



**TUGAS AKHIR – MO 184804**

**ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI *MOORING SYSTEM* TERHADAP  
*TENSION* PADA *FLEXIBLE RISER***

**Kunthi Ulfa Diatri Prabawani**  
**NRP. 0431154000099**

**Dosen Pembimbing:**  
**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.**  
**Ir. Murdjito, M.Sc., Ph.D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**  
**Fakultas Teknologi Kelautan**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya**  
**2019**



**FINAL PROJECT – MO 184804**

**EFFECT OF MOORING SYSTEM CONFIGURATION TO FLEXIBLE RISER  
TENSION**

**Kunthi Ulfa Diatri Prabawani**  
**NRP. 0431154000099**

**Supervisors:**

**Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.**  
**Ir. Murdjito, M.Sc., Ph.D.**

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT**  
**Faculty of Marine Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya**  
**2019**

**ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI *MOORING SYSTEM*  
TERHADAP *TENSION* PADA *FLEXIBLE RISER***

**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**


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

Oleh :

**KUNTHI ULFA DIATRI PRABAWANI**

NRP. 04311540000099

Disetujui oleh :

- 
1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. .... (Pembimbing 1)
2. Ir. Murdjito, M.Sc., Eng. .... (Pembimbing 2)
3. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc. .... (Penguji 1)
4. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng. .... (Penguji 2)
5. Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T. .... (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2019

**ANALISIS PENGARUH KONFIGURASI *MOORING SYSTEM*  
TERHADAP *TENSION* PADA *FLEXIBLE RISER***

Nama : Kunthi Ulfa Diatri Prabawani  
NRP : 04311540000099  
Departemen : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

**Abstrak**

FSO (*Floating Storage and Offloading*) merupakan salah satu jenis struktur bangunan lepas pantai terapung yang fungsinya sebagai penyimpanan sementara hidrokarbon sebelum disalurkan ke kapal tanker untuk dibawa ke fasilitas produksi di darat. Komponen penting yang digunakan sebagai penunjang operasi FSO yaitu sistem tambat (*mooring system*) dan *riser*. Sistem tambat digunakan untuk membatasi gerakan FSO dari beban lingkungan yang mengenainya. Sedangkan *riser* berfungsi untuk mengangkat hidrokarbon dari sumur untuk dibawa ke FSO. *Riser* yang sifatnya fleksibel dan memiliki kekakuan yang rendah dinamakan *flexible riser*. Dalam penelitian ini dilakukan analisis terhadap *tension flexible riser* dengan variasi konfigurasi *mooring system*. Variasi tersebut terdiri dari *spread mooring*, *conventional buoy mooring* (4 buoy), dan 2 variasi lainnya merupakan kombinasi antara *spread mooring* dan *conventional buoy mooring*. Berdasarkan analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini *mooring system* dengan konfigurasi 4 buoy mengakibatkan *tension flexible riser* paling besar yaitu 346 kN sedangkan *tension* paling kecil terjadi pada *flexible riser* dengan konfigurasi *spread mooring* yaitu sebesar 55 kN. FSO dengan konfigurasi 4 buoy (*conventional buoy mooring*) memiliki *offset* paling besar dan konfigurasi *spread mooring* memiliki *offset* paling kecil. *Riser* dengan tipe *lazy wave* memiliki *tension* lebih kecil daripada tipe *free hanging* dimana selisihnya 4 – 58%.

**Kata Kunci** : FSO, *mooring system*, *flexible riser*, *tension*, *bending radius*.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **EFFECT OF MOORING SYSTEM CONFIGURATION TO FLEXIBLE RISER TENSION**

Name : Kunthi Ulfa Diatri Prabawani  
NRP : 04311540000099  
Department : Ocean Engineering  
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.  
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

## **Abstract**

FSO (Floating Storage and Offloading) is a floating structure that function as hydrocarbons temporary storage from wells before distributed to tankers and carried to production facilities on shore. The important components used as supporting FSO operations are mooring systems and riser. Mooring systems used to limiting FSO movement due to environmental loads. Riser was carried out hydrocarbons from well to FSO. This study objectives is analysis effect of mooring system configurations to flexible riser tension. These variations consist of spread mooring, conventional buoy mooring (4 buoy), 2 other variations are combination of spread mooring and conventional buoy mooring. This analysis performs that mooring system with 4 buoys have largest flexible riser tension that is 346 kN while spread mooring have smallest flexible riser tension that is 55 kN. FSO with conventional buoy mooring configuration has largest offset and spread mooring configuration has smallest offset. Lazy wave type has smaller riser tension than free hanging type, the difference is 4 – 58%.

**Keyword** : FSO, *mooring system, flexible riser, tension, bending radius.*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas pertolongan dan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya, lancar dan tepat waktu. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW junjungan seluruh umat manusia.

Tugas Akhir ini berjudul “Analisis Pengaruh Konfigurasi *Mooring System* Terhadap *Tension* pada *Flexible Riser*”. Penyusunan tugas akhir ini dilakukan guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Kesarjanaan (S-1) Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautas (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS).

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak yang dapat meningkatkan kemampuan penulis, sehingga kedepannya bisa menjadi jauh lebih baik. Penulis mengharapkan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMAKASIH

Selesainya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari beberapa pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Mbak Weny, dan Mas Hafidh yang telah memberikan dukungan moral dan material serta doa, motivasi dan semangat yang tidak terhingga selama pengerjaan Tugas Akhir kepada penulis.
2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing I dan Ir. Murdjito, M.Sc. selaku dosen pembimbing II. Terimakasih atas bimbingan, ilmu, dan waktu yang diberikan kepada penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya.
3. Bapak dan Ibu dosen serta karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan, dukungan, dan fasilitas kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
4. Muchammad Faris Fatululloh, S.T, yang telah membagikan ilmunya kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Madea, Inneke, Gilrandi, Faris, Brian, Arief dan teman – teman di Laboratorium Hidrodinamika FTK ITS yang telah menjadi teman berjuang dan bertukar ilmu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Keluarga Tritonous dan sahabat – sahabat penulis khususnya Hindun, Novia, Nasyta, Oliv, Jesika, Fatthiyah, Vebri, Fateh, Risman, dan Aditya yang telah menemani dan berbagi motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Serta semua pihak yang telah turut membantu namun tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih atas segalanya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan masa perkuliahan tanpa kendala. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya dan membalas kebaikan yang telah diberikan.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

COVER .....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR .....	viii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka .....	6
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 FSO ( <i>Floating Storage and Offloading</i> ) .....	8
2.2.2 Sistem Tambat.....	9
2.2.3 Flexible Riser .....	10
2.2.4 Teori Gerak Kapal.....	11

2.2.5	Beban Lingkungan .....	12
2.2.6	RAO ( <i>Response Amplitude Operator</i> ) .....	15
2.2.7	Spektrum Gelombang.....	17
2.2.8	Respons Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	19
2.2.9	Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i> .....	19
2.2.10	<i>Tension</i> pada <i>Mooring Line</i> .....	20
2.2.11	<i>Tension</i> pada <i>Flexible Riser</i> .....	21
2.2.12	<i>Bending Radius</i> pada <i>Flexible Riser</i> .....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		24
3.1	Diagram Alur.....	24
3.2	Prosedur Penelitian.....	26
3.3	Data .....	27
3.3.1	Data Struktur .....	27
3.3.2	Data <i>Buoy</i> .....	28
3.3.3	Data <i>Mooring Chain</i> .....	28
3.3.4	Data <i>Mooring Line</i> .....	28
3.3.5	Data <i>Riser</i> .....	28
3.3.6	Data Lingkungan .....	29
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN .....		31
4.1	Pemodelan Struktur FSO Menggunakan Software Maxsurf.....	31
4.2	Pemodelan Struktur FSO Menggunakan Software MOSES .....	32
4.3	Validasi Pemodelan.....	33
4.4	Pemodelan Struktur Shuttle Tanker dengan Software Maxsurf.....	33
4.5	Pemodelan Struktur Shuttle Tanker dengan Software MOSES .....	35
4.6	Validasi Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> .....	36
4.7	Analisis Respon Gerak FSO Saat Tidak Tertambat .....	36

4.7.1	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Surge</i> .....	37
4.7.2	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Sway</i> .....	38
4.7.3	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Heave</i> .....	40
4.7.4	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Roll</i> .....	41
4.7.5	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Pitch</i> .....	43
4.7.6	<i>Response Amplitude Operator (RAO) Yaw</i> .....	44
4.8	<i>Pemodelan Mooring System Menggunakan Software Orcaflex</i> .....	45
4.9	<i>Analisis Tension Maksimum pada Mooring Line</i> .....	50
4.9.1	<i>Analisis Tension Mooring Line Heading 0°</i> .....	50
4.9.2	<i>Analisis Tension Mooring Line Heading 45°</i> .....	53
4.9.3	<i>Analisis Tension Mooring Line Heading 90°</i> .....	55
4.9.4	<i>Analisis Tension Mooring Line Heading 135°</i> .....	58
4.9.5	<i>Analisis Tension Mooring Line Heading 180°</i> .....	60
4.9.6	<i>Analisis Offset FSO</i> .....	63
4.10	<i>Pemodelan Riser Dengan Software Orcaflex</i> .....	65
4.11	<i>Analisis Tension Maksimum dan Bending Radius pada Riser</i> .....	66
4.11.1	<i>Maximum Tension Riser Heading 0°</i> .....	66
4.11.2	<i>Maximum Tension Riser Heading 45°</i> .....	68
4.11.3	<i>Maximum Tension Riser Heading 90°</i> .....	69
4.11.4	<i>Maximum Tension Riser Heading 135°</i> .....	70
4.11.5	<i>Maximum Tension Riser Heading 180°</i> .....	71
4.11.6	<i>Analisis Minimum Bending Radius</i> .....	72
BAB V PENUTUP .....		74
5.1	Kesimpulan .....	74
5.2	Saran .....	74
DAFTAR PUSTAKA .....		75

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> FSO dengan <i>Flexible Riser</i> .....	1
<b>Gambar 1.2</b> Ilustrasi Variasi Konfigurasi <i>Mooring System</i> .....	2
<b>Gambar 2.1</b> Ilustrasi Variasi Konfigurasi <i>Mooring System</i> .....	7
<b>Gambar 2.2</b> FSO Belida .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Konfigurasi <i>Flexible Riser</i> .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Enam Mode Gerakan Kapal.....	11
<b>Gambar 2.5</b> Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung.....	16
<b>Gambar 2.6</b> Vessel ditambatkan dengan satu <i>mooring line</i> .....	20
<b>Gambar 2.7</b> <i>Basic Bend Parameters</i> .....	22
<b>Gambar 4.1</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Depan dengan Software Maxsurf	31
<b>Gambar 4.2</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Samping dengan Software Maxsurf.....	32
<b>Gambar 4.3</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Atas dengan Software Maxsurf...	32
<b>Gambar 4.4</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Depan dengan Software MOSES	32
<b>Gambar 4.5</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Samping dengan Software MOSES .....	33
<b>Gambar 4.6</b> Pemodelan FSO Belida Tampak Atas dengan Software MOSES ...	33
<b>Gambar 4.7</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Depan dengan Software Maxsurf.....	34
<b>Gambar 4.8</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Samping dengan Software Maxsurf.....	34
<b>Gambar 4.9</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Atas dengan Software Maxsurf.....	35
<b>Gambar 4.10</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Depan dengan Software MOSES .....	35

<b>Gambar 4.11</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Samping dengan Software MOSES .....	35
<b>Gambar 4.12</b> Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> Tampak Atas dengan Software MOSES .....	36
<b>Gambar 4.13</b> RAO Gerakan Surge FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> ) .....	37
<b>Gambar 4.14</b> RAO Gerakan Surge FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> )...	37
<b>Gambar 4.15</b> RAO Gerakan Sway FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> )	38
<b>Gambar 4.16</b> RAO Gerakan Surge FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> )...	39
<b>Gambar 4.17</b> RAO Gerakan <i>Heave</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> ) .....	40
<b>Gambar 4.18</b> RAO Gerakan <i>Heave</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> )..	40
<b>Gambar 4.19</b> RAO Gerakan <i>Roll</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> ) .	41
<b>Gambar 4.20</b> RAO Gerakan <i>Roll</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> ) .....	42
<b>Gambar 4.21</b> RAO Gerakan <i>Pitch</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> )	43
<b>Gambar 4.22</b> RAO Gerakan <i>Pitch</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> )....	43
<b>Gambar 4.23</b> RAO Gerakan <i>Yaw</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Full Load</i> ) .	44
<b>Gambar 4.24</b> RAO Gerakan <i>Yaw</i> FSO Saat <i>Free Floating</i> (Kondisi <i>Ballast</i> ) .....	45
<b>Gambar 4.25 (a)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 1 Tampak Atas .....	46
<b>Gambar 4.25 (b)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 1 Tampak Samping .....	47
<b>Gambar 4.25 (c)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 2 Tampak Atas .....	47
<b>Gambar 4.25 (d)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 2 Tampak Samping.....	48
<b>Gambar 4.25 (e)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 3 Tampak Atas.....	48
<b>Gambar 4.25 (f)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 3 Tampak Samping .....	49
<b>Gambar 4.25 (g)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 4 Tampak Atas .....	49
<b>Gambar 4.25 (h)</b> Konfigurasi <i>mooring system</i> Variasi 4 Tampak Samping .....	50
<b>Gambar 4.26 (a).</b> Grafik <i>Offset</i> FSO Pembebanan 0°.....	63



<b>Gambar 4.26 (b).</b> Grafik <i>Offset</i> FSO Pembebanan $45^\circ$ .....	63
<b>Gambar 4.26 (c).</b> Grafik <i>Offset</i> FSO Pembebanan $90^\circ$ .....	64
<b>Gambar 4.26 (d).</b> Grafik <i>Offset</i> FSO Pembebanan $135^\circ$ .....	64
<b>Gambar 4.26 (e).</b> Grafik <i>Offset</i> FSO Pembebanan $180^\circ$ .....	64
<b>Gambar 4.27</b> Pemodelan <i>Riser</i> Tampak Samping pada Software <i>Orcaflex</i> .....	66
<b>Gambar 4.28 (a)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Stand Alone</i> .....	67
<b>Gambar 4.28 (b)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Offloading</i> .....	67
<b>Gambar 4.29 (a)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Stand Alone</i> .....	68
<b>Gambar 4.29 (b)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Offloading</i> .....	68
<b>Gambar 4.30 (a)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Stand Alone</i> .....	69
<b>Gambar 4.30 (b)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Offloading</i> .....	69
<b>Gambar 4.31 (a)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Stand Alone</i> .....	70
<b>Gambar 4.31 (b)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Offloading</i> .....	70
<b>Gambar 4.32 (a)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Stand Alone</i> .....	71
<b>Gambar 4.32 (b)</b> Grafik <i>Tension Riser</i> Kondisi FSO <i>Offloading</i> .....	71

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum .....	18
<b>Tabel 3.1</b> Data Struktur FSO .....	27
<b>Tabel 3.2</b> Data Struktur <i>Buoy</i> .....	28
<b>Tabel 3.3</b> Data <i>Mooring Chain</i> .....	28
<b>Tabel 3.4</b> Data <i>Mooring Line</i> .....	28
<b>Tabel 3.5</b> Data Properties <i>Riser</i> .....	29
<b>Tabel 3.6</b> Data Properties <i>Floater</i> .....	29
<b>Tabel 3.7</b> Data Angin Perairan Natuna.....	29
<b>Tabel 3.8</b> Data Arus Perairan Natuna.....	30
<b>Tabel 3.9</b> Data Gelombang Perairan Natuna.....	30
<b>Tabel 4.1</b> <i>Principal Dimension</i> FSO Belida.....	31
<b>Tabel 4.2</b> Validasi Pemodelan FSO .....	33
<b>Tabel 4.3</b> <i>Principal Dimension</i> dari <i>Shuttle Tanker</i> .....	34
<b>Tabel 4.4</b> Validasi Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i> .....	36
<b>Tabel 4.5</b> Geometri Struktur FSO .....	46
<b>Tabel 4.6</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 1 .....	51
<b>Tabel 4.7</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 2.....	51
<b>Tabel 4.8</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 3.....	52
<b>Tabel 4.9</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 4.....	52
<b>Tabel 4.10</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 1 .....	53
<b>Tabel 4.11</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 2.....	54
<b>Tabel 4.12</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 3.....	54
<b>Tabel 4.13</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 4.....	55
<b>Tabel 4.14</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 1 .....	56

<b>Tabel 4.15</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 2 .....	56
<b>Tabel 4.16</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 3 .....	57
<b>Tabel 4.17</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 4 .....	57
<b>Tabel 4.18</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 1 .....	58
<b>Tabel 4.19</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 2 .....	59
<b>Tabel 4.20</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 3 .....	59
<b>Tabel 4.21</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 4 .....	60
<b>Tabel 4.22</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 1 .....	61
<b>Tabel 4.23</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 2 .....	61
<b>Tabel 4.24</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 3 .....	62
<b>Tabel 4.25</b> Ringkasan Hasil <i>Tension Mooring Line</i> FSO Variasi 4 .....	62
<b>Tabel 4.26</b> Ringkasan Hasil <i>Offset Vessel</i> .....	65
<b>Tabel 4.27</b> Koordinat Lokasi <i>Riser</i> .....	65
<b>Tabel 4.28</b> Hasil <i>Minimum Bending Radius Riser</i> pada Kondisi <i>Stand Alone</i> .....	72
<b>Tabel 4.29</b> Hasil <i>Minimum Bending Radius Riser</i> pada Kondisi <i>Offloading</i> .....	72

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A** Hasil Output RAO FSO MOSES Kondisi Maksimum Draft

**LAMPIRAN B** Hasil Output RAO FSO MOSES Kondisi Mainimum Draft

**LAMPIRAN C** Hasil Output RAO Shuttle Tanker MOSES Kondisi

Maksimum Draft

**LAMPIRAN D** Hasil Maksimum Tension Riser

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi akan minyak dan gas bumi semakin meningkat yang menyebabkan industri-industri minyak dan gas bumi mengembangkan teknologi eksplorasi, eksploitasi maupun produksi. Kegiatan eksplorasi dan eksploitasi tidak hanya dilakukan pada perairan dangkal namun juga dilakukan pada perairan dalam yang memiliki tingkat keganasan lingkungan yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan pengembangan teknologi perancangan bangunan lepas pantai baik itu struktur terpancang (*fixed structure*) maupun struktur terapung (*floating structure*).

FSO (*Floating Storage and Offloading*) merupakan salah satu jenis dari struktur bangunan lepas pantai terapung (*floating structure*). Fungsinya yaitu melakukan penyimpanan minyak mentah sementara yang nantinya akan disalurkan ke *shuttle tanker* atau kapal lainnya untuk dibawa ke tempat produksi. Pada FSO terdapat beberapa komponen yang sangat penting yaitu seperti *mooring system* dan *riser*.

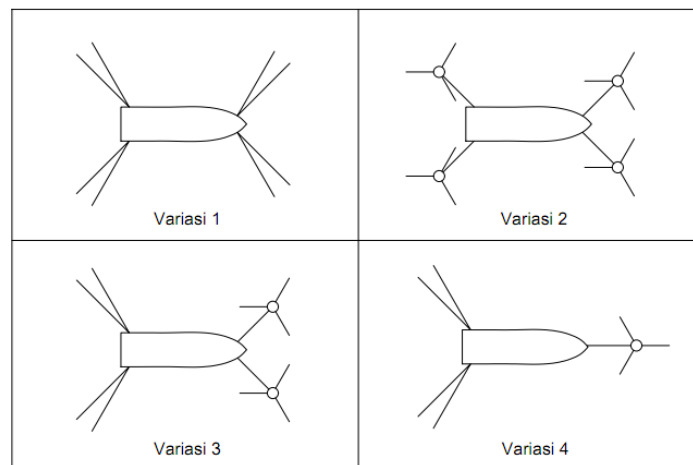


**Gambar 1.1** FSO dengan *Flexible Riser*  
(Sun Liping, 2011)

Sistem tambat (*mooring system*) digunakan untuk membatasi gerakan struktur terapung akibat beban lingkungan yang mengenainya. Sistem tambat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *spread mooring*, *single point mooring*, dan

*dynamic positioning* (API RP 2SK). *Spread Mooring* merupakan sistem tambat sederhana yang menimbulkan gerakan pada struktur terapung relatif kecil. *Conventional Buoy Mooring* juga disebut *multi buoy mooring*, *multi leg anchor*, atau *spread mooring* dengan tambahan *buoy* dimana *vessel* ditambatkan pada *buoy* dan *buoy* ditambatkan ke *seabed*.

*Riser* digunakan untuk mengangkut *hydrocarbon* dari sumur (*wellhead*) untuk dibawa ke fasilitas produksi atau penyimpanan yang ditempatkan di permukaan laut (DNV OSS 302). *Flexible Riser* merupakan salah satu jenis riser yang sifatnya fleksibel dengan kekakuan lentur yang rendah (Bai, 2005). Pada *floating structure*, *flexible riser* di desain dengan sedemikian rupa agar mampu bertahan pada kondisi beban lingkungan yang mengenainya (Wijaya, 2012). Terdapat beberapa konfigurasi *flexible riser* yang dapat digunakan diantaranya, *free hanging catenary*, *lazy wave*, *steep wave*, *lazy S*, *steep wave*, dan *pliant wave*.



**Gambar 1.2** Ilustrasi Variasi Konfigurasi *Mooring System*

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan analisis terhadap besarnya *tension* maksimum dan minimum *bending radius* akibat beban dinamis pada *flexible riser* dengan variasi konfigurasi *mooring system* FSO. Konfigurasi *mooring system* yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu, konfigurasi pertama FSO ditambat dengan *spread mooring*. Konfigurasi kedua yaitu menggunakan sistem tambat *conventional buoy mooring*. Konfigurasi ketiga, bagian depan ditambat dengan 2 *buoy* dan belakang FSO ditambat dengan

*spread mooring*. Konfigurasi keempat yaitu bagian depan ditambat dengan 1 *buoy* dan bagian belakang ditambat dengan *spread mooring*. Ilustrasi dari variasi konfigurasi *mooring system* sesuai Gambar 1.2. Tipe *flexible riser* yang digunakan dalam analisis tugas akhir ini yaitu *free hanging catenary* dan *lazy wave*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar *tension* maksimum yang terjadi pada *mooring line* dengan variasi konfigurasi sistem tambat?
2. Berapa besar *tension* maksimum dan *bending radius* yang terjadi pada *flexible riser* dengan variasi konfigurasi sistem tambat?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui besar *tension* maksimum yang terjadi pada *mooring line* dengan variasi konfigurasi sistem tambat.
2. Mengetahui besar *tension* maksimum dan *bending radius* yang terjadi pada *flexible riser* dengan variasi konfigurasi sistem tambat.

## 1.4 Manfaat

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat mengetahui informasi mengenai besar *tension* maksimum yang terjadi pada *mooring line* pada setiap variasi konfigurasi serta mengetahui *tension* maksimum dan minimum *bending radius* yang terjadi pada *flexible riser* dari setiap variasi konfigurasi sistem tambat.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini adalah:

1. Validasi pemodelan FSO pada kondisi *full load* dan *ballast*.
2. Beban lingkungan yang digunakan adalah beban gelombang, angin, dan arus.

3. Beban lingkungan diasumsikan *collinier*.
4. Analisis yang dilakukan pada *mooring system* menggunakan 4 variasi konfigurasi.
5. *Flexible riser* menggunakan tipe *free hanging* dan *lazy wave*.
6. Kondisi *seabed* dianggap datar dan jangkar dianggap mampu menerima beban yang bekerja serta tidak mengalami perpindahan.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisa laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### 1. Pendahuluan

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam penulisan tugas akhir ini, manfaat yang diperoleh, ruang lingkup yang membatasi analisa yang dilakukan serta sistematika penulisan laporan dalam tugas akhir ini.

### 2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian tugas akhir ini. Sumber yang didapatkan dari jurnal penelitian, buku-buku dan *rules/code* yang berkaitan dengan topik teknologi kelautan serta mendukung dalam penelitian tugas akhir ini.

### 3. Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, bagaimana langkah-langkah pengerjaan dalam menyelesaikan tugas akhir ini, serta metode-metode yang digunakan.

### 4. Analisis Hasil dan Pembahasan

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data dan analisis berdasarkan metodologi penelitian. Hasil analisis yang dibahas dalam bab ini yaitu, hasil pemodelan FSO dan respon geraknya, hasil pemodelan *mooring system*, hasil *tension mooring line* dan besar *tension* maksimum serta minimum *bending radius flexible riser*.



## 5. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari analisis yang difokuskan dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan yang terdapat pada rumusan masalah. Serta memberikan saran-saran untuk penelitian selanjutnya agar menghasilkan suatu pengembangan baru atau penelitian yang lebih mendalam sesuai topik yang relevan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

*Flexible Pipe* diperkenalkan sebagai salah satu produk lepas pantai pada awal tahun tujuh puluhan, namun *flexible riser* baru ditetapkan dan dipasang pertama kali di Enchova *field* di lepas pantai Brasil pada tahun 1980 sebagai bagian dari sistem produksi terapung. *Flexible riser* merupakan komponen penting dalam kegiatan lepas pantai karena digunakan sebagai sarana untuk mentransfer fluida dari *subsea units* ke *floating platform* atau *buoy*. *Riser* mengakomodasi gerakan *floating platform* dan beban-beban hidrodinamis dengan menjadi fleksibel (Nielsen R. et.al, 1992).

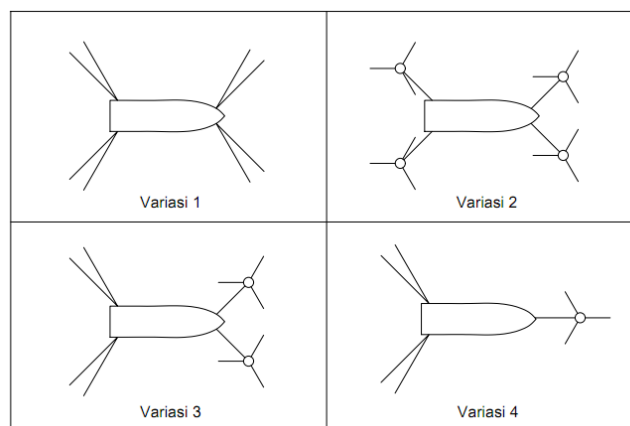
Penelitian mengenai *flexible riser* telah dilakukan beberapa peneliti antara lain oleh Sun, Liping dan Qi Bo (2011) telah melakukan penelitian mengenai analisis global *flexible riser*. Analisis ini dilakukan untuk memperoleh karakteristik statis dan dinamis *flexible riser* menggunakan metode lumped mass. *Flexible Riser* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan konfigurasi jenis *steep wave* dengan *buoyancy module*. Hasil dari penelitian tersebut, dengan adanya *buoyancy module* menunjukkan bahwa *flexible riser* menjadi tidak sensitif terhadap arus laut dan tegangan *von misses* menjadi berkurang.

Wijaya, Sufyan (2012) melakukan analisis terhadap besarnya tegangan maksimum akibat beban dinamis dan *minimum bending radius* pada *flexible riser* dalam menerima pembebanan pada kondisi *fully loaded* dan *ballast*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi panjang *flexible riser* sangat berpengaruh terhadap tegangan maksimum dan *minimum bending radius* yang terjadi pada *flexible riser*.

Permana, Satria (2013) telah melakukan penelitian terhadap kekuatan *riser* pada *Single Buoy Mooring FPSO* saat kondisi *far side* dan *near side*. Penelitian ini membahas ketika FPSO melakukan *offloading*, FPSO ditambatkan dengan *Single Buoy Mooring (SBM)* dengan memakai *catenary mooring leg*. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan tegangan maksimum

yang terjadi pada *flexible riser* kondisi *far side* dan *near side* tidak terlalu signifikan.

Beberapa penelitian yang membahas mengenai *flexible riser* juga dilakukan oleh Dian Fiddini (2017) mengenai analisa *tension flexible riser* dengan variasi jumlah *mooring line*, hasilnya semakin banyak jumlah *mooring line* efek pada *tension riser* semakin kecil. Songcheng Li (2010), melakukan penelitian Respons Dinamis *Lazy Wave Catenary Riser* dan membandingkan dengan tipe *Simple Catenary Riser* yang hasilnya menunjukkan bahwa kekuatan dan *fatigue* LWR lebih baik. Yu-Hu Rho (2013) menganalisa stabilitas *riser* pada FPSO dengan kondisi lingkungan yang ekstrim dan menyimpulkan bahwa *tension* yang terjadi pada saat kondisi lingkungan ekstrim sangat besar serta tipe, ukuran dan panjang *riser* berpengaruh terhadap besar *tension* dan *bending moment*. J.M. Heurtier (2001), memfokuskan penelitian mengenai *coupled dynamic response* terhadap *mooring* FPSO dan *riser*. N. Ismail et.al (1992) melakukan penelitian mengenai analisis *riser* tipe *free hanging* dengan variasi kedalaman. Hasil penelitian tersebut menunjukkan *riser* di perairan dangkal mengalami *tension* lebih besar akibat gerakan *heave vessel* dan *tension* mengalami penurunan ketika ditambah dengan *buoy*. Shangzan Li (2014), membahas mengenai analisis respons *Steel Lazy Wave Riser* di perairan Gulf Of Mexico dengan mempertimbangkan material *Bouyancy Module*, panjang total *riser*, dan rasio gaya apung.



**Gambar 2.1** Ilustrasi Variasi Konfigurasi *Mooring System*

Pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis *tension* maksimum dan minimum *bending radius* pada *flexible riser* dengan variasi konfigurasi *mooring system*. Terdapat 4 variasi konfigurasi *mooring system* yang akan dianalisis yaitu, konfigurasi pertama FSO ditambat dengan *spread mooring*. Konfigurasi kedua bagian depan dan belakang ditambat dengan 2 *buoy*. Konfigurasi ketiga, bagian depan ditambat dengan 2 *buoy* dan belakang FSO ditambat dengan *spread*. Konfigurasi keempat yaitu bagian depan FSO ditambat dengan 1 *buoy* dan bagian belakang ditambat dengan *spread*. Variasi konfigurasi diilustrasikan pada Gambar 2.1. Tipe *flexible riser* yang akan digunakan pada tugas akhir ini yaitu *free hanging* dan *lazy wave*.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 FSO (*Floating Storage and Offloading*)

Penemuan reservoir minyak dan gas di lepas pantai menyebabkan peningkatan untuk fasilitas utama dan pendukung. Saat ini sudah ada 23 fasilitas terapung untuk produksi, penyimpanan, dan pembongkaran migas di Indonesia, yang dibagi menjadi 3 kategori:

1. FPSO (*Floating Production, Storage and Offloading*)

FPSO digunakan untuk produksi atau pemisah antara minyak dan gas, menyimpan minyak sebelum diangkut ke tanker yang akan membawa ke darat dan menyalurkan gas melalui pipa ke fasilitas darat.

