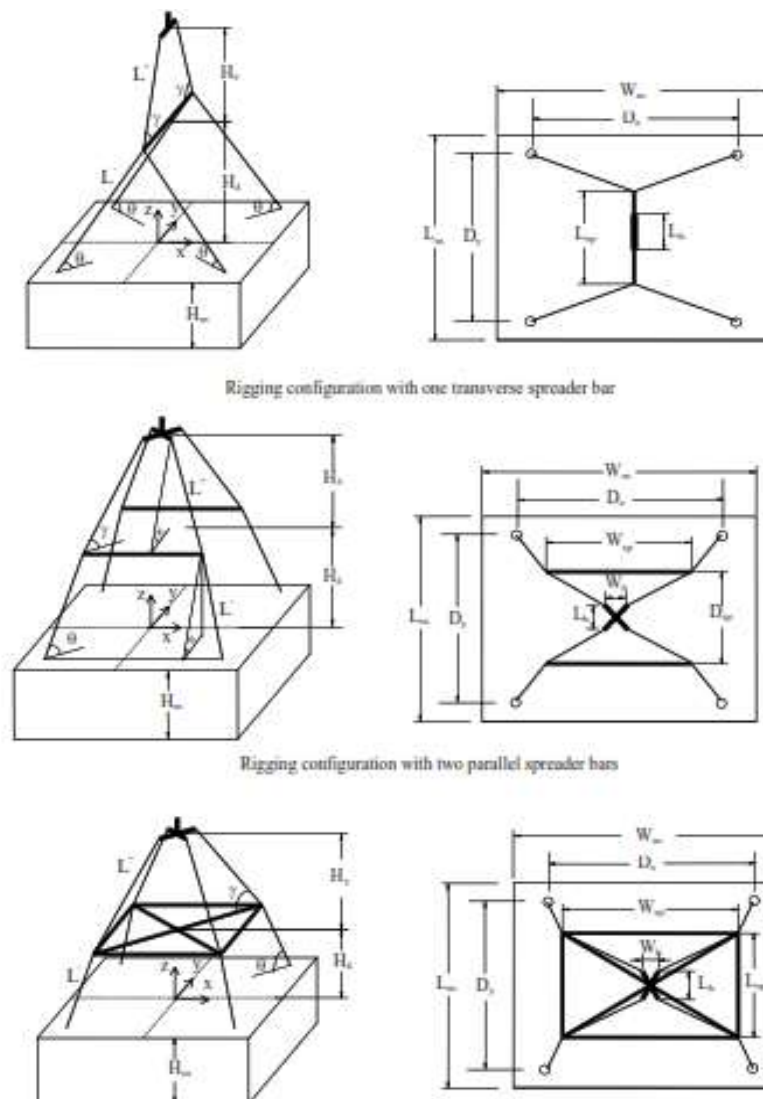
Gambar 4 Konfigurasi *rigging* untuk sistem *sling* empat

Titik Angkat menggunakan blok main hook atau jib tanpa *Spreader*.

(Sumber : *Heavy Lift Installation Study of Offshore*, Li Liang)

2. Menggunakan *Main* atau *Jib Hook* dengan Struktur *Spreader*

Seperti disebutkan pada bagian di atas, penyebar digunakan untuk menghindari gaya tekan yang ekstensif dalam modul untuk melindungi modul atau peralatan dari kerusakan. Dalam aplikasi sebenarnya, struktur penyebar dapat terdiri dari batang penyebar sederhana atau bingkai penyebar. Gambar 5 menunjukkan tiga pengaturan rigging tipikal dengan struktur *Spreader*: (i) satu batang *Spreader*, (ii) dua batang *Spreader* paralel, dan (iii) kerangka *Spreader*. Untuk mempermudah pembahasan, geometri modul, titik angkat, penyebar diasumsikan simetris terhadap sumbu geometri

