



TUGAS AKHIR – MO.141326

**ANALISIS KEKUATAN DAN SENSITIVITAS
STEEL CATENARY RISER AKIBAT PERGERAKAN
*SEMI-SUBMERSIBLE***

Rizal Cesarian Erestio

NRP. 4312 100 110

Dosen Pembimbing :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc.

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT – MO.141326

**STRENGTH AND SENSITIVITY ANALYSIS OF
STEEL CATENARY RISER DUE TO MOTION
OF SEMI-SUBMERSIBLE**

Rizal Cesarian Erestio

NRP. 4312 100 110

Supervisors :

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc.

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016

Analisis Kekuatan dan Sensitivitas *Steel Catenary Riser* akibat Pergerakan Semi-Submersible

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Rizal Cesarlan Erento

NRP. 4312 100 110

Disetujui oleh:

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Ir. Jiswan Jusuf Soedjono, M.Sc. (Pembimbing 2)

3. Yoyok Setyo Hadiwidada, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 1)

4. Dr. Ir. Hasan Ikhwan, M.Sc. (Penguji 2)

5. Wimala Lalitya Dharmistha, S.T., M.T. (Penguji 3)

Sumbaya, Juli 2016

ABSTRAK

Analisis Kekuatan dan Sensitivitas *Steel Catenary Riser* akibat Pergerakan *Semi-Submersible*

Nama Mahasiswa : Rizal Cesarian Erestio
NRP : 4312 100 110
Jurusan : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc
Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

Kondisi perairan laut dalam membuat para pelaku industri migas dihadapi pada tantangan-tantangan baru, sehingga banyak dilakukan studi pengembangan teknologi laut dalam, salah satunya adalah teknologi *riser*. *Riser* merupakan komponen penting dalam mentransportasi minyak dan gas dari fasilitas *subsea* menuju *floater*. Riset-riset menunjukkan bahwa *riser* yang sesuai untuk laut dalam salah satunya adalah jenis *Steel Catenary Riser* (SCR). Namun, terdapat daerah-daerah penting yang harus diperhatikan pada SCR yaitu *hang-off location*, *sagbend* dan *touchdown point*. Tinjauan khusus dari tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan SCR terhadap pergerakan dinamis *semi-submersible*. Analisis ini dilakukan dengan model matematis kombinasi beban fungsional dan lingkungan dalam simulasi domain waktu. Hasil *effective tension* terbesar untuk kondisi ULS adalah 302.831 kN dari arah pembebanan 90^0 , sedangkan *bending moment* terbesar berasal dari arah pembebanan 45^0 dengan nilai mencapai 2624.546 kN.m. Tegangan von mises maksimum terdapat pada daerah *sagbend*, sehingga kekuatan SCR pada daerah tersebut harus ditinjau lebih lanjut. Kekuatan SCR ditinjau menggunakan metode LRFD yang terdapat pada DNV OS F201. Selain itu dilakukan juga analisis sensitivitas SCR terhadap perubahan *offset* untuk mengetahui reaksi SCR terhadap perubahan parameter tersebut. Hasil menunjukkan bahwa perubahan *offset* mempengaruhi konfigurasi, *effective tension* dan *bending moment* secara signifikan.

Kata Kunci: analisis kekuatan, *semi-submersible*, *steel catenary riser*, ULS

ABSTRACT

Strength and Sensitivity Analysis of Steel Catenary Riser due to Motion of Semi-submersible

Name : Rizal Cesarian Erestio

REG : 4312 100 110

Department : Department of Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc

Ir. Joswan Jusuf Soedjono, M.Sc

The condition of deepwater makes the oil and gas industry faced with new challenges, leads to studies about deepwater technology development, one of them is riser technology. Riser is an important component to transport oil or gas from subsea facility to topside facility. Several studies suggests that one type of riser that suitable for deepwater is Steel Catenary Riser (SCR). Still, there are some critical areas that must be considered specifically, hang-off location, sagbend and touchdown point. The main idea of this final project is to analyse the strength of SCR due to the dynamic motion of a semi-submersible. The analysis is performed by mathematical model with combinations of functional and environmental load within time domain simulation. The biggest effective tension for ULS condition is 302.831 kN from 90⁰ wave direction, while the biggest bending moment is from 45⁰ wave direction, with a value of 2624.546 kN.m. Maximum von mises stress occurred at sagbend area, therefore the strength of SCR in those areas should be checked. The strength is checked with LRFD method which based on DNV OS F201. Furthermore, sensitivity analysis is performed against floater offset to show how it affects the riser response. The result suggests that the change of offset affects riser configuration, effective tension and bending moment significantly.

Kata Kunci: *strength analysis, semi-submersible, steel catenary riser, ULS*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat, karunia, dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis panjatkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisis Kekuatan dan Sensitivitas *Steel Catenary Riser* akibat Pergerakan *Semi-Submersible*”. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang peninjauan kekuatan *steel catenary riser* menggunakan metode LRFD. Selain itu juga dilakukan analisis sensitivitas untuk mengetahui reaksi *riser* akibat perubahan *floater offset*.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang *subsea technology* serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Erwin Asrul dan Esti Wuryandari selaku kedua orang tua saya, adik saya Intan Thaliati Ertifanny, serta seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Tugas akhir ini saya persembahkan khusus untuk kalian.
2. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc selaku dosen pembimbing 1 dan Bapak Ir. Joswan Jusuf Soedjono M.Sc. selaku dosen pembimbing 2. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Wahyudi, MS.c selaku dosen wali saya selama kuliah di Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS ini. Terima kasih atas bimbingan dan arahan bapak sehingga saya bisa menjadi mahasiswa yang lebih baik.
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
5. Bapak Dwi Darmawanta, Mas Andreas, serta rekan-rekan Fungsi Surface Facilities, PT Pertamina EP yang telah memberikan kesempatan dan pengalaman selama kerja praktek. Terima kasih atas bantuan dan motivasi yang sudah rekan-rekan berikan.
6. Rekan-rekan Barudak dan Udin Hybrid yang selalu berbagi canda dan tawanya hingga saat ini.
7. Rekan-rekan Varuna L-30 Teknik Kelautan 2012 yang selalu mendukung dan membantu satu sama lain hingga tugas akhir ini selesai.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi, dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan	Error! Bookmark not defined.
1.4 Manfaat	Error! Bookmark not defined.
1.5 Batasan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.6 Sistematika Penulisan	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .	Error! Bookmark not defined.
2.1 Tinjauan Pustaka	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Riser	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Jenis Riser	Error! Bookmark not defined.
2.1.3 Steel Catenary Riser	Error! Bookmark not defined.
2.1.4 Semi-submersible	Error! Bookmark not defined.
2.2 Dasar Teori	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Limit States	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Partial Action Factor	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 <i>Ultimate Limit State (ULS)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Analisis Kekuatan pada Steel Catenary Riser	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 <i>Tension</i> pada Steel Catenary Riser...	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 <i>Effective Tension</i>	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 <i>Bending Moment</i>	Error! Bookmark not defined.

2.2.6	Teori Dasar Gerak Bangunan Apung.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.7	Response Amplitude Operators (RAO)	Error! Bookmark not defined.
2.2.8	Spektrum Gelombang.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		Error! Bookmark not defined.
3.1	Diagram Alir Metodologi Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.2	Rencana Pengerjaan Tugas Akhir	Error! Bookmark not defined.
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....		Error! Bookmark not defined.
4.1	Pemodelan Struktur Semi-submersible ...	Error! Bookmark not defined.
4.2	Validasi Model <i>Semi-submersible</i> Essar Wildcat .	Error! Bookmark not defined.
4.3	Analisis Perilaku Gerak Semi-Submersible Pada Gelombang Reguler Kondisi Terapung Bebas	Error! Bookmark not defined.
4.3.1	RAO <i>Surge</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.2	RAO <i>Sway</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.3	RAO <i>Heave</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.4	RAO <i>Roll</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.5	RAO <i>Pitch</i>	Error! Bookmark not defined.
4.3.6	RAO <i>Yaw</i>	Error! Bookmark not defined.
4.4	Analisis Konfigurasi Statis <i>Steel Catenary Riser</i> ..	Error! Bookmark not defined.
4.5	Analisis Kekuatan dan Sensitivitas <i>Steel Catenary Riser</i>	Error! Bookmark not defined.
4.5.1	Analisis Kekuatan	Error! Bookmark not defined.
4.5.2	Analisis Sensitivitas	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.1	Konfigurasi Statis	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.2	Static Effective Tension	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.3	Static Bending Moment.....	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.4	Dynamic Effective Tension.....	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.5	Dynamic Bending Moment	Error! Bookmark not defined.
4.5.2.6	Combined Loading Criteria.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP.....		Error! Bookmark not defined.

5.1	Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2	Saran.....	Error! Bookmark not defined.
	DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
	LAMPIRAN	
	BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	<i>Steel Catenary Riser</i> (Ruswandi, 2009).....	1
Gambar 2.1	Sistem Integritas pada Riser (API RP 2RD, 1998).....	6
Gambar 2.2	Top Tensioned Riser (DNV, 2010).....	9
Gambar 2.3	Konfigurasi pada <i>compliant riser</i> (Jayeoung Lee, 2007).....	10
Gambar 2.4	Struktur lapisan pada <i>flexible riser</i> (Ruswandi, 2009).....	11
Gambar 2.5	Steel Catenary Riser (Jaeyoung Lee, 2007).....	12
Gambar 2.6	<i>Flexjoint</i> terhubung pada <i>floater</i> (DNV,2010).....	13
Gambar 2.7	<i>Semi-submersible</i>	14
Gambar 2.8	Model <i>Catenary</i> (Bai, 2014).....	18
Gambar 2.9	Kesetimbangan pipa ketika dikenai fluida (Sparks, 2007).....	20
Gambar 2.10	Moda gerak 6 derajat kebebasan.....	22
Gambar 3.1	<i>General Arrangement</i> tampak depan.....	28
Gambar 3.2	<i>General Arrangement</i> tampak atas.....	28
Gambar 4.1	Pemodelan denganMaxsurf.....	33
Gambar 4.2	Pemodelan dengan MOSES.....	34
Gambar 4.3	Pemodelan semi-submersible dengan sistem <i>mooring dan steel catenary riser</i>	35
Gambar 4.4	Pemodelan semi-submersible dengan sistem <i>mooring dan steel catenary riser</i>	35
Gambar 4.5	RAO Surge.....	37
Gambar 4.6	RAO Sway.....	38
Gambar 4.7	RAO Heave.....	38
Gambar 4.8	RAO Roll.....	39
Gambar 4.9	RAO Pitch.....	40

Gambar 4.10 RAO Yaw.....	41
Gambar 4.11 Konfigurasi Statis <i>Steel Catenary Riser</i>	42
Gambar 4.12 Konfigurasi Statis <i>Steel Catenary Riser</i>	43
Gambar 4.13 Perbandingan Konfigurasi Statis <i>Steel Catenary Riser</i>	43
Gambar 4.14 <i>Bending Moment</i> Arah Pembebanan 45°	45
Gambar 4.15 Konfigurasi SCR.....	47
Gambar 4.16 <i>Static Effective Tension</i>	48
Gambar 4.17 <i>Static Bending Moment</i>	49
Gambar 4.18 <i>Dynamic Effective Tension</i>	49
Gambar 4.19 <i>Dynamic Bending Moment</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Limit States</i> pada DNV OS-F-201.....	15
Tabel 2.2 <i>Resistance Factors</i>	16
Tabel 2.3 <i>Load Effect Factors</i>	16
Tabel 3.1 Main Dimension Semi-submersible.....	29
Tabel 3.2 Data <i>Steel Catenary Riser</i>	29
Tabel 3.3 Data Mooring.....	30
Tabel 3.4 Data Lingkungan Belanak Natuna.....	30
Tabel 3.5 Analisis Sensitivitas.....	32
Tabel 4.1 Nilai hidrostatik pada Maxsurf.....	34
Tabel 4.2 Validasi Model.....	36
Tabel 4.3 Nilai RAO Maksimum.....	41
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan <i>Teori Catenary</i>	42
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Dinamis <i>Steel Catenary Riser</i>	44
Tabel 4.6 Kriteria Kekuatan SCR – LRFD.....	46
Tabel 4.7 Kriteria Kekuatan SCR <i>near</i> dan <i>far</i> – LRFD.....	50

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A : MOORING SYSTEM

LAMPIRAN B : INPUT & OUTPUT MOSES

LAMPIRAN C : OUTPUT TIME HISTORY STEEL CATENARY RISER

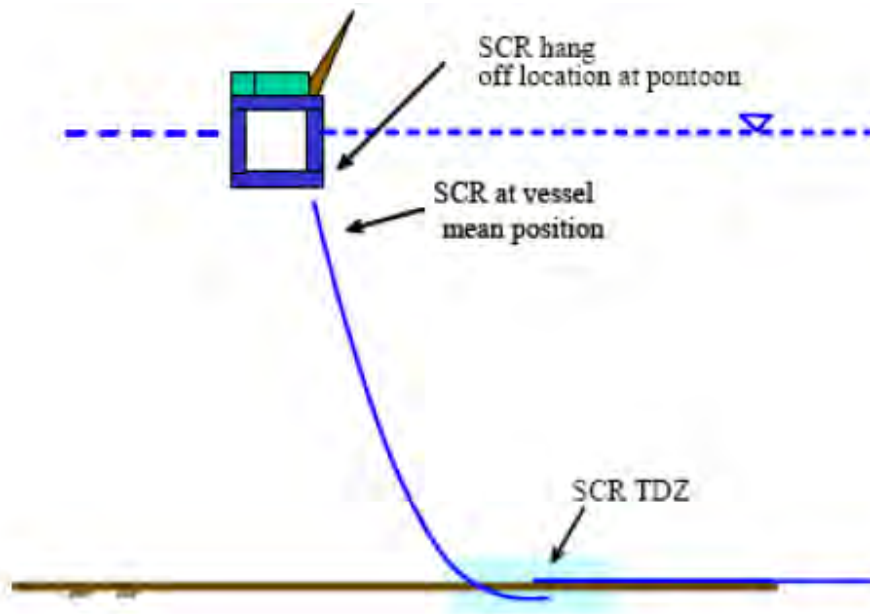
LAMPIRAN D : ULTIMATE LIMIT STATE CHECK

BAB I PENDAHULAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri Minyak dan gas (migas) lepas pantai selalu berkembang tiap tahunnya dan salah satu tantangan dalam industri ini adalah eksplorasi dan eksploitasi laut dalam. Beberapa tahun terakhir, aktivitas eksplorasi dan eksploitasi laut dalam meningkat drastis dan ladang-ladang baru mulai ditemukan. Pada laut dalam, kegiatan eksplorasi dan eksploitasi membutuhkan jenis infrastruktur yang berbeda dari infrastruktur pada laut dangkal, salah satunya adalah *riser* (Gemilang, 2012).

Riser sangat dibutuhkan untuk mentransport gas atau crude oil dari fasilitas *subsea* ke *offshore platform* (Agusta, 2012). Salah satu konsep riser yang digunakan untuk laut dalam adalah *Steel Catenary Riser* (SCR) (Keprate, 2014).



Gambar 1.1 *Steel Catenary Riser* (Ruswandi, 2009)

Steel Catenary Riser (SCR) adalah riser berkonfigurasi *catenary* yang terbuat dari pipa baja (*steel pipe*). Penggunaan material baja ini membuat biaya SCR lebih ekonomis dari *flexible riser* dan *hybrid riser* dan pipa baja relatif ringan sehingga dapat mengurangi beban angkut *floater* (Howells, 1995). Penggunaan diameter besar diizinkan dalam konsep SCR, yang mana sesuai untuk laut dalam yang

memiliki karakteristik *High Pressure and High Temperature* (HPHT). Namun, beberapa studi menunjukkan bahwa performa dinamis SCR terbatas.

Pergerakan *floater* oleh angin, arus, dan gelombang dapat mempengaruhi beban riser dengan merubah *derparture angle* dari riser sehingga merubah panjang bentang riser. Gerakan *heave* dan *surge* yang signifikan dapat mengakibatkan *bending moment* (momen lentur) yang besar pada panjang bentang riser, terutama pada bagian *Touch Down Point* (TDP) (Buberg, 2014). Selain *touch down point*, titik kritis pada SCR berada pada *hang-off point*, yaitu titik dimana riser dihubungkan dengan *flexjoint* pada *floater* (Yue *et al*, 2010).

Konfigurasi SCR dapat menjadi lebih kompleks jika *floater* bergerak menjauh dari TDP yang menyebabkan *tension* (gaya tarik) menjadi tinggi, atau *bending moment* menjadi tinggi jika *floater* bergerak mendekati TDP. Permasalahan tersebut dapat diminimalisir dengan membatasi gerak *floater* atau meningkatkan performa SCR.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana konfigurasi statis dari *steel catenary riser* ?
2. Berapa *bending moment* dan *effective tension* pada *steel catenary riser*?
3. Apakah kekuatan *steel catenary riser* memenuhi kriteria ULS DNV-OS-F201 ?
4. Bagaimana pengaruh *floater offset* terhadap kekuatan *steel catenary riser* ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung konfigurasi statis dari *steel catenary riser*
2. Menghitung *bending moment* dan *effective tension* pada *steel catenary riser*
3. Menghitung kekuatan *steel catenary riser* berdasarkan kriteria DNV-OS-F201
4. Menghitung kekuatan *steel catenary riser* terhadap perubahan *floater offset*

1.4 Manfaat

Manfaat pengerjaan tugas akhir ini adalah didapat pemahaman mengenai cara menentukan konfigurasi statis dari *steel catenary riser*. Selain itu dapat diketahui pengaruh *offset* dan pergerakan *floater* terhadap kekuatan *steel catenary riser*.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan diluar topik yang akan dikaji, maka dilakukan pembatasan masalah dengan asumsi – asumsi sebagai berikut :

1. Analisis *riser* mengacu pada DNV-OS-F201 “*Dynamic Riser*”
2. *Floater* yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *Semi-Submersible* “Essar Wildcat”
3. Peralatan dan perlengkapan di atas *semi-submersible* tidak dimodelkan
4. Arah pembebanan gelombang ditinjau dari arah 0° , 45° , 90° , 135° , 180°
5. Pemodelan *semi-submersible* menggunakan *software* MOSES 7.0
6. Perhitungan *bending moment* dan *effective tension* menggunakan *software* Orcaflex 9.2
7. Perhitungan kekuatan *riser* berdasarkan kriteria *Ultimate Limit State* (ULS) DNV OS-F-201
8. Parameter yang divariasikan dalam analisis sensitivitas adalah *offset*
9. *Offset* untuk kondisi *far side* dan *near side* adalah 10% dari kedalaman laut
10. Kondisi dasar laut diasumsikan datar

1.6 Sistematika Penulisan

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

1. Hal-hal yang melatarbelakangi 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 Tinjauan Pustaka berisi tinjauan pustaka yang dijadikan acuan dalam pengerjaan penelitian ini.

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Riser merupakan salah satu aspek yang paling menantang dari perkembangan laut dalam (Saglar *et al*, 2015). Keprate (2014) dalam penelitiannya, menjelaskan bahwa konsep riser yang sering digunakan untuk laut dalam yaitu :

1. Free hanging flexible riser
2. Steel Catenary riser
3. Hybrid riser tower

Dari ketiga *riser* tersebut, menurut Howells (1995) dalam penelitiannya, menyatakan bahwa *Steel Catenary Riser* (SCR) merupakan konsep *riser* yang tepat untuk digunakan di laut dalam, karena *riser* tersebut menggunakan material baja sehingga lebih ekonomis dan mengurangi beban angkut *floater* karena relatif lebih ringan.

Salah satu kelemahan SCR adalah rentannya terhadap perilaku dinamis dari *floater*. Buberg (2014) dalam penelitiannya menyatakan bahwa gerakan *heave* dan *surge* yang signifikan dapat mengakibatkan *bending moment* yang besar pada panjang bentang *riser*, terutama pada bagian *Touch Down Point* (TDP). Agusta (2012) dalam tugas akhirnya juga menyatakan bahwa jika riser terlalu jauh dari TDP akan menyebabkan *tension* yang besar, dan jika riser terlalu dekat dengan TDP akan menyebabkan *bending moment* yang besar pula.

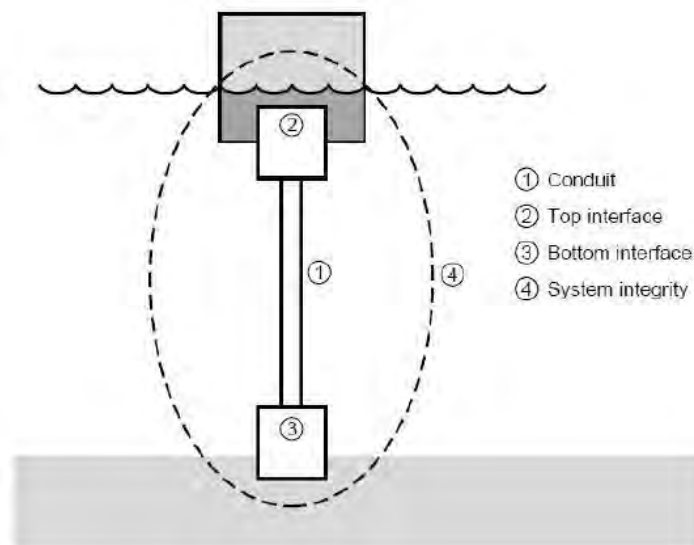
Maka dari itu, untuk mengetahui *effective tension* dan *bending moment* maksimal harus dilakukan analisis global pada *riser*. Beberapa orang telah melakukan penelitian tentang analisis global pada riser diantaranya, Ruswandi (2009), Agusta (2012 dan 2014), Nurwanto (2012), Buberg (2014) dan Keprate (2014).

2.1.1 Riser

Riser merupakan bagian paling penting dalam sebuah kegiatan produksi, pengeboran dan ekspor/import minyak dan gas di lepas pantai. Tugas utama riser adalah untuk mentransportasi fluida dari dasar laut sampai ke host platform.

Menurut *American Petroleum Institute (API)* , elemen-elemen yang terdapat dalam sistem riser antara lain sebagai berikut (API, 1998) :

- *Riser body* : pipa metal dan pipa fleksibel
- *Top interface*
- *Bottom interface*



Gambar 2.1 Sistem Integritas pada *Riser* (API, 1998)

Conduit/riser body adalah komponen yang mentransport fluida/gas, konfigurasinya dapat berbeda-beda tergantung kedalaman laut, kondisi lingkungan dan fluida/gas yang ditransport. *Top interface* adalah fasilitas yang berada di permukaan, bisa berupa fixed platform atau FPU. *Bottom interface* merupakan fasilitas-fasilitas yang berada pada dasar laut.

Menurut Yong Bai (2005), *riser* memiliki beberapa fungsi dalam industri minyak dan gas :

1. Drilling riser – riser ini digunakan untuk mengebor sumur
2. Production riser – digunakan untuk mengalirkan minyak/gas dari sumur ke platform
3. Workover riser – digunakan dalam operasi sumur atau *maintenance* sumur

4. Export riser – digunakan untuk mentransport minyak/gas yang sudah di proses ke tanker

Sebuah sistem *riser* berfungsi sebagai penghubung antara struktur statik pada bagian dasar laut melalui *bottom interface* dan struktur yang bergerak melalui *top interface*.

Nyatanya, pada suatu ladang minyak atau gas tidak hanya terdapat satu riser saja, melainkan banyak *riser body* dan *interface*. Hal ini disebabkan karena pada suatu reservoir memungkinkan adanya perbedaan tekanan dan jenis fluida. Kondisi batimetri tiap sumur juga dapat berbeda. Hal ini menyebabkan perbedaan desain suatu *riser* dalam sebuah sistem *riser*.

Perbedaan desain riser dapat disebabkan hal-hal sebagai berikut :

- Kedalaman perairan
Dalamnya perairan sangat mempengaruhi berat riser. Semakin dalam perairan, semakin berat juga fluida yang ditransportasi maka riser akan semakin berat. Hal ini menyebabkan tegangan pada riser sehingga akan menambah beban pada *floater*. Diameter besar juga dibutuhkan pada perairan yang dalam guna menahan tekanan hidrostatik yang tinggi
- Pergerakan *floater*
Pergerakan *floater* mempengaruhi beban riser dengan merubah departure angle dari riser sehingga merubah panjang bentang riser. Hal ini dapat menambah atau mengurangi berat riser yang terbentang sehingga mempercepat kerusakan riser akibat fatigue
- Perubahan komposisi fluida saat operasi
Jenis fluida yang terkandung pada reservoir merupakan salah satu penentu dalam mendesain sebuah sistem riser. Jenis fluida yang ditransportasi oleh sebuah riser dapat berbeda-beda selama operasi dikarenakan kandungan reservoir yang beragam. Hal ini bisa menyebabkan perubahan diameter pipa untuk memastikan fluida mengalir dengan baik.
- Perbedaan tekanan internal

Dalam satu *field*, dapat terjadi perbedaan tekanan *internal* pada *well* yang ada. Ladang gas dan minyak yang membutuhkan tekanan yang tinggi akan membutuhkan tebal pipa yang lebih tinggi. Penambahan tebal pipa ini akan berakibat pada penambahan berat *riser* dan *tension* yang dibebankan pada *floater*.

Perilaku dinamis dari *floater* di permukaan merupakan tantangan utama dalam mendesain sistem riser. Maka dari itu sistem riser dapat dikategorikan berdasarkan kemampuan dari riser dalam menanggapi pergerakan *floater* (DNV,2010) :

- Top Tensioned Riser (TTRs)
- Compliant riser

Hybrid riser merupakan gabungan dari kedua riser di atas.

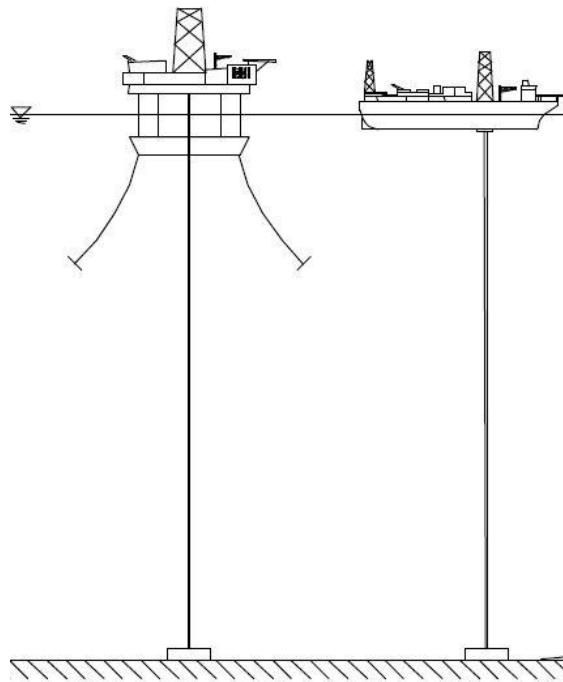
2.1.2 Jenis Riser

2.1.2.1 Top Tensioned Riser

Top tensioned riser (TTRs) membutuhkan platform dengan respon gerakan heave yang kecil seperti SPAR atau TLP . TTRs dilengkapi dengan *tensioning system* yang berfungsi untuk menahan gerakan vertikal yang diperbolehkan. Secara umum, TTRs dapat digunakan untuk mengebor, produksi, ekspor dan import.

