



TUGAS AKHIR - MO 184804

ANALISIS PENGARUH *SUBSEA BUOY* TERHADAP TEGANGAN TALI TAMBAT PADA SISTEM TAMBAT *SPREAD* *MOORING*

Madea Eka Silfiani
NRP. 043 1154 0000 008

Dosen Pembimbing

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

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



FINAL PROJECT - M0 184804

**ANALYSIS ON THE EFFECT OF SUBSEA BUOY TO THE
TENSION OF SPREAD MOORING SYSTEM**

Madea Eka Silfiani
NRP. 043 1154 0000 008

Supervisors

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

**OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS PENGARUH *SUBSEA BUOY* TERHADAP
TEGANGAN TALI TAMBAT PADA SISTEM TAMBAT
SPREAD MOORING

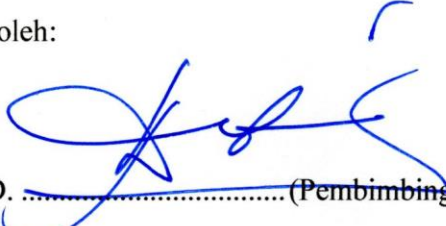




TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana teknik pada
program studi S-1 Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Madea Eka Silfiani NRP. 0431154000008

Disetujui oleh:

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

SURABAYA, JULI 2019

ANALISIS PENGARUH *SUBSEA BUOY* TERHADAP TEGANGAN TALI TAMBAT PADA SISTEM TAMBAT *SPREAD MOORING*

Nama : Madea Eka Silfiani
NRP : 04311540000008
Departemen : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng

ABSTRAK

Permasalahan yang mungkin terjadi pada bangunan terapung dengan sistem tambat adalah *clashing* antara *mooring line* dengan peralatan bawah laut, contohnya adalah pipa. Penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* dapat mengangkat *mooring line* sehingga dapat menghindari *clashing*. Selain menghindari *clashing* penambahan *subsea buoy* dapat mempengaruhi tegangan pada *mooring line*. Sehingga pada tugas akhir ini akan melakukan analisis pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan tali tambat *spread mooring* dengan variasi satu *subsea buoy* dengan empat posisi peletakan *subsea buoy* pada jarak 605 m, 577.5 m, 550 m, 522.5 m dari *anchor* dan dua *subsea buoy* pada jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Analisis dilakukan pada kondisi FSO *stand alone* dan *offloading* dengan arah pembebanan 0°, 45°, 90°, 135°, 180°. Dari hasil yang didapatkan setelah penambahan *subsea buoy* memberikan pengaruh tegangan yang lebih kecil pada *mooring line*. Hasil dari variasi peletakan *subsea buoy*, posisi optimum untuk mendapatkan nilai tegangan terkecil adalah ketika variasi dua *subsea buoy* dengan jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari hasil analisis tersebut juga tidak terjadi *clashing* antara *mooring line* dengan pipa.

Kata Kunci : FSO, *spread mooring*, *subsea buoy*, *tension*.

ANALYSIS ON THE EFFECT OF SUBSEA BUOY TO THE TENSION OF SPREAD MOORING SYSTEM

Name : Madea Eka Silfiani
NRP : 04311540000008
Departmen : Teknik Kelautan
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc., Eng

ABSTRACT

The problem that might occur in floating structures with mooring systems is clashing between mooring lines with subsea equipment, for example pipelines. Addition of subsea buoys on the mooring line can lift the mooring line so that it can avoid clashing. The addition of the subsea buoy can affect tension on the mooring line. So in this final project will analyze the effect of subsea buoy to the tension of mooring line with a variation position of subsea buoy. Variations on the position of one subsea buoy is arranged at the distance of 605 m, 577.5 m, 550 m, 522.5 m from anchor and two subsea buoys at the distance 605 m and 467.5 m from the anchor. The analysis was carried out on stand alone and offloading conditions with wave directions 0 °, 45 °, 90 °, 135 °, 180 °. The results after the addition of subsea buoys it has a smaller tension on the mooring line. The result of the variation of subsea buoy position, the optimum position to get the smallest tension value is when the variation of two subsea buoys with a distance of 605 m and 467.5 m from the anchor. From the results of the analysis there is also no clashing between the mooring line and pipeline.

Keywords : FSO, *spread mooring*, *subsea buoy*, *tension*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan lancar. Serta tidak lupa shalawat dan salam penulis haturkan kepada junjungan kita semua Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas akhir ini berjudul “Analisis Pengaruh *Subsea Buoy* Terhadap Tegangan Tali Tambat Pada Sistem Tambat *Spread Mooring*”. Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Kesarjanaan (S-1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas akhir ini membahas mengenai pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan tali tambat pada sistem tambat *spread mooring* dengan variasi posisi peletakan.

Sebagai penulis saya menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat diperlukan untuk kesempurnaan tugas akhir ini. Penulis berharap penelitian tugas akhir ini akan bermanfaat untuk pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 2019

Madea Eka Silfiani

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam kelancaran penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini. Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua saya, Bapak Supriono dan Ibu Yayuk Rahayu, serta adik Cika yang selalu memberikan doa dan dukungannya. Tugas akhir ini saya persembahkan untuk keluarga saya, khususnya kedua orang tua saya.
2. Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I serta dosen wali dan Bapak Ir. Murdjito, M.Sc., Eng. selaku dosen pembimbing II saya. Terima kasih atas bimbingan, ilmu, serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
3. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu dan fasilitas kepada penulis selama perkuliahan.
4. Teman-teman bimbingan dari Bapak Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. Dan Bapak Ir. Murdjito, M.Sc., Eng., terutama Inneke dan Kunthi yang selalu memberi dukungan, masukan dan bertukar pikiran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. Teman-teman saya Sectio, Fitri, Yoga, Afiska, Endah, Eno, dan Himas yang selalu memberikan semangat dalam perkuliahan ini.
6. Seluruh teman-teman angkatan 2015 Departemen Teknik Kelautan "Tritonous" L33 – P55 yang memberikan dukungan satu sama lain untuk menyelesaikan perkuliahan.

Serta seluruh pihak yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan satupersatu. Terima kasih atas segalanya sehingga saya mampu sejauh ini menyelesaikan Tugas Akhir dan menyelesaikan pendidikan saya. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat-Nya untuk membalas jasa dan kebaikan yang terucap diatas dan kepada kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 <i>Floating Storage and Offloading (FSO)</i>	6
2.2.2 Sistem Tambat	6
2.2.2.1 <i>Spread Mooring</i>	7

2.2.2.2	<i>Subsea Buoy</i>	7
2.2.3	Beban Lingkungan	8
2.2.3.1	Beban Gelombang	8
2.2.3.2	Beban Angin	9
2.2.3.3	Beban Arus	10
2.2.4	Teori Gerak Bangunan Laut	10
2.2.5	<i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	12
2.2.6	Spektrum Gelombang	13
2.2.7	Respons Spektra	14
2.2.8	Analisis Dinamis	15
2.2.9	<i>Mooring Line</i>	16
2.2.9.1	Penentuan <i>Mooring Line</i>	16
2.2.9.2	Tegangan Pada <i>Mooring Line</i>	18
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN		21
3.1	Metode Penelitian	21
3.2	Prosedur Penelitian	23
3.3	Pengumpulan Data	24
3.3.1	Data Struktur	24
3.3.2	Data Lingkungan	26
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Pemodelan Struktur	27
4.1.1	Pemodelan FSO Belida	27
4.1.2	Pemodelan <i>Shuttle Tanker</i>	29
4.2	Validasi Model	31

4.3 Analisis Respon Gerak FSO Kondisi Terapung Bebas	32
4.3.1 Analisis RAO Gerakan <i>Surge</i>	32
4.3.2 Analisis RAO Gerakan <i>Sway</i>	33
4.3.3 Analisis RAO Gerakan <i>Heave</i>	34
4.3.4 Analisis RAO Gerakan <i>Roll</i>	35
4.3.5 Analisis RAO Gerakan <i>Pitch</i>	36
4.3.6 Analisis RAO Gerakan <i>Yaw</i>	37
4.4 Analisis Respon Gerak FSO Kondisi Tertambat.....	39
4.4.1 Analisis RAO Gerakan <i>Surge</i>	39
4.4.2 Analisis RAO Gerakan <i>Sway</i>	40
4.4.3 Analisis RAO Gerakan <i>Heave</i>	41
4.4.4 Analisis RAO Gerakan <i>Roll</i>	42
4.4.5 Analisis RAO Gerakan <i>Pitch</i>	43
4.4.6 Analisis RAO Gerakan <i>Yaw</i>	44
4.5 Analisis Respon Gerak <i>Shuttle Tanker</i> Kondisi Terapung Bebas	46
4.5.1 Analisis RAO Gerakan <i>Surge</i>	46
4.5.2 Analisis RAO Gerakan <i>Sway</i>	46
4.5.3 Analisis RAO Gerakan <i>Heave</i>	47
4.5.4 Analisis RAO Gerakan <i>Roll</i>	48
4.5.5 Analisis RAO Gerakan <i>Pitch</i>	48
4.5.6 Analisis RAO Gerakan <i>Yaw</i>	49
4.6 Pemodelan <i>Mooring System</i>	50
4.7 Analisis Tegangan <i>Mooring Line</i>	51
4.7.1 Analisis Tegangan pada FSO Belida Kondisi <i>Stand Alone</i>	54
4.7.1.1 Arah Pembebanan 0°	55
4.7.1.2 Arah Pembebanan 45°	56

4.7.1.3 Arah Pembebanan 90°	58
4.7.1.4 Arah Pembebanan 135°	59
4.7.1.5 Arah Pembebanan 180°	61
4.7.2 Analisis Tegangan pada FSO Belida Kondisi <i>Offloading</i>	62
4.7.2.1 Arah Pembebanan 0°	62
4.7.2.2 Arah Pembebanan 45°	64
4.7.2.3 Arah Pembebanan 90°	66
4.7.2.4 Arah Pembebanan 135°	67
4.7.2.5 Arah Pembebanan 180°	69
4.8 Analisis <i>Offset</i> Pada FSO Belida.....	73
4.8.1 Analisis <i>Offset</i> pada FSO Belida Kondisi <i>Stand Alone</i>	73
4.8.1.1 Arah Pembebanan 0°	73
4.8.1.2 Arah Pembebanan 45°	74
4.8.1.3 Arah Pembebanan 90°	76
4.8.1.4 Arah Pembebanan 135°	77
4.8.1.5 Arah Pembebanan 180°	78
4.8.2 Analisis <i>Offset</i> pada FSO Belida Kondisi <i>Offloading</i>	80
4.8.2.1 Arah Pembebanan 0°	80
4.8.2.2 Arah Pembebanan 45°	81
4.8.2.3 Arah Pembebanan 90°	82
4.8.2.4 Arah Pembebanan 135°	84
4.8.2.5 Arah Pembebanan 180°	85
4.9 Analisis <i>Clearance</i> Antara <i>Mooring Line</i> dengan Pipa.....	88
4.9.1 <i>Clearance</i> Antara <i>Mooring Line</i> dengan Pipa Kondisi <i>Stand Alone</i>	88
4.9.2 <i>Clearance</i> Antara <i>Mooring Line</i> dengan Pipa Kondisi <i>Offloading</i>	89

BAB V PENUTUP	91
5.1 Kesimpulan.....	91
5.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. FSO Belida	1
Gambar 2.2. Sistem tambat <i>spread mooring</i>	7
Gambar 2.3. <i>Subsea Buoy</i>	8
Gambar 2.4. Enam derajat kebebasan bangunan apung	11
Gambar 2.5. <i>Mooring Line</i>	17
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir.....	22
Gambar 4.1. Pemodelan FSO Belida menggunakan <i>software</i> Maxsurf Modeler	28
Gambar 4.2 Pemodelan FSO Belida tampak isometris dengan <i>software</i> MOSES	28
Gambar 4.3 Pemodelan FSO Belida tampak samping dengan <i>software</i> MOSES	28
Gambar 4.4 Pemodelan FSO Belida tampak atas dengan <i>software</i> MOSES	28
Gambar 4.5 Pemodelan FSO Belida tampak depan dengan <i>software</i> MOSES....	29
Gambar 4.6. Pemodelan <i>shuttle tanker</i> menggunakan <i>software</i> Maxsurf Modeler	30
Gambar 4.7 Pemodelan <i>shuttle tanker</i> tampak isometris dengan <i>software</i> MOSES	30
Gambar 4.8 Pemodelan <i>shuttle tanker</i> tampak samping dengan <i>software</i> MOSES	30
Gambar 4.9 Pemodelan <i>shuttle tanker</i> tampak atas dengan <i>software</i> MOSES	30
Gambar 4.10 Pemodelan <i>shuttle tanker</i> tampak depan dengan <i>software</i> MOSES	31
Gambar 4.11 Grafik RAO <i>Surge</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	32
Gambar 4.12 Grafik RAO <i>Surge</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	33
Gambar 4.13 Grafik RAO <i>Sway</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	33
Gambar 4.14 Grafik RAO <i>Sway</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	34

Gambar 4.15	Grafik RAO <i>Heave</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	34
Gambar 4.16	Grafik RAO <i>Heave</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	35
Gambar 4.17	Grafik RAO <i>Roll</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	36
Gambar 4.18	Grafik RAO <i>Roll</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	36
Gambar 4.19	Grafik RAO <i>Pitch</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	37
Gambar 4.20	Grafik RAO <i>Pitch</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	37
Gambar 4.21	Grafik RAO <i>Yaw</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	38
Gambar 4.22	Grafik RAO <i>Yaw</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	38
Gambar 4.23	Grafik RAO <i>Surge</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	39
Gambar 4.24	Grafik RAO <i>Surge</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	40
Gambar 4.25	Grafik RAO <i>Sway</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	40
Gambar 4.26	Grafik RAO <i>Sway</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	41
Gambar 4.27	Grafik RAO <i>Heave</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	41
Gambar 4.28	Grafik RAO <i>Heave</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	42
Gambar 4.29	Grafik RAO <i>Roll</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	42
Gambar 4.30	Grafik RAO <i>Roll</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	43
Gambar 4.31	Grafik RAO <i>Pitch</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	43
Gambar 4.32	Grafik RAO <i>Pitch</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	44
Gambar 4.33	Grafik RAO <i>Yaw</i> FSO Belida Kondisi <i>Full Load</i>	44
Gambar 4.34	Grafik RAO <i>Yaw</i> FSO Belida Kondisi <i>Ballast</i>	45
Gambar 4.35	Grafik RAO <i>Surge Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	46
Gambar 4.36	Grafik RAO <i>Sway Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	47
Gambar 4.37	Grafik RAO <i>Heave Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	47
Gambar 4.38	Grafik RAO <i>Roll Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	48
Gambar 4.39	Grafik RAO <i>Pitch Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	49
Gambar 4.40	Grafik RAO <i>Yaw Shuttle Tanker</i> Kondisi <i>Full Load</i>	49

Gambar 4.41	Tampak Atas Konfigurasi <i>Spread Mooring</i> Kondisi <i>Stand Alone</i> .	50
Gambar 4.42	Tampak Atas Konfigurasi <i>Spread Mooring</i> Kondisi <i>Offloading</i> ...	51
Gambar 4.43	Tampak samping pemodelan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>stand alone</i>	52
Gambar 4.44	Tampak atas pemodelan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>stand alone</i>	52
Gambar 4.45	Tampak samping pemodelan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>offloading</i>	53
Gambar 4.46	Tampak atas pemodelan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>offloading</i>	53
Gambar 4.47	<i>Mooring line</i> dengan satu <i>subsea buoy</i>	54
Gambar 4.48	<i>Mooring line</i> dengan dua <i>subsea buoy</i>	54
Gambar 4.49	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 0°	56
Gambar 4.50	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 45°	57
Gambar 4.51	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 90°	59
Gambar 4.52	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 135°	60
Gambar 4.53	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 180°	62
Gambar 4.54	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 0°	64
Gambar 4.55	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 45°	65
Gambar 4.56	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 90°	67
Gambar 4.57	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 135°	68
Gambar 4.58	Diagram batang <i>tension</i> maksimum arah pembebanan 180°	70
Gambar 4.59	Besar <i>tension</i> sebelum dan setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>stand alone</i>	71
Gambar 4.60	Besar <i>tension</i> sebelum dan setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>offloading</i>	72
Gambar 4.61	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	74
Gambar 4.62	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	74
Gambar 4.63	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	75
Gambar 4.64	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	75

Gambar 4.65	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	76
Gambar 4.66	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	77
Gambar 4.67	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	78
Gambar 4.68	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	78
Gambar 4.69	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	79
Gambar 4.70	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	79
Gambar 4.71	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	80
Gambar 4.72	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	81
Gambar 4.73	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	82
Gambar 4.74	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	82
Gambar 4.75	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	83
Gambar 4.76	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	83
Gambar 4.77	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	84
Gambar 4.78	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	85
Gambar 4.79	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah x.....	86
Gambar 4.80	Grafik <i>offset</i> maksimum ke arah y.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Utama FSO Belida	24
Tabel 3.2 Data Utama <i>Shuttle Tanker</i>	24
Tabel 3.3 Mooring System Data.....	25
Tabel 3.4 FSO <i>Mooring Hawser</i> Data.....	25
Tabel 3.5 Data Ukuran <i>Subsea Buoy</i>	25
Tabel 3.6 Data Lingkungan Perairan Natuna	26
Tabel 4.1 Data Ukuran Utama FSO Belida	27
Tabel 4.2 Data Ukuran Utama <i>Shuttle Tanker</i>	29
Tabel 4.3 Validasi FSO Belida	31
Tabel 4.4 Validasi <i>Shuttle Tanker</i>	31
Tabel 4.5 RAO Maksimum FSO Tertambat & <i>Free Floating (Stand Alone)</i>	45
Tabel 4.6 RAO Maksimum FSO Tertambat & <i>Free Floating (Offloading)</i>	45
Tabel 4.7 Variasi Posisi <i>Subsea Buoy</i>	52
Tabel 4.8 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 0°	55
Tabel 4.9 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 0°	55
Tabel 4.10 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 45°	56
Tabel 4.11 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 45°	57
Tabel 4.12 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 90°	58
Tabel 4.13 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 90°	58
Tabel 4.14 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 135°	59
Tabel 4.15 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 135°	60
Tabel 4.16 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 180°	61
Tabel 4.17 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 180°	61
Tabel 4.18 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 0°	63

Tabel 4.19 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 0°	63
Tabel 4.20 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 45°	64
Tabel 4.21 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 45°	65
Tabel 4.22 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 90°	66
Tabel 4.23 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 90°	66
Tabel 4.24 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 135°	67
Tabel 4.25 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 135°	68
Tabel 4.26 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 180°	69
Tabel 4.27 <i>Tension</i> pada <i>line</i> 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 180°	69
Tabel 4.28 Besar <i>tension</i> sebelum & setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>stand alone</i>	70
Tabel 4.29 Besar <i>tension</i> sebelum dan setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>offloading</i>	71
Tabel 4.30 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 0°	73
Tabel 4.31 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 45°	75
Tabel 4.32 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 90°	76
Tabel 4.33 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 135°	77
Tabel 4.34 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 180°	79
Tabel 4.35 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 0°	80
Tabel 4.36 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 45°	81
Tabel 4.37 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 90°	83
Tabel 4.38 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 135°	84
Tabel 4.39 <i>Offset</i> maksimum arah pembebanan 180°	85
Tabel 4.40 Besar <i>offset</i> sebelum dan setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>stand alone</i>	87
Tabel 4.41 Besar <i>offset</i> sebelum dan setelah penambahan <i>subsea buoy</i> kondisi <i>offloading</i>	87

Tabel 4.42 <i>Clearance</i> antara <i>mooring line</i> dengan pipa.....	88
Tabel 4.43 <i>Clearance</i> antara <i>mooring line</i> dengan pipa.....	89

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A (Hasil *output* RAO MOSES FSO Kondisi *Full Load*)

LAMPIRAN B (Hasil *output* RAO MOSES FSO Kondisi *Ballast*)

LAMPIRAN C (Hasil *output* RAO MOSES *Shuttle Tanker* Kondisi *Full Load*)

LAMPIRAN D (*Output Tension* dari *Orcaflex*)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Natuna merupakan daerah yang berada di ujung utara dari selat Karimata. Daerah ini merupakan salah satu yang memiliki cadangan minyak dan gas bumi terbesar di dunia. Daerah ini banyak terdapat bangunan lepas pantai untuk eksplorasi minyak dan gas bumi, baik itu bangunan terpancang maupun terapung. Saat ini terus dilakukan pengembangan teknologi perancangan struktur bangunan lepas pantai untuk mengeksplorasi minyak dan gas bumi di daerah Natuna. Salah satunya adalah pembangunan *Floating Storage and Offloading (FSO)*.

Floating Storage Offloading (FSO) merupakan bangunan apung yang berbentuk kapal yang berfungsi menyimpan hidrokarbon dan mentransfer ke kapal-kapal pengangkut atau tongkang. Dalam operasinya struktur FSO mengalami pergerakan di perairan yang disebabkan oleh beban lingkungan, seperti gelombang, angin, dan arus. Sehingga diperlukan sistem tambat pada struktur FSO. Tujuan dari sistem tambat ini adalah untuk membatasi gerakan dan menjaga FSO agar tetap berada pada posisinya. Gambar FSO ditunjukkan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1. FSO Belida

Salah satu jenis sistem tambat yang biasanya digunakan adalah *spread mooring*. Sistem tambat yang terdiri dari beberapa *mooring line* yang menyebar dan ditambat ke dasar laut dengan menggunakan jangkar. Sistem ini tidak memungkinkan kapal untuk bergerak atau berputar guna mencapai posisi dimana efek-efek lingkungan semisal angin, arus, dan gelombang relatif kecil. Namun hal ini menyebabkan beban lingkungan terhadap kapal menjadi lebih besar.

Dalam pembangunan sistem tambat banyak sekali faktor yang harus diperhatikan, salah satunya adalah jarak antar *mooring line* dengan *mooring line* atau dengan peralatan bawah laut lainnya. *Clashing* antara *mooring line* dengan pipa merupakan salah satu permasalahan yang dapat ditemui. Penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* dapat menghindari *clashing* antara *mooring line* dengan pipa, karena *subsea buoy* dapat mengangkat *mooring line* sehingga *clashing* tidak terjadi. Selain menghindari *clashing* antara *mooring line* dengan pipa penambahan *subsea buoy* dapat mempengaruhi tegangan pada *mooring line*. Sehingga pada tugas akhir ini saya akan melakukan analisis pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan tali tambat *spread mooring* dengan variasi satu *subsea buoy* dengan empat variasi posisi peletakan dan dua *subsea buoy*. Sehingga dapat diketahui pengaruh tegangan pada *spread mooring* karena penambahan *subsea buoy*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana tegangan *mooring line* pada sistem tambat *spread mooring* tanpa penambahan *subsea buoy*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan *mooring line* pada sistem tambat *spread mooring*?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui tegangan *mooring line* pada sistem tambat *spread mooring* tanpa penambahan *subsea buoy*.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan *mooring line* pada sistem tambat *spread mooring*.

1.4 Manfaat

Dari penelitian ini kita dapat mengetahui pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan *mooring line* pada sistem tambat *spread mooring*. Sehingga akan didapatkan alternatif desain *mooring line* dengan *subsea buoy* yang tepat.

1.5 Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini batasan masalah dan asumsi yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Sistem tambat yang digunakan adalah *spread mooring*.
2. FSO dianalisis dalam keadaan *full load* dan *ballast*.
3. Data lingkungan menggunakan data di perairan Natuna.
4. Kondisi pembebanan lingkungan *collinear*.
5. Variasi peletakan satu *subsea buoy* pada jarak 605 m, 577.5 m, 550 m, 522.5 m dari *anchor*.
6. Variasi dua *subsea buoy* pada jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.
7. Ukuran *subsea buoy* yang digunakan tetap.
8. Analisis dinamis menggunakan metode *time domain*.
9. Kondisi *seabed* dianggap datar dan jangkar dianggap mampu menahan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang tugas akhir yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir, manfaat yang diperoleh dan batasan masalah yang membatasi ruang lingkup penelitian guna membatasi analisis yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini.

2. Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada penelitian, jurnal lokal maupun internasional, *rules* atau *code* dan juga buku yang memiliki kaitan terhadap bahasan tugas akhir.

3. Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini menjelaskan tentang metode pengerjaan dalam tugas akhir yang akan dilakukan beserta prosedur yang digunakan.

4. Bab IV Analisis dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan analisis mengenai hasil pemodelan struktur FSO, *shuttle tanker* beserta sistem tambat dan simulasi untuk variasi posisi peletakan *subsea buoy*. Analisis tersebut bertujuan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan.

5. Bab V Penutup

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil dan pembahasan mengenai pengaruh dari variasi penambahan *subsea buoy* terhadap *tension* yang timbul serta memberikan saran-saran untuk penelitian ataupun tugas akhir selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pengeboran minyak di laut dalam menjadi semakin umum dan penggunaan sistem *Floating (Production) Storage and Offloading* FSO/FPSO menyediakan teknologi matang untuk produksi, penyimpanan, dan ekspor produk hidrokarbon dari area-area ini (Howell dkk., 2006). *Floating Storage and Offloading* (FSO) merupakan bangunan apung yang berbentuk kapal yang berfungsi menyimpan hidrokarbon. FSO dapat berasal dari konversi kapal tanker atau bangunan baru. Dalam tahap pengoperasiannya, FPSO/FSO akan mendapatkan pembebanan dari kondisi lingkungannya yang berupa beban gelombang, arus dan angin (Sahlan dkk., 2012). Sehingga diperlukan sistem tambat untuk menjaga FSO agar tetap pada posisinya. Sistem tambat merupakan bagian penting dari struktur terapung, sistem tambat telah menjadi topik penelitian yang menantang, terutama ketika struktur apung mulai dilakukan di perairan yang lebih dalam (Ji C.Y. dkk., 2011).

Semakin dengan berjalannya waktu, banyak dilakukan studi dan juga penelitian untuk menganalisis variasi pada desain sistem tambat, seperti analisis *subsea buoy* pada sistem tambat. Contohnya analisis numerik pada sistem *hybrid mooring* dengan *clump weights* dan *buoys* oleh Yuan Z.M. dkk. (2014) yang menganalisis jenis *mooring line* baru, *hybrid mooring system with clump weight and buoys* (HMSWB). Dalam penelitian ini Yuan Z.M hanya menganalisis pengaruh *buoys* pada (HMSWB) karena sebelumnya pengaruh dari *clump weight* sudah dibahas oleh Ji C.Y. dkk. (2011). Penelitian ini mendapatkan kesimpulan bahwa *buoys* yang terpasang dapat mengurangi tegangan pada *mooring line*.

Sundaravadivelu (1991) telah melakukan penelitian bahwa kenaikan *net bouyancy submerged buoy* dapat mengurangi besarnya *excursi buoy*. *Buoy* yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah *single point subsurface mooring* yang digunakan untuk pengumpulan data di laut. Fitria, Favi Ainin (2018) melakukan penelitian penambahan *clump buoy* pada sistem tambat yang bertujuan melihat pengaruh penambahan *clump buoy* terhadap *tension mooring line* dan menghindari potensi *clashing* antar *mooring line*. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan

bahwa penambahan *clump buoy* pada *mooring line* dapat mengurangi *tension* dan juga tidak terjadi *clashing* antar *mooring line*. Mavrakos (1997) melakukan analisis pengaruh penambahan *submerged buoy* di laut dalam. Dalam penelitian ini dilakukan variasi jumlah, ukuran, dan posisi peletakan pada *submerged buoy*. Analisis berikutnya adalah pengaruh penambahan *submerged buoy* terhadap tegangan dan *dry length* pada sistem tambat *single point mooring* (Suseprasetyo, 2013). Pada analisis ini mendapatkan hasil besarnya displasemen *submerged buoy* sebanding dengan besarnya *dry length* dan semakin jauh posisi peletakan *submerged buoy* dari *fairlead*, *tension* yang muncul akan semakin kecil.

Pada tugas akhir ini akan menganalisis pengaruh penambahan *subsea buoy* terhadap tegangan tali tambat pada *spread mooring* untuk menghindari *clashing* antara *mooring line* dengan pipa dengan variasi satu *subsea buoy* dengan empat posisi peletakan dan dua *subsea buoy*. FSO akan ditambat dengan sistem tambat jenis *spread mooring* dan akan ditambahkan dengan *subsea buoy*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Floating Storage and Offloading (FSO)

Floating Storage and Offloading (FSO) merupakan bangunan apung yang berbentuk kapal yang berfungsi menyimpan hidrokarbon yang nantinya akan ditransfer ke sebuah kapal tanker. FSO dapat berasal dari konversi kapal tanker atau bangunan baru. Berbeda dengan kapal tanker yang berlayar, FSO ditambat ke dasar laut dengan menggunakan *mooring system*, tujuannya agar FSO tetap berada pada posisinya. Dalam tahap pengoperasiannya, FPSO/FSO akan mendapatkan pembebanan dari kondisi lingkungannya yang berupa beban gelombang, arus dan angin (Sahlan dkk., 2012).

2.2.2 Sistem Tambat

Sistem tambat memiliki fungsi membatasi gerakan kapal akibat dari beban gelombang agar tetap berada pada posisinya. Dalam API RP 2SK (2005), sistem tambat dapat dibagi menjadi :

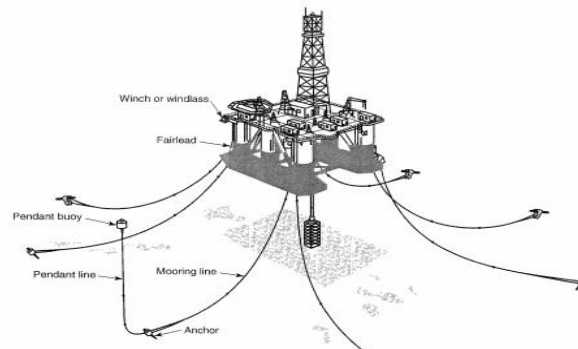
1. *Spread mooring*, adalah sistem tambat yang terdiri dari beberapa *mooring line* yang menyebar dan ditambat ke dasar laut dengan menggunakan jangkar. Pada sistem ini *mooring line* umumnya terletak pada posisi *bow* dan *stern* kapal.

Spread mooring tidak memungkinkan kapal untuk bergerak memutar (*weathervaning*).

2. *Single Point Mooring* (SPM), terdiri dari *buoy body* dan komponen mooring line yang menghubungkan *buoy* ke dasar laut. Sistem ini memungkinkan kapal untuk bergerak memutar (*weathervaning*).
3. *Dynamic Positioning*, adalah sistem tambat yang menggunakan sistem penggerak otomatis untuk mempertahankan posisi kapal.

2.2.2.1 *Spread Mooring*

Sistem ini tidak memungkinkan kapal untuk bergerak atau berputar guna mencapai posisi dimana efek-efek lingkungan semisal angin, arus, dan gelombang relative kecil. Namun hal ini menyebabkam beban lingkungan terhadap kapal menjadi lebih besar, dan akan mengakibatkan bertambahnya jumlah mooring line atau line tension. Pada sistem ini mooring line umumnya terletak pada posisi *bow* dan *stern* kapal. *Spread mooring* dapat digunakan pada setiap tipe kapal, namun tetap memperhatikan fasilitas produksi diatas kapal. Gambar 2.2 menunjukkan sistem tambat dengan jenis *spread mooring*.

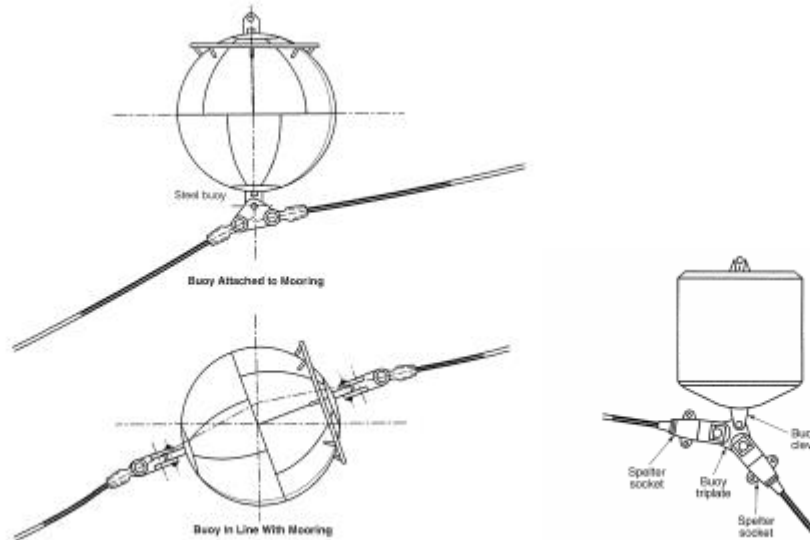


Gambar 2.2. Sistem tambat *spread mooring*
(sumber: API RP 2SK)

2.2.2.2 *Subsea Buoy*

Menurut API RP 2SK (2005) manfaat dari *subsea buoy* adalah mengurangi berat *mooring line* terutama di laut dalam, mengurangi *offset* kapal dengan ukuran *line & pretension* yang diberikan, menambah jarak vertikal antara *mooring line* dengan peralatan dibawahnya. Sedangkan kerugiannya adalah dapat meningkatkan kompleksitas instalasi dan potensi menambah beban pada *mooring line* karena

respons dinamis pelampung di laut lepas. *Subsea buoy* yang digunakan pada sistem tambat permanen dapat dibuat dari besi atau kombinasi dari material sintetis. Material dari besi terbukti lebih murah dibandingkan material sintetis.