2. FPU (*Floating Production Unit*)

FPU merupakan fasilitas lepas pantai yang biasanya digunakan dalam reservoir gas bawah laut untuk produksi dan pemisah gas dari komponen lain seperti belerang, air, dan zat lainnya.

3. FSO (*Floating Storage and Offloading*)

FSO digunakan hanya untuk menyimpan minyak dan menyalurkan minyak dan gas.



**Gambar 2.2** FSO Belida  
([www.shipspotting.com](http://www.shipspotting.com))

Diantara struktur-struktur diatas FSO merupakan salah satu struktur terapung yang sering digunakan untuk operasi di ladang minyak dan gas lepas pantai. FSO tidak memiliki fasilitas produksi seperti halnya FPSO dan FPU, sehingga dalam kinerjanya FSO hanya menampung hidrokarbon dari sumur dan menyimpannya sebelum disalurkan ke kapal tanker untuk dibawa ke fasilitas produksi di darat (Yulita et.al., 2018).

### 2.2.2 Sistem Tambat

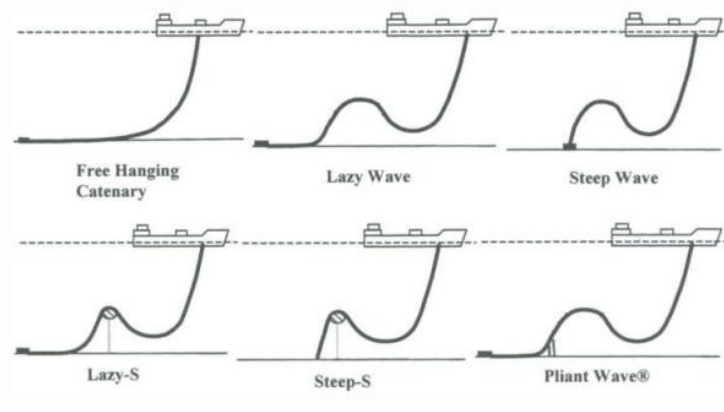
Struktur lepas pantai terapung dirancang dengan sistem tambat agar dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Sistem tambat terdiri dari tali (*lines*) yang menggantung bebas yang menghubungkan struktur di permukaan dengan jangkar (*anchor*) atau *pile* di dasar laut, yang diposisikan agak jauh dari *platform* (Chakrabarti, 2005). Tujuan dari sistem tambat pada dasarnya yaitu mengurangi gerakan horizontal pada struktur akibat beban lingkungan seperti gelombang, angin dan arus, serta menjaga struktur untuk relatif tetap pada posisi yang dibutuhkan tanpa menimbulkan gaya *restraining* yang tinggi (Rizkiarsa, 2016).

Menurut API RP 2 SK, sistem tambat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu *spread mooring*, *single point mooring*, dan *dynamic positioning*. *Spread Mooring* merupakan metode sistem tambat dengan menyebar jangkar

dengan konfigurasi sudut dan jumlah *mooring line* tertentu. *Spread Mooring* memungkinkan struktur terapung untuk tidak bergerak dan berputar karena efek gerakan akibat gaya gelombang, arus dan angin relatif kecil. Struktur terapung yang tidak bergerak dan berputar menyebabkan gaya lingkungan yang diterimanya menjadi sangat besar, sehingga tegangan pada *mooring line* menjadi besar (Fatululloh, 2017).

### 2.2.3 Flexible Riser

Menurut Yong Bai, riser pada dasarnya merupakan pipa konduktor yang menghubungkan struktur apung di permukaan dengan sumur (*wellhead*) di dasar laut. Terdapat dua jenis riser, yaitu *rigid riser* dan *flexible riser*.



**Gambar 2.3** Konfigurasi *Flexible Riser*  
(Yong Bai, 2005)

*Flexible Riser* dapat dipasang dengan beberapa konfigurasi, yaitu:

a. *Free Hanging Catenary*

Konfigurasi *Free Hanging Catenary* merupakan yang paling sederhana dan murah. *Flexible Riser* menggantung bebas dan terkena beban yang diakibatkan oleh gerakan struktur sehingga jika struktur mengalami gerakan yang sangat besar riser bisa mengalami *compression buckling* pada *touch down point riser*.

b. *Lazy Wave* dan *Steep Wave*

Konfigurasi *Lazy Wave* dan *Steep Wave* menambahkan berat dan *buoyancy* di sepanjang yang dibutuhkan untuk menjaga *touch down*

*point* dari pergerakan struktur. Tipe ini tidak banyak membutuhkan *subsea infrastructure* dan dapat digunakan pada perairan dengan kondisi gelombang yang tinggi.

c. *Lazy S* dan *Steep S*

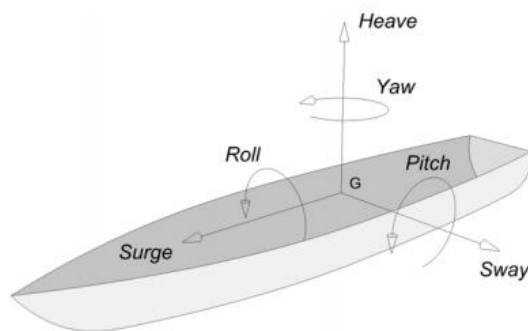
Pada konfigurasi *Lazy S* dan *Steep S* terdapat *subsea buoy*, baik *fixed* yang pasang pada dasar laut maupun *buoy*. Penambahan *subsea buoy* untuk menghindari masalah *touch down point* akibat pergerakan struktur. Konfigurasi ini jarang digunakan karena instalasi yang rumit.

d. *Pliant Wave*

Konfigurasi *Pliant Wave* hampir seperti konfigurasi *Steep Wave* dimana *subsea anchor* menjaga *touch down point*, yaitu dengan mentransfer tegangan *riser* ke *anchor* bukan ke *touch down point*. Konfigurasi ini juga jarang digunakan karena instalasi yang rumit.

## 2.2.4 Teori Gerak Kapal

Gerakan bangunan apung di permukaan laut selalu berosilasi. Berbagai jenis gerakan osilasi pada bangunan apung digambarkan pada Gambar 2.4, yang menunjukkan enam jenis gerakan terdiri dari tiga gerakan translasional dan tiga rotasional. Enam gerakan pada bangunan apung ini biasanya disebut Enam Mode Gerakan Bebas (*Six Degree of Freedom*).



**Gambar 2.4** Enam Mode Gerakan Kapal  
(*Researchgate.net*)

Berikut pembagian mode gerakan tersebut menurut Bhattacharyya (1978) :

1. Gerakan translasional merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung yang terjadi pada sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$  tanpa menyebabkan perubahan sudut. Gerakan tersebut meliputi :
  - a. *Surge*, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $x$
  - b. *Sway*, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $y$
  - c. *Heave*, gerakan translasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $z$
2. Gerakan rotasional merupakan gerakan osilasi pada bangunan apung yang terjadi pada sumbu  $x$ ,  $y$  dan  $z$  sehingga menyebabkan perubahan sudut. Gerakan tersebut meliputi :
  - a. *Roll*, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $x$
  - b. *Pitch*, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $y$
  - c. *Yaw*, gerakan rotasional pada bangunan apung searah dengan sumbu  $z$

Pada bangunan apung yang mengapung bebas tanpa pengikatan, hanya ada tiga mode gerakan yang mempunyai frekuensi alami, yakni pada mode *heave*, *roll* dan *pitch*. Seangkan mode lainnya tidak mempunyai frekuensi alami, karena secara teknis tidak mempunyai mekanisme kekakuan sendiri, yang akan bermanifestasi menjadi gaya pengembali (Djarmiko, 2012).

## **2.2.5 Beban Lingkungan**

### **2.2.5.1 Beban Gelombang**

Beban gelombang merupakan beban lingkungan yang memberikan respons terbesar pada struktur bangunan lepas pantai terapung. Terdapat beberapa teori yang dapat digunakan dalam analisis gaya gelombang, salah satunya yaitu teori difraksi. Teori difraksi digunakan untuk struktur yang relative besar, yaitu memiliki ukuran yang kurang



lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan gelombang di sekitarnya (Ramadhani, 2017).

Gaya gelombang *time series* dapat di bangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *First Order* dan *Second Order*. *First Order* merupakan gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitnya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan apung. Berikut ini merupakan persamaan gaya gelombang *first order* :

$$F_{wv}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{wv}^{(1)}(\omega_i) \cos(\omega_i t + \varepsilon_i) \alpha_i \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$F_{wv}^{(1)}(t)$  = Gaya gelombang *First Order* dalam fungsi waktu (N)

$F_{wv}^{(1)}(\omega_i)$  = Gaya *exciting* gelombang *First Order* per unit amplitud gelombang (N)

$\varepsilon_i$  = Sudut fase komponen gelombang *First Order* (deg)

$\alpha_i$  = Amplitudo komponen gelombang *First Order* (m)

*Second Order* merupakan gelombang yang memiliki periode yang tinggi dengan daerah pembangkitnya tidak berasal dari daerah tersebut (jauh dari lokasi gelombang terjadi). Berikut ini merupakan persamaan gaya gelombang *second order* :

$$F_{wv}^{(2)}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j D_{ij} \cos[(\omega_i - \omega_j)t + (\varepsilon_i - \varepsilon_j)] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$F_{wv}^{(2)}(t)$  = Gaya gelombang *Second Order* dalam fungsi waktu (N)

$D_{ij}$  = *Drift force* per unit amplitud gelombang (N/m)

### 2.2.5.2 Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur merespons sebagai model statis yang paling mendekati. Perhitungan beban angin dalam perancangan bangunan lepas pantai didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrim dengan kala ulang 100 tahunan.

Berdasarkan OCIMF *Mooring Equipment Guidelines* (1997), persamaan untuk perhitungan beban angin adalah sebagai berikut:

*Longitudinal wind force*

$$F_{xw} = C_{xw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \dots\dots\dots (2.3)$$

*Lateral wind force*

$$F_{yw} = C_{yw} \left( \frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

$F_{xw}$  = gaya angin longitudinal (kN)

$F_{yw}$  = gaya angina lateral (kN)

$C_{xw}$  = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

$C_{yw}$  = koefisien gaya angina transversal non dimensional

$\rho_w$  = densitas udara (1.223 kg/m<sup>3</sup> pada 20°C)

$V_w$  = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knot)

$A_T$  = luas penampang transversal diatas air (m<sup>2</sup>)

$A_L$  = luas penampang longitudinal diatas air (m<sup>2</sup>)

### 2.2.5.3 Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan efek ada struktur bangunan lepas pantai selain gelombang dan angin. Arus yang disebabkan pasang surut mengalami pengurangan dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non linier*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angina memiliki kecepatan yang sama dengan fungsi *linier*.

Berdasarkan OCIMF *Mooring Equipment Guidelines* (1997), persamaan untuk perhitungan beban arus adalah sebagai berikut :

*Longitudinal current force*

$$F_{xc} = C_{xc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.5)$$

*Lateral current force*

$$F_{yc} = C_{yc} \left( \frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{BP} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$F_{xc}$	= gaya arus longitudinal (kN)
$F_{yc}$	= gaya arus lateral (kN)
$C_{xc}$	= koefisien gaya arus longitudinal non dimensional
$C_{yc}$	= koefisien gaya arus transfersal non dimensional
$\rho_c$	= densitas air laut (1025 kg/m <sup>3</sup> pada 20°C)
$V_c$	= kecepatan arus (m/s)
$T$	= draft kapal (m)
$L_{BP}$	= <i>length between perpendicular</i> (m)

### 2.2.6 RAO (*Response Amplitude Operator*)

RAO (*Response Amplitude Operator*) dapat juga disebut *transfer function* yang merupakan fungsi respons akibat gelombang yang mengenai struktur dalam rentang frekuensi tertentu. RAO juga merupakan rasio antara amplitude gerakan struktur dengan amplitude gelombang.

Respon gerakan RAO, untuk gerakan translasi (*surge*, *sway* dan *heave*) adalah merupakan perbandingan langsung antara amplitude gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang). Berikut merupakan persamaan RAO untuk gerakan translasi (Djarmiko, 2012) :

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \quad (m/m) \dots\dots\dots (2.7)$$

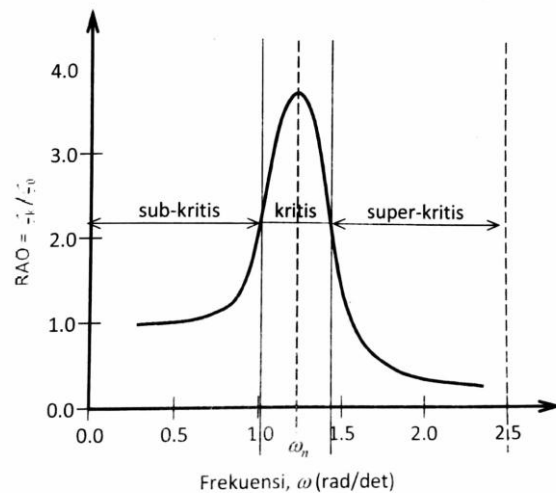
Dimana :

$\zeta_{k0}$  = Amplitudo respons struktur (m)

$\zeta_0$  = Amplitudo gelombang (m)

Sedangkan RAO untuk gerakan rotasi (*roll*, *pitch* dan *yaw*) adalah perbandingan antara amplitude gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni merupakan perkalian antara angka gelombang,  $k_w = \omega^2/g$ , dengan amplitude gelombang insiden :

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \quad (rad/rad) \dots\dots\dots (2.8)$$



**Gambar 2.5** Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djatkiko, 2012)

Kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang, sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau  $\omega^2 < k/(m + a)$ , gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.
- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni  $k/(m + a) < \omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.

- Ketiga adalah daerah super-kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berturutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak diatas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana  $\omega^2 < k/a$ , gerakan akan didominasi oleh faktor massa. (Djarmiko,2012)

### 2.2.7 Spektrum Gelombang

Studi mengenai gerakan kapal di atas gelombang acak telah didalami dalam upaya menghasilkan informasi terkait dengan spektrum energi gelombang, antara lain oleh Pierson & Marks (1952). Proses yang dilakukan pada dasarnya adalah mentransformasikan rekaman gelombang acak dalam domain waktu menjadi kurva spektra energi gelombang dalam domain frekuensi, dengan menggunakan algoritma matematika deret Fourier. Dari kurva-kurva tersebut dilakukan penelitian untuk menyusun persamaan matematis atau formula spektra gelombang. Menurut Chakrabarti (1987) pada umumnya persamaan spektra akan didasarkan pada satu atau beberapa parameter, misalnya tinggi gelombang, periode gelombang, parameter bentuk, dan sebagainya, dan perhitungannya dilakukan secara inkremental sebagai fungsi perubahan frekuensi. Beberapa teori yang dapat digunakan dalam perhitungan spektra gelombang diantaranya Bretschneider, Pierson-Moskowitz, ISSC, ITTC, Wang dan JONSWAP.

Spektra JONSWAP merupakan salah satu dari beberapa bentuk formulasi spektra gelombang. JONSWAP merupakan singkatan dari *Joint North Sea Wave Project*, yakni proyek yang dilakukan dalam penelitian gelombang di perairan Laut Utara. Parameter-parameter persamaan ini mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup, atau kepulauan sehingga sering dipakai dalam perancangan dan analisa bangunan lepas

pantai yang dioperasikan di Indonesia (Djatkiko, 2012). Berikut ini merupakan persamaan spektra JONSWAP :

$$S_{\zeta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \{-1.25(\omega/\omega_0)^{-4}\} \gamma^{\exp\left\{\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2}\right\}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

$$\alpha = 0.076 (X_0)^{-0.22}$$

$$X_0 = gX/U_w^2$$

$X$  = panjang *fetch*

$U_w$  = kecepatan angin

$\alpha$  = 0.0081 jika  $X$  tidak diketahui

$\gamma$  = parameter ketinggian atau *peakedness parameter*, yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai 7.0. Untuk Laut Utara mempunyai harga 3.3. Untuk perairan Indonesia disarankan sekitar 2.0 sampai 2.5.

$\tau$  = parameter bentuk atau *shape parameter*

$\tau$  = 0.07 jika  $\omega \leq \omega_0$

$\tau$  = 0.07 jika  $\omega > \omega_0$

$$\omega_0 = 2\pi(g/U_w)(X_0)^{-0.33}$$

Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang berikut:

**Tabel 2.1** Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang Rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang Signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 Gelombang Tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$5.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/100 Gelombang Tertinggi	$3.44\sqrt{m_0}$	$6.67\sqrt{m_0}$

Dimana :

$m_0$  = luasan dibawah kurva spektrum (*zero moment*)

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \dots \dots \dots (2.10)$$

### 2.2.8 Respons Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Gelombang acak adalah superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal, dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan, yang kemudian secara keseluruhan diakumulasi dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Gelombang acak yang didekomposisi diwakili luasan di bawah spektra yang dapat dibagi rentang frekuensi. Sedangkan komponen-komponen respons sinusoidal diwakili oleh RAO. Sehingga spektrum respons pada gelombang acak didapatkan dari hasil transformasi dari keduanya untuk mendapatkan respons struktur. Berikut ini persamaan matematis untuk mengubah spektra gelombang menjadi spektra respon struktur:

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

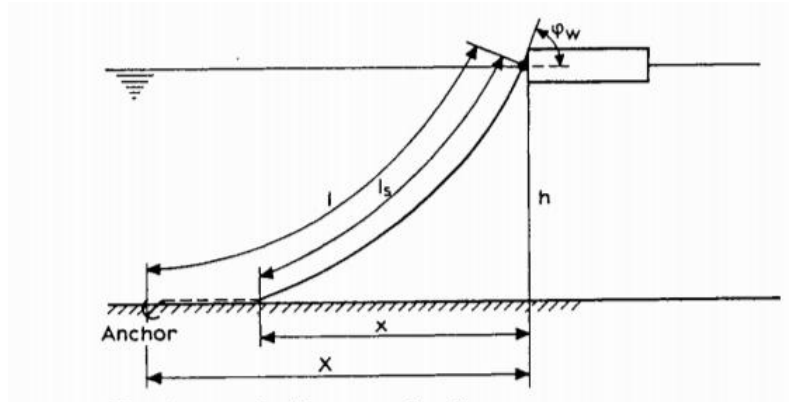
$S_{\zeta_r}(\omega)$  = Spektra respons struktur ( $m^2-s$ )

$S_{\zeta}(\omega)$  = Spektra energy gelombang ( $m^2-s$ )

$RAO$  = *Response Amplitude Operator* atau *transfer function*

### 2.2.9 Penentuan Panjang *Mooring Line*

Penentuan panjang minimum *mooring line* merupakan hal yang penting dalam perancangan sistem tambat bangunan lepas pantai terapung. Penentuan tersebut digunakan untuk memastikan bahwa struktur pada posisi yang tepat serta berfungsi untuk menentukan panjang dan *pre tension* yang sesuai.



**Gambar 2.6** Vessel ditambatkan dengan satu *mooring line* (Faltinsen, 1990)

Menurut Faltinsen (1990) perhitungan panjang minimum *mooring line* dapat di definisikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$l_{min} = h \left( 2 \frac{T_{max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$l_{min}$  = panjang minimum *mooring line* (m)

$h$  = kedalaman air (m)

$T_{max}$  = *maximum tension*, sama dengan  $T_{br}$  (*breaking strength of the cable*) (kN)

$w$  = berat chain per satuan panjang di dalam air (N/m)

### 2.2.10 *Tension pada Mooring Line*

Gerakan struktur terapung akibat beban lingkungan dapat menimbulkan tarikan (*tension*) pada tali tambat (*mooring line*). Berdasarkan API RP 2 SK, *tension* dibagi menjadi 2, yaitu:

1. *Mean Tension*

*Mean tension* merupakan *tension* pada tali tambat yang berhubungan dengan *mean offset* dari struktur terapung.

2. *Maximum Tension*

*Maximum tension* merupakan *mean tension* yang mengalami pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.



Menurut API RP 2 SK, *maximum tension* pada *mooring line* harus lebih besar dari nilai yang dihasilkan pada persamaan berikut ini:

1.  $T_{lfmax} > T_{wfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{lfmax} + T_{wfsig} \dots \dots \dots (2.15)$$

2.  $T_{wfmax} > T_{lfmax}$ , maka:

$$T_{max} = T_{mean} + T_{wfmax} + T_{lfsig} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$T_{max}$  = *Maximum tension*

$T_{mean}$  = *Mean Tension*

$T_{wfmax}$  = *Maximum wave frequency tension*

$T_{wfsig}$  = *Significant wave frequency tension*

$T_{lfmax}$  = *Maximum low frequency tension*

$T_{lfsig}$  = *Significant low frequency tension*

Dalam desain sistem tambat (*mooring system*) perlu dilakukan pengecekan untuk memastikan bahwa *mooring line* aman atau tidak dalam beroperasi. *Mooring line* dapat dikatakan aman jika telah memenuhi kriteria *safety factor* yang terdapat pada *rules* atau *code* yang berlaku. Pada tugas akhir ini, pengecekan *safety factor* mengacu pada *rules* ABS. Menurut API RP 2 SK, *safety factor* untuk *mooring line* yaitu 1,67 dimana persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \dots \dots \dots (2.17)$$

### 2.2.11 Tension pada Flexible Riser

Perhitungan *tension* dan *compression* pada riser menggunakan persamaan yang terdapat pada Yong Bai “*Pipeline and Risers*” (2005) dan untuk *compression* adalah nilai *tension* yang bernilai negatif, dan dapat diilustrasikan pada gambar berikut ini:

Gaya vertical pada *riser* adalah berat *riser* pada saat tercelup air dengan panjang kelengkungan dari *riser*. Persamaan gaya vertical pada *riser* adalah sebagai berikut:

$$T_v = W_s \cdot S \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana :

$T_v$  = Gaya vertikal pada riser

$W_s$  = Berat riser pada saat di air

$S$  = Panjang kelengkungan pada riser

Dari ilustrasi gambar diatas, sudut antara bidang x-y dengan riser dapat dibentuk dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tan \theta = \frac{T_v}{T_h} \dots \dots \dots (2.19)$$

Sehingga dapat diketahui persamaan untuk mencari *horizontal tension force* yaitu :

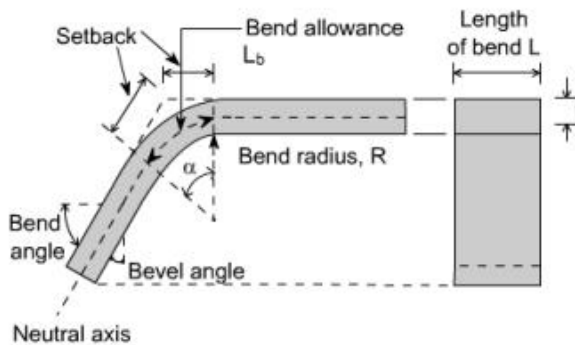
$$T_h = \frac{T_v}{\tan \theta} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana :

$T_h$  = *Horizontal tension force*

**2.2.12 Bending Radius pada Flexible Riser**

*Bending radius* adalah *radius* yang diukur pada bagian dalam tekukan setelah mengalami *bending*. Semakin besar *bending radius*, maka semakin rendah risiko terjadinya *fracture* dan semakin rendah terjadinya *drop strength* (penurunan kekuatan). *Minimum bending radius* adalah besar radius minimum lengkungan yang mungkin terjadi sebelum material mengalami *fracture*.



**Gambar 2.7 Basic Bend Parameters**  
(Mahanani, 2017)

Berikut ini merupakan persamaan yang digunakan untuk menentukan *bending radius*:

$$L_b = a (R + kt) \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana:

$L_b$  = *bend allowance* (mm)

$a$  = *bend angle* (radian)

$$= 2\pi \cdot \frac{60}{360} \text{ radian}$$

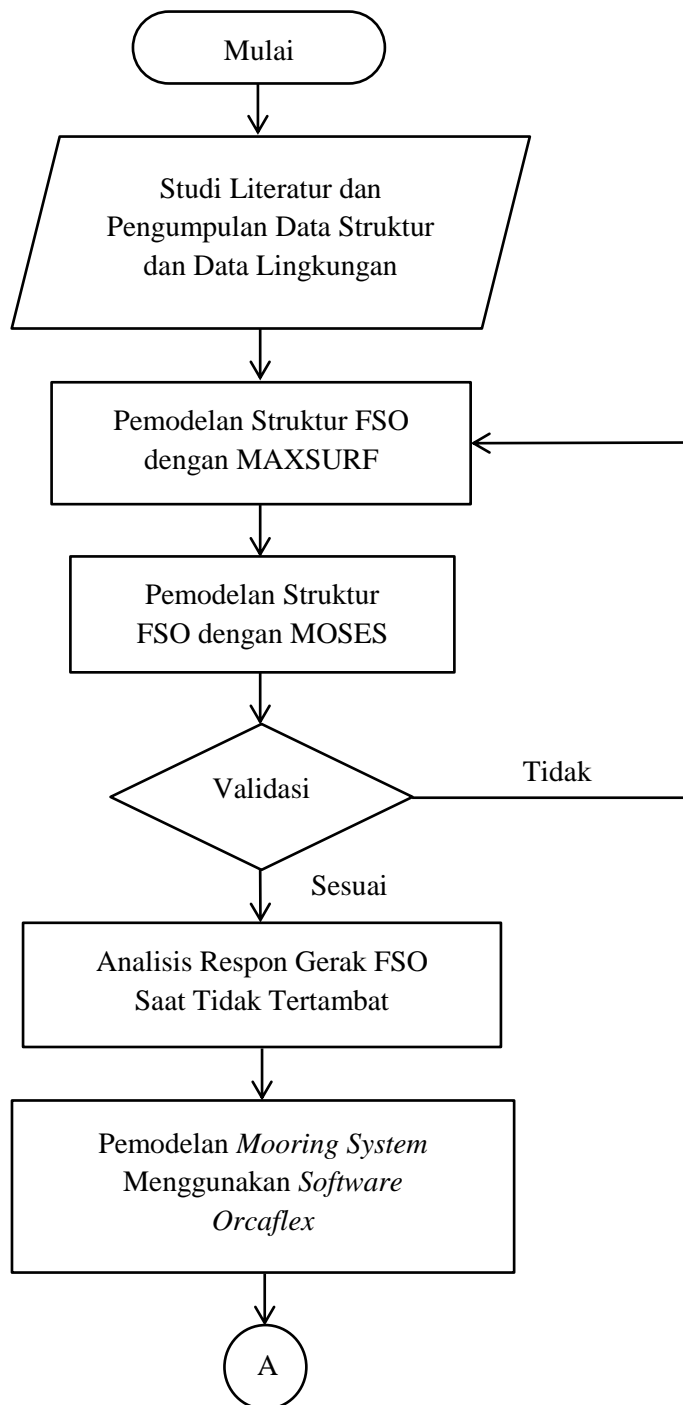
$R$  = *bend radius* (mm)

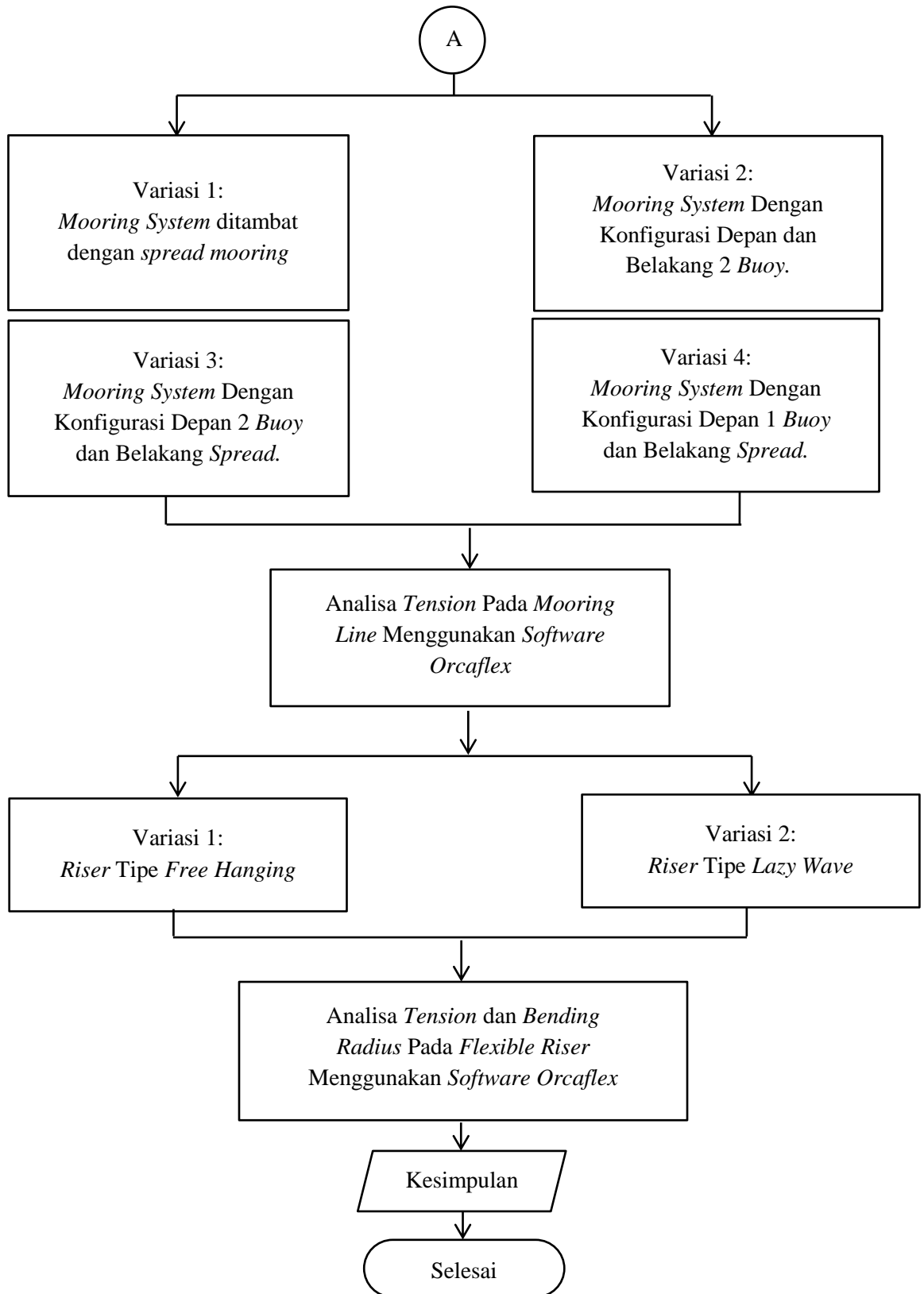
$t$  = *thickness of sheet* (mm)

$k$  = *constant*, 1/3 jika  $R < 2t$ , dan 1/2 jika  $R > 2t$ .