TTRs terdiri dari :

- Riser joint
- Blow Out Preventer
- Tensioning System
- Guides
- Keel joint
- Stress joint and tieback connector
- Strakes



Gambar 2.2 *Top Tensioned Riser* (DNV, 2010)

Pada laut dalam, TTRs dihadapi oleh masalah yaitu tegangan pada riser akan meningkat, yang mana akan berdampak pada penambahan ukuran *tensioning system* dan *bouyancy can*. Penambahan ukuran ini biasanya membuat konfigurasi TTRs menjadi tidak maksimal dan biaya tidak ekonomis.

2.1.2.2 Compliant Riser

Compliant riser merupakan tipe riser laut dalam yang paling banyak digunakan. Riser tipe ini banyak digunakan karena dapat mengakomodir radius kurvatur yang tinggi dan pergerakan dinamis pada *floater*. Riser ini juga mudah untuk diinstalasi dan dapat digunakan kembali. Konfigurasi compliant riser adalah sebagai berikut :

- *Free Hanging*

Free hanging merupakan konfigurasi *flexible pipe* paling sederhana. Konfigurasi mudah untuk diinstalasi. Namun, konfigurasi ini sangat rentan terhadap pergerakan *floater* dan *tension* akibat besarnya berat pipa yang terbentang.

- *Lazy S* dan *Steep S*

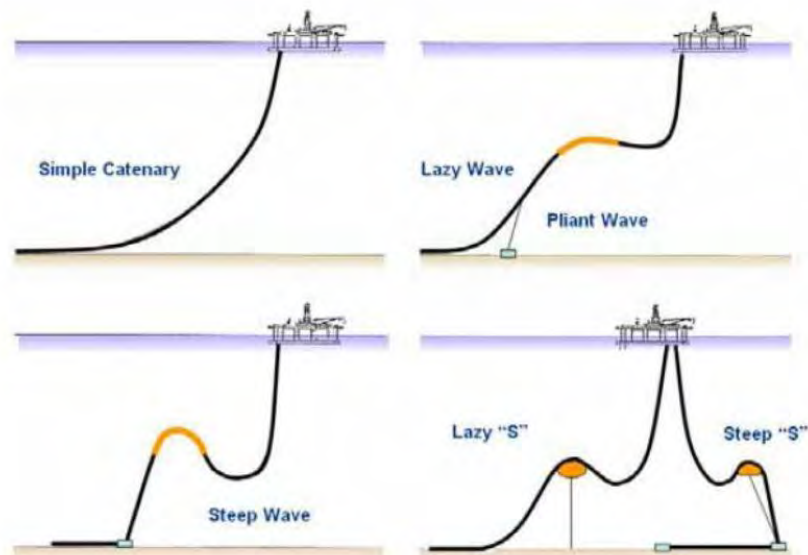
Tipe konfigurasi *riser* *Lazy S* dan *Steep S* dibentuk dengan menambah *buoy* baik terpasang permanen pada pipa (*fixed buoy*) ataupun dengan menggunakan rantai (*buoyant buoy*). Penambahan *buoy* ini mengurangi permasalahan kurvatur pada TDP yang disebabkan oleh pergerakan *floater*. *Tension* pada *riser* juga dapat berkurang dikarenakan berkurangnya berat pipa yang terbentang.

- *Lazy Wave* dan *Steep Wave*

Konfigurasi menambahkan beberapa *buoy* secara berdekatan dalam panjang tertentu. Kelebihan bentuk *wave* adalah kemudahan dalam mendistribusikan berat dan bentuk *riser* yang diinginkan.

- *Pliant Wave*

Pliant wave merupakan konfigurasi *riser* yang menambahkan *anchor* pada sistem *wave*. *Anchor* ini dihubungkan untuk mengurangi perubahan gaya pada TDP dengan mengkombinasikan *anchor* dengan konfigurasi *lazy wave*.



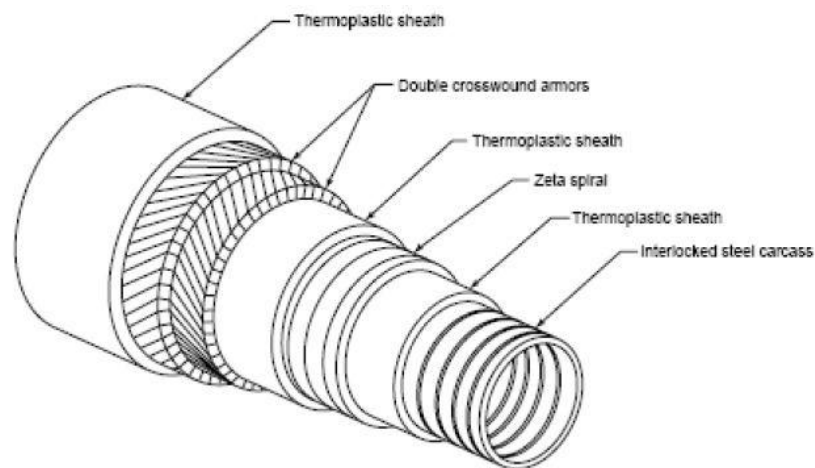
Gambar 2.3 Konfigurasi pada *compliant riser* (Lee, 2007)

Untuk pemilihan material, *compliant riser* dapat menggunakan material :

- *Rigid riser*
- *Flexible riser*

Rigid riser merupakan pipa yang terbuat baja. *Material grades* yang biasanya digunakan adalah X60, X65 atau X70. Titanium merupakan solusi alternatif dari pipa baja karena lebih fleksibel dari baja, yield stress yang lebih tinggi, dan lebih ringan.

Flexible riser terbuat dari beberapa baja dan lapisan komposit untuk meningkatkan fleksibilitas. Jenis ini yang paling sering digunakan untuk aplikasi *riser* di dunia.

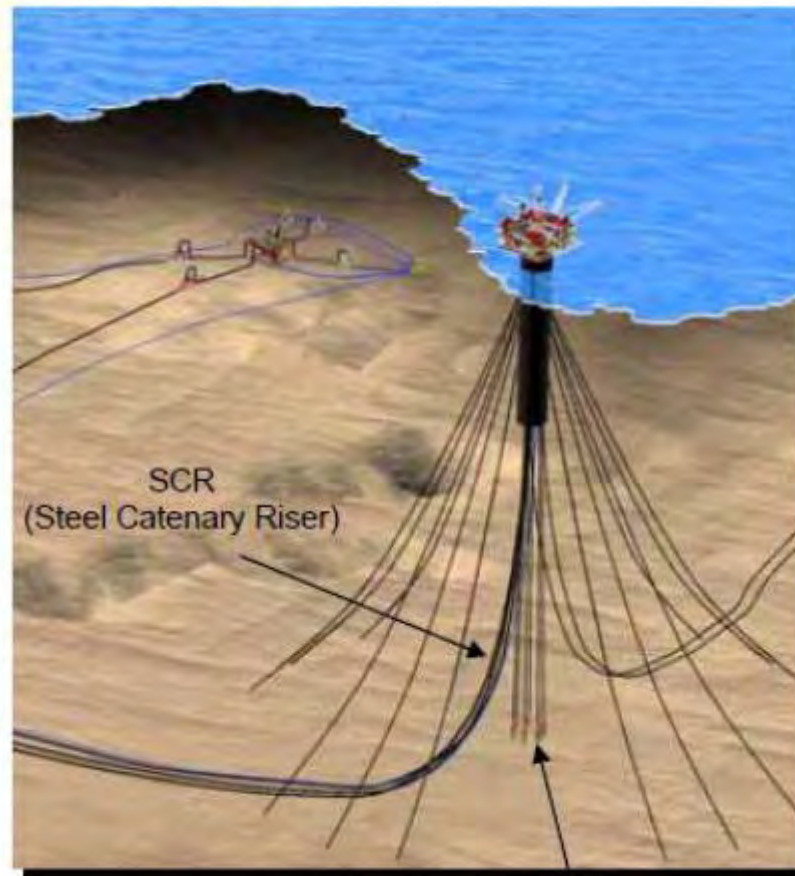


Gambar 2.4 Struktur lapisan pada *flexible riser* (Ruswandi, 2009)

2.1.3 Steel Catenary Riser

Steel Catenary Riser (SCR) merupakan *riser* dengan konfigurasi *free hanging* yang material pipanya terbuat dari baja. Disebut *catenary* dikarenakan konfigurasi *free hanging* pada SCR berbentuk seperti *catenary*. SCR pertama kali dipasang pada Shell's Auger , *Tension Leg Platform* pada tahun 1994 dengan kedalaman 872 meter.

SCR dapat dikatakan *riser* yang ekonomis dari segi instalasi dan konstruksi, dan jika dibandingkan dengan *flexible riser*, SCR lebih mudah dan murah diproduksi untuk pipa yang lebih panjang atau diameter besar. Dalam hal material, SCR dapat menahan tekanan dan temperatur yang tinggi.

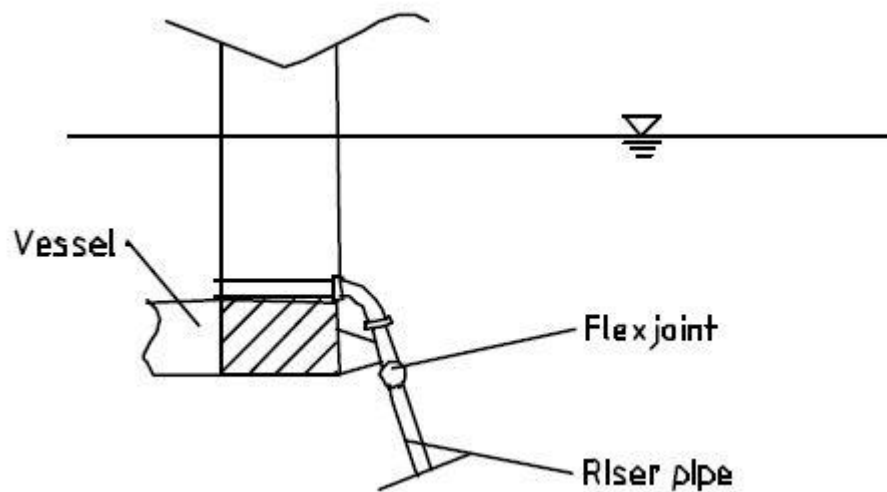


Gambar 2.5 *Steel Catenary Riser* (Lee, 2007)

Permasalahan yang biasanya dihadapi SCR adalah sensitivitasnya terhadap pergerakan *floater*. Pergerakan *floater* yang signifikan dapat menyebabkan perubahan kurvatur yang besar pada bagian *touch down point*.

Gaya eksternal dan beban secara konstan mempengaruhi riser, sehingga mengganggu stabilitas riser. Maka dari itu, beberapa komponen telah dikembangkan agar riser dapat menjaga stabilitasnya.

- *Flex joint*
Flex joint digunakan untuk mengurangi bending moment pada bagian atas SCR (Ruswandi,2009). Komponen ini terdiri dari lapisan-lapisan elastomeric dan metal, yang dapat memungkinkan defleksi angular pada bagian sambungan atas riser. Untuk aplikasi laut dalam, desain flexjoint harus mempertimbangkan pengaruh *tension* bagian atas (Bai, 2005).



Gambar 2.6 *Flexjoint* terhubung pada *float*er (DNV, 2010)

- Stress joint
Stress joint digunakan untuk mempermudah transisi antara bagian pipa yang kaku dengan pipa yang tidak terlalu kaku. Membantu mengurangi *local bending stress* dan memberikan fleksibilitas pada ujung akhir riser.
- VIV-strakes
Kecepatan arus yang tinggi pada laut dalam menimbulkan vortex-induced vibrations dan untuk mengurangi fatigue akibat VIV maka digunakanlah VIV-strakes.

2.1.4 Semi-submersible

Semi-submersible merupakan sebuah struktur terapung yang tersusun dari sebuah dek, sejumlah kolom dan pontoon, serta dapat digunakan dari kedalaman 80 – 3000 m. Struktur ini adalah struktur yang “*column stabilized*”, yang berarti bahwa titik pusat gravitasi (*center of gravity*) berada di atas titik pusat pengapungan (*center of buoyancy*) dan stabilitasnya ditentukan oleh momen pengembali dari kolom-kolom *semi-submersible* tersebut (Herwanzah, 2015). Struktur lambung yang terendam pada *draft* yang tinggi membuat *semi-submersible* tidak terlalu terpengaruh oleh beban gelombang dibanding dengan kapal. Selain itu, *water plane area* yang kecil membuat *semi-submersible* sensitif terhadap perubahan atau perpindahan beban.



Gambar 2.7 *Semi-submersible*

Semi-submersible setidaknya memiliki dua kondisi pengapungan, setengah tenggelam atau *semi-submerged* (mengapung dengan kolomnya) dan mengapung dengan pontonnya. Ponton dari *semi-submersible* diisi sebagian besar dengan *ballast* pada saat kondisi setengah tenggelam. Selain itu, ukuran dari struktur *semi-submersible* yang terendam, proporsi dan jarak antar kolom dan ponton adalah merupakan faktor utama dari performa hidrodinamis *semi-submersible*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Limit States

DNV OS-F-201 merupakan *offshore standard* yang menganut metode LRFD (*Load Resistance Factored Design*). Metode LRFD terdiri atas beberapa *limit states* atau moda kegagalan. *Limit state* dapat didefinisikan sebagai kondisi dimana suatu struktur, secara teori, dapat menahan beban-beban yang diberikan. *Limit states* pada metode LRFD antara lain :

- *Servicability Limit States (SLS)* : *riser* harus dapat beroperasi sebagaimana mestinya.
- *Ultimate Limit States (ULS)* : *riser* harus tetap utuh dan dan menghindar dari kerusakan, tentunya harus dapat beroperasi.
- *Accidental Limit States (ALS)* : sama dengan ULS namun diakibatkan oleh *accidental loads*

- *Fatigue Limit States* (FLS) : merupakan ULS dari akumulasi retak akibat beban siklis.

Setiap *limit states* memiliki karakteristik beban dan kemungkinan kegagalan yang berbeda. Pada sistem *riser* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 *Limit States* pada DNV OS-F-201

<i>Limit State Category</i>	<i>Limit State</i>	<i>Failure definition/ Comments</i>
SLS	Clearance	No contact between e.g. riser-riser, riser-mooring line, riser-hull, surface tree-floater deck, subsea tree-seabed, surface jumper- floater deck.
	Excessive angular response	Large angular deflections that are beyond the specified operational limits, e.g. inclination of flex joint or ball joint.
	Excessive top displacement	Large relative top displacements between riser and floater that are beyond the specified operational limits for top tensioned risers, e.g. stroke of telescope joint, slick joint and tensioner, coiled tubing, surface equipment and drill floor. Note that systems can be designed for exceeding displacement limits if the structural integrity is maintained.
	Mechanical function	Mechanical function of a connector during make-up/break-out.
ULS	Bursting	Membrane rupture of the pipe wall due to internal overpressure only.
	Hoop buckling (collapse)	Gross plastic deformation (crushing) and/or buckling (collapse) of the pipe cross section caused by external overpressure only.
	Propagating buckling	Propagating hoop buckling initiated by hoop buckling.
	Gross plastic deformation and local buckling	Gross plastic deformation (rupture/crushing) of the pipe cross-section in combination with any local buckling of pipe wall (wrinkling) due to bending moment, axial force and internal overpressure.
	Gross plastic deformation, local buckling and hoop buckling	Gross plastic deformation and hoop buckling of the pipe cross section and/or local buckling of the pipe wall due to the combined effect of external overpressure, effective tension and bending moment.
	Unstable fracture and gross plastic deformation	Unstable crack growth or rest ligament rupture or cross section rupture of a cracked component.
	Liquid tightness	Leakage in the riser system including pipe and components.
Global buckling	Overall column buckling (Euler buckling) due to axial compression (negative effective tension).	
ALS	Same as ULS and SLS	Failure caused by accidental loads directly, or by normal loads after accidental events (damage conditions).
FLS	Fatigue failure	Excessive Miner fatigue damage or fatigue crack growth mainly due to environmental cyclic loading, directly or indirectly. Limiting size of fatigue cracks may be wall thickness (leakage) or critical crack size (unstable fracture/gross plastic deformation).

2.2.1 Partial Action Factor

Metode LRFD menggunakan *partial action factor*, yang mana dibagi dalam 2 kategori. Kategori tersebut adalah faktor tahanan (*resistance factors*) dan faktor efek beban (*load effect factors*).

Resistance factor digunakan untuk mengkalkulasi desain tahanan dari sebuah struktur. Faktor tahanan dibagi menjadi dua kategori; *safety class resistance factor* dan *material resistance factor*. Faktor tersebut berbeda-beda tiap *limit states*. Berikut faktor yang diberikan oleh DNV.

Tabel 2.2 Resistance Factors

Table 5-3 Safety class resistance factor γ_{sc}		
<i>Low</i>	<i>Normal</i>	<i>High</i>
1.04	1.14	1.26

Table 5-4 Material resistance factor γ_m	
<i>ULS & ALS</i>	<i>SLS & FLS</i>
1.15	1.0

Load effect factor merupakan faktor keselamatan parsial yang mana efek beban harus dikalikan untuk mendapatkan *design load effect*. *Load effect factor* dibagi menjadi beberapa kelas berdasarkan efek beban, yaitu *functional load*, *environmental load*, dan *accidental load*.

Tabel 2.3 Load Effect Factors

Table 5-2 Load effect factors			
<i>Limit state</i>	<i>F-load effect</i>	<i>E-load effect</i>	<i>A-load effect</i>
	$\gamma_F^{1)}$	$\gamma_E^{2)}$	γ_A
ULS	1.1	1.3	NA
FLS	1.0	1.0	NA
SLS & ALS	1.0	1.0	1.0
NOTES			
1) If the functional load effect reduces the combined load effects, γ_F shall be taken as 1/1.1.			
2) If the environmental load effect reduces the combined load effects, γ_E shall be taken as 1/1.3.			

2.2.3 Ultimate Limit State (ULS)

Sebuah riser harus didesain agar mampu menahan berbagai moda kegagalan. Pada kriteria ULS, desain harus ditinjau berdasarkan *bursting*, *buckling* dan *combined loading*.

2.2.3.1 Bursting

Apabila bagian dari suatu pipa mengalami *net internal overpressure*, maka harus memenuhi kriteria berikut pada seluruh bagian penampang

$$(p_{li} - p_e) \leq \frac{p_b}{\gamma_m * \gamma_{sc}} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana P_{li} dan P_e adalah *local incidental pressure* dan *external pressure*. P_b adalah tahanan terhadap *bursting*.

2.2.3.2 System (Hoop) dan Propagating Buckling

Apabila bagian dari suatu pipa mengalami *net external overpressure*, pipa harus ditinjau terhadap kondisi berikut untuk menghindari *collapse*

$$(p_e - p_{min}) \leq \frac{P_c}{\gamma_m * \gamma_{SC}} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana P_{min} adalah tekanan internal minimum dan P_c adalah tahanan terhadap *hoop buckling*.

Untuk mencegah *local buckling* menyebar (*propagating*), pipa harus ditinjau terhadap kriteria *buckling propagation* sebagai berikut

$$(p_e - p_{min}) \leq \frac{P_{pr}}{\gamma_m * \gamma_{SC} * \gamma_c} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana P_{pr} adalah tahanan terhadap *buckling propagation*.

2.2.3.3 Combined Loading Criteria

Bagian suatu pipa biasanya mengalami beban kombinasi akibat *bending moment*, *effective tension* dan *net internal overpressure*. Kriteria desain pipa terhadap beban kombinasi adalah sebagai berikut

$$\{\gamma_m * \gamma_{SC}\} \left\{ \left(\frac{|M_d|}{M_k} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{p_{ld} - p_e}{p_b} \right) + \left(\frac{T_{ed}}{T_k} \right)^2} \right\} + \left(\frac{p_{ld} - p_e}{p_b} \right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana M_d dan T_{ed} adalah desain *bending moment* dan *effective tension*. Efek dari tekanan internal dan eksternal adalah P_{ld} dan P_e . M_k dan T_k adalah tahanan plastis *bending moment* dan *axial force* dari riser.

Jika bagian suatu pipa mengalami *bending moment* dan *effective tension* dan *net external overpressure* maka harus memenuhi kriteria sebagai berikut

$$\{\gamma_m * \gamma_{SC}\}^2 \left\{ \left(\frac{|M_d|}{M_k} \right) + \left(\frac{T_{ed}}{T_k} \right)^2 \right\} + \{\gamma_m * \gamma_{SC}\}^2 \left(\frac{p_e - p_{min}}{P_c} \right)^2 \leq 1 \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana P_c adalah tahanan terhadap *hoop buckling*.

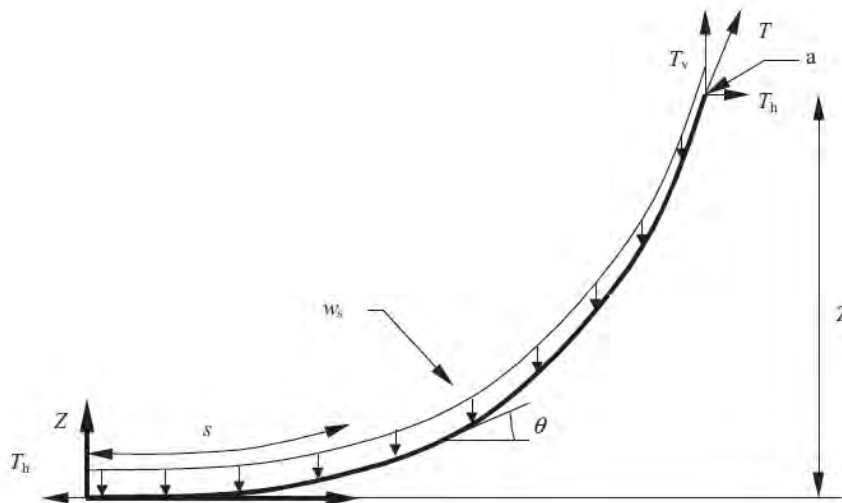
2.2.2 Analisis Kekuatan pada Steel Catenary Riser

Menurut DNV , 2010, tujuan dari analisis global pada sistem *riser* adalah untuk menentukan perilaku statis dan dinamis struktur akibat beban lingkungan yang bekerja. Hasil dari analisis global dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori (DNV, 2010) :

- Menghasilkan *cross-sectional forces* (*effective tension* , *bending moments*, *torsional moment*)
- Defleksi *riser* secara global (kurvatur, pemanjangan, orientasi angular)
- Posisi *riser* secara global (koordinat, translasi, jarak terhadap struktur lain, posisi TDP pada dasar laut, dll)
- Gaya pendukung pada *termination* ke *rigid structures* (menghasilkan gaya dan momen)

2.2.3 Tension pada Steel Catenary Riser

Perhitungan *tension* pada *riser* menggunakan persamaan yang terdapat pada , Jaeyoung Lee, “*Introduction to Offshore Pipelines and Risers*” (2008) dan untuk *compression* adalah *tension* yang bernilai negatif dan dapat diilustrasikan seperti gambar berikut.



Gambar 2.8 Model *Catenary* (Bai, 2014)

Persamaan catenary adalah

$$Z = a \cosh \left(\frac{X}{a} \right) \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana,

$$a = \frac{T_h}{W_s} \dots\dots\dots(2.7)$$

Tension horizontal pipa adalah konstan sepanjang kedalaman air. Persamaan di atas dapat dikonversi untuk mendapatkan konfigurasi statis *steel catenary riser* :

Top Tension

$$T = T_h + W_s Z = T \sin\theta + W_s Z = \frac{W_s Z}{1 - \sin\theta} \dots\dots\dots(2.8)$$

Bottom Tension

$$T_h = T \sin\theta \dots\dots\dots(2.9)$$

Panjang bentang riser hingga TDP

$$S = Z \sqrt{1 + 2 \frac{a}{Z}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jarak horizontal dari floater ke TDP

$$X = a \sinh^{-1} \left(\frac{S}{a} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

- | | | |
|----------------|--|-------|
| T | = Top Tension | (kN) |
| T _H | = Gaya horizontal pada SCR dan <i>tension</i> pada TDP | (kN) |
| T _V | = Gaya vertikal pada SCR | (kN) |
| W _s | = berat pipa SCR per unit panjang | (N/m) |
| S | = Panjang bentang bebas SCR | (m) |
| Y | = Jarak vertikal SCR dari dasar laut | (m) |
| x | = Jarak horizontal TDP dari <i>floater</i> | (m) |
| θ | = Sudut datang SCR dari <i>floater</i> | |
| a | = <i>catenary constant</i> | |

2.2.4 Effective Tension

Effective tension adalah gaya axial dinding pipa yang dipengaruhi oleh tekanan internal dan eksternal.