Gambar 2.3. Subsea Buoy

(Sumber: API RP 2SK)

Subsea buoy dapat ditempatkan di satu garis dengan *mooring line* atau dipasang secara terpisah dengan *mooring line* melalui *tri-plate* seperti pada gambar 2.3.

2.2.3 Beban Lingkungan

Dalam mendesain struktur bangunan laut, kita harus memperhatikan beban lingkungan dimana struktur tersebut berada. Beban lingkungan tersebut diantaranya beban gelombang, beban angin, dan beban arus.

2.2.3.1 Beban Gelombang

Gelombang merupakan sumber yang paling utama dari beban lingkungan yang dialami oleh bangunan lepas pantai. Gaya gelombang *time series* dapat dibangkitkan dari spektrum gelombang sebagai *first order* dan *second order*. *First order* adalah gelombang dengan periode kecil yang daerah pembangkitannya di daerah itu sendiri dan berpengaruh dominan pada gerakan bangunan apung. Persamaan gaya gelombang *first order* dituliskan dengan persamaan

$$F_{WV}^{(1)}(t) = \sum_{i=1}^N F_{WV}^{(1)}(\omega_i) \cos[\omega_i t + \varepsilon_i] a_i \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

$F_{WV}^{(1)}(t)$: gaya gelombang *first order* tergantung waktu (N)

$F_{WV}^{(1)}$: gaya *exciting* gelombang *first order per unit* amplitudo gelombang (N)

ε_i : sudut fase komponen gelombang *first order* (deg)

a_i : amplitudo komponen gelombang *first order* (m)

$S(\omega)$: fungsi spektrum gelombang

Second order wave force adalah gelombang dengan periode tinggi yang daerah pembangkitannya tidak didaerah itu (jauh dari lokasi gelombang terjadi) dan berpengaruh dominan pada kekuatan sistem tambat. Persamaan untuk menghitung gaya gelombang *second order* ditulis pada persamaan :

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

Keterangan:

D_{ij} : *drift force per unit* amplitudo gelombang (N/m)

2.2.3.2 Beban Angin

Dalam sebuah perancangan, perhitungan beban angin dapat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* (1997):

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

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

Keterangan :

F_{xw} : gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} : gaya angin lateral (kN)

C_{xw} : koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

C_{yw} : koefisien gaya angin transversal non dimensional

ρ_w : densiti udara = 1.223 (Kg/m³) pada 200°C

V_w : kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knot)

A_T : luas penampang transversal diatas air (m^2)

A_L : luas penampang longitudinal diatas air (m^2)

2.2.3.3 Beban Arus

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap *offshore structure*. Fungsi linier berdasarkan *OCIMF mooring equipment guidelines* (1997) dituliskan:

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

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

Keterangan :

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 transversal non dimensional

ρ_c : densiti air laut = (Kg/m^3) pada 200°C

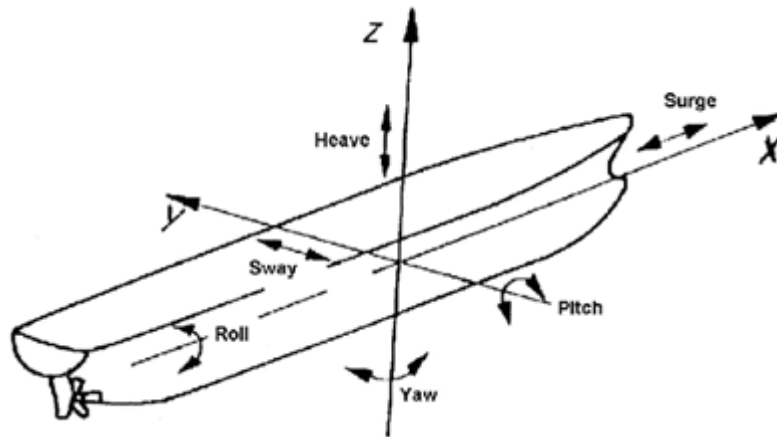
V_c : kecepatan arus pada ketinggian 10 m (knot)

T : Draft kapal (m)

L_{BP} : length between perpendicular (m)

2.2.4 Teori Gerak Bangunan Laut

Menurut Bhattacharyya (1978) sebuah kapal yang bergerak di permukaan laut pada umumnya adalah pergerakan osilasi, yang ditunjukkan dengan enam mode gerakan, yaitu tiga gerakan *linier* dan tiga gerakan *rotasional*. Keenam mode gerakan tersebut ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Enam derajat kebebasan bangunan apung
(sumber: www.Helmidadang.wordpress.com)

- a. Mode gerak translasional
 - 1. *Surge*, gerakan translasional pada sumbu-x
 - 2. *Sway*, gerakan translasional pada sumbu-y
 - 3. *Heave*, gerakan translasional pada sumbu-z

- b. Mode gerak rotasional
 - 1. *Surge*, gerakan rotasional pada sumbu-x
 - 2. *Sway*, gerakan rotasional pada sumbu-y
 - 3. *Heave*, gerakan rotasional pada sumbu-z

Dengan asumsi gerakan-gerakan osilasi yang ditunjukkan dalam gambar diatas adalah linier dan harmonik, maka menurut Djatmiko (2012) enam persamaan diferensial gerakan kopelnya dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + C_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1,6 \dots (2.7)$$

Keterangan:

- M_{jk} : matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut
- A_{jk} : matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik
- B_{jk} : matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik
- C_{jk} : matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatis

F_j : matriks gaya eksitasi (F_1, F_2, F_3) dan momen eksitasi (F_4, F_5, F_6) dalam fungsi kompleks (dinyatakan oleh $e^{i\omega t}$)

F_1 : gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *surge*

F_2 : gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *sway*

F_3 : gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan *heave*

F_4 : momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *roll*

F_5 : momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *pitch*

F_6 : momen eksitasi yang menyebabkan gerakan *yaw*

ζ_k : elevasi gerakan pada mode ke k

$\dot{\zeta}_k$: elevasi kecepatan gerakan pada mode ke k

$\ddot{\zeta}_k$: elevasi percepatan gerakan pada mode ke k

Persamaan tersebut jelas menunjukkan hubungan antara gaya aksi dan gaya reaksi. Gaya aksi direpresentasikan oleh suku pada ruas kanan, yang merupakan eksitasi gelombang terhadap bangunan apung. Gaya reaksi ditunjukkan oleh suku-suku di sebelah kiri persamaan, yaitu terdiri dari gaya inersia, gaya redaman dan gaya pengembali, yang masing-masing berkorelasi dengan percepatan gerak dan simpangan atau displasemen gerakan.

2.2.5 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi respon gerakan dinamis suatu struktur yang disebabkan oleh gelombang dengan rentang frekuensi atau periode tertentu. RAO disebut juga *transfer function* karena merupakan alat atau operator untuk mentransfer beban luar yaitu gelombang dalam bentuk respon pada suatu struktur. Berikut ini adalah bentuk umum dari persamaan RAO menurut Chakrabarti (1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

$X_p(\omega)$: amplitudo struktur (m)

$\eta(\omega)$: amplitudo gelombang (m)

Menurut Djatmiko (2012), respons gerakan RAO untuk gerakan translasi. Surge, sway, heave ($k = 1,2,3$ atau x,y,z), adalah merupakan perbandingan langsung antara

amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang):

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \text{ (m/m)(2.9)}$$

Sedangkan respons non-dimensional atau RAO untuk gerakan rotasi. Roll, pitch dan yaw ($k = 3,4,5$ atau θ, ϕ, ψ), adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara angka gelombang, $k_w = \omega^2/g$, dengan amplitude gelombang insiden:

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g)\zeta_0} \text{ (rad/rad)(2.10)}$$

2.2.6 Spektrum Gelombang

Spektrum energi gelombang mendeskripsikan energi yang terkandung dari gelombang acak. Penentuan spektrum energi gelombang untuk mendapatkan respons spektrum suatu struktur mengacu pada kondisi laut yang sebenarnya. Bila tidak ada, maka dapat diasumsikan berbagai model spektrum yang diresmikan oleh berbagai institusi terpercaya dengan mempertimbangkan kemiripan fisik lingkungan.

Dalam penelitian ini akan menggunakan formulasi spektra JONSWAP. Formulasi ini memasukkan parameter-parameter yang akan mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan, sehingga banyak dipakai dalam perancangan dan analisis bangunan lepas pantai yang dioperasikan di Indonesia. Berikut ini adalah persamaan spektra JONSWAP,

$$S_{\zeta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left\{ -125 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right\} \gamma^{\exp \left\{ \frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau \omega_0^2} \right\}} \text{(2.11)}$$

Keterangan :

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

$$X_0: gX/Uw^2$$

X : Panjang fetch

Uw : Kecepatan angin

α : 0.0081 jika X tidak diketahui

γ : Parameter ketinggian

τ : Parameter bentuk

τ : 0.07 untuk $\omega \leq \omega_0$

τ : 0.09 untuk $\omega > \omega_0$

$$\omega_0: 2\pi\left(\frac{g}{U_w}\right)(X_0)^{-0.33}$$

Untuk wilayah perairan Indonesia yang tidak sekeras laut utara, digunakan nilai parameter ketinggian antara 2.0 sampai 2.5 agar tidak menimbulkan overdesain (Djatkiko, 2012).

2.2.7 Respons Spektra

Gelombang acak merupakan 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 diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatkiko, 2012)..

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga pangkat kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum energi gelombang, yang secara persamaan matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

$S_{\zeta_r}(\omega)$: spektrum respon (m^2/sec)

$S_{\zeta}(\omega)$: spektrum gelombang (m^2/sec)

RAO : respons amplitude operator (m/m)

ω : frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.8 Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respon dinamis dari tali tambat. Efek variasi waktu akibat massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida disertakan. Dalam pendekatan ini, gerakan *fairlead* variasi waktu dihitung dari gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *pitch*, *roll* dan *yaw* dari bangunan apung. Berdasarkan DNV OS E301 (2004), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

1. *Frequency Domain Analysis*

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini bisa digunakan untuk memperkirakan respon gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan *platform*, gaya tendon, dan sudut. Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input* dan *output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan *non-linear* harus diubah menjadi *linear*.

2. *Time domain analysis*

Time domain analysis adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisis *time domain* umumnya seperti program komputer dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat dibawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain. Keuntungan metode ini dibandingkan *frequency domain* adalah semua tipe *non-linear* (matrik sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat.

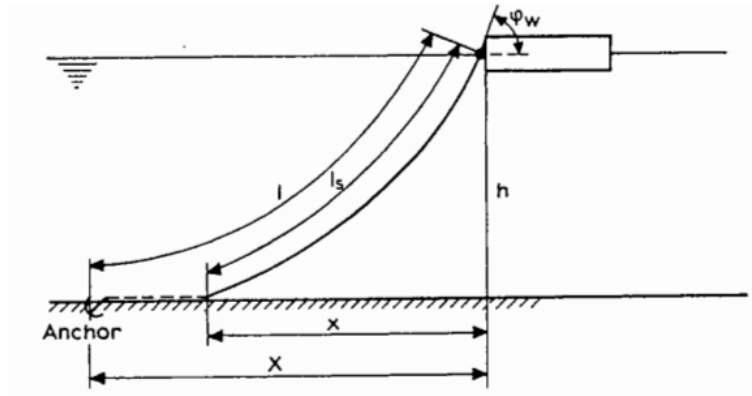
2.2.9 Mooring Line

Dalam API RP 2SK (2005), *mooring line* untuk menambat kapal dapat dibuat dari *chain*, *wire rope*, *synthetic rope*, atau kombinasinya. Tipe mooring line yang digunakan dibagi menjadi 3 :

1. Semua *mooring line* terbuat dari *wire rope*, karena *wire rope* lebih ringan dari *chain*, *wire rope* memiliki *restoring force* yang lebih di perairan laut dalam dan memerlukan tegangan awal (*pretension*) yang rendah dari pada rantai. Bagaimanapun juga, untuk menghindari terangkatnya *anchor* dari dasar laut maka diperlukan *wire rope* yang sangat panjang. Menggunakan *wire rope* memiliki kerugian yaitu abrasi yang disebabkan antara *wire rope* yang bergesekan dengan dasar laut.
2. Semua *mooring line* terbuat dari *chain*, rantai telah menunjukkan keunggulannya pada *offshore operations*. Rantai juga memiliki daya tahan yang lebih terhadap abrasi dasar laut dan mampu menahan *anchor* sangat signifikan. Akan tetapi, karena *chain* memiliki berat yang besar maka rantai tidak terlalu digunakan pada kondisi operasi perairan laut dalam.
3. Kombinasi antara *chain* dan *wire rope*. Dengan pemilihan Panjang yang tepat dari gabungan antara *wire rope* dan *chain*, maka akan diperoleh system *mooring* yang menguntungkan, yaitu *pretension* yang rendah, *restoring force* yang tinggi dan *holding anchor* yang lebih besar dan daya tahan terhadap abrasi dasar laut yang bagus.

2.2.9.1 Penentuan Mooring Line

Dalam mendesain *mooring line* agar bangunan apung dapat berada pada posisi sesuai tujuan penambatannya, kita harus menentukan ukuran panjang serta *pretension* yang sesuai.



Gambar 2.5. Mooring Line

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan panjang *mooring line* (Faltinsen, 1990) :

$$l_{min} = h \left(2 \frac{T_{max}}{wh} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan,

l_{min} : panjang minimum tali tambat (*chain line*) (m)

h : jarak vertikal dari *fairlead* ke *seabed* = $h_m + h_c$ (m)

h_m : kedalaman air (m)

h_c : tinggi *fairlead* di atas permukaan air (m)

w : berat tali tambat di dalam air per satuan Panjang (N/m)

T : *tension* maksimum dari tali tambat (*pre-tension*) pada *fairlead* (kN)

Jarak minimum *mooring line* diperhitungkan agar rantai jangkar beratnya tidak terlalu mengalami tegangan yang besar sehingga tegangan yang dihasilkan masih aman dalam beroperasi. Perhitungan jarak minimum *mooring line* dapat dicari dengan persamaan (Faltinsen, 1990):

$$x = l - h \left(1 + 2 \frac{a}{h} \right)^{0.5} + \text{acosh}^{-1} \left(1 + \frac{h}{a} \right) \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

x : jarak minimum *mooring line* (m)

l : panjang keseluruhan *mooring line* (m)

h : jarak titik tumpu ke *seabed* (m)

a : T_H/w

2.2.9.2 Tegangan Pada *Mooring Line*

Gerakan pada *vessel* dan beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. *Mean tension*.

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada *vessel*.

2. *Maximum tension*.

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low frequency tension*.

Menurut API RP 2SK (2005), *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur seperti persamaan berikut:

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:

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

Keterangan,

T_{lfmax} : *maximum low-frequency tension*

T_{wfmax} : *maximum wave frequency tension*

T_{max} : *maximum tension*

T_{mean} : *mean tension*

T_{lfsig} : *significant low-frequency tension*

T_{wfsig} : *significant wave frequency tension*

Menurut Faltinsen (1990), tegangan maksimum pada *mooring line* dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$T_{max} = T_H + wh \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan,

T_{max} : tegangan maksimum tali tambat (kN)

T_H : horizontal *pre-tension* (kN)

w : berat *chain* di air (N/m)

h : kedalaman laut (m)

Tegangan pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria *safety factor* yang terdapat dalam *rule*. *Safety factor* yang direkomendasikan oleh API RP 2SK (2005) untuk kondisi *intact condition* (ULS) adalah 1,67 sedangkan untuk kondisi *damage* (ALS) adalah 1,25. Dengan persamaan *safety factornya* sebagai berikut:

$$Safety Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load\ (MBL)}{Maximum\ Tension} \dots\dots\dots(2.18)$$

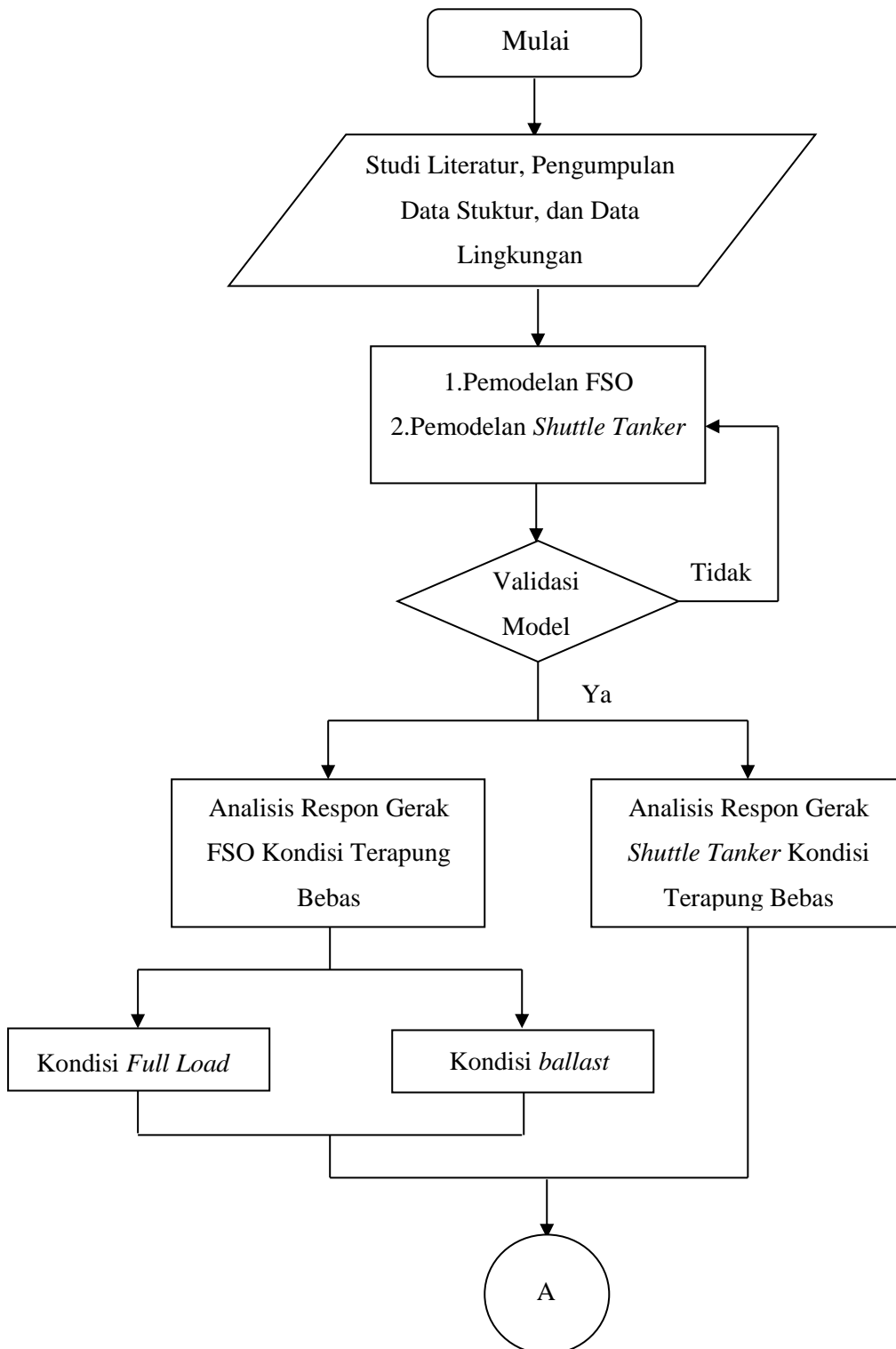
(halaman ini sengaja dikosongkan)

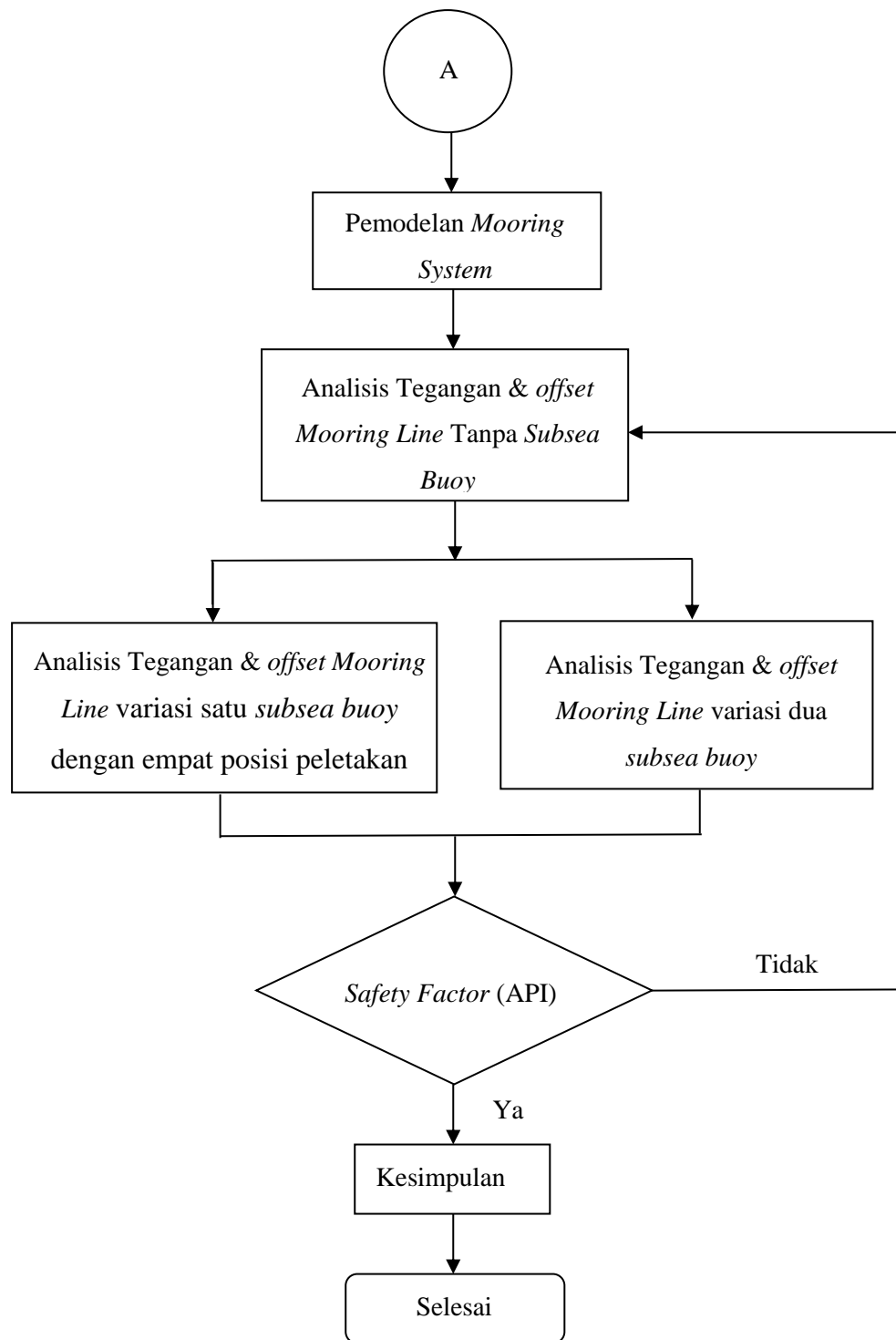
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode dalam tugas akhir ini dijelaskan dalam diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut.





Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan tugas akhir

3.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian dalam diagram alir akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pengumpulan informasi dan penelitian yang telah dilakukan mengenai sistem *mooring* dengan penambahan *subsea buoy* untuk menunjang tugas akhir. Studi literatur didapatkan dari buku, tugas akhir, dan jurnal.

2. Pengumpulan Data Struktur & Data Lingkungan

Data struktur menggunakan data FSO Belida yang merupakan konversi dari tanker, data *shuttle tanker*, & data lingkungan menggunakan data di Perairan Natuna.

3. Pemodelan Struktur

Pemodelan FSO & *shuttle tanker* menggunakan *software* Maxsurf. Koordinat yang didapatkan dari *software* Maxsurf digunakan untuk *input* data pada *software* MOSES.

4. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk memastikan pemodelan yang dibuat sudah sesuai dengan struktur asli. Validasi dilakukan dengan membandingkan data hidrostatis dari *software* dengan data hidrostatis asli. Validasi model menggunakan acuan dari ABS (2018).

5. Pemodelan Sistem *Mooring*

Pemodelan sistem *mooring* menggunakan *software* Orcaflex. Data input *software* Orcaflex didapatkan dari *software* MOSES. Sistem tambat yang digunakan adalah jenis spread mooring dengan delapan mooring line dan konfigurasi sudut 45° dan 60°.

6. Analisis Pada *Mooring Line*

Analisis *mooring line* yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis *tension*, *offset*, dan *clearance* antara *mooring line* dengan pipa. Analisis dilakukan tanpa *subsea buoy* dan dengan penambahan *subsea buoy*.

7. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat menghasilkan *tension*, *offset*, dan *clearance* tanpa penambahan *subsea buoy* dan dengan penambahan *subsea buoy*. Sehingga bisa disimpulkan bagaimana pengaruh penambahan *subsea buoy* pada *mooring line*.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah data struktur FSO Belida, *shuttle tanker*, *mooring line*, *hawser*, *subsea buoy* dan data lingkungan di Perairan Natuna.

3.3.1 Data Struktur

Data struktur terdiri atas data FSO, *shuttle tanker*, *mooring line*, *hawser*, dan *subsea buoy* yang terdapat pada tabel 3.1 sampai tabel 3.5.

Tabel 3.1 Data Utama FSO Belida

Parameter	Unit	Value	
		<i>Full load</i>	<i>Ballast</i>
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	244.60	244.60
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	m	233.00	233.00
<i>Breadth</i>	m	42.20	42.20
<i>Depth</i>	m	22.20	22.20
<i>Draft</i>	m	14.9	7.00
<i>KG (Keel to Gravity)</i>	m	13.71	10.08
<i>Displacement</i>	Ton	12588.60	58833.87

Tabel 3.2 Data Utama *Shuttle Tanker*

Parameter	Unit	Value
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	240.50
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	m	230.00
<i>Breadth</i>	m	42.00
<i>Depth</i>	m	21.20
<i>Draft</i>	m	14.85
<i>KG (Keel to Gravity)</i>	m	12.48
<i>Displacement</i>	Ton	118643.87

Tabel 3.3 Mooring System Data

Parameter	Unit	Value
<i>Type</i>	-	Chain, R4 Studless
<i>Length of chain</i>	m	914
<i>Size</i>	mm	87 mm diameter
MBL	mT	783.35

Tabel 3.4 FSO *Mooring Hawser* Data

Parameter	Unit	Value
<i>Type</i>	-	<i>Rope/Nylon</i>
<i>Size</i>	mm	96 dia
MBL	mT	154.076

Tabel 3.5 Data Ukuran *Subsea Buoy*

Parameter	Unit	Value
<i>Weight</i>	kg	5600
Tinggi	m	4.6
Diameter	m	2.8

3.3.2 Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan adalah data lingkungan di perairan Natuna. Data yang digunakan meliputi data tinggi gelombang, periode, kecepatan arus, dan kecepatan angin. Tabel 3.6 menunjukkan data lingkungan di perairan Natuna.

Tabel 3.6 Data Lingkungan Perairan Natuna

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

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

<i>Direction</i>	OMNI	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
<i>Current Speed (m/s)</i>									
<i>Surface</i>	0.89	0.90	0.89	0.90	0.62	0.62	0.76	0.85	0.76
<i>30 Meters Below Surface</i>	0.69	0.62	0.69	0.62	0.48	0.48	0.59	0.66	0.59
<i>3 Meters Above Bottom</i>	0.50	0.45	0.50	0.45	0.35	0.35	0.43	0.48	0.43

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur meliputi pemodelan FSO Belida dan pemodelan *shuttle tanker*. Pemodelan struktur menggunakan *software* Maxsurf Modeler dan *software* MOSES.

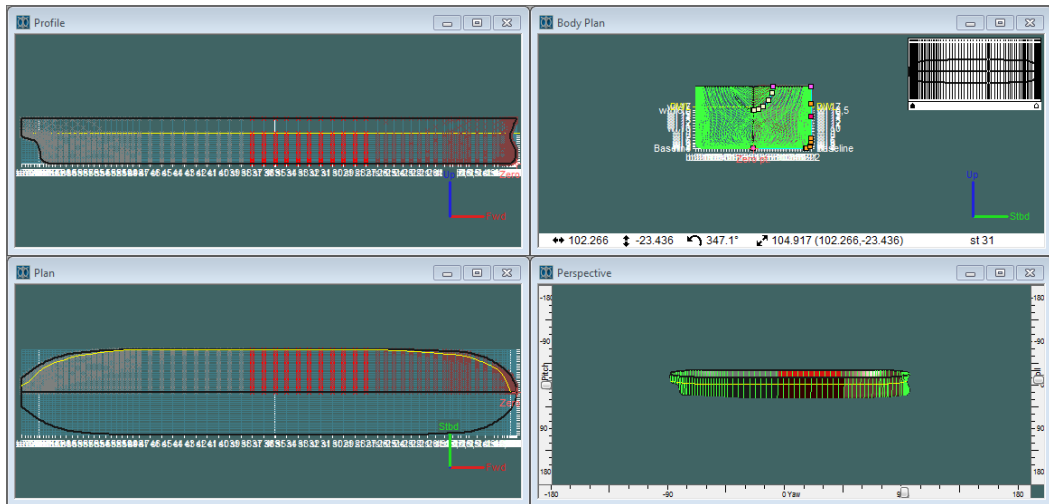
4.1.1 Pemodelan FSO Belida

Pemodelan FSO Belida menggunakan *software* Maxsurf Modeler dan *software* MOSES. Model dari *software* Maxsurf Modeler digunakan titik koordinat *marker* sebagai *input* pada *software* MOSES. Pada *software* MOSES akan menghasilkan *output* seperti RAO (*Response Amplitude Operator*), *added mass*, *damping force*, dan *wave drift* sebagai *input* untuk *software* Orcaflex. Analisis dilakukan pada kondisi FSO terapung bebas dengan pembebanan *full load* dan *ballast*. Berikut ini adalah data ukuran utama FSO Belida pada tabel 4.1.

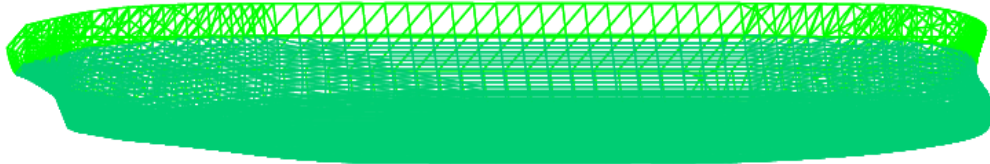
Tabel 4.1 Data Ukuran Utama FSO Belida

Parameter	Unit	Value	
		<i>Full load</i>	<i>Ballast</i>
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	244.60	244.60
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	m	233.00	233.00
<i>Breadth</i>	m	42.20	42.20
<i>Depth</i>	m	22.20	22.20
<i>Draft</i>	m	14.90	7.00
<i>KG (Keel to Gravity)</i>	m	13.71	10.08
<i>Displacement</i>	Ton	12588.60	58833.87
<i>Kxx (Radius Gyration of Roll)</i>	m	17.40	13.90
<i>Kyy (Radius Gyration of Pitch)</i>	m	69.73	67.88
<i>Kzz (Radius Gyration of Yaw)</i>	m	69.73	67.88

Gambar pemodelan FSO Belida pada *software* Maxsurf Modeler ditunjukkan pada gambar 4.1 dan pemodelan pada *software* MOSES ditunjukkan pada gambar 4.2 sampai gambar 4.5.