**BAB III**  
**METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alur**





### 3.2 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan dalam analisis dinamis pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode numeric, dimana pemodelan struktur FSO menggunakan bantuan perangkat lunak MAXSURF dan MOSES dan sistem tambat dimodelkan dengan bantuan perangkat lunak OrcaFlex.

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data Struktur dan Data Lingkungan  
Studi dan pengumpulan literatur ini ditujukan untuk lebih memperjelas permasalahan yang ada, literature dan bahan-bahan acuan yang diperlukan dalam Tugas Akhir ini didapat dari buku, jurnal, tugas akhir, website, dan sebagainya. Untuk pengumpulan data dalam penelitian tugas akhir ini meliputi data FSO, data *mooring line*, data pipa dan data lingkungan yang berupa data gelombang, arus dan angin serta data pendukung lainnya.
2. Pemodelan Struktur FSO  
Pemodelan struktur FSO menggunakan bantuan perangkat lunak MAXSURF dan MOSES. Pemodelan dilakukan dengan menginput ukuran utama dan data geometri dari FSO. Hasil pemodelan akan divalidasi sebelum dilakukan analisa selanjutnya.
3. Analisa Respon Gerak FSO  
Analisa ini dilakukan setelah melakukan pemodelan struktur FSO pada MOSES, dan didapatkan karakteristik respons gerak FSO berupa *Response Amplitude Operator* (RAO) pada kondisi *Full Load* dan *Ballast*.
4. Pemodelan *Mooring System*  
Pemodelan *mooring system* menggunakan bantuan perangkat lunak *OrcaFlex*. Pemodelan ini dilakukan dengan 4 variasi konfigurasi, konfigurasi pertama FSO ditambat dengan *spread mooring*, Konfigurasi kedua bagian depan dan belakang ditambat dengan 2 *buoy*. Konfigurasi ketiga, bagian depan ditambat dengan 2 *buoy* dan belakang FSO ditambat dengan *spread*. Konfigurasi keempat yaitu

bagian depan FSO ditambat dengan 1 *buoy* dan bagian belakang ditambat dengan *spread*.

5. Analisa *Tension Mooring Line*

Hasil *output* dari MOSES dimasukkan ke *software Orcaflex* sebagai pemodelan FSO untuk dilanjutkan pemodelan *mooring line* dan *flexible riser*. Selanjutnya melakukan perhitungan berapa *tension* maksimum yang terjadi pada *mooring line* pada setiap variasi konfigurasi.

6. Analisa *Tension Flexible Riser* dan *Bending Radius*

Perhitungan *tension* maksimum dan minimum *bending radius* yang terjadi pada *flexible riser* didapatkan dari hasil *running software Orcaflex*. Pada analisis ini dilakukan dengan 2 variasi tipe *riser*, yaitu *free hanging* dan *lazy wave*.

7. Kesimpulan

### 3.3 Data

Data struktur FSO, *mooring line*, *riser* dan lingkungan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

#### 3.3.1 Data Struktur

Berikut merupakan data struktur FSO yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.

**Tabel 3.1** Data Struktur FSO

Parameter	Unit	Value
<i>Length Overall</i>	m	244.60
<i>Length (B.P)</i>	m	233.00
<i>Breadth Moulded</i>	m	42.20
<i>Depth Moulded</i>	m	22.20
<i>Draft</i>	m	14.90
<i>Block Coefficient (Cb)</i>	-	0.826
<i>Chamber</i>	m	0.800
<i>Speed (Service)</i>	m	15.00

### 3.3.2 Data Buoy

Berikut ini merupakan data *buoy* yang digunakan pada *mooring system* Variasi 2, Variasi 3, dan Variasi 4.

**Tabel 3.2** Data Struktur *Buoy*

Parameter	Unit	Value
<i>Outer Diameter</i>	m	7.6
<i>Depth</i>	m	3.0
<i>Draft</i>	m	1.3

### 3.3.3 Data Mooring Chain

Berikut ini merupakan data *mooring chain* yang digunakan pada *mooring system* tipe *spread mooring* dan sebagai *anchor chain* pada *buoy*.

**Tabel 3.3** Data *Mooring Chain*

Parameter	Unit	Value
<i>Type</i>	-	Chain, R4 Studless
<i>Size</i>	mm	87 mm dia
<i>MBL</i>	mT	783.35

### 3.3.4 Data Mooring Line

Berikut ini merupakan data *mooring line* yang digunakan pada *mooring system* Variasi 2, Variasi 3, dan Variasi 4 yang menambatkan FSO pada *buoy*.

**Tabel 3.4** Data *Mooring Line*

Parameter	Unit	Value
<i>Type</i>	-	Polypropylene Rope
<i>Size</i>	in	12 dia
<i>MBL</i>	mT	1005.41

### 3.3.5 Data Riser

Berikut ini merupakan data *riser* dan *floaters* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini.



**Tabel 3.5** Data Properties *Riser*

Parameter	Unit	Value
<i>Flexible ID</i>	mm	250
<i>Flexible OD</i>	mm	350
<i>Internal Volume</i>	l/m	49.07
<i>External Volume</i>	l/m	95.68
<i>Weight in Air</i>	te/m	0.181
<i>Weight in Water</i>	te/m	0.083
<i>Bending Stiffness</i>	kN.m <sup>2</sup>	117.188
<i>Axial Stiffness</i>	kN	700000
<i>Torsional Stiffness</i>	kN.m <sup>2</sup>	80
<i>Minimum Bending Radius for storage</i>	m	3.675
<i>Total Length</i>	m	134

**Tabel 3.6** Data Properties *Floater*

Parameter	Unit	Value
<i>Float OD</i>	mm	1200
<i>Length</i>	mm	1000
<i>Material Density</i>	te/m <sup>3</sup>	0.400
<i>Volume</i>	m <sup>3</sup>	1.035
<i>Mass</i>	te	0.439
<i>Displacement</i>	te	1.061

### 3.3.6 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan untuk pembebanan pada tugas akhir ini yaitu data angin, gelombang, dan arus.

#### 3.3.6.1 Data Angin

Berikut ini merupakan data angin yang digunakan untuk pembebanan pada tugas akhir ini.

**Tabel 3.7** Data Angin Perairan Natuna

Parameters	Direction								
	OMNI	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Wind Speed (m/s)	18	18	18	11	10	13	13	13	13

#### 3.3.6.2 Data Arus

Berikut ini merupakan data arus yang digunakan dalam pembebanan tugas akhir ini.

**Tabel 3.8** Data Arus Perairan Natuna

Current Speed (m/s)	Direction								
	OMNI	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Surface	0.89	0.80	0.89	0.80	0.62	0.62	0.76	0.85	0.76
30 m Below Surface	0.69	0.62	0.69	0.62	0.48	0.48	0.67	0.75	0.67
3 m Above Bottom	0.50	0.50	0.45	0.41	0.35	0.35	0.43	0.48	0.43

**3.3.6.3 Data Gelombang**

Berikut ini merupakan data gelombang yang digunakan dalam pembebanan tugas akhir ini.

**Tabel 3.9** Data Gelombang Perairan Natuna

Parameters	Direction								
	OMNI	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Significant Wave Height (m)	4.4	4.0	4.4	2.0	1.8	2.0	2.0	2.6	2.9
Spectral Peak Period (s)	9.9	9.7	9.9	8.6	8.5	8.6	8.6	9.0	9.1

## BAB IV

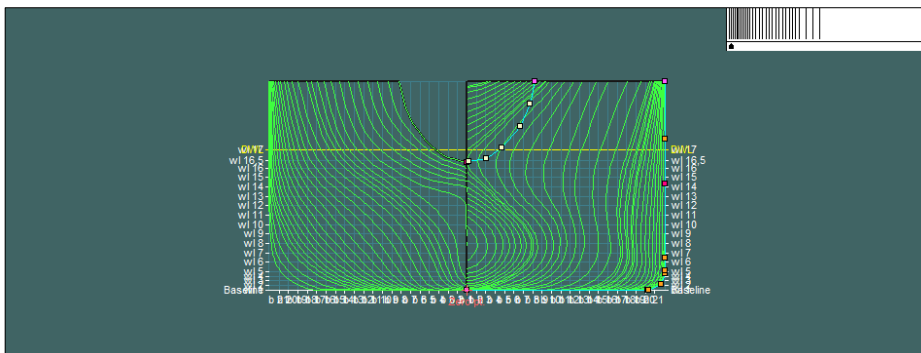
### ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pemodelan Struktur FSO Menggunakan Software Maxsurf

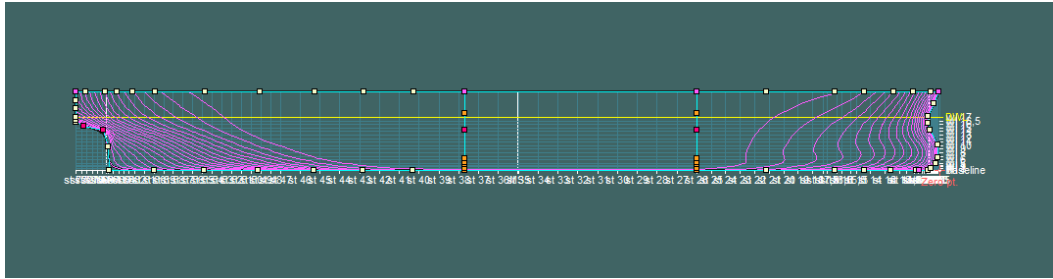
Pemodelan FSO Belida dilakukan dengan menggunakan bantuan Software Maxsurf Modeler. Pemodelan berdasarkan *principal dimension* dari FSO Belida sesuai tabel 4.1 dari pemodelan tersebut didapatkan koordinat titik *marker* yang akan digunakan untuk pemodelan pada software MOSES. Pemodelan dilakukan dengan dua kondisi pembebanan yaitu kondisi *Full Load* dan *Ballast*.

**Tabel 4.1** *Principal Dimension* FSO Belida

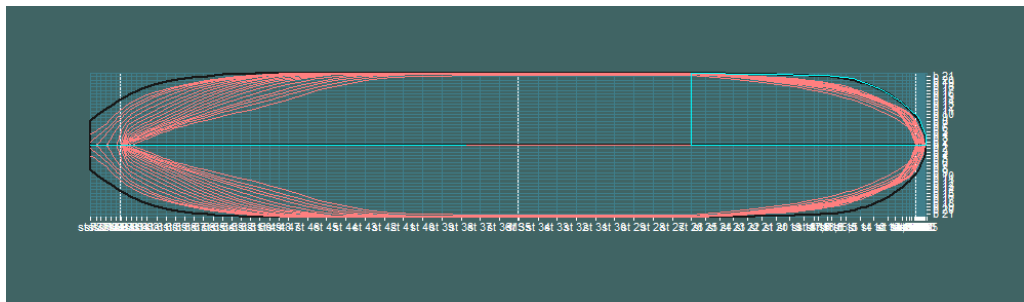
Parameter	Unit	Kondisi Pembebanan	
		Full Load	Ballast
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	244.6	244.6
<i>Length (B.P)</i>	m	233	233
<i>Breadth Moulded</i>	m	42.2	42.2
<i>Depth Moulded</i>	m	22.2	22.2
<i>Draft (Scantling)</i>	m	14.9	7.0
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.826	0.826
<i>Displacement</i>	ton	128588.60	58796.11
<i>Keel to Gravity (KG )</i>	m	13.71	10.08
<i>Gyration of Roll (Kxx)</i>	m	17.40	13.90
<i>Gyration of Pitch (Kyy)</i>	m	69.73	67.88
<i>Gyration of Yaw (Kzz)</i>	m	69.73	67.88



**Gambar 4.1** Pemodelan FSO Belida Tampak Depan dengan Software Maxsurf



**Gambar 4.2** Pemodelan FSO Belida Tampak Samping dengan Software Maxsurf

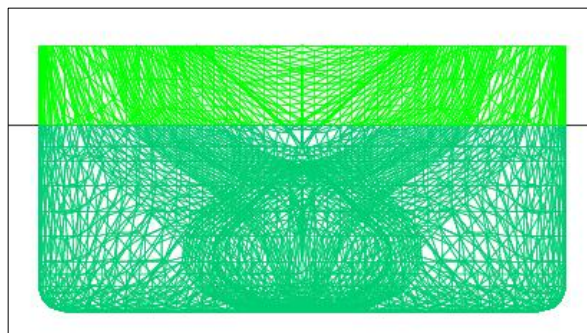


**Gambar 4.3** Pemodelan FSO Belida Tampak Atas dengan Software Maxsurf

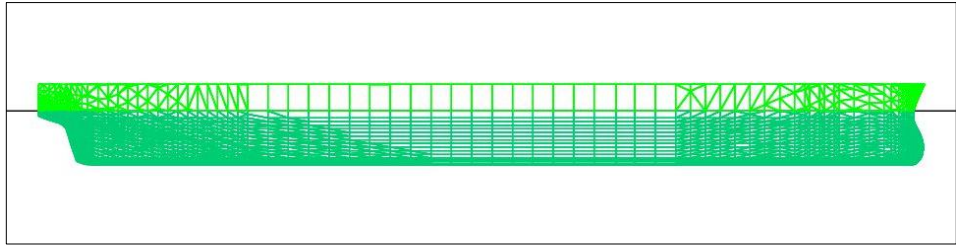
#### 4.2 Pemodelan Struktur FSO Menggunakan Software MOSES

Titik koordinat *marker* dari pemodelan pada Software Maxsurf digunakan untuk memodelkan struktur dengan Software MOSES. Pemodelan struktur pada Software MOSES digunakan untuk analisa perhitungan hidrostatis dan RAO (*Response Amplitude Operator*). Selain itu, *output* pemodelan pada MOSES juga digunakan sebagai *input* pada Software *Orcaflex* seperti *wave drift force*, *stiffness*, *added mass*, dan *damping force*.

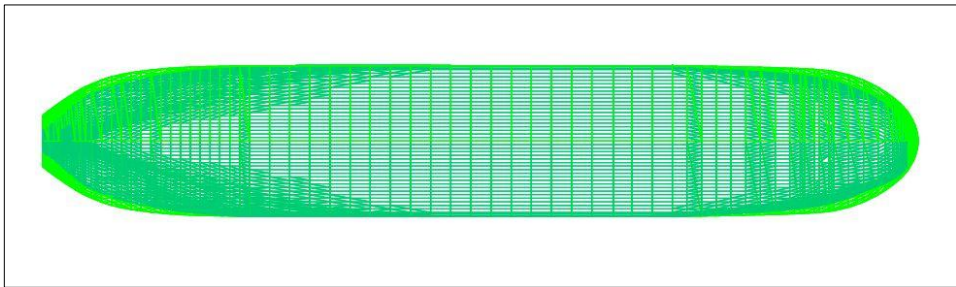
Berikut merupakan hasil pemodelan FSO Belida pada Software MOSES:



**Gambar 4.4** Pemodelan FSO Belida Tampak Depan dengan Software MOSES



**Gambar 4.5** Pemodelan FSO Belida Tampak Samping dengan Software MOSES



**Gambar 4.6** Pemodelan FSO Belida Tampak Atas dengan Software MOSES

#### 4.3 Validasi

Validasi pemodelan berdasarkan kriteria pada *rules ABS (American Bureau of Shipping) MODU (Mobile Offshore Drilling Unit) 2016*. Kriteria tersebut adalah *displacement* pemodelan memiliki *error* maksimum 2%. Validasi dilakukan dari hasil analisis pemodelan FSO pada Maxsurf dan MOSES dengan data awal. Tabel 4.2 menunjukkan hasil validasi pemodelan struktur FSO Belida.

**Tabel 4.2** Validasi Pemodelan FSO

Kondisi Pembebanan	Satuan	Data	Maxsurf	Validasi (%)	MOSES	Validasi (%)
Full Load	ton	128588.60	128563.00	0.02	128560.54	0.02
Ballast	ton	58796.11	57657.00	1.94	57640.12	1.97

#### 4.4 Pemodelan Struktur Shuttle Tanker dengan Software Maxsurf

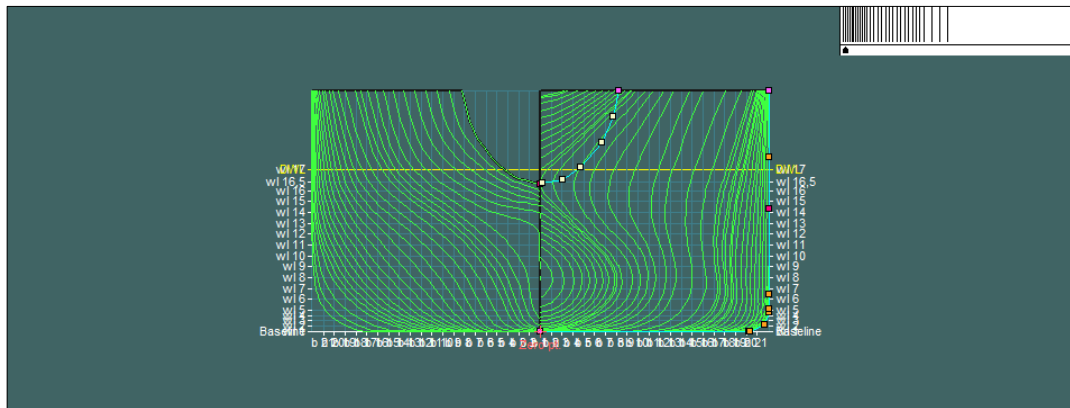
Pemodelan *shuttle tanker* juga dilakukan dengan software Maxsurf yang bertujuan mendapatkan titik koordinat *marker* sebagai *input* pemodelan pada

MOSES. Pemodelan ini dilakukan dengan memasukkan *principal dimension* dari *shuttle tanker* sesuai tabel 4.3.

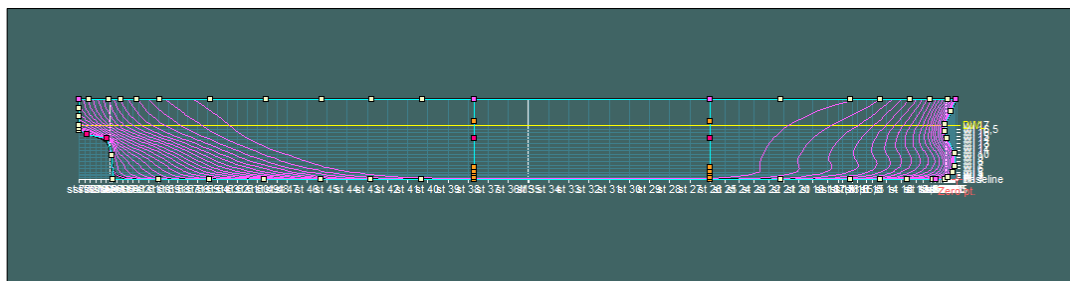
**Tabel 4.3** *Principal Dimension* dari *Shuttle Tanker*

Parameter	Unit	Value
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	240.5
<i>Length (B.P)</i>	m	230
<i>Breadth Moulded</i>	m	42.2
<i>Depth Moulded</i>	m	21.2
<i>Draft (Scantling)</i>	m	14.85
<i>Coefficient Block (Cb)</i>	-	0.79
<i>Displacement</i>	ton	118644
<i>Keel to Gravity (KG)</i>	m	12.48
<i>Gyration of Roll (Kxx)</i>	m	16.48
<i>Gyration of Pitch (Kyy)</i>	m	67.90
<i>Gyration of Yaw (Kzz)</i>	m	67.90

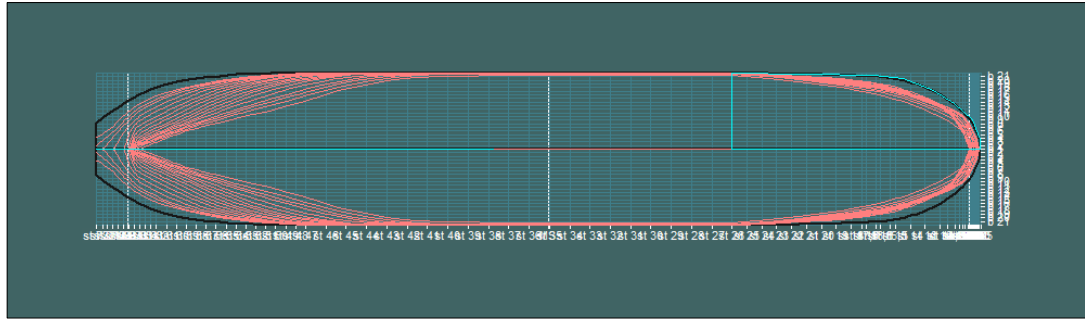
Berikut merupakan hasil pemodelan *shuttle tanker* dengan Software Maxsurf:



**Gambar 4.7** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Depan dengan Software Maxsurf



**Gambar 4.8** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Samping dengan Software Maxsurf

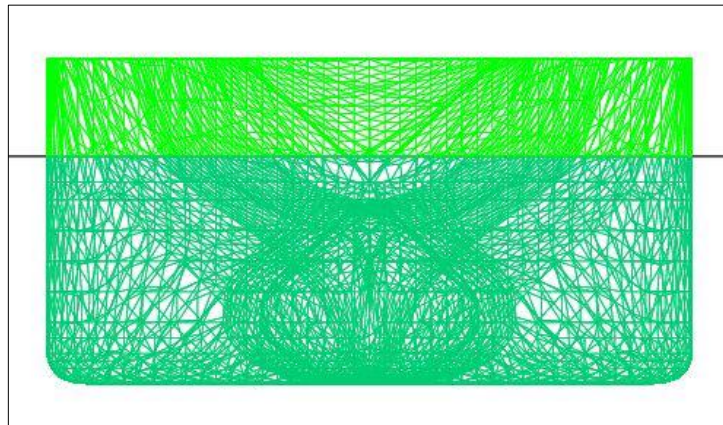


**Gambar 4.9** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Atas dengan Software Maxsurf

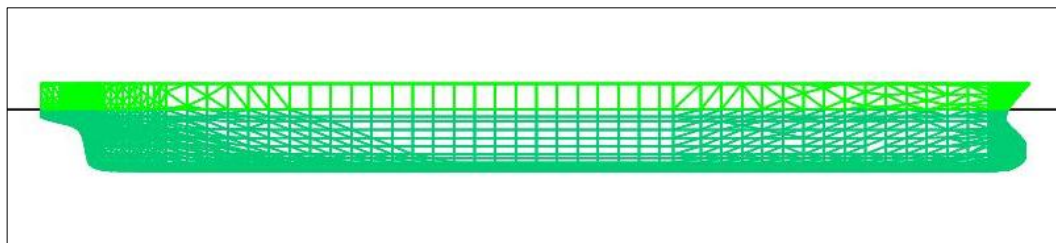
#### 4.5 Pemodelan Struktur *Shuttle Tanker* dengan Software MOSES

Pemodelan *shuttle tanker* dengan MOSES akan didapatkan hidrostatis dan *Response Amplitude Operator (RAO)*. Beberapa *output* pemodelan Software MOSES yang digunakan sebagai *input* Software *Orcaflex* yaitu, *wave drift force, stiffness, added mass* dan *damping force*.

Berikut merupakan hasil pemodelan *shuttle tanker* dengan Software MOSES:

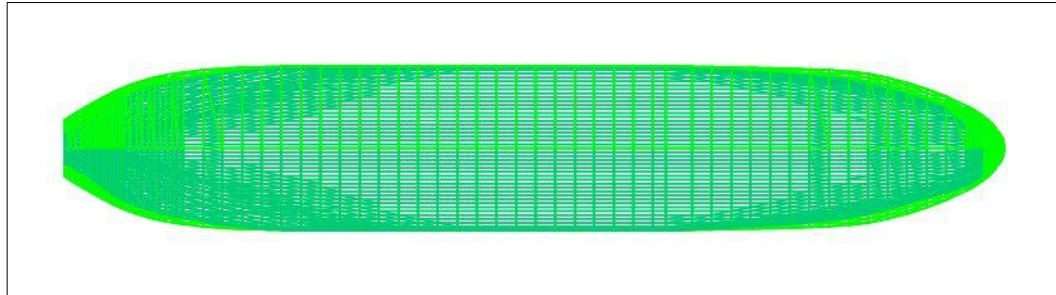


**Gambar 4.10** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Depan dengan Software MOSES



**Gambar 4.11** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Samping dengan Software MOSES





**Gambar 4.12** Pemodelan *Shuttle Tanker* Tampak Atas dengan Software MOSES

#### 4.6 Validasi Pemodelan *Shuttle Tanker*

Validasi pemodelan berdasarkan kriteria pada *rules* ABS (*American Bureau of Shipping*) MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*) 2016. Salah satu kriteria yang ditentukan yaitu *displacement* pemodelan memiliki *error* maksimum 2%. Validasi dilakukan dari hasil analisis pemodelan *Shuttle Tanker* pada Maxsurf dan MOSES dengan data awal. Tabel 4.2 menunjukkan hasil validasi pemodelan struktur *Shuttle Tanker*.

**Tabel 4.4** Validasi Pemodelan *Shuttle Tanker*

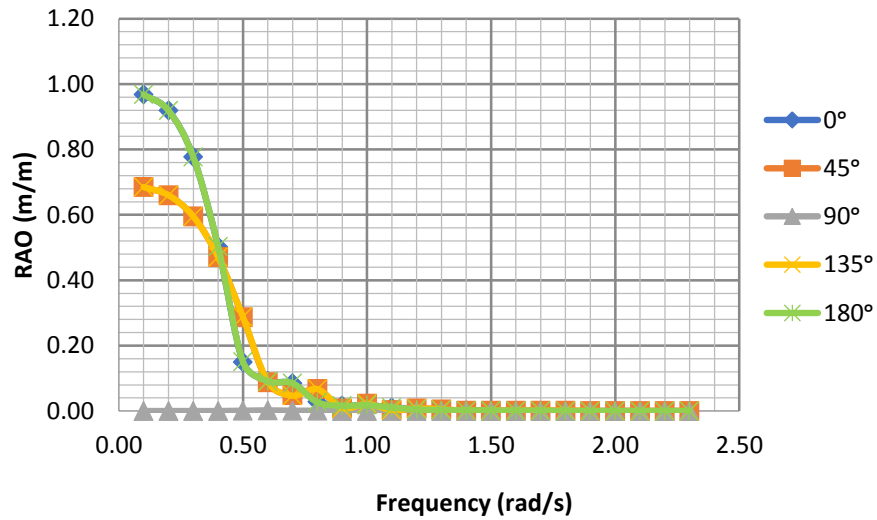
Parameter	Satuan	Data	Maxsurf	Validasi (%)	MOSES	Validasi (%)
Displacement	ton	118644	118629	0.01	118787	0.12

#### 4.7 Analisis Respon Gerak FSO Saat Tidak Tertambat

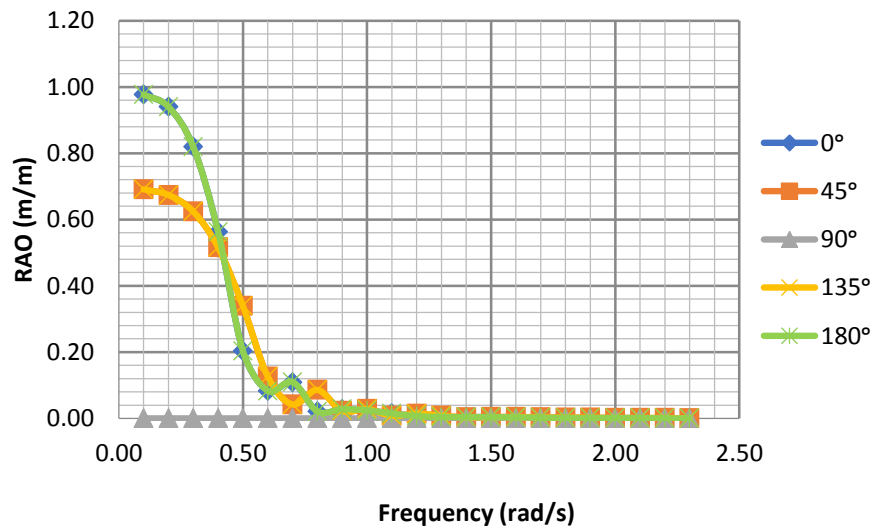
Analisis RAO (*Response Amplitude Operator*) dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerak FSO. Analisis ini dilakukan pada saat kondisi FSO terapung bebas (*free floating*), yang di jabarkan dalam enam mode gerakan atau yang biasa disebut sebagai *six degree of freedom*. Enam gerakan tersebut terdiri dari gerakan *translation* (*surge, sway, heave*) dan gerakan *rotation* (*roll, pitch, yaw*). Grafik RAO disajikan dengan absis (sumbu x) berupa *wave frequency* (rad/s) dan sumbu y berupa besar nilai RAO (dengan satuan (m/m) untuk mode gerakan *translation* dan (deg/m) untuk mode gerakan *rotation*). Analisis dilakukan dalam kondisi pembebanan *full load* dan *ballast* dengan bantuan *software* MOSES. Berikut ini merupakan hasil analisa RAO FSO Belida:



#### 4.7.1 Response Amplitude Operator (RAO) Surge



**Gambar 4.13** RAO Gerakan Surge FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)



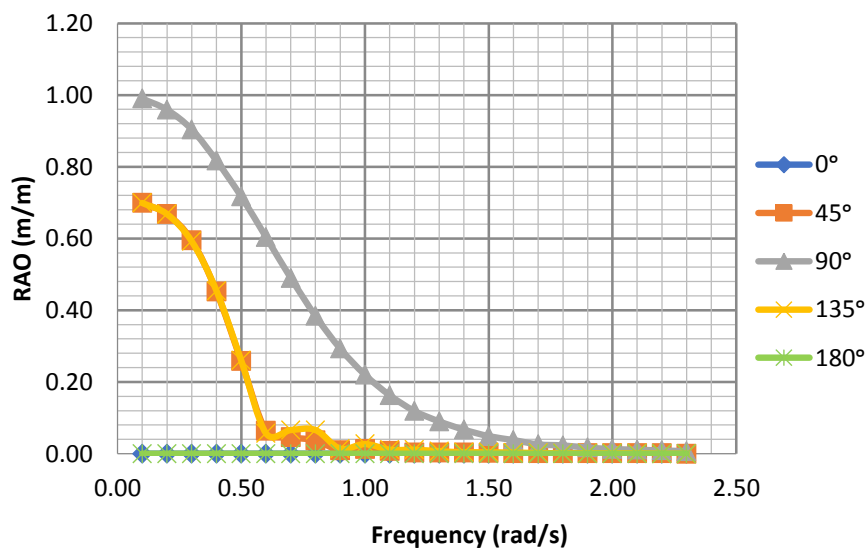
**Gambar 4.14** RAO Gerakan Surge FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

*Surge* merupakan gerak kapal secara *translation* dengan arah sumbu-x. Dari gambar 4.13 dan 4.14 menunjukkan bahwa gerakan ini paling dominan dipengaruhi oleh gelombang arah  $0^\circ$  (gelombang buritan) dan arah  $180^\circ$  (gelombang haluan), selanjutnya diikuti gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ). Untuk gelombang arah  $90^\circ$  hampir bernilai nol artinya tidak mengakibatkan gerakan *surge* yang signifikan.