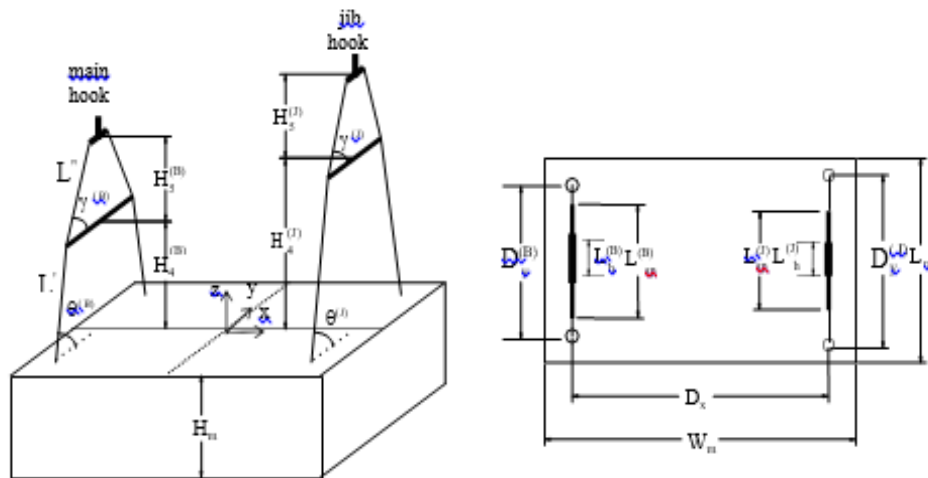


Gambar 5 Konfigurasi *rigging* untuk sistem *sling* empatTitik Angkat menggunakan blok *main hook* atau *jib* dan *Spreader*.

(Sumber : *Heavy Lift Installation Study of Offshore*, Li Liang)

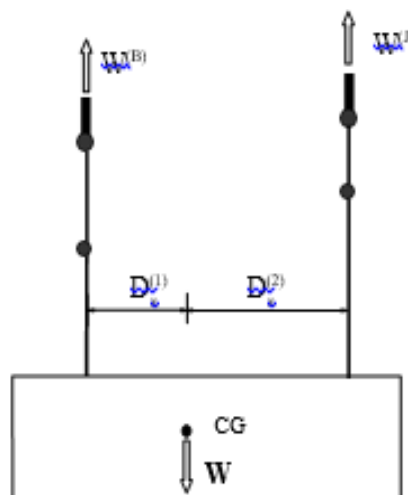
3. Menggunakan *Main Hook* dan *Jib* Secara Bersamaan

Dalam hal menggunakan kedua *Main Hook* dan *jib hook blocks* pada saat yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, jarak antara pengait utama dan pengait penopang biasanya dibuat sama dengan jarak D_x antara titik angkat, dan bidang sebenarnya dari pengait utama. *sling* dan *sling* jib hook dengan demikian tegak lurus terhadap bidang horizontal. Beban yang diambil oleh main hook dan jib hook bergantung pada titik angkat dan posisi CG seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 .



Gambar 6 Konfigurasi rigging untuk sistem *sling* empat Titik Angkat menggunakan blok main dan *jib hook* serta *Spreader bars*

(Sumber : Heavy Lift Installation Study of Offshore, Li Liang)



Gambar 7 Distribusi beban *hook* untuk sistem *sling* empat Titik Angkat menggunakan blok *main hook* dan *jib*.

(Sumber : Heavy Lift Installation Study of Offshore, Li Liang)