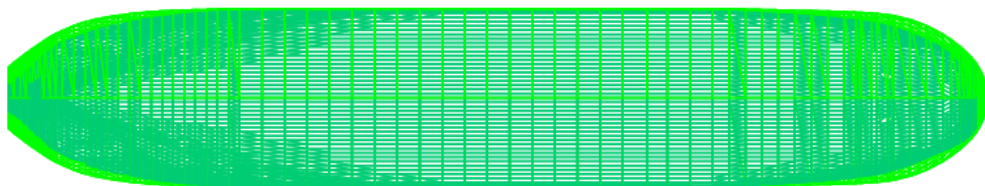
Gambar 4.1. Pemodelan FSO Belida menggunakan *software* Maxsurf Modeler



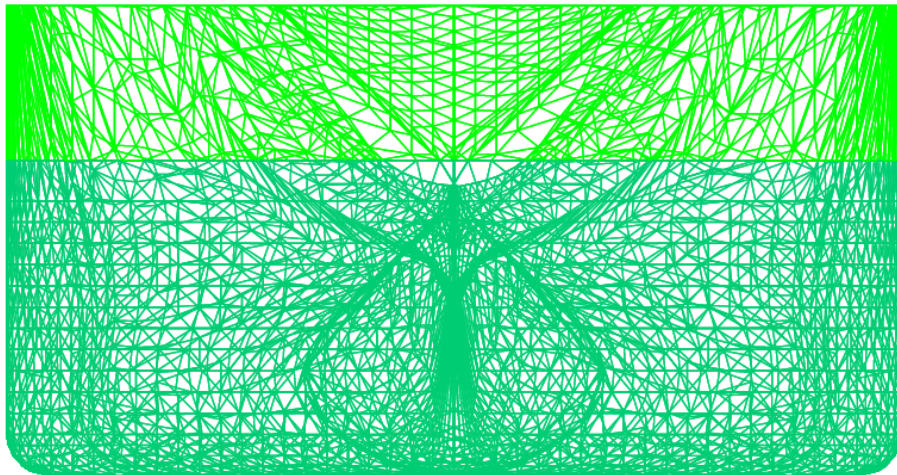
Gambar 4.2 Pemodelan FSO Belida tampak isometris dengan *software* MOSES



Gambar 4.3 Pemodelan FSO Belida tampak samping dengan *software* MOSES



Gambar 4.4 Pemodelan FSO Belida tampak atas dengan *software* MOSES



Gambar 4.5 Pemodelan FSO Belida tampak depan dengan *software* MOSES

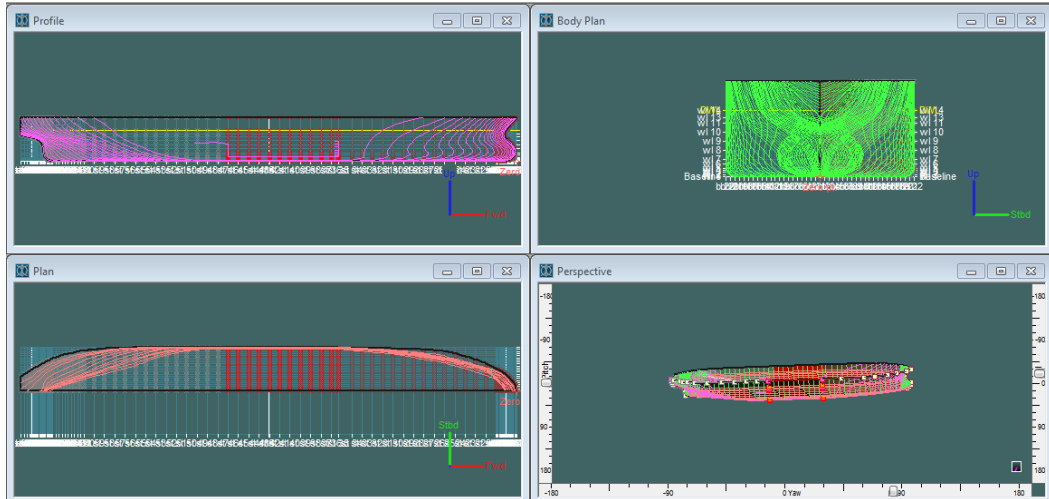
4.1.2 Pemodelan *Shuttle Tanker*

Pemodelan *shuttle tanker* menggunakan *software* Maxsurf Modeler dan *software* MOSES. Analisis dilakukan pada kondisi terapung bebas dengan pembebanan *full load*. Berikut ini adalah data ukuran utama *shuttle tanker* pada tabel 4.2.

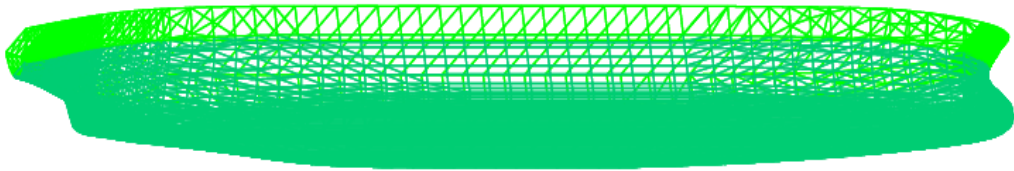
Tabel 4.2 Data Ukuran Utama *Shuttle Tanker*

Parameter	Unit	Value
<i>Length Overall (LOA)</i>	m	240.50
<i>Length Between Perpendicular (LPP)</i>	m	230.00
<i>Breadth</i>	m	42.00
<i>Depth</i>	m	21.20
<i>Draft</i>	m	14.85
<i>KG (Keel to Gravity)</i>	m	12.48
<i>Displacement</i>	Ton	118643.87
<i>Kxx (Radius Gyration of Roll)</i>	m	18.27
<i>Kyy (Radius Gyration of Pitch)</i>	m	67.90
<i>Kzz (Radius Gyration of Yaw)</i>	m	67.90

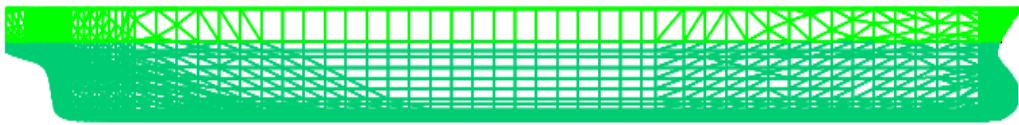
Gambar pemodelan *shuttle tanker* pada *software* Maxsurf Modeler ditunjukkan pada gambar 4.6 dan pemodelan pada *software* MOSES ditunjukkan pada gambar 4.7 sampai gambar 4.10.



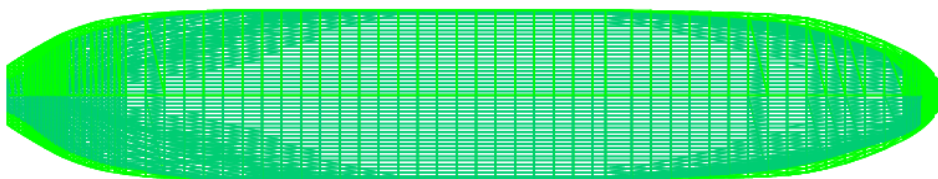
Gambar 4.6. Pemodelan *shuttle tanker* menggunakan *software* Maxsurf Modeler



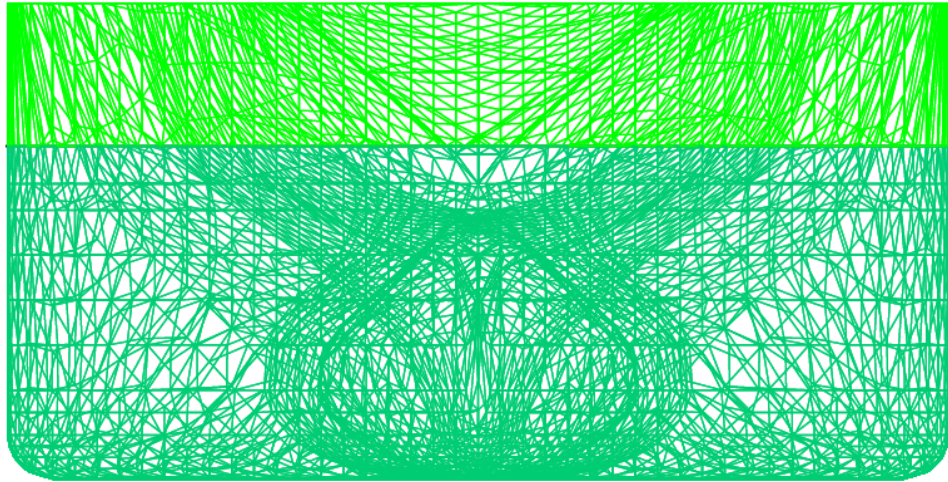
Gambar 4.7 Pemodelan *shuttle tanker* tampak isometris dengan *software* MOSES



Gambar 4.8 Pemodelan *shuttle tanker* tampak samping dengan *software* MOSES



Gambar 4.9 Pemodelan *shuttle tanker* tampak atas dengan *software* MOSES



Gambar 4.10 Pemodelan *shuttle tanker* tampak depan dengan *software* MOSES

4.2 Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk mendapatkan pemodelan yang akurat sesuai dengan pemodelan asli, yaitu dengan membandingkan data hidrostatik awal dengan data hidrostatik dari hasil pemodelan di *software* Maxsurf Modeler dan *software* MOSES. Validasi model dilakukan berdasarkan kriteria pada rules ABS (*American Bureau of Shipping Validasi*). Validasi model FSO Belida dan *shuttle tanker* akan ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.3 Validasi FSO Belida

Pembebanan	Unit	Data Awal	Maxsurf	Validasi (%)	MOSES	Validasi (%)
<i>Full Load</i>	t	128588.6	128563	0.02	128561	0.02
<i>Ballast</i>	t	58796.11	57595	2.00	57589.1	2.00

Tabel 4.4 Validasi *Shuttle Tanker*

Pembebanan	Unit	Data Awal	Maxsurf	Validasi (%)	MOSES	Validasi (%)
<i>Full Load</i>	t	118644	118629	0.01	118787	0.12

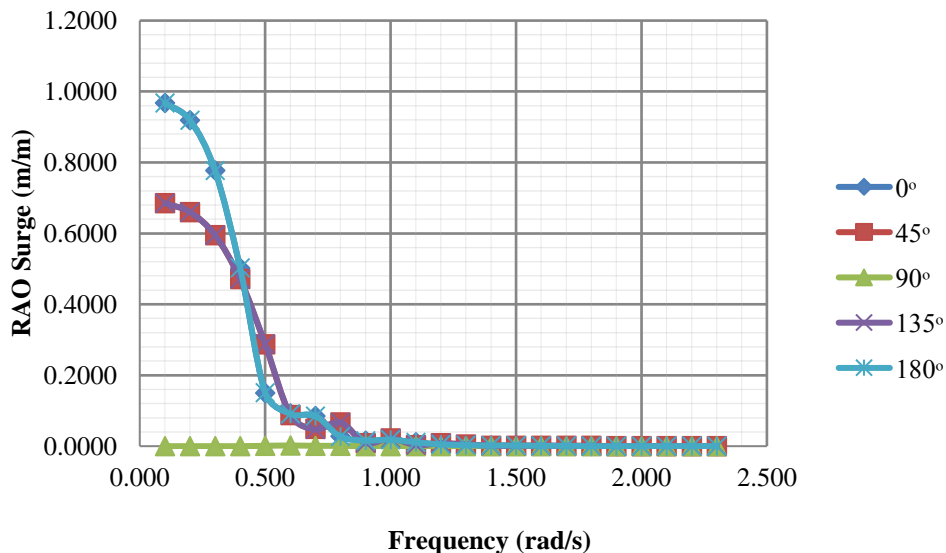
Dari tabel diatas menunjukkan bahwa validasi FSO Belida dengan membandingkan data awal dengan data output Maxsurf Modeler dan MOSES memenuhi kriteria dari ABS (*American Bureau of Shipping Validasi*) yaitu untuk *displacement* kurang dari sama dengan 2 %.

4.3 Analisis Respon Gerak FSO Kondisi Terapung Bebas

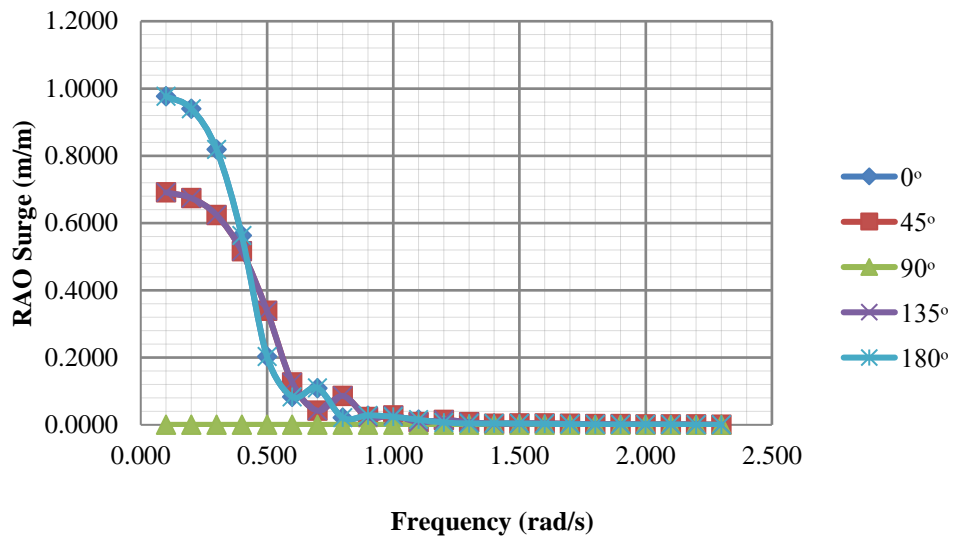
RAO (*Response Amplitude Operator*) didapatkan dari hasil pemodelan pada *software* MOSES. Analisis dilakukan pada kondisi FSO terapung bebas dengan lima arah datang pembebanan yaitu, 0° , 45° , 90° , 135° , 180° . Analisis dilakukan pada saat kondisi *full load* dan *ballast*. Respon gerak yang terjadi dibagi menjadi dua, yaitu translasional dan rotasional. Mode gerak translasional yaitu *surge*, *sway*, *heave*, dan mode gerak rotasional yaitu *roll*, *pitch*, *yaw*. Berikut ini adalah RAO FSO Belida pada kondisi *full load* dan *ballast*.

4.3.1 Analisis RAO Gerakan Surge

RAO *surge* pada kondisi *full load* terbesar terjadi pada saat gelombang datang dari arah 0° dan 180° , pada frekuensi terendah 0.1 rad/s yaitu sebesar 0.968 m/m. pada kondisi *ballast* RAO *surge* terbesar juga terjadi saat gelombang datang dari arah 0° dan 180° , pada frekuensi terendah 0.1 rad/s yaitu sebesar 0.977 m/m. Sedangkan RAO *surge* terkecil terjadi pada saat gelombang datang dari arah 90° . Keadaan ini terjadi pada kondisi *full load* maupun *ballast*. Dari grafik di bawah ini dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang maka RAO *surge* akan semakin kecil.



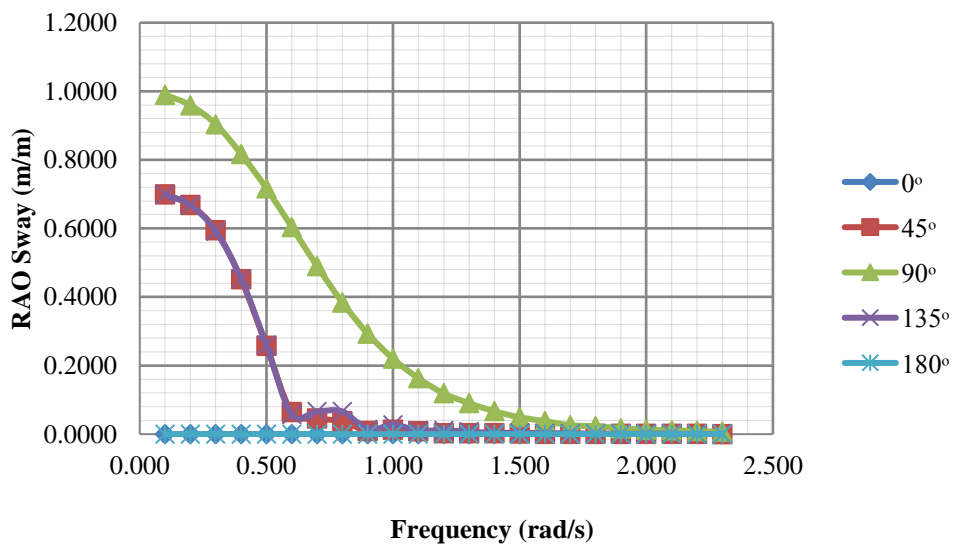
Gambar 4.11 Grafik RAO Surge FSO Belida Kondisi *Full Load*



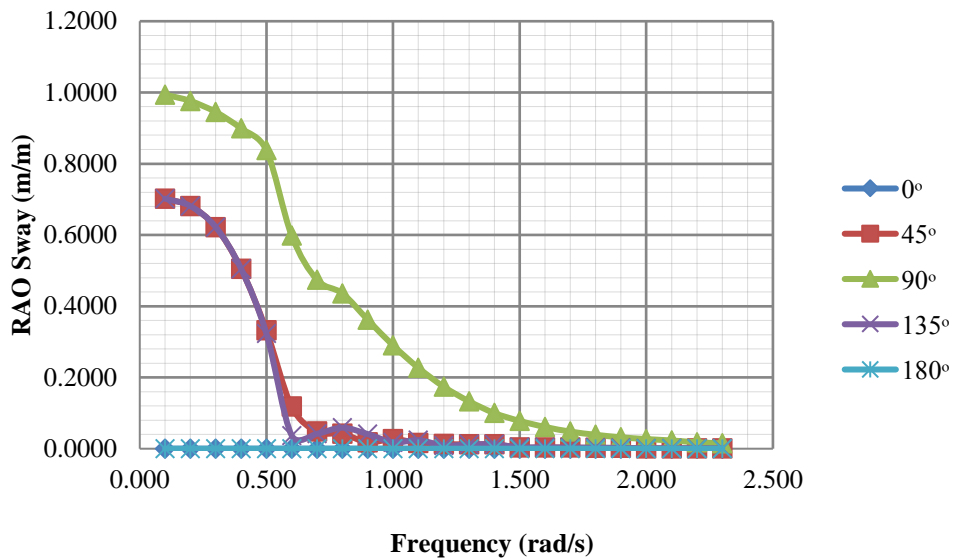
Gambar 4.12 Grafik RAO Surge FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.3.2 Analisis RAO Gerakan Sway

RAO gerakan *sway* terbesar terjadi pada arah datang gelombang 90° pada frekuensi 0.1 rad/s, yaitu sebesar 0.99 m/m untuk kondisi *full load* dan 0.994 m/m untuk kondisi *ballast*. Sedangkan RAO gerakan *sway* terkecil dari arah datang gelombang 0° dan 180°. Nilai RAO *sway* akan semakin mengecil seiring dengan kenaikan fekuensi gelombang.



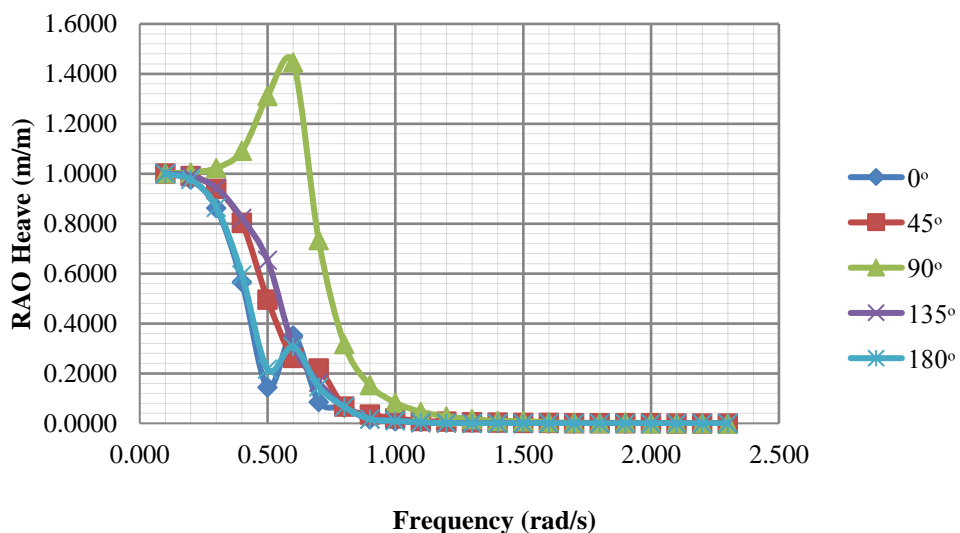
Gambar 4.13 Grafik RAO Sway FSO Belida Kondisi *Full Load*



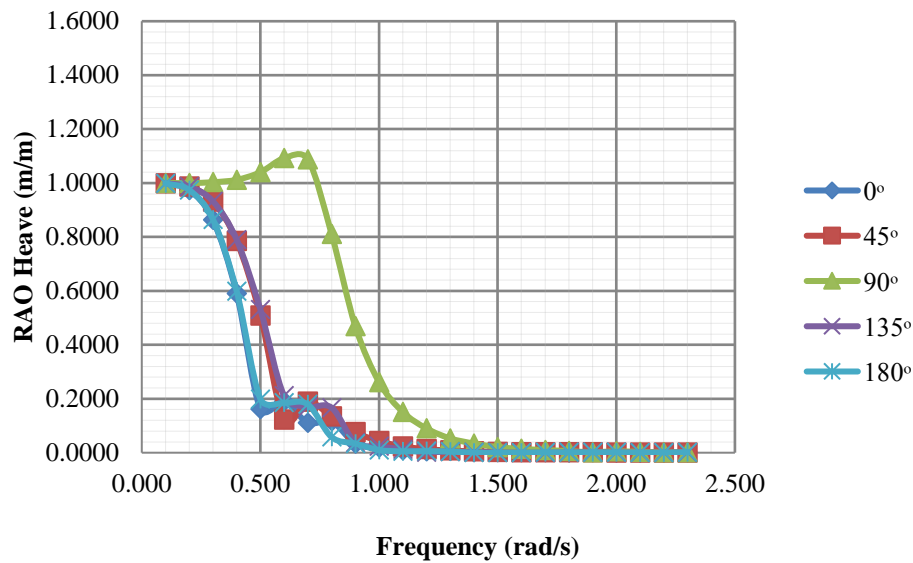
Gambar 4.14 Grafik RAO *Sway* FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.3.3 Analisis RAO Gerakan *Heave*

Pada saat FSO mendapatkan gaya gelombang dengan frekuensi rendah, RAO *heave* pada seluruh arah datang memiliki nilai yang hampir sama yaitu sekitar satu, hal ini terjadi pada saat FSO dalam kondisi *full load* maupun *ballast*. Gerakan *heave* terbesar pada kondisi *full load* yaitu ketika arah datang gelombang 90° pada frekuensi 0.6 rad/s sebesar 1.446 m/m. pada kondisi *ballast* gerakan *heave* terbesar pada frekuensi 0.6 rad/s sebesar 1.092 m/m dari arah datang gelombang 90°.



Gambar 4.15 Grafik RAO *Heave* FSO Belida Kondisi *Full Load*

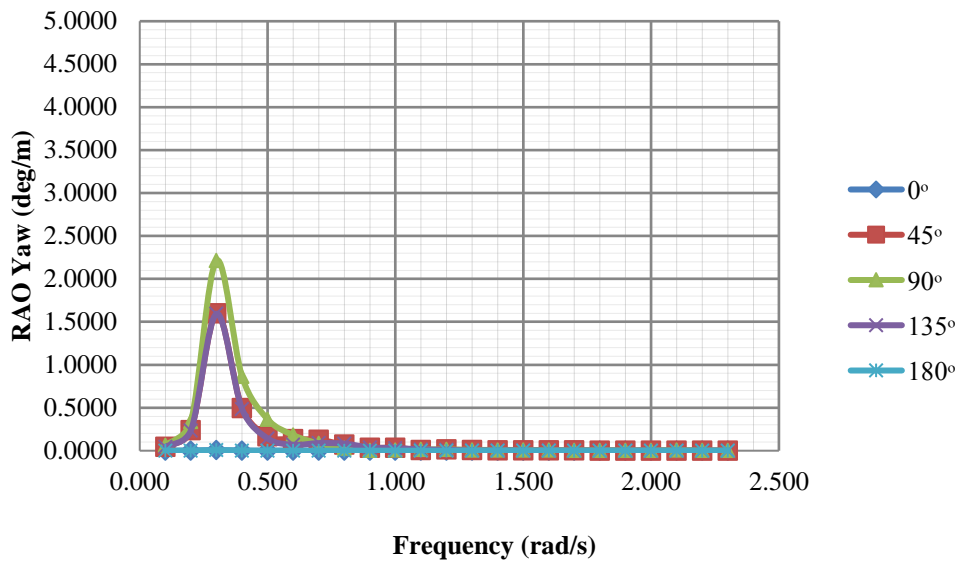


Gambar 4.16 Grafik RAO *Heave* FSO Belida Kondisi *Ballast*

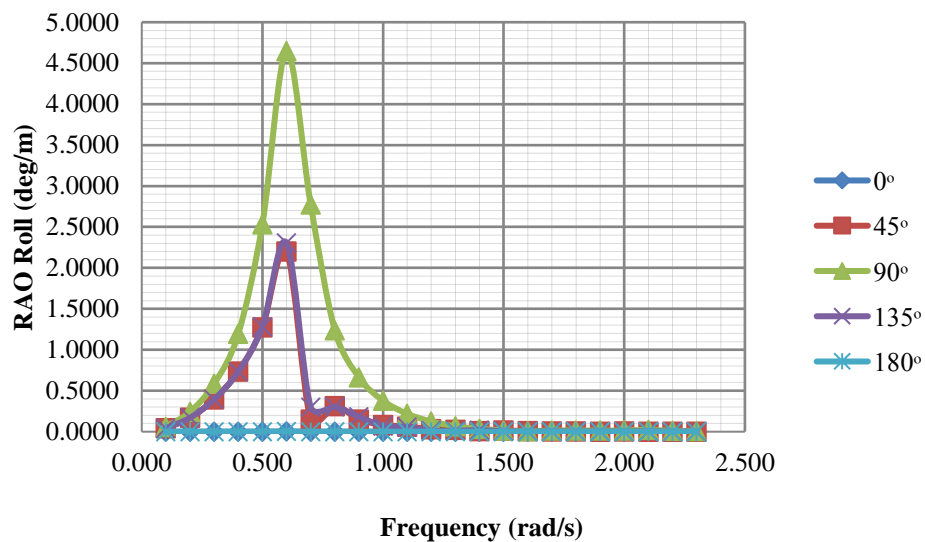
4.3.4 Analisis RAO Gerakan *Roll*

Dari grafik di bawah ini menunjukkan gerakan *roll* terjadi kenaikan tajam pada frekuensi 0.3 rad/s di kondisi *full load*, sedangkan pada kondisi *ballast* terjadi kenaikan pada frekuensi 0.6 rad/s. Setelah mencapai nilai maksimumnya, grafik RAO mengalami penurunan hingga pada frekuensi tinggi nilainya mendekati nol untuk semua arah datang gelombang.

Kondisi *full load* gerakan *roll* terbesar terjadi dari arah datang gelombang 90° dengan nilai 2.214 deg/m. Gerakan terbesar selanjutnya dari arah 45° dan 135° dengan nilai sekitar 1.6 deg/m. Gerakan *roll* dari arah 0° dan 180° memiliki nilai yang hampir sama yaitu sekitar 0.007 deg/m. Sedangkan pada kondisi *ballast* gerakan *roll* terbesar terjadi dari arah datang gelombang 90° dengan nilai 4.646 deg/m. Gerakan terbesar kedua dari arah 135° dengan nilai 2.306 deg/m. Gerakan terbesar ketiga dari arah 45° dengan nilai 2.202 deg/m. Gerakan selanjutnya dari arah 0° dan 180° memiliki nilai yang hampir sama yaitu sekitar 0.002 deg/m.



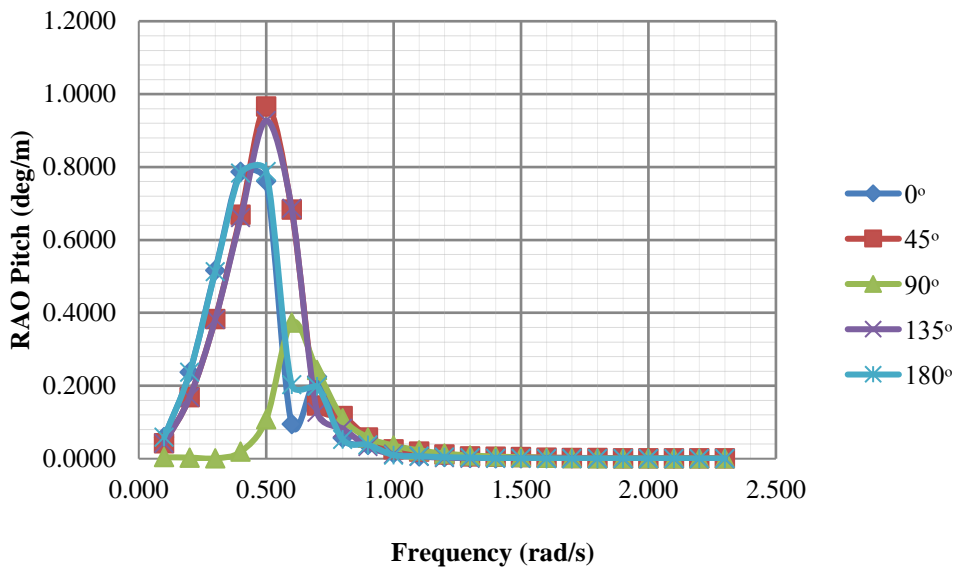
Gambar 4.17 Grafik RAO *Roll* FSO Belida Kondisi *Full Load*



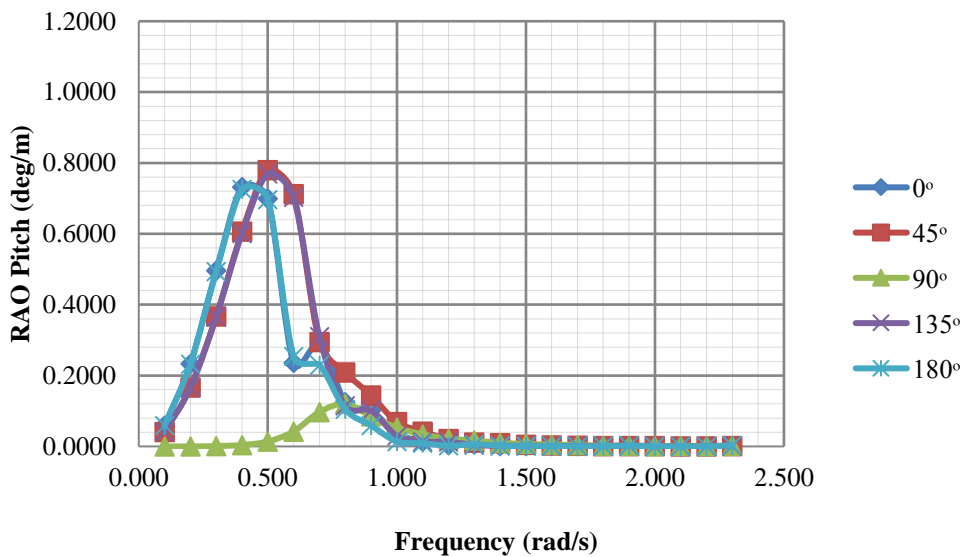
Gambar 4.18 Grafik RAO *Roll* FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.3.5 Analisis RAO Gerakan *Pitch*

Gerakan RAO *pitch* FSO Belida pada kondisi *full load* terbesar pada saat arah datang gelombang 45° dengan frekuensi 0.6 rad/s dengan nilai 0.966 deg/m, nilai ini hampir sama pada saat arah datang gelombang 135° yaitu 0.927 deg/m. Pada saat kondisi *ballast* gerakan *pitch* terbesar dari arah yang sama yaitu 45° dan 135° yaitu 0.78 deg/m dan 0.769 deg/m.