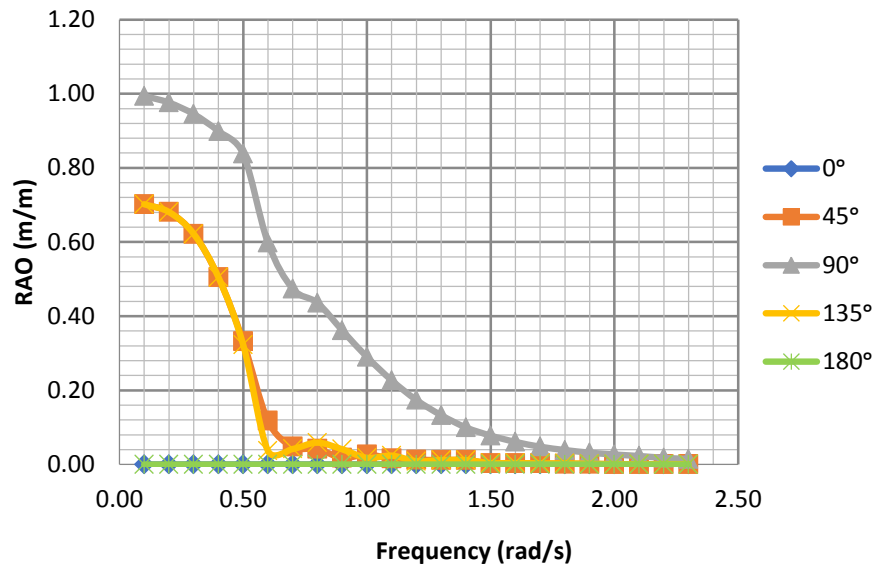
Pada kondisi FSO *full load*, gelombang arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi yang sama sebesar 0.9680 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s dan pada kondisi pembebanan *ballast* RAO tertinggi sebesar 0.9770 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Diikuti gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ) yang juga memiliki nilai RAO tertinggi yang sama yaitu sebesar 0.6850 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s.

Saat FSO dengan kondisi pembebanan *ballast*, gelombang dengan arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi sebesar 0.9770 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Selanjutnya arah gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ) memiliki nilai RAO tertinggi masing-masing sebesar 0.690 m/m dan 0.6910 m/m yang terjadi pada frekuensi yang sama yaitu 0.1 rad/s.

#### 4.7.2 Response Amplitude Operator (RAO) Sway



**Gambar 4.15** RAO Gerakan Sway FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)



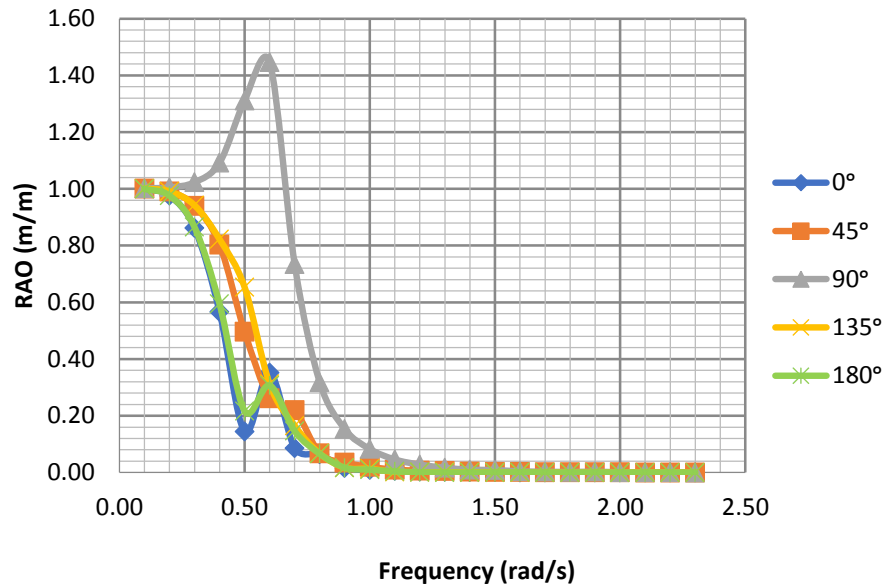
**Gambar 4.16** RAO Gerakan Surge FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

*Sway* merupakan gerak kapal secara *translation* dengan arah sumbu-y. Gerakan ini paling dominan dipengaruhi oleh gelombang sisi (arah 90°), diikuti gelombang perempat (45° dan 135°). Gelombang buritan dan haluan (0° dan 180°) memiliki nilai RAO yang sangat rendah sehingga gelombang ini mengakibatkan gerakan *sway* yang signifikan.

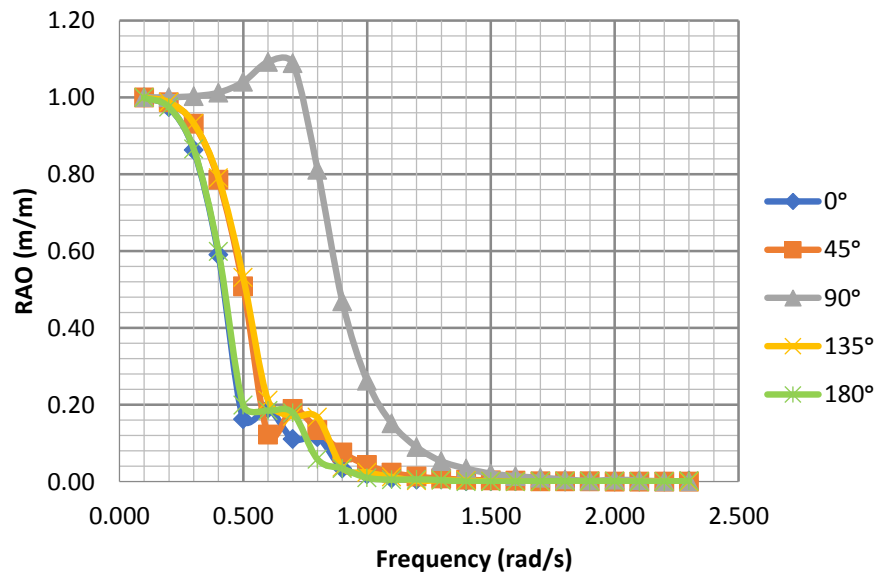
FSO dengan kondisi *full load* dengan gelombang 90° memiliki nilai RAO tertinggi sebesar 0.990 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, selanjutnya gelombang dengan arah 45° dan 135° mengakibatkan terjadi RAO tertinggi sebesar 0.6990 m/m pada frekuensi yang juga sama yaitu 0.1 rad/s.

FSO dengan kondisi *ballast* dengan gelombang sisi (90°) memiliki nilai RAO tertinggi sebesar 0.9940 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s, untuk gelombang perempat (45° dan 135°) memiliki nilai RAO tertinggi sebesar 0.7020 m/m terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s.

### 4.7.3 Response Amplitude Operator (RAO) Heave



**Gambar 4.17** RAO Gerakan *Heave* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)



**Gambar 4.18** RAO Gerakan *Heave* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

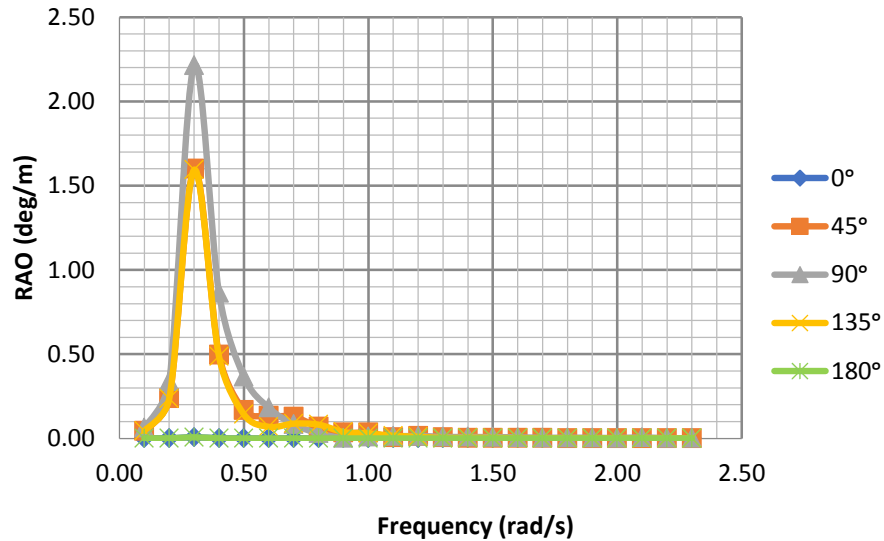
*Heave* merupakan gerak kapal secara *translation* dengan arah sumbu-z. Dari gambar 4.17 dan 4.18 memperlihatkan bahwa terjadi kenaikan RAO yang tinggi pada gelombang sisi ( $90^\circ$ ), diikuti gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ) dan gelombang buritan dan haluan ( $0^\circ$  dan  $180^\circ$ ) yang hampir berimpit. Ini

berarti bahwa semua arah gelombang memberikan pengaruh pada gerakan *heave*.

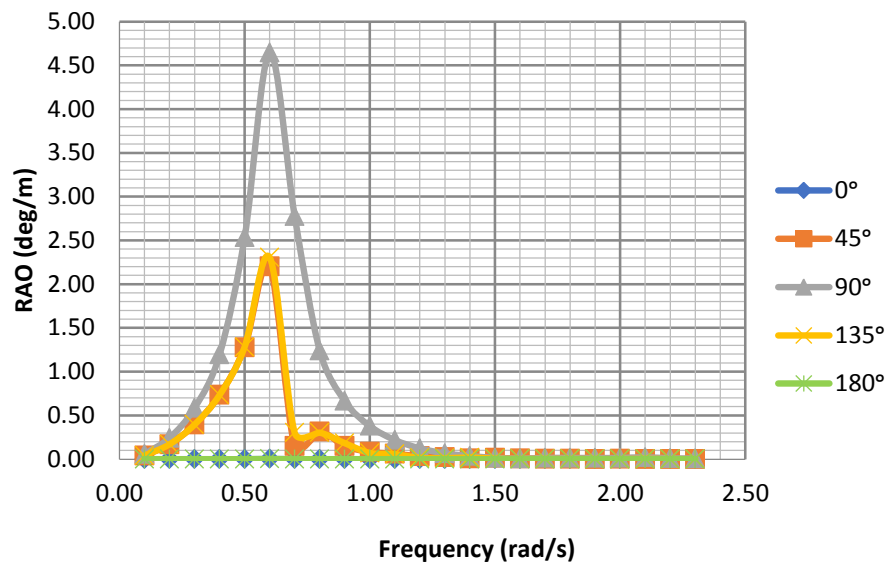
Dari gambar 4.17 menggambarkan FSO kondisi *full load* dengan gelombang  $90^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi sebesar 1.4460 m/m pada frekuensi 0.6 rad/s, diikuti gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ) dengan RAO tertinggi sebesar 1.001 m/m terjadi pada frekuensi 0.1 rad/s. Selanjutnya gelombang  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi yang hampir sama yaitu sebesar 1.0 m/m pada frekuensi yang sama yaitu 0.1 rad/s.

Pada FSO kondisi *ballast* dengan gelombang  $90^\circ$ , RAO tertinggi sebesar 1.0920 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.6 rad/s. Selanjutnya gelombang  $45^\circ$  dan  $135^\circ$ , RAO tertinggi sebesar 0.9990 m/m pada frekuensi 0.1 rad/s. Gelombang dengan arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi yang hampir sama yang masing-masing sebesar 1.0 m/m dan 0.9990 m/m dan terjadi pada frekuensi yang sama yaitu 0.1 rad/s.

#### 4.7.4 Response Amplitude Operator (RAO) Roll



**Gambar 4.19** RAO Gerakan Roll FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)



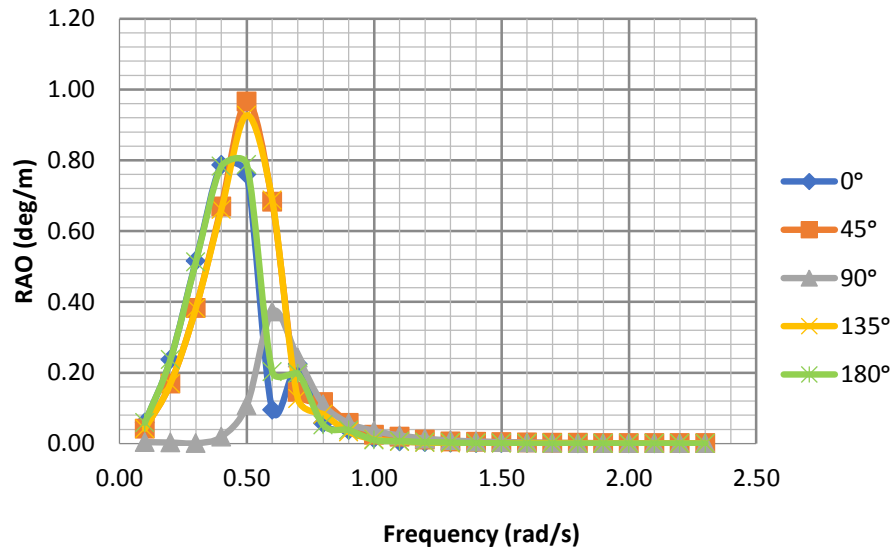
**Gambar 4.20** RAO Gerakan *Roll* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

*Roll* merupakan gerakan kapal secara *rotation* terhadap sumbu-x. Gerakan ini paling dominan disebabkan oleh gelombang sisi ( $90^\circ$ ). Selanjutnya kenaikan RAO tertinggi diikuti gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ). Untuk gelombang arah buritan dan haluan ( $0^\circ$  dan  $180^\circ$ ) tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap gerakan *roll* struktur dan memiliki nilai RAO nol.

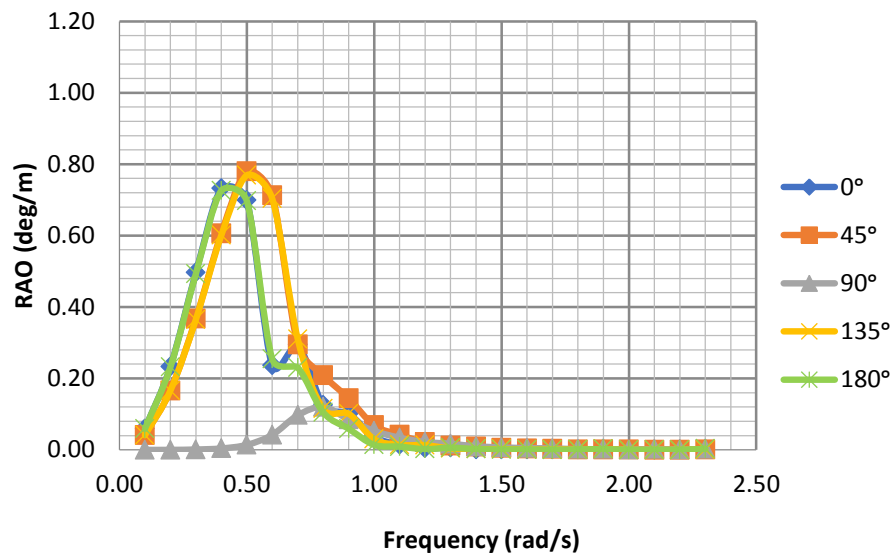
Pada kondisi pembebanan *full load* dengan arah gelombang  $90^\circ$  terjadi kenaikan RAO tertinggi pada frekuensi 0.3 rad/s sebesar 2.2140 deg/m. Selanjutnya kenaikan RAO tertinggi diikuti arah gelombang  $45^\circ$  dan  $135^\circ$ , kenaikan RAO terjadi pada frekuensi yang sama 0.3 rad/s sebesar masing-masing 1.60 m/m dan 1.5940 m/m.

Pada FSO kondisi *ballast*, kenaikan RAO terbesar pada gelombang arah  $90^\circ$  sebesar 4.6460 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Diikuti gelombang perempat arah  $135^\circ$  dan  $45^\circ$  terjadi kenaikan RAO pada frekuensi yang sama yaitu 0.6 rad/s sebesar masing-masing 2.3060 deg/m dan 2.2020 deg/m.

#### 4.7.5 Response Amplitude Operator (RAO) Pitch



**Gambar 4.21** RAO Gerakan *Pitch* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)



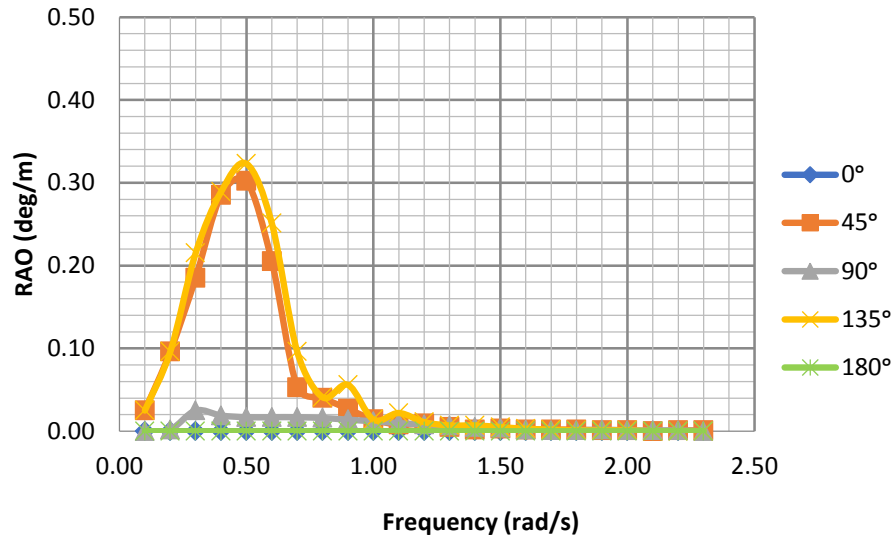
**Gambar 4.22** RAO Gerakan *Pitch* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

*Pitch* merupakan mode gerakan struktur secara *rotation* terhadap sumbu-y. Gerakan ini didominasi oleh gelombang perempat arah 45° dan 135° dan diikuti gelombang buritan dan haluan arah 0° dan 180° yang hampir berimpit. Gelombang arah 90° yang paling kecil memberikan pengaruh pada gerakan ini.

Pada FSO kondisi *full load* dengan arah gelombang  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  RAO tertinggi terjadi pada frekuensi yang sama  $0.5 \text{ rad/s}$  yang masing-masing sebesar  $0.9660 \text{ deg/m}$  dan  $0.9270 \text{ deg/m}$ . Gelombang dengan arah  $0^\circ$  RAO tertinggi terjadi pada frekuensi  $0.4 \text{ rad/s}$  sebesar  $0.7870 \text{ deg/m}$  dan gelombang arah  $180^\circ$  RAO tertinggi terjadi pada frekuensi  $0.5 \text{ rad/s}$  sebesar  $0.7880 \text{ deg/m}$ . Selanjutnya arah gelombang  $90^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi yang lebih kecil dibanding yang lainnya sebesar  $0.3730 \text{ deg/m}$  pada frekuensi  $0.6 \text{ rad/s}$ .

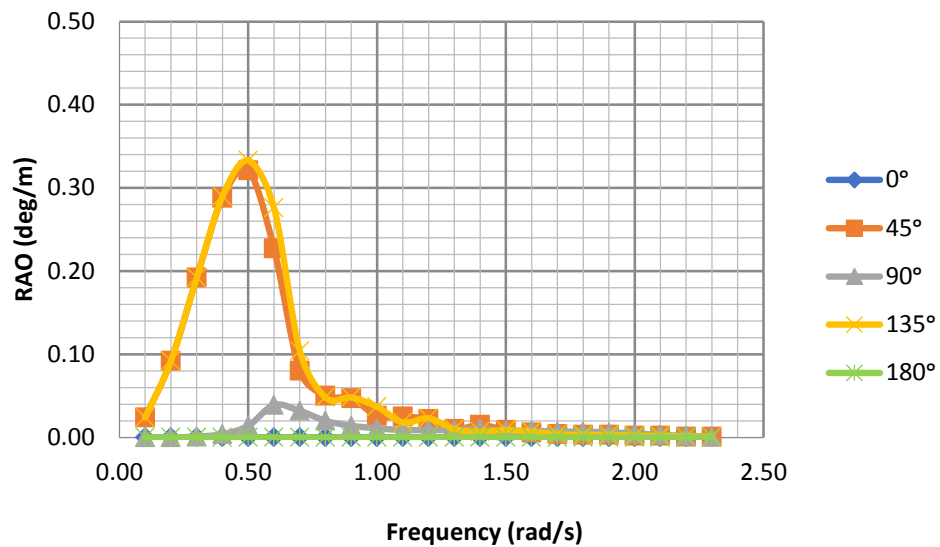
FSO kondisi *ballast* dengan gelombang arah  $45^\circ$  dan  $135^\circ$ , RAO tertinggi terjadi pada frekuensi  $0.5 \text{ rad/s}$  yang masing-masing sebesar  $0.780 \text{ deg/m}$  dan  $0.7690 \text{ deg/m}$ . Untuk gelombang arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  RAO tertinggi terjadi pada frekuensi  $0.4 \text{ rad/s}$  yang besarnya masing-masing  $0.7320 \text{ deg/m}$  dan  $0.7260 \text{ deg/m}$ . Gelombang dengan arah  $90^\circ$  RAO tertingginya sebesar  $0.120 \text{ deg/m}$  yang terjadi pada frekuensi  $0.8 \text{ rad/s}$ .

#### 4.7.6 Response Amplitude Operator (RAO) Yaw



**Gambar 4.23** RAO Gerakan Yaw FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Full Load*)





**Gambar 4.24** RAO Gerakan *Yaw* FSO Saat *Free Floating* (Kondisi *Ballast*)

*Yaw* merupakan mode gerakan struktur secara *rotation* terhadap sumbu-z. Gerakan ini didominasi oleh gelombang perempat ( $45^\circ$  dan  $135^\circ$ ), untuk gelombang lainnya tidak berpengaruh signifikan terhadap gerakan ini. Pada gambar 4.22 dan 4.33 menggambarkan bahwa gelombang arah  $90^\circ$  memiliki RAO tertinggi yang sangat rendah, sedangkan gelombang arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  bernilai nol.

FSO kondisi *full load* dengan arah gelombang  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  memiliki nilai RAO tertinggi sebesar masing-masing 0.3020 deg/m dan 0.3230 deg/m yang terjadi pada frekuensi yang sama yaitu 0.5 rad/s. Untuk gelombang arah  $90^\circ$  memiliki nilai RAO yang relatif kecil dimana RAO tertingginya sebesar 0.0250 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.3 rad/s.

Pada kondisi *ballast* arah gelombang  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  RAO tertinggi terjadi pada frekuensi 0.5 rad/s yang besarnya masing-masing 0.3210 deg/m dan 0.3330 deg/m. Gelombang dengan arah  $90^\circ$  memiliki RAO tertinggi sebesar 0.0390 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.6 rad/s.

#### 4.8 Pemodelan *Mooring System* Menggunakan Software *Orcaflex*

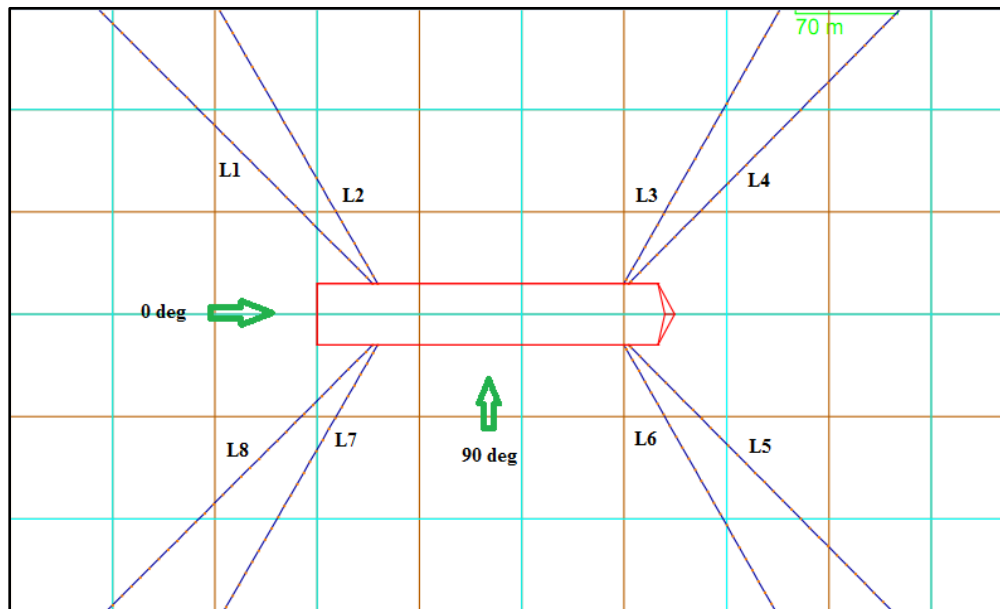
Pemodelan *mooring system* dilakukan dengan bantuan software *Orcaflex* dalam dua kondisi yaitu pada saat FSO *stand alone* dan *offloading*. Pemodelan

ini diawali dengan pemodelan struktur FSO dengan geometri struktur sebagai berikut:

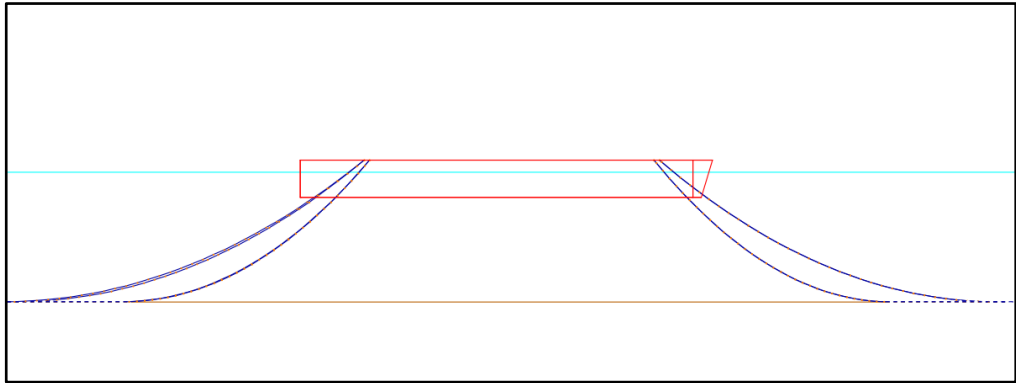
**Tabel 4.5** Geometri Struktur FSO

Parameter	Unit	Value
Length Overall (LOA)	m	244.6
Length (B.P)	m	233
Breadth Moulded	m	42.2
Depth Moulded	m	22.2
Draft (Full Load Condition)	m	14.9
Draft (Ballast Condition)	m	7

Selanjutnya dilakukan *input* konfigurasi sistem tambat meliputi jenis tali tambat, ukuran, dan koordinat-koordinat dimana tali tambat diletakkan. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa dalam 4 variasi konfigurasi *mooring system* yang dapat dilihat pada ilustrasi gambar 4.25.