Dari gambar dapat diperoleh persamaan (2.7) untuk menghitung *effective tension* dari riser.

$$T_e = T_{tw} + (-p_i A_i) - (-p_e A_e) \dots \dots \dots (2.12)$$

dimana,

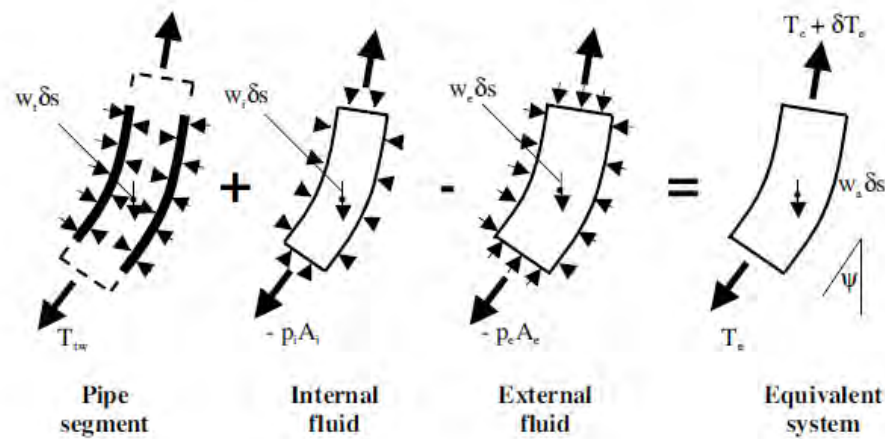
T_{tw} = tension dinding pipa (tension axial)

P_i = tekanan internal fluida

A_i = luas penampang internal

P_e = tekanan eksternal

A_e = luas penampang eksternal



Gambar 2.9 Kestimbangan pipa ketika dikenai fluida (Sparks, 2007)

2.2.5 Bending Moment

Menurut penelitian Agusta (2012), persamaan *bending moment* untuk SCR diturunkan dari persamaan kurvatur untuk sistem non-linear (mempunyai defleksi yang besar). Persamaan tersebut adalah sebagai berikut :

$$K = \frac{\frac{d^2 z}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dz}{dx} \right)^2 \right]^{1.5}} \dots \dots \dots (2.13)$$

Nilai *bending moment* didapatkan menggunakan persamaan berikut :

$$M = -\kappa EI = - \frac{m_s g}{T_H \left[\cosh\left(\frac{m_s g x}{T_H}\right) \right]^2} EI \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan,

$M = \textit{Bending moment}$ (kN.m)

$I = \textit{Momen Inersia}$ (m⁴)

$T_H = \textit{Gaya horizontal SCR dan tension TDP}$ (kN)

$E = \textit{Modulus Elastisitas}$ (MPa)

$m_s = \textit{massa pipa per satuan panjang}$ (kg/m)

2.2.6 Teori Dasar Gerak Bangunan Apung

Pada dasarnya benda yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode gerak translasional

- Surge, gerakan transversal arah sumbu x
- Sway, gerakan transversal arah sumbu y
- Heave, gerakan transversal arah sumbu z
-

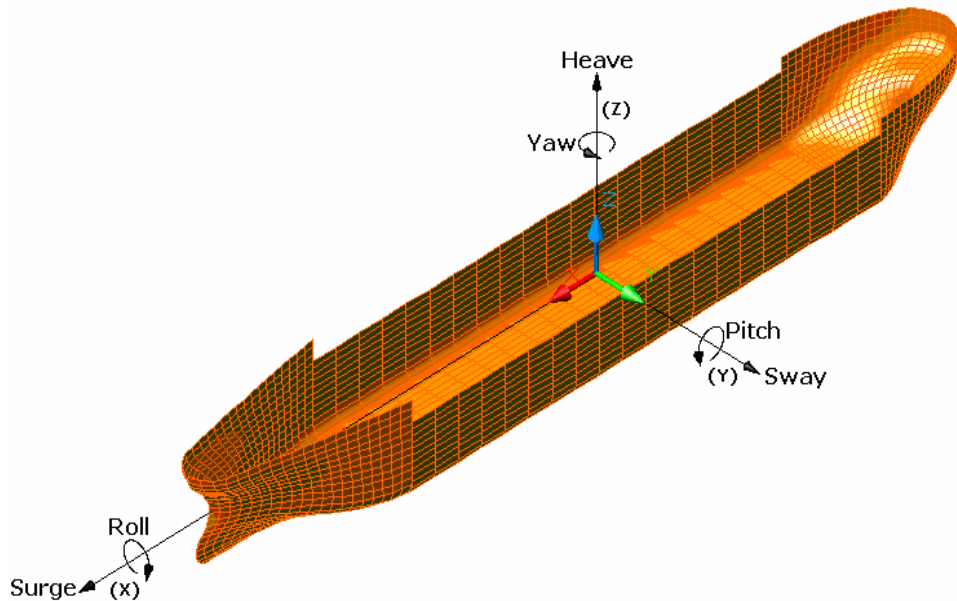
2. Mode gerak rotasional

- Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
- Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
- Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan gambar. 2.4. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z, adalah masing-masing surge (ζ_1), sway (ζ_2) dan heave (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah roll (ζ_4), pitch (ζ_5) dan yaw (ζ_6).

Dengan asumsi bahwa gerakan-gerakan osilasi tersebut adalah linier dan harmonik, maka enam persamaan diferensial gerakan kopel dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\xi}_k + B_{jk}\dot{\xi}_k + C_{jk}\xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \dots\dots\dots(2.15)$$



Gambar 2.10 Moda gerak 6 derajat kebebasan

dengan

- M_{jk} = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut (ton)
- A_{jk} = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik (ton)
- B_{jk} = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik
- C_{jk} = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatis,
- F_j = matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (M_4, M_5, M_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$),
- F_1 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge* (N)
- F_2 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway* (N)
- F_3 = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave* (N)
- M_4 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*, (N.m)
- M_5 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*, (N.m)

- M_6 = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*, (N.m)
- ζ_k = elevasi gerakan pada moda ke k , (m)
- $\dot{\zeta}_k$ = elevasi kecepatan gerak pada moda ke k , (m/s)
- $\ddot{\zeta}_k$ = elevasi percepatan gerak pada moda ke k . (m/s²)

Langkah berikutnya dalam menyelesaikan persamaan gerak adalah menentukan harga koefisien-koefisien massa tambah, redaman dan hidrostatis. Dari persamaan gerak ini didapatkan hasil berupa karakteristik gerakan kapal. Informasi ini pada umumnya disajikan dalam bentuk grafik, di mana perbandingan gerakan pada mode tertentu ζ_j dengan parameter tinggi (atau amplitudo gelombang, ζ_a) diberikan sebagai fungsi frekuensi encounter ω_e dari sumber eksitasi. Informasi gerakan yang demikian ini dinamakan *Response Amplitudo Operator* (RAO).

2.2.7 Response Amplitude Operators (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon gerakan dinamis struktur yang disebabkan akibat gelombang dengan rentang frekuensi tertentu. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur. Menurut Chakrabarti (1987), persamaan RAO dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana,

$$X_p(\omega) = \text{amplitudo struktur}$$

$$\eta(\omega) = \text{amplitudo gelombang}$$

Spektrum respons didefinisikan sebagai respons kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektrum respons merupakan perkalian antara spektrum gelombang dengan RAO kuadrat, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

$$S_R = \text{spektrum respons (m}^2\text{-sec)}$$

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = transfer function

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.8 Spektrum Gelombang

Teori gelombang reguler dapat diaplikasikan pada saat desain metode *single wave* di gunakan. Ini tergantung dari metode yang digunakan pada saat proses pendesainan. Pada gelombang acak, ini di deskripsikan dengan densitas spektrum energi. Spektrum energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang dan itu didistribusikan keseluruhan jangkauan frekuensi pada gelombang acak. Oleh karena itu. Metode gelombang acak mungkin berguna khususnya pada tahap perencanaan bangunan terapung. Pemilihan spektrum energi gelombang didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Bila tidak ada maka dapat digunakan model spektrum yang dikeluarkan oleh berbagai institusi dengan mempertimbangkan kesamaan fisik lingkungan.

Spektrum gelombang yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah spektrum JONSWAP. Persamaan spektrum JONSWAP merupakan modifikasi dari persamaan spektrum Pierson-Morkowitz yang disesuaikan dengan kondisi laut yang ada (Djatkiko,2012) Persamaan spektrum JONSWAP dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp\left(-0.5\left(\exp\left(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p}\right)^2\right)\right)} \dots\dots\dots(2.18)$$

dengan,

S_{PM} = Spektrum *Pierson-Moskowitz*

$$= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^{-4} \omega^{-5} \cdot \exp\left(\frac{-5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right)$$

H_s = tinggi gelombang signifikan

ω_p = $2\pi/T_p$ (*angular spectral peak frequency*)

γ = Non-dimensional parameter bentuk puncak (*peakness parameter*)

= 2.0 – 2.5 untuk perairan indonesia

σ = *spectral width parameter*

$\sigma = 0.07$ untuk $\omega \leq \omega_p$

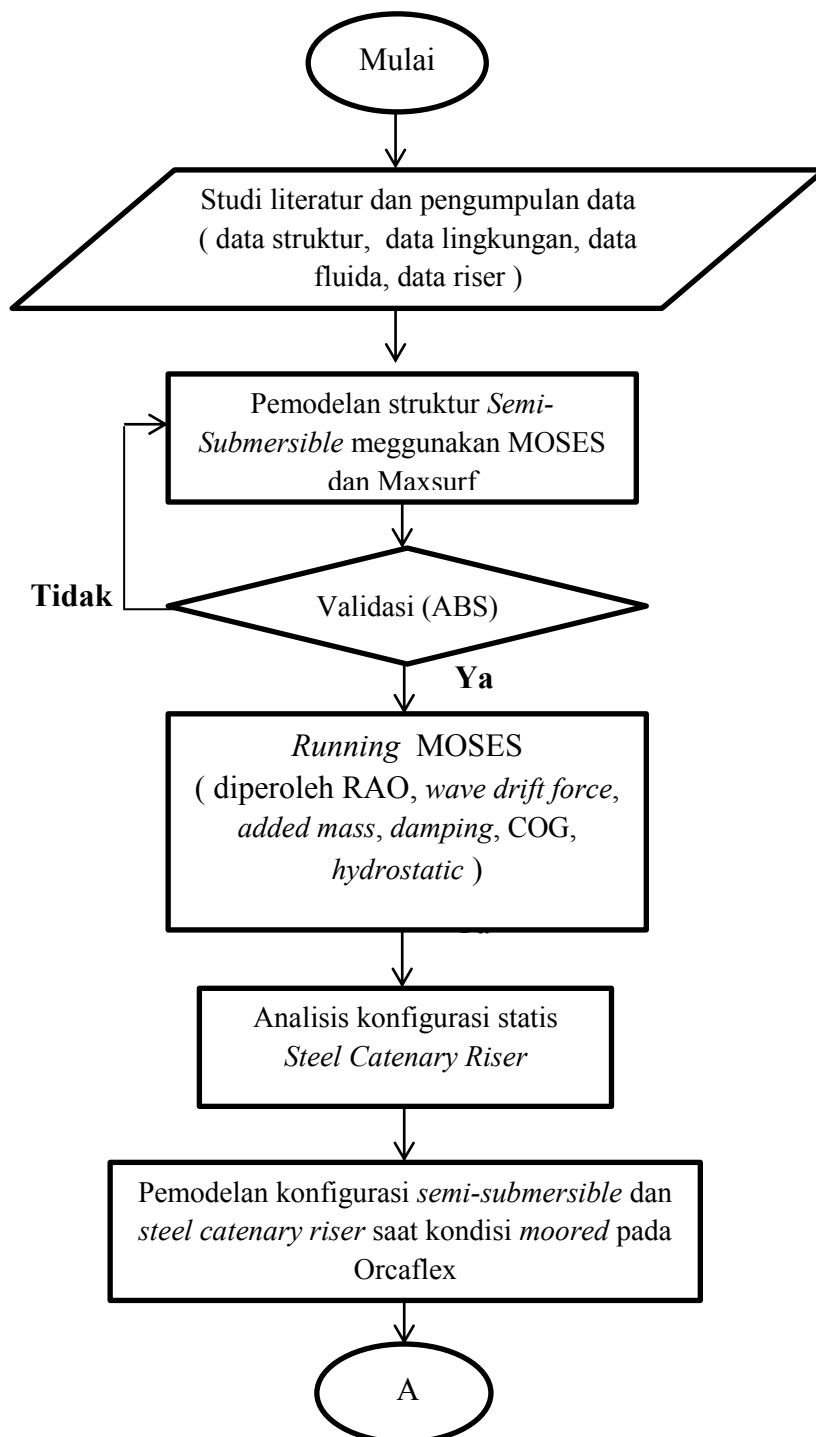
$\sigma = 0.09$ untuk $\omega > \omega_p$

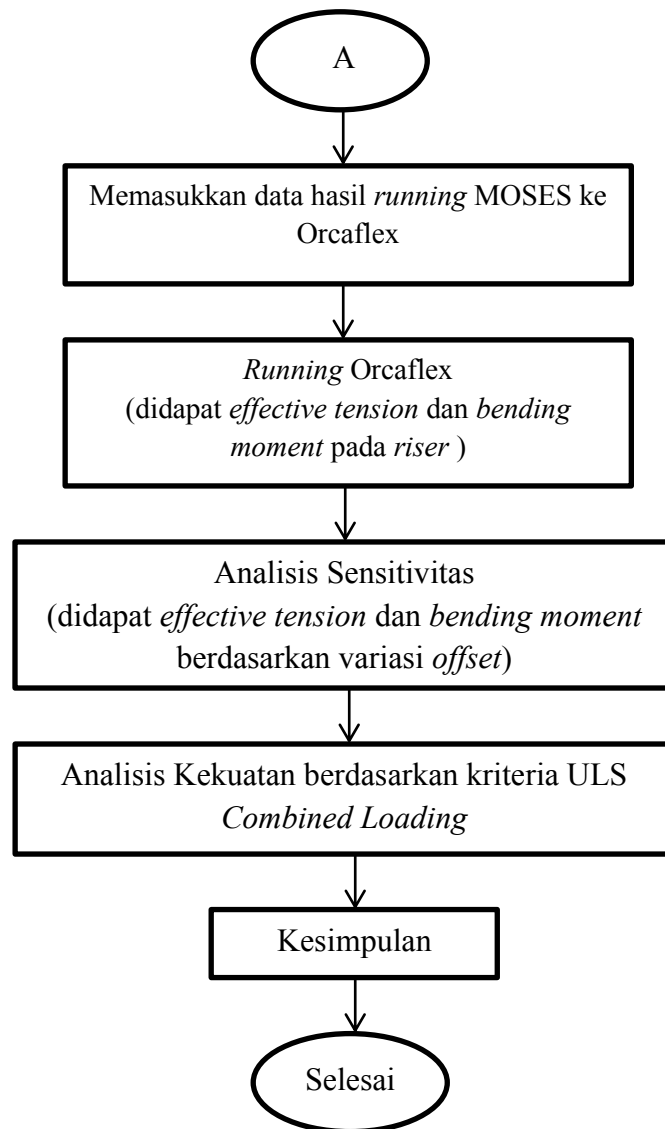
A_γ = $1 - 0.287 \ln(\gamma)$ adalah *normalizing factor*

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penjelasan mengenai pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada diagram alir berikut :





3.2 Rencana Pengerjaan Tugas Akhir

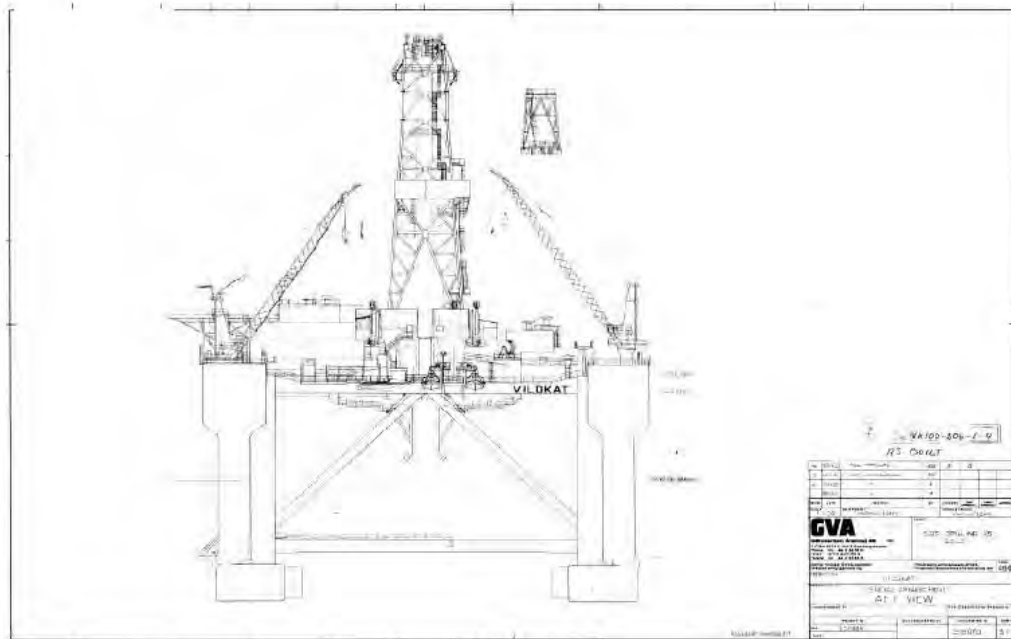
Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir yang tertera pada diagram alir akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi literatur dan pengumpulan data

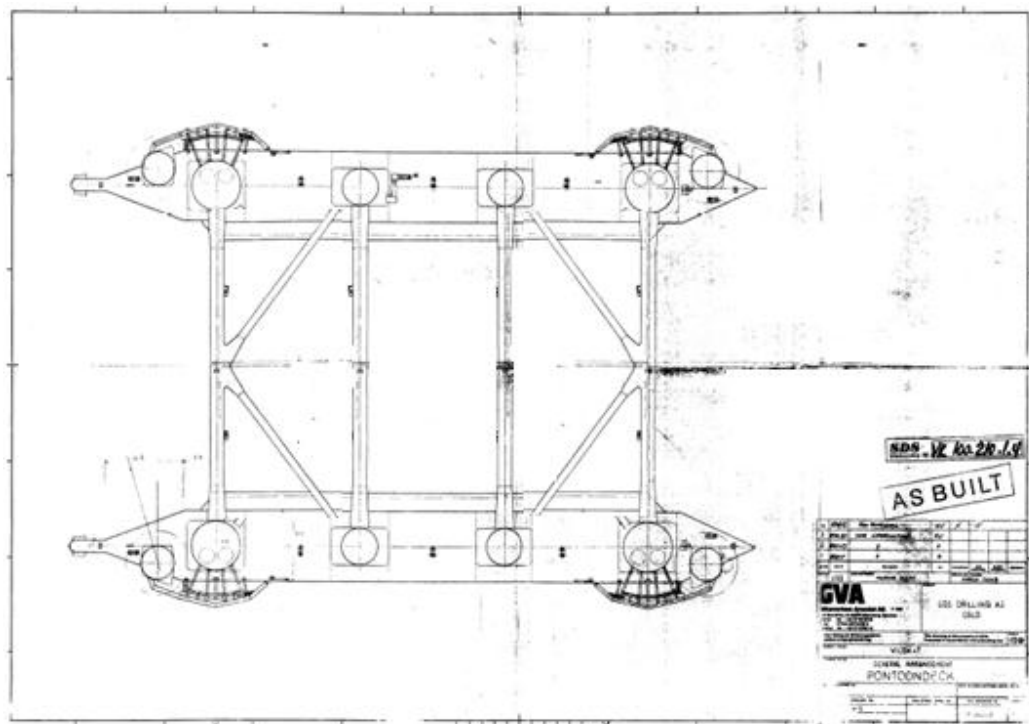
Studi literatur dilakukan untuk menambah wawasan guna menunjang pengerjaan tugas akhir ini, dengan cara mengumpulkan dan membaca buku, *codes*, jurnal, tesis, dan tugas akhir lainnya yang berhubungan dengan *steel catenary riser*. Data-data yang harus dikumpulkan untuk

mengerjakan tugas akhir ini antara lain data lingkungan, data fluida, data *semisubmersible* dan data *steel catenary riser*.

Tugas akhir ini menggunakan *Semi-submersible* “Essar Wildcat”, yang mana digunakan oleh *Conoco Philipps* di perairan Belanak-Natuna. Berikut adalah general arrangement dari Essar Wildcat yang mana disajikan dalam tampak depan dan atas.



Gambar 3.1 General Arrangement tampak depan



Gambar 3.2 *General Arrangement* tampak atas

Selain *general arrangement*, terdapat juga data ukuran utama dari semi-submersible Essar Wildcat yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Main Dimension Semi-submersible

Description	Quantity	Unit
Length Overall	108.2	m
Breadth (Moulded)	71.8	m
Large Column Diameter	7.92	m
Small Column Diameter	5.79	m
Corner Column Diameter	5.2	m
Height of Columns	29.87	m
Height of Pontoons	6.71	m
Longitudinal distance between column	22.85	m
Transversal distance between column	56.38	m
Operating Draught	21.33	m
Transit Draught	6.41	m
Operating Displacement	24173	m
Transit Displacement	16077	m
VCG (operating)	17.83	m
VCG (transit)	24.08	m
GM (operating)	2.74	m
GM (transit)	75.63	m

Tabel 3.2 Data *Steel Catenary Riser*

Riser Data		
Material Grade	X65	
Riser Density	7860	kg/m ³
Outer Diameter	20	in
Nominal Thickness	25.4	mm
Young's Modulus	210000	MPa
Poisson ratio	0.3	
SMYS	448	MPa
SMTS	535	MPa
Hang-off angle	15°	
Riser Length	187	m
Submerged Weight	1798.16	N/m
Internal Fluid		
Fluid	Oil	
Oil Density	800	kg/m ³
Design Pressure	200	bar

Temperature	100 °	
-------------	-------	--

Tabel 3.3 Data Mooring

Description	Quantity
Chain Type	Studlink chain R4
Chain Size	76 mm diameter
Length of chain	1200 m (approximately)
Chan break load	611.693 tonnes / 6000 kN
Chain weight in air	0.126 tonnes/m
Chain weight in water	0.011 tonnes/m
Anchor Type	8x15000kg HY – 17 Anchor
Number of line	8

Tabel 3.4 Data Lingkungan Belanak Natuna (Herwanzah, 2015)

Parameter	100 years return period
Depth	90 m
Wave :	
Significant Wave Height (Hs)	5.3 m
Peak period (Tp)	11.1 s
Maximum Wave Height (Hm)	10.2 m
Average period (Tm)	6.71
Wave Spectrum	JONSWAP
Current :	
Surface	1 m/s
Mid depth	0.8 m/s
Near bottom	0.8 m/s

2. Pemodelan struktur *Semi-Submersible*

Dari data dimensi semi-submersible yang didapat, maka struktur dapat dimodelkan. Pemodelan struktur pada tugas akhir ini menggunakan software Maxsurf dan MOSES, yang mana hasil hidrostatis dari kedua model ini, antara lain *displacement*, KB, LCB, KMt, KMI, BMt, BMI, akan di validasi berdasarkan persyaratan ABS MODU.

3. *Running* MOSES

Setelah struktur dimodelkan, dilakukan analisis pada MOSES agar diperoleh RAO (*Response Amplitude Operator*), yaitu nilai perbandingan amplitudo struktur dengan amplitudo gelombang pada setiap 1 meter. Selain itu diperoleh juga *wave drift force, mass, added mass, hydrostatic*, dll.

4. Analisis konfigurasi statis *steel catenary riser*

Menentukan konfigurasi statis pada suatu riser harus dilakukan agar dapat diketahui koordinat dan bentuk statis *riser* jika dihubungkan pada *semisubmersible*. Selain itu juga dapat diketahui panjang bentang dan jarak horizontal riser dari *touch down point* hingga *semisubmersible*.

5. Pemodelan konfigurasi *Semi-Submersible* dan *Steel Catenary Riser* saat kondisi *moored* pada Orcaflex

Setelah memperoleh *output data* dari analisis struktur pada MOSES, maka dilanjutkan dengan pemodelan *semi-submersible* dan *steel catenary riser* pada Orcaflex saat kondisi tertambat. Analisis *tension* tali tambat dilampirkan pada Lampiran A.

6. Memasukkan data hasil *running* MOSES ke Orcaflex

Hasil *running* MOSES, yang berupa RAO, *wave drift force*, dll, dimasukkan ke Orcaflex agar dapat dilakukan analisis statis dan dinamis pada *riser*.

7. *Running* Orcaflex

Setelah struktur dan *riser* dimodelkan, dan RAO sudah dimasukkan, analisis statis dan dinamis pada Orcaflex dapat dilakukan. Dari simulasi ini didapat *effective tension* dan *bending moment*.

8. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan cara mengubah salah satu parameter perhitungan SCR dengan parameter lainnya tetap. Kekuatan SCR dapat

dikatan sensitif terhadap perubahan parameter apabila terdapat perubahan *tension* dan *bending moment* yang cukup signifikan.

Analisis dilakukan untuk mengetahui *effective tension* dan *bending moment* berdasarkan variasi *offset*. *Offset* maksimum untuk struktur tertambat umumnya berada pada *range* 8% hingga 12% dari kedalaman perairan (API RP 2P, 1987). *Offset* 10% dari kedalaman perairan digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Tabel 3.5 Analisis Sensitivitas
Sensitivitas *Floater Offset*

<i>Case</i>	Deskripsi	D (m)	<i>Floater Offset</i>
a	Sensitivitas <i>Floater Offset</i>	90	Near (-9 m)
b	Sensitivitas <i>Floater Offset</i>	90	Far (+9 m)

9. Analisis Kekuatan Berdasarkan Kriteria ULS, *Combined Loading*

Kekuatan *steel catenary riser* ditinjau menggunakan metode LRFD, yang mengharuskan nilai utilitas harus kurang dari sama dengan satu. Jika hasil lebih satu, maka dianggap terjadi kegagalan pada *riser*.

10. Kesimpulan

Dilakukan analisis dari simulasi-simulasi yang dilakukan, lalu ditarik kesimpulan dari hasil analisis tersebut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

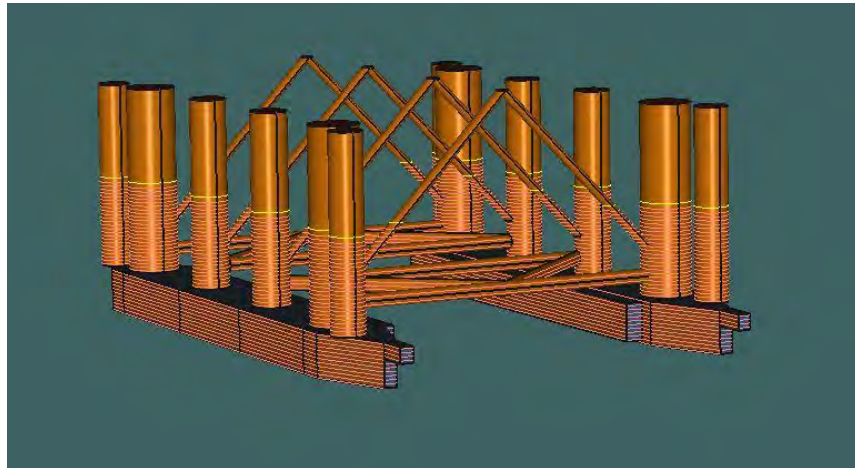
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur Semi-submersible

Pemodelan struktur semi-submersible pada tugas akhir ini dibagi menjadi tiga tahapan sebagai berikut :

1. Pemodelan dengan Maxsurf

Pemodelan dengan Maxsurf bertujuan untuk memodelkan dan mendapatkan nilai hidrostatik dari semi-submersible Essar Wildcat. Nilai hidrostatik yang diperoleh adalah saat kondisi operasi. Nantinya, nilai ini akan divalidasi dengan nilai hidrostatik pada MOSES.