Gambar 4.19 Grafik RAO *Pitch* FSO Belida Kondisi *Full Load*

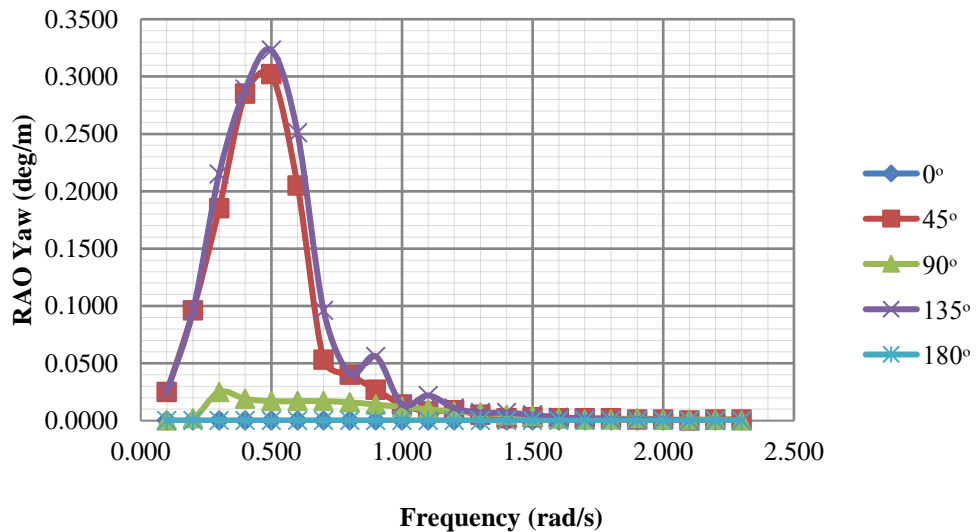


Gambar 4.20 Grafik RAO *Pitch* FSO Belida Kondisi *Ballast*

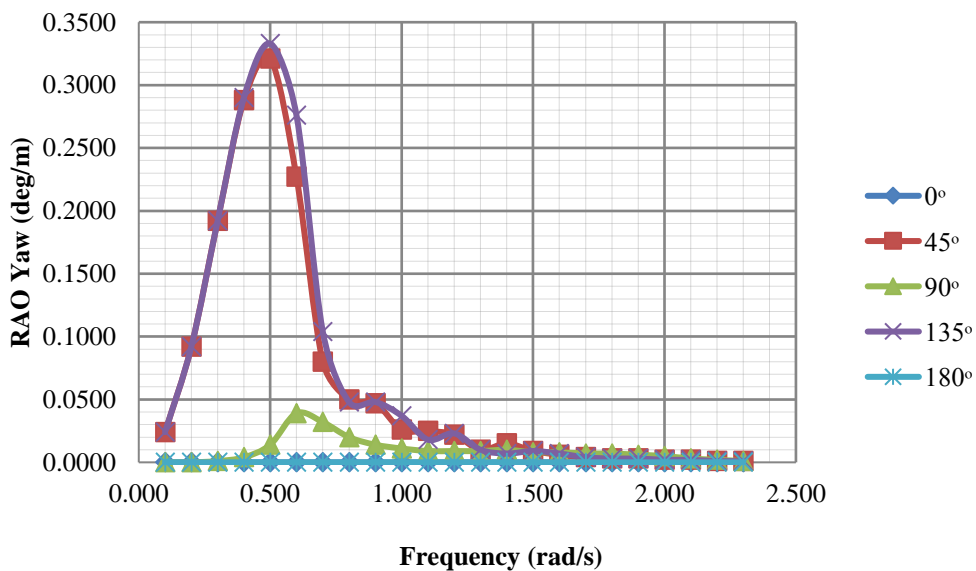
4.3.6 Analisis RAO Gerakan *Yaw*

Pada kondisi *full load* gerakan *yaw* terbesar dari arah 45° dan 135° dengan frekuensi 0.5 rad/s yaitu dengan nilai 0.302 deg/m dan 0.323 deg/m. Selanjutnya gerakan *yaw* terbesar dari arah 90° dengan nilai 0.025 deg/m pada frekuensi 0.3 rad/s. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai gerakan *yaw* terkecil yaitu nol.

Sedangkan pada kondisi *ballast* gerakan *yaw* terbesar dari arah 45° dan 135° dengan frekuensi 0.5 rad/s yaitu dengan nilai 0.321 deg/m dan 0.333 deg/m. Selanjutnya gerakan *yaw* terbesar dari arah 90° dengan nilai 0.039 deg/m pada frekuensi 0.6 rad/s. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai gerakan *yaw* terkecil yaitu nol.



Gambar 4.21 Grafik RAO *Yaw* FSO Belida Kondisi *Full Load*



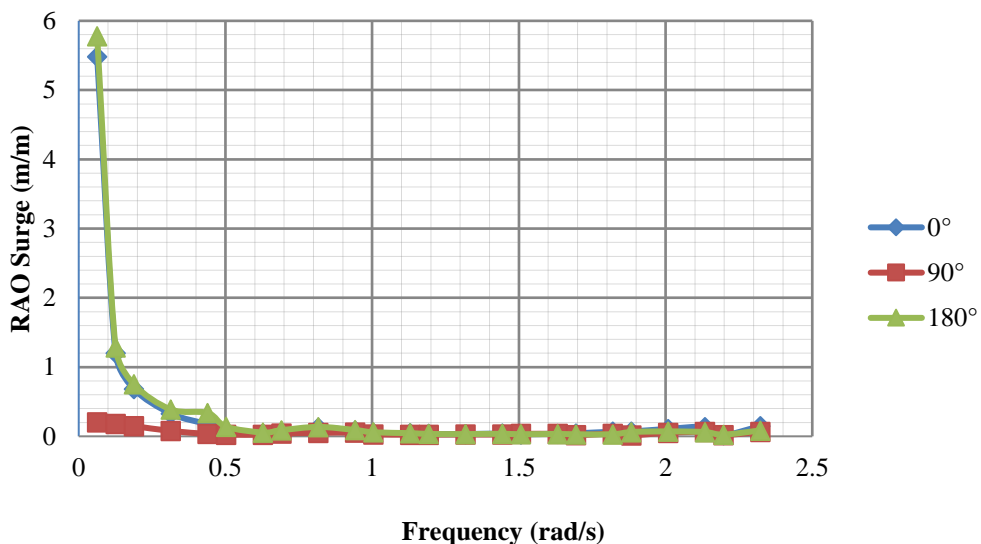
Gambar 4.22 Grafik RAO *Yaw* FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4 Analisis Respon Gerak FSO Kondisi Tertambat

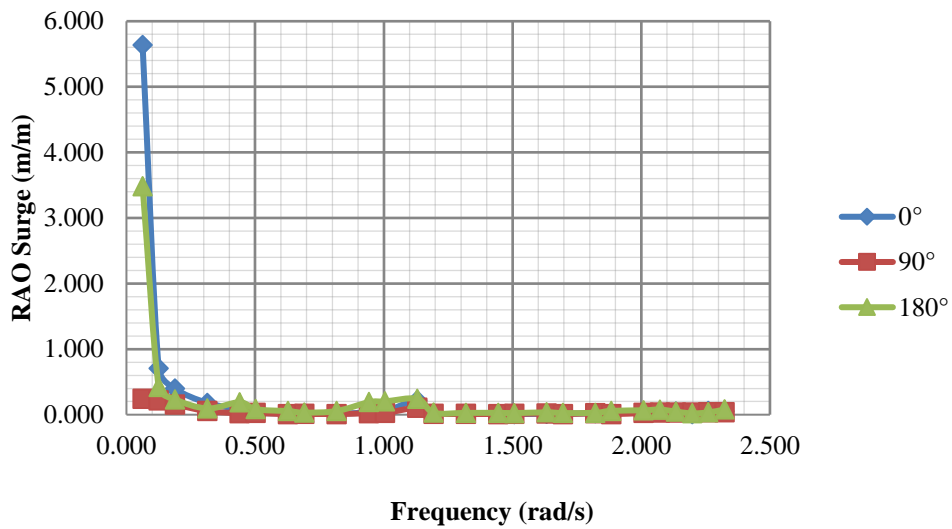
Pada keadaan operasi, struktur FSO Belida akan ditambat dengan sistem tambat *spread mooring*. Hal tersebut menyebabkan adanya perbedaan respon struktur terhadap gelombang. Perbedaan tersebut membuat grafik RAO pada kondisi terapung bebas tidak lagi sesuai untuk menggambarkan perilaku gerak struktur, sehingga perlu dilakukan analisis perilaku gerak pada kondisi tertambat. Pada analisis RAO tertambat dilakukan pada FSO *stand alone* dengan kondisi *full load* dan FSO *offloading* tandem dengan *shuttle tanker* dalam kondisi *ballast*, dengan arah pembebanan gelombang $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$.

4.4.1 Analisis RAO Gerakan Surge

RAO *surge* pada kondisi *full load* terbesar terjadi pada saat gelombang datang dari arah 0° dan 180° , pada frekuensi terendah yaitu sebesar $0.5.481 \text{ m/m}$ dan 5.78 m/m . pada kondisi *ballast* RAO *surge* terbesar terjadi saat gelombang datang dari arah 0° , pada frekuensi terendah sebesar 5.634 m/m , besarnya RAO tersebut akibat resonansi yang terjadi pada frekuensi yang sangat kecil. Dari grafik di bawah ini dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang maka RAO *surge* akan semakin kecil.



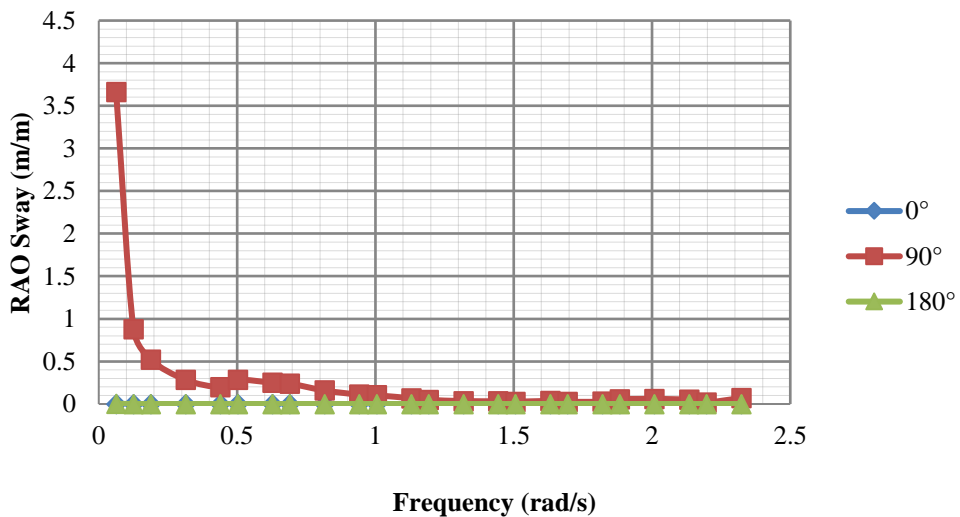
Gambar 4.23 Grafik RAO Surge FSO Belida Kondisi Full Load



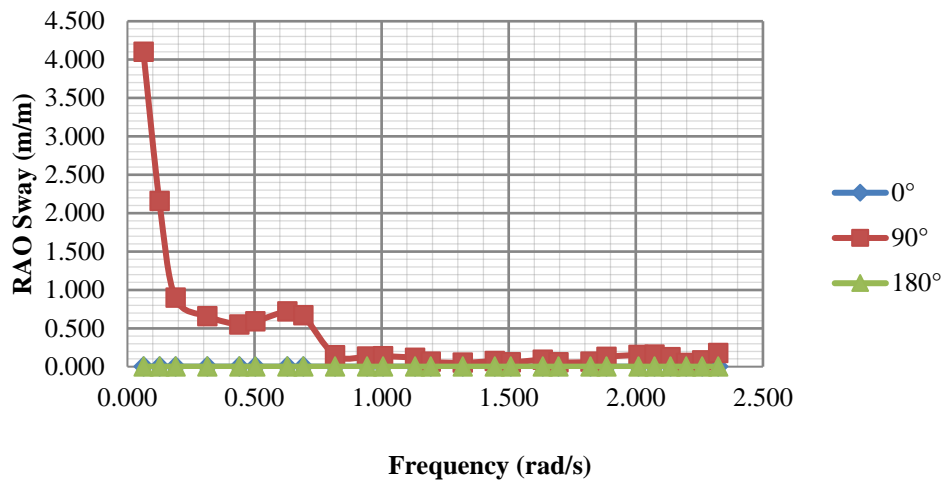
Gambar 4.24 Grafik RAO Surge FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4.2 Analisis RAO Gerakan Sway

RAO *sway* pada kondisi *full load* terbesar terjadi pada saat gelombang datang dari arah 90° pada frekuensi terendah yaitu sebesar 3.66 m/m. Pada kondisi *ballast* RAO *sway* terbesar terjadi saat gelombang datang dari arah 90°, pada frekuensi terendah sebesar 4.102 m/m, besarnya RAO tersebut akibat resonansi yang terjadi pada frekuensi yang sangat kecil. Dari grafik di bawah ini dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang maka RAO *sway* akan semakin kecil.



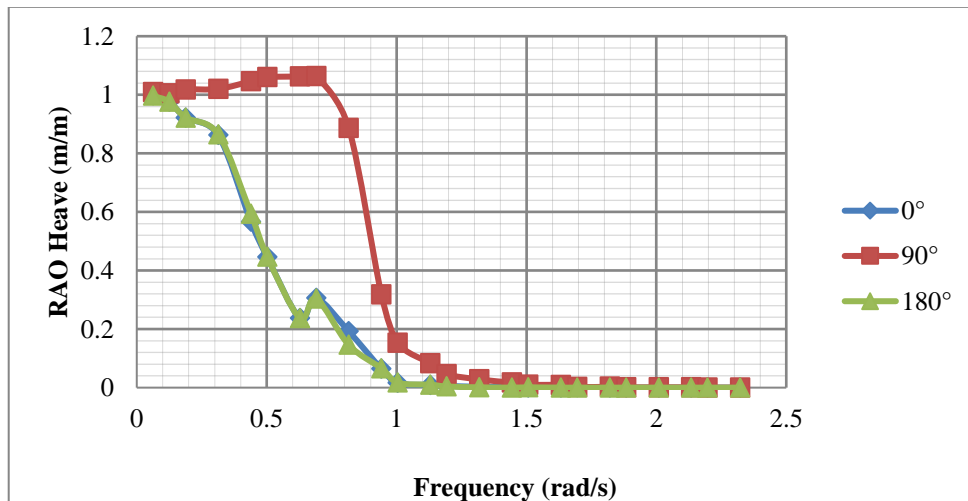
Gambar 4.25 Grafik RAO Sway FSO Belida Kondisi *Full Load*



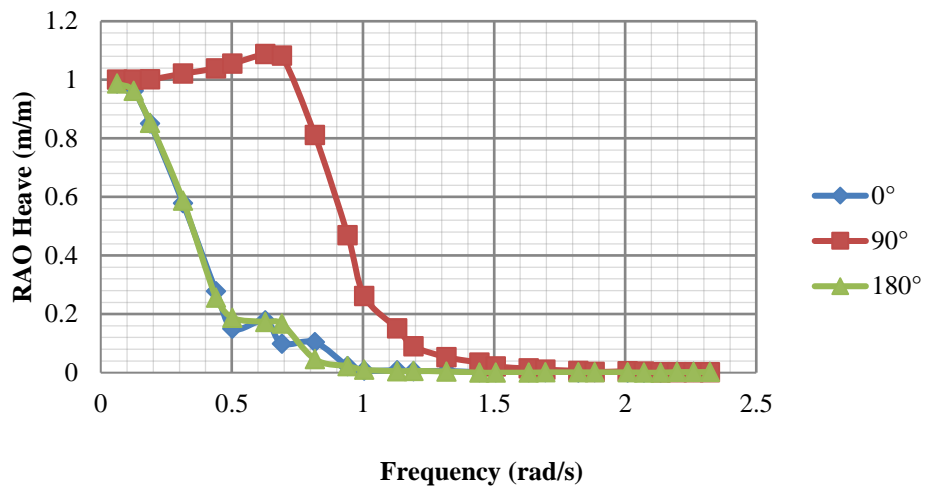
Gambar 4.26 Grafik RAO Sway FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4.3 Analisis RAO Gerakan *Heave*

Pada saat FSO mendapatkan gaya gelombang dengan frekuensi rendah, RAO *heave* pada seluruh arah datang memiliki nilai yang hampir sama yaitu sekitar satu, hal ini terjadi pada saat FSO dalam kondisi *full load* maupun *ballast*. Gerakan *heave* terbesar pada kondisi *full load* yaitu ketika arah datang gelombang 90° 1.063 m/m. pada kondisi *ballast* gerakan *heave* terbesar 1.088 m/m dari arah datang gelombang 90°.



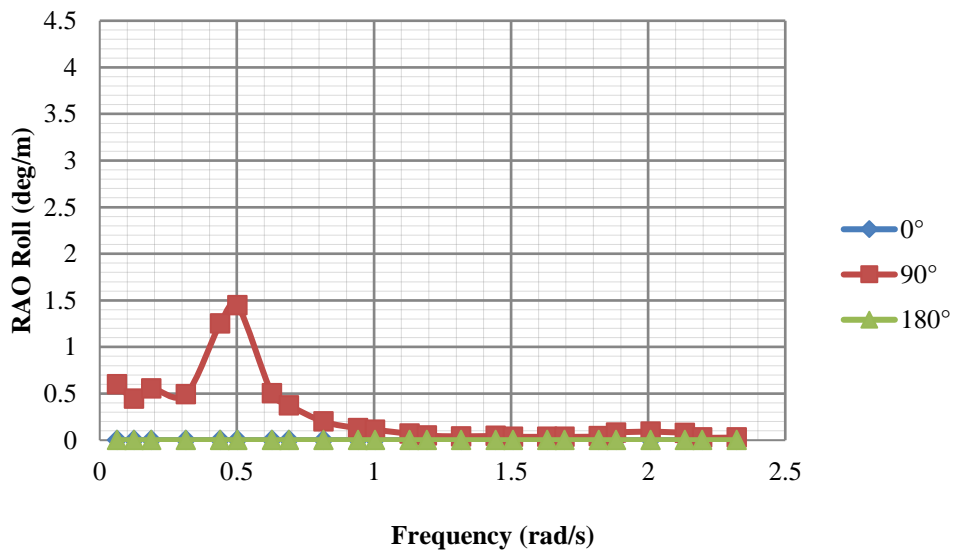
Gambar 4.27 Grafik RAO Heave FSO Belida Kondisi *Full Load*



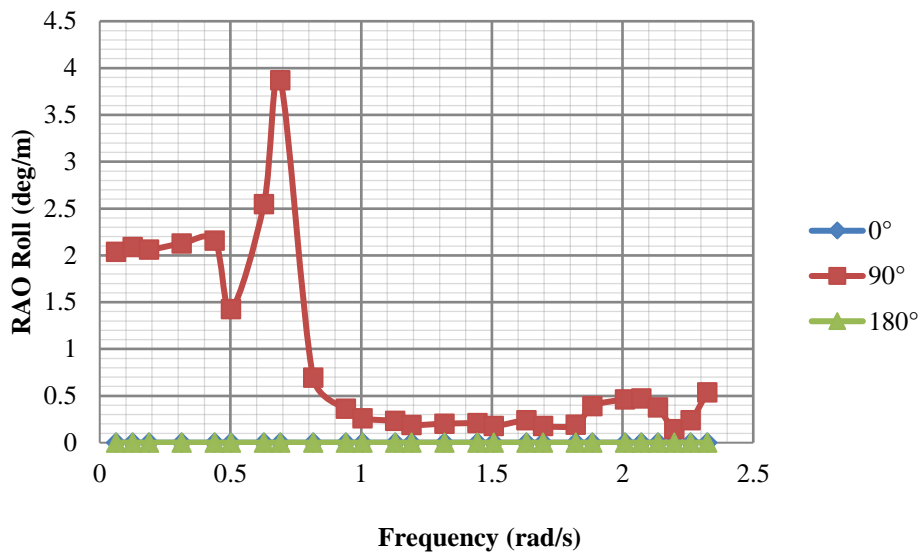
Gambar 4.28 Grafik RAO Heave FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4.4 Analisis RAO Gerakan *Roll*

Pada kondisi *full load* gerakan *roll* terbesar terjadi dari arah datang gelombang 90° dengan nilai 1.447 deg/m. Sedangkan pada kondisi *ballast* gerakan *roll* terbesar terjadi dari arah datang gelombang 90° dengan nilai 3.86 deg/m. Untuk arah pembebanan 0° dan 180° memiliki nilai 0.



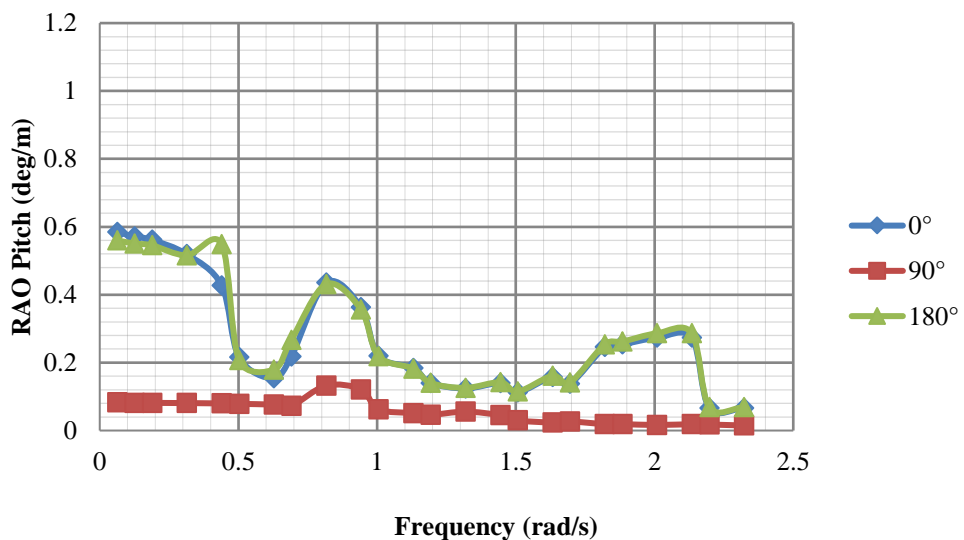
Gambar 4.29 Grafik RAO Roll FSO Belida Kondisi *Full Load*



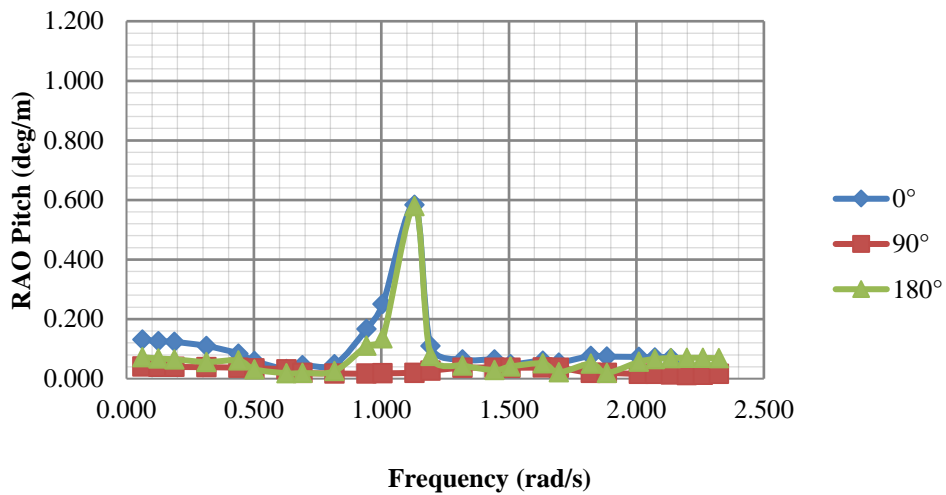
Gambar 4.30 Grafik RAO *Roll* FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4.5 Analisis RAO Gerakan *Pitch*

Gerakan RAO pitch FSO Belida pada kondisi *full load* terbesar pada saat arah datang gelombang 0° dan 180° dengan nilai 0.58 deg/m dan 0.56 deg/m. Pada saat kondisi *ballast* gerakan *pitch* terbesar dari arah yang sama yaitu 0° yaitu 0.584 deg/m.



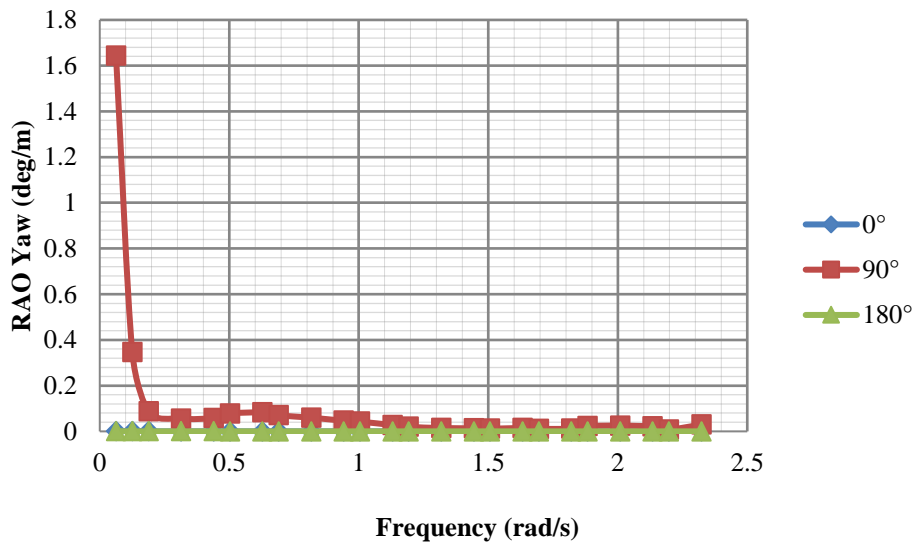
Gambar 4.31 Grafik RAO *Pitch* FSO Belida Kondisi *Full Load*



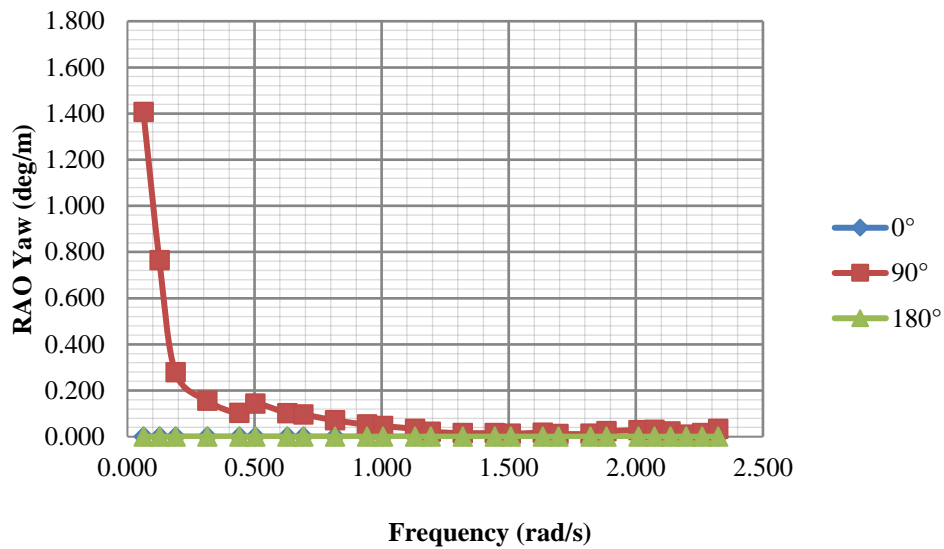
Gambar 4.32 Grafik RAO *Pitch* FSO Belida Kondisi *Ballast*

4.4.6 Analisis RAO Gerakan *Yaw*

Pada kondisi *full load* gerakan *yaw* terbesar dari arah 90° yaitu dengan nilai 1.644 deg/m. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai gerakan *yaw* terkecil yaitu nol. Sedangkan pada kondisi *ballast* gerakan *yaw* terbesar dari arah 90° yaitu dengan nilai 0.1.407 deg/m. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai gerakan *yaw* terkecil yaitu nol. Besarnya nilai RAO pada frekuensi yang kecil tersebut dikarenakan adanya resonansi.



Gambar 4.33 Grafik RAO *Yaw* FSO Belida Kondisi *Full Load*



Gambar 4.34 Grafik RAO Yaw FSO Belida Kondisi *Ballast*

Untuk mengetahui perbedaan RAO FSO dalam kondisi *free floating* dan tertambat, berikut disediakan dalam tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 RAO Maksimum FSO Tertambat & *Free Floating (Stand Alone)*

Mode gerakan	Unit	Maks. RAO Free Floating			Maks. RAO Tertambat		
		0°	90°	180°	0°	90°	180°
Surge	m/m	0.97	0	0.97	5.481	0.202	5.78
Sway	m/m	0	0.99	0	0	3.662	0.002
Heave	m/m	1	1.45	1	0.998	1.0632	0.997
Roll	deg/m	0.01	2.21	0.01	0	1.447	0
Pitch	deg/m	0.79	0.37	0.79	0.585	0.132	0.56
Yaw	deg/m	0	0.03	0	0	1.644	0

Tabel 4.6 RAO Maksimum FSO Tertambat & *Free Floating (Offloading)*

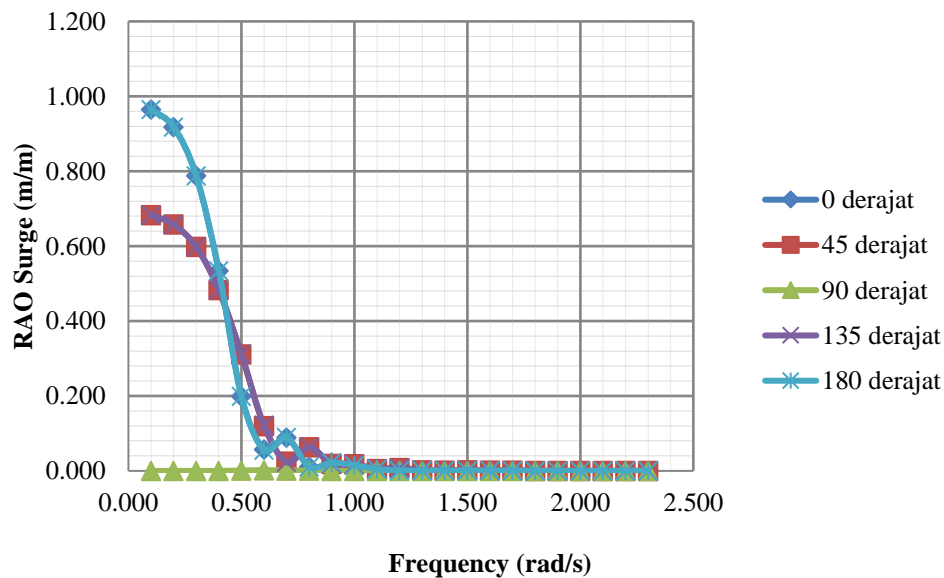
Mode gerakan	Unit	Maks. RAO Free Floating			Maks. RAO Tertambat		
		0°	90°	180°	0°	90°	180°
Surge	m/m	0.98	0	0.98	5.634	0.24	3.484
Sway	m/m	0	0.99	0	0	4.102	0.001
Heave	m/m	1	1.09	1	0.987	1.088	0.987
Roll	deg/m	0	4.65	0	0	3.86	0
Pitch	deg/m	0.73	0.12	0.73	0.584	0.037	0.58
Yaw	deg/m	0	0.04	0	0	1.407	0

4.5 Analisis Respon Gerak *Shuttle Tanker* Kondisi Terapung Bebas

Analisis respon gerak *shuttle tanker* dilakukan pada kondisi *full load* dengan lima arah datang pembebanan yaitu, 0° , 45° , 90° , 135° , 180° . Berikut adalah grafik RAO *shuttle tanker* dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

4.5.1 Analisis RAO Gerakan *Surge*

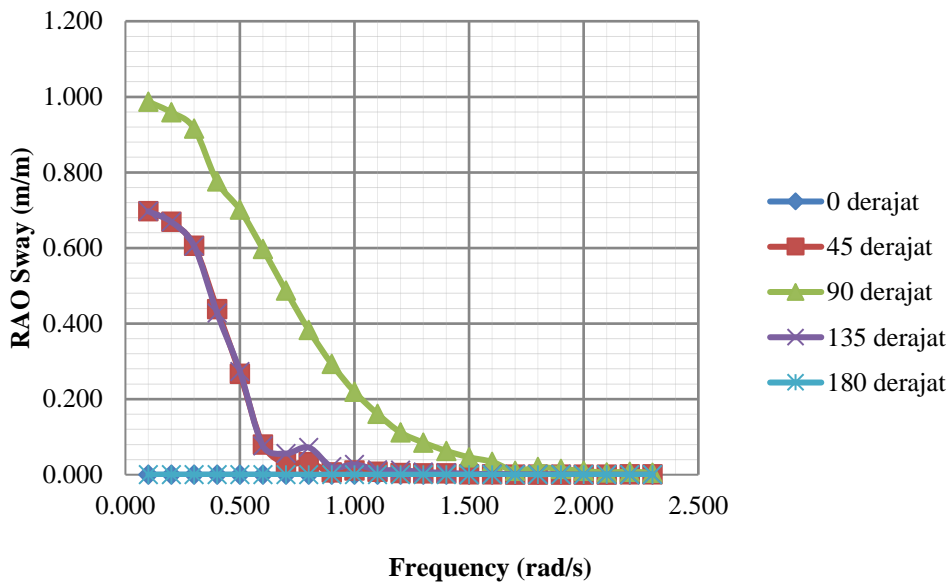
Pada saat frekuensi rendah RAO gerakan *surge* tertinggi terjadi ketika arah datang gelombang 0° dan 180° dengan nilai 0.965 m/m. Pada fekuensi yang sama, RAO *surge* dari arah 45° dan 135° bernilai 0.683 m/m. Sedangkan dari arah 90° mempunyai nilai terkecil, yaitu nol. Semakin bertambahnya frekuensi gelombang nilai RAO *surge* akan semakin berkurang. Pada semua arah datang gelombang dengan frekuensi 0.6 rad/s sampai 0.9 rad/s terjadi peningkatan karena adanya efek kopel dari gerakan yang lain.