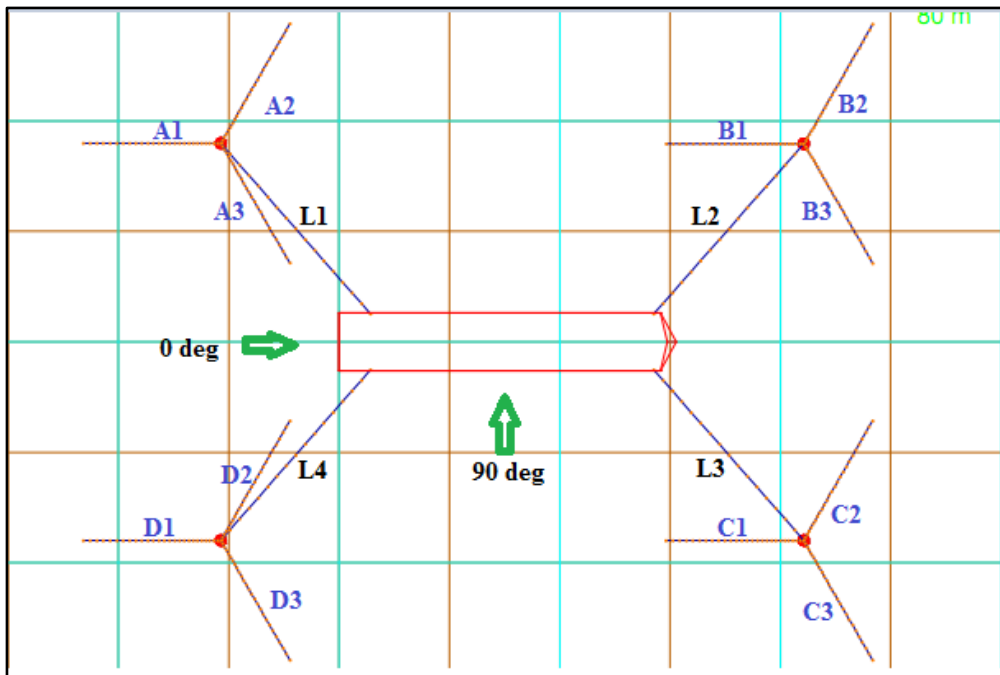


**Gambar 4.25 (a)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 1 Tampak Atas

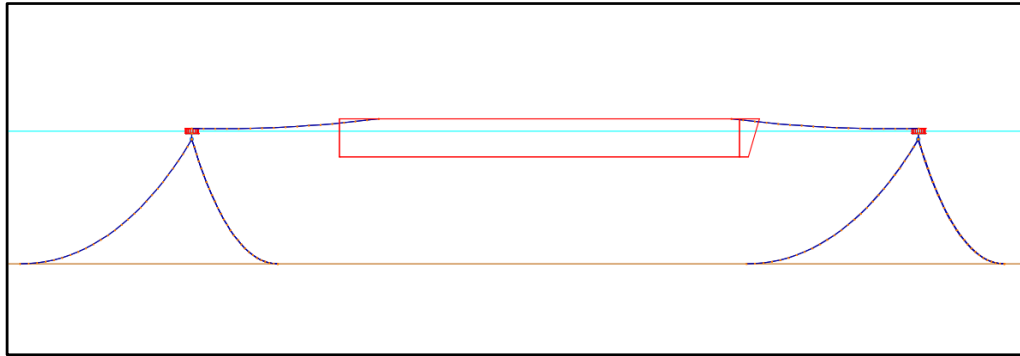


**Gambar 4.25 (b)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 1 Tampak Samping

Pada Variasi 1 dilakukan penambatan pada FSO dengan tipe *spread mooring* berjumlah 8 *lines*, dengan *mooring chain* sepanjang 914 m.

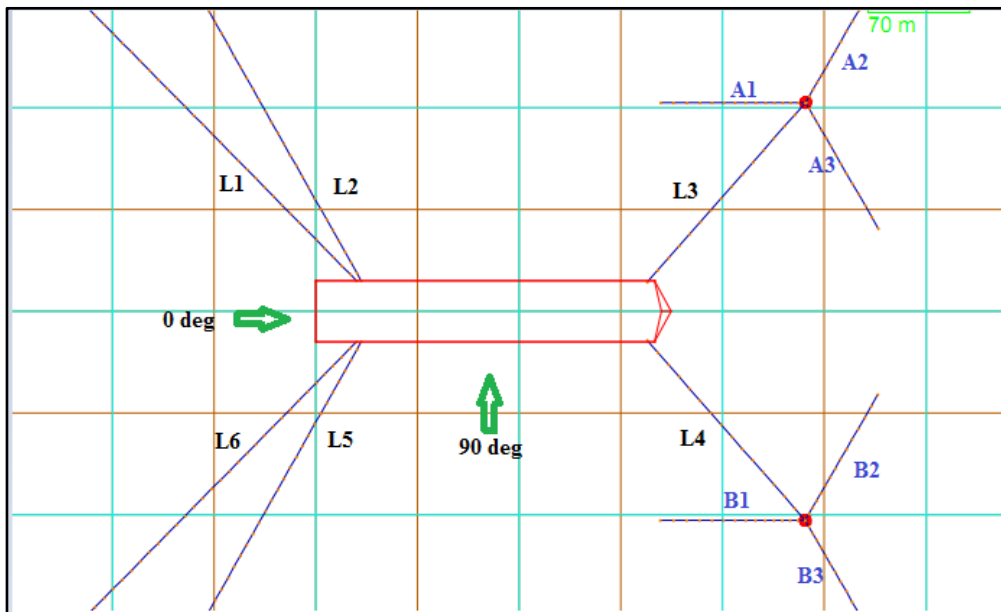


**Gambar 4.25 (c)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 2 Tampak Atas

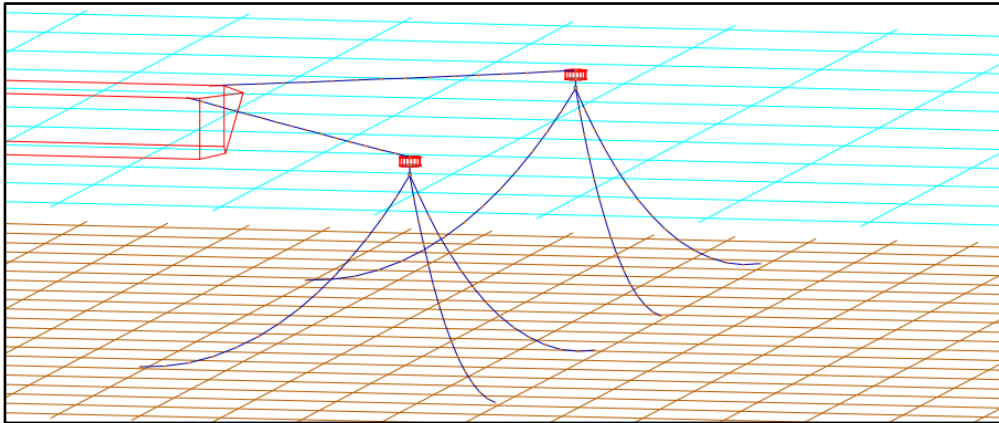


**Gambar 4.25 (d)** Konfigurasi mooring system Variasi 2 Tampak Samping

Pada Variasi 2 dilakukan penambatan pada FSO dengan tipe *conventional buoy mooring* dimana FSO ditambat dengan *rope* ke *buoy* dan *buoy* ditambatkan ke *seabed* dengan *chain*. Panjang *rope* yang digunakan sebesar 160 m dan panjang *anchor chain* 135 m.

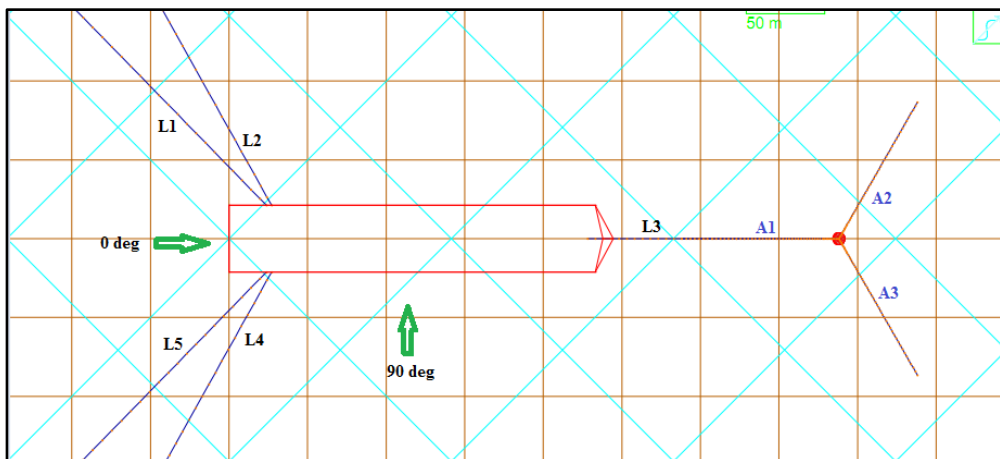


**Gambar 4.25 (e)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 3 Tampak Atas

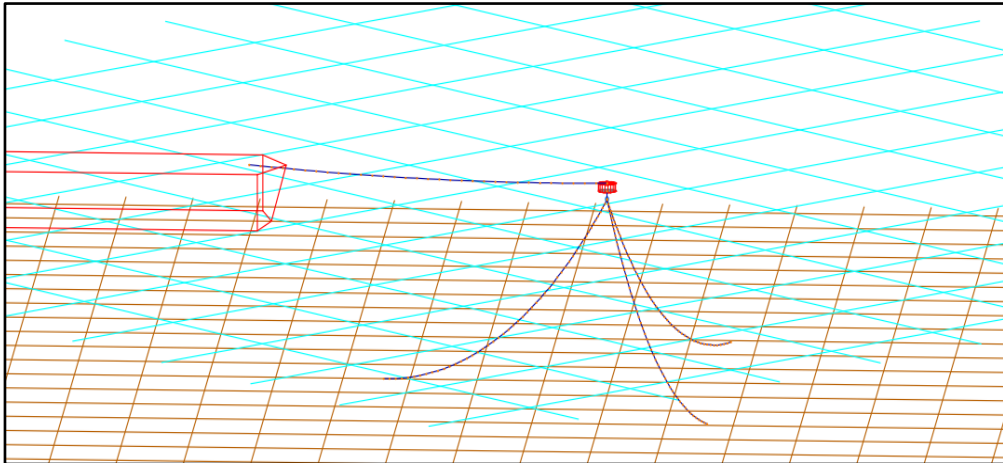


**Gambar 4.25 (f)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 3 Tampak Samping

*Mooring system* Variasi 3 merupakan kombinasi antara tipe *spread mooring* dengan *conventional buoy mooring*. Pada penelitian ini bagian belakang FSO ditambat dengan *spread mooring* dan bagian belakang ditambat dengan 2 *buoy*.



**Gambar 4.25 (g)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 4 Tampak Atas



**Gambar 4.25 (h)** Konfigurasi *mooring system* Variasi 4 Tampak Samping

*Mooring system* Variasi 4 juga kombinasi antara tipe *spread mooring* dengan *conventional buoy mooring*, dimana bagian belakang FSO ditambat dengan *spread mooring* dan bagian depan ditambat dengan 1 *buoy*.

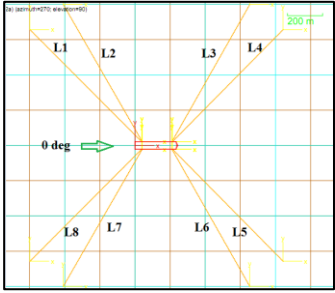
#### **4.9 Analisis Tension Maksimum pada Mooring Line**

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui besar *tension* yang terjadi pada *mooring line* dan memastikan apakah telah sesuai dengan kriteria yang ditentukan API RP 2 SK yaitu memiliki *safety factor* tidak kurang dari 1.67. Analisis dilakukan dengan 4 variasi konfigurasi *mooring system*. Untuk pembebanan lingkungan dilakukan dengan arah datangnya gelombang (*heading*) yaitu  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ .

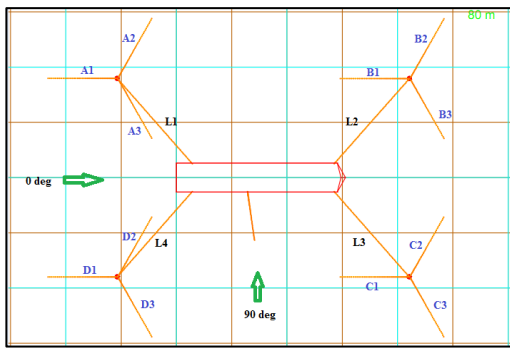
##### **4.9.1 Analisis Tension Mooring Line Heading $0^\circ$**

Pembebanan FSO dengan arah  $0^\circ$  merupakan arah pembebanan *following seas* berdasarkan orientasi FSO. Berikut merupakan ringkasan hasil *tension mooring line* FSO dengan pembebanan arah  $0^\circ$ .

**Tabel 4.6** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 1

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	965.25	7.96
	L2	946.35	8.12
	L3	872.82	8.80
	L4	863.99	8.89
	L5	859.67	8.94
	L6	859.67	8.94
	L7	952.98	8.06
	L8	967.43	7.94

**Tabel 4.7** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 2

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	418.457	23.562
	L2	169.117	58.301
	L3	148.250	66.508
	L4	423.464	23.284
	A1	709.242	10.831
	A2	364.421	21.079
	A3	321.091	23.924
	B1	694.464	11.061
	B2	379.186	20.259
	B3	384.158	19.996
	C1	883.276	8.697
	C2	351.311	21.866
	C3	399.894	19.209
	D1	717.464	10.707
	D2	293.777	26.148
	D3	372.080	20.645

**Tabel 4.8** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 3

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	477.959	16.072
	L2	506.545	15.165
	L3	527.960	18.675
	L4	529.702	18.614
	L5	516.627	14.869
	L6	481.252	15.962
	A1	271.917	28.250
	A2	754.591	10.180
	A3	199.414	38.522
	B1	266.597	28.814
	B2	194.105	39.575
	B3	756.164	10.159

**Tabel 4.9** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 4

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	501.737	19.651
	L2	332.893	23.076
	L3	277.286	27.703
	L4	339.151	22.650
	L5	510.225	19.236
	A1	312.887	24.551
	A2	369.184	20.807
	A3	368.743	20.832

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada pembebanan  $0^{\circ}$  dengan kondisi FSO *stand alone*, *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* pada variasi 1 yaitu pada *line 1* dan *line 8* yang masing-masing sebesar 965.25 kN dan 967.43 kN ini disebabkan karena *line 1* dan *line 8* berhadapan langsung dengan pembebanan  $0^{\circ}$ . Variasi 2 *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yang terhubung dengan FSO yaitu pada *line 1* dan *line 4* yang masing-masing sebesar 418.457 kN dan 423.464 kN ini disebabkan karena *line 1* dan *line 4*. Variasi 3 *tension* terbesar yang

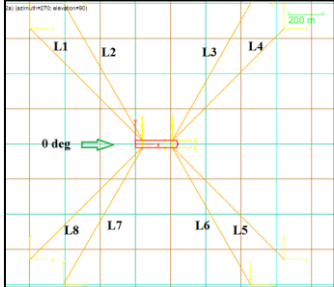


terjadi pada *mooring line* yang terhubung dengan FSO yaitu 2 dan 5 yaitu sebesar 506.545 kN dan 516.627 kN. Variasi 4 *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yang terhubung pada FSO yaitu *line* 1 dan 5 yang masing-masing sebesar 501.737 kN dan 510.225 kN. Sedang *anchor line* yang terhubung dengan *buoy*, *tension* terbesar terjadi pada variasi 3 *line* B3 sebesar 756.164 kN.

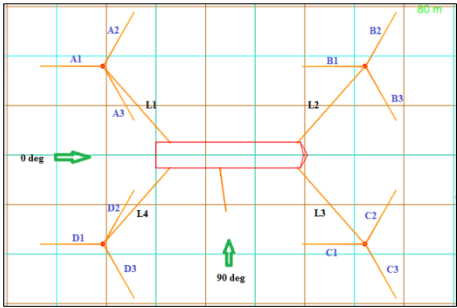
#### 4.9.2 Analisis *Tension Mooring Line* Heading 45°

Pembebanan FSO dengan arah 45° merupakan arah pembebanan *quartening seas* berdasarkan orientasi FSO. Berikut merupakan ringkasan hasil *tension mooring line* FSO dengan pembebanan arah 45°.

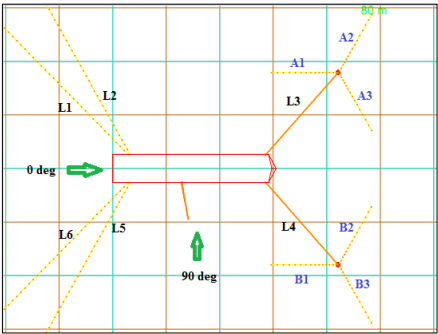
**Tabel 4.10** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 1

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	804.50	9.55
	L2	769.94	9.98
	L3	842.37	9.12
	L4	847.65	9.06
	L5	936.47	8.20
	L6	939.65	8.18
	L7	1137.70	6.75
	L8	1088.73	7.06

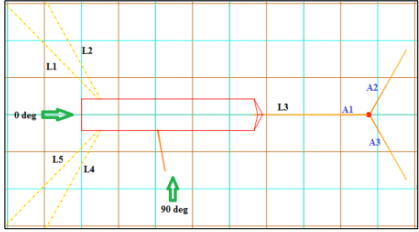
**Tabel 4.11** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 2

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	193.035	51.077
	L2	475.291	20.745
	L3	834.412	11.816
	L4	830.705	11.869
	A1	556.935	13.793
	A2	348.647	22.033
	A3	381.849	20.117
	B1	476.501	16.121
	B2	379.991	20.216
	B3	335.791	22.877
	C1	332.599	23.096
	C2	212.888	36.083
	C3	1041.783	7.374
	D1	929.677	8.263
	D2	197.143	38.965
	D3	774.163	9.923

**Tabel 4.12** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 3

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	361.063	21.275
	L2	360.867	21.287
	L3	545.372	18.079
	L4	585.441	13.121
	L5	735.922	10.438
	L6	764.472	12.897
	A1	239.755	32.040
	A2	763.156	10.066
	A3	213.338	36.007
	B1	249.022	30.848
	B2	216.584	35.468
	B3	979.319	7.844

**Tabel 4.13** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 4

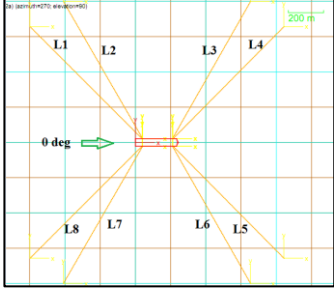
Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	376.385	20.409
	L2	433.533	17.719
	L3	603.698	12.724
	L4	789.794	9.726
	L5	1114.019	8.851
	A1	197.035	38.987
	A2	820.982	9.357
	A3	1051.387	7.306

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada pembebanan  $45^\circ$  FSO dengan *mooring line* variasi 1, *tension* terbesar terjadi pada *mooring line* yaitu pada *line 7* dan *line 8* yang masing-masing sebesar 1137.70 kN dan 1088.73 kN. Variasi 2 *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yang terhubung pada FSO yaitu pada *line 3* dan *line 4* yang masing-masing sebesar 834.412 kN dan 830.705 kN. Pada variasi 3 *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yang terhubung pada FSO terjadi pada *line 5* dan *6* yang masing – masing sebesar 735.922 kN dan 764.472 kN. Variasi 4, *tension* terbesar terjadi pada *line 4* dan *line 5* sebesar 789.794 kN dan 1114.019 kN. *Tension anchor line* terbesar terjadi pada variasi 4 *line A3* sebesar 1051.387 kN.

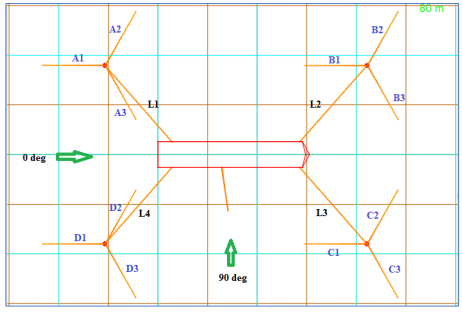
#### 4.9.3 Analisis *Tension Mooring Line* Heading $90^\circ$

Pembebanan FSO dengan arah  $90^\circ$  merupakan arah pembebanan *beam seas* berdasarkan orientasi FSO. Berikut merupakan ringkasan hasil *tension mooring line* pada saat FSO *stand alone* dengan pembebanan arah  $90^\circ$ .

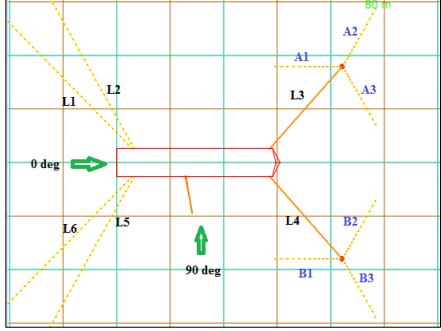
**Tabel 4.14** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 1

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	807.79	9.51
	L2	785.65	9.78
	L3	811.49	9.47
	L4	824.35	9.32
	L5	1083.02	7.09
	L6	1118.70	6.87
	L7	1231.14	6.24
	L8	1139.81	6.74

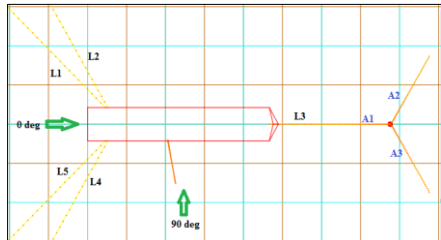
**Tabel 4.15** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 2

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	136.454	72.257
	L2	84.275	116.994
	L3	753.954	13.077
	L4	771.045	12.787
	A1	350.659	21.907
	A2	301.245	25.500
	A3	411.706	18.658
	B1	312.581	24.575
	B2	382.129	20.103
	B3	407.301	18.860
	C1	194.331	39.529
	C2	171.100	44.896
	C3	962.695	7.979
	D1	853.911	8.996
	D2	172.988	44.406
D3	766.373	10.024	

**Tabel 4.16** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 3

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	349.745	21.964
	L2	346.824	22.149
	L3	522.253	18.879
	L4	850.243	11.596
	L5	825.055	9.311
	L6	691.658	11.106
	A1	242.343	31.698
	A2	709.971	10.820
	A3	317.527	24.192
	B1	198.834	38.634
	B2	208.527	36.838
	B3	1101.702	6.973

**Tabel 4.17** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 4

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	211.261	36.361
	L2	231.475	33.186
	L3	1157.410	8.519
	L4	1206.689	6.366
	L5	607.396	12.647
	A1	142.396	53.947
	A2	838.167	9.165
	A3	1160.576	6.619

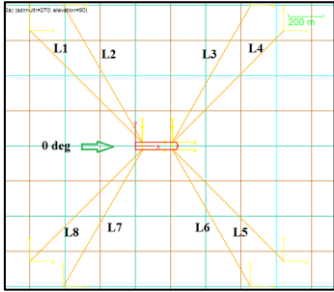
Pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada pembebanan 90° *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yaitu pada *line 7* dan *line 8* yang masing-masing sebesar 1231.14 kN dan 1139.81 kN. Variasi 2, *tension* terbesar pada *mooring line* yang terhubung pada FSO terjadi pada *line 3* dan *line 4* yang masing-masing sebesar 753.954 kN dan 771.045 kN. Pada variasi 3 *tension* terbesar *mooring line* yang terhubung pada FSO yaitu terjadi pada *line 4* dan *line 5* yang masing – masing sebesar 850.243 kN dan 825.055 kN. Variasi 4, *tension* terbesar terjadi pada *line 3* dan *line 4*

sebesar 1157.410 kN dan 1206.689 kN. *Tension* terbesar *anchor chain* yang terhubung dengan *buoy* yaitu pada variasi 4 *line* A3 sebesar 1160.576 kN.

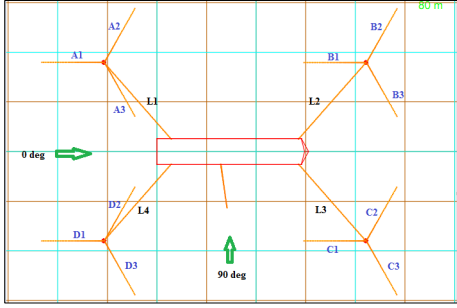
#### 4.9.4 Analisis *Tension Mooring Line* Heading 135°

Pembebanan FSO dengan arah 135° merupakan arah pembebanan *quartening seas* berdasarkan orientasi FSO. Berikut merupakan ringkasan hasil *tension mooring line* pada saat FSO *stand alone* dengan pembebanan arah 135°.

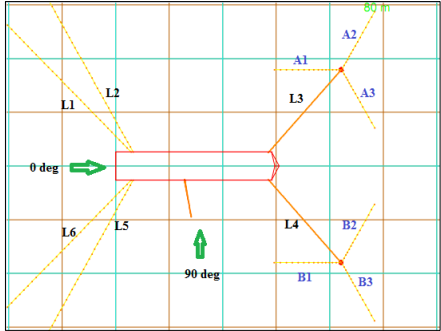
**Tabel 4.18** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 1

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	835.22	9.20
	L2	818.83	9.38
	L3	755.37	10.17
	L4	784.34	9.79
	L5	1100.87	6.98
	L6	1147.81	6.69
	L7	1098.61	6.99
	L8	1047.34	7.33

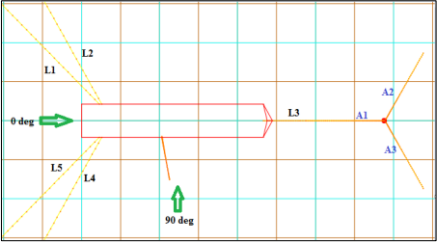
**Tabel 4.19** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 2

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	424.831	23.209
	L2	155.113	63.565
	L3	987.554	9.984
	L4	849.723	11.603
	A1	401.293	19.142
	A2	387.481	19.825
	A3	432.624	17.756
	B1	336.425	22.833
	B2	323.142	23.772
	B3	532.743	14.419
	C1	229.212	33.514
	C2	212.929	36.077
	C3	1275.834	6.021
	D1	910.424	8.438
	D2	201.165	38.186
D3	796.093	9.649	

**Tabel 4.20** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 3

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	311.453	24.664
	L2	334.918	22.936
	L3	444.646	22.174
	L4	852.364	11.568
	L5	766.609	10.020
	L6	624.089	12.309
	A1	298.292	25.752
	A2	642.231	11.961
	A3	614.893	12.493
	B1	167.645	45.822
	B2	201.425	38.137
	B3	1116.283	6.882

**Tabel 4.21** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 4

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	196.245	39.144
	L2	201.079	38.203
	L3	1259.030	7.831
	L4	1436.328	5.348
	L5	823.548	9.328
	A1	109.686	70.034
	A2	737.291	10.419
	A3	1291.070	5.950

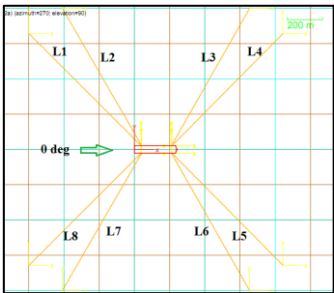
Pada tabel menunjukkan bahwa pada pembebanan  $135^\circ$  dengan kondisi FSO *stand alone*, *tension* terbesar yang terjadi pada *mooring line* yaitu pada *line 5* dan *line 6* yang masing-masing sebesar 1100.87 kN dan 1147.81 kN. Variasi 2 *tension* terbesar *mooring line* yang terhubung pada FSO sebesar 987.554 kN dan 849.723 kN terjadi pada *line 3* dan 4. Variasi 3 *tension* terbesar terjadi pada *line 4* sebesar 852.364 kN dan variasi 4 *tension* terbesar terjadi pada *line 3* dan *line 4* sebesar 1259.030 kN dan 1436.328 kN. *Tension* terbesar *anchor chain* yang terhubung dengan *buoy* yaitu pada variasi 4 *line A3* sebesar 1291.070 kN.

#### 4.9.5 Analisis *Tension Mooring Line* Heading $180^\circ$

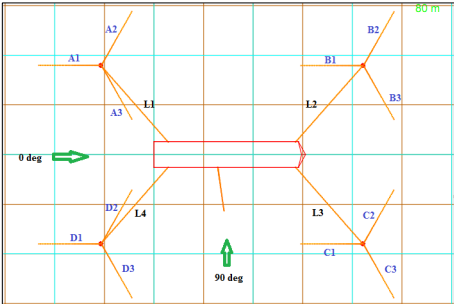
Pembebanan FSO dengan arah  $180^\circ$  merupakan arah pembebanan *head seas* berdasarkan orientasi FSO. Berikut merupakan ringkasan hasil *tension mooring line* pada saat FSO *stand alone* dengan pembebanan arah  $180^\circ$ .