Gambar 4.1 Pemodelan dengan Maxsurf

Nilai hidrostatik dari semi-submersible Essar Wildcat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

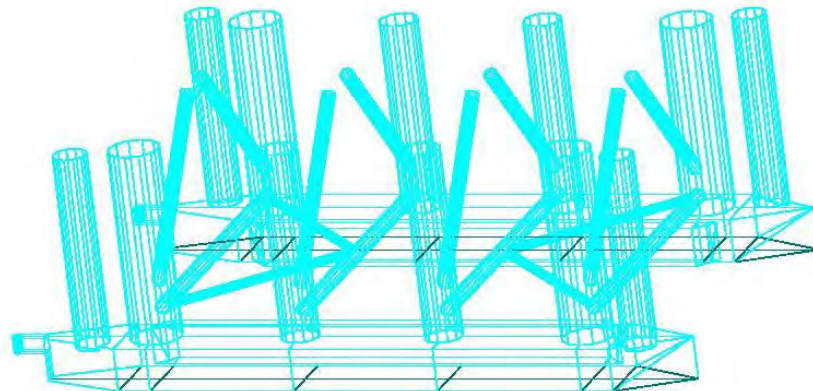
2. Pemodelan dengan MOSES

Pemodelan dengan MOSES dilakukan dengan cara memasukkan koordinat-koordinat struktur yang kemudian di *generate* dengan bahasa pemrograman. Penentuan koordinat-koordinat struktur dibantu dengan software Autocad. Selain untuk mendapatkan nilai hidrostatik, pemodelan dengan MOSES bertujuan untuk mendapatkan Response Amplitude Operator (RAO) dalam kondisi terapung bebas.

Tabel 4.1 Nilai hidrostatis pada Maxsurf

Displacement	23745	t
Volume (displaced)	23165.85	m ³
Draft Amidships	21.33	m
Immersed depth	21.33	m
WL Length	92.17	m
Beam max extents on WL	66.779	m
KB	6.413	m
KG fluid	17.83	m
BMt	14.196	m
BML	18.192	m
GMt corrected	2.779	m
GML	6.775	m
KMt	20.609	m
KML	24.605	m

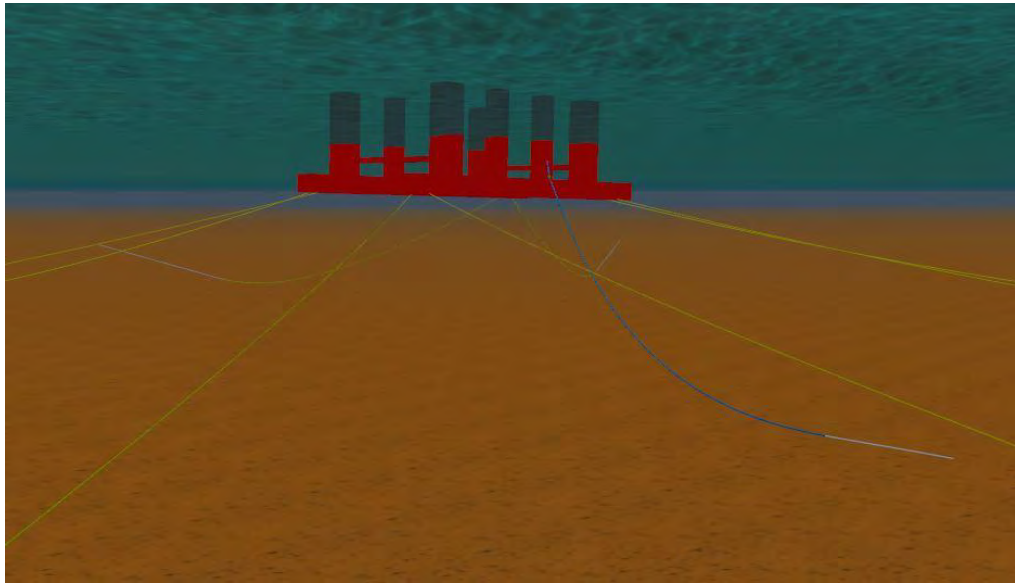
Model Semi-Submersible ESSAR WILDCAT
SEMI-SUBMERSIBLE ESSAR WILDCAT



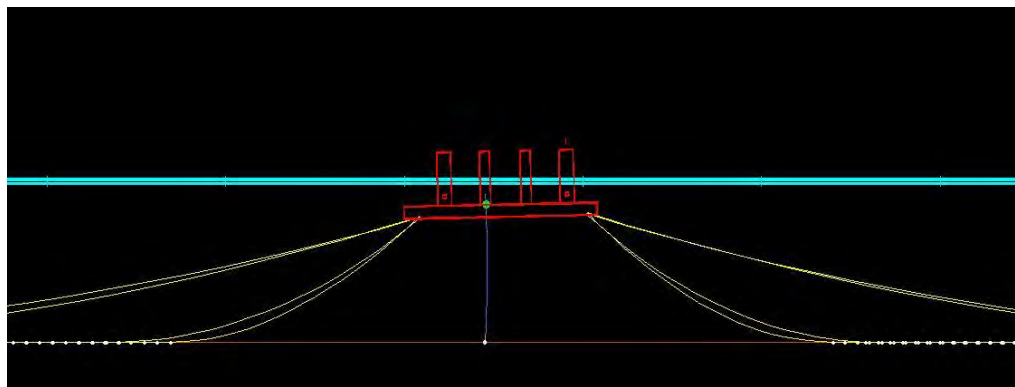
Gambar 4.2 Pemodelan dengan MOSES

3. Pemodelan dengan Orcaflex 9.2

Pemodelan dengan *software* Orcaflex dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh tension pada *mooring line*, serta *effective tension* dan *bending moment* pada *steel catenary riser*.



Gambar 4.3 Pemodelan semi-submersible dengan sistem *mooring dan steel catenary riser*



Gambar 4.4 Pemodelan semi-submersible dengan sistem *mooring dan steel catenary riser*

4.2 Validasi Model *Semi-submersible* Essar Wildcat

Validasi model harus dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu model ketika dilakukan simulasi. Cara untuk melakukan validasi model adalah dengan membandingkan parameter hidrostatik yang dihasilkan oleh *software* MOSES terhadap Maxsurf. Menurut *American Bureau of Shipping, Mobile Offshore Drilling Unit* (2016), kriteria yang harus dipenuhi adalah 2% untuk *displacement* dan 1% untuk parameter lainnya. Validasi model dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Validasi Model

Parameter	Unit	Data	Maxsurf	Selisih (%)	Moses	Selisih (%)	Kriteria
Displacement	ton	24173	23745	1.8%	23889	1.2%	OK
KB	m	-	6.41	-	6.34	1%	OK
LCB	m	-	51.56	-	51.63	0.1%	OK
KMt	m	-	20.60	-	20.55	0.2%	OK
KMI	m	-	24.60	-	24.63	0.1%	OK
BMt	m	-	14.20	-	14.21	0.1%	OK
BMI	m	-	18.20	-	18.30	0.5%	OK
LCG	m	51.58	51.58	0.0%	51.72	0.3%	OK
GMt	m	2.74	2.77	1.0%	2.72	0.7%	OK

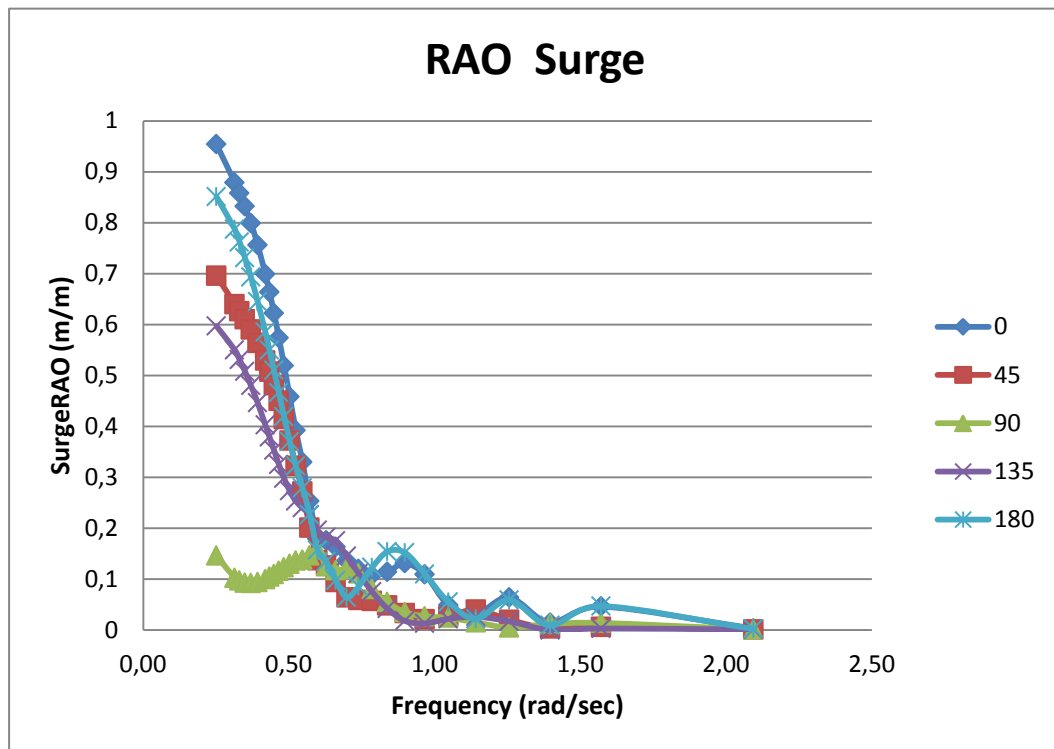
Berdasarkan Tabel 4.2, parameter-parameter hidrostatis yang dibandingkan telah memenuhi kriteria dari ABS MODU. Maka dari itu, model yang dibuat dengan *software* MOSES layak digunakan untuk simulasi.

4.3 Analisis Perilaku Gerak Semi-Submersible Pada Gelombang Reguler Kondisi Terapung Bebas

Perhitungan *Response Amplitude Operator* (RAO) dibantu dengan menggunakan *software* MOSES. *Semi-submersible* yang telah dimodelkan diberi arah pembebanan gelombang dari arah 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, dalam enam derajat kebebasan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch* dan *yaw*. Data ini menunjukkan karakteristik perilaku gerak *semi-submersible* kondisi terapung bebas pada gelombang reguler. Simulasi ini dilakukan pada sarat 21.33 m, yang mana adalah sarat operasi dari *semi-submersible* Essar Wildcat.

4.3.1 RAO Surge

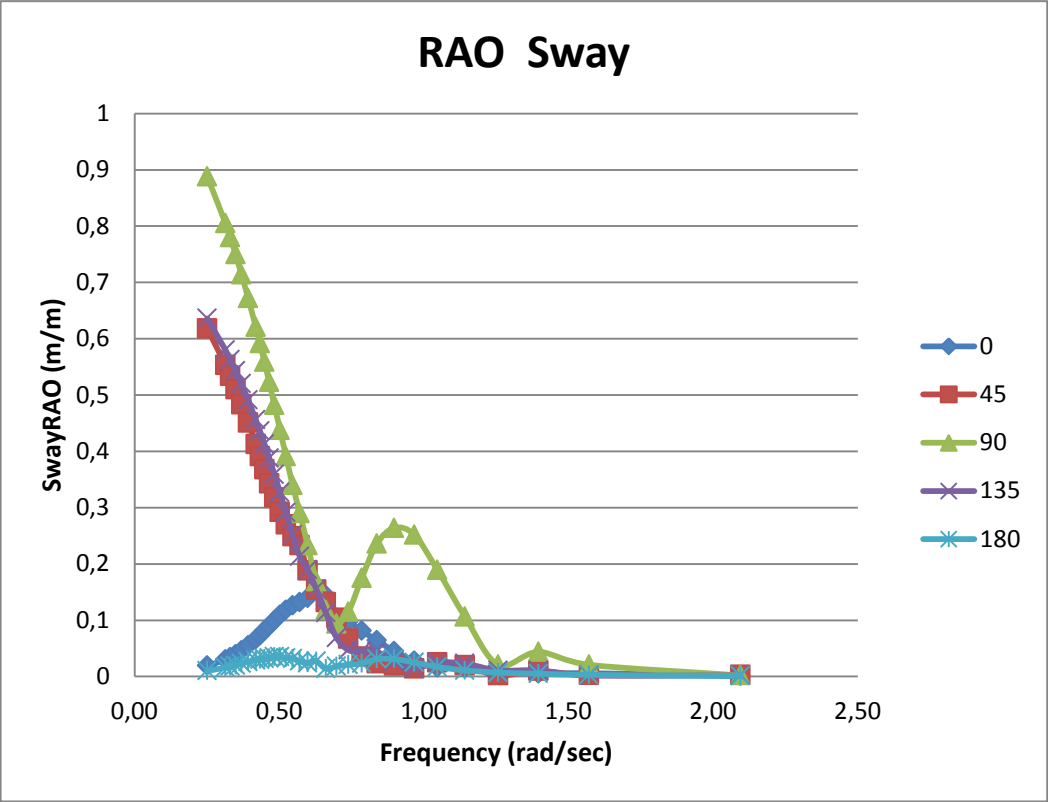
Berdasarkan Gambar 4.5, gerakan *surge* terbesar terjadi pada frekuensi rendah yaitu 0.25 rad/s dengan nilai terbesar adalah 0.95 m/m pada arah pembebanan 0°. Selanjutnya mengalami penurunan hingga frekuensi 0.7-0.8 rad/s dan meningkat kembali pada nilai 0.13 m/m pada frekuensi 0.9 rad/sec. Gerakan *surge* arah pembebanan 0° dan 180° memiliki nilai RAO yang hampir sama karena geometri *pontoon* bagian depan dan belakang memiliki sedikit perbedaan. Arah pembebanan 90° (*beamseas*) gerakan *surge* bernilai sangat kecil dengan nilai maksimum 0.158 m/m pada frekuensi 0.6 rad/sec.



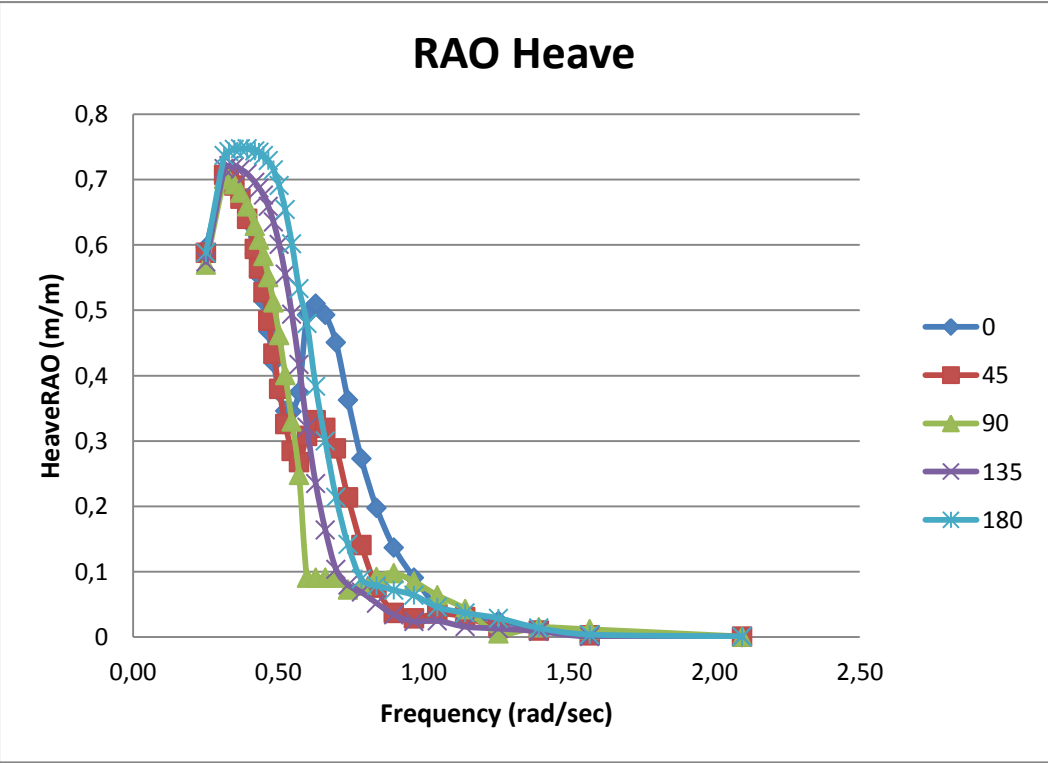
Gambar 4.5 RAO Surge

4.3.2 RAO Sway

RAO gerakan *sway*, yang mana ditunjukkan pada Gambar 4.6, hampir menyerupai RAO gerakan *surge*, hanya saja pada sudut 90° terjadi resonansi kedua yang cukup signifikan dibandingkan dengan arah lainnya. Nilai RAO terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah yaitu pada frekuensi sebesar 0.25 rad/sec dengan nilai 0.88 m/m pada sudut datang 90°. Nilai tersebut mengalami hingga frekuensi 0.79 rad/sec, lalu kembali naik akibat resonansi kedua dan seterusnya. RAO gerakan *sway* memiliki nilai yang kecil pada arah pembebanan 0° dan 180°. Pada arah 0° nilai sway maksimum adalah 0.155 m/m pada frekuensi 0.63 rad/sec, sedangkan arah 180° nilai maksimumnya adalah 0.035 m/m pada frekuensi 0.5 rad/sec.



Gambar 4.6 RAO Sway

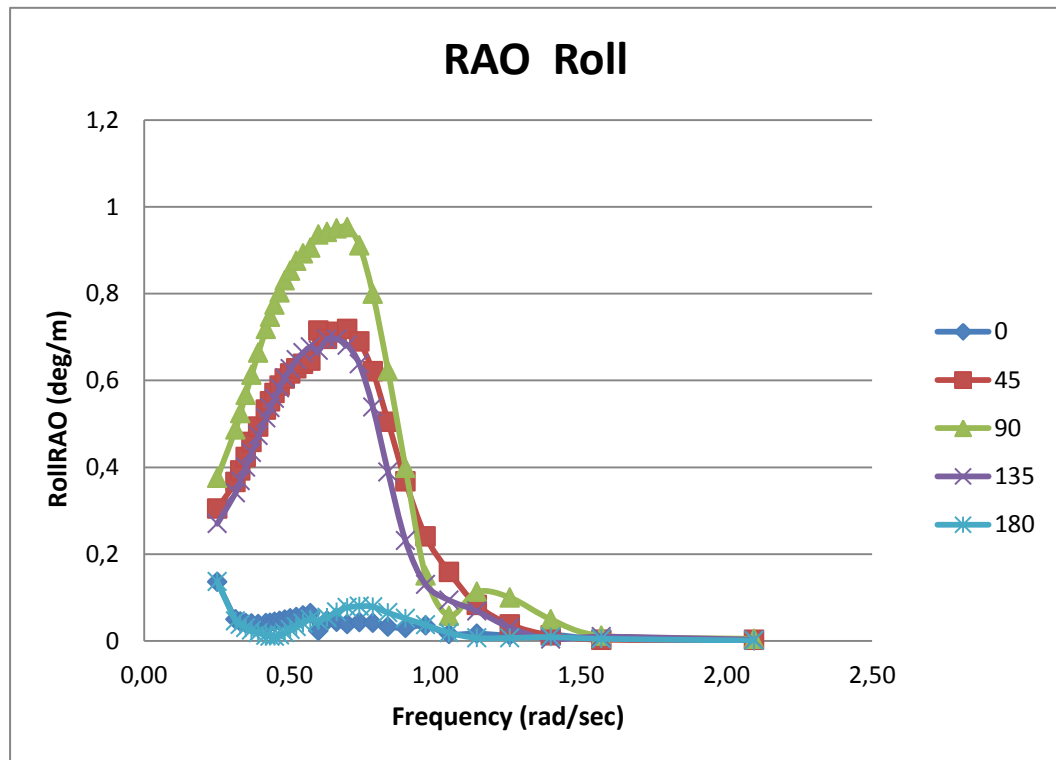


Gambar 4.7 RAO Heave

4.3.3 RAO Heave

Gambar 4.7 menunjukkan grafik RAO gerakan *heave* memiliki pola yang hampir sama pada semua arah datang gelombang. Semua arah datang gelombang mencapai nilai amplitudo maksimum pada frekuensi 0.37 rad/sec, dengan nilai tertinggi dari arah datang 180°, yaitu sebesar 0.747 m/m. Nilai amplitudo heave sangat kecil pada frekuensi 2.09 rad/sec dengan nilai berkisar antara 0.001 – 0.003 m/m untuk semua arah datang gelombang.

4.3.4 RAO Roll

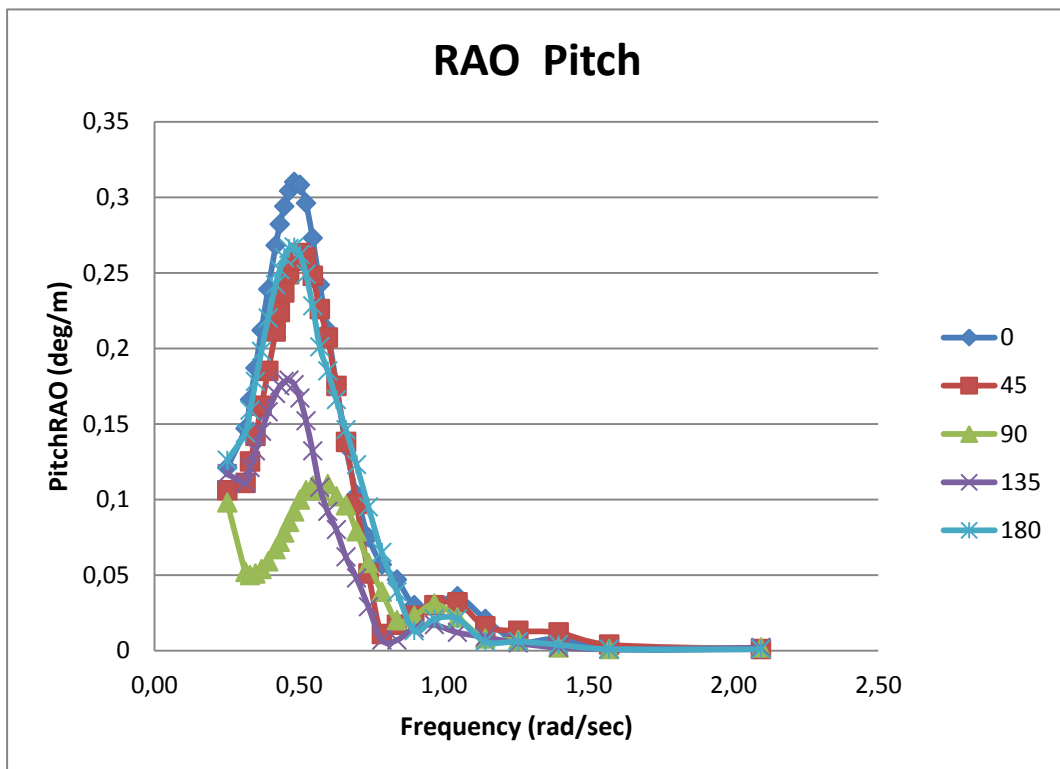


Gambar 4.8 RAO Roll

Nilai amplitudo roll terbesar terjadi pada arah gelombang 90° (beamseas) dengan nilai sebesar 0.953 deg/m pada frekuensi 0.7 rad/sec. Sudut datang 0° dan 180° memiliki nilai amplitudo relatif kecil dengan nilai maksimum 0.136 deg/m dan 0.137 deg/m, berurutan, pada frekuensi 0.25 rad/sec. Arah 45° dan 135° (quartering seas) memiliki nilai RAO yang lebih kecil dari arah 90°.

4.3.5 RAO Pitch

Dilihat pada Gambar 4.9 bahwa secara keseluruhan nilai amplitudo gerakan *pitch* cukup kecil, dengan nilai terbesar adalah 0.31 deg/m ketika frekuensi 0.48 rad/sec pada sudut 0°. Nilai gerakan pitch sangat kecil ketika frekuensi 2.0 rad/sec yaitu berkisar antara 0.001-0.002 deg/m untuk semua arah datang gelombang.

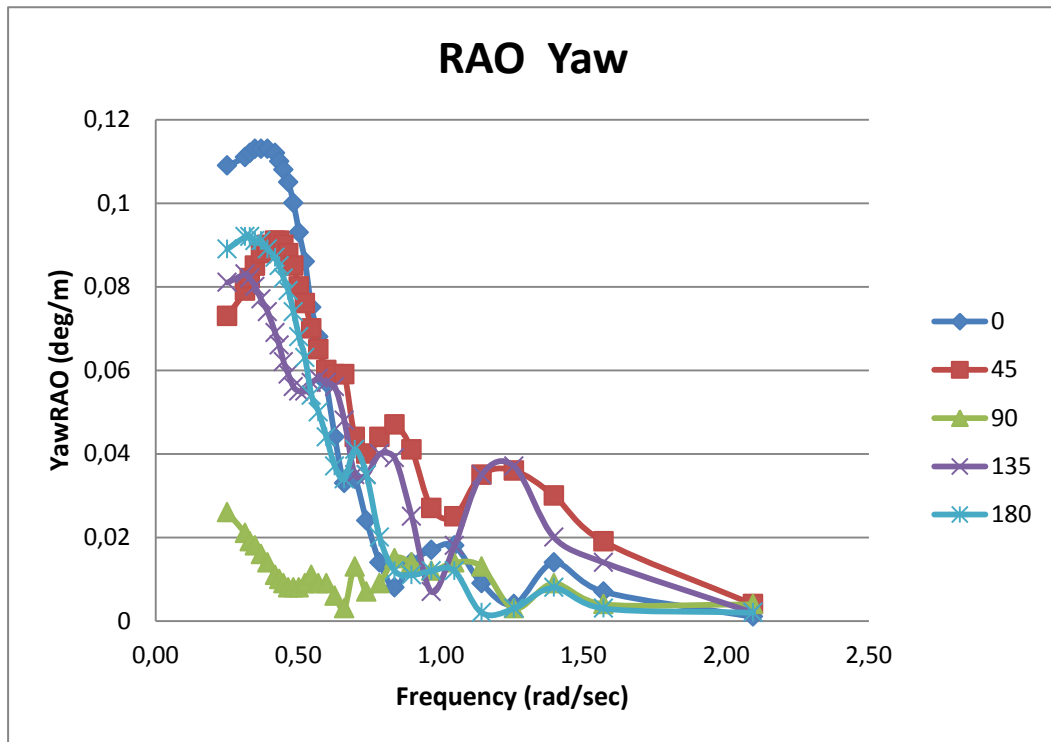


Gambar 4.9 RAO Pitch

Gerakan pitch terkecil terdapat pada arah datang 90°, dengan nilai maksimum 0.109 deg/m pada frekuensi 0.55 rad/sec.

4.3.6 RAO Yaw

Berdasarkan Gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa nilai gerakan yaw adalah relatif kecil. Gerakan yaw terbesar adalah 0.13 deg/m pada frekuensi 0.37 rad/sec pada sudut 0°. Nilai terkecil terjadi pada arah 90°, dengan nilai maksimum sebesar 0.026 deg/m dengan frekuensi 0.25 rad/sec. Pola gerakan yaw bisa dibilang tidak beraturan, tetapi karena nilainya sangat kecil hal tersebut dapat diabaikan.