Gambar 4.35 Grafik RAO *Surge Shuttle Tanker* Kondisi *Full Load*

4.5.2 Analisis RAO Gerakan *Sway*

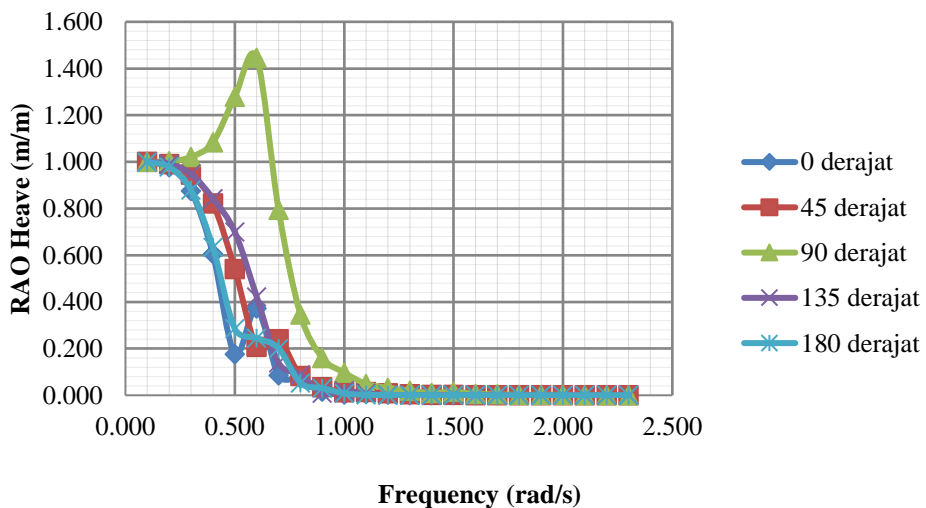
RAO gerakan *sway* terbesar dari arah datang gelombang 90° dengan nilai 0.987 m/m, gerakan terbesar selanjutnya dari arah 45° dan 135° dengan nilai 0.697 m/m. RAO gerakan *sway* terbesar tersebut terjadi ada frekuensi rendah yaitu 0.1 rad/s. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° mempunyai nilai terkecil yaitu nol.



Gambar 4.36 Grafik RAO Sway Shuttle Tanker Kondisi Full Load

4.5.3 Analisis RAO Gerakan Heave

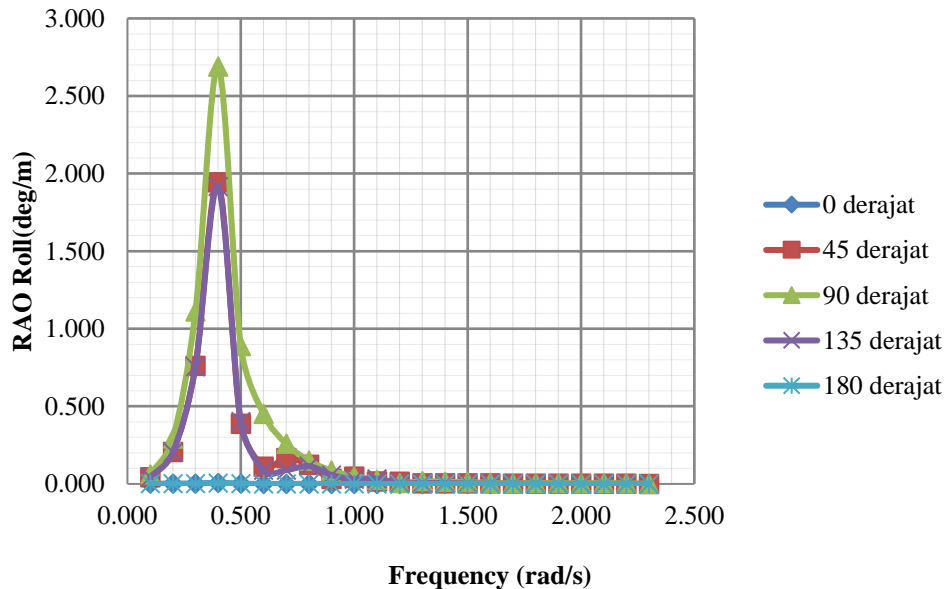
Pada saat frekuensi rendah, RAO *heave* pada semua arah datang gelombang memiliki nilai yang hampir sama yaitu sekitar satu. Gerakan *heave* terbesar ketika arah datang gelombang 90° pada frekuensi 0.6 rad/s sebesar 1.446 m/m. Pada frekuensi yang lebih tinggi, grafik RAO *heave* yang telah bergerak turun akan mengalami kenaikan. Kenaikan tersebut dapat disebabkan adanya gerak kopel dengan mode gerak lainnya.



Gambar 4.37 Grafik RAO Heave Shuttle Tanker Kondisi Full Load

4.5.4 Analisis RAO Gerakan *Roll*

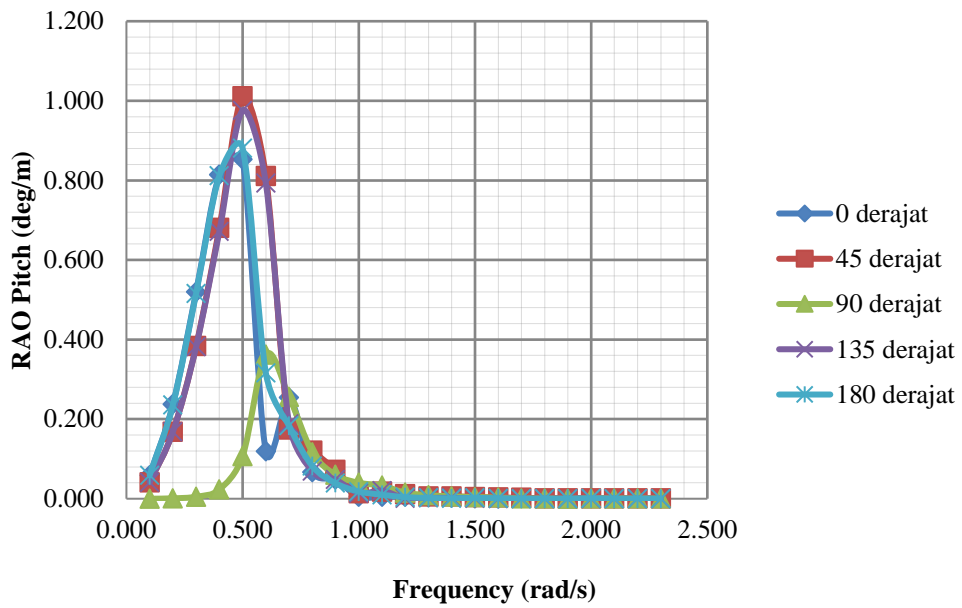
Pada frekuensi 0.4 rad/s terjadi gerakan *roll* terbesar dari arah 90° dengan nilai 2.691 deg/m, dari arah 45° dan 135° dengan nilai yang hampir sama yaitu sekitar 0.2 deg/m. Sedangkan dari arah 0° dan 180° yaitu sebesar 0.006 deg/m. Setelah mencapai nilai maksimum gerakan RAO *roll* menurun hampir mendekati nol pada semua arah datang gelombang.



Gambar 4.38 Grafik RAO *Roll Shuttle Tanker* Kondisi *Full Load*

4.5.5 Analisis RAO Gerakan *Pitch*

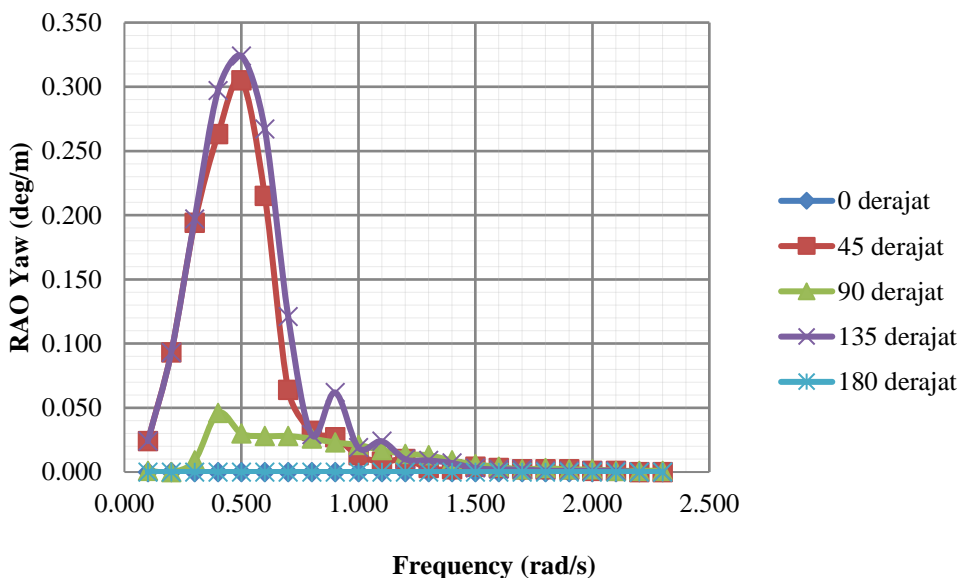
Gerakan *pitch* terbesar pada saat arah datang gelombang 45° dengan frekuensi 0.5 rad/s dengan nilai 1.011 deg/m, nilai ini hampir sama pada saat arah datang gelombang 135° yaitu 0.976 deg/m. Pada frekuensi 0.5 rad/s dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai sebesar 0.853 deg/m dan 0.881 deg/m. Sedangkan dari arah 90° dengan frekuensi 0.6 rad/s memiliki nilai sebesar 0.362 deg/m.



Gambar 4.39 Grafik RAO Pitch Shuttle Tanker Kondisi Full Load

4.5.6 Analisis RAO Gerakan Yaw

Gerakan yaw terbesar dari arah 45° dan 135° dengan frekuensi 0.5 rad/s yaitu dengan nilai 0.305 deg/m dan 0.324 deg/m. Selanjutnya gerakan yaw terbesar dari arah 90° dengan nilai 0.03 deg/m pada frekuensi 0.5 rad/s. Dari arah datang gelombang 0° dan 180° memiliki nilai gerakan yaw kecil yaitu nol.

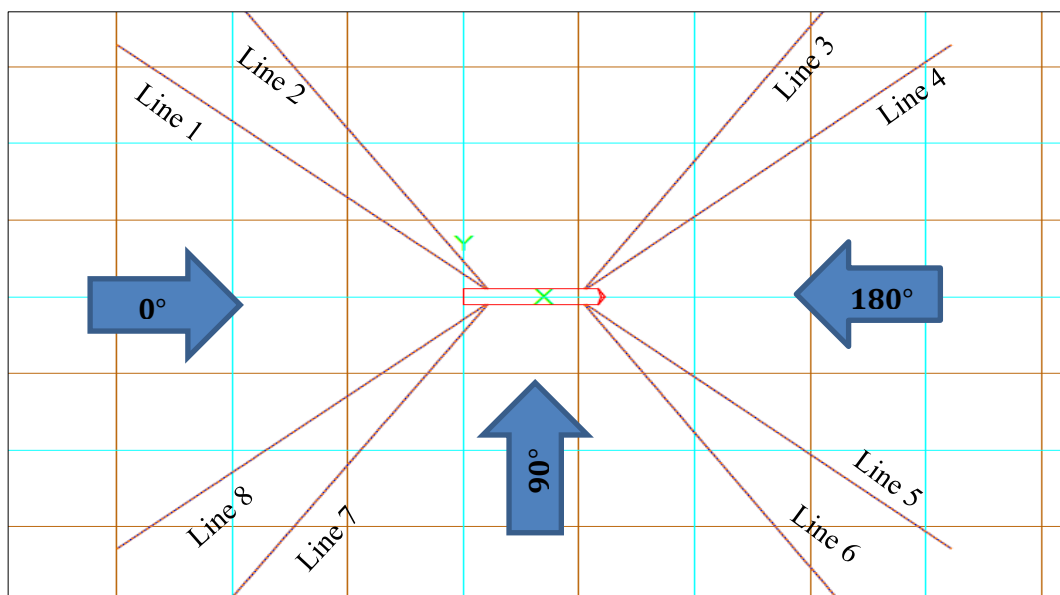


Gambar 4.40 Grafik RAO Yaw Shuttle Tanker Kondisi Full Load

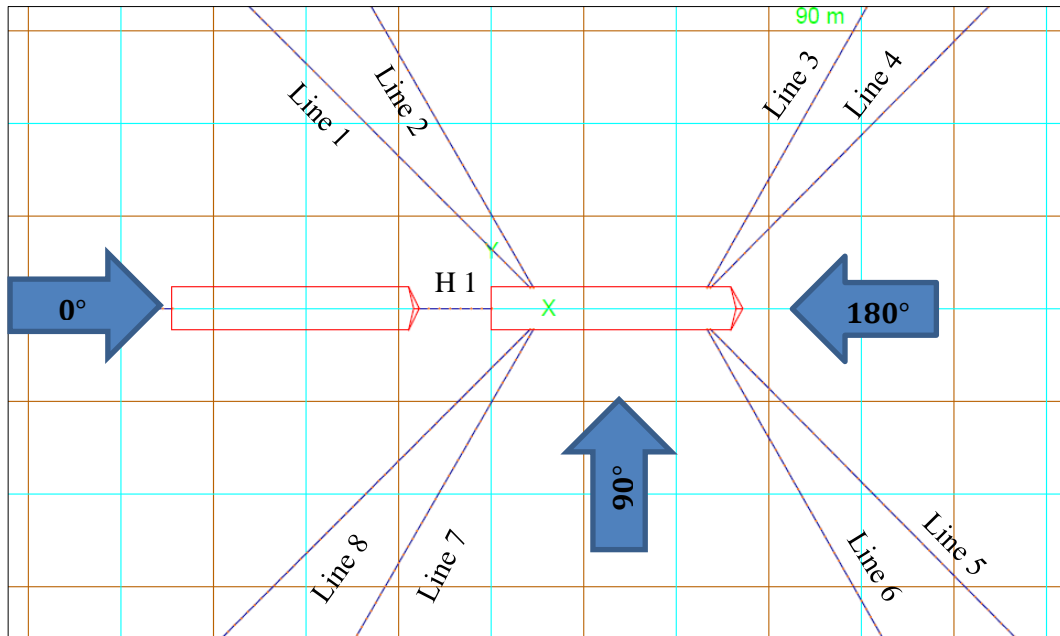
4.6 Pemodelan *Mooring System*

Pemodelan *mooring system* menggunakan *software* Orcaflex. Data yang diperlukan untuk *software* Orcaflex adalah data output dari *software* MOSES, yaitu berupa *displacement RAOs*, *load RAOs*, *stiffness*, *added mass*, *damping*, *hydrodynamic drag*, *wind drag* dan *wave drift*. Selain itu, *input* untuk data lingkungan juga diberikan seperti kedalaman laut, spektrum gelombang, kecepatan arus, kecepatan angin, dan arah *heading*-nya. Selain itu juga dilakukan *input* data FSO, *shuttle tanker*, panjang *mooring line* dan koordinat-koordinat penting seperti letak FSO, *shuttle tanker*, dan *anchor*. Analisis dilakukan dengan kondisi *offloading* antara FSO dan *shuttle tanker* serta kondisi FSO *stand alone*.

Kondisi *stand alone* adalah saat FSO dalam kondisi *full load* dan ditambat dengan delapan *mooring line* dengan konfigurasi sudut *mooring line* 45° - 60° menggunakan sistem *spread mooring*. Sedangkan kondisi *offloading* yaitu saat FSO dalam kondisi *ballast* ditambat dengan delapan *mooring line* dengan konfigurasi sudut *mooring line* 45° - 60° dengan sistem *spread mooring* dan dibelakang FSO terdapat *shuttle tanker* yang ditambat pada FSO dengan *hawser* yang berjarak 70 m. Di belakang *shuttle tanker* juga terdapat *tug boat* yang bertujuan mengurangi gerakan pada *shuttle tanker*.



Gambar 4.41 Tampak Atas Konfigurasi *Spread Mooring* Kondisi *Stand Alone*



Gambar 4.42 Tampak Atas Konfigurasi *Spread Mooring* Kondisi *Offloading*

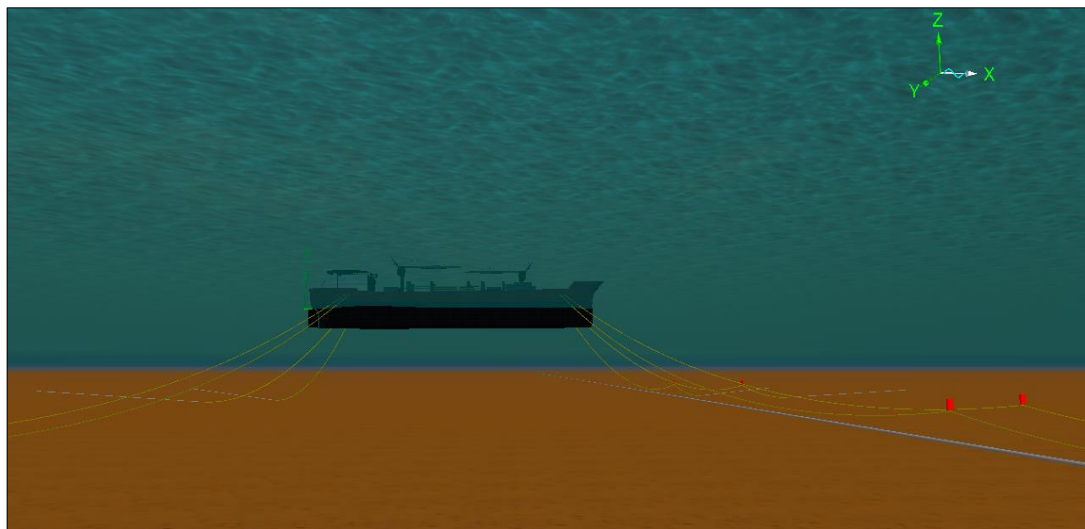
4.7 Analisis Tegangan *Mooring Line*

Analisis tegangan *mooring line* dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum pada *mooring line*. Analisis tegangan *mooring line* dilakukan dengan tanpa *subsea buoy*, satu *subsea buoy* dengan empat variasi posisi peletakan, dan dua *subsea buoy*. Pada penelitian ini penambahan *subsea buoy* bertujuan untuk menghindari *clashing* antara *mooring line* dengan pipa. Peletakan *subsea buoy* yaitu pada *line* tiga, *line* empat, *line* lima, dan *line* enam karena pada *line* tersebut terjadi *clashing* dengan pipa. Pada studi kasus ini *clashing* pipa dengan *mooring line* tiga dan enam berjarak 550 m dari *anchor*. Sehingga variasi posisi *subsea buoy* 1 diletakkan pada panjang *mooring line* 55 m sebelum terjadinya *clashing* (605 m), variasi 2 diletakkan pada panjang *mooring line* 27.5 m sebelum terjadinya *clashing* (577.5 m), variasi 3 tepat pada posisi terjadinya *clashing* (550 m), variasi 4 diletakkan pada panjang *mooring line* 27.5 m setelah terjadinya *clashing* (522.5 m), dan variasi ke 5 dengan dua *subsea buoy* yang diletakkan diantara *clashing* yang terjadi antara pipa dengan *mooring line* (467.5 m & 605 m). Pemasangan *subsea buoy* berada pada sambungan antar *segment* pada *mooring line*, sehingga jarak variasi dilakukan berdasarkan sambungan antar *segment* yaitu 27.5 m. Berikut ini adalah tabel 4.7 yang menunjukkan variasi posisi peletakan *subsea buoy* yang

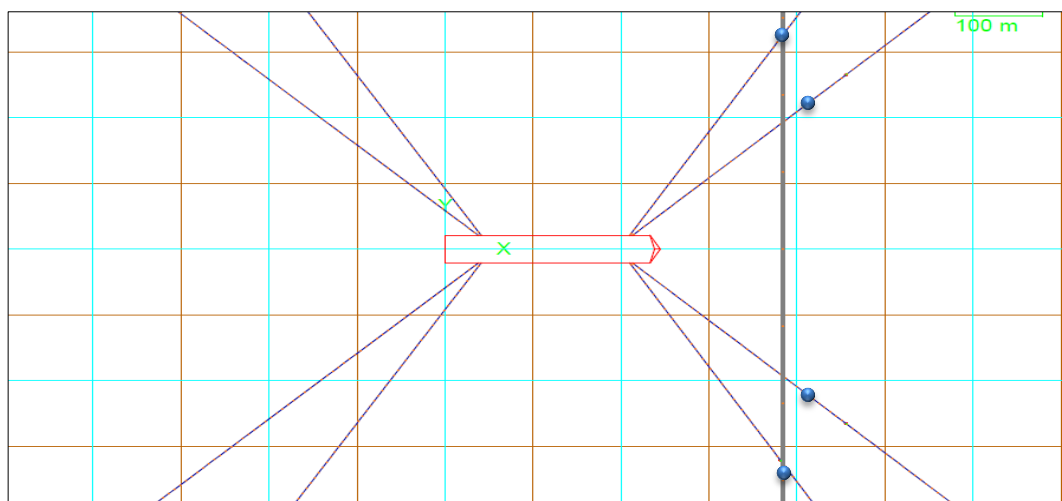
diukur dari *anchor*. Dan terdapat gambar 4.43 sampai 4.46 yang menunjukkan pemodelan *subsea buoy* dalam kondisi *stand alone* dan *offloading*.

Tabel 4.7 Variasi Posisi *Subsea Buoy*

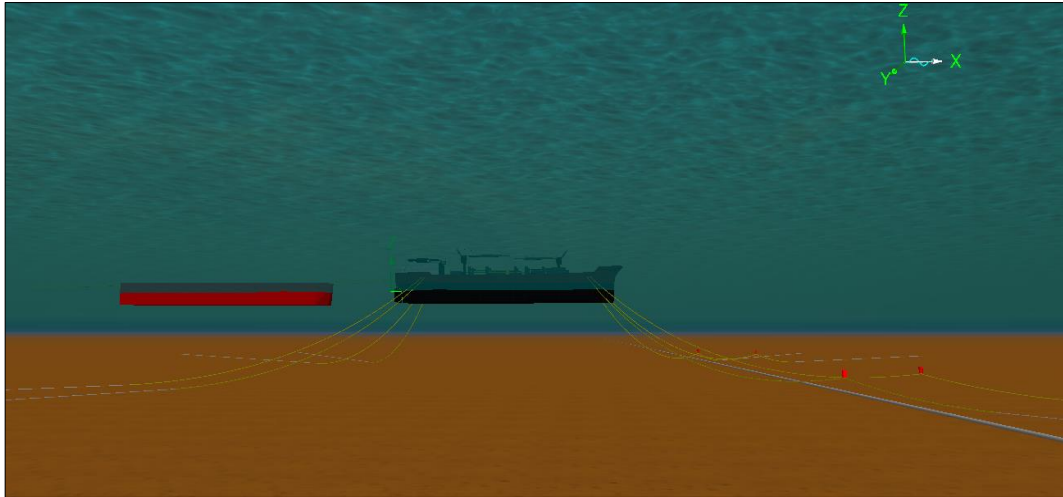
Variasi	Jumlah <i>Subsea Buoy</i>	Posisi Peletakan
1	satu	605 m
2	satu	577.5 m
3	satu	550 m
4	satu	522.5 m
5	dua	605 m & 467.5 m



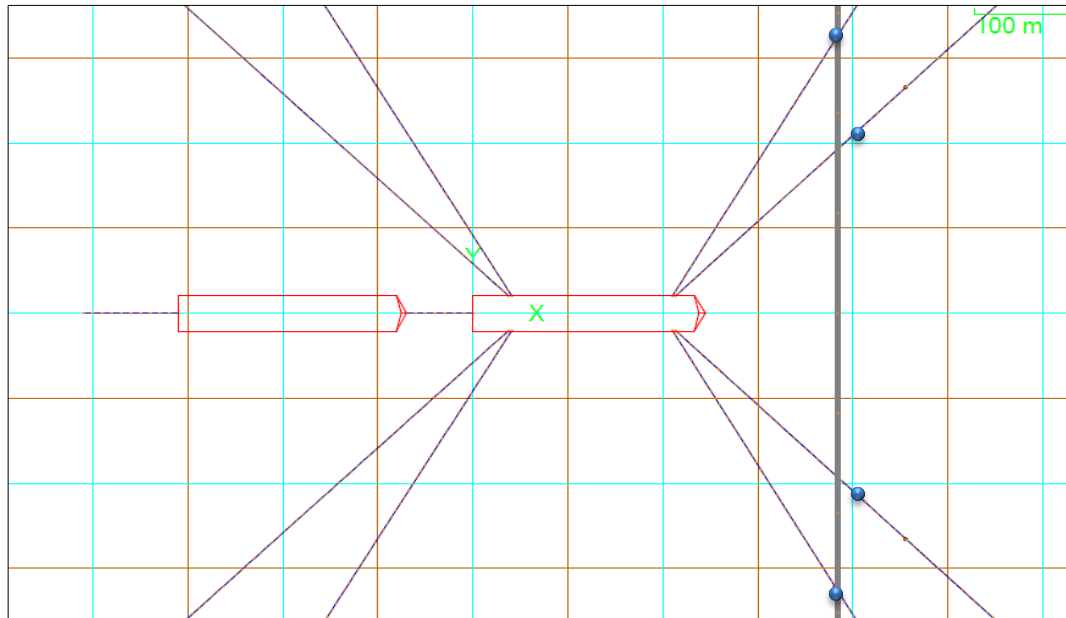
Gambar 4.43 Tampak samping pemodelan *subsea buoy* kondisi *stand alone*



Gambar 4.44 Tampak atas pemodelan *subsea buoy* kondisi *stand alone*

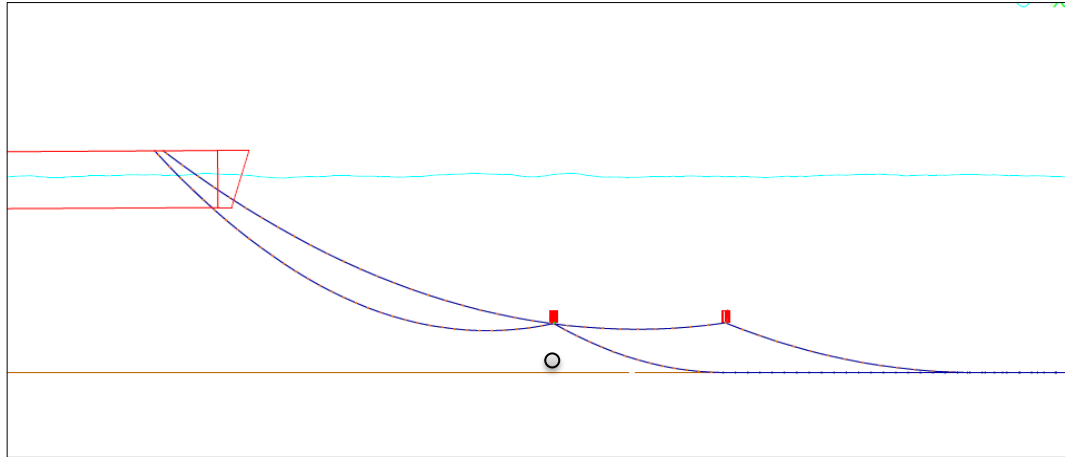


Gambar 4.45 Tampak samping pemodelan *subsea buoy* kondisi *offloading*

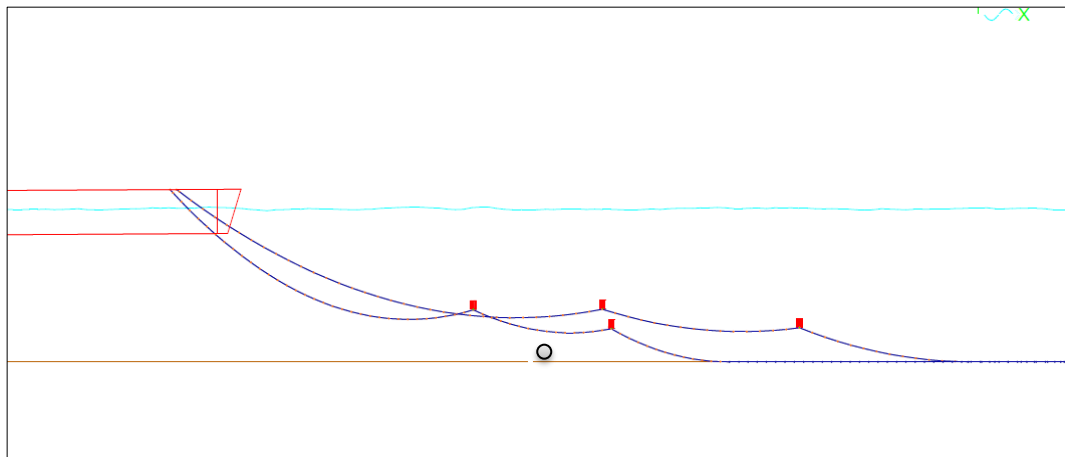


Gambar 4.46 Tampak atas pemodelan *subsea buoy* kondisi *offloading*

Selain dapat membuat *mooring line* terangkat, penambahan *subsea buoy* ini dapat mempengaruhi tegangan pada *mooring line*. Untuk gambar *mooring line* dengan satu *subsea buoy* dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* dapat dilihat pada gambar 4.47 dan gambar 4.48.



Gambar 4.47 *Mooring line* dengan satu *subsea buoy*



Gambar 4.48 *Mooring line* dengan dua *subsea buoy*

Dalam analisis mencari tegangan *mooring line* kriteria yang digunakan adalah kriteria dalam *code* API RP 2SK. Kriteria yang dijelaskan oleh API RP 2SK dijelaskan bahwa *Safety Factor* yang harus dihasilkan harus lebih dari 1.67. Sehingga, tegangan maksimum yang diijinkan berdasarkan API RP 2SK adalah minimum breaking load (MBL) dibagi dengan *Safety Factor*.

4.7.1 Analisis Tegangan pada FSO Belida Kondisi *Stand Alone*

Analisis tegangan pada *mooring line* menggunakan *software* Orcaflex. Pada kondisi *stand alone* FSO dalam keadaan *full load* dan tertambat dengan delapan *mooring line*. Tegangan pada FSO Belida dari lima arah pembebanan gelombang disajikan dalam tabel di bawah ini dan untuk melihat pengaruh penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* dilakukan analisis pada *mooring line*

6 yang juga disajikan dalam diagram batang. Pada tabel dibawah dibedakan menjadi dua tabel yaitu tabel dengan *line* 3, 4, 5, 6 dan tabel dengan *line* 1, 2, 7, 8, karena pada analisis, *line* 1, 2, 7, 8 tidak ada penambahan *subsea buoy*. Jadi analisis penambahan *subsea buoy* hanya dilakukan pada *line* 3, 4,5, 6.

4.7.1.1 Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.8. dan 4.9.

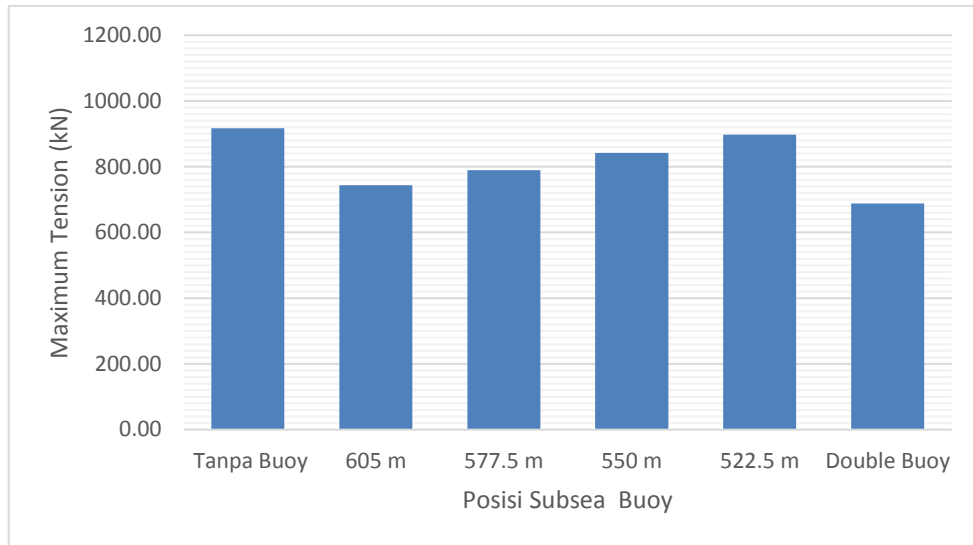
Tabel 4.8 *Tension* pada *line* 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 0°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	917.056	743.531	789.198	841.951	897.370	688.251
Line 4	904.293	756.178	791.842	837.105	885.284	703.139
Line 5	904.293	756.177	791.842	837.104	885.285	703.139
Line 6	917.054	743.532	789.197	841.950	897.371	688.251

Tabel 4.9 *Tension* pada *line* 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 0°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	1179.37	1062.05	1103.51	1150.06	1199.06	1023.27
Line 2	1148.85	1070.10	1100.04	1129.66	1162.92	1039.82
Line 7	1148.85	1070.10	1100.04	1129.66	1162.92	1039.82
Line 8	1179.37	1062.05	1103.51	1150.06	1199.05	1023.27

Pada arah pembebanan 0° tegangan maksimum terjadi pada *line* delapan dan *line* satu. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.8 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 0° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.49 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.49 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 0°

Dari diagram batang 4.49 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.1.2 Arah Pembebanan 45°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.10. dan 4.11.