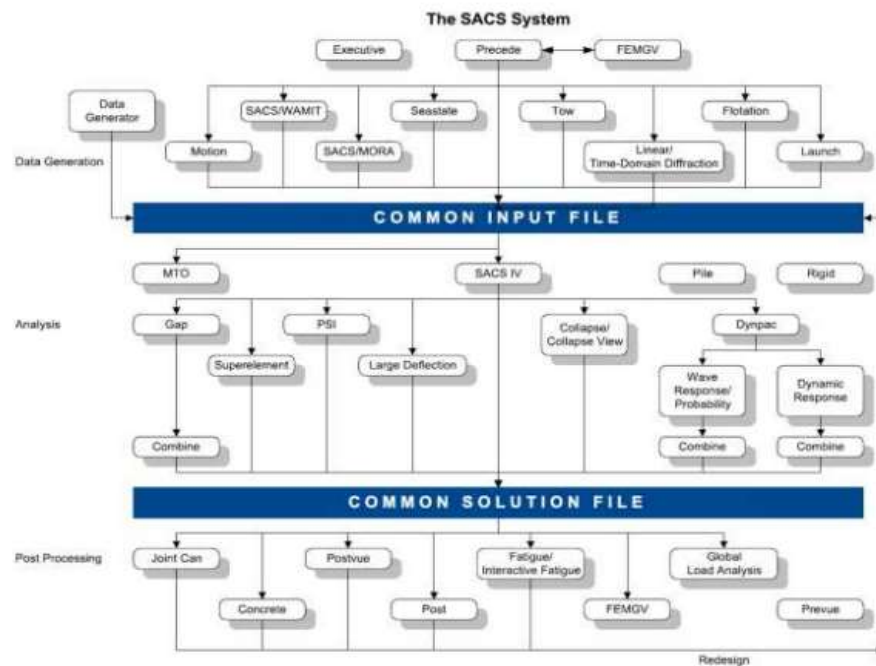
2.7 Stacking Structure Method

Crane dengan kapasitas angkat yang besar tidak dapat digunakan selama pelaksanaan proyek karena biaya sewa yang tinggi dan sulit ditemukan di lapangan. Jadi, untuk mengejar waktu, pengembangan lepas pantai perlu improvisasi. Improvisasi dilakukan dengan metode susun struktur. Metode *stacking structure* dilakukan dengan melakukan seluruh pemasangan struktur utama, dan *secondary structure* (*grating, electrical* dan *instrument, dll*) pada panel atas dilakukan pada bagian bawah (*ground*) kemudian diangkat ke sistem *tower yoke*. dengan menggunakan beberapa alat angkat *crane*. (H. Pallipui & S. Ramadhan, 2020)

2.8 Structural Analysis Computer System (SACS) CONNECT Edition Update

Sistem perangkat lunak SACS telah dikembangkan untuk struktur lepas pantai dan aplikasi teknik sipil umum. SACS terdiri dari beberapa program analisis struktural modular yang dihubungkan satu sama lain untuk menghilangkan persyaratan, tetapi bukan kemampuan, untuk interaksi pengguna dengan output dari satu program sebelum input ke yang lain. Semua program menyertakan pelengkap lengkap standar teknik standar dalam satuan bahasa Inggris dan Metrik untuk menyederhanakan input. (Bentley System Inc, 2012)

Hubungan antara program-program yang terdiri dari sistem diilustrasikan secara skematis dalam diagram alir pada Gambar 8. Semua data struktural: geometri, dimensi anggota, sifat material dan kondisi lingkungan dihasilkan oleh program pembangkit input dan berada di file input umum. Program solusi beroperasi pada data ini dan menghasilkan file solusi umum yang berisi perpindahan sendi dan gaya internal elemen. Program pasca-pemrosesan, menggunakan informasi ini, mengevaluasi kinerja struktur sehubungan dengan salah satu dari beberapa kode struktural. Struktur apa pun yang tidak memenuhi kode dapat dirancang ulang secara otomatis. Selain itu, plot geometri struktural, bentuk cacat dan informasi pemeriksaan kode tersedia. Akhirnya, gambar struktur berdimensi, tagihan material dan data lofting. (Bentley System Inc, 2012)



Gambar 8 Sistem SACS

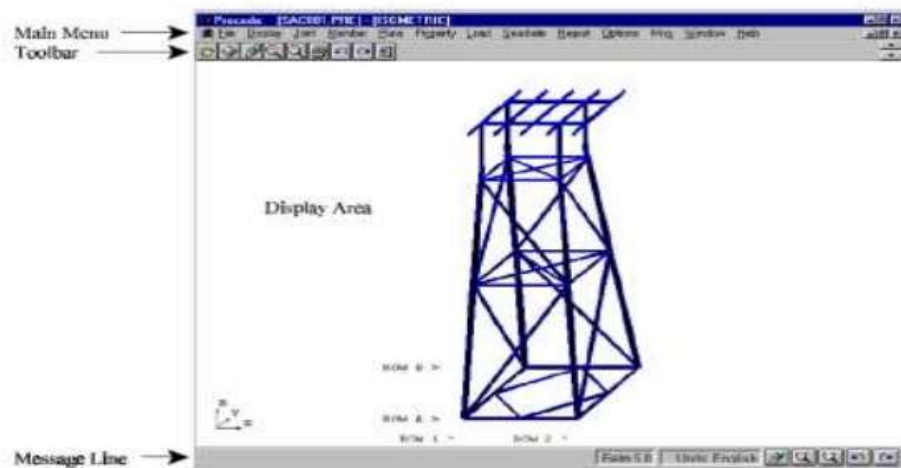
(Sumber : SACS *Program Manual*, Bentley System Inc)