Gambar 4.10 RAO Yaw

Rangkuman mengenai analisis gerakan semi-submersible Essar Wildcat untuk gerakan *translational* (*surge, sway, heave*) dan gerakan *rotational* (*roll, pitch, yaw*) pada gelombang regular dapat dilihat pada Tabel 4.3, disajikan dengan nilai maksimum pada setiap arah datang gelombang.

Tabel 4.3 Nilai RAO Maksimum

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum				
		0°	45°	90°	135°	180°
Surge	m/m	0.954	0.696	0.146	0.597	0.851
Sway	m/m	0.155	0.618	0.888	0.636	0.035
Heave	m/m	0.712	0.707	0.701	0.721	0.747
Roll	deg/m	0.136	0.719	0.953	0.695	0.137
Pitch	deg/m	0.31	0.263	0.11	0.179	0.267
Yaw	deg/m	0.113	0.09	0.026	0.083	0.092

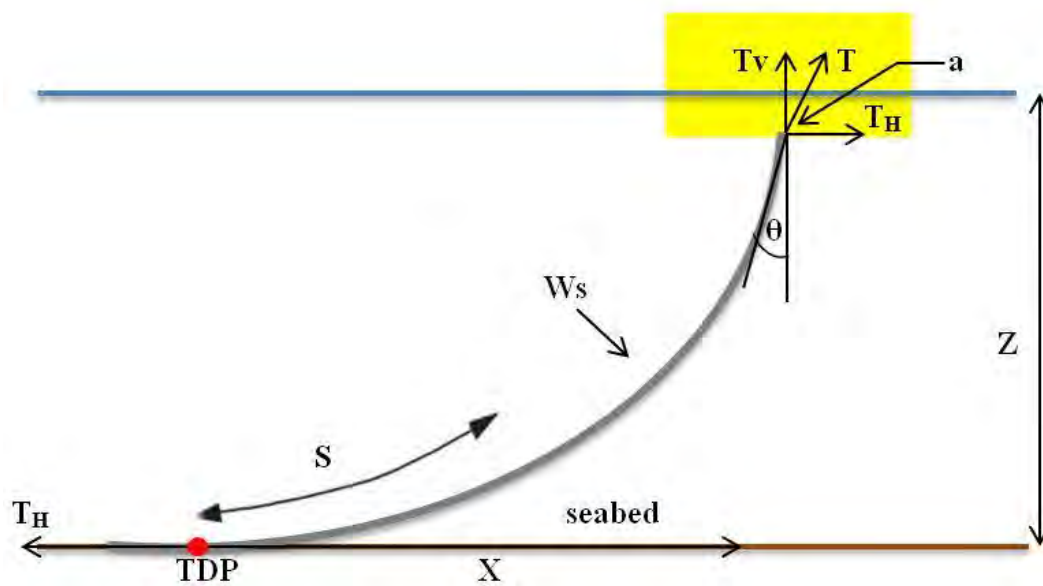
Hasil analisis menunjukkan bahwa karakteristik gerakan semi-submersible kondisi terapung bebas terbilang cukup bagus karena nilai maksimal RAO-nya

tidak ada yang lebih 1.0, yang berarti amplitudo respon gerakan yang terjadi akan selalu lebih kecil dari amplitudo gelombang yang datang.

4.4 Analisis Konfigurasi Statis *Steel Catenary Riser*

Perhitungan konfigurasi statis *steel catenary riser* pada tugas akhir ini menggunakan teori *catenary* yang terdapat pada buku *Introduction to Offshore Pipeline and Risers* (Lee, 2007) dan *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation* (Bai, 2014).

Tujuan dari analisis konfigurasi statis adalah untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja, panjang bentang riser dan juga jarak horizontal dari TDP ke *semi-submersible*. Deskripsi gambar dan hasil perhitungan konfigurasi statis dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.4

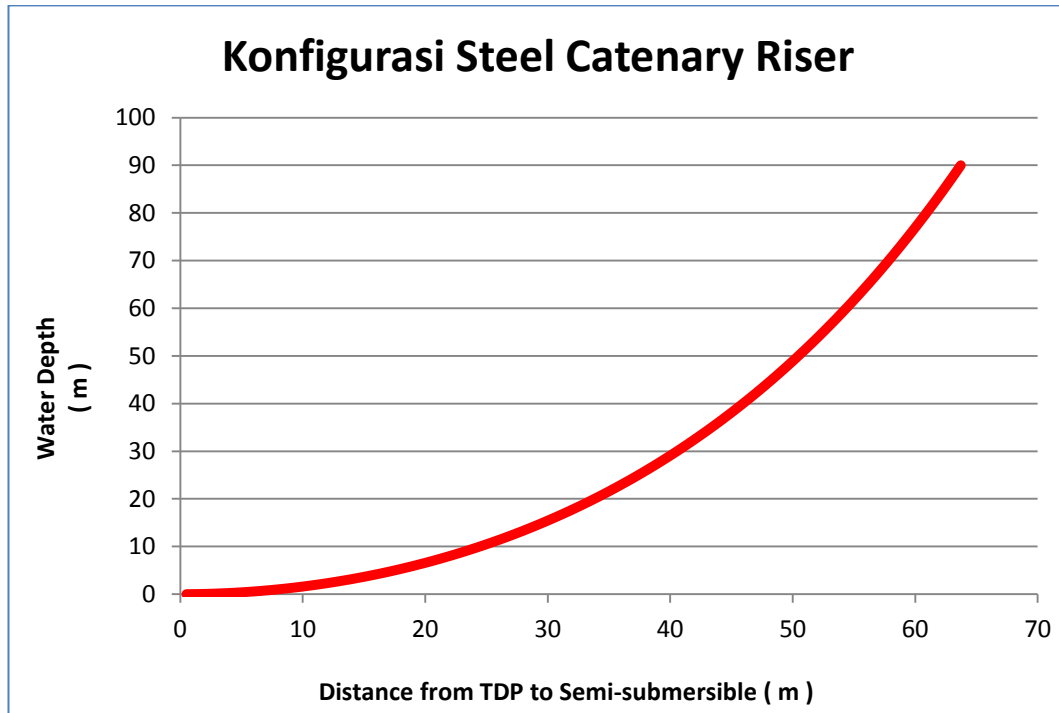


Gambar 4.11 Konfigurasi Statis *Steel Catenary Riser*

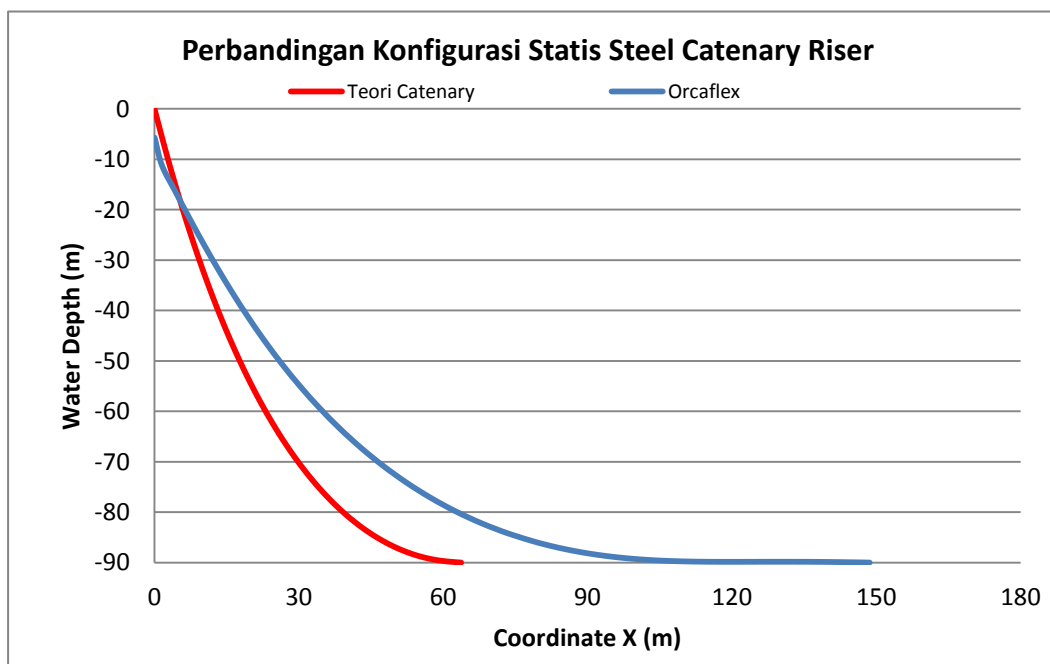
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Teori *Catenary*

Top Tension	T	218.35	kN
Bottom Tension	TH	56.512	kN
Catenary Constant	a	31.428	
Riser Free Span Length to Touchdown	S	117.29	m
Horizontal Distance from Vessel to Touchdown	X	63.723	m

Konfigurasi SCR dari dasar laut sampai ke *semi-submersible* dapat ditentukan dengan teori *catenary*, yang mana perhitungan dilakukan dengan mendiskritkan variabel X dengan interval tentu dan dimasukkan pada persamaan *catenary*. Konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Konfigurasi Statis *Steel Catenary Riser*



Gambar 4.13 Perbandingan Konfigurasi Statis *Steel Catenary Riser*

Berdasarkan perbandingan konfigurasi statis di atas dapat dianalisis bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil penyelesaian teori *catenary* dan Orcaflex. Hal ini disebabkan karena teori *catenary* mengabaikan faktor *bending stiffness*. Faktor *bending stiffness* berimplikasi pada letak *touchdown point* pada Orcaflex lebih jauh dibandingkan teori *catenary* karena jika *touchdown point* terlalu dekat dengan *floaters*, dengan kedalaman 90 m, dapat menyebabkan *bending stress* dan *compression* yang tinggi. Teori *catenary* juga hanya menghasilkan panjang bentang minimum SCR, yaitu sepanjang 117.29 m, yang mana berbeda dengan Orcaflex yang harus mempertimbangkan panjang *flowline* menuju PLET/PLEM.

4.5 Analisis Kekuatan dan Sensitivitas *Steel Catenary Riser*

4.5.1 Analisis Kekuatan

Analisis kekuatan dilakukan untuk mengetahui respon dan perilaku dinamis *steel catenary riser* terhadap beban fungsional dan lingkungan yang terjadi. Analisis ini dilakukan pada posisi *mean* dimana *offset* yang terjadi tidak terlalu signifikan. Simulasi *time domain* dilakukan dengan periode ulang gelombang dan arus 100 tahunan pada kedalaman 90 m dan *riser* sepanjang 187 m. Simulasi ini juga untuk mengetahui apakah *steel catenary riser* mampu beroperasi pada perairan dangkal karena menurut beberapa jurnal, *steel catenary riser* biasanya digunakan pada perairan lebih dari 500 m. Hasil dari simulasi dinamis dapat dilihat pada Tabel 4.5.

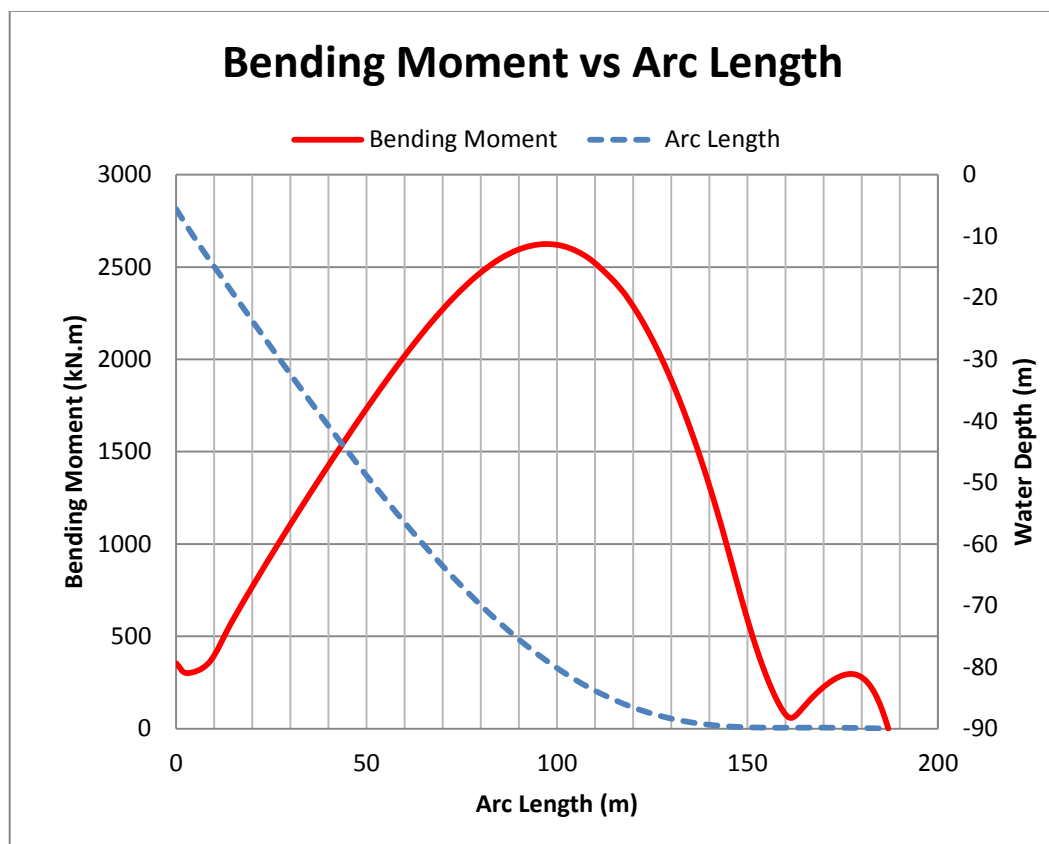
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Dinamis *Steel Catenary Riser*

Parameter/Direction	0°	45°	90°	135°	180°
Top Tension (kN)	302.519	292.098	302.831	297.509	293.201
TDP Tension (kN)	105.044	96.819	103.764	98.586	97.634
Sagbend Bending Moment (kN.m)	2585.164	2624.546	2522.115	2537.43	2486.668
von Mises Stress-Top (MPa)	197.567	197.567	201.207	201.393	199.793
von Mises Stress-Sagbend (MPa)	603.534	612.454	590.177	594.210	582.959

Ditunjukkan pada Tabel 4.8 bahwa *tension* terbesar terjadi pada bagian *hang-off location* (tempat dimana *riser* terhubung dengan *flex joint*) dan *tension* terkecil terdapat pada bagian *touchdown point*.

Tension merupakan sebuah fungsi dari panjang bentang *riser*, semakin panjang bentangan *riser* maka *tension* yang terjadi pada bagian *hang-off location* akan mengalami peningkatan. Nilai terbesar dihasilkan dari arah pembebanan 90^0 , sebesar 302.831 kN pada bagian *top* sedangkan pada bagian *touchdown point* dihasilkan nilai sebesar 105.044 kN dari arah pembebanan 0^0 .

Nilai *bending moment* terbesar terjadi pada area *sagbend*, dekat *touchdown point*. Hal ini disebabkan karena terbentuknya kurvatur pada panjang bentangan akibat total berat *riser*. *Bending moment* terbesar terjadi pada arah pembebanan 45^0 , pada panjang bentang 96.525 m dengan nilai sebesar 2624.546 kN.m. Pada arah pembebanan dan panjang bentang yang sama terdapat *maximum von mises stress* terbesar yaitu 612.454 MPa.



Gambar 4.14 *Bending Moment* Arah Pembebanan 45^0

Pengecekan tegangan harus dilakukan dalam menganalisis kekuatan SCR untuk mengetahui apakah kekuatan SCR sudah memenuhi kriteria apa belum. Kekuatan SCR pada tugas akhir ini dicek menggunakan metode LRFD berdasarkan kriteria ULS pada DNV-OS-F201 (*Dynamic Riser*).

Combined loading criteria merupakan persamaan yang mempertimbangkan *effective tension*, *bending moment*, *net internal overpressure* dan *net external overpressure* untuk memvalidasi kekuatan dari SCR. Moda kegagalan yang dikontrol dari persamaan ini adalah *yielding*, *gross plastic deformation* dan *wringkling*. Pada tugas akhir ini tekanan internal lebih besar dibandingkan tekanan eksternal, sehingga persamaan yang digunakan adalah *net internal overpressure*.

Ditunjukkan pada Tabel 4.8, hasil *von mises stress* pada bagian *sagbend* lebih besar daripada bagian *top*, oleh karena itu pengecekan ini akan dilakukan pada nilai *von mises stress* yang paling besar, yaitu bagian *sagbend*. Hasil perhitungan *load-combined criteria* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Kriteria Kekuatan SCR - LRFD

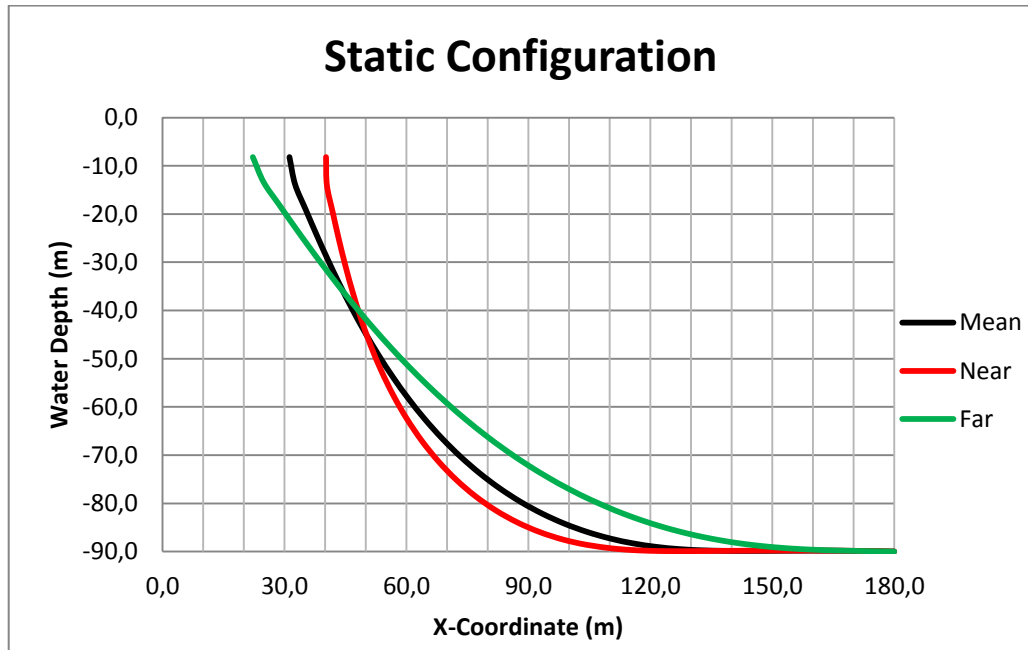
Direction	Max Von Mises Stress (MPa)	Utility - Combined load
0 ⁰	603.534	2.97
45 ⁰	612.454	3.01
90 ⁰	590.177	2.90
135 ⁰	594.210	2.92
180 ⁰	582.959	2.86

Hasil *combined load criteria* secara keseluruhan tidak memenuhi kriteria, yang mana nilai harus kurang dari sama dengan 1. Tingginya nilai *von mises stress* ini dapat diatasi dengan mengecilkan diameter dan tebal dinding, merubah konfigurasi SCR ataupun memasang *bend stiffener* pada area *sagbend*. Tentunya perubahan parameter-parameter tersebut harus dicek kembali agar memenuhi kriteria-kriteria ULS.

4.5.2 Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan cara merubah parameter *offset* dari *semi-submersible*. Tercantum pada API RP 2P-*Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units* bahwa maksimum *offset* adalah 8%-12% dari kedalaman laut. Berdasarkan rentang tersebut, nilai yang diambil untuk tugas akhir ini adalah **10% dari kedalaman laut**. Arah pembebanan 90^0 digunakan dalam analisis dinamis pada analisis sensitivitas ini.

4.5.2.1 Konfigurasi Statis

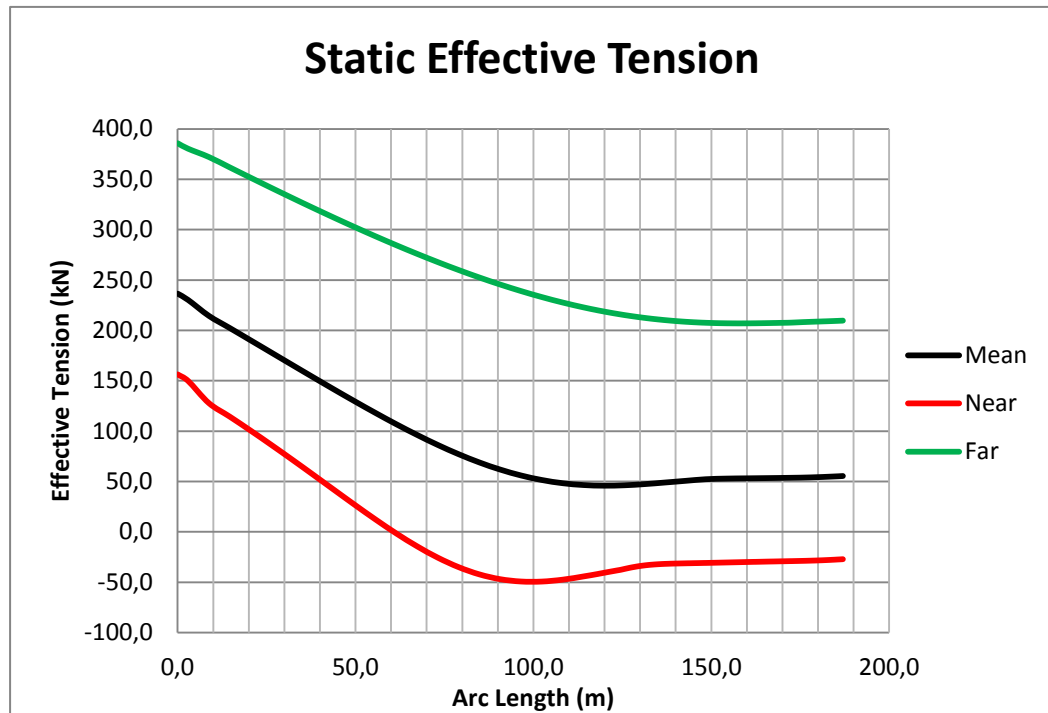


Gambar 4.15 Konfigurasi SCR

Berdasarkan Gambar 4.15 dapat dianalisis bahwa konfigurasi *riser* berubah secara signifikan akibat variasi *offset*. *Semi-submersible* menjauh 9 m dari posisi awalnya pada kondisi *far*, yang menyebabkan *riser* tertarik dan menambah panjang bentangannya. Sedangkan kondisi *near*, *semi-submersible* mendekat 9 m sehingga letak TDP berubah. Selain itu terjadi kelengkungan yang sangat ekstrim pada area *sagbend*, yang memungkinkan meningkatnya *bending moment*.

Analisis sensitivitas *effective tension* dan *bending moment* secara statis dan dinamis akan dibahas pada sub bab berikutnya.

4.5.2.2 Static Effective Tension



Gambar 4.16 Static Effective Tension

Karena *tension* merupakan fungsi panjang bentang, kondisi *far* tentunya memiliki hasil *tension* yang paling tinggi dibandingkan kondisi *mean* dan *near*. Dilihat dari gambar, *tension* kondisi *near* mencapai nilai negatif yang artinya pada area tersebut terjadi *axial compression*. Hal ini harus dihindari karena menurut DNV (2010) *axial compression* dapat menyebabkan *column buckling*.

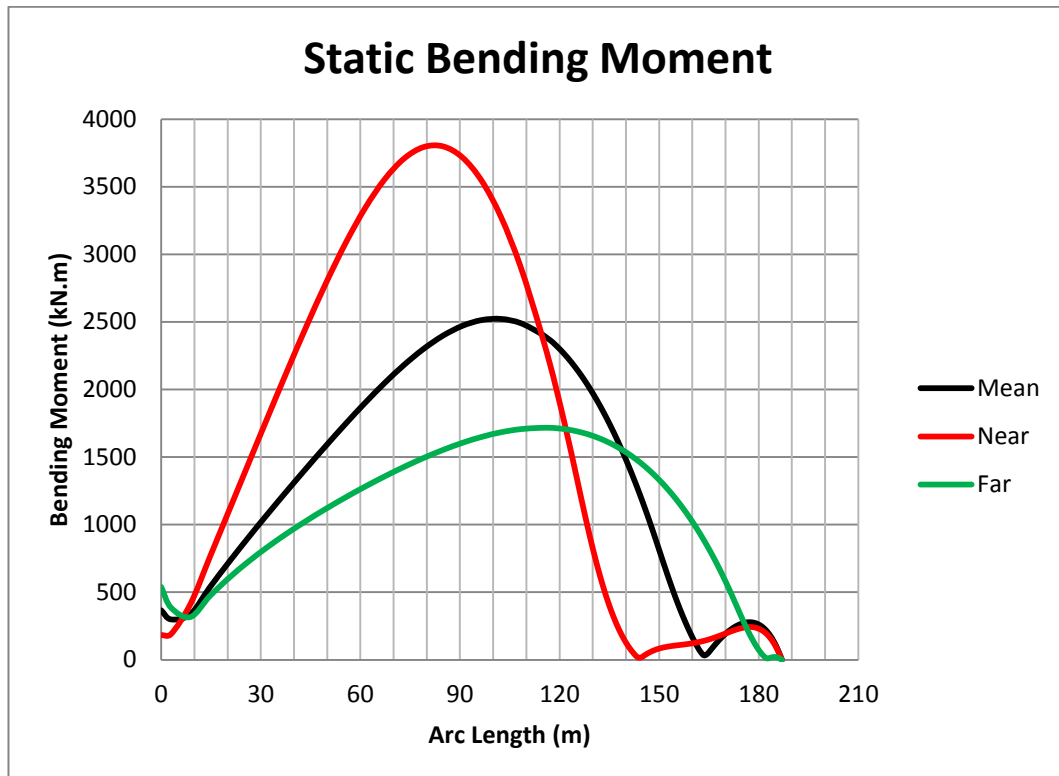
Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa *tension* kondisi *far* memiliki *tension* paling tinggi. Maka dari itu *riser* kondisi *far* akan dianalisis lebih lanjut pada analisis dinamis.

4.5.2.3 Static Bending Moment

Berdasarkan konfigurasi statis kondisi *near*, *floater* mendekat 9m ke arah TDP. Hal ini menyebabkan kurvatur yang ekstrim pada area *sagbend* sehingga nilai bending moment terlampaui tinggi dibandingkan kondisi *far* dan *mean*.