**Tabel 4.22** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 1

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	922.69	8.33
	L2	923.86	8.31
	L3	922.07	8.33
	L4	942.28	8.15
	L5	937.55	8.19
	L6	915.41	8.39
	L7	915.41	8.39
	L8	924.88	8.31

**Tabel 4.23** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* FSO Variasi 2

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	465.523	21.180
	L2	534.966	18.431
	L3	540.985	18.225
	L4	449.173	21.951
	A1	572.318	13.422
	A2	1410.569	5.446
	A3	1124.100	6.834
	B1	515.455	14.903
	B2	906.007	8.479
	B3	1462.286	5.253
	C1	525.433	14.620
	C2	1511.553	5.082
	C3	890.237	8.629
	D1	491.424	15.632
	D2	1326.568	5.791
	D3	1692.231	4.539

**Tabel 4.24** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* Variasi 3

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	422.537	18.180
	L2	462.580	16.606
	L3	708.283	13.921
	L4	705.363	13.978
	L5	468.529	16.395
	L6	424.334	18.103
	A1	531.183	14.462
	A2	1128.766	6.805
	A3	1381.924	5.559
	B1	531.499	14.453
	B2	1486.533	5.168
	B3	1076.685	7.135

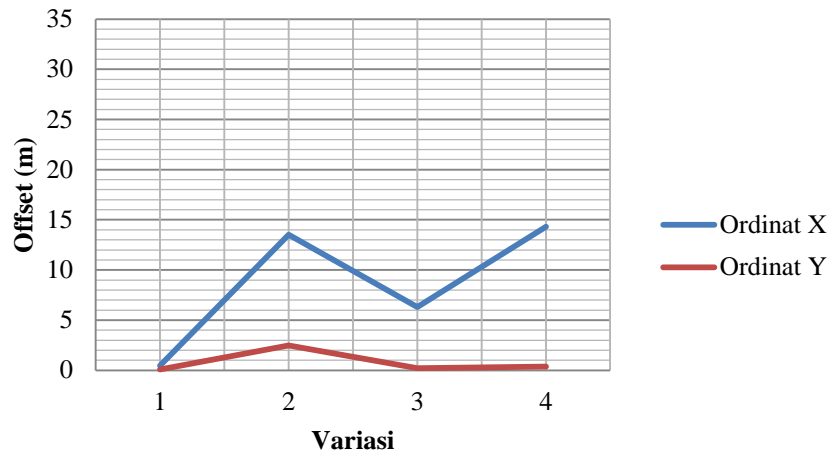
**Tabel 4.25** Ringkasan Hasil *Tension Mooring Line* Variasi 4

Configuration	Line	Maximum Tension (kN)	SF
	L1	272.360	28.204
	L2	325.733	23.583
	L3	1032.913	9.546
	L4	346.397	22.176
	L5	280.593	27.377
	A1	658.400	11.667
	A2	1217.645	6.309
	A3	1432.870	5.361

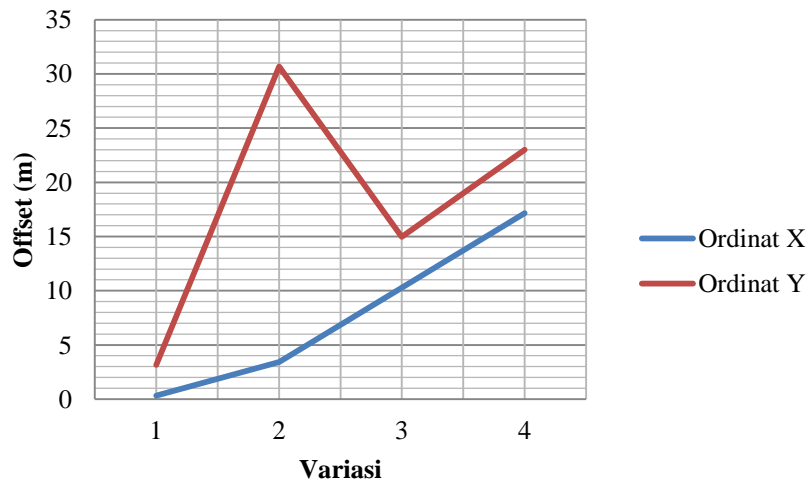
Pada tabel diatas menunjukkan bahwa pada pembebanan 180°, *mooring line* dengan variasi 1 *tension* terbesar terjadi pada *line* 4 dan *line* 5 yang masing-masing sebesar 942.28 kN dan 937.55 kN. Variasi 2 *tension* terbesar terjadi pada *line* 2 dan *line* 3 sebesar 534.966 kN dan 540.985 kN. Variasi 3 *tension* terbesar terjadi pada *line* 3 dan *line* 4 sebesar 708.283 kN dan 705.363 kN. Variasi 4 *tension* terbesar terjadi pada *line* 3 sebesar 1032.913 kN. *Anchor chain* yang terhubung dengan *buoy* memiliki *tension* sebesar 1692.231 kN pada variasi 2 *line* D3.

#### 4.9.6 Analisis *Offset* FSO

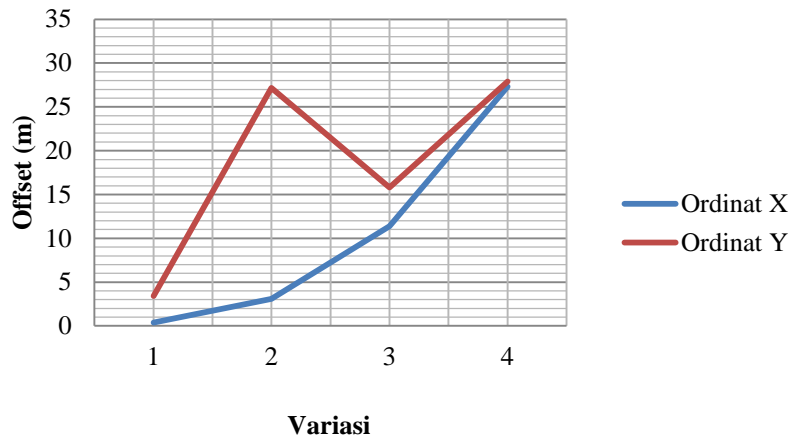
*Offset* merupakan perpindahan FSO akibat beban lingkungan yang mengenainya. Berikut merupakan hasil *offset vessel* setiap variasi konfigurasi *mooring system* dengan arah pembebanan  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $180^\circ$ .



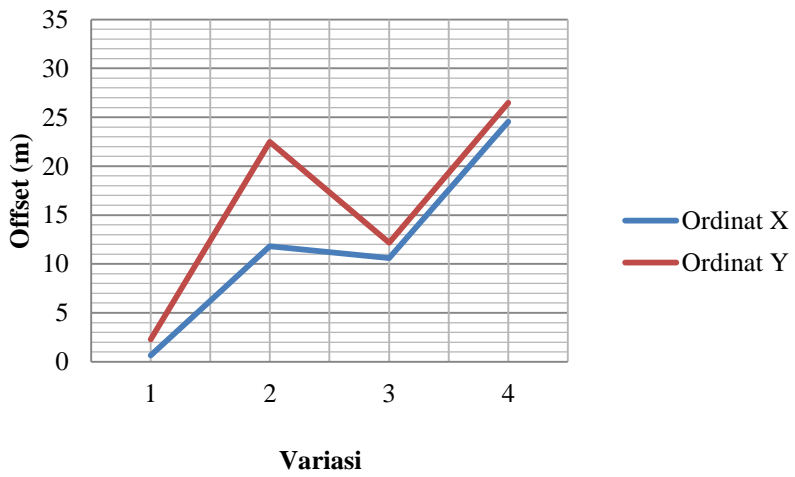
Gambar 4.26 (a). Grafik *Offset* FSO Pembebanan  $0^\circ$



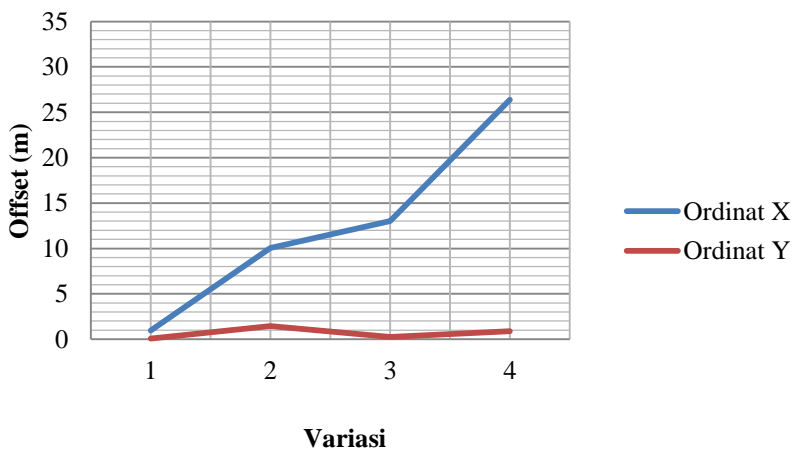
Gambar 4.26 (b). Grafik *Offset* FSO Pembebanan  $45^\circ$



**Gambar 4.26 (c).** Grafik *Offset* FSO Pembebanan  $90^\circ$



**Gambar 4.26 (d).** Grafik *Offset* FSO Pembebanan  $135^\circ$



**Gambar 4.25 (e).** Grafik *Offset* FSO Pembebanan  $180^\circ$

Berikut merupakan tabel besar perpindahan (*offset*) FSO:

**Tabel 4.26** Ringkasan Hasil *Offset Vessel*

Arah Pembebanan	Offset (m)							
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3		Variasi 4	
0°	x	0.48	x	13.53	x	6.30	x	14.31
	y	0.08	y	2.49	y	0.21	y	0.37
45°	x	0.31	x	3.43	x	10.28	x	17.15
	y	3.15	y	30.68	y	14.96	y	23.01
90°	x	0.37	x	3.09	x	11.38	x	27.33
	y	3.40	y	27.17	y	15.80	y	27.89
135°	x	0.65	x	11.81	x	10.59	x	24.53
	y	2.29	y	22.49	y	12.17	y	26.48
180°	x	0.95	x	10.07	x	13.02	x	26.38
	y	0.08	y	1.46	y	0.25	y	0.88

Dari grafik dan tabel menunjukkan bahwa *offset* terbesar terjadi pada *mooring system* dengan variasi 2 pada saat pembebanan 45° sebesar 3.43 m pada ordinat X dan 30.68 m pada ordinat Y. Sedangkan *offset* terkecil terjadi pada *mooring system* variasi 1 sebesar 0.48 m pada ordinat X dan 0.08 m pada sumbu Y dengan pembebanan arah 0°.

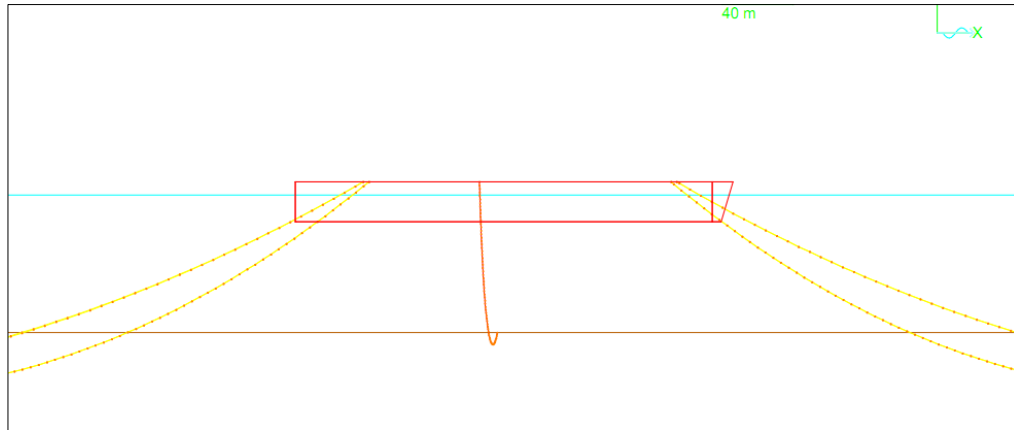
#### 4.10 Pemodelan *Riser* Dengan Software *Orcaflex*

*Riser* yang akan dimodelkan pada FSO ini merupakan *flexible riser* dengan konfigurasi *free hanging* dan *lazy wave*. *Riser* ini memiliki *outer diameter* 350 mm dengan panjang 134 m dan dipasang pada FSO dengan radius 100 m dari buritan.

Pemodelan dilakukan dengan memasukkan *properties riser* pada software *Orcaflex* dan selanjutnya menempatkan *riser* dalam koordinat-koordinat FSO dan *seabed*. Tabel 4.5 merupakan koordinat-koordinat peletakan *riser* pada FSO dan *seabed* :

**Tabel 4.27** Koordinat Lokasi *Riser*

Description	Coordinate at FSO		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
<i>Flexible Riser</i>	102.8	-21.1	22.2
	Coordinate at seabed		
	X (m)	Y (m)	Z (m)
	112.8	-75.49	0



**Gambar 4.27** Pemodelan *Riser* Tampak Samping pada Software *Orcaflex*

#### 4.11 Analisis *Tension Maksimum* dan *Bending Radius* pada *Riser*

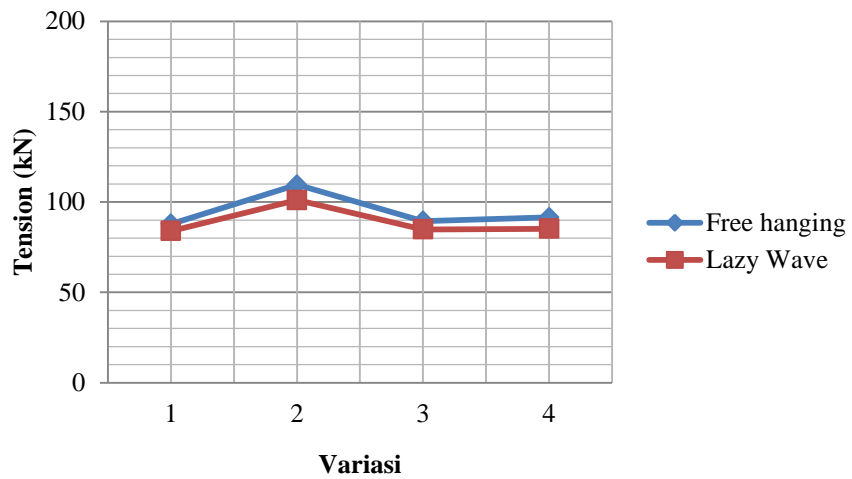
Analisis *tension* pada *riser* dilakukan dalam dua kondisi FSO yaitu *stand alone* dan *offloading* yang masing-masing dengan pembebanan  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$ , dan  $180^\circ$ . Berdasarkan API 17 B *Recommended Practice for Flexible Pipe* dan API 17J *Specification for Unbonded Flexible Pipe* telah ditentukan kriteria *safety factor* pada *flexible riser* yaitu sebagai berikut :

- $MBR > 1.5 \times MBR_{storage}$ , for operating condition
- $MBR > 1.25 \times MBR_{storage}$ , for abnormal condition
- *Maximum tension* < *Failure Tension*

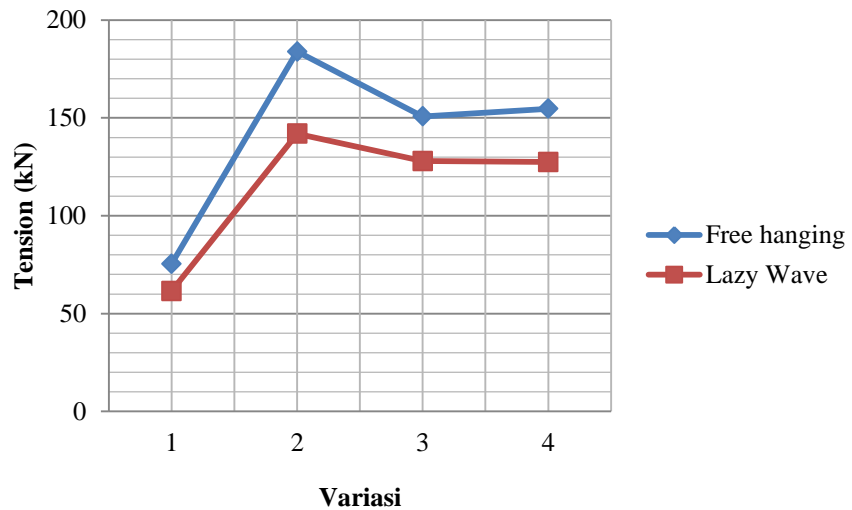
Pada tugas akhir ini *flexible riser* memiliki nilai *minimum radius bending* (MBR) sebesar 3.675 m dan *failure tension* sebesar 1884 kN.

##### 4.11.1 *Maximum Tension Riser Heading* $0^\circ$

Berikut ini merupakan grafik besar *tension* maksimum yang terjadi pada *riser* akibat pembebanan arah  $0^\circ$  pada kondisi FSO *stand alone* dan *offloading*.



**Gambar 4.28 (a)** Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Stand Alone*

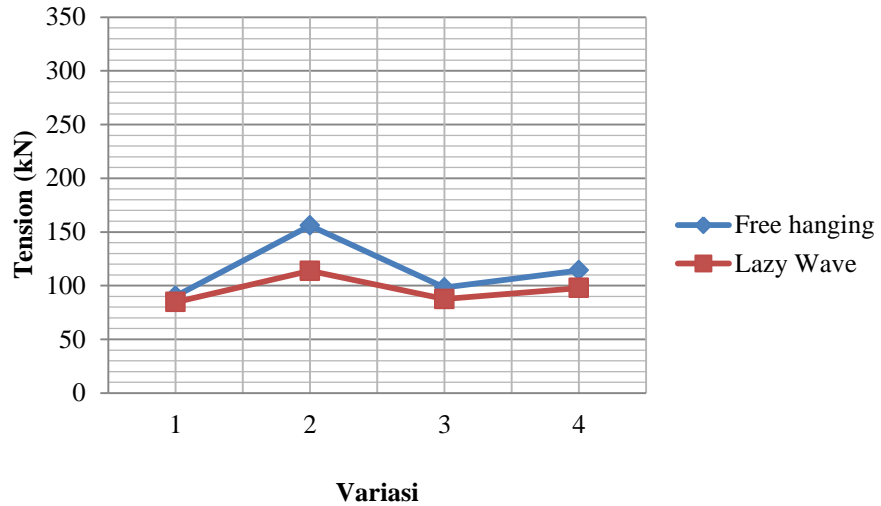


**Gambar 4.28 (b)** Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Offloading*

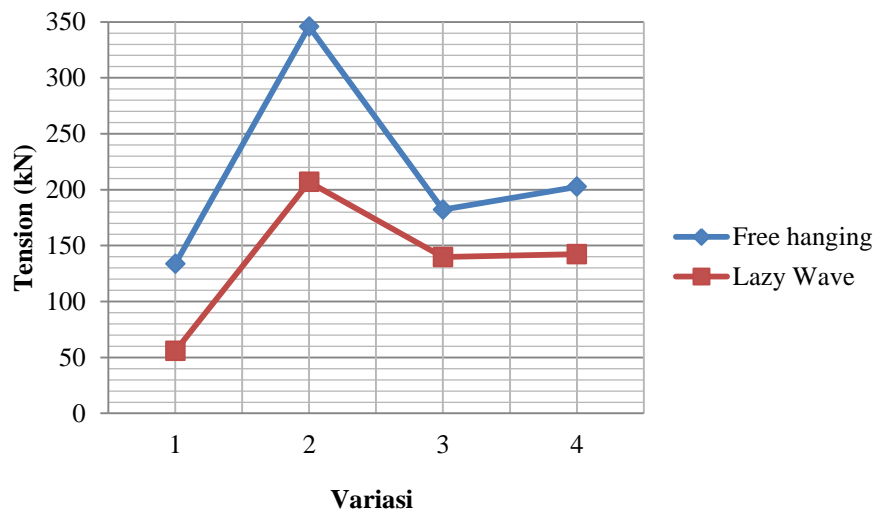
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa *tension* terbesar terjadi pada *riser* dengan konfigurasi *mooring system* variasi 2 kondisi *stand alone* maupun *offloading* dimana untuk tipe *riser free hanging* masing-masing memiliki *tension* sebesar 109.55 kN dan 183.88 kN dan untuk tipe *lazy wave* masing- masing memiliki *tension* sebesar 101.09 kN dan 141.90 kN.

#### 4.11.2 Maximum Tension Riser Heading 45°

Berikut ini merupakan grafik besar *tension* maksimum yang terjadi pada *riser* akibat pembebanan arah 45° pada kondisi FSO *stand alone* dan *offloading*.



**Gambar 4.29 (a)** Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Stand Alone*



**Gambar 4.29 (b)** Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Offloading*

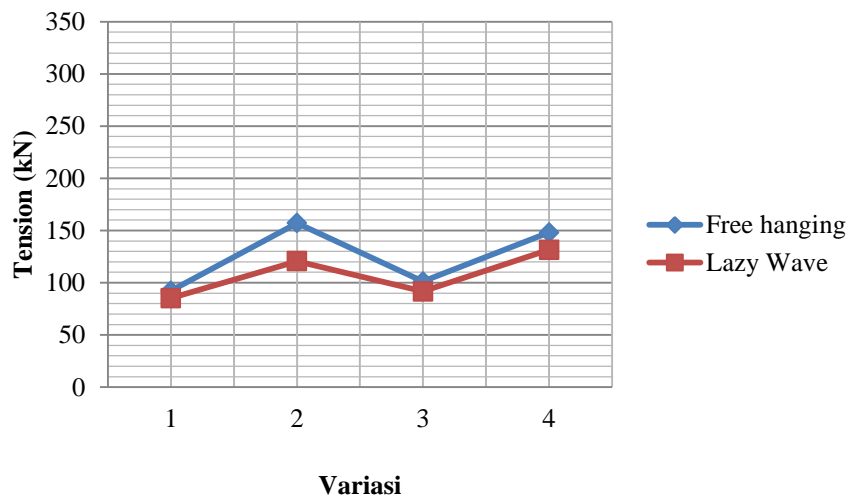
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa *tension* terbesar terjadi pada *riser* dengan konfigurasi *mooring system* variasi 2 kondisi *stand alone* maupun *offloading* dimana untuk tipe *riser free hanging* masing-masing memiliki *tension* sebesar 155.91 kN dan 345.83 kN



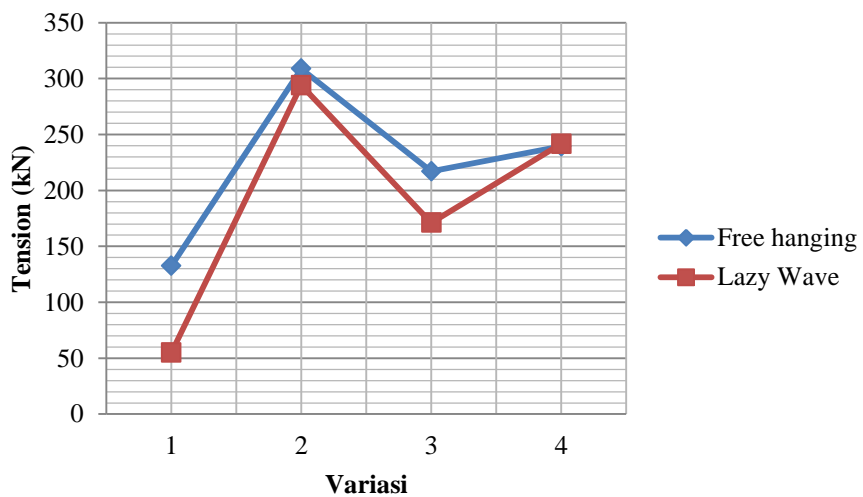
dan untuk tipe *lazy wave* masing- masing memiliki *tension* sebesar 113.68 kN dan 206.93 kN.

#### 4.11.3 *Maximum Tension Riser Heading 90°*

Berikut ini merupakan grafik besar *tension* maksimum yang terjadi pada *riser* akibat pembebanan arah  $90^\circ$  pada kondisi *FSO stand alone* dan *offloading*.



**Gambar 4.30 (a)** Grafik *Tension Riser* Kondisi *FSO Stand Alone*

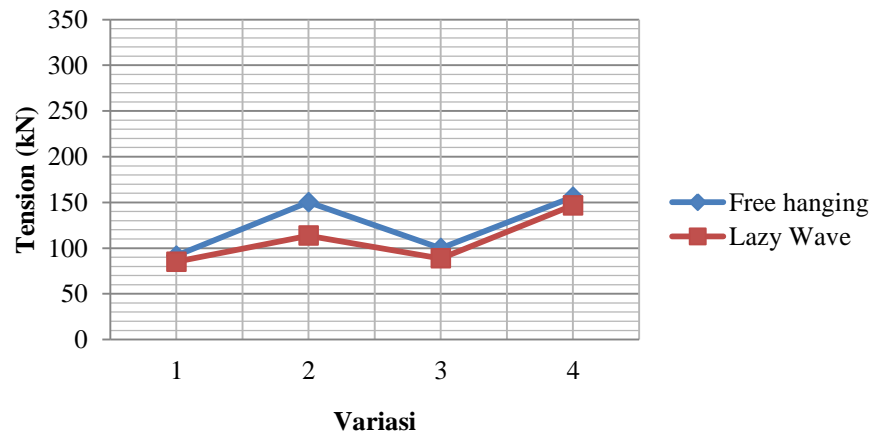


**Gambar 4.30 (b)** Grafik *Tension Riser* Kondisi *FSO Offloading*

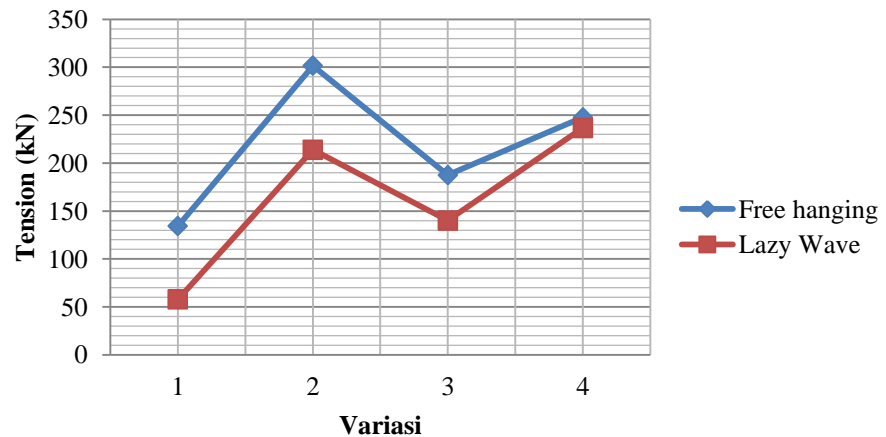
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa *tension* terbesar untuk *riser* tipe *free hanging* pada kondisi *stand alone* dan *offloading* terjadi pada variasi 2 dimana masing-masing sebesar 157.07 kN dan 308.71 kN. *Riser* tipe *lazy wave* pada saat kondisi *stand alone* *tension* terbesar terjadi pada variasi 4 sebesar 131.59 kN dan kondisi *offloading* *tension* terbesar terjadi pada variasi 2 sebesar 294 kN.

#### 4.11.4 Maximum Tension Riser Heading 135°

Berikut ini merupakan grafik besar *tension* maksimum yang terjadi pada *riser* akibat pembebanan arah 135° pada kondisi FSO *stand alone* dan *offloading*.



Gambar 4.31 (a) Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Stand Alone*

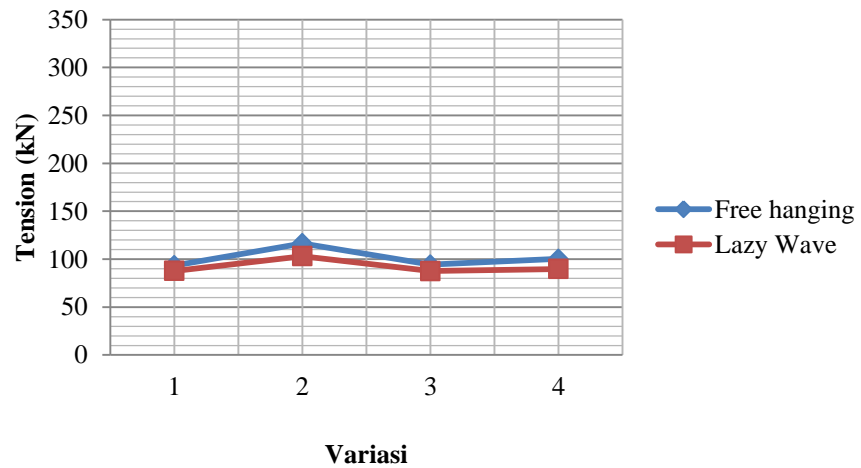


Gambar 4.31 (b) Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Offloading*

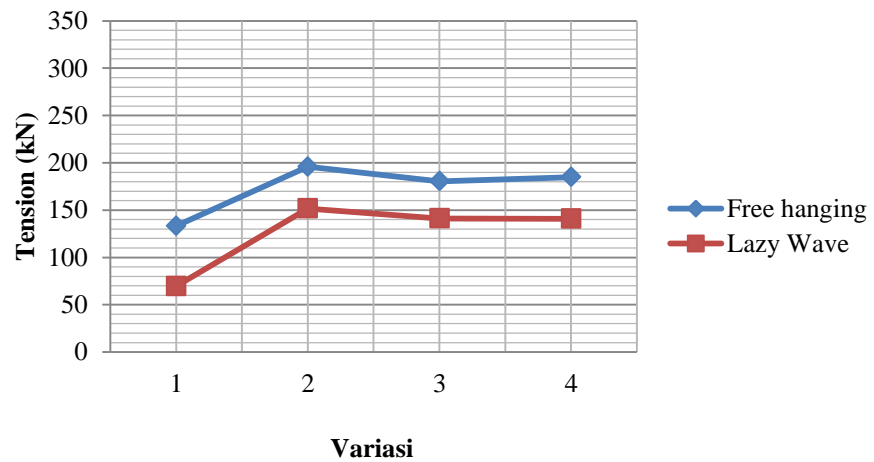
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa *tension* terbesar terjadi pada *riser* dengan konfigurasi *mooring system* variasi 2 kondisi *stand alone* maupun *offloading* dimana untuk tipe *riser free hanging* masing-masing memiliki *tension* sebesar 156.04 kN dan 301.54 kN dan untuk tipe *lazy wave* masing- masing memiliki *tension* sebesar 146.73 kN dan 213.83 kN.

#### 4.11.5 Maximum Tension Riser Heading 180°

Berikut ini merupakan grafik besar *tension* maksimum yang terjadi pada *riser* akibat pembebanan arah 180° pada kondisi FSO *stand alone* dan *offloading*.



Gambar 4.32 (a) Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Stand Alone*



Gambar 4.32 (b) Grafik *Tension Riser* Kondisi FSO *Offloading*

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa *tension* terbesar terjadi pada *riser* dengan konfigurasi *mooring system* variasi 2 kondisi *stand alone* maupun *offloading* dimana untuk tipe *riser free hanging* masing-masing memiliki *tension* sebesar 157.07 kN dan 345.83 kN dan untuk tipe *lazy wave* masing- masing memiliki *tension* sebesar 120.63 kN dan 294 kN.

Dari **gambar 4.28 – 4.32** menunjukkan *riser* dengan tipe *lazy wave* memiliki *tension* yang lebh kecil dibandingkan dengan tipe *free hanging*. Selisih *tension* tersebut sebesar 4 – 58%.

#### 4.11.6 Analisis Minimum Bending Radius

Berikut ini merupakan hasil *minimum bending radius* yang terjadi pada *riser* tipe *free hanging* dan *lazy wave* dengan kondisi pembebanan 0°, 45°, 90°, 135° dan 180°.