2.7.1 Graphical User Interface

Graphical User Interface membuka jendela tampilan program di mana interpretasi grafis 3D dari konten file ditampilkan dan fungsi program interaktif dilakukan. Beberapa program interaktif memiliki jendela browser laporan tempat laporan dan pesan dapat dilihat dan diramban. (Bentley System Inc, 2012)

a. *Program Display Window*

Program Display Window atau Jendela tampilan program terdiri dari area tampilan, di mana output program ditampilkan secara grafis seperti pada Gambar 9. Menu utama ditampilkan di bagian atas layar. Sub-menu ditampilkan langsung di bawah menu utama. Di bawah area tampilan adalah baris pesan. Di bawah menu utama adalah toolbar. (Bentley System Inc, 2012)



Gambar 9 Program Display Window

(Sumber : SACS Program Manual, Bentley System Inc)

b. Report Editor

Beberapa program interaktif, seperti *Precede* dan *Postvue*, membuka *Editor* Laporan yang dapat digunakan untuk melihat informasi *file*, laporan, dan/atau pesan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. (Bentley System Inc, 2012)

The image shows a 'Programmer's File Editor' window with a menu bar (File, Edit, Options, Template, Execute, Macro, Window, Help) and a toolbar. The main text area displays a 'Joint Report: Units are in feet' table.

Joint	X	Y	Z	Fixity	Type
101	-22.50	-35.25	-150.00		L
102	-22.50	-35.25	-150.00	PILEHD	P
103	42.75	-35.25	-150.00		L
104	42.75	-35.25	-150.00	DTI CUR	D

At the bottom of the window, there is a status bar showing 'Ln 2 Col 1', '64', 'WR', 'Rec Off', 'No Wrap', 'DOS', 'INS', and 'NUM'.

Gambar 10 Programmer's File Editor

(Sumber : SACS Program Manual, Bentley System Inc)

2.7.2 Panduan untuk *Input Lines*

Bagian ini berisi panduan dan prosedur penggunaan jalur input yang membentuk file data SACS :

1. *Input Line Layout*

Input Line yang membentuk data input untuk program SACS semuanya mengikuti tata letak dasar yang sama. Contoh baris input yang ditunjukkan pada halaman berikut mengilustrasikan fitur dasar berikut yang umum untuk semua jalur input:

- Baris atas baris menjelaskan data yang akan dimasukkan dalam bidang yang sesuai pada baris.
- Baris kedua berisi label atau label yang diperlukan pada setiap baris jenis ini. Sepanjang manual program, jalur input dirujuk oleh label jalur input di kolom 1-6.
- Baris ketiga berisi batas kolom untuk setiap bidang entri data. Misalnya 1-5 berarti bahwa data tertentu dimasukkan dalam kolom 1 sampai 5. Selain itu, beberapa bidang berisi panah penunjuk kiri atau kanan untuk menunjukkan apakah data akan dijustifikasi kiri atau kanan.
- Baris keempat berisi nilai default yang diasumsikan oleh program jika tidak ada data yang dimasukkan ke dalam bidang.
- Baris kelima berisi unit untuk data dalam sistem bahasa Inggris.
- Baris keenam berisi unit untuk data dalam sistem Metrik. (Bentley System Inc, 2012)

2. Tipe Data

Semua baris data adalah standar 80 baris kolom, tetapi baris input hanya menjelaskan bidang tempat data dimasukkan. Ada tiga jenis data yang dapat dimasukkan pada jalur data seperti yang dijelaskan di bawah ini:

- *Floating Point/Desimal* - jenis data numerik ini berisi titik desimal di suatu tempat di bidang yang ditentukan. Penempatan titik desimal adalah sewenang-wenang untuk program, tetapi pengguna harus mencari desimal untuk memastikan bahwa program akan menggunakan nilai yang benar.
- *Integer* - jenis data numerik ini tidak boleh memiliki titik desimal, itu adalah bilangan bulat dan harus dimasukkan di bagian paling kanan dari bidang yang disediakan untuknya, yaitu, datanya "benar dibenarkan".
- *Alfanumerik* - ini adalah data input yang terdiri dari kombinasi karakter alfabet atau numerik atau simbol lain yang diizinkan (mis. +,#,* , dll.). Jenis

data ini biasanya digunakan untuk pelabelan atau sebagai penunjukan eksekusi program. Jika data digunakan sebagai label, sangat penting bahwa data tersebut menempati porsi bidang yang sama setiap kali digunakan. Misalnya, jika pertama kali label dimasukkan, dibiarkan rata di bidang yang ditentukan, maka setiap kali digunakan, itu harus dibiarkan rata. (Bentley System Inc, 2012)

3. *Arrow Designations*

Di beberapa bidang, penunjukan kolom di baris ketiga menyertakan panah penunjuk kiri atau kanan. Ini memiliki arti sebagai berikut:

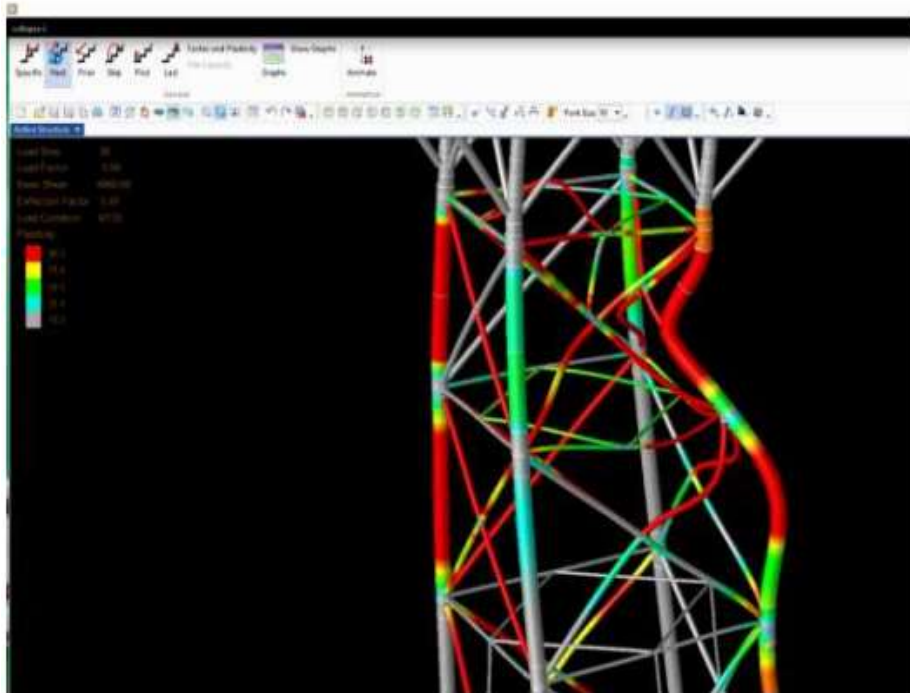
- Jika panah menunjuk ke kanan, item data adalah bilangan bulat dan harus dibenarkan dengan benar.
- Jika panah menunjuk ke kiri, *item data* adalah angka desimal atau variabel alfanumerik. Meskipun tidak mutlak penting, disarankan agar data ini dibiarkan dibenarkan untuk kemudahan penggunaan dan keseragaman input.
- Jika tidak ada kepala panah yang muncul, item data mengisi bidang yang dialokasikan atau merupakan bidang alfanumerik terbuka yang tidak memiliki batasan. (Bentley System Inc, 2012)

2.7.3 SACS 12.0 CONNECT edition

Rilisan SACS 12.0 CONNECT Edition mencakup peningkatan termasuk:

a. *COLLAPSE ENHANCEMENTS*

Collapse program telah ditingkatkan untuk memasukkan efek rotasi besar dan defleksi besar seperti pada Gambar 11. Akibatnya, program sekarang dapat memprediksi deformasi yang sangat besar. Pendekatan Iteratif Arc-length telah ditambahkan untuk membantu memprediksi perilaku bongkar muat di titik batas lokal dan global. Skema sub-incrementasi otomatis disertakan untuk meningkatkan tingkat konvergensi dan untuk menghindari banyak proses. (Bentley System Inc, 2012)