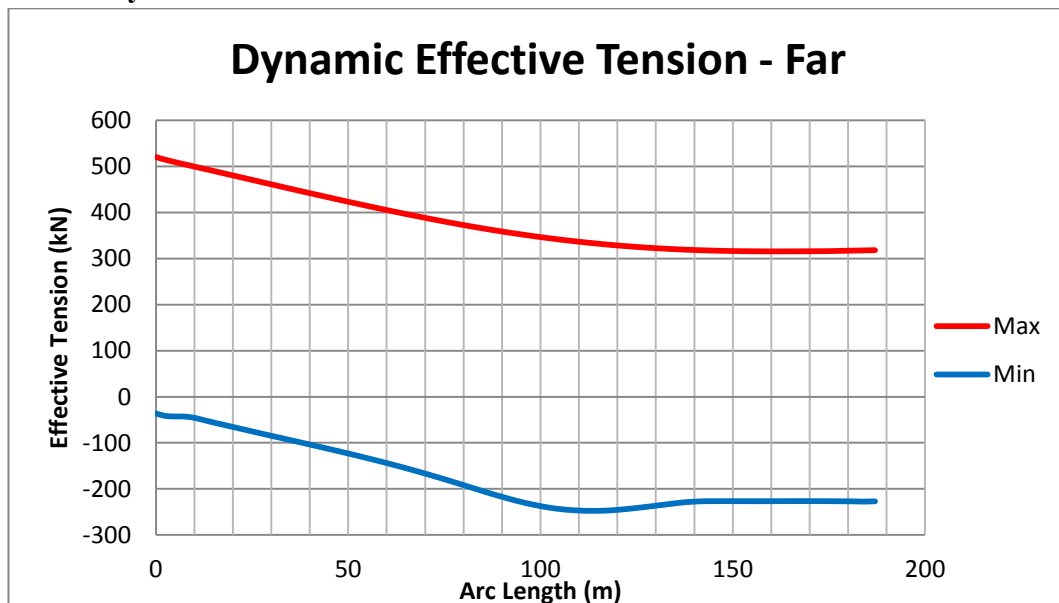
Terdapat perbedaan letak *bending moment* maksimum, yaitu pada 85.825 m, 102.375 m dan 117.5 m untuk kondisi *near*, *mean* dan *far*. *Bending moment* pada kondisi *far* akan dianalisis lebih lanjut pada analisis dinamis.

Grafik bending moment dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Static Bending Moment

4.5.2.4 Dynamic Effective Tension



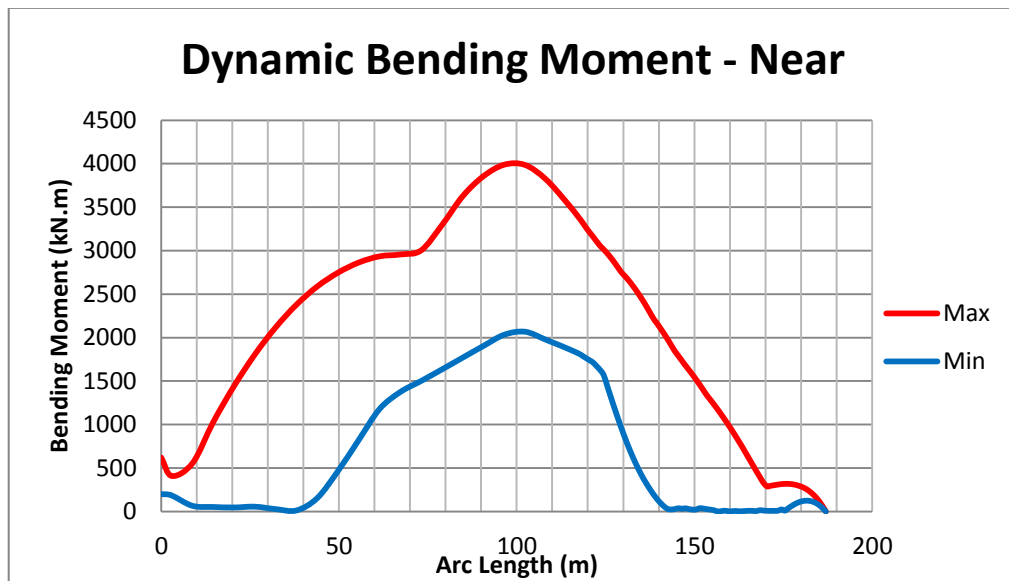
Gambar 4.18 Dynamic Effective Tension

Berdasarkan grafik rentang *effective tension* kondisi *far*, dapat dilihat bahwa *riser* mengalami nilai maksimum dan minimum disetiap panjang *riser*. Nilai

maksimum mencapai 520.463 kN pada *hang-off location*. Sedangkan nilai minimum terdapat pada panjang bentang 118.5 m dengan nilai -241,981 kN.

4.5.2.5 Dynamic Bending Moment

Berdasarkan grafik rentang *bending moment* kondisi *near*, dapat dilihat bahwa *riser* mengalami nilai maksimum dan minimum disetiap panjang *riser*. Nilai maksimum mencapai 3989.472 kN.m pada area *sagbend*. Sedangkan nilai minimum terdapat pada panjang bentang 187 m dengan nilai 0 kN.m.



Gambar 4.19 Dynamic Bending Moment

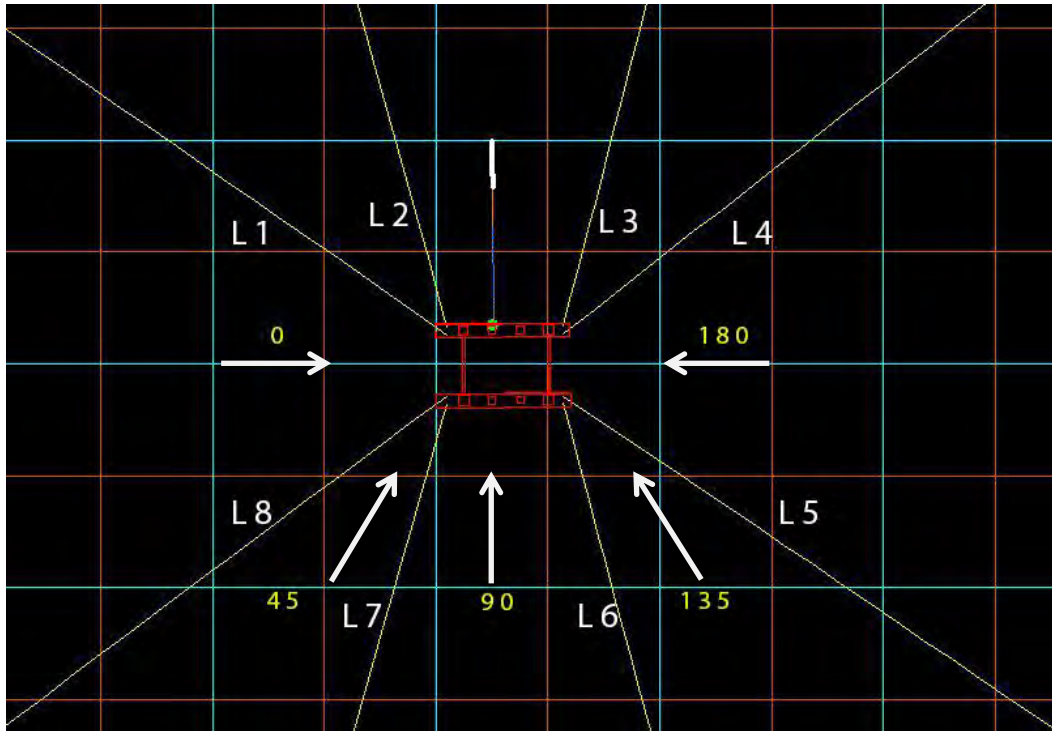
4.5.2.6 Combined Loading Criteria

Tabel 4.7 Kriteria Kekuatan SCR *near* dan *far* - LRFD

Load Case	Max Von Mises Stress (MPa)	Utility-Combined load
Near	918.097	4.45
Far	911.801	4.43

Kondisi *near* dan *far* tidak memenuhi *combined loading criteria* yang mana mengharuskan nilai kurang dari sama dengan 1. Nilai von mises terbesar pada kedua kondisi ini terdapat pada area *sagbend*.

LAMPIRAN A
MOORING SYSTEM



Arah Pembebanan 0⁰

Line	Tension (kN)	MBL (kN)	Safety Factor	Check
L1	3077,38	6000	1,949708	OK
L2	2974,89	6000	2,016881	
L3	2813,1	6000	2,132875	
L4	2886,79	6000	2,078431	
L5	2955,72	6000	2,029963	
L6	3022,17	6000	1,985325	
L7	2961,11	6000	2,02627	
L8	3086,03	6000	1,944249	

Arah Pembebanan 45⁰

Line	Tension (kN)	MBL (kN)	Safety Factor	Check
L1	2904,47	6000	2,065783	OK
L2	3009,89	6000	1,99343	
L3	2930,64	6000	2,047331	
L4	3028,9	6000	1,980917	
L5	2951,07	6000	2,033164	
L6	3159,82	6000	1,898844	
L7	3222,75	6000	1,861762	
L8	3211,81	6000	1,868107	

Arah Pembebanan 90⁰

Line	Tension (kN)	MBL (kN)	Safety Factor	Check
L1	2834,17	6000	2,117024	OK
L2	3062,76	6000	1,959017	
L3	3089,91	6000	1,941804	
L4	3173,97	6000	1,890378	
L5	3209,69	6000	1,869342	
L6	3413,29	6000	1,757834	
L7	3304,18	6000	1,815884	
L8	3129,9	6000	1,916994	

Arah Pembebanan 135⁰

Line	Tension (kN)	MBL (kN)	Safety Factor	Check
L1	2839,54	6000	2,113017	OK
L2	2998,37	6000	2,001086	
L3	2889,72	6000	2,076327	
L4	3131,95	6000	1,915742	
L5	3375,24	6000	1,777651	
L6	3298,22	6000	1,819164	
L7	3022,28	6000	1,985259	
L8	2857,64	6000	2,099631	

Arah Pembebanan 135⁰

Line	Tension (kN)	MBL (kN)	Safety Factor	Check
L1	2726,33	6000	2,200763	OK
L2	2972,15	6000	2,018741	
L3	2873,92	6000	2,087738	
L4	3200,13	6000	1,874923	
L5	3154,59	6000	1,901988	
L6	2901,39	6000	2,067973	
L7	2706,88	6000	2,216575	
L8	2748,23	6000	2,183226	

LAMPIRAN B
INPUT & OUTPUT MOSES

INPUT PEMODELAN

#####

\$# #

\$# Pemodelan Semi-submersible ESSAR WILDCAT #

\$# Tugas Akhir RIZAL CESARIAN ERESTIO (4312100110) #

\$# #

#####

\$

\$ -----Set Dimension-----

&dimen -save meters m-tons

&device -cecho y -mecho n -prim screen

&title Model Semi-Submersible ESSAR WILDCAT

\$ -----Control Parameters-----

&set demo = .false.

\$ -----Macro for Plotting-----

&MACRO SUPLOT NAMES

&SELEC :N -SEL %NAMES

&IF %DEMO &THEN

&DEVICE -PRIMARY SCREEN

&SUBTITLE %SUBT

&PICT ISO -parent :N

&LOCAL DUM = &GET(YES/NO)

&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN

&ENDIF

&SUBTITLE %SUBT

&PICT TOP

&LOCAL DUM = &GET(YES/NO)

&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN

&ENDIF

&SUBTITLE %SUBT

```

&PICT BOW
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&SUBTITLE %SUBT
&PICT STARB
&LOCAL DUM = &GET(YES/NO )
&IF &STRING(MATCH %DUM% YES) &THEN
&ENDIF
&ELSE
&DEVICE -PRIMARY DEVICE
&SUBTITLE %SUBT
&PICT ISO -parent :N
&SUBTITLE %SUBT
&PICT TOP
&SUBTITLE %SUBT
&PICT BOW
&SUBTITLE %SUBT
&PICT STARB
&ENDIF
&ENDMACRO

```

```

$***** enter &surface

```

```

$

```

```

&SURFACE

```

```

$***** Defining blocks

```

```

$

```

```

$***** Block Pontoon

```

```

block pontoon -location 0 28.19 0 0 0 0

```

```

Plane 0 -cart 0 0 0 6.71 0.04 6.71

```

```

Plane 11.67 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71

```

```

Plane 16.74 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71

```

Plane 39.59 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71
Plane 62.44 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71
Plane 85.29 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71
Plane 90.36 -cart 0 0 5.49 0 5.49 6.71
Plane 102.96 -cart 0 0 0.99 0 0.99 6.71
Plane 102.96 -cart 0 4.27 0.99 4.27 0.99 6.71
Plane 107.21 -cart 0 4.27 0.99 4.27 0.99 6.71
Plane 107.309 -cart 0 4.27 0.985 4.27 0.985 6.71
Plane 107.408 -cart 0 4.27 0.97 4.27 0.97 6.71
Plane 107.507 -cart 0 4.27 0.944 4.27 0.944 6.71
Plane 107.606 -cart 0 4.27 0.907 4.27 0.907 6.71
Plane 107.705 -cart 0 4.27 0.857 4.27 0.857 6.71
Plane 107.804 -cart 0 4.27 0.792 4.27 0.792 6.71
Plane 107.903 -cart 0 4.27 0.707 4.27 0.707 6.71
Plane 108.002 -cart 0 4.27 0.594 4.27 0.594 6.71
Plane 108.101 -cart 0 4.27 0.4315 4.27 0.4315 6.71
Plane 108.20 -cart 0 4.27 0 4.27 0 6.71

END

\$***** Block sponson

block sponson -port -location 0 28.19-5.49 0.395 0 0 0

Plane 13.832 -cart 0 0 0 0 0 5.92

Plane 15 -cart 0 0 1.101 0 1.101 5.92

Plane 16.74 -cart 0 0 2.74 0 2.74 5.92

Plane 85.29 -cart 0 0 2.74 0 2.74 5.92

Plane 86.5 -cart 0 0 1.6 0 1.6 5.92

Plane 88.198 -cart 0 0 0 0 0 5.92

END

\$***** Block Large Column

block Lkolom1 -location 16.74 28.19 6.71 0 -90 0

plane -0.5 29.87 -circ 0 0 3.96 0 30 100

end

```
$
move_block Lkolom1 Lkolom2 68.55 0 0 0 0
&set subt = kolom
$***** Assembling Large Column
```

```
&subtitle
union Lkolom1 Lkolom2 Lkolom
delete_block Lkolom1 Lkolom2
&set subt = Large_kolom
subplot Lkolom pontoonS
$***** Block small Column
```

```
block Skolom1 -location 39.59 28.19 6.71 0 -90 0
Plane -0.5 29.87 -circ 0 0 2.895 0 30 100
end
```

```
$
move_block Skolom1 Skolom2 22.85 0 0 0 0
&set subt = kolom
$***** Assembling small Column
```

```
&subtitle
union Skolom1 Skolom2 Skolom
delete_block Skolom1 Skolom2
&set subt = Small_kolom
subplot Skolom Lkolom pontoonS
$***** Block Corner Column
```

```
block Ckolom1 -location 7.6 28.19+2.6 6.71 0 -90 0
Plane -0.5 29.87 -circ 0 0 2.6 0 30 100
end
```

```
$-90
move_block Ckolom1 Ckolom2 86.97 0 0 0 0
&set subt = kolom
$***** Assembling Corner Column
```

```
&subtitle
```



```

union Ckolom1 Ckolom2 Ckolom
delete_block Ckolom1 Ckolom2
&set subt = Corner_kolom
suplot Ckolom Skolom Lkolom pontoonS
$***** Block Horizontal Outside
Brace
block horout1 -location 16.74 25.23 10.01 0 0 -90
Plane 0 50.46 -circ 0 0 1.1 0 30 100
end
$
move_block horout1 horout2 68.55 0 0 0 0
$***** Block Horizontal Inside
Brace
block horin1 -location 39.59 26.295 10.01 0 0 -90
Plane 0 52.59 -circ 0 0 1.1 0 30 100
end
$
move_block horin1 horin2 22.85 0 0 0 0
$***** Block Horizontal Diagonal
Brace
block hordia1 -location 39.59 -0.5 10.01 0 0 -227
Plane 0 33.26 -circ 0 0 0.625 0 30 100
end
$
block hordia2 -location 62.44 -0.5 10.01 0 0 47
Plane 0 33.26 -circ 0 0 0.625 0 30 100
end
$***** Block Vertical Diagonal
Brace
block verdia1 -location 16.74 25.23 13.71 0 -46 -90
Plane 0 31.87 -circ 0 0 1 0 30 100
end
$

```

block verdia2 -location 39.59 26.295 13.71 0 -46 -90

Plane 0 31.87 -circ 0 0 1 0 30 100

end

\$

block verdia3 -location 62.44 26.295 13.71 0 -46 -90

Plane 0 31.87 -circ 0 0 1 0 30 100

end

\$

block verdia4 -location 85.29 25.23 13.71 0 -46 -90

Plane 0 31.87 -circ 0 0 1 0 30 100

end

\$***** Assembling All Column

union Lkolom Skolom Kolom1

delete_block Lkolom Skolom

union Ckolom Kolom1 Kolom

delete_block Ckolom Kolom1

&set subt = Kolom

subplot Kolom pontoonS

\$***** Reflect Pontoon, Sponson
and Column

reflect_block pontoon pontoon_Port y

&set subt = reflection

subplot pontoon pontoon_Port

\$

reflect_block sponson sponson_Port y

&set subt = refleccion

subplot sponson sponson_Port pontoon pontoon_Port

\$

reflect_block Kolom Kolom_Port y

&set subt = reflection

subplot Kolom Kolom_Port sponson sponson_Port pontoon pontoon_Port

\$

union horout1 horout2 horout
delete_block horout1 horout2
&set subt = UNION OF HORIZONTAL OUTSIDE BRACES
subplot horout
union horin1 horin2 horin
delete_block horin1 horin2
&set subt = UNION OF HORIZONTAL INSIDE BRACES
subplot horin
union horout horin horbrc
delete_block horout horin
&set subt = UNION OF HORIZONTAL BRACES
subplot horbrc
union hordia1 hordia2 hordiaA
delete_block hordia1 hordia2
&set subt = UNION OF HORIZONTAL DIAGONAL BRACES
subplot hordiaA
reflect_block hordiaA hordiaB y
&set subt = REFLECTION PORTSIDE - STARBOARD
subplot hordiaA hordiaB
union hordiaA hordiaB hordia
delete_block hordiaA hordiaB
&set subt = UNION OF HORIZONTAL DIAGONAL BRACES
subplot hordia
union verdia1 verdia2 verdiaA
delete_block verdia1 verdia2
&set subt = UNION OF VERTICAL BRACES-A
subplot verdiaA
union verdia3 verdia4 verdiaB
delete_block verdia3 verdia4
&set subt = UNION OF VERTICAL BRACES-B
subplot verdiaB

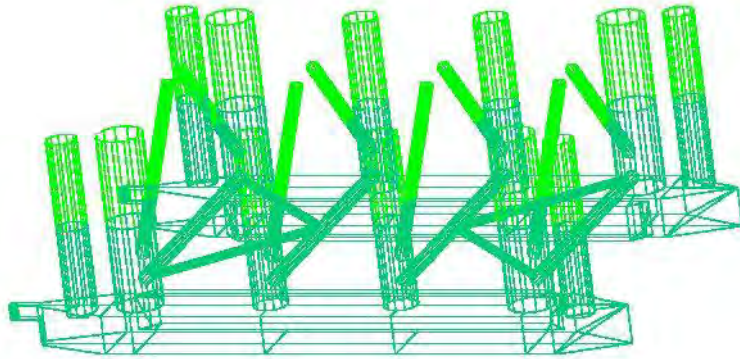
```

union verdiaA verdiaB verdia
delete_block verdiaA verdiaB
&set subt = UNION OF VERTICAL BRACES
subplot verdia
union horbrc hordia brc
delete_block horbrc hordia
&set subt = UNION OF ALL HORIZONTAL BRACES
subplot brc
union brc verdia allbrc
delete_block brc verdia
&set subt = UNION OF ALL BRACES
subplot allbrc
$
reflect_block allbrc allbrc_Port y
&set subt = reflection
subplot allbrc allbrc_Port
$
$-----Union Semisubmersible Finale-----
$
&subtitle
union pontoon pontoon_Port ALLpontoon
delete_block pontoon pontoon_Port
union sponson sponson_Port ALLsponson
delete_block sponson sponson_Port
union Kolom Kolom_Port ALLkolom
delete_block Kolom Kolom_Port
union allbrc allbrc_Port allbrace
delete_block allbrc allbrc_Port
$
union ALLpontoon ALLsponson 1
$

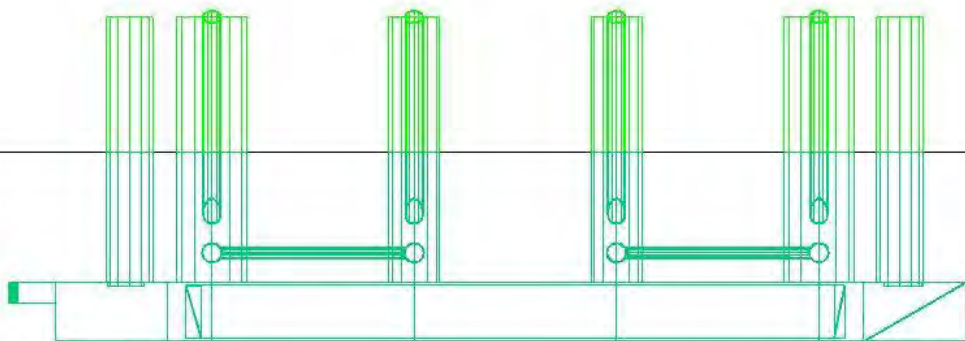
```

```
union ALLkolom 1 essar
$
union essar allbrace semisub
&set subt = Union Semisubmersible
suplot ALLpontoon ALLsponson ALLkolom allbrace 1 finale
$
&set subt = Union Semisubmersible FINALE
$suplot hull
$***** Emitting the meshing
rename semisub
&set subt = 'SEMI-SUBMERSIBLE ESSAR WILDCAT'
suplot semisub
emit semisub -body semisub
emit semisub -piece '-diftyp 3ddif'
$***** Finishing
end
&dimen -remember
&finis
```

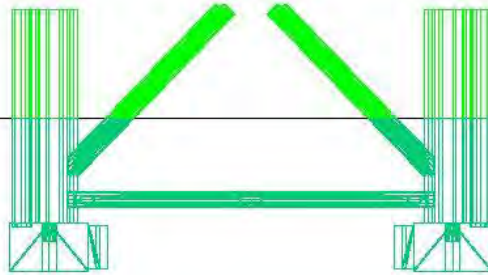
SEMI-SUMERSIBLE RAO MOTION
Engineer : RIZAL CESARIAH ERESTIO



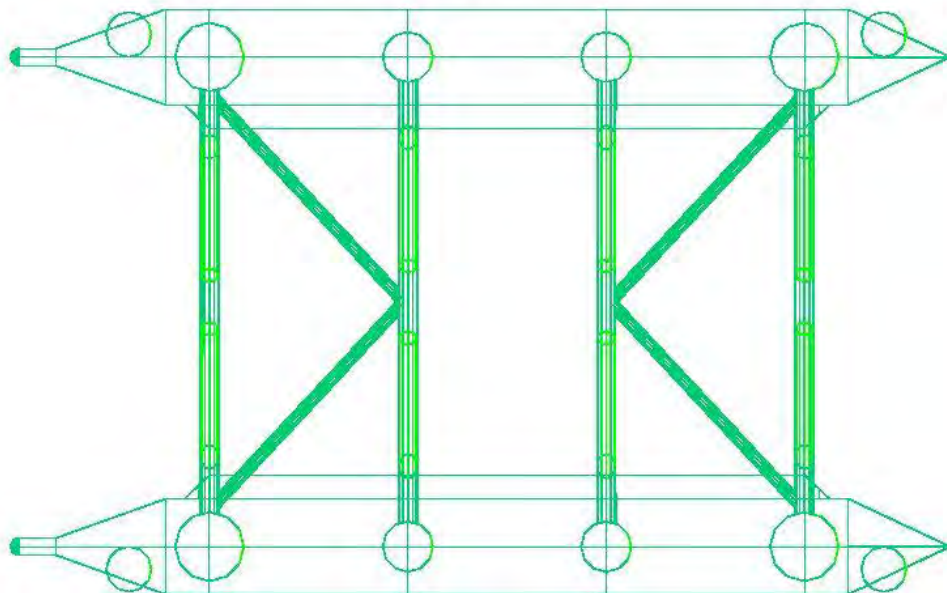
SEMI-SUMERSIBLE RAO MOTION
Engineer : RIZAL CESARIAH ERESTIO



SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
Engineer : RIZAL CESARIAH ERESTIO



SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
Engineer : RIZAL CESARIAH ERESTIO



INPUT RAO

&title SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
&subtitle Engineer : RIZAL CESARIAN ERESTIO
&devi -cecho yes -AUXIN essarfix.ppo -oecho no -PRIMA DEV

inmo

&DIMEN -DIMEN METERS M-TONS

&instate essar -condi 21.335 0.0 0.0

&weight -compute 17.83 17.83 54.58 51.59

\$

&pltmodel vessel
pic iso
pic starboard
pic bow
pic top
end

\$

hstati

\$

&stat -hard
&stat comp -h
&stat draft -h

END

\$ &EOFILE

\$

Hydro
\$¶ -m_dis 50
g_press ESSARFIX ESSSARFIXdb -speed 0.0 -heading 0 45 90 135 180

&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS

V_MDRIFT

REPORT

END

end

\$

freq_resp

rao -heading 0 45 90 135 180

\$

&subti VESSEL MOTIONS

&DIMEN -DIMEN METERS K-NTS

fp_std &BODY(CG) \$51.7 0 17.8

equ_sum

MATRICES -FILE YES

REPORT

END

&fini

+++ MEAN WAVE DRIFT FORCES FOR SEMISUB +++

Drift Name = ESSARFIX Heading = 0.00 Computed by Salvesen

Motion Factor = 0.0000 Force Factor = 1.0000

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (with No Factor) / (wave Amplitude)**2

ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.2513	25.000	2.6	0.0	9.6	37.7	-424.4	8.3
0.3142	20.000	1.0	0.0	34.3	84.7	-1582.1	20.4
0.3307	19.000	-1.5	0.0	43.5	100.9	-2017.2	25.7
0.3491	18.000	-6.1	0.0	54.6	120.5	-2536.7	33.1
0.3696	17.000	-13.7	0.0	66.7	143.5	-3109.5	43.1
0.3927	16.000	-24.6	0.0	77.9	169.9	-3656.1	56.0
0.4189	15.000	-36.5	0.0	85.8	200.4	-4085.9	70.7
0.4333	14.500	-41.1	0.0	88.4	218.2	-4263.2	78.2
0.4488	14.000	-43.9	0.0	90.8	238.9	-4450.2	86.0
0.4654	13.500	-44.5	0.0	94.0	263.3	-4693.8	94.9
0.4833	13.000	-42.7	0.0	99.1	292.6	-5045.0	106.3
0.5027	12.500	-39.4	0.0	106.9	328.9	-5549.1	122.6
0.5236	12.000	-34.8	0.0	119.2	362.8	-6282.0	158.8
0.5464	11.500	-30.3	0.0	135.3	399.1	-7220.5	192.0
0.5712	11.000	-24.8	0.0	152.0	397.2	-8220.7	217.9
0.5984	10.500	0.9	0.0	174.8	426.2	-9360.1	-48.5
0.6283	10.000	-22.1	0.0	212.5	542.9	-11744.0	133.7
0.6614	9.500	-43.3	0.0	243.1	607.6	-13652.4	219.8
0.6981	9.000	-69.9	0.0	261.3	630.5	-14692.4	406.4
0.7392	8.500	-87.9	0.0	258.8	460.8	-14259.4	574.0
0.7854	8.000	-99.6	0.0	250.8	191.8	-13372.3	426.2
0.8378	7.500	-92.9	0.0	247.1	214.1	-12833.6	266.8
0.8976	7.000	-86.5	0.0	258.5	201.9	-13430.8	128.1
0.9666	6.500	-96.7	0.0	253.6	110.3	-13731.5	-56.3
1.0472	6.000	-117.1	0.0	219.0	317.1	-12159.6	-477.5
1.1424	5.500	-99.1	0.0	185.9	644.2	-10168.3	-68.6
1.2566	5.000	-81.9	0.0	135.9	151.9	-7304.2	-522.2
1.3963	4.500	-43.0	0.0	119.8	565.5	-6087.3	-649.9
1.5708	4.000	-49.7	0.0	104.0	568.9	-5804.5	-522.6
2.0944	3.000	-19.9	0.0	46.3	236.0	-2777.8	-383.1

+++ MEAN WAVE DRIFT FORCES FOR SEMISUB +++

Drift Name = ESSARFIX Heading = 45.00 Computed by Salvesen

Motion Factor = 0.0000 Force Factor = 1.0000

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (with No Factor) / (wave Amplitude)**2

ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.2513	25.000	1.1	1.1	11.0	-19.3	-501.4	28.4
0.3142	20.000	-0.3	-0.3	36.9	-53.3	-1718.3	-59.4
0.3307	19.000	-2.0	-2.0	46.7	-64.3	-2174.5	-149.3
0.3491	18.000	-5.1	-5.1	58.5	-73.3	-2725.2	-308.1
0.3696	17.000	-10.3	-10.3	71.9	-71.4	-3348.0	-569.2
0.3927	16.000	-18.0	-18.0	85.2	-40.6	-3974.0	-944.0
0.4189	15.000	-27.2	-27.2	96.0	45.4	-4512.2	-1363.3
0.4333	14.500	-31.2	-31.2	100.2	115.3	-4746.1	-1536.3
0.4488	14.000	-34.3	-34.3	104.0	203.8	-4981.9	-1652.6
0.4654	13.500	-36.2	-36.2	108.2	308.2	-5258.1	-1694.7
0.4833	13.000	-36.6	-36.6	113.8	425.5	-5618.1	-1657.2
0.5027	12.500	-35.9	-35.9	121.4	543.9	-6106.8	-1559.2
0.5236	12.000	-34.0	-34.0	132.3	665.9	-6751.3	-1357.5
0.5464	11.500	-32.0	-32.0	146.5	792.0	-7592.6	-1144.4
0.5712	11.000	-30.5	-30.5	161.0	1102.1	-8601.2	-920.9
0.5984	10.500	-13.2	-13.2	176.4	1165.9	-9270.1	-122.1
0.6283	10.000	-16.4	-16.4	204.3	935.1	-11117.0	112.1
0.6614	9.500	-17.4	-17.4	234.1	560.0	-12846.1	451.5
0.6981	9.000	-32.1	-32.1	272.2	395.2	-15407.4	-515.4
0.7392	8.500	-54.5	-54.5	269.2	517.3	-15173.6	-2117.0
0.7854	8.000	-59.9	-59.9	282.9	25.5	-14519.1	-2528.7
0.8378	7.500	-59.4	-59.4	251.1	-255.2	-13556.0	-2718.1
0.8976	7.000	-55.7	-55.7	248.6	-220.3	-13365.7	-2681.2
0.9666	6.500	-50.9	-50.9	232.3	82.5	-12470.7	-2872.1
1.0472	6.000	-49.2	-49.2	221.5	190.4	-11520.4	-2594.1
1.1424	5.500	-56.1	-56.1	191.5	435.4	-10513.1	-3350.6
1.2566	5.000	-47.9	-47.9	132.2	947.5	-6831.6	-3136.0
1.3963	4.500	-32.4	-32.4	108.1	965.2	-5746.0	-2273.9
1.5708	4.000	-36.4	-36.4	85.9	1006.8	-4716.1	-2196.9
2.0944	3.000	-27.2	-27.2	39.1	680.2	-2471.5	-1922.0

+++ MEAN WAVE DRIFT FORCES FOR SEMISUB +++

Drift Name = ESSARFIX Heading = 90.00 Computed by Salvesen
 Motion Factor = 0.0000 Force Factor = 1.0000

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (with No Factor) / (wave Amplitude)**2

ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.2513	25.000	0.0	-0.6	12.3	-36.4	-578.9	-12.7
0.3142	20.000	0.0	-3.7	38.6	-102.4	-1819.4	-138.9
0.3307	19.000	0.0	-6.1	48.6	-122.7	-2281.2	-234.6
0.3491	18.000	0.0	-10.2	60.9	-139.1	-2847.6	-397.1
0.3696	17.000	0.0	-17.0	75.4	-137.9	-3514.1	-663.2
0.3927	16.000	0.0	-27.5	91.1	-93.4	-4241.3	-1059.5
0.4189	15.000	0.0	-41.2	106.0	25.1	-4959.2	-1550.6
0.4333	14.500	0.0	-48.4	112.6	115.4	-5303.9	-1791.1
0.4488	14.000	0.0	-55.1	118.7	223.0	-5648.8	-2000.1
0.4654	13.500	0.0	-60.9	124.8	341.1	-6015.7	-2158.5
0.4833	13.000	0.0	-65.5	131.3	462.5	-6431.4	-2255.6
0.5027	12.500	0.0	-68.5	138.9	567.4	-6932.6	-2285.9
0.5236	12.000	0.0	-70.6	148.4	697.3	-7534.1	-2247.1
0.5464	11.500	0.0	-71.8	158.9	796.6	-8234.0	-2208.9
0.5712	11.000	0.0	-73.4	176.7	1013.9	-9410.2	-2401.5
0.5984	10.500	0.0	-64.0	183.6	938.8	-9850.1	-2080.6
0.6283	10.000	0.0	-62.4	193.8	861.3	-10520.8	-2084.6
0.6614	9.500	0.0	-69.4	208.4	918.2	-10928.0	-2771.5
0.6981	9.000	0.0	-64.9	228.7	701.5	-11798.1	-2234.3
0.7392	8.500	0.0	-71.7	265.2	457.6	-14155.6	-2783.1
0.7854	8.000	0.0	-87.4	272.0	732.9	-14329.3	-3872.2
0.8378	7.500	0.0	-93.3	269.0	918.4	-14021.5	-4214.6
0.8976	7.000	0.0	-97.7	255.4	1366.3	-13097.3	-4306.4
0.9666	6.500	0.0	-92.4	222.1	1638.0	-11507.1	-4295.5
1.0472	6.000	0.0	-65.8	185.8	1031.3	-9099.6	-3521.2
1.1424	5.500	0.0	-41.4	174.0	1044.1	-7894.8	-1657.4
1.2566	5.000	0.0	-56.3	125.4	1536.3	-6294.1	-2823.5
1.3963	4.500	0.0	-32.3	83.7	977.9	-3247.3	-1876.9
1.5708	4.000	0.0	-38.9	58.1	1498.6	-2188.4	-2554.8
2.0944	3.000	0.0	-42.8	18.9	1150.7	-638.4	-2963.2

+++ MEAN WAVE DRIFT FORCES FOR SEMISUB +++

Drift Name = ESSARFIX Heading = 135.00 Computed by Salvesen
 Motion Factor = 0.0000 Force Factor = 1.0000

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (with No Factor) / (wave Amplitude)**2

ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.2513	25.000	1.7	-1.7	9.7	12.7	-437.2	-32.1
0.3142	20.000	5.0	-5.0	31.5	13.5	-1445.5	-121.7
0.3307	19.000	6.9	-6.9	39.6	17.1	-1813.3	-171.5
0.3491	18.000	9.7	-9.7	49.5	28.6	-2259.8	-248.6
0.3696	17.000	14.1	-14.1	61.1	58.5	-2780.4	-367.5
0.3927	16.000	20.5	-20.5	73.6	124.5	-3346.7	-540.0
0.4189	15.000	28.5	-28.5	85.4	244.0	-3911.8	-756.0
0.4333	14.500	32.7	-32.7	90.7	324.2	-4188.3	-865.5
0.4488	14.000	36.5	-36.5	95.7	414.7	-4468.5	-964.4
0.4654	13.500	39.8	-39.8	100.7	510.6	-4768.4	-1043.5
0.4833	13.000	42.2	-42.2	106.0	607.3	-5107.3	-1095.2
0.5027	12.500	43.6	-43.6	112.3	691.0	-5515.1	-1106.3
0.5236	12.000	44.3	-44.3	119.8	794.7	-5985.3	-1104.6
0.5464	11.500	43.8	-43.8	129.4	865.8	-6595.2	-1070.5
0.5712	11.000	39.9	-39.9	148.3	902.3	-7733.4	-818.1
0.5984	10.500	38.7	-38.7	149.0	742.1	-7865.1	-460.0
0.6283	10.000	42.3	-42.3	166.4	848.9	-8734.1	-805.9
0.6614	9.500	45.1	-45.1	194.8	1178.3	-10296.3	-874.0
0.6981	9.000	49.8	-49.8	211.5	1571.9	-11136.6	-1129.7
0.7392	8.500	56.4	-56.4	219.7	1721.9	-11216.6	-1481.7
0.7854	8.000	60.2	-60.2	219.0	1853.2	-11223.9	-1898.9
0.8378	7.500	55.6	-55.6	214.7	1458.4	-11026.5	-2190.1
0.8976	7.000	47.3	-47.3	215.4	986.6	-10746.5	-1964.3
0.9666	6.500	39.6	-39.6	215.0	958.8	-10438.3	-1432.0
1.0472	6.000	33.0	-33.0	196.8	1278.6	-9688.3	-1512.2
1.1424	5.500	27.4	-27.4	181.8	1177.5	-8362.1	-1954.9
1.2566	5.000	33.4	-33.4	148.5	892.2	-6357.7	-2111.8
1.3963	4.500	20.5	-20.5	94.9	448.0	-4163.1	-1373.2
1.5708	4.000	16.5	-16.5	64.7	480.1	-2630.1	-1443.3
2.0944	3.000	13.4	-13.4	43.8	217.6	-2280.4	-1015.9

+++ MEAN WAVE DRIFT FORCES FOR SEMISUB +++

Drift Name = ESSARFIX Heading = 180.00 Computed by Salvesen

Motion Factor = 0.0000 Force Factor = 1.0000

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

Mean Drift Force (with No Factor) / (wave Amplitude)**2

ENCOUNTER		TRANSLATION			ROTATION		
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
0.2513	25.000	2.9	0.0	7.3	40.9	-290.3	8.2
0.3142	20.000	7.9	0.0	25.4	96.4	-1083.8	15.1
0.3307	19.000	10.4	0.0	32.1	116.7	-1366.7	16.2
0.3491	18.000	14.1	0.0	40.1	141.8	-1703.9	16.0
0.3696	17.000	19.7	0.0	49.3	172.4	-2087.2	13.5
0.3927	16.000	27.3	0.0	59.0	207.7	-2492.3	7.2
0.4189	15.000	36.6	0.0	68.1	245.2	-2887.9	-2.5
0.4333	14.500	41.1	0.0	72.1	264.0	-3082.4	-7.3
0.4488	14.000	43.2	0.0	76.0	282.9	-3282.8	-10.9
0.4654	13.500	48.5	0.0	79.9	302.6	-3502.8	-12.1
0.4833	13.000	50.7	0.0	84.2	324.3	-3757.2	-10.1
0.5027	12.500	51.7	0.0	89.1	344.2	-4054.4	-3.2
0.5236	12.000	51.7	0.0	95.8	383.9	-4425.3	-8.7
0.5464	11.500	50.0	0.0	103.9	414.9	-4886.8	-1.9
0.5712	11.000	43.6	0.0	114.7	434.2	-5485.6	26.2
0.5984	10.500	52.9	0.0	105.9	282.7	-4922.7	-34.0
0.6283	10.000	56.7	0.0	126.3	345.6	-5771.7	31.6
0.6614	9.500	57.9	0.0	137.5	404.1	-6103.2	10.0
0.6981	9.000	64.1	0.0	141.0	436.8	-6060.1	-14.9
0.7392	8.500	66.2	0.0	147.4	443.6	-6351.6	-94.8
0.7854	8.000	60.6	0.0	153.9	335.0	-6497.4	-163.7
0.8378	7.500	50.1	0.0	172.9	229.9	-7357.9	-86.1
0.8976	7.000	56.1	0.0	185.6	195.5	-8140.9	-6.4
0.9666	6.500	46.0	0.0	192.6	246.2	-9100.5	-63.0
1.0472	6.000	53.4	0.0	214.2	79.0	-9408.8	-96.4
1.1424	5.500	90.0	0.0	187.7	-109.6	-7892.7	114.6
1.2566	5.000	67.5	0.0	129.8	265.3	-5415.4	224.5
1.3963	4.500	35.7	0.0	108.3	140.5	-4652.9	278.9
1.5708	4.000	26.1	0.0	104.5	236.6	-4975.1	-43.3
2.0944	3.000	23.5	0.0	47.3	6.6	-2222.1	294.5

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body SEMISUB AT X = 51.7 Y = 0.0 Z = 17.8

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge / wave Amp1.		Sway / wave Amp1.		Heave / wave Amp1.		Roll / wave Amp1.		Pitch / wave Amp1.		Yaw / wave Amp1.	
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase	Amp1.	Phase
0.2513	25.00	0.954	101	0.019	-92	0.596	8	0.136	37	0.121	-1	0.109	115
0.3142	20.00	0.879	112	0.030	-85	0.712	22	0.050	53	0.147	-33	0.111	119
0.3307	19.00	0.858	116	0.034	-83	0.707	25	0.045	58	0.166	-35	0.112	121
0.3491	18.00	0.832	119	0.039	-81	0.694	28	0.041	63	0.187	-36	0.113	123
0.3696	17.00	0.799	123	0.046	-79	0.672	31	0.040	68	0.212	-36	0.113	125
0.3927	16.00	0.756	128	0.055	-77	0.637	35	0.039	70	0.239	-35	0.113	127
0.4189	15.00	0.699	133	0.066	-74	0.586	40	0.041	70	0.268	-33	0.112	129
0.4333	14.50	0.664	137	0.073	-73	0.553	43	0.042	68	0.282	-33	0.110	130
0.4488	14.00	0.622	140	0.081	-73	0.514	47	0.044	65	0.294	-32	0.108	131
0.4654	13.50	0.574	144	0.090	-72	0.468	52	0.046	60	0.304	-31	0.105	132
0.4833	13.00	0.519	149	0.099	-72	0.420	59	0.049	54	0.310	-30	0.100	133
0.5027	12.50	0.458	155	0.109	-72	0.375	70	0.052	47	0.308	-29	0.093	134
0.5236	12.00	0.392	164	0.118	-73	0.346	84	0.055	40	0.296	-27	0.086	135
0.5464	11.50	0.330	175	0.126	-73	0.345	100	0.059	31	0.273	-24	0.075	137
0.5712	11.00	0.253	-168	0.132	-74	0.375	116	0.064	19	0.242	-21	0.068	141
0.5984	10.50	0.179	-147	0.139	-62	0.493	140	0.023	101	0.212	-16	0.057	142
0.6283	10.00	0.176	-131	0.155	-55	0.510	139	0.047	30	0.176	-5	0.044	148
0.6614	9.50	0.163	-99	0.144	-52	0.493	139	0.044	25	0.135	8	0.033	160
0.6981	9.00	0.136	-61	0.104	-44	0.451	142	0.039	45	0.103	29	0.034	143
0.7392	8.50	0.120	-22	0.097	-27	0.363	149	0.043	53	0.075	59	0.024	154
0.7854	8.00	0.107	29	0.081	-14	0.273	160	0.042	42	0.057	97	0.014	177
0.8378	7.50	0.114	81	0.064	7	0.198	177	0.033	71	0.047	119	0.008	170
0.8976	7.00	0.131	125	0.045	40	0.137	-156	0.030	105	0.030	115	0.014	-162
0.9666	6.50	0.109	168	0.028	69	0.091	-119	0.036	93	0.030	85	0.017	-145
1.0472	6.00	0.049	-153	0.016	118	0.048	-68	0.016	89	0.036	97	0.018	-112
1.1424	5.50	0.032	125	0.015	-179	0.034	24	0.017	-26	0.021	139	0.009	-54
1.2566	5.00	0.064	-167	0.011	-125	0.025	118	0.013	27	0.006	167	0.004	3
1.3963	4.50	0.014	-128	0.005	14	0.013	-134	0.015	-163	0.008	-135	0.014	16
1.5708	4.00	0.046	-84	0.006	-134	0.004	-54	0.005	-7	0.001	83	0.007	150
2.0944	3.00	0.003	-168	0.001	142	0.000	0	0.001	117	0.001	81	0.001	112

```

*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               2 April, 2016                               *
*                               *
* SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
* VESSEL MOTIONS
* Draft = 21.3 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 2.72 Meters
* Roll Gy. Radius = 17.8 Meters Pitch Gy. Radius = 54.6 Meters Yaw Gy. Radius = 51.6 Meters
* Heading = 45.00 Deg.         Forward Speed = 0.00 Knots       Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body SEMISUB AT X = 51.7 Y = 0.0 Z = 17.8

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge / wave Ampl.		Sway / wave Ampl.		Heave / wave Ampl.		Roll / wave Ampl.		Pitch / wave Ampl.		Yaw / wave Ampl.	
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.696	92	0.618	102	0.588	4	0.305	81	0.106	-1	0.073	140
0.3142	20.00	0.640	101	0.553	109	0.707	14	0.366	105	0.111	-39	0.079	148
0.3307	19.00	0.626	103	0.534	111	0.703	16	0.393	109	0.125	-42	0.082	150
0.3491	18.00	0.610	106	0.510	114	0.691	18	0.424	113	0.142	-44	0.085	153
0.3696	17.00	0.590	109	0.483	117	0.671	20	0.458	116	0.162	-45	0.088	157
0.3927	16.00	0.564	112	0.451	121	0.640	22	0.494	121	0.185	-46	0.090	160
0.4189	15.00	0.529	115	0.413	126	0.594	25	0.533	126	0.211	-46	0.091	164
0.4333	14.50	0.507	116	0.391	129	0.564	27	0.552	128	0.224	-46	0.091	166
0.4488	14.00	0.481	118	0.368	132	0.528	29	0.571	131	0.237	-46	0.090	168
0.4654	13.50	0.450	120	0.343	136	0.484	31	0.588	135	0.249	-46	0.088	171
0.4833	13.00	0.414	122	0.318	141	0.434	34	0.604	139	0.258	-47	0.085	174
0.5027	12.50	0.372	125	0.292	147	0.380	40	0.616	143	0.263	-47	0.080	178
0.5236	12.00	0.322	129	0.270	154	0.326	48	0.628	148	0.260	-47	0.076	-175
0.5464	11.50	0.272	134	0.249	161	0.285	60	0.638	155	0.248	-47	0.070	-167
0.5712	11.00	0.201	141	0.233	170	0.268	79	0.646	162	0.226	-48	0.065	-159
0.5984	10.50	0.137	145	0.188	177	0.308	114	0.715	170	0.207	-48	0.060	-148
0.6283	10.00	0.127	164	0.154	-169	0.332	111	0.696	179	0.175	-43	0.059	-133
0.6614	9.50	0.094	-160	0.132	-162	0.320	110	0.712	-171	0.138	-38	0.059	-124
0.6981	9.00	0.064	-124	0.104	-168	0.289	110	0.719	-163	0.097	-29	0.044	-119
0.7392	8.50	0.059	-82	0.067	-167	0.214	110	0.690	-153	0.051	-15	0.040	-103
0.7854	8.00	0.057	-54	0.035	-176	0.141	-112	0.621	-143	0.011	23	0.044	-97
0.8378	7.50	0.048	-26	0.023	138	0.076	112	0.505	-132	0.017	163	0.047	-92
0.8976	7.00	0.033	-1	0.019	120	0.037	99	0.368	-116	0.023	-151	0.041	-91
0.9666	6.50	0.021	4	0.014	-152	0.029	56	0.241	-90	0.030	-96	0.027	-67
1.0472	6.00	0.027	1	0.025	-93	0.036	59	0.159	-62	0.032	-56	0.025	1
1.1424	5.50	0.040	23	0.020	-38	0.031	79	0.083	-24	0.016	2	0.035	65
1.2566	5.00	0.020	52	0.002	-59	0.014	125	0.038	50	0.013	78	0.036	149
1.3963	4.50	0.022	-68	0.010	-79	0.010	-81	0.013	153	0.012	140	0.030	-125
1.5708	4.00	0.006	-179	0.003	-21	0.003	65	0.003	-14	0.004	-95	0.019	-26
2.0944	3.00	0.001	-57	0.003	108	0.001	-69	0.003	85	0.001	70	0.004	119

```

*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               2 April, 2016                               *
*                               *
* SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
* VESSEL MOTIONS
* Draft = 21.3 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 2.72 Meters
* Roll Gy. Radius = 17.8 Meters Pitch Gy. Radius = 54.6 Meters Yaw Gy. Radius = 51.6 Meters
* Heading = 90.00 Deg.         Forward Speed = 0.00 Knots       Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body SEMISUB AT X = 51.7 Y = 0.0 Z = 17.8

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge / wave Ampl.		Sway / wave Ampl.		Heave / wave Ampl.		Roll / wave Ampl.		Pitch / wave Ampl.		Yaw / wave Ampl.	
Frequency -(Rad/Sec)-	Period -(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2513	25.00	0.146	19	0.888	88	0.570	-3	0.376	72	0.098	5	0.026	-125
0.3142	20.00	0.102	23	0.805	87	0.701	-2	0.487	86	0.052	-4	0.021	-118
0.3307	19.00	0.097	26	0.780	87	0.700	-2	0.525	88	0.050	-7	0.019	-122
0.3491	18.00	0.093	29	0.790	86	0.693	-2	0.567	88	0.051	-12	0.018	-127
0.3696	17.00	0.092	33	0.714	85	0.680	-3	0.613	89	0.054	-18	0.016	-134
0.3927	16.00	0.094	35	0.672	85	0.659	-4	0.664	90	0.059	-26	0.014	-144
0.4189	15.00	0.100	36	0.621	84	0.629	-6	0.719	90	0.067	-35	0.011	-161
0.4333	14.50	0.105	36	0.592	83	0.608	-7	0.747	90	0.072	-41	0.010	-174
0.4488	14.00	0.110	34	0.559	82	0.583	-9	0.775	90	0.078	-47	0.009	168
0.4654	13.50	0.116	31	0.523	82	0.551	-11	0.803	90	0.085	-54	0.008	147
0.4833	13.00	0.123	27	0.482	81	0.512	-13	0.831	90	0.092	-62	0.008	120
0.5027	12.50	0.130	22	0.438	80	0.462	-16	0.853	91	0.100	-72	0.008	91
0.5236	12.00	0.136	14	0.391	79	0.401	-18	0.876	91	0.106	-82	0.009	71
0.5464	11.50	0.138	5	0.340	78	0.330	-20	0.893	91	0.109	-93	0.011	48
0.5712	11.00	0.146	-6	0.290	77	0.248	-18	0.906	92	0.106	-109	0.009	30
0.5984	10.50	0.158	-13	0.233	69	0.091	-10	0.936	95	0.110	-118	0.009	18
0.6283	10.00	0.125	-24	0.165	58	0.091	18	0.942	94	0.102	-125	0.006	-6
0.6614	9.50	0.117	-40	0.118	41	0.091	38	0.950	94	0.096	-134	0.003	-24
0.6981	9.00	0.120	-46	0.094	12	0.091	56	0.953	92	0.079	-140	0.013	82
0.7392	8.50	0.111	-56	0.115	-32	0.073	76	0.911	90	0.058	-146	0.007	109
0.7854	8.00	0.080	-63	0.175	-63	0.079	101	0.800	83	0.039	-150	0.009	107
0.8378	7.50	0.055	-74	0.236	-77	0.092	124	0.623	76	0.020	-126	0.015	67
0.8976	7.00	0.035	-66	0.264	-87	0.098	133	0.399	66	0.023	-82	0.014	30
0.9666	6.50	0.027	-49	0.252	-94	0.085	146	0.151	42	0.031	-83	0.012	-47
1.0472	6.00	0.024	-40	0.189	-96	0.064	163	0.058	-76	0.022	-105	0.014	-137
1.1424	5.50	0.015	-50	0.106	-89	0.043	169	0.113	-104	0.008	-74	0.013	163
1.2566	5.00	0.005	-2	0.021	-86	0.006	163	0.100	-94	0.007	-94	0.003	44
1.3963	4.50	0.012	59	0.044	93	0.015	8	0.050	-105	0.002	144	0.009	-169
1.5708	4.00	0.014	-31	0.021	95	0.012	-6	0.012	133	0.001	84	0.004	31
2.0944	3.00	0.001	142	0.002	174	0.001	41	0.005	-131	0.002	-140	0.004	-137


```

*
*                               *** MOSES ***
*                               -----
*                               2 April, 2016
*
* SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
* VESSEL MOTIONS
* Draft = 21.3 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 2.72 Meters
* Roll Gy. Radius = 17.8 Meters  Pitch Gy. Radius = 54.6 Meters  Yaw Gy. Radius = 51.6 Meters
* Heading = 135.00 Deg.         Forward Speed = 0.00 Knots     Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body SEMISUB At X = 51.7 Y = 0.0 Z = 17.8

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

ENCOUNTER		Surge / wave		Sway / wave		Heave / wave		Roll / wave		Pitch / wave		Yaw / wave	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
0.2513	25.00	0.597	-90	0.636	75	0.574	-10	0.270	48	0.117	6	0.081	-94
0.3142	20.00	0.550	-103	0.580	67	0.717	-18	0.341	63	0.111	29	0.083	-92
0.3307	19.00	0.531	-107	0.563	64	0.721	-20	0.369	62	0.121	29	0.082	-93
0.3491	18.00	0.508	-111	0.543	61	0.720	-23	0.400	61	0.132	28	0.080	-94
0.3696	17.00	0.480	-115	0.520	58	0.716	-26	0.434	59	0.145	25	0.077	-95
0.3927	16.00	0.446	-119	0.491	53	0.709	-31	0.473	56	0.158	21	0.074	-96
0.4189	15.00	0.403	-124	0.456	48	0.696	-36	0.514	52	0.170	14	0.069	-97
0.4333	14.50	0.379	-126	0.436	44	0.687	-40	0.537	50	0.175	9	0.066	-97
0.4488	14.00	0.353	-128	0.413	41	0.676	-44	0.559	47	0.178	4	0.062	-96
0.4654	13.50	0.325	-130	0.388	37	0.659	-49	0.583	44	0.179	-1	0.059	-94
0.4833	13.00	0.298	-131	0.359	32	0.635	-55	0.606	41	0.176	-8	0.056	-92
0.5027	12.50	0.273	-132	0.327	26	0.601	-61	0.627	36	0.167	-16	0.055	-88
0.5236	12.00	0.253	-132	0.291	21	0.555	-69	0.648	32	0.152	-24	0.055	-86
0.5464	11.50	0.240	-132	0.252	14	0.494	-77	0.664	26	0.132	-31	0.057	-84
0.5712	11.00	0.226	-131	0.213	8	0.417	-86	0.677	20	0.108	-35	0.058	-89
0.5984	10.50	0.196	-131	0.190	-3	0.321	-109	0.669	16	0.092	-44	0.057	-90
0.6283	10.00	0.182	-144	0.155	-20	0.235	-113	0.695	6	0.080	-51	0.056	-95
0.6614	9.50	0.175	-149	0.113	-37	0.164	-114	0.695	-3	0.062	-59	0.048	-101
0.6981	9.00	0.145	-151	0.069	-56	0.104	-111	0.681	-17	0.048	-66	0.035	-86
0.7392	8.50	0.111	-158	0.047	-105	0.080	-102	0.638	-35	0.029	-74	0.035	-90
0.7854	8.00	0.075	-169	0.045	-177	0.069	-94	0.539	-58	0.007	-78	0.040	-107
0.8378	7.50	0.042	173	0.044	136	0.052	-95	0.389	-82	0.007	47	0.039	-137
0.8976	7.00	0.018	143	0.026	113	0.034	-91	0.231	-104	0.015	33	0.025	175
0.9666	6.50	0.013	60	0.015	149	0.024	-86	0.130	-117	0.017	13	0.007	153
1.0472	6.00	0.022	18	0.025	156	0.025	-109	0.094	-135	0.012	-6	0.018	161
1.1424	5.50	0.026	-8	0.023	109	0.016	-142	0.069	179	0.009	-55	0.035	96
1.2566	5.00	0.017	-71	0.011	16	0.013	-175	0.031	102	0.005	-164	0.037	28
1.3963	4.50	0.000	0	0.011	-102	0.009	107	0.004	-20	0.002	-129	0.020	-46
1.5708	4.00	0.003	-135	0.002	-172	0.001	-66	0.010	105	0.001	176	0.014	-174
2.0944	3.00	0.001	-26	0.002	8	0.001	139	0.003	-31	0.002	4	0.002	5