**Tabel 4.28** Hasil *Minimum Bending Radius Riser* pada Kondisi *Stand Alone*

Heading	Minimum Bending Radius (m)							
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3		Variasi 4	
	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave
0	7.15	6.40	4.90	6.32	7.00	6.27	7.11	6.43
45	7.97	6.99	6.32	7.82	8.81	7.35	11.93	12.14
90	8.23	7.24	6.92	8.06	9.34	8.52	17.70	12.70
135	8.68	7.52	6.59	7.74	10.07	8.66	23.29	14.44
180	7.74	6.89	5.33	6.78	7.33	6.75	7.84	7.20

**Tabel 4.29** Hasil *Minimum Bending Radius Riser* pada Kondisi *Offloading*

Heading	Minimum Bending Radius (m)							
	Variasi 1		Variasi 2		Variasi 3		Variasi 4	
	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave	Free Hanging	Lazy Wave
0	6.96	7.52	3.63	6.09	4.01	6.67	4.04	6.72
45	6.02	7.74	5.29	7.18	5.14	7.69	6.81	8.53
90	6.24	7.53	5.83	6.98	6.05	8.09	7.21	9.22
135	6.81	8.76	7.35	7.28	6.37	8.06	8.11	10.04
180	5.77	8.29	4.44	6.36	4.83	7.24	5.15	7.35

Dari tabel diatas menunjukkan bahwa *flexible riser* yang memiliki *minimum radius bending* terkecil pada saat FSO kondisi *stand alone* terjadi pada variasi 2 dengan tipe *free hanging* yaitu sebesar 4.90 m dan kondisi *offloading* sebesar 3.63 m. Nilai tersebut tidak memenuhi kriteria yang telah ditentukan API, dimana pada saat kondisi operasi nilai *radius bending* tidak boleh kurang dari 1.5MBR atau 5.51 m untuk *flexible riser* dalam penelitian ini.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan yang dapat menjawab rumusan masalah pada tugas akhir ini. Berikut ini kesimpulan yang dapat dirangkum dalam penelitian ini:

1. *Maximum tension mooring line spread mooring* sebesar 1231 kN dengan pembebanan arah  $90^\circ$ , *mooring line* dengan 4 *buoy* memiliki *maximum tension* sebesar 1692 kN yang terjadi pada *anchor chain* dengan pembebanan arah  $180^\circ$ . *Mooring line* dengan 2 *buoy* memiliki *maximum tension* sebesar 1487 kN pada *anchor chain* dengan pembebanan arah  $180^\circ$ . Sedangkan *mooring line* dengan 1 *buoy* memiliki *maximum tension* sebesar 1432 kN dengan pembebanan arah  $180^\circ$ . *Offset* FSO terbesar terjadi pada *mooring system* dengan 4 *buoy* sebesar 3 m pada ordinat X dan 31 m pada ordinat Y. *Offset* terkecil terjadi pada konfigurasi *spread mooring* dimana perpindahannya sebesar 0.48 m pada ordinat X dan 0.08 pada ordinat Y.
2. *Tension riser* terbesar terjadi pada konfigurasi *mooring system* dengan 4 *buoy* dimana konfigurasi tersebut mengalami *offset* yang paling besar. Semakin besar *offset* maka semakin besar *tension riser* karena FSO bergerak lebih bebas. *Tension* terbesar terjadi pada arah pembebanan  $45^\circ$  sebesar 346 kN. *Riser* dengan tipe *lazy wave* memiliki *tension* yang lebih kecil dibandingkan dengan tipe *free hanging* yang memiliki perbedaan 4 – 58%.

### 5.2 Saran

1. Dianjurkan untuk melakukan analisis keandalan pada *mooring system* untuk mendapatkan tingkat keamanan yang tinggi.
2. Dapat melanjutkan penelitian untuk analisis *maximum compression* yang terjadi pada *flexible riser*

## DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2018. *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA. American Bureau of Shipping.
- API RP 2P. 1987. *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units*. Washington DC: API Publishing Services.
- API RP 2SK. 1996. *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structure*. Washington DC: API Publishing Services.
- Bai, Yong. 2005. *Subsea Pipelines and Risers*. United Kingdom: Elsevier.
- Chakrabarti, S. K. 2005 *Handbook of Offshore Engineering*. Boston. USA: Computational Mechanics Publications Documents.
- Djarmiko, E. B. 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OSS 302. 2010. *Offshore Riser Systems*. Det Norske Veritas AS.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Heurtier, J.M, et.al. 2001. "Coupled Dynamic Response of Moored FPSO with Risers". *Proceedings of the Eleventh (2001) International Offshore and Polar Engineering Conference Stavanger*. Norway, 17-22 June.
- Ismail, N. Nielsen. R. and Kanarellis, M. 1992."Design Considerations for Selection of Flexible Riser Configuration". *Offshore and Arctic Operations*; Vol 42: 1-57.
- Li, S and Nguyen, C. 2010. "Dynamic Response of Deepwater Lazy-Wave Catenary Riser". *Deep Offshore Technology International* (Dec): 1-19.

- Li, Shangzhan. 2014. *Response Analysis of the Deepwater Steel Lazy-Wave Riser for the Turret Moored Floating Production Storage Off-loading System*. Melbourne: Florida Institute of Technology.
- Mahanani, Dian F. 2017. *Analisa Time-Domain Pengaruh Spread Mooring Dengan Variasi Jumlah Line Terhadap Tension Pada Flexible Riser*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- OCIMF. 1997. *Mooring Equipment Guidelines 2<sup>nd</sup> Edition*. United Kingdom: Witherby Seamanship International.
- Permana, Satria A. 2013. *Analisis Kekuatan Riser pada Single Buoy Mooring FPSO Seagood 101 Saat Kondisi Far Side dan Near Side*. Tugas Akhir Departemen Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Rho, Yu-Ho et.al. 2013. "Static and Dynamic Mooring Analysis – Stability of Floating Production Storage and Offloading (FPSO) Risers for Extreme Environmental Conditions". *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*. 5: 179-187.
- Sun, Liping and Qi, Bo. 2011. "Analysis of Flexible Riser". *Journal of Marine Science and Application*. 10: 478-484.
- Wijaya, M.S.H. 2012. "Analisa Tegangan Dinamis Flexible Riser Akibat Motion FPSO Saat Kondisi Fully Loaded dan Ballast". *Jurnal Teknik POMITS*. 1: 1-5.



**Lampiran A**  
**Hasil Output RAO FSO MOSES**  
**Kondisi Maksimum Draft (Full Load)**

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     April 10, 2019                             *
*
* BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
* Draft      = 14.9 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.      GMT           = 4.9 Meters *
* Roll Gy. Radius = 16.5 Meters  Pitch Gy. Radius = 69.7 Meters  Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters *
* Heading    = 0.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots  Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.968	97	0.000	0	1.000	7	0.000	0	0.059	-85	0.000	0
0.2000	31.42	0.919	117	0.000	0	0.976	27	0.001	53	0.237	-62	0.000	0
0.3000	20.94	0.777	152	0.000	0	0.862	58	0.001	110	0.515	-27	0.000	0
0.4000	15.71	0.503	-159	0.000	0	0.566	98	0.009	0	0.785	18	0.000	0
0.5000	12.57	0.151	-98	0.000	0	0.143	76	0.001	68	0.757	70	0.000	0
0.6000	10.47	0.092	158	0.000	0	0.350	24	0.000	0	0.098	-142	0.000	0
0.7000	8.98	0.085	-114	0.000	0	0.086	172	0.000	0	0.228	-18	0.000	0
0.8000	7.85	0.028	176	0.000	0	0.064	-25	0.000	0	0.058	169	0.000	0
0.9000	6.98	0.016	-89	0.000	0	0.016	-137	0.000	0	0.038	27	0.000	0
1.0000	6.28	0.018	-121	0.000	0	0.009	94	0.000	0	0.015	-44	0.000	0
1.1000	5.71	0.011	-139	0.000	0	0.006	55	0.000	0	0.006	-116	0.000	0
1.2000	5.24	0.005	-147	0.000	0	0.003	35	0.000	0	0.004	-154	0.000	0
1.3001	4.83	0.003	-151	0.000	0	0.002	37	0.000	0	0.002	-151	0.000	0
1.4000	4.49	0.002	-145	0.000	0	0.001	58	0.000	0	0.001	-125	0.000	0
1.4999	4.19	0.002	-129	0.000	0	0.001	106	0.000	0	0.001	-41	0.000	0
1.6000	3.93	0.001	-107	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	47	0.000	0
1.7000	3.70	0.001	-86	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	121	0.000	0
1.7998	3.49	0.000	0	0.000	0	0.001	93	0.000	0	0.000	0	0.000	0
1.9000	3.31	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	93	0.000	0
1.9997	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.1000	2.99	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.2000	2.86	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0
2.2998	2.73	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	-97	0.000	0

```

*****
*
*                                     *** MOSES ***
*                                     -----
*                                     April 10, 2019
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 4.9 Meters
*      Roll Gy. Radius = 16.5 Meters     Pitch Gy. Radius = 69.7 Meters  Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters
*      Heading         = 45.00 Deg.      Forward Speed    = 0.00 knots     Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.685	95	0.700	95	1.001	5	0.043	95	0.042	-89	0.025	-174
0.2000	31.42	0.660	109	0.671	109	0.991	19	0.199	112	0.169	-70	0.096	-160
0.3000	20.94	0.595	134	0.603	133	0.940	42	0.667	138	0.382	-45	0.197	-138
0.4000	15.71	0.472	168	0.437	162	0.803	71	2.192	70	0.667	-12	0.261	-102
0.5000	12.57	0.287	-148	0.254	-151	0.497	93	0.347	80	0.962	22	0.301	-61
0.6000	10.47	0.088	-94	0.065	-110	0.262	-30	0.159	-136	0.686	42	0.204	-11
0.7000	8.98	0.049	149	0.044	165	0.219	-19	0.177	-29	0.148	151	0.053	45
0.8000	7.85	0.067	-139	0.036	-128	0.068	94	0.094	79	0.118	-58	0.040	-36
0.9000	6.98	0.008	-74	0.009	155	0.035	-85	0.041	-88	0.058	83	0.027	52
1.0000	6.28	0.022	-144	0.013	-103	0.020	81	0.044	70	0.026	-71	0.014	-38
1.1000	5.71	0.003	-136	0.008	158	0.010	-46	0.009	-66	0.019	124	0.008	107
1.2000	5.24	0.008	-112	0.003	-6	0.007	174	0.015	146	0.011	19	0.009	12
1.3001	4.83	0.005	-146	0.003	-117	0.005	82	0.007	72	0.006	-94	0.005	-71
1.4000	4.49	0.001	-132	0.003	-178	0.003	1	0.003	-30	0.005	176	0.002	-172
1.4999	4.19	0.001	-80	0.003	151	0.002	-56	0.003	-110	0.004	117	0.003	90
1.6000	3.93	0.001	-98	0.001	99	0.002	-99	0.003	-148	0.003	81	0.002	61
1.7000	3.70	0.001	-109	0.001	62	0.001	-118	0.002	-169	0.002	65	0.002	43
1.7998	3.49	0.001	-110	0.001	47	0.001	-124	0.002	-165	0.002	62	0.002	44
1.9000	3.31	0.000	0	0.001	67	0.001	-106	0.001	-144	0.001	79	0.001	62
1.9997	3.14	0.000	0	0.001	107	0.001	-74	0.001	-102	0.001	122	0.001	97
2.1000	2.99	0.000	0	0.001	-172	0.000	0	0.001	-35	0.001	171	0.000	0
2.2000	2.86	0.000	0	0.001	-139	0.000	0	0.001	51	0.001	-118	0.001	-100
2.2998	2.73	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	138	0.001	-11	0.001	-31

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                                     *
*                                     April 10, 2019                             *
*                                     *                                           *
* BASIC MODELLING FSO BELIDA                                                    *
*                                     *                                           *
* Draft      = 14.9 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.      GMT      = 4.9 Meters *
* Roll Gy. Radius = 16.5 Meters  Pitch Gy. Radius = 69.7 Meters  Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters *
* Heading    = 90.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots    Linearization Based on 1/ 20 *
*                                     *                                           *
*****

```

+++ M O T I O N   R E S P O N S E   O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons unless specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.000	0	0.991	90	1.002	0	0.061	89	0.004	178	0.000	0
0.2000	31.42	0.000	0	0.962	90	1.005	0	0.285	89	0.003	171	0.001	87
0.3000	20.94	0.000	0	0.918	90	1.023	0	1.013	86	0.001	62	0.008	81
0.4000	15.71	0.000	0	0.784	88	1.092	0	3.145	-19	0.019	-9	0.043	-35
0.5000	12.57	0.001	-41	0.703	94	1.311	-8	1.026	-82	0.108	-41	0.025	-100
0.6000	10.47	0.002	-129	0.598	97	1.448	-44	0.494	-80	0.374	-129	0.021	-113
0.7000	8.98	0.001	145	0.488	103	0.733	-78	0.275	-73	0.244	145	0.020	-124
0.8000	7.85	0.001	116	0.383	112	0.318	-83	0.156	-64	0.111	116	0.017	-133
0.9000	6.98	0.000	0	0.293	124	0.153	-73	0.089	-53	0.058	113	0.015	-136
1.0000	6.28	0.000	0	0.220	139	0.083	-58	0.051	-39	0.036	119	0.012	-135
1.1000	5.71	0.000	0	0.163	159	0.046	-38	0.031	-26	0.023	132	0.010	-129
1.2000	5.24	0.000	0	0.119	-179	0.028	-15	0.017	-14	0.014	148	0.008	-118
1.3001	4.83	0.000	0	0.090	-151	0.017	7	0.017	5	0.009	171	0.007	-106
1.4000	4.49	0.000	0	0.067	-121	0.010	30	0.013	24	0.006	-163	0.005	-88
1.4999	4.19	0.000	0	0.049	-88	0.009	76	0.011	46	0.004	-137	0.004	-73
1.6000	3.93	0.000	0	0.038	-53	0.004	91	0.009	77	0.003	-106	0.002	-36
1.7000	3.70	0.000	0	0.026	-26	0.003	128	0.006	114	0.002	-78	0.001	19
1.7998	3.49	0.000	0	0.023	28	0.002	157	0.006	156	0.001	-44	0.001	64
1.9000	3.31	0.000	0	0.017	71	0.003	91	0.005	-158	0.001	-20	0.002	91
1.9997	3.14	0.000	0	0.013	117	0.001	-127	0.004	-109	0.001	77	0.001	124
2.1000	2.99	0.000	0	0.011	-151	0.001	-77	0.005	-84	0.001	112	0.001	-140
2.2000	2.86	0.000	0	0.009	-136	0.001	-46	0.003	-14	0.001	148	0.001	-136
2.2998	2.73	0.000	0	0.007	-86	0.000	0	0.002	38	0.001	171	0.000	0









```

*****
*
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               April 10, 2019                               *
*
* BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
* Draft           = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 4.9 Meters *
* Roll Gy. Radius = 16.5 Meters     Pitch Gy. Radius = 69.7 Meters Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters *
* Heading         = 270.00 Deg.     Forward Speed   = 0.00 Knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N   R E S P O N S E   O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.000	0	0.991	-89	1.002	0	0.061	-89	0.004	178	0.000	0
0.2000	31.42	0.000	0	0.962	-89	1.005	0	0.285	-90	0.003	170	0.001	-91
0.3000	20.94	0.000	0	0.919	-89	1.023	0	1.013	-93	0.001	63	0.008	-98
0.4000	15.71	0.000	0	0.785	-91	1.092	0	3.145	160	0.019	-9	0.043	144
0.5000	12.57	0.001	-41	0.703	-85	1.311	-8	1.026	97	0.108	-41	0.025	79
0.6000	10.47	0.002	-129	0.599	-82	1.448	-45	0.496	100	0.374	-129	0.021	66
0.7000	8.98	0.001	145	0.488	-76	0.733	-78	0.276	106	0.244	145	0.019	54
0.8000	7.85	0.001	116	0.383	-67	0.318	-83	0.156	115	0.111	116	0.017	46
0.9000	6.98	0.000	0	0.293	-55	0.153	-73	0.089	126	0.058	113	0.015	43
1.0000	6.28	0.000	0	0.220	-40	0.083	-58	0.051	140	0.036	119	0.013	44
1.1000	5.71	0.000	0	0.163	-20	0.046	-38	0.031	153	0.023	132	0.010	49
1.2000	5.24	0.000	0	0.119	0	0.027	-15	0.017	165	0.014	148	0.008	61
1.3001	4.83	0.000	0	0.090	28	0.017	7	0.017	-174	0.009	170	0.007	73
1.4000	4.49	0.000	0	0.066	58	0.010	30	0.013	-156	0.006	-163	0.005	92
1.4999	4.19	0.000	0	0.049	91	0.009	76	0.011	-131	0.004	-138	0.004	105
1.6000	3.93	0.000	0	0.038	126	0.004	91	0.009	-102	0.003	-107	0.002	142
1.7000	3.70	0.000	0	0.026	153	0.003	123	0.006	-65	0.002	-81	0.001	-160
1.7998	3.49	0.000	0	0.023	-151	0.002	158	0.006	-23	0.001	-41	0.001	-115
1.9000	3.31	0.000	0	0.017	-108	0.003	91	0.005	18	0.001	-18	0.001	-86
1.9997	3.14	0.000	0	0.013	-62	0.001	-128	0.004	72	0.001	78	0.001	-55
2.1000	2.99	0.000	0	0.011	27	0.001	-62	0.005	95	0.001	124	0.001	38
2.2000	2.86	0.000	0	0.009	43	0.001	-45	0.003	164	0.000	0	0.001	42
2.2998	2.73	0.000	0	0.007	93	0.000	0	0.002	-138	0.001	173	0.000	0



```

*****
*
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               April 10, 2019                               *
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 4.9 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 16.5 Meters     Pitch Gy. Radius = 69.7 Meters  Yaw Gy. Radius = 69.7 Meters *
*      Heading         = 315.00 Deg.     Forward Speed   = 0.00 Knots     Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

of Point On Body FSOBELID At X = 116.3 Y = -0.0 Z = 12.4

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		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
0.1000	62.83	0.685	95	0.700	-84	1.001	5	0.043	-83	0.042	-89	0.025	5
0.2000	31.42	0.660	109	0.671	-70	0.991	19	0.199	-67	0.169	-70	0.096	19
0.3000	20.94	0.595	134	0.603	-46	0.940	42	0.665	-41	0.382	-45	0.197	41
0.4000	15.71	0.472	168	0.437	-17	0.803	71	2.189	-109	0.668	-12	0.262	77
0.5000	12.57	0.287	-148	0.254	28	0.497	93	0.347	-98	0.963	22	0.302	118
0.6000	10.47	0.088	-94	0.065	69	0.262	-30	0.160	43	0.686	42	0.205	168
0.7000	8.98	0.049	149	0.044	-14	0.219	-19	0.178	150	0.148	151	0.053	-134
0.8000	7.85	0.067	-139	0.036	51	0.068	94	0.094	-100	0.118	-58	0.040	143
0.9000	6.98	0.008	-74	0.009	-25	0.035	-85	0.041	91	0.058	83	0.027	-127
1.0000	6.28	0.022	-144	0.013	75	0.020	81	0.044	-109	0.026	-71	0.014	142
1.1000	5.71	0.003	-136	0.008	-22	0.010	-47	0.009	113	0.019	124	0.008	-72
1.2000	5.24	0.008	-112	0.003	173	0.007	174	0.015	-33	0.011	19	0.009	-167
1.3001	4.83	0.005	-146	0.003	62	0.005	82	0.007	-107	0.006	-93	0.005	108
1.4000	4.49	0.001	-132	0.003	0	0.003	1	0.003	150	0.005	176	0.002	5
1.4999	4.19	0.001	-80	0.003	-29	0.002	-57	0.003	70	0.004	117	0.003	-89
1.6000	3.93	0.001	-98	0.001	-80	0.002	-99	0.003	31	0.003	81	0.002	-119
1.7000	3.70	0.001	-109	0.001	-119	0.001	-118	0.002	10	0.002	65	0.002	-137
1.7998	3.49	0.001	-110	0.001	-132	0.001	-125	0.002	14	0.002	61	0.002	-136
1.9000	3.31	0.000	0	0.001	-111	0.001	-106	0.001	34	0.001	79	0.001	-117
1.9997	3.14	0.000	0	0.001	-77	0.001	-75	0.001	77	0.001	121	0.001	-76
2.1000	2.99	0.000	0	0.001	5	0.001	-20	0.001	145	0.001	170	0.000	0
2.2000	2.86	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	-128	0.001	-117	0.001	78
2.2998	2.73	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	-41	0.001	-10	0.001	149

**Lampiran B**  
**Hasil Output RAO FSO MOSES**  
**Kondisi Minimum Draft (Ballast)**

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 6, 2019                             *
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 7.0 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 12.7 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 67.9 Meters    Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
*      Heading         = 0.00 Deg.      Forward Speed   = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N   R E S P O N S E   O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.878	96	0.243	-84	0.999	6	0.023	-85	0.053	-83	0.028	4
0.2000	31.42	0.847	115	0.230	-69	0.976	24	0.102	111	0.209	-63	0.104	22
0.3000	20.94	0.745	147	0.209	-45	0.878	54	0.043	134	0.447	-32	0.205	48
0.4000	15.71	0.529	-169	0.165	-10	0.636	94	0.028	168	0.668	10	0.291	86
0.5000	12.57	0.228	-121	0.100	34	0.260	136	0.017	-146	0.668	61	0.312	136
0.6000	10.47	0.059	-155	0.031	87	0.105	66	0.006	-91	0.303	111	0.234	-162
0.7000	8.98	0.073	-126	0.015	-13	0.077	86	0.001	169	0.137	45	0.078	-92
0.8000	7.85	0.041	-146	0.018	62	0.067	21	0.003	-119	0.023	-147	0.051	-176
0.9000	6.98	0.025	-81	0.004	-50	0.036	-135	0.002	-2	0.090	32	0.051	-76
1.0000	6.28	0.025	-122	0.010	77	0.027	49	0.001	-168	0.048	-110	0.030	179
1.1000	5.71	0.012	-113	0.005	-47	0.012	-79	0.001	0	0.019	112	0.032	-28
1.2000	5.24	0.009	-107	0.005	129	0.002	155	0.001	-140	0.005	-56	0.031	-126
1.3001	4.83	0.005	-114	0.004	34	0.007	-8	0.000	0	0.001	130	0.016	104
1.4000	4.49	0.003	-94	0.004	-41	0.002	-81	0.000	0	0.004	96	0.030	5
1.4999	4.19	0.004	-75	0.001	-175	0.001	163	0.000	0	0.001	51	0.018	-67
1.6000	3.93	0.003	-68	0.001	136	0.001	132	0.000	0	0.001	-67	0.015	-112
1.7000	3.70	0.002	-50	0.001	110	0.001	103	0.000	0	0.001	-109	0.011	-144
1.7998	3.49	0.001	-48	0.001	103	0.001	133	0.000	0	0.001	-119	0.009	-164
1.9000	3.31	0.002	-38	0.001	116	0.001	-32	0.000	0	0.001	152	0.010	-160
1.9997	3.14	0.001	-17	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.008	-145
2.1000	2.99	0.001	-8	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.006	-96
2.2000	2.86	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.005	-46
2.2998	2.73	0.000	0	0.000	0	0.001	-161	0.000	0	0.001	21	0.002	19

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 6, 2019                             *
*
* BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
* Draft           = 7.0 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 12.7 Meters
* Roll Gy. Radius = 67.9 Meters     Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters
* Heading         = 45.00 Deg.      Forward Speed   = 0.00 Knots     Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave	Ampl.	wave	Ampl.	wave	Ampl.	wave	Ampl.	wave	Ampl.	wave	Ampl.
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.790	94	0.460	94	0.999	4	0.043	92	0.047	-85	0.052	-176
0.2000	31.42	0.765	108	0.436	104	0.980	17	0.192	-71	0.189	-71	0.197	-162
0.3000	20.94	0.684	130	0.396	122	0.899	37	0.081	-57	0.407	-49	0.389	-143
0.4000	15.71	0.514	159	0.312	148	0.699	64	0.053	-32	0.628	-20	0.552	-114
0.5000	12.57	0.274	-168	0.190	-178	0.373	92	0.031	1	0.695	13	0.592	-76
0.6000	10.47	0.079	-160	0.058	-139	0.068	73	0.012	41	0.481	43	0.443	-29
0.7000	8.98	0.047	144	0.028	102	0.115	-20	0.001	-75	0.137	58	0.148	23
0.8000	7.85	0.062	136	0.033	159	0.076	-6	0.006	-23	0.096	-132	0.096	-80
0.9000	6.98	0.024	180	0.007	23	0.052	143	0.003	70	0.107	-46	0.096	-2
1.0000	6.28	0.027	99	0.019	126	0.035	-76	0.003	-119	0.058	120	0.056	-131
1.1000	5.71	0.010	97	0.009	-24	0.017	107	0.002	21	0.029	-65	0.061	-6
1.2000	5.24	0.011	70	0.010	121	0.007	-70	0.001	-149	0.012	113	0.060	-134
1.3001	4.83	0.007	23	0.008	-5	0.008	127	0.001	47	0.005	-17	0.031	60
1.4000	4.49	0.003	20	0.007	-119	0.003	4	0.000	0	0.006	-163	0.057	-72
1.4999	4.19	0.004	2	0.002	69	0.002	-113	0.001	149	0.003	95	0.034	177
1.6000	3.93	0.004	-43	0.003	-19	0.002	165	0.000	0	0.002	-21	0.029	91
1.7000	3.70	0.003	-78	0.002	-89	0.001	75	0.000	0	0.002	-126	0.021	15
1.7998	3.49	0.002	-118	0.001	-141	0.001	67	0.000	0	0.001	-169	0.017	-49
1.9000	3.31	0.002	-157	0.001	176	0.001	-156	0.000	0	0.001	30	0.018	-99
1.9997	3.14	0.001	167	0.001	143	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.015	-130
2.1000	2.99	0.001	131	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.012	-135
2.2000	2.86	0.001	96	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.009	-142
2.2998	2.73	0.000	0	0.001	-116	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.004	-140

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 6, 2019                             *
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 7.0 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 12.7 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 67.9 Meters    Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
*      Heading         = 90.00 Deg.     Forward Speed   = 0.00 Knots    Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons 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
0.1000	62.83	0.239	93	0.894	89	0.999	0	0.083	87	0.014	-86	0.028	-178
0.2000	31.42	0.233	102	0.847	88	0.984	0	0.365	-79	0.057	-77	0.106	-159
0.3000	20.94	0.216	116	0.769	85	0.923	-2	0.154	-94	0.127	-62	0.213	-147
0.4000	15.71	0.178	137	0.623	78	0.786	-8	0.098	-100	0.212	-43	0.304	-125
0.5000	12.57	0.117	163	0.465	61	0.631	-30	0.061	-114	0.277	-20	0.326	-95
0.6000	10.47	0.044	-165	0.402	36	0.673	-68	0.042	-140	0.237	3	0.234	-59
0.7000	8.98	0.014	57	0.373	20	0.767	-103	0.035	-157	0.071	93	0.062	-18
0.8000	7.85	0.030	97	0.293	4	0.503	-147	0.024	-165	0.114	147	0.064	-137
0.9000	6.98	0.008	133	0.246	-16	0.317	166	0.015	168	0.048	-13	0.042	-78
1.0000	6.28	0.010	24	0.191	-31	0.176	148	0.012	157	0.052	19	0.048	161
1.1000	5.71	0.003	30	0.152	-54	0.097	116	0.006	142	0.020	-78	0.029	-126
1.2000	5.24	0.005	-23	0.114	-67	0.060	105	0.005	119	0.017	-42	0.054	131
1.3001	4.83	0.003	-91	0.091	-89	0.035	79	0.002	96	0.014	-111	0.011	103
1.4000	4.49	0.001	-98	0.063	-109	0.021	64	0.002	58	0.003	-124	0.059	126
1.4999	4.19	0.001	-137	0.053	-123	0.015	46	0.001	22	0.005	-123	0.047	48
1.6000	3.93	0.001	144	0.042	-142	0.010	22	0.001	-62	0.004	-168	0.033	4
1.7000	3.70	0.001	76	0.032	-161	0.006	1	0.001	-125	0.002	162	0.028	-10
1.7998	3.49	0.001	16	0.026	-179	0.004	-15	0.001	-146	0.001	165	0.032	-42
1.9000	3.31	0.001	-49	0.021	160	0.002	-30	0.001	-168	0.002	-178	0.036	-68
1.9997	3.14	0.000	0	0.018	137	0.003	-55	0.001	164	0.000	0	0.031	-116
2.1000	2.99	0.000	0	0.014	145	0.002	-94	0.001	-3	0.001	69	0.023	-153
2.2000	2.86	0.000	0	0.011	92	0.001	-117	0.000	0	0.001	52	0.017	160
2.2998	2.73	0.000	0	0.009	68	0.001	-54	0.000	0	0.001	159	0.009	117