Gambar 11 *Collapse Program*

(Sumber : *SACS Program Manual*, Bentley System Inc)

- b. Penentuan SCF dari Ekstraksi Tegangan Hotspot Menggunakan Analisis *FE Ekstraksi Automatic Stress Concentration Factor* (SCF) – Program Joint Mesh telah ditingkatkan untuk secara otomatis menghasilkan file input mesh dan POST yang akan digunakan untuk menentukan SCF. Sambungan bertautan secara otomatis dimasukkan ke dalam model SACS global yang memungkinkan pengguna menyertakan fleksibilitas struktur untuk perhitungan SCF. Program SACS POST telah ditingkatkan untuk menghitung 'Hot Spot Stress' dan SCF. Precede telah ditingkatkan untuk menampilkan 'Hot Spot Stress', tegangan nominal, dan label SCF yang ditunjukkan pada Gambar 12. (Bentley System Inc, 2012)

HOTSPOT SCF REPORT
BRACE 0003-0001
IN ,RSI

INT JMT	** DISTANCES **		INT LOC	LOAD CASE	STR LOC	***** MEMBRANE *****			***** BENDING *****			***** HOTSPOT *****					
	INT-A	INT-B				SM	SY	TKY	SM	SY	TKY	TOP SP	SMOM	SCF			
A00L	0.600	1.289	C	AX+1	A00L	0.0410	0.0238	0.0000	0.0467	0.0508	-0.0114	0.0943	0.0187	3.0373			
					A00U	0.0389	0.0216	0.0000	0.0365	0.0387	-0.0058						
					A01B	0.0385	0.0192	-0.0001	0.0249	0.0248	0.0006						
				AX-1	A00L	-0.0410	-0.0238	0.0000	-0.0467	-0.0508	0.0114				-0.0943	-0.0187	3.0373
					A00U	-0.0389	-0.0216	0.0000	-0.0365	-0.0387	0.0058						
					A01B	-0.0385	-0.0192	0.0001	-0.0249	-0.0248	-0.0006						
	IF+1	A00L	0.0043	0.0045	0.0000	0.0106	0.0114	-0.0024	0.0179	0.0044	4.0662						
		A00U	0.0042	0.0042	0.0000	0.0082	0.0087	-0.0012									
		A01B	0.0040	0.0038	0.0000	0.0055	0.0055	0.0001									
	IF-1	A00L	-0.0043	-0.0045	0.0000	-0.0106	-0.0114	0.0024				-0.0179	-0.0044	4.0662			
		A00U	-0.0042	-0.0042	0.0000	-0.0082	-0.0087	0.0012									
		A01B	-0.0040	-0.0038	0.0000	-0.0055	-0.0055	-0.0001									
CF+1	A00L	0.0000	0.0000	-0.0023	-0.0006	0.0006	0.0001	-0.0023	0.0000	-----							
	A00U	0.0000	0.0000	-0.0023	-0.0003	0.0003	0.0001										
	A01B	0.0000	0.0000	-0.0021	0.0001	-0.0001	0.0000										
CF-1	A00L	0.0000	0.0000	0.0023	0.0006	-0.0006	-0.0001				0.0023	0.0000	-----				
	A00U	0.0000	0.0000	0.0022	0.0003	-0.0003	-0.0001										
	A01B	0.0000	0.0000	0.0021	-0.0001	0.0001	0.0000										
A00L	0.600	1.950	B	AX+1	A00L	0.0100	0.0156	0.0000	0.0287	0.0312				-0.0050	0.0492	0.0187	2.6258
					A00M	0.0104	0.0142	0.0000	0.0215	0.0231				-0.0034			
					A019	0.0114	0.0112	0.0000	0.0054	0.0048				-0.0001			
				AX-1	A00L	-0.0100	-0.0156	0.0000	-0.0287	-0.0312	0.0050	-0.0492	-0.0187	2.6258			
					A00M	-0.0104	-0.0142	0.0000	-0.0215	-0.0231	0.0034						

Gambar 12 File input mesh dan POST

(Sumber : SACS Program Manual, Bentley System Inc)