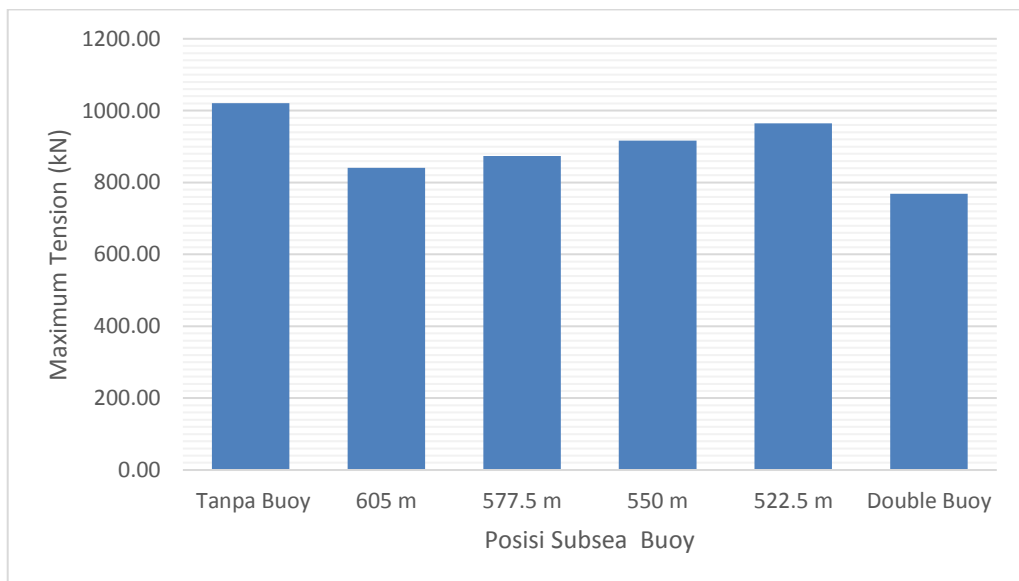
Tabel 4.10 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 45°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 3	915.52	728.04	767.92	819.75	870.21	668.35
Line 4	898.06	742.27	777.00	825.56	870.57	696.23
Line 5	999.90	856.86	882.51	912.99	950.73	799.36
Line 6	1020.77	840.52	873.95	916.78	964.36	768.36

Tabel 4.11 *Tension* pada *line* 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 45°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 1	968.49	860.36	889.95	927.28	969.90	831.32
Line 2	902.15	827.14	846.09	877.08	905.99	813.40
Line 7	1503.09	1472.36	1493.38	1517.55	1543.41	1260.55
Line 8	1365.90	1254.33	1299.09	1348.17	1403.50	1156.54

Pada arah pembebanan 45° tegangan maksimum terjadi pada *line* tujuh. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.10 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 45° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.50 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.50 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 45°

Dari diagram batang 4.50 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.1.3 Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan arah *beam seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.12. dan 4.13.

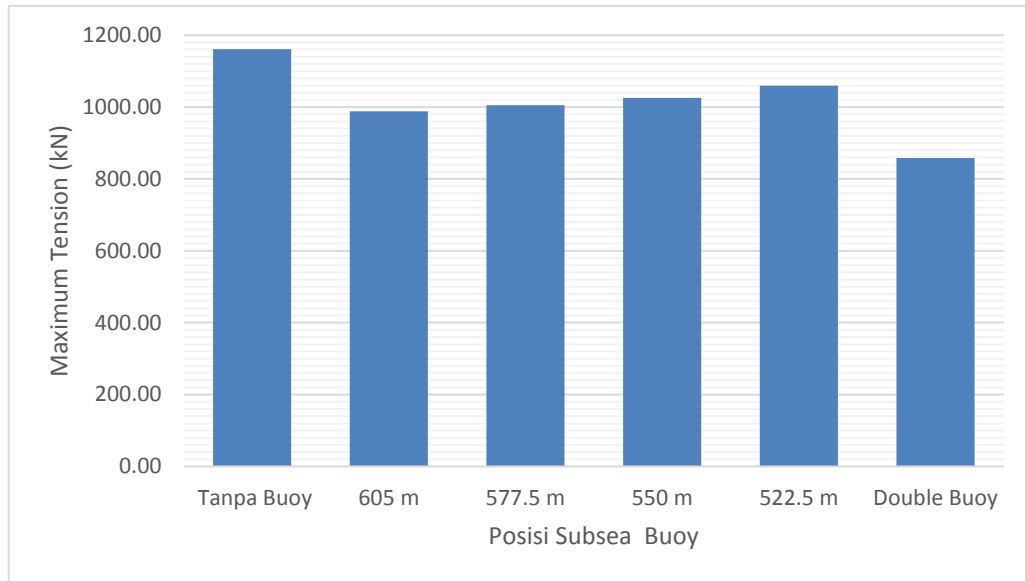
Tabel 4.12 *Tension* pada *line* 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 90°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	840.20	699.87	737.40	776.85	832.30	625.65
Line 4	823.05	725.55	755.31	787.07	831.76	656.04
Line 5	1101.10	1001.38	994.57	998.23	1020.55	882.11
Line 6	1160.91	988.17	1005.43	1025.33	1059.86	858.31

Tabel 4.13 *Tension* pada *line* 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 90°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	764.29	665.90	697.47	735.31	759.62	645.59
Line 2	726.22	673.43	706.62	738.27	766.09	635.83
Line 7	1307.38	1372.01	1398.22	1424.62	1454.88	1385.05
Line 8	1308.80	1128.53	1172.27	1219.55	1273.48	1136.78

Pada arah pembebanan 90° tegangan maksimum terjadi pada *line* tujuh dan delapan. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.12 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 90° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.51 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.51 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 90°

Dari diagram batang 4.51 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.1.4 Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software Orcaflex*, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.14. dan 4.15.

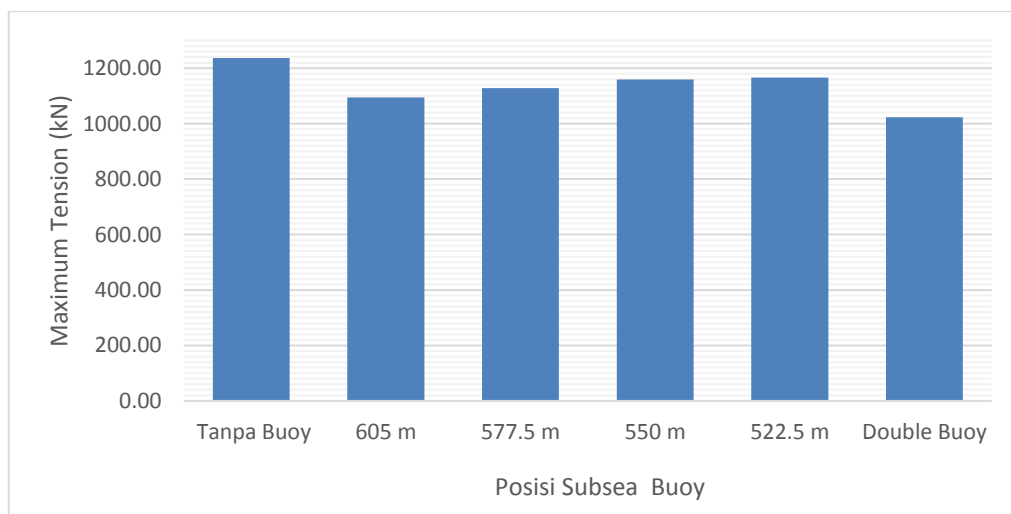
Tabel 4.14 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 135°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 3	724.54	615.53	653.35	693.38	733.17	572.75
Line 4	723.97	638.80	670.61	703.58	746.22	592.18
Line 5	1092.47	993.93	1006.86	1024.59	1040.53	927.62
Line 6	1237.16	1094.77	1128.80	1159.55	1166.86	1022.91

Tabel 4.15 *Tension* pada line 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 135°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 1	801.03	700.21	738.71	779.97	812.43	639.37
Line 2	776.85	706.68	741.16	774.86	805.45	661.44
Line 7	1235.84	1184.09	1219.87	1259.00	1281.54	1194.69
Line 8	1234.09	1148.16	1218.79	1247.22	1250.67	1109.63

Pada arah pembebanan 135° *maximum tension mooring line* tanpa *subsea buoy* yang terbesar pada line enam yaitu memiliki nilai 1237.16 kN. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.14 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 135° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.52 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.52 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 135°

Dari diagram batang 4.52 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.1.5 Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 180° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.16. dan 4.17.

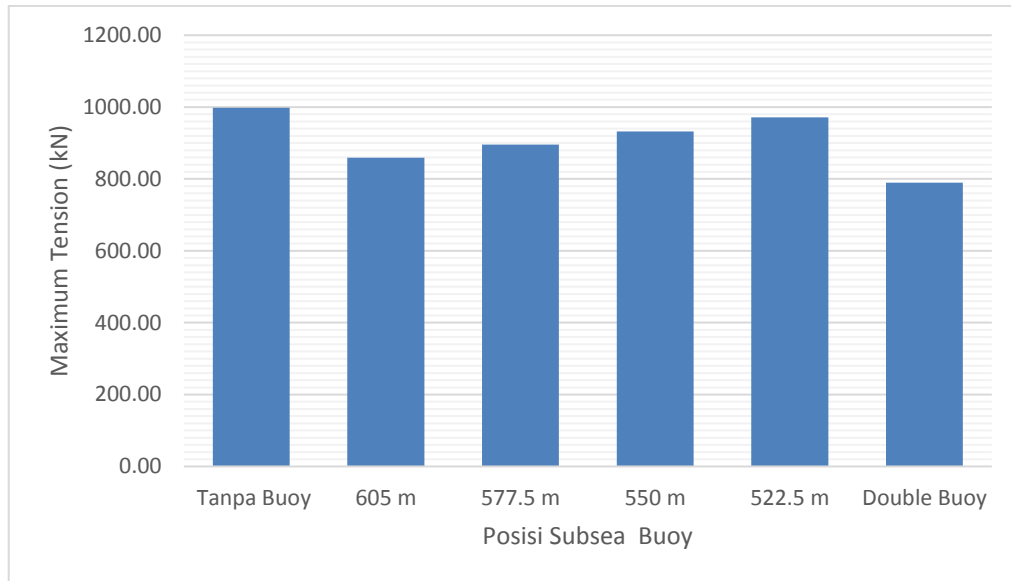
Tabel 4.16 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 180°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	985.07	846.18	883.64	920.10	959.88	779.95
Line 4	1000.38	887.82	908.04	933.78	963.80	835.46
Line 5	985.44	876.94	898.93	924.86	956.03	826.85
Line 6	998.43	859.59	895.78	931.93	971.31	789.49

Tabel 4.17 *Tension* pada line 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 180°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	974.84	940.82	976.13	1018.12	1067.07	918.42
Line 2	973.81	980.86	1005.55	1036.56	1068.17	969.48
Line 7	978.11	984.35	1008.99	1040.29	1072.21	972.54
Line 8	960.37	928.38	962.21	1005.30	1052.52	909.71

Pada arah pembebanan 180° tegangan terbesar terjadi pada *line* empat. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.16 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 135° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.53 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.53 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 180°

Dari diagram batang 4.53 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.2 Analisis Tegangan pada FSO Belida Kondisi *Offloading*

Analisis tegangan pada *mooring line* menggunakan *software* Orcaflex. Pada kondisi *offloading* FSO dalam keadaan *ballast* dan tertambat dengan delapan *mooring line* dengan *shuttle tanker* yang tertambat pada FSO yang berada dibelakang FSO. Tegangan pada FSO Belida dari lima arah pembebanan gelombang disajikan dalam tabel di bawah ini dan untuk melihat pengaruh penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* dilakukan analisis pada *mooring line* enam yang juga disajikan dalam diagram batang. Pada tabel dibawah dibedakan menjadi dua tabel yaitu tabel dengan *line* 3, 4, 5, 6 dan tabel dengan *line* 1, 2, 7, 8, karena pada analisis, *line* 1, 2, 7, 8 tidak ada penambahan *subsea buoy*. Jadi analisis penambahan *subsea buoy* hanya dilakukan pada *line* 3, 4,5, 6.

4.7.2.1 Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai

tension pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.18. dan 4.19.

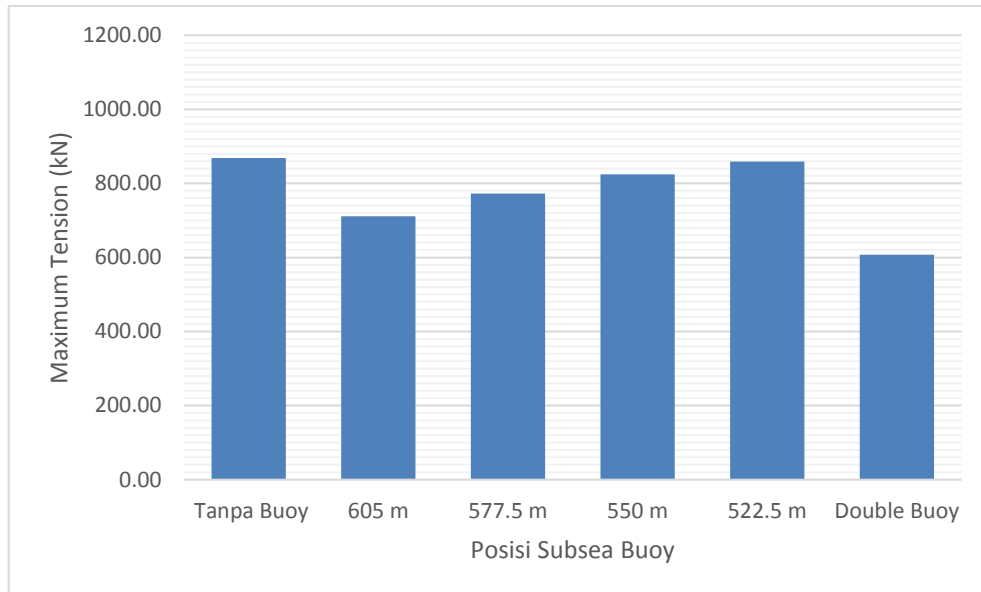
Tabel 4.18 *Tension* pada *line* 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 0°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	868.37	708.95	777.12	828.27	865.14	607.63
Line 4	859.39	717.14	780.11	823.43	859.40	613.47
Line 5	859.55	719.99	777.29	820.77	855.92	613.47
Line 6	868.88	711.56	772.63	824.10	858.82	607.63

Tabel 4.19 *Tension* pada *line* 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 0°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	1147.79	1125.18	1135.69	1184.09	1210.85	1131.71
Line 2	1119.07	1133.28	1119.72	1152.82	1184.02	1134.60
Line 7	1158.35	1090.51	1163.79	1193.89	1145.93	1134.58
Line 8	1179.46	1092.47	1169.93	1217.55	1180.29	1131.70

Pada arah pembebanan 0° tegangan maksimum pada *mooring line* tanpa *subsea buoy* terjadi pada *line* delapan yang bernilai 1179.46 kN. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.18 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 0° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy* dan sebelum penambahan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.54 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.54 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 0°

Dari diagram batang 4.54 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari diagram batang diatas menunjukkan tegangan tertinggi ke terendah yaitu *mooring line* tanpa *subsea buoy*, *mooring line* dengan jarak *subsea buoy* 522.5 m, 550 m, 577.5m, 605 m dari *anchor*, dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang berjarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.2.2 Arah Pembebanan 45°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.20. dan 4.21.

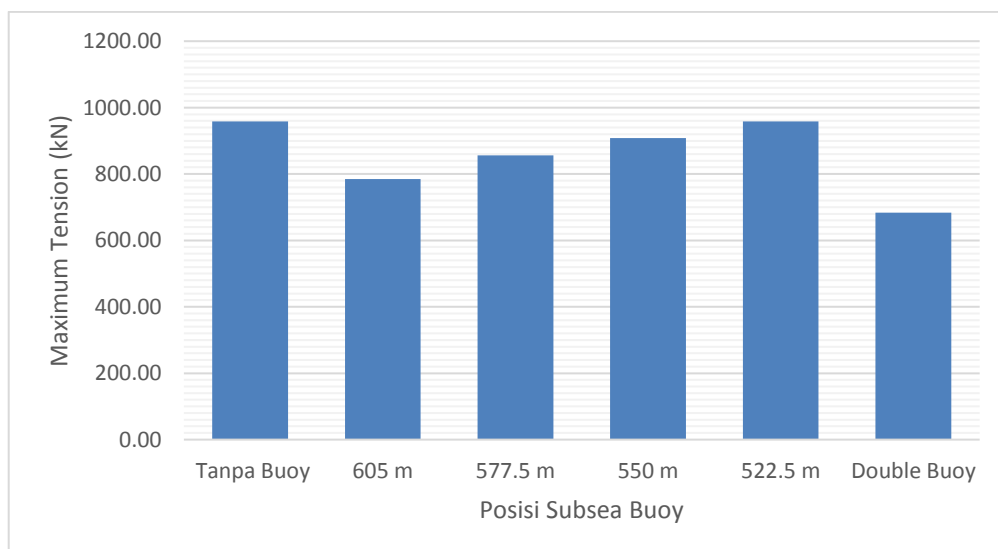
Tabel 4.20 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 45°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 3	928.76	750.24	562.60	868.42	909.71	637.97
Line 4	950.01	777.36	840.66	886.70	920.70	662.31
Line 5	993.82	821.40	888.09	934.84	972.17	727.84
Line 6	958.55	784.62	855.83	908.22	958.27	683.46

Tabel 4.21 *Tension* pada *line* 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 45°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 1	812.17	730.20	765.22	807.76	833.26	732.92
Line 2	772.53	714.24	736.11	769.67	789.86	723.71
Line 7	1494.66	1500.63	1511.10	1530.82	1535.46	1435.49
Line 8	1375.79	1314.02	1346.52	1389.41	1411.75	1253.39

Pada arah pembebanan 45° tegangan maksimum terjadi pada *line* tujuh. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.20 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 45° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.55 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.55 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 45°

Dari diagram batang 4.55 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari diagram batang diatas menunjukkan tegangan tertinggi ke terendah yaitu *mooring line* tanpa *subsea buoy*, *mooring line* dengan jarak *subsea buoy* 522.5

m, 550 m, 577.5m, 605 m dari *anchor*, dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang berjarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.2.3 Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan arah *beam seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.22. dan 4.23.

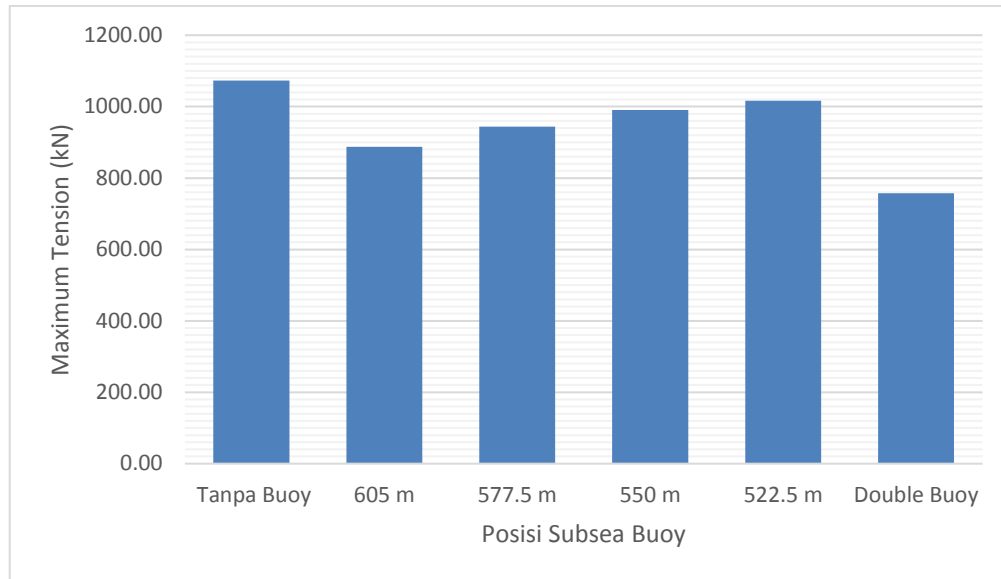
Tabel 4.22 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 90°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	964.86	796.28	840.08	872.72	927.50	657.82
Line 4	1013.91	856.11	885.63	910.19	939.89	707.90
Line 5	1142.88	986.10	1006.79	1033.56	1044.65	805.86
Line 6	1073.12	887.28	944.16	990.70	1016.27	757.59

Tabel 4.23 *Tension* pada line 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 90°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	706.35	605.09	633.66	672.75	707.31	628.85
Line 2	664.04	591.55	617.79	641.16	670.11	624.79
Line 7	1647.32	1661.70	1667.42	1680.03	1697.28	1431.95
Line 8	1366.54	1300.06	1326.12	1371.21	1421.44	1187.50

Pada arah pembebanan 90° tegangan terbesar yaitu pada *line* tujuh. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.22 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 90° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.56 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.56 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 90°

Dari diagram batang 4.56 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari diagram batang diatas menunjukkan tegangan tertinggi ke terendah yaitu *mooring line* tanpa *subsea buoy*, *mooring line* dengan jarak *subsea buoy* 522.5 m, 550 m, 577.5m, 605 m dari *anchor*, dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang berjarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.2.4 Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software Orcaflex*, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.24. dan 4.25.

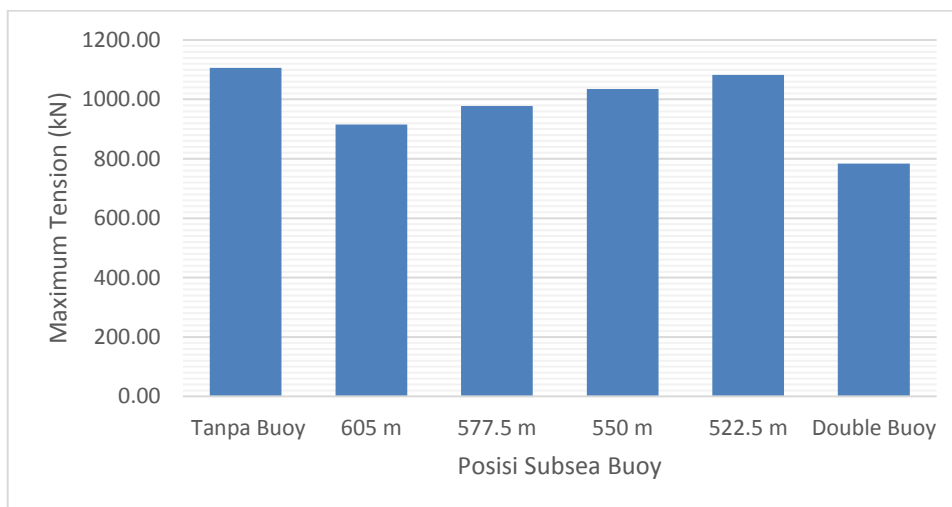
Tabel 4.24 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 135°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 3	985.56	795.83	851.09	906.35	953.34	667.78
Line 4	1047.38	885.48	915.53	956.93	992.78	743.08
Line 5	1199.81	1050.39	1067.51	1102.26	1135.22	879.89
Line 6	1105.64	915.01	978.05	1034.88	1082.47	783.90

Tabel 4.25 *Tension* pada line 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 135°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
Line 1	655.38	576.10	590.78	613.46	653.64	581.45
Line 2	624.87	566.91	568.89	595.80	611.53	578.74
Line 7	1743.05	1757.88	1764.17	1774.10	1785.65	1612.92
Line 8	1483.06	1406.91	1423.67	1459.74	1501.31	1295.05

Pada tabel 4.24 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *line* tujuh, baik pada *mooring line* dengan *subsea buoy* atau tanpa *subsea buoy*. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.24 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 135° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.57 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.57 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 135°

Dari diagram batang 4.57 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari diagram batang diatas menunjukkan tegangan tertinggi ke terendah yaitu *mooring line* tanpa *subsea buoy*, *mooring line* dengan jarak *subsea buoy* 522.5 m, 550 m, 577.5m, 605 m dari *anchor*, dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang berjarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

4.7.2.5 Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 180° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *tension* pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.26. dan 4.27.

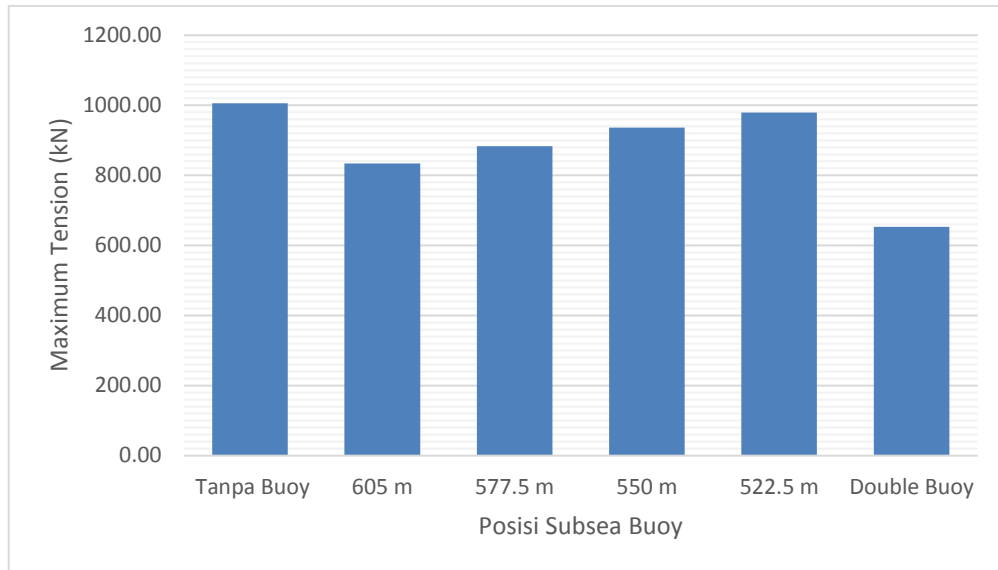
Tabel 4.26 *Tension* pada line 3, 4, 5, 6 arah pembebanan 180°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 3	1005.64	833.69	883.73	935.88	979.49	652.78
Line 4	1131.97	994.71	995.36	1010.14	1030.02	681.80
Line 5	1131.93	994.66	995.38	1010.15	1030.03	681.81
Line 6	1005.63	833.71	883.74	935.89	979.50	652.79

Tabel 4.27 *Tension* pada line 1, 2, 7, 8 arah pembebanan 180°

Line	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa <i>Buoy</i>	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	<i>Double Buoy</i>
Line 1	1000.94	900.16	935.90	979.32	1011.88	939.30
Line 2	1035.62	979.77	999.75	1029.42	1054.52	1013.99
Line 7	1035.66	979.79	999.82	1029.46	1054.57	1014.03
Line 8	1000.97	900.19	935.94	979.36	1011.92	939.26

Pada arah pembebanan 180° tegangan maksimum pada *mooring line* tanpa *subsea buoy* terjadi pada line empat dan lima. Berdasarkan hasil output dalam tabel 4.26 yang berisi nilai *tension* pada *mooring line* 3, 4, 5, & 6 akibat pembebanan arah 180° dapat dilihat perbedaan tegangan *mooring line* yang telah ditambahkan *subsea buoy*. Terdapat gambar diagram batang 4.58 untuk melihat perbandingan tegangan *mooring line* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah adanya penambahan *subsea buoy* pada *mooring line* 6.



Gambar 4.58 Diagram batang *tension* maksimum arah pembebanan 180°

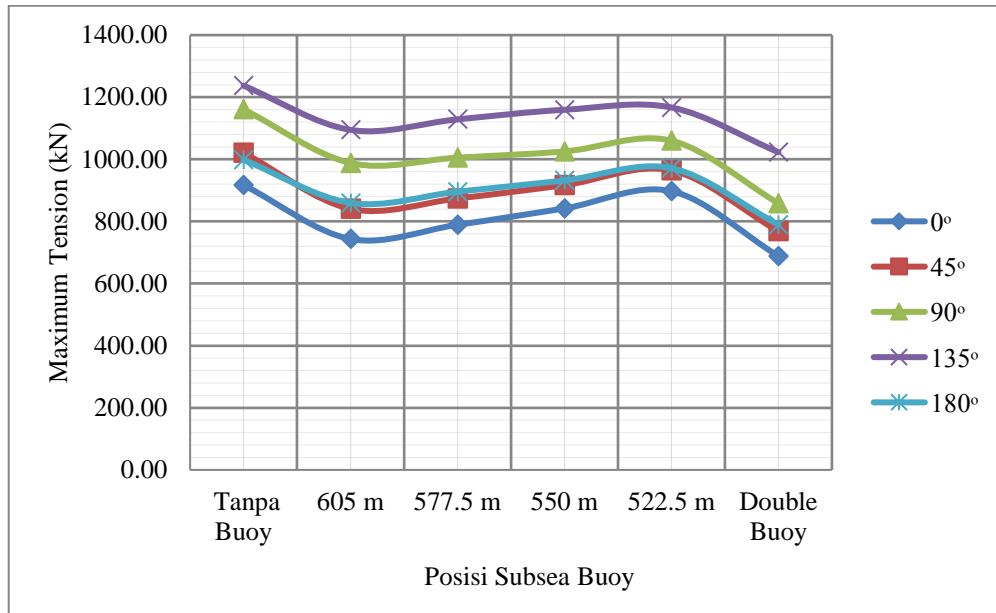
Dari diagram batang 4.58 menunjukkan tegangan tertinggi terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* dan tegangan terendah terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang memiliki jarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*. Dari diagram batang diatas menunjukkan tegangan tertinggi ke terendah yaitu *mooring line* tanpa *subsea buoy*, *mooring line* dengan jarak *subsea buoy* 522.5 m, 550 m, 577.5m, 605 m dari *anchor*, dan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* yang berjarak 605 m dan 467.5 m dari *anchor*.

Hasil analisis yang telah dilakukan pada bab 4.7.1 kondisi *stand alone* dan bab 4.7.2 kondisi *offloading* untuk lima arah pembebanan pada *mooring line* enam dimana analisis tegangan pada keadaan sebelum penambahan *subsea buoy* dan pada keadaan setelah diberi tambahan *subsea buoy* dapat disimpulkan dalam tabel 4.28 untuk kondisi *stand alone* dan 4.29 untuk kondisi *offloading*.

Tabel 4.28 Besar *tension* sebelum & setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *stand alone*

Arah Pembebanan	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
0°	917.05	743.53	789.20	841.95	897.37	688.25
45°	1020.77	840.52	873.95	916.78	964.36	768.36
90°	1160.91	988.17	1005.43	1025.33	1059.86	858.31
135°	1237.16	1094.77	1128.80	1159.55	1166.86	1022.91
180°	998.43	859.59	895.78	931.93	971.31	789.49

Dari tabel 4.28 dapat dibuat sebuah grafik yang menunjukkan hubungan tegangan pada *mooring line* enam sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy* dengan variasi posisi pada lima arah pembebanan gelombang dengan kondisi *stand alone*.



Gambar 4.59 Besar *tension* sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *stand alone*

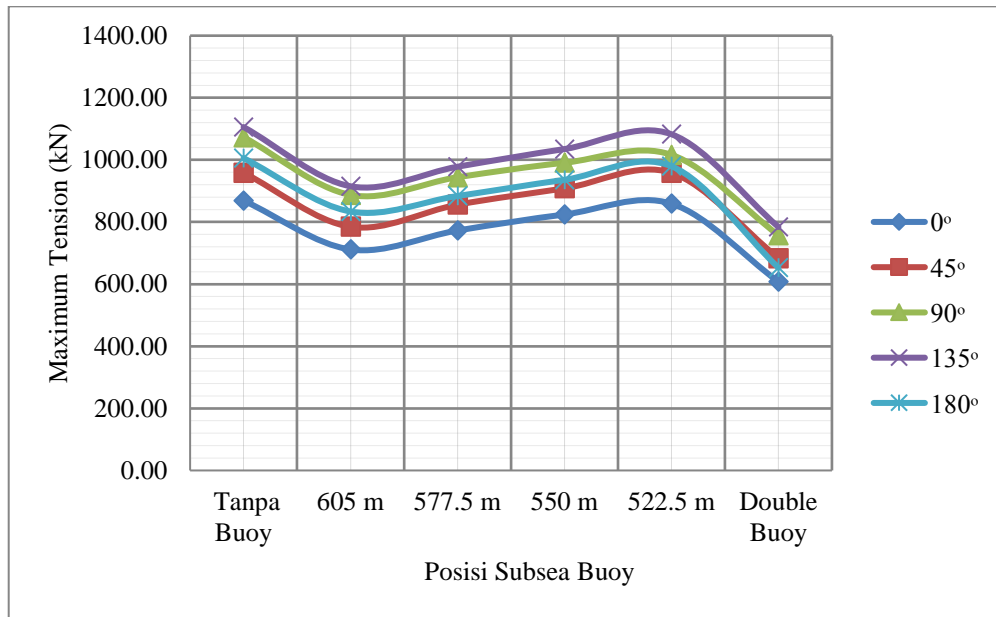
Berikut ini adalah tabel 4.29 yang berisi kesimpulan besar tegangan maksimum sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* pada kondisi *offloading*.