```

*
*                               *** MOSES ***
*                               -----
*                               2 April, 2016
*
* SEMI-SUBMERSIBLE RAO MOTION
* VESSEL MOTIONS
* Draft = 21.3 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 2.72 Meters
* Roll Gy. Radius = 17.8 Meters  Pitch Gy. Radius = 54.6 Meters  Yaw Gy. Radius = 51.6 Meters
* Heading = 180.00 Deg.         Forward Speed = 0.00 Knots     Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Of Point On Body SEMISUB At X = 51.7 Y = 0.0 Z = 17.8

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and KN Unless Specified

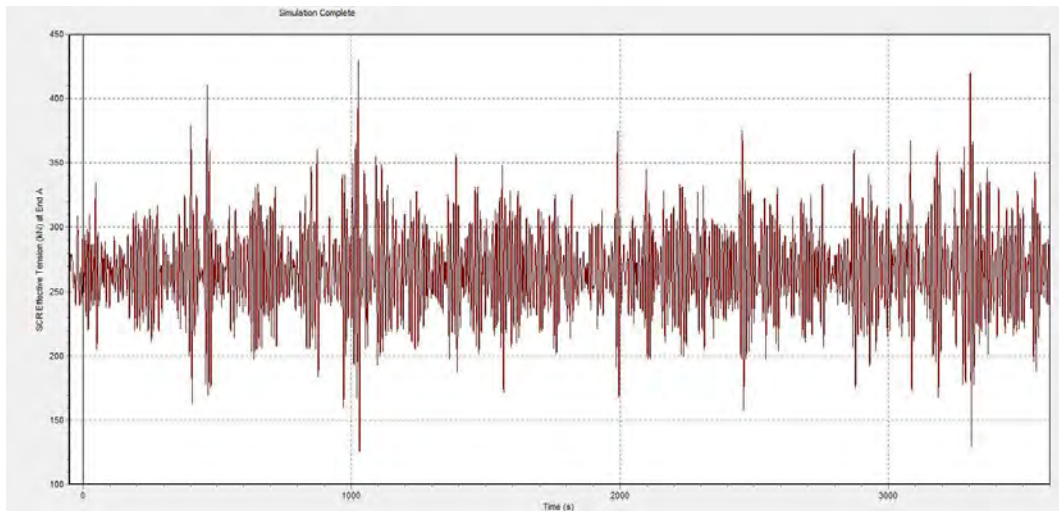
ENCOUNTER		Surge / wave		Sway / wave		Heave / wave		Roll / wave		Pitch / wave		Yaw / wave	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-												
0.2513	25.00	0.851	-100	0.010	83	0.588	-12	0.137	-25	0.126	2	0.089	-122
0.3142	20.00	0.787	-115	0.016	57	0.737	-24	0.046	-47	0.144	25	0.092	-134
0.3307	19.00	0.762	-119	0.018	50	0.743	-28	0.038	-52	0.159	24	0.092	-140
0.3491	18.00	0.731	-124	0.020	42	0.746	-31	0.031	-58	0.178	22	0.091	-146
0.3696	17.00	0.693	-130	0.023	33	0.747	-36	0.025	-65	0.198	18	0.091	-153
0.3927	16.00	0.645	-136	0.026	21	0.747	-41	0.019	-70	0.220	12	0.089	-163
0.4189	15.00	0.585	-144	0.029	6	0.744	-48	0.013	-67	0.242	4	0.087	-174
0.4333	14.50	0.550	-148	0.030	-2	0.742	-53	0.011	-58	0.252	0	0.085	-178
0.4488	14.00	0.510	-152	0.032	-13	0.737	-58	0.011	-42	0.260	-6	0.082	-171
0.4654	13.50	0.466	-156	0.033	-25	0.729	-64	0.014	-28	0.266	-13	0.079	-163
0.4833	13.00	0.419	-161	0.035	-40	0.715	-71	0.019	-25	0.267	-21	0.074	-154
0.5027	12.50	0.370	-165	0.035	-57	0.691	-80	0.026	-31	0.262	-30	0.068	-144
0.5236	12.00	0.322	-169	0.033	-79	0.654	-89	0.033	-42	0.249	-40	0.063	-134
0.5464	11.50	0.279	-172	0.032	-102	0.602	-100	0.041	-57	0.228	-49	0.054	-124
0.5712	11.00	0.227	-174	0.027	-131	0.533	-111	0.050	-77	0.201	-57	0.050	-118
0.5984	10.50	0.157	-178	0.024	-105	0.480	-136	0.047	-132	0.185	-68	0.044	-106
0.6283	10.00	0.134	170	0.027	-115	0.384	-147	0.054	-124	0.166	-78	0.037	98
0.6614	9.50	0.097	180	0.014	-148	0.300	-159	0.067	-148	0.146	-89	0.034	91
0.6981	9.00	0.064	-145	0.018	75	0.214	-176	0.077	179	0.123	-100	0.041	65
0.7392	8.50	0.086	-111	0.021	38	0.142	171	0.080	151	0.095	-113	0.035	50
0.7854	8.00	0.123	-112	0.023	5	0.089	166	0.079	118	0.065	-130	0.020	38
0.8378	7.50	0.154	-129	0.031	-30	0.079	164	0.065	75	0.039	-148	0.012	42
0.8976	7.00	0.152	-157	0.031	-83	0.072	129	0.052	27	0.013	-145	0.011	50
0.9666	6.50	0.110	172	0.025	-132	0.064	73	0.037	-45	0.021	-96	0.012	32
1.0472	6.00	0.055	150	0.017	-171	0.046	7	0.019	-132	0.021	-148	0.012	-8
1.1424	5.50	0.022	-170	0.011	146	0.037	-60	0.007	129	0.006	-169	0.002	-62
1.2566	5.00	0.059	157	0.007	85	0.029	-150	0.007	-21	0.006	148	0.003	13
1.3963	4.50	0.009	118	0.005	-115	0.014	110	0.009	-143	0.004	-156	0.008	-73
1.5708	4.00	0.047	79	0.003	41	0.004	-18	0.005	28	0.001	-51	0.003	-94
2.0944	3.00	0.002	-168	0.001	114	0.001	-91	0.001	72	0.001	89	0.002	115

LAMPIRAN C

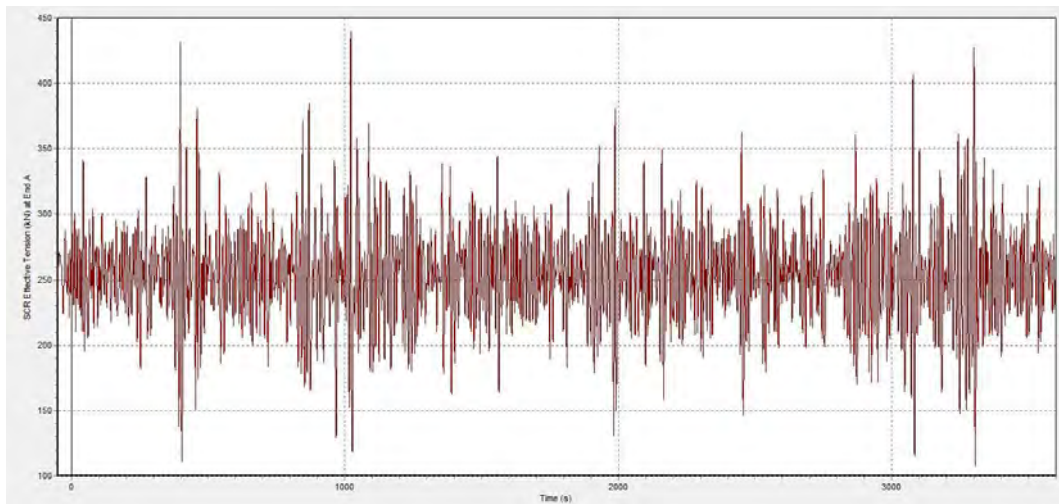
**OUTPUT TIME HISTORY
STEEL CATENARY RISER**

TOP TENSION

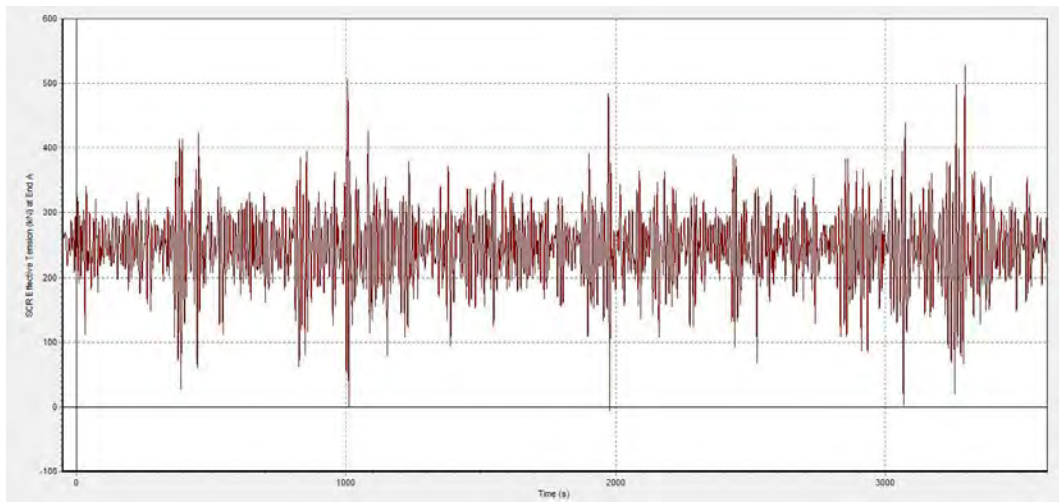
Top Tension 0°



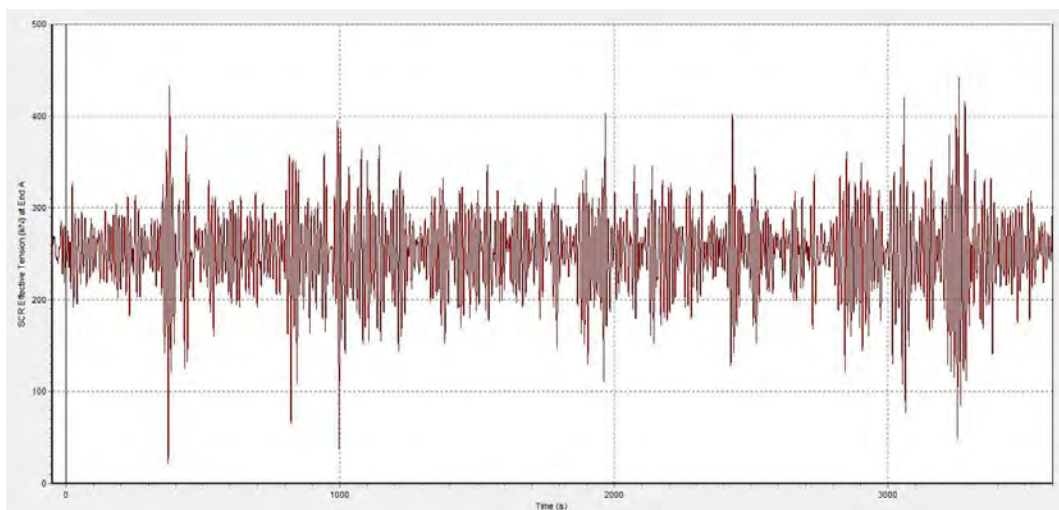
Top Tension 45°



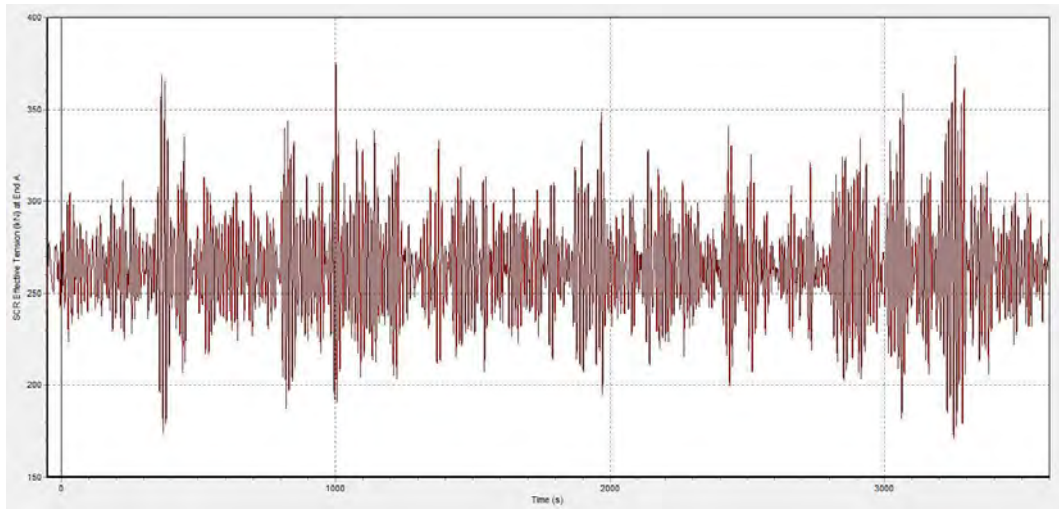
Top Tension 90⁰



Top Tension 135⁰



Top Tension 180⁰



LAMPIRAN D
ULTIMATE LIMIT STATE CHECK
DNV-OS-F201 DYNAMIC RISER

DESIGN BASIS

Outer Diameter	$OD = 0,508 \text{ mm}$
Nominal Thickness	$wt = 25,4 \text{ mm}$
Fabrication Tolerance	$t_{fab} = 1 \text{ mm}$
Corrosion allowance	$t_{corr} = 3 \text{ mm}$
Material Grade	X65
Young's Modulus	$E = 210 \text{ GPa}$
Poisson ratio	0,3
SMYS	$f_y = 448 \text{ mpa}$
SMTS	$f_u = 535 \text{ mpa}$
De-rating factor	$= 30 \text{ mpa}$
Design Pressure	$P_d = 200 \text{ bar}$
Design Depth	$Z = 90 \text{ m}$
Density Oil	$\rho_{oil} = 800 \text{ kg/m}^3$
Gravity	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Density Water	$\rho_{water} = 1025 \text{ kg/m}^3$
Temperature	$T = 100^{\circ}\text{C}$
Safety Class Resistance Factor	$Y_{SC} = 1,14 \text{ (Normal)}$
Material Resistance Factor	$Y_m = 1,15 \text{ (ULS)}$
Material Strength Factor	$\alpha_U = 1.00 \text{ (Supplementary Requirement U)}$
Manufacturing process reduction factor	$\alpha_{fab} = 0,85 \text{ (UOE)}$

PRESSURE LOAD

$$P_{ld} = p_d + \rho_i \cdot g \cdot h$$

$$P_{li} = p_{inc} + \rho_i \cdot g \cdot h$$

Local Incidental Pressure

$$P_{li} = 22863280 \text{ pa}$$
$$22,86328 \text{ mpa}$$

Local Internal Design Pressure

$$P_{ld} = 20863280 \text{ pa}$$
$$20,86328 \text{ mpa}$$

Hydrostatic Pressure (external pressure)

$$P_e = 904972,5 \text{ pa}$$
$$0,9049725 \text{ mpa}$$

Strain Hardening Parameter

$$\alpha_c = (1 - \beta) + \beta \cdot \frac{f_u}{f_y}$$

$$\beta = \begin{cases} (0.4 + q_h) & \text{for } D/t_2 < 15 \\ (0.4 + q_h)(60 - D/t_2)/45 & \text{for } 15 < D/t_2 < 60 \\ 0 & \text{for } D/t_2 > 60 \end{cases}$$

$$q_h = \begin{cases} \frac{(P_{ld} - P_e)}{P_b(t_2)} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} & \text{for } P_{ld} > P_e \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$$\beta = 0,79$$

$$q_h = 0,55$$

$$\alpha_c = 1,19$$

Burst Resistance

$$p_b(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2 \cdot t}{D-t} \cdot \min\left(f_y; \frac{f_u}{1.15}\right)$$

$$P_b = 41,33 \text{ MPa}$$

Force Resistance

M_k is the (plastic) bending moment resistance given by:

$$M_k = f_y \cdot \alpha_c \cdot (D - t_2)^2 \cdot t_2 \quad (5.25)$$

T_k is the plastic axial force resistance given by:

$$T_k = f_y \cdot \alpha_c \cdot \pi \cdot (D - t_2) \cdot t_2 \quad (5.26)$$

$$M_k = 2139810,56 \text{ kN.m}$$

$$T_k = 13836501,5 \text{ k}$$

KESIMPULAN

Dari studi yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan yang menjawab rumusan masalah di atas. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari pengerjaan tugas akhir ini :

- a) Konfigurasi statis *steel catenary riser* didapat berdasarkan perhitungan teori *catenary* yang menghasilkan *top tension*, *bottom tension*, *catenary constant*, *riser free span length* dan *horizontal distance from semi-submersible to touchdown* sebesar 218.35 kN, 56.512 kN, 31.428, 117.29 m, 63.723 m secara berurutan. Konfigurasi kemudian dimodelkan dengan software Orcaflex, yang mana terjadi perbedaan. Hal ini terjadi karena teori *catenary* mengabaikan faktor *bending stiffness*. Teori *catenary* dapat memodelkan SCR dengan cukup baik tetapi masih belum mampu menggambarkan kondisi yang sebenarnya.
- b) Diketahui bahwa *effective tension* terbesar terjadi pada bagian *top* atau *hang-off location*. *Tension* sebesar 302.519 kN diterima oleh *riser* dari arah pembebanan 0^0 , 292.098 kN dari arah pembebanan 45^0 , 302.831 kN dari arah pembebanan 90^0 , 297.509 kN dari arah pembebanan 135^0 dan 293.201 kN dari arah pembebanan 180^0 . *Bending moment* terbesar terjadi pada area *sagbend* dengan hasil untuk arah pembebanan 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 adalah 2585.164 kN.m, 2624.546 kN.m, 2522.115 kN.m, 2537.430 kN.m dan 2486.668 kN.m, secara berurutan.
- c) Kekuatan *steel catenary riser* tidak memenuhi *combined loading criteria*, ULS, DNV-OS-F201 yang mengharuskan hasil perhitungan kriteria kurang dari sama dengan satu. Nilai *utility* untuk arah pembebanan 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 dan 180^0 adalah 2.97, 3.01, 2.90, 2.92 dan 2.86 secara berurutan. Peninjauan tersebut dilakukan pada bagian *sagbend*, yang mana memiliki nilai *maximum von mises stress* tertinggi dibandingkan dengan bagian lainnya pada *riser*. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa terjadi kegagalan pada *steel catenary riser* di bagian *sagbend*.

d) Analisis sensitivitas dengan merubah parameter *floaters offset* membuktikan bahwa *steel catenary riser* sensitif terhadap perubahan *offset*. Perubahan *offset* dengan kondisi *far*, *mean*, dan *near* menyebabkan perubahan konfigurasi statis, *effective tension* dan *bending moment*. *Effective tension* pada *hang-off location* terbesar terjadi pada kondisi *far* dimana *riser* tertarik menjauh dari TDP. Sedangkan kondisi *near* membuat *riser* memiliki *bending moment* yang besar. Menjaga *floaters offset* dapat dilakukan dengan cara meningkatkan performa dari sistem dan konfigurasi *mooring*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2015. *Mobile Offshore Drilling Units*. Houston : American Bureau of Shipping.
- Agusta, A. 2012. *Analisis Ketebalan dan Konfigurasi Steel Catenary Riser di Laut Dalam*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Agusta, A. 2014. *Structural Design of Steel Catenary Riser with the Environmental Contour Line Method for Operation in Indonesian Water*. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology.
- API. 1998. *Recommended Practice 2RD: Design of Risers for Floating Production Systems (FPSs) and Tension-Leg Platforms (TLPs)*. USA : American Petroleum Institute.
- API. 1987. *Recommended Practice for The Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units*. USA : American Petroleum Institute.
- Bai, Y. dan Bai, Q. 2005. *Subsea Pipelines and Risers*. Houston : Elsevier.
- Bai, Y. dan Bai, Q. 2014. *Subsea Pipeline Design, Analysis, and Installation*. Houston : Elsevier.
- Bhattacharya, R. 1978. *Dynamic of Marine Vehicles*. New York : John Wiley & Sons.
- Buberg, T. 2014. *Design and Analysis of Steel Catenary Riser Systems for Deep Waters*. Trondheim : Norwegian University of Science and Technology.
- DNV. 2010. *Offshore Standard DNV-OS-F201: Dynamic Risers*. Hovik: Det Norsk Veritas.
- Djarmiko, E.B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya : ITS Press
- Gemilang, G. 2012. *Analisis Riser Interference Konfigurasi Steel Catenary Riser Pada Laut Dalam*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Herwanzah, F. 2015. *Analisis Tegangan Dinamis Flexible Riser Akibat Gerakan Semi-Submersible Pada Kondisi Operasi*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Howells, H. 1995. "Advances in Steel Catenary Riser Design". Aberdeen : Journal DEEPTEC.
- Keprate, A. 2014. *Appraisal of Riser Concept for FPSO in Deepwater*. Stavanger : University of Stavanger.

- Lee, J. 2007. *Introduction to Offshore Pipeline and Risers*. Houston: Technip USA.
- Nurwanto, T. 2012. *COBRA Riser Concept for Ultra Deepwater Condition*. Stavanger : University of Stavanger.
- Ruswandi, I. 2009. *Improvisation of Deepwater Weight Distributed Steel Catenary Riser* . Stavanger : University of Stavanger.
- Saglar, N., Toleman, B., Thethi, R. 2015. *Frontier Deepwater Developments-The Impact on Riser System Design in Water Depths Greater than 3,000 m*. Houston : Offshore Technology Conference.
- Sparks, C. 2007. *Fundamental of Marine Riser Mechanics :Basic Principles and Simplified Analysis*. Oklahoma: PennWell.
- Yue,B. ,Campbell,M. ,Walters,D., Thompson,H., dan Raghavan,K. 2010. *Improved SCR Design for Dynamic Vessel Application* .Shanghai : ASME 2010 29th International Conference.

BIODATA PENULIS



Rizal Cesarian Erestio lahir di Jember pada tanggal 6 Juni 1994. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dan menghabiskan masa kecil dan sekolahnya di kota Jakarta. Ia menyelesaikan pendidikan dasar di SDN 09 Pagi Siemens pada 2006 dan melanjutkan ke SMP Labschool Jakarta (2006-2009). Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas di SMAN 81 Jakarta (2012), penulis melanjutkan studi S1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Semasa perkuliahan penulis dikenal aktif mengikuti kegiatan-kegiatan kampus. Terpilih sebagai *Vice Project Officer* Ocean Exhibition and Competition 2014 (OCEANO), yang mana merupakan acara tahunan terbesar Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS, ia bersama 105 rekan panitia lainnya berhasil menyelenggarakan lomba robot bawah air (Underwater Robotic Competition) pertama dan terbesar di Indonesia. Selain kepanitian, penulis juga aktif di organisasi kampus, *Society of Petroleum Engineers* (SPE), dimana penulis menjabat sebagai *Head of Operational Department*. Ia bersama 55 rekan organisasi berhasil membawa SPE ITS *Student Chapter* meraih penghargaan *SPE Gold Standard Designation*, pengakuan dari SPE International sebagai salah satu *student chapter* terbaik di dunia. Pada tahun 2015 penulis mendapat kesempatan kerja praktek di PERTAMINA EP dan ditempatkan di divisi *Offshore Asset Integrity Management*, Fungsi *Surface Facilities*. Ketertarikan pada *subsea technology* membuat penulis mempelajari bidang keahlian perancangan dan produksi bangunan lepas pantai dan fokus pada teknologi *pipeline* dan *riser*.