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 6, 2019                             *
*                                     BASIC MODELLING FSO BELIDA                 *
*                                     *                                     *
* Draft = 7.0 Meters      Trim Angle = 0.00 Deg.      GMT = 12.7 Meters *
* Roll Gy. Radius = 67.9 Meters  Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
* Heading = 135.00 Deg.      Forward Speed = 0.00 Knots  Linearization Based on 1/ 20 *
*                                     *                                     *
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons unless specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.452	-95	0.803	86	0.999	-3	0.074	83	0.027	84	0.052	-4
0.2000	31.42	0.441	-113	0.756	74	0.980	-17	0.331	-98	0.108	65	0.200	-26
0.3000	20.94	0.409	-144	0.666	54	0.898	-39	0.135	-124	0.239	33	0.393	-53
0.4000	15.71	0.338	173	0.481	30	0.698	-67	0.079	-151	0.395	-11	0.560	-91
0.5000	12.57	0.222	118	0.246	16	0.389	-91	0.033	-175	0.508	-70	0.609	-139
0.6000	10.47	0.082	52	0.180	41	0.284	-74	0.013	-130	0.468	-144	0.472	165
0.7000	8.98	0.027	148	0.208	27	0.375	-106	0.021	-143	0.211	136	0.192	111
0.8000	7.85	0.056	62	0.148	10	0.206	-148	0.009	-176	0.116	138	0.096	149
0.9000	6.98	0.015	-28	0.115	3	0.138	-162	0.010	-138	0.095	63	0.099	106
1.0000	6.28	0.019	19	0.092	-2	0.075	176	0.006	164	0.038	32	0.079	94
1.1000	5.71	0.005	-54	0.065	-17	0.044	164	0.004	-157	0.020	-2	0.037	42
1.2000	5.24	0.009	-71	0.055	-20	0.030	153	0.002	156	0.016	-29	0.053	33
1.3001	4.83	0.005	-83	0.040	-24	0.018	150	0.001	153	0.004	-71	0.018	9
1.4000	4.49	0.002	-161	0.027	-31	0.011	133	0.001	82	0.003	-73	0.023	-112
1.4999	4.19	0.003	146	0.027	-38	0.007	123	0.001	120	0.003	-88	0.030	-113
1.6000	3.93	0.002	126	0.023	-46	0.005	112	0.000	0	0.002	-102	0.027	-160
1.7000	3.70	0.002	88	0.020	-57	0.003	106	0.000	0	0.001	-103	0.027	147
1.7998	3.49	0.001	37	0.016	-69	0.002	90	0.000	0	0.001	-120	0.028	100
1.9000	3.31	0.001	-13	0.012	-80	0.001	26	0.000	0	0.001	145	0.031	65
1.9997	3.14	0.001	-73	0.009	-92	0.002	98	0.000	0	0.000	0	0.028	21
2.1000	2.99	0.001	-145	0.007	-67	0.001	62	0.000	0	0.001	-134	0.021	-34
2.2000	2.86	0.000	0	0.005	-98	0.001	46	0.000	0	0.000	0	0.017	-69
2.2998	2.73	0.000	0	0.005	-102	0.000	0	0.000	0	0.001	4	0.008	-108



```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     May 6, 2019                               *
*                                     BASIC MODELLING FSO BELIDA                    *
*                                     Draft      = 7.0 Meters      Trim Angle   = 0.00 Deg.   GMT       = 12.7 Meters *
*                                     Roll Gy. Radius = 67.9 Meters  Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
*                                     Heading     = 180.00 Deg.    Forward Speed = 0.00 knots   Linearization Based on 1/ 20 *
*                                     *****                               *

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons 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
0.1000	62.83	0.878	-95	0.243	85	0.999	-5	0.023	85	0.053	84	0.028	-3
0.2000	31.42	0.847	-114	0.230	71	0.976	-24	0.102	-106	0.209	64	0.104	-20
0.3000	20.94	0.745	-146	0.208	46	0.878	-54	0.043	-132	0.444	31	0.205	-42
0.4000	15.71	0.529	170	0.163	13	0.642	-96	0.028	-166	0.659	-15	0.292	-72
0.5000	12.57	0.229	122	0.097	-28	0.298	-135	0.016	149	0.657	-74	0.317	-110
0.6000	10.47	0.059	156	0.027	-71	0.179	-125	0.006	89	0.342	-130	0.247	-153
0.7000	8.98	0.074	128	0.017	27	0.154	-172	0.001	-99	0.235	-145	0.103	166
0.8000	7.85	0.042	147	0.019	-14	0.095	170	0.003	139	0.077	154	0.048	-140
0.9000	6.98	0.025	84	0.012	-22	0.033	97	0.002	17	0.073	151	0.053	-163
1.0000	6.28	0.025	123	0.006	-35	0.014	119	0.001	-159	0.019	140	0.043	-154
1.1000	5.71	0.012	114	0.008	-19	0.007	101	0.001	38	0.010	140	0.024	178
1.2000	5.24	0.009	108	0.003	-35	0.005	93	0.000	0	0.006	137	0.034	-162
1.3001	4.83	0.005	115	0.004	-44	0.003	24	0.000	0	0.006	16	0.016	-157
1.4000	4.49	0.003	95	0.005	-16	0.001	129	0.000	0	0.001	15	0.013	162
1.4999	4.19	0.004	76	0.002	-32	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.020	175
1.6000	3.93	0.003	70	0.001	-51	0.000	0	0.000	0	0.001	173	0.016	178
1.7000	3.70	0.002	51	0.001	-61	0.001	-142	0.000	0	0.000	0	0.012	174
1.7998	3.49	0.001	49	0.001	-68	0.001	167	0.000	0	0.000	0	0.010	166
1.9000	3.31	0.002	39	0.001	-70	0.001	13	0.000	0	0.002	-173	0.008	160
1.9997	3.14	0.001	18	0.001	-70	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.007	145
2.1000	2.99	0.001	9	0.001	-57	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.005	99
2.2000	2.86	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.005	113
2.2998	2.73	0.000	0	0.000	0	0.001	-177	0.000	0	0.002	2	0.003	115

```

*****
*
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               May 6, 2019                               *
*
*          BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
* Draft = 7.0 Meters           Trim Angle = 0.00 Deg.           GMT = 12.7 Meters *
* Roll Gy. Radius = 67.9 Meters   Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters   Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
* Heading = 225.00 Deg.           Forward Speed = 0.00 Knots       Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons unless specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		wave Ampl.		Wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.790	-93	0.460	-93	0.999	-3	0.043	-94	0.047	86	0.052	177
0.2000	31.42	0.765	-107	0.436	-103	0.980	-16	0.192	80	0.188	72	0.197	164
0.3000	20.94	0.684	-129	0.395	-121	0.899	-37	0.081	59	0.404	48	0.389	149
0.4000	15.71	0.514	-158	0.310	-145	0.703	-65	0.053	34	0.619	15	0.553	128
0.5000	12.57	0.274	169	0.184	-175	0.405	-93	0.031	2	0.681	-24	0.601	102
0.6000	10.47	0.079	162	0.052	155	0.187	-93	0.012	-43	0.500	-65	0.468	73
0.7000	8.98	0.047	-143	0.033	-88	0.151	-87	0.002	144	0.261	-97	0.195	50
0.8000	7.85	0.062	-135	0.037	-110	0.129	-109	0.006	43	0.082	-85	0.091	123
0.9000	6.98	0.024	-177	0.023	-96	0.034	-142	0.004	-56	0.086	-100	0.100	122
1.0000	6.28	0.026	-98	0.011	-83	0.019	-106	0.003	151	0.024	-82	0.082	156
1.1000	5.71	0.010	-96	0.016	-41	0.009	-87	0.002	17	0.012	-65	0.046	157
1.2000	5.24	0.011	-68	0.005	-26	0.003	-79	0.001	-147	0.009	-38	0.064	-153
1.3001	4.83	0.007	-23	0.007	-1	0.003	-77	0.000	0	0.005	-126	0.030	-117
1.4000	4.49	0.003	-19	0.009	61	0.001	46	0.001	-45	0.001	-45	0.026	-120
1.4999	4.19	0.004	-1	0.004	82	0.000	0	0.000	0	0.001	68	0.038	-69
1.6000	3.93	0.004	44	0.003	104	0.000	0	0.000	0	0.001	134	0.031	-25
1.7000	3.70	0.003	79	0.002	136	0.000	0	0.000	0	0.001	138	0.023	14
1.7998	3.49	0.002	119	0.002	176	0.000	0	0.000	0	0.001	-100	0.018	52
1.9000	3.31	0.002	158	0.001	-133	0.001	135	0.000	0	0.002	-49	0.017	92
1.9997	3.14	0.001	-166	0.001	-85	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.013	131
2.1000	2.99	0.001	-130	0.001	-18	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.010	140
2.2000	2.86	0.001	-95	0.001	12	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.009	-150
2.2998	2.73	0.000	0	0.001	74	0.001	161	0.000	0	0.001	-23	0.005	-89



```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     May 6, 2019                               *
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 7.0 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 12.7 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 67.9 Meters    Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters *
*      Heading         = 270.00 Deg.    Forward Speed   = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID At X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.239	-92	0.894	-89	0.999	0	0.083	-91	0.014	87	0.028	179
0.2000	31.42	0.233	-101	0.846	-87	0.984	1	0.369	100	0.057	78	0.109	162
0.3000	20.94	0.216	-115	0.769	-83	0.921	2	0.154	96	0.127	62	0.212	153
0.4000	15.71	0.178	-136	0.621	-74	0.781	8	0.098	104	0.210	39	0.305	138
0.5000	12.57	0.117	-162	0.464	-53	0.631	27	0.059	124	0.275	9	0.333	120
0.6000	10.47	0.043	166	0.406	-20	0.660	53	0.042	163	0.259	-26	0.256	102
0.7000	8.98	0.015	-55	0.371	8	0.705	61	0.036	-166	0.134	-48	0.099	95
0.8000	7.85	0.030	-94	0.293	42	0.487	68	0.022	-133	0.118	-22	0.060	-175
0.9000	6.98	0.008	-131	0.235	86	0.294	95	0.017	-77	0.090	-36	0.053	-162
1.0000	6.28	0.010	-23	0.187	136	0.163	134	0.011	-40	0.045	-11	0.041	-110
1.1000	5.71	0.003	-29	0.142	-168	0.094	-173	0.007	31	0.027	24	0.010	-70
1.2000	5.24	0.005	24	0.112	-104	0.059	-111	0.004	83	0.019	73	0.015	-24
1.3001	4.83	0.003	92	0.084	-32	0.034	-39	0.003	153	0.010	122	0.011	164
1.4000	4.49	0.001	100	0.062	43	0.022	32	0.001	-161	0.006	-159	0.031	-84
1.4999	4.19	0.001	139	0.052	129	0.014	114	0.001	-71	0.005	-80	0.024	-6
1.6000	3.93	0.001	-142	0.042	-139	0.009	-155	0.000	0	0.003	8	0.032	56
1.7000	3.70	0.001	-75	0.034	-43	0.006	-59	0.001	0	0.003	106	0.038	126
1.7998	3.49	0.001	-15	0.027	58	0.004	43	0.001	92	0.002	-148	0.040	-159
1.9000	3.31	0.001	49	0.022	167	0.001	148	0.001	-165	0.000	0	0.042	-65
1.9997	3.14	0.000	0	0.017	-80	0.003	-84	0.001	-53	0.001	58	0.037	20
2.1000	2.99	0.000	0	0.014	74	0.002	33	0.001	-73	0.001	-177	0.027	114
2.2000	2.86	0.000	0	0.011	173	0.001	141	0.000	0	0.001	-51	0.021	-143
2.2998	2.73	0.000	0	0.009	-50	0.001	0	0.000	0	0.001	-142	0.011	-29

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     May 6, 2019                             *
*
*      BASIC MODELLING FSO BELIDA
*
*      Draft           = 7.0 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 12.7 Meters
*      Roll Gy. Radius = 67.9 Meters     Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 0.0 Meters
*      Heading        = 315.00 Deg.      Forward Speed   = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

Of Point On Body FSOBELID AT X = 112.3 Y = 0.0 Z = 10.1

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.	Phase	Wave Ampl.	Phase	Wave Ampl.	Phase	Wave Ampl.	Phase	Wave Ampl.	Phase	Wave Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.452	96	0.803	-85	0.999	4	0.074	-88	0.027	-83	0.052	5
0.2000	31.42	0.441	114	0.756	-73	0.980	18	0.328	117	0.109	-64	0.197	28
0.3000	20.94	0.408	145	0.667	-53	0.900	39	0.135	127	0.240	-34	0.393	59
0.4000	15.71	0.338	-172	0.484	-27	0.701	67	0.079	154	0.398	7	0.559	105
0.5000	12.57	0.222	-117	0.252	-7	0.378	87	0.036	-177	0.514	59	0.599	165
0.6000	10.47	0.082	-51	0.174	-24	0.299	47	0.015	166	0.461	121	0.443	-121
0.7000	8.98	0.027	-147	0.211	0	0.483	57	0.019	180	0.170	-141	0.139	-36
0.8000	7.85	0.056	-60	0.148	36	0.236	67	0.013	-122	0.148	17	0.102	-106
0.9000	6.98	0.015	31	0.135	59	0.185	53	0.006	-126	0.081	-169	0.090	13
1.0000	6.28	0.019	-18	0.102	113	0.101	116	0.008	-62	0.058	-5	0.066	-62
1.1000	5.71	0.005	55	0.084	145	0.050	128	0.002	4	0.024	-108	0.057	104
1.2000	5.24	0.009	73	0.061	-144	0.033	-147	0.004	33	0.017	83	0.071	45
1.3001	4.83	0.005	84	0.053	-97	0.020	-115	0.000	0	0.013	58	0.018	-50
1.4000	4.49	0.002	163	0.029	-35	0.009	-31	0.001	136	0.002	-24	0.070	-136
1.4999	4.19	0.003	-144	0.029	52	0.009	45	0.001	-176	0.004	-107	0.048	-150
1.6000	3.93	0.002	-124	0.023	124	0.006	109	0.001	177	0.003	-85	0.028	-132
1.7000	3.70	0.002	-87	0.016	-150	0.003	-172	0.000	0	0.001	-56	0.002	-91
1.7998	3.49	0.001	-36	0.013	-52	0.002	-75	0.000	0	0.000	0	0.013	129
1.9000	3.31	0.001	14	0.011	47	0.001	24	0.000	0	0.001	-133	0.024	-151
1.9997	3.14	0.001	74	0.009	146	0.001	127	0.000	0	0.001	20	0.022	-82
2.1000	2.99	0.001	146	0.007	-74	0.001	-108	0.000	0	0.001	31	0.016	13
2.2000	2.86	0.000	0	0.006	8	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.011	106
2.2998	2.73	0.000	0	0.004	125	0.000	0	0.000	0	0.001	59	0.005	-156

**Lampiran C**  
**Hasil Output RAO Shuttle Tanker MOSES**  
**Kondisi Maximum Draft (Full Load)**



```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     April 24, 2019                             *
*                                     SHUTTLE TANKER 100.000 DWT                     *
*                                     Draft = 14.9 Meters Trim Angle = 0.00 Deg. GMT = 4.5 Meters *
*                                     Roll Gy. Radius = 16.5 Meters Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters Yaw Gy. Radius = 67.9 Meters *
*                                     Heading = 45.00 Deg. Forward Speed = 0.00 Knots Linearization Based on 1/ 20 *
*                                                                                                                                 *
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body HULL At X = 117.2 Y = 0.0 Z = 12.5

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.683	95	0.697	95	1.000	5	0.043	95	0.041	-84	0.024	-172
0.2000	31.42	0.658	110	0.669	109	0.990	19	0.205	113	0.168	-69	0.093	-160
0.3000	20.94	0.598	134	0.606	133	0.946	42	0.760	139	0.384	-44	0.194	-139
0.4000	15.71	0.483	168	0.438	164	0.822	72	1.944	51	0.681	-11	0.263	-101
0.5000	12.57	0.311	-146	0.267	-150	0.541	96	0.387	75	1.011	23	0.305	-63
0.6000	10.47	0.120	-89	0.080	-99	0.207	-13	0.112	-152	0.811	43	0.215	-13
0.7000	8.98	0.025	134	0.030	150	0.240	-17	0.166	-23	0.174	134	0.064	46
0.8000	7.85	0.063	-140	0.033	-133	0.083	82	0.123	76	0.121	-63	0.032	-50
0.9000	6.98	0.019	-51	0.006	104	0.035	-95	0.032	-129	0.072	74	0.027	42
1.0000	6.28	0.018	-154	0.011	-121	0.013	37	0.048	71	0.014	-109	0.013	-62
1.1000	5.71	0.005	-63	0.008	131	0.014	-79	0.017	-137	0.018	75	0.008	84
1.2000	5.24	0.008	-115	0.004	-50	0.008	140	0.015	133	0.011	-10	0.010	-10
1.3001	4.83	0.002	-145	0.003	-120	0.005	49	0.003	69	0.006	-138	0.003	-113
1.4000	4.49	0.001	-61	0.003	164	0.002	-29	0.003	-95	0.006	136	0.002	118
1.4999	4.19	0.002	-88	0.001	153	0.002	-124	0.004	-162	0.004	77	0.004	52
1.6000	3.93	0.001	-101	0.001	62	0.001	-155	0.004	161	0.003	36	0.003	2
1.7000	3.70	0.001	-110	0.000	0	0.001	-174	0.002	153	0.002	3	0.002	-10
1.7998	3.49	0.000	0	0.000	0	0.001	171	0.002	146	0.001	-18	0.002	-20
1.9000	3.31	0.000	0	0.000	0	0.001	172	0.001	161	0.001	-8	0.002	-5
1.9997	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	178	0.001	19	0.001	10
2.1000	2.99	0.000	0	0.000	0	0.001	-107	0.001	-140	0.001	76	0.001	49
2.2000	2.86	0.000	0	0.001	141	0.000	0	0.001	-67	0.001	152	0.000	0
2.2998	2.73	0.000	0	0.001	-102	0.000	0	0.000	0	0.001	-116	0.000	0

```

*****
*                                     *** MOSES ***                               *
*                                     -----                               *
*                                     April 24, 2019                               *
*
*      SHUTTLE TANKER 100.000 DWT
*
*      Draft           = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 4.5 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 16.5 Meters      Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 67.9 Meters *
*      Heading         = 90.00 Deg.      Forward Speed   = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

of Point On Body HULL At X = 117.2 Y = 0.0 Z = 12.5

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

ENCOUNTER		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.		wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.000	0	0.987	90	1.000	0	0.061	89	0.000	0	0.001	-89
0.2000	31.42	0.000	0	0.959	90	1.003	0	0.292	89	0.001	2	0.000	0
0.3000	20.94	0.000	0	0.916	90	1.021	0	1.112	80	0.005	-3	0.009	71
0.4000	15.71	0.000	0	0.776	89	1.084	0	2.691	-37	0.023	-13	0.046	-55
0.5000	12.57	0.001	-40	0.701	93	1.279	-7	0.888	-82	0.107	-40	0.030	-103
0.6000	10.47	0.002	-122	0.597	97	1.446	-39	0.452	-79	0.362	-122	0.028	-116
0.7000	8.98	0.001	150	0.487	102	0.795	-75	0.259	-72	0.256	150	0.028	-128
0.8000	7.85	0.001	119	0.383	111	0.346	-82	0.150	-63	0.117	119	0.026	-136
0.9000	6.98	0.000	0	0.293	122	0.160	-74	0.086	-51	0.060	112	0.023	-138
1.0000	6.28	0.000	0	0.219	137	0.097	-61	0.050	-37	0.040	110	0.021	-135
1.1000	5.71	0.000	0	0.161	154	0.049	-46	0.027	-24	0.033	146	0.017	-128
1.2000	5.24	0.000	0	0.112	170	0.032	-17	0.005	-3	0.015	142	0.014	-115
1.3001	4.83	0.000	0	0.085	-151	0.019	1	0.018	10	0.009	165	0.013	-111
1.4000	4.49	0.000	0	0.063	-125	0.010	16	0.014	21	0.006	-172	0.009	-84
1.4999	4.19	0.000	0	0.046	-92	0.015	134	0.011	37	0.004	-68	0.006	-80
1.6000	3.93	0.000	0	0.034	-63	0.006	102	0.008	58	0.003	-107	0.004	-23
1.7000	3.70	0.000	0	0.010	-52	0.004	129	0.003	104	0.001	-93	0.002	49
1.7998	3.49	0.000	0	0.020	37	0.002	149	0.006	131	0.001	-63	0.003	42
1.9000	3.31	0.000	0	0.015	68	0.002	43	0.005	174	0.000	0	0.002	91
1.9997	3.14	0.000	0	0.010	102	0.002	-62	0.004	-138	0.001	92	0.002	118
2.1000	2.99	0.000	0	0.006	-97	0.001	-52	0.005	-85	0.001	101	0.001	-127
2.2000	2.86	0.000	0	0.008	-122	0.001	-89	0.003	-61	0.001	143	0.001	-174
2.2998	2.73	0.000	0	0.005	-95	0.001	150	0.002	5	0.001	-130	0.001	-139











```

*****
*
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               April 24, 2019                               *
*
*      SHUTTLE TANKER 100.000 DWT
*
*      Draft           = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT           = 4.5 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 16.5 Meters      Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 67.9 Meters *
*      Heading         = 270.00 Deg.      Forward Speed   = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ M O T I O N R E S P O N S E O P E R A T O R S +++

Results are in Body System

of Point On Body HULL At X = 117.2 Y = 0.0 Z = 12.5

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons Unless Specified

E N C O U N T E R		Surge /		Sway /		Heave /		Roll /		Pitch /		Yaw /	
Frequency	Period	Wave	Ampl.	Wave	Ampl.	Wave	Ampl.	Wave	Ampl.	Wave	Ampl.	Wave	Ampl.
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.1000	62.83	0.000	0	0.987	-89	1.000	0	0.061	-89	0.000	0	0.001	90
0.2000	31.42	0.000	0	0.959	-89	1.004	0	0.292	-90	0.001	3	0.000	0
0.3000	20.94	0.000	0	0.916	-89	1.021	0	1.112	-98	0.005	-2	0.009	-108
0.4000	15.71	0.000	0	0.776	-90	1.083	0	2.691	142	0.023	-13	0.046	124
0.5000	12.57	0.001	-41	0.702	-86	1.279	-7	0.889	97	0.107	-41	0.030	76
0.6000	10.47	0.002	-122	0.598	-82	1.446	-39	0.454	100	0.362	-122	0.028	63
0.7000	8.98	0.001	150	0.488	-77	0.794	-75	0.260	107	0.256	150	0.028	51
0.8000	7.85	0.001	119	0.383	-68	0.346	-82	0.151	116	0.117	119	0.026	43
0.9000	6.98	0.000	0	0.293	-57	0.160	-74	0.087	128	0.060	112	0.023	41
1.0000	6.28	0.000	0	0.219	-42	0.096	-61	0.049	142	0.040	111	0.021	44
1.1000	5.71	0.000	0	0.161	-25	0.049	-46	0.028	156	0.033	146	0.017	51
1.2000	5.24	0.000	0	0.112	-9	0.032	-17	0.005	175	0.015	142	0.014	64
1.3001	4.83	0.000	0	0.085	28	0.019	2	0.018	-169	0.009	165	0.013	68
1.4000	4.49	0.000	0	0.063	54	0.010	17	0.014	-158	0.006	-172	0.009	95
1.4999	4.19	0.000	0	0.047	87	0.014	134	0.011	-142	0.004	-68	0.006	99
1.6000	3.93	0.000	0	0.034	116	0.006	102	0.008	-121	0.003	-107	0.004	156
1.7000	3.70	0.000	0	0.010	127	0.004	130	0.003	-75	0.001	-93	0.002	-130
1.7998	3.49	0.000	0	0.020	-142	0.002	149	0.006	-48	0.001	-62	0.003	-137
1.9000	3.31	0.000	0	0.015	-111	0.002	43	0.005	-5	0.000	0	0.002	-87
1.9997	3.14	0.000	0	0.010	-77	0.002	-62	0.004	42	0.001	92	0.002	-61
2.1000	2.99	0.000	0	0.006	82	0.001	-50	0.005	94	0.001	103	0.001	53
2.2000	2.86	0.000	0	0.008	57	0.001	-89	0.003	117	0.001	144	0.001	5
2.2998	2.73	0.000	0	0.005	84	0.001	150	0.002	-174	0.001	-130	0.001	41

```

*****
*
*                               *** MOSES ***                               *
*                               -----                               *
*                               April 24, 2019                               *
*
*      SHUTTLE TANKER 100.000 DWT
*
*      Draft      = 14.9 Meters      Trim Angle      = 0.00 Deg.      GMT      = 4.5 Meters *
*      Roll Gy. Radius = 16.5 Meters  Pitch Gy. Radius = 67.9 Meters  Yaw Gy. Radius = 67.9 Meters *
*      Heading     = 315.00 Deg.      Forward Speed  = 0.00 Knots      Linearization Based on 1/ 20 *
*
*****

```

+++ MOTION RESPONSE OPERATORS +++

Results are in Body System

Of Point On Body HULL At X = 117.2 Y = 0.0 Z = 12.5

Process is DEFAULT: Units Are Degrees, Meters, and M-Tons 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
0.1000	62.83	0.683	95	0.697	-84	1.000	5	0.043	-83	0.041	-84	0.024	7
0.2000	31.42	0.658	110	0.669	-70	0.990	19	0.204	-66	0.168	-69	0.093	19
0.3000	20.94	0.598	134	0.607	-46	0.946	42	0.759	-40	0.384	-44	0.194	40
0.4000	15.71	0.483	168	0.438	-15	0.822	72	1.941	-128	0.681	-11	0.262	78
0.5000	12.57	0.311	-146	0.268	29	0.541	96	0.387	-104	1.011	23	0.305	116
0.6000	10.47	0.120	-89	0.080	80	0.206	-13	0.113	27	0.811	43	0.215	166
0.7000	8.98	0.025	134	0.031	-29	0.240	-17	0.166	156	0.173	134	0.064	-133
0.8000	7.85	0.063	-140	0.033	46	0.083	82	0.123	-103	0.121	-63	0.032	129
0.9000	6.98	0.019	-51	0.006	-74	0.035	-95	0.032	49	0.072	74	0.027	-138
1.0000	6.28	0.018	-154	0.010	58	0.013	37	0.048	-108	0.014	-109	0.013	117
1.1000	5.71	0.005	-63	0.008	-48	0.014	-79	0.018	41	0.018	75	0.008	-95
1.2000	5.24	0.008	-115	0.003	129	0.008	140	0.015	-46	0.011	-10	0.010	168
1.3001	4.83	0.002	-145	0.003	59	0.005	48	0.003	-111	0.006	-138	0.003	66
1.4000	4.49	0.001	-61	0.003	-15	0.002	-29	0.003	83	0.006	136	0.002	-61
1.4999	4.19	0.002	-88	0.001	-26	0.002	-126	0.004	17	0.004	78	0.004	-127
1.6000	3.93	0.001	-101	0.001	-117	0.001	-155	0.004	-18	0.003	36	0.003	-177
1.7000	3.70	0.001	-110	0.000	0	0.001	-174	0.002	-26	0.002	3	0.002	169
1.7998	3.49	0.000	0	0.000	0	0.001	171	0.002	-33	0.001	-18	0.002	159
1.9000	3.31	0.000	0	0.000	0	0.001	172	0.001	-18	0.001	-8	0.002	174
1.9997	3.14	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.001	-1	0.001	19	0.001	-168
2.1000	2.99	0.000	0	0.000	0	0.001	-107	0.001	39	0.001	76	0.001	-129
2.2000	2.86	0.000	0	0.001	-38	0.000	0	0.001	112	0.001	152	0.000	0
2.2998	2.73	0.000	0	0.001	77	0.000	0	0.000	0	0.001	-115	0.000	0

**Lampiran D**  
**Hasil *Maximum Tension***  
***Riser***

*Kondisi Stand Alone*

Heading 0°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	87.88	21.44	83.99	22.43
Variasi 2	109.55	17.20	101.09	18.64
Variasi 3	89.41	21.07	84.89	22.19
Variasi 4	91.47	20.60	85.19	22.12

Heading 45°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	90.34	20.85	84.66	22.25
Variasi 2	155.91	12.08	113.68	16.57
Variasi 3	98.19	19.19	87.53	21.53
Variasi 4	114.10	16.51	97.77	19.27

Heading 90°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	92.24	20.42	85.19	22.12
Variasi 2	157.07	11.99	120.63	15.62
Variasi 3	101.20	18.62	91.68	20.55
Variasi 4	148.15	12.72	131.59	14.32

Heading 135°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	91.78	20.53	84.97	22.17
Variasi 2	150.16	12.55	113.63	16.58
Variasi 3	99.90	18.86	88.69	21.24
Variasi 4	156.04	12.07	146.73	12.84

Heading 180°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	93.40	20.17	87.67	21.49
Variasi 2	116.53	16.17	103.09	18.27
Variasi 3	94.21	20.00	87.60	21.51
Variasi 4	100.28	18.79	89.80	20.98

Kondisi *Offloading*

Heading 0°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	75.44	24.98	61.56	30.60
Variasi 2	183.88	10.25	141.90	13.28
Variasi 3	150.72	12.50	127.91	14.73
Variasi 4	154.66	12.18	127.43	14.78

Heading 45°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	133.53	14.11	55.76	33.79
Variasi 2	345.83	5.45	206.93	9.10
Variasi 3	182.04	10.35	139.68	13.49
Variasi 4	202.59	9.30	142.27	13.24

Heading 90°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	132.39	14.23	54.90	34.32
Variasi 2	308.71	6.10	294.00	6.41
Variasi 3	217.04	8.68	171.12	11.01
Variasi 4	239.32	7.87	241.61	7.80

Heading 135°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	134.27	14.03	57.84	32.57
Variasi 2	301.54	6.25	213.83	8.81
Variasi 3	187.57	10.04	140.11	13.45
Variasi 4	247.60	7.61	236.67	7.96

Heading 180°

Mooring System	Tension (kN)			
	Free hanging	SF	Lazy Wave	SF
Variasi 1	133.30	14.13	69.71	27.03
Variasi 2	195.87	9.62	151.70	12.42
Variasi 3	180.50	10.44	141.28	13.33
Variasi 4	184.93	10.19	140.80	13.38



## BIODATA PENULIS



Kunthi Ulfa Diatri Prabawani lahir di Magetan pada tanggal 14 September 1997, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Manisrejo Magetan, SMPN 1 Karangrejo Magetan dan MAN 2 Madiun. Setelah lulus pada tahun 2015, penulis melanjutkan studi di salah satu perguruan tinggi negeri di Surabaya yaitu Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS), Fakultas Teknologi Kelautan, Departemen Teknik Kelautan melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menempuh masa kuliah, penulis ikut serta dalam beberapa organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) sebagai Sekretaris dan Bendahara Departemen Kesejahteraan Mahasiswa, Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ Bahrul Ilmi) sebagai Staff Ahli Kaderisasi dan JMMI sebagai Staff Kemuslimahan. Selain itu penulis juga berpartisipasi dalam beberapa kepanitiaan kegiatan kampus seperti GERIGI 2016 dan OCEANO 2017. Pada tahun 2018, penulis berkesempatan untuk melaksanakan Kerja Praktik di PT. RINA Indonesia Kantor Jakarta pada Divisi *Plan Approval*. Penulis memiliki minat dalam bidang Hidrodinamika Lepas Pantai, sehingga pada tugas akhir ini penulis mengkaji mengenai *riser* dan analisis *mooring system*.

### Kontak Penulis :

Email : [kunthi.ulfa@gmail.com](mailto:kunthi.ulfa@gmail.com)

Telepon : 082245593143

LinkedIn : Kunthi Ulfa Diatri Prabawani