Tabel 4.29 Besar *tension* sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *offloading*

Arah Pembebanan	<i>Tension</i> (kN)					
	Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
0°	868.88	711.56	772.63	824.10	858.82	607.63
45°	958.55	784.62	855.83	908.22	958.27	683.46
90°	1073.12	887.28	944.16	990.70	1016.27	757.59
135°	1105.64	915.01	978.05	1034.88	1082.47	783.90
180°	1005.63	833.71	883.74	935.89	979.50	652.79

Dari tabel 4.29 dapat dibuat sebuah grafik yang menunjukkan hubungan tegangan pada *mooring line* enam sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah

penambahan *subsea buoy* dengan variasi posisi pada lima arah pembebanan gelombang dengan kondisi *offloading*.



Gambar 4.60 Besar *tension* sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *offloading*

Dari tabel dan grafik kesimpulan diatas menunjukkan bahwa penambahan *subsea buoy* mempengaruhi tegangan pada *mooring line*. Posisi dari peletakan *subsea buoy* juga mempengaruhi tegangan yang timbul. Pada kondisi *stand alone* dan *offloading* pada lima arah pembebanan gelombang, dengan satu *subsea buoy* semakin jauh jarak peletakan *subsea buoy* dari *anchor* tegangan yang muncul akan semakin kecil, namun jika dibandingkan dengan *mooring line* dengan dua *subsea buoy* tegangan yang muncul lebih kecil. Tegangan terbesar terjadi pada *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy*. Semakin jauh peletakan *subsea buoy* dari anchor gaya angkat *mooring line* semakin besar atau panjang *mooring line* yang terangkat semakin besar. Tegangan yang terjadi sudah sesuai dengan kriteria yang terdapat pada API RP 2SK, yaitu *safety factor* kurang dari 1,67.

4.8 Analisis *Offset* Pada FSO Belida

Analisis *offset* pada FSO Belida dilakukan dengan dua kondisi yaitu *stand alone* dan *offloading*. Kriteria untuk maksimum *offset* sebagaimana terdapat dalam API RP 2P adalah 8% sampai dengan 12% tergantung pada kondisi kedalaman laut. Dalam analisis pada studi kasus ini kriteria maksimum *offset* yaitu 12% x 76.81 m yaitu 9.217 m.

4.8.1 Analisis *Offset* pada FSO Belida Kondisi *Stand Alone*

Analisis *offset* FSO belida menggunakan *software* Orcaflex. Pada kondisi *stand alone* FSO tertambat dengan enam *mooring line* tanpa ada *shuttle tanker*. Berikut adalah *offset* maksimum pada FSO Belida dari lima arah pembebanan gelombang disajikan dalam tabel di bawah ini.

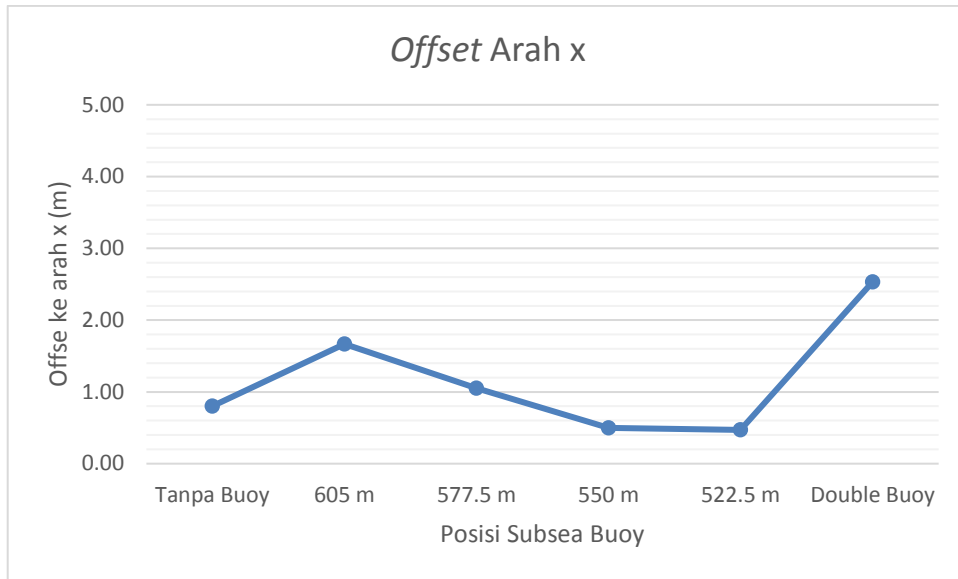
4.8.1.1 Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.30.

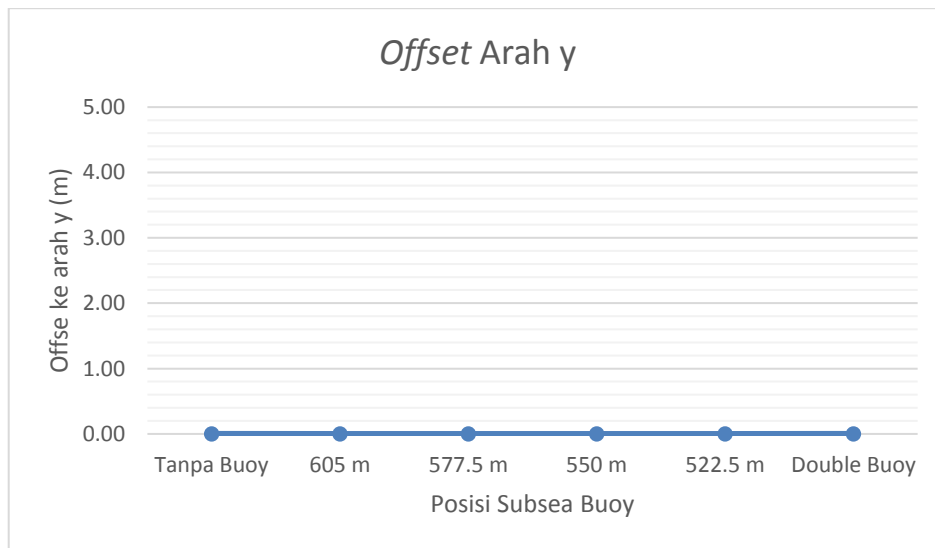
Tabel 4.30 *Offset* maksimum arah pembebanan 0°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
0°	x	0.80	x	1.67	x	1.05	x	0.50	x	0.47	x	2.53
	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00

Offset maksimum ke arah x pada arah pembebanan 0° terjadi pada dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai x 2.53 m. Untuk *offset* maksimum ke arah y pada arah pembebanan 0° semuanya memiliki nilai nol. Grafik 4.61 dan 4.62 menunjukkan *offset* maksimum FSO Belida pada arah x dan arah y untuk melihat perbandingan *offset* sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.61 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.62 Grafik *offset* maksimum ke arah y

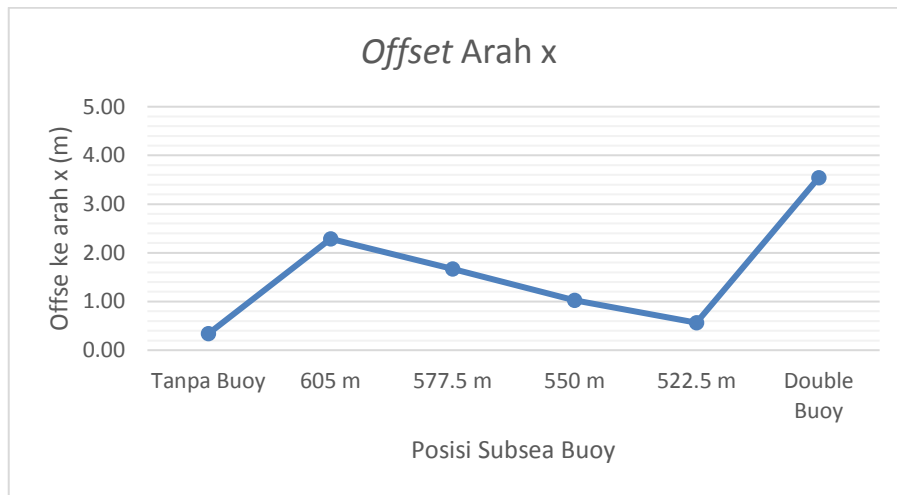
4.8.1.2 Arah Pembebanan 45°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum pada analisis *mooring line* tanpa *subsea* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.31

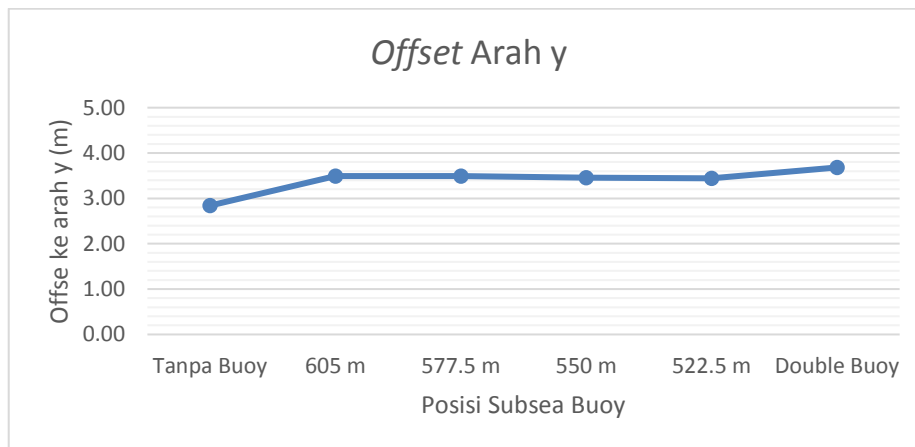
Tabel 4.31 *Offset* maksimum arah pembebanan 45°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
45°	x	0.34	x	2.28	x	1.67	x	1.02	x	0.57	x	3.54
	y	2.84	y	3.49	y	3.49	y	3.46	y	3.44	y	3.68

Offset maksimum ke arah x pada pembebanan 45° terjadi pada saat posisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai x 3.54 m. Untuk *offset* ke arah y pada arah pembebanan 45° yaitu 3.68 m. Grafik 4.63 dan 4.64 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.63 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.64 Grafik *offset* maksimum ke arah y

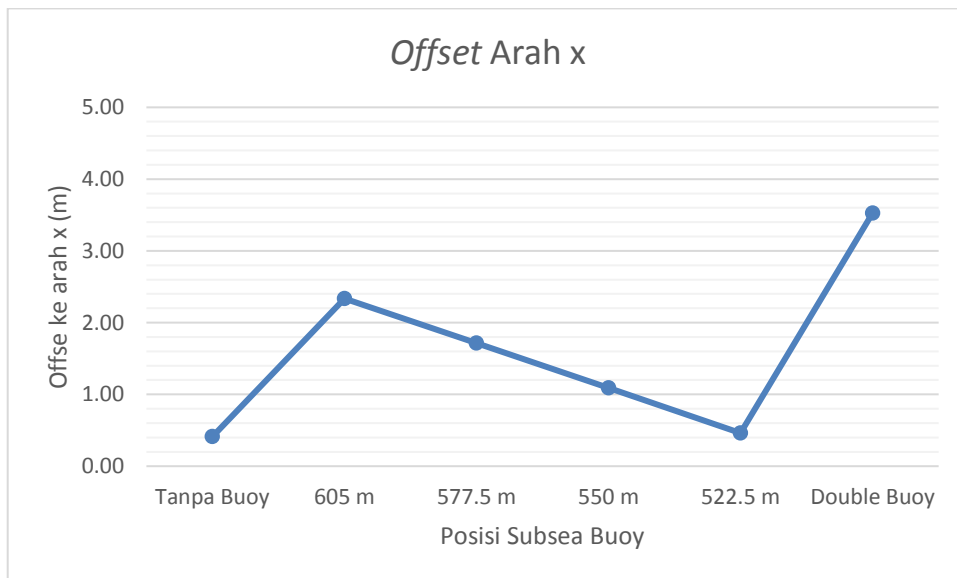
4.8.1.3 Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan arah *beam seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy*, dengan satu *subsea buoy* dan dua *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.32.

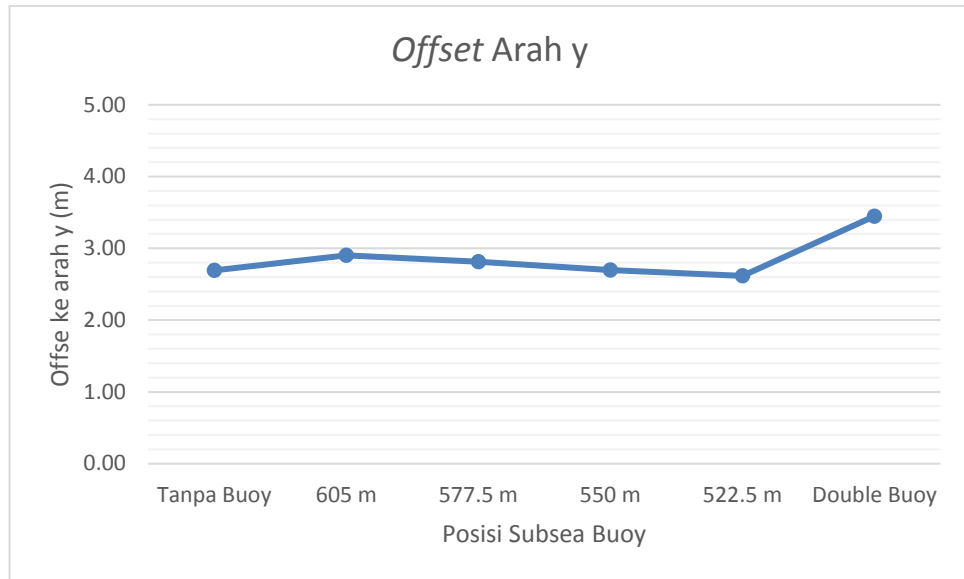
Tabel 4.32 *Offset* maksimum arah pembebanan 90°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
90°	x	2.41	x	4.78	x	3.92	x	3.14	x	2.34	x	6.38
	y	6.72	y	7.75	y	7.28	y	6.84	y	6.52	y	8.40

Offset maksimum ke arah x pada arah pembebanan 90° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai x 6.38 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y pada arah pembebanan 90° yaitu 8.40 m. Grafik 4.65 dan 4.66 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.65 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.66 Grafik *offset* maksimum ke arah y

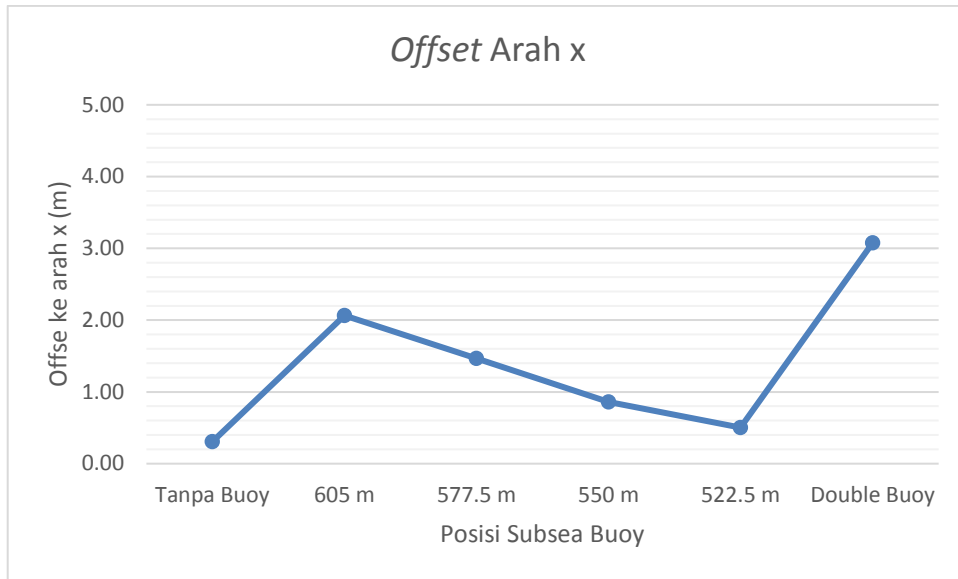
4.8.1.4 Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software Orcaflex*, nilai *offset* maksimum pada analisis *mooring line* tanpa *subsea buoy*, dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.33.

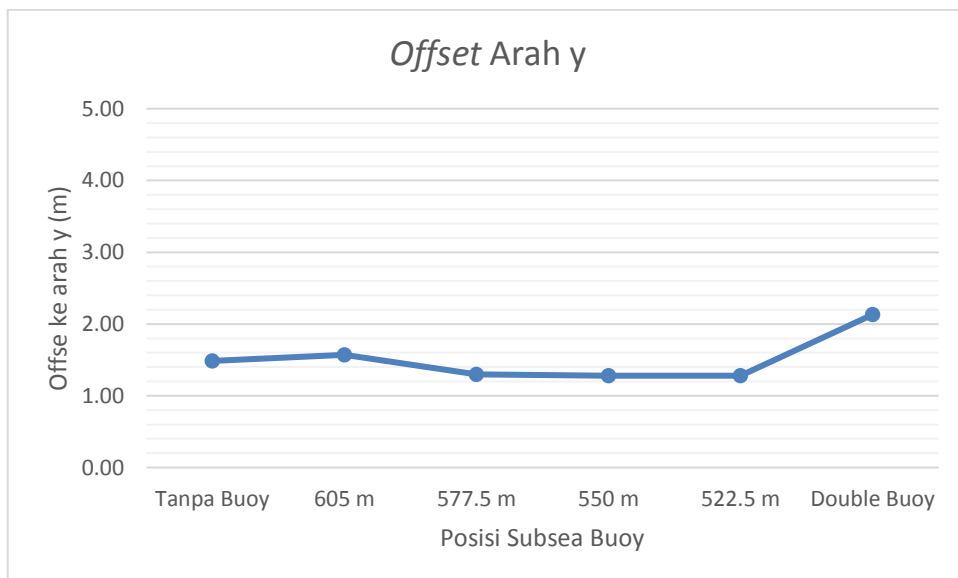
Tabel 4.33 *Offset* maksimum arah pembebanan 135°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
135°	x	0.31	x	2.06	x	1.47	x	0.86	x	0.50	x	3.08
	y	1.49	y	1.57	y	1.30	y	1.28	y	1.28	y	2.13

Offset maksimum ke arah x pada arah pembebanan 135° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy* dengan jarak 467.5 m dan 605 m dari *anchor*, yaitu dengan nilai x 3.08 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y pada arah pembebanan 135° yaitu 2.13 m pada saat kondisi dua *subsea buoy*. Grafik 4.67 dan 4.68 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.67 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.68 Grafik *offset* maksimum ke arah y

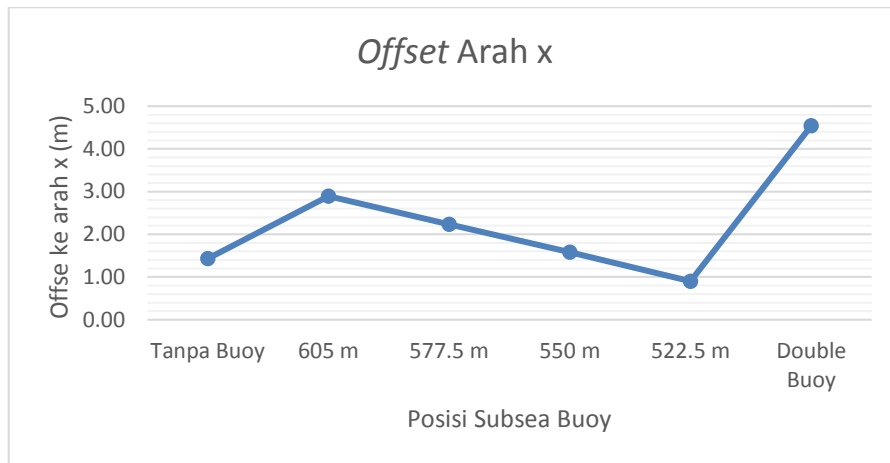
4.8.1.5 Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 180° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum pada analisis *mooring line* tanpa *subsea* dan dengan *subsea buoy* dapat dilihat dalam tabel 4.34.

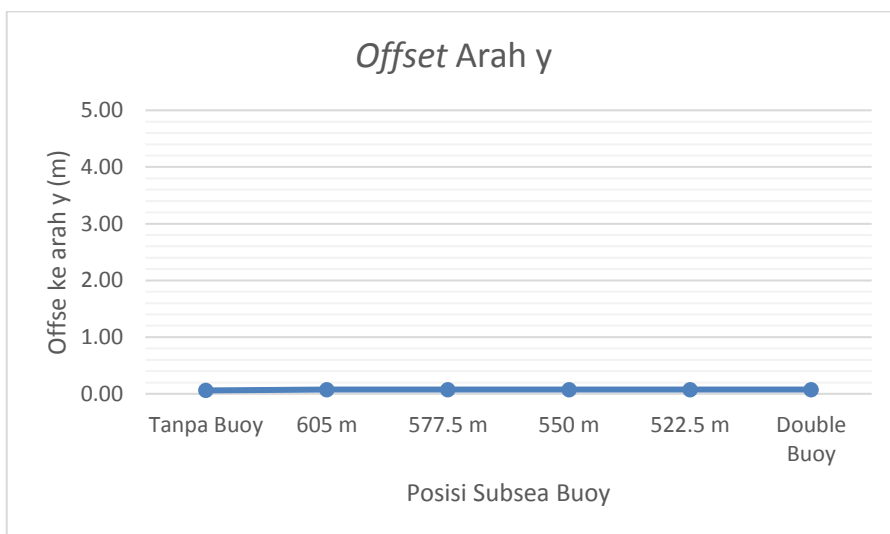
Tabel 4.34 *Offset* maksimum arah pembebanan 180°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
180°	x	1.43	x	2.89	x	2.24	x	1.58	x	0.90	x	4.54
	y	0.06	y	0.08	y	0.08	y	0.08	y	0.08	y	0.08

Offset maksimum ke arah x pada arah pembebanan 180° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy* dengan jarak 467.5 m dan 605 m dari *anchor*, yaitu dengan nilai x 4.54 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y yaitu 0.14 m. Grafik 4.69 dan 4.70 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.69 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.70 Grafik *offset* maksimum ke arah y

4.8.2 Analisis *Offset* pada FSO Belida Kondisi *Offloading*

Berikut ini adalah *output offset* maksimum kondisi *offloading* tandem antara FSO dan *shuttle tanker* dari lima arah pembebanan gelombang disajikan dalam tabel di bawah ini.

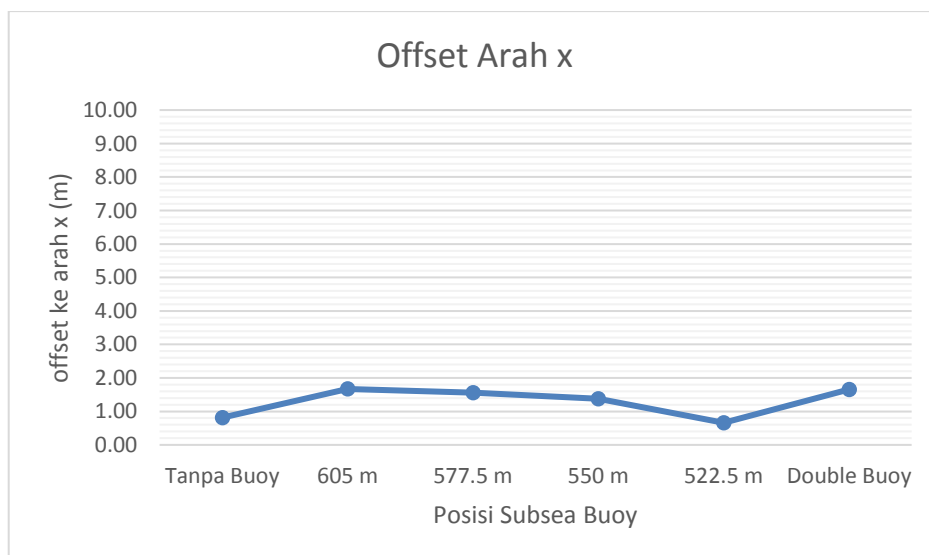
4.8.2.1 Arah Pembebanan 0°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 0° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum dapat dilihat dalam table 4.35.

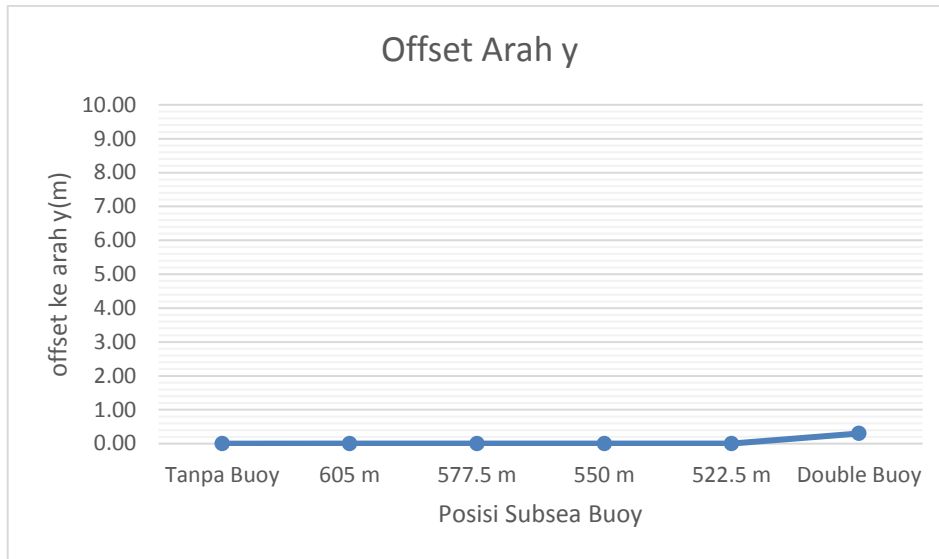
Tabel 4.35 *Offset* maksimum arah pembebanan 0°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
0°	x	0.81	x	1.67	x	1.56	x	1.37	x	0.66	x	1.68
	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.30

Offset maksimum ke arah x pembebanan 0° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai 1.68 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y yaitu 0.30 m. Grafik 4.71 dan 4.72 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.71 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.72 Grafik *offset* maksimum ke arah y

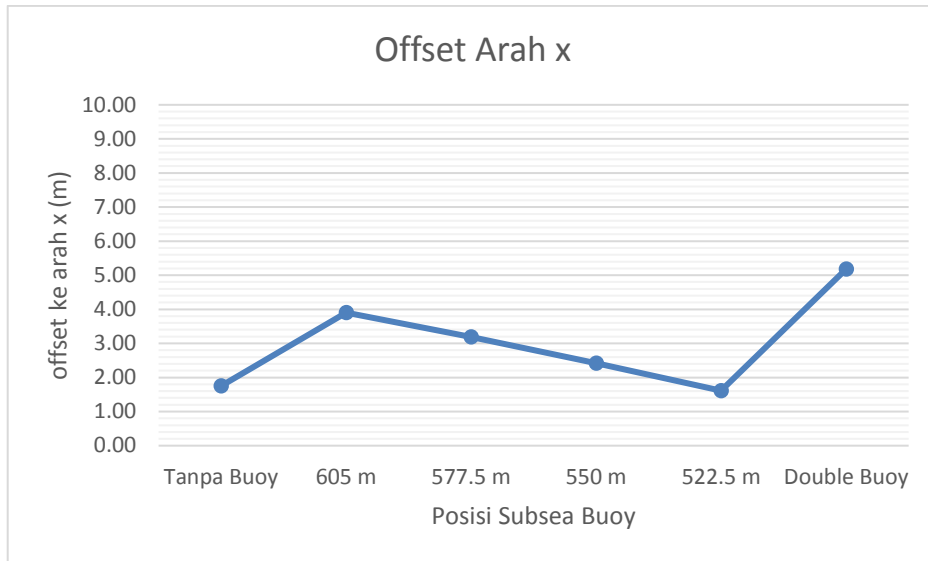
4.8.2.2 Arah Pembebanan 45°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 45° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum dapat dilihat dalam tabel 4.36.

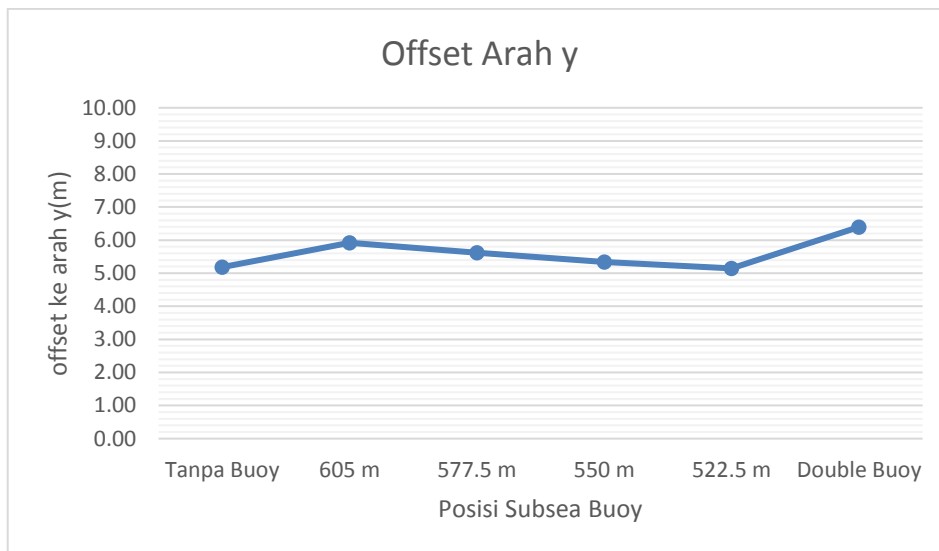
Tabel 4.36 *Offset* maksimum arah pembebanan 45°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
45°	x	1.75	x	3.90	x	3.19	x	2.42	x	1.61	x	5.18
	y	5.19	y	5.92	y	5.62	y	5.34	y	5.15	y	6.40

Offset maksimum ke arah x pembebanan 45° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai 5.18 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y yaitu 6.4 m. Grafik 4.73 dan 4.74 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.73 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.74 Grafik *offset* maksimum ke arah y

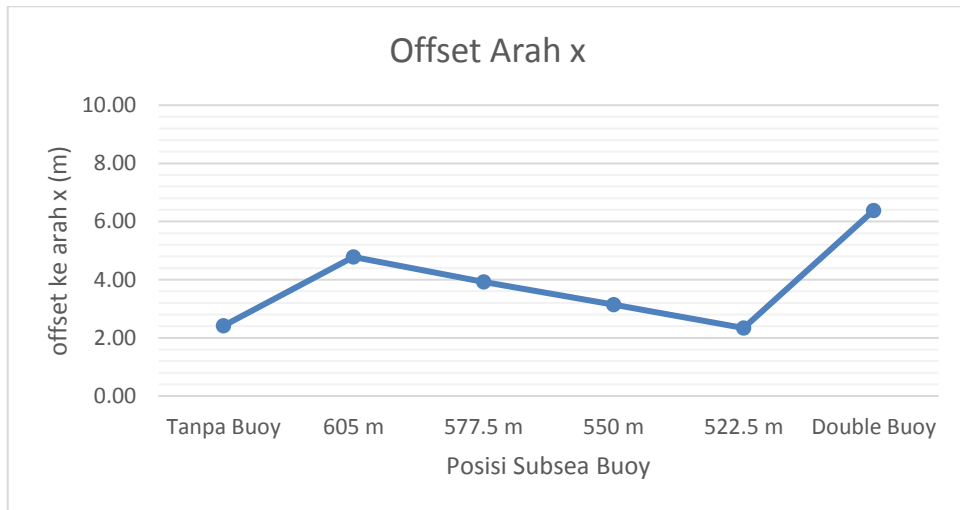
4.8.2.3 Arah Pembebanan 90°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 90° merupakan arah *beam seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum dapat dilihat dalam tabel 4.37.

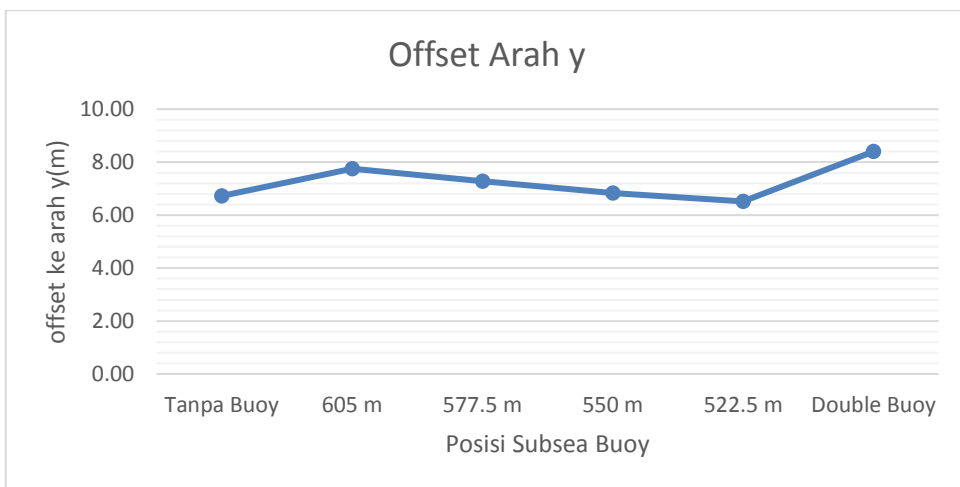
Tabel 4.37 *Offset* maksimum arah pembebanan 90°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
90°	x	2.41	x	4.78	x	3.92	x	3.14	x	2.34	x	6.38
	y	6.72	y	7.75	y	7.28	y	6.84	y	6.52	y	8.40

Offset maksimum ke arah x pembebanan 90° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai 6.38 m. Untuk nilai *offset* maksimum ke arah y yaitu 8.4 m. Grafik 4.75 dan 4.76 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.75 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.76 Grafik *offset* maksimum ke arah y

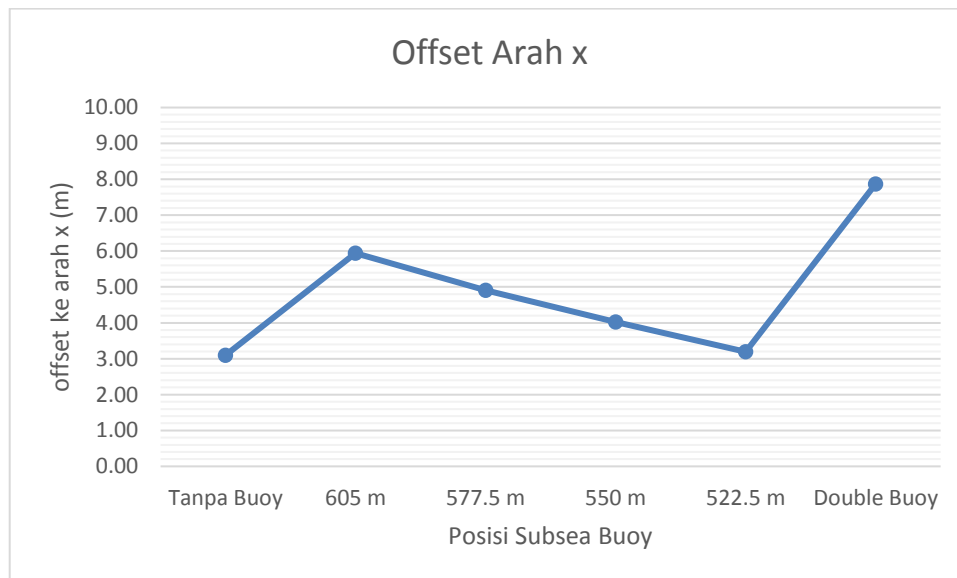
4.8.2.4 Arah Pembebanan 135°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan arah *quartering following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software Orcaflex*, nilai *offset* maksimum dapat dilihat dalam table 4.38.

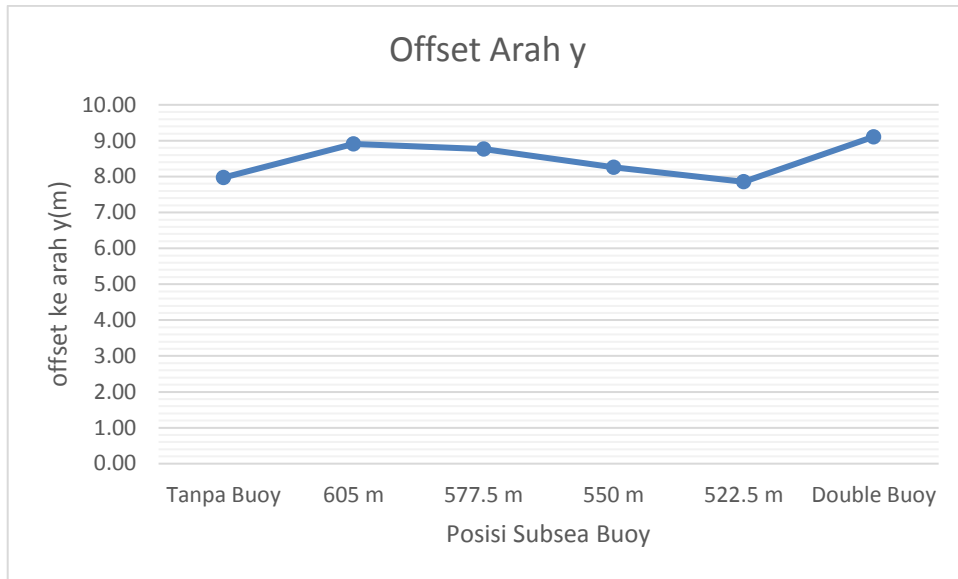
Tabel 4.38 *Offset* maksimum arah pembebanan 135°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
135°	x	3.10	x	5.94	x	4.90	x	4.02	x	3.19	x	7.87
	y	7.97	y	8.91	y	8.77	y	8.26	y	7.85	y	9.11

Offset maksimum ke arah x pembebanan 135° terjadi pada saat kondisi dua *subsea buoy*, yaitu dengan nilai 7.87 m. Untuk nilai *offset* maksimum y yaitu 9.11 m. Grafik 4.77 dan 4.78 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.77 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.78 Grafik *offset* maksimum ke arah y

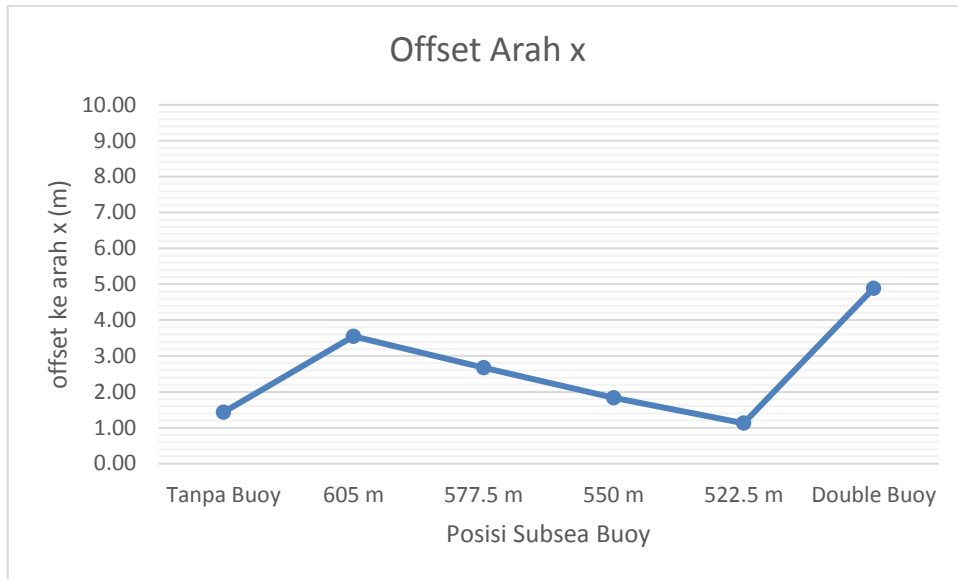
4.8.2.5 Arah Pembebanan 180°

Berdasarkan orientasi FSO Belida, arah pembebanan 135° merupakan arah *following seas*. Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* Orcaflex, nilai *offset* maksimum dapat dilihat dalam tabel 4.39.

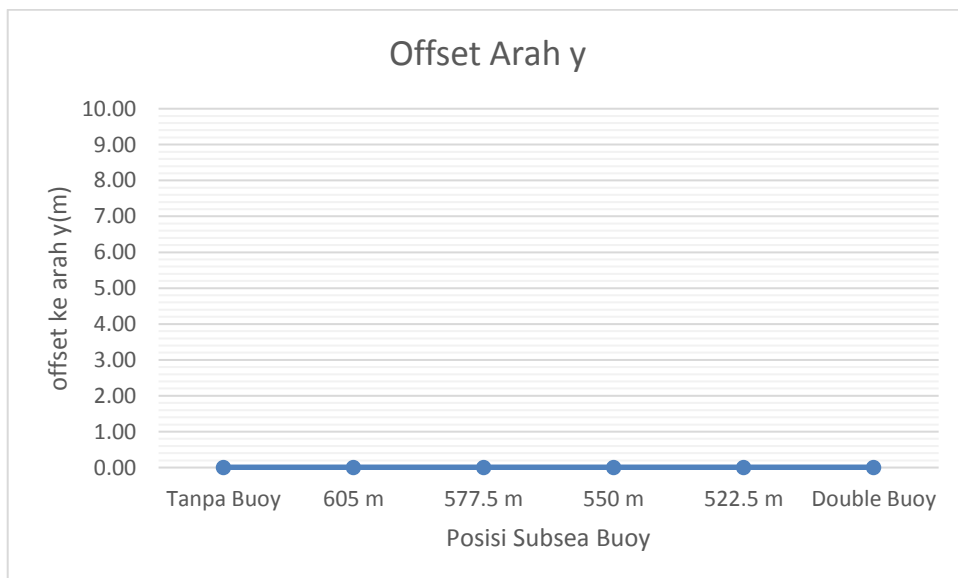
Tabel 4.39 *Offset* maksimum arah pembebanan 180°

Arah Pembebanan	Maximum Offset (m)											
	Tanpa Buoy		605 m		577.5 m		550 m		522.5 m		Double Buoy	
180°	x	1.44	x	3.55	x	2.67	x	1.84	x	1.13	x	4.89
	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00	y	0.00

Offset maksimum ke arah x pembebanan 180° terjadi pada saat posisi dua *subsea buoy* di 467.5 m dan 605 m dari *anchor*, yaitu dengan nilai 4.89 m. Untuk nilai *offset* maksimum y terjadi saat kondisi dua *subsea buoy* yaitu 0.02 m. Grafik 4.79 dan 4.80 menunjukkan *offset* maksimum ke arah x dan arah y sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah penambahan *subsea buoy*.



Gambar 4.79 Grafik *offset* maksimum ke arah x



Gambar 4.80 Grafik *offset* maksimum ke arah y

Hasil analisis yang telah dilakukan pada bab 4.8.1 kondisi *stand alone* dan bab 4.8.2 kondisi *offloading* untuk lima arah pembebanan dimana analisis *offset* dilakukan pada keadaan sebelum penambahan *subsea buoy* dan setelah diberi tambahan *subsea buoy* dapat disimpulkan dalam tabel 4.40 untuk kondisi *stand alone* dan 4.41 untuk kondisi *offloading*.

Tabel 4.40 Besar *offset* sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *stand alone*

Arah Pembebanan	Offset x & y	Maximum Offset (m)					
		Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
0°	x	0.80	1.67	1.05	0.50	0.47	2.53
	y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45°	x	0.34	2.28	1.67	1.02	0.57	3.54
	y	2.84	3.49	3.49	3.46	3.44	3.68
90°	x	0.41	2.34	1.72	1.09	0.46	3.53
	y	2.69	2.90	2.82	2.70	2.62	3.45
135°	x	0.31	2.06	1.47	0.86	0.50	3.08
	y	1.49	1.57	1.30	1.28	1.28	2.13
180°	x	1.43	2.89	2.24	1.58	0.90	4.54
	y	0.06	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08

Tabel 4.41 Besar *offset* sebelum dan setelah penambahan *subsea buoy* kondisi *offloading*

Arah Pembebanan	Offset x & y	Maximum Offset (m)					
		Tanpa Buoy	605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	Double Buoy
0°	x	0.81	1.67	1.56	1.37	0.66	1.66
	y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30
45°	x	1.75	3.90	3.19	2.42	1.61	5.18
	y	5.19	5.92	5.62	5.34	5.15	6.40
90°	x	2.41	4.78	3.92	3.14	2.34	6.38
	y	6.72	7.75	7.28	6.84	6.52	8.40
135°	x	3.10	5.94	4.90	4.02	3.19	7.87
	y	7.97	8.91	8.77	8.26	7.85	9.11
180°	x	1.44	3.55	2.67	1.84	1.13	4.89
	y	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dari tabel 4. 40 dan 4.41 menunjukkan hubungan antara *offset* yang terjadi pada FSO Belida dengan posisi peletakan *subsea buoy*. Pada kondisi dengan satu *subsea buoy* semakin jauh peletakan *subsea buoy* dari *anchor*, *offset* yang muncul akan semakin besar yaitu pada jarak 605 m dari *anchor*. Namun jika dibandingkan dengan kondisi dua *subsea buoy*, *offset* yang muncul lebih besar. *Offset* terkecil pada kondisi dengan satu *subsea buoy* pada jarak 522.5 m dari *anchor*. Keadaan ini

terjadi baik dalam kondisi *stand alone* maupun *offloading* pada lima arah pembebanan gelombang. Nilai *offset* yang terjadi juga sudah sesuai dengan kriteria dari API RP 2P yaitu minimum *offset* kurang dari 9.217 m.

4.9 Analisis Clearance Antara Mooring Line dengan Pipa

Analisis *clearance mooring line* dengan pipa dilakukan dengan dua kondisi yaitu kondisi *stand alone* dan kondisi *offloading*. *Mooring line* yang terjadi *clashing* dengan pipa yaitu pada *mooring line* tiga, empat, lima dan enam. Sehingga analisis dan penambahan *subsea buoy* hanya dilakukan pada *mooring line* tersebut. Menurut DNV OS E301 kriteria minimum vertikal *clearance* antara *mooring line* dengan semua peralatan bawah laut sebaiknya 10 m pada kondisi ULS.

4.9.1 Clearance Antara Mooring Line dengan Pipa Kondisi Stand Alone

Pada kondisi *stand alone* FSO tertambat dengan enam *mooring line* tanpa ada *shuttle tanker*. Tabel 4.42 menunjukkan *clearance* antara *mooring line* dengan pipa dengan variasi peletakan *subsea buoy*.

Tabel 4.42 Clearance antara mooring line dengan pipa

Line	Tanpa Buoy	Posisi Satu Buoy dari Anchor				Double Buoy
		605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	
Line 3	0.00	6.51	10.10	12.45	4.77	25.73
Line 4	0.19	17.42	14.41	10.84	3.20	29.90
Line 5	0.19	17.42	14.41	10.84	3.20	29.90
Line 6	0.00	6.51	10.10	12.45	4.77	25.73

Dari tabel 4.42 menunjukkan bahwa tidak terjadi *clashing* antara *mooring line* dengan pipa setelah penambahan *subsea buoy*, namun *clearance* yang sesuai dengan kriteria dari DNV OS E301 yaitu pada variasi satu *subsea buoy* dengan jarak 577.5 m dari *anchor*, satu *subsea buoy* dengan jarak 577.5 m dari *anchor*, dan pada kondisi dua *subsea buoy*. *Clearance* terbesar terjadi pada kondisi dua *subsea buoy* yaitu pada *line* 3 dan 6 bernilai 25.73 m dan pada *line* 4 dan 5 bernilai 29.9 m.

4.9.2 Clearance Antara Mooring Line dengan Pipa Kondisi Offloading

Pada kondisi *offloading* FSO tertambat dengan enam *mooring line* dan *hawser* yang menghubungkan FSO dengan *shuttle tanker*. Tabel 4.43 menunjukkan *clearance* antara *mooring line* dengan pipa dengan variasi peletakan *subsea buoy*.

Tabel 4.43 Clearance antara *mooring line* dengan pipa

Line	Tanpa Buoy	Posisi Satu Buoy dari Anchor				Double Buoy
		605 m	577.5 m	550 m	522.5 m	
Line 3	0.00	6.13	10.04	10.58	5.22	24.88
Line 4	0.19	15.92	12.74	10.11	4.39	27.55
Line 5	0.19	15.92	12.74	10.11	4.39	27.55
Line 6	0.00	6.13	10.04	10.58	5.22	24.88

Dari tabel 4.43 menunjukkan bahwa tidak terjadi *clashing* antara *mooring line* dengan pipa setelah penambahan *subsea buoy*, namun *clearance* yang sesuai dengan kriteria dari DNV OS E301 yaitu pada variasi satu *subsea buoy* dengan jarak 577.5 m dari *anchor*, satu *subsea buoy* dengan jarak 577.5 m dari *anchor*, dan pada kondisi dua *subsea buoy*. *Clearance* terbesar terjadi pada kondisi dua *subsea buoy* yaitu pada *line 3* dan 6 bernilai 24.88 m dan pada *line 4* dan 5 bernilai 27.55 m.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan yang ada. Berikut ini adalah kesimpulan yang dapat diambil :

1. Dari penelitian yang telah dilakukan, *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* pada saat kondisi *stand alone* dan pada semua arah pembebanan memiliki nilai tegangan maksimum yang paling besar. Tegangan terbesar dari arah pembebanan 45° pada *line* tujuh dengan nilai 1503.09 kN. Begitupun dengan kondisi *offloading*, *mooring line* tanpa penambahan *subsea buoy* pada semua arah pembebanan juga memiliki nilai tegangan maksimum yang paling besar. Pada arah pembebanan 135° pada *line* tujuh memiliki tegangan terbesar dengan nilai 1743.05 kN. Untuk semua tegangan sudah memenuhi kriteria dari API RP 2SK yaitu *safety factor* kurang dari 1,67.
2. Dari penelitian diketahui bahwa penambahan *subsea buoy* mengurangi tegangan pada *mooring line*. Pada *mooring line* dengan satu *subsea buoy* semakin jauh peletakan *subsea buoy* dari *anchor*, tegangan yang muncul akan semakin kecil. Pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* dengan jarak 605 m dan 467.5 m memiliki nilai tegangan maksimum yang paling rendah. Kondisi ini terjadi pada semua arah pembebanan pada saat *stand alone* maupun *offloading*.
3. Dari penelitian diketahui bahwa penambahan *subsea buoy* dapat mempengaruhi *offset* pada FSO. Pada kondisi *stand alone* dan *offloading*, *offset* tertinggi yaitu pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy* dan *mooring line* dengan satu *subsea buoy* dengan jarak 605 m dari *anchor*. Nilai dari semua *offset* yang terjadi sudah sesuai dengan kriteria API RP 2P.
4. Dari penelitian diketahui bahwa penambahan *subsea buoy* dapat menghindari *clashing* antara *mooring line* dengan pipa. Namun untuk *clearance* antara *mooring line* dengan pipa yang sesuai dengan kriteria dari DNV OS E301 yaitu pada variasi satu *subsea buoy* dengan jarak 577.5 m dari *anchor*, satu *subsea buoy* dengan jarak 550 m dari *anchor*, dan pada kondisi dua *subsea buoy*. *Clearance* terbesar terjadi pada *mooring line* dengan dua *subsea buoy*.

5.2 Saran

Topik penelitian tugas akhir dapat dikembangkan lagi untuk penelitian berikutnya. Berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk dianalisis dalam penelitian berikutnya :

1. Melakukan analisis dengan memvariasikan *displacement subsea buoy*.
2. Melakukan analisis dengan memvariasikan bentuk *subsea buoy*.
3. Melakukan analisis dengan memvariasikan jenis *mooring line*.

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 2018. *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*. USA. American Bureau of Shipping.
- API RP 2SK 3th edition. 2005. *Recommended Practice for Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures*. Washington DC.
- Bhattacharyya, R., 1978. *Dynamics of Marine Vehicles*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Chakrabarti, S. K., 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Boston, USA: Computational Mechanics Publication Southampton.
- Djarmiko, E.B., 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OS E301. 2004. *Position Mooring*. Det Norske Veritas. Norway.
- Faltinsen, O.M., 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Fitria, Favi Ainin. 2018. *Studi Pengaruh Penambahan Clump Buoy Pada System Mooring Platform PLTAL Laut Dalam, Tugas Akhir*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Howell dkk., 2006. *Spread Moored or Turret Moored FPSO's for Deepwater Field Developments*. Offshore West Africa.
- Ji, C.Y., Yuan, Z.M., Chen, M.L., 2011. "Study on a new mooring system integrating catenary with taut mooring". *China Ocean Eng.* 25 (3), 427–440.
- Mavrakos, S.A., 1997. "Dynamic Behavior of Deep Water Mooring Lines With Submerged Buoys". *Elsevier*, 64, pp.819-35.
- OCIMF. 1997. *Mooring Equipment Guidelines*. London: WITHERBY & CO. LTD.
- Sahlan, Arifin, Wibowo, 2012. *Kajian Numerik Respon Gerakan Kapal FPSO/FSO Saat Ditambat (Moored FPSO/FSO)*. UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika-BPPT.
- Suseprasetyo, N., 2013. *Analisis Pengaruh Variasi Displasemen Dan Posisi Submerged Buoy Terhadap Kinerja Sistem Tambat Single Point Mooring*

FPSO "BROTOJOYO", Tugas Akhir. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.

Sundaravadivelu, R., and Varaprasad K. S. S. R. CH., 1991. "Design of Single Point Sub-surface Deep Sea Moorings". *Ocean Engineering*, Vol. 18, pp.397-404.

Yuan, Z.M, Incecik A., Ji, C.Y., 2014. *Numerical Study on a Hybrid Mooring System with Clump Weights and Buoys*.

LAMPIRAN A
Hasil *Output* RAO MOSES FSO
Kondisi Full Load

```

*****
*                                     *** MOSES ***                             *
*                                     -----                             *
*                                     April 10, 2019                             *
*                                     BASIC MODELLING F50 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 F50BELID 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

LAMPIRAN B
Hasil *Output* RAO MOSES FSO
Kondisi *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.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase	wave Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.		Ampl.		Ampl.		Ampl.		Ampl.		Ampl.	
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

LAMPIRAN C

Hasil *Output* RAO MOSES *Shuttle Tanker*

Kondisi *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

LAMPIRAN D

Hasil *Output Tension* dari Orcaflex

Maksimum *Tension Stand Alone*
Maksimum *tension tanpa subsea buoy*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1179.37	7681.75	6.51
Line 2	1148.85	7681.75	6.69
Line 3	917.06	7681.75	8.38
Line 4	904.29	7681.75	8.49
Line 5	904.29	7681.75	8.49
Line 6	917.05	7681.75	8.38
Line 7	1148.85	7681.75	6.69
Line 8	1179.37	7681.75	6.51

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	968.49	7681.75	7.93
Line 2	902.15	7681.75	8.51
Line 3	915.52	7681.75	8.39
Line 4	898.06	7681.75	8.55
Line 5	999.90	7681.75	7.68
Line 6	1020.77	7681.75	7.53
Line 7	1503.09	7681.75	5.11
Line 8	1365.90	7681.75	5.62

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	764.29	7681.75	10.05
Line 2	726.22	7681.75	10.58
Line 3	840.20	7681.75	9.14
Line 4	823.05	7681.75	9.33
Line 5	1101.10	7681.75	6.98
Line 6	1160.91	7681.75	6.62
Line 7	1307.38	7681.75	5.88
Line 8	1308.80	7681.75	5.87

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	801.03	7681.75	9.59
Line 2	776.85	7681.75	9.89
Line 3	724.54	7681.75	10.60
Line 4	723.97	7681.75	10.61
Line 5	1092.47	7681.75	7.03
Line 6	1237.16	7681.75	6.21
Line 7	1235.84	7681.75	6.22
Line 8	1234.09	7681.75	6.22

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	889.84	7681.75	8.63
Line 2	888.81	7681.75	8.64
Line 3	900.07	7681.75	8.53
Line 4	915.38	7681.75	8.39
Line 5	900.44	7681.75	8.53
Line 6	913.43	7681.75	8.41
Line 7	893.11	7681.75	8.60
Line 8	875.37	7681.75	8.78

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 605 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1062.05	7681.75	7.23
Line 2	1070.10	7681.75	7.18
Line 3	743.53	7681.75	10.33
Line 4	756.18	7681.75	10.16
Line 5	756.18	7681.75	10.16
Line 6	743.53	7681.75	10.33
Line 7	1070.10	7681.75	7.18
Line 8	1062.05	7681.75	7.23

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	860.36	7681.75	8.93
Line 2	827.14	7681.75	9.29
Line 3	728.04	7681.75	10.55
Line 4	742.27	7681.75	10.35
Line 5	856.86	7681.75	8.96
Line 6	840.52	7681.75	9.14
Line 7	1472.36	7681.75	5.22
Line 8	1254.33	7681.75	6.12

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	665.90	7681.75	11.54
Line 2	673.43	7681.75	11.41
Line 3	699.87	7681.75	10.98
Line 4	725.55	7681.75	10.59
Line 5	1001.38	7681.75	7.67
Line 6	988.17	7681.75	7.77
Line 7	1372.01	7681.75	5.60
Line 8	1128.53	7681.75	6.81

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	700.21	7681.75	10.97
Line 2	706.68	7681.75	10.87
Line 3	615.53	7681.75	12.48
Line 4	638.80	7681.75	12.03
Line 5	993.93	7681.75	7.73
Line 6	1094.77	7681.75	7.02
Line 7	1184.09	7681.75	6.49
Line 8	1148.16	7681.75	6.69

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	940.82	7681.75	8.16
Line 2	980.86	7681.75	7.83
Line 3	846.18	7681.75	9.08
Line 4	887.82	7681.75	8.65
Line 5	876.94	7681.75	8.76
Line 6	859.59	7681.75	8.94
Line 7	984.35	7681.75	7.80
Line 8	928.38	7681.75	8.27

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 577.5 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1103.51	7681.75	6.96
Line 2	1100.04	7681.75	6.98
Line 3	789.20	7681.75	9.73
Line 4	791.84	7681.75	9.70
Line 5	791.84	7681.75	9.70
Line 6	789.20	7681.75	9.73
Line 7	1100.04	7681.75	6.98
Line 8	1103.51	7681.75	6.96

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	889.95	7681.75	8.63
Line 2	846.09	7681.75	9.08
Line 3	767.92	7681.75	10.00
Line 4	777.00	7681.75	9.89
Line 5	882.51	7681.75	8.70
Line 6	873.95	7681.75	8.79
Line 7	1493.38	7681.75	5.14
Line 8	1299.09	7681.75	5.91

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	697.47	7681.75	11.01
Line 2	706.62	7681.75	10.87
Line 3	737.40	7681.75	10.42
Line 4	755.31	7681.75	10.17
Line 5	994.57	7681.75	7.72
Line 6	1005.43	7681.75	7.64
Line 7	1398.22	7681.75	5.49
Line 8	1172.27	7681.75	6.55

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	738.71	7681.75	10.40
Line 2	741.16	7681.75	10.36
Line 3	653.35	7681.75	11.76
Line 4	670.61	7681.75	11.45
Line 5	1006.86	7681.75	7.63
Line 6	1128.80	7681.75	6.81
Line 7	1219.87	7681.75	6.30
Line 8	1218.79	7681.75	6.30

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	976.13	7681.75	7.87
Line 2	1005.55	7681.75	7.64
Line 3	883.64	7681.75	8.69
Line 4	908.04	7681.75	8.46
Line 5	898.93	7681.75	8.55
Line 6	895.78	7681.75	8.58
Line 7	1008.99	7681.75	7.61
Line 8	962.21	7681.75	7.98

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 550 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1150.06	7681.75	6.68
Line 2	1129.66	7681.75	6.80
Line 3	841.95	7681.75	9.12
Line 4	837.10	7681.75	9.18
Line 5	837.10	7681.75	9.18
Line 6	841.95	7681.75	9.12
Line 7	1129.66	7681.75	6.80
Line 8	1150.06	7681.75	6.68

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	927.28	7681.75	8.28
Line 2	877.08	7681.75	8.76
Line 3	819.75	7681.75	9.37
Line 4	825.56	7681.75	9.30
Line 5	912.99	7681.75	8.41
Line 6	916.78	7681.75	8.38
Line 7	1517.55	7681.75	5.06
Line 8	1348.17	7681.75	5.70

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	735.31	7681.75	10.45
Line 2	738.27	7681.75	10.41
Line 3	776.85	7681.75	9.89
Line 4	787.07	7681.75	9.76
Line 5	998.23	7681.75	7.70
Line 6	1025.33	7681.75	7.49
Line 7	1424.62	7681.75	5.39
Line 8	1219.55	7681.75	6.30

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	779.97	7681.75	9.85
Line 2	774.86	7681.75	9.91
Line 3	693.38	7681.75	11.08
Line 4	703.58	7681.75	10.92
Line 5	1024.59	7681.75	7.50
Line 6	1159.55	7681.75	6.62
Line 7	1259.00	7681.75	6.10
Line 8	1247.22	7681.75	6.16

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1018.12	7681.75	7.55
Line 2	1036.56	7681.75	7.41
Line 3	920.10	7681.75	8.35
Line 4	933.78	7681.75	8.23
Line 5	924.86	7681.75	8.31
Line 6	931.93	7681.75	8.24
Line 7	1040.29	7681.75	7.38
Line 8	1005.30	7681.75	7.64

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 522.5 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1199.06	7681.75	6.41
Line 2	1162.92	7681.75	6.61
Line 3	897.37	7681.75	8.56
Line 4	885.28	7681.75	8.68
Line 5	885.28	7681.75	8.68
Line 6	897.37	7681.75	8.56
Line 7	1162.92	7681.75	6.61
Line 8	1199.05	7681.75	6.41

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	969.90	7681.75	7.92
Line 2	905.99	7681.75	8.48
Line 3	870.21	7681.75	8.83
Line 4	870.57	7681.75	8.82
Line 5	950.73	7681.75	8.08
Line 6	964.36	7681.75	7.97
Line 7	1543.41	7681.75	4.98
Line 8	1403.50	7681.75	5.47

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	759.62	7681.75	10.11
Line 2	766.09	7681.75	10.03
Line 3	832.30	7681.75	9.23
Line 4	831.76	7681.75	9.24
Line 5	1020.55	7681.75	7.53
Line 6	1059.86	7681.75	7.25
Line 7	1454.88	7681.75	5.28
Line 8	1273.48	7681.75	6.03

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	812.43	7681.75	9.46
Line 2	805.45	7681.75	9.54
Line 3	733.17	7681.75	10.48
Line 4	746.22	7681.75	10.29
Line 5	1040.53	7681.75	7.38
Line 6	1166.86	7681.75	6.58
Line 7	1281.54	7681.75	5.99
Line 8	1250.67	7681.75	6.14

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1067.07	7681.75	7.20
Line 2	1068.17	7681.75	7.19
Line 3	959.88	7681.75	8.00
Line 4	963.80	7681.75	7.97
Line 5	956.03	7681.75	8.04
Line 6	971.31	7681.75	7.91
Line 7	1072.21	7681.75	7.16
Line 8	1052.52	7681.75	7.30

Maksimum *tension* dengan dua *subsea buoy*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1023.27	7681.75	7.51
Line 2	1039.82	7681.75	7.39
Line 3	688.25	7681.75	11.16
Line 4	703.14	7681.75	10.92
Line 5	703.14	7681.75	10.92
Line 6	688.25	7681.75	11.16
Line 7	1039.82	7681.75	7.39
Line 8	1023.27	7681.75	7.51

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	831.32	7681.75	9.24
Line 2	813.40	7681.75	9.44
Line 3	668.35	7681.75	11.49
Line 4	696.23	7681.75	11.03
Line 5	799.36	7681.75	9.61
Line 6	768.36	7681.75	10.00
Line 7	1260.55	7681.75	6.09
Line 8	1156.54	7681.75	6.64

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	645.59	7681.75	11.90
Line 2	635.83	7681.75	12.08
Line 3	625.65	7681.75	12.28
Line 4	656.04	7681.75	11.71
Line 5	882.11	7681.75	8.71
Line 6	858.31	7681.75	8.95
Line 7	1385.05	7681.75	5.55
Line 8	1136.78	7681.75	6.76

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	639.37	7681.75	12.01
Line 2	661.44	7681.75	11.61
Line 3	572.75	7681.75	13.41
Line 4	592.18	7681.75	12.97
Line 5	927.62	7681.75	8.28
Line 6	1022.91	7681.75	7.51
Line 7	1194.69	7681.75	6.43
Line 8	1109.63	7681.75	6.92

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	918.42	7681.75	8.36
Line 2	969.48	7681.75	7.92
Line 3	779.95	7681.75	9.85
Line 4	835.46	7681.75	9.19
Line 5	826.85	7681.75	9.29
Line 6	789.49	7681.75	9.73
Line 7	972.54	7681.75	7.90
Line 8	909.71	7681.75	8.44

Maksimum *Tension Offloading*

Maksimum *tension* tanpa *subsea buoy*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1210.85	7681.75	6.34
Line 2	1184.02	7681.75	6.49
Line 3	868.37	7681.75	8.85
Line 4	859.39	7681.75	8.94
Line 5	859.55	7681.75	8.94
Line 6	868.88	7681.75	8.84
Line 7	1145.93	7681.75	6.70
Line 8	1180.29	7681.75	6.51

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	812.17	7681.75	9.46
Line 2	772.53	7681.75	9.94
Line 3	928.76	7681.75	8.27
Line 4	950.01	7681.75	8.09
Line 5	993.82	7681.75	7.73
Line 6	958.55	7681.75	8.01
Line 7	1494.66	7681.75	5.14
Line 8	1375.79	7681.75	5.58

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	706.35	7681.75	10.88
Line 2	664.04	7681.75	11.57
Line 3	964.86	7681.75	7.96
Line 4	1013.91	7681.75	7.58
Line 5	1142.88	7681.75	6.72
Line 6	1073.12	7681.75	7.16
Line 7	1647.32	7681.75	4.66
Line 8	1366.54	7681.75	5.62

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	655.38	7681.75	11.72
Line 2	624.87	7681.75	12.29
Line 3	985.56	7681.75	7.79
Line 4	1047.38	7681.75	7.33
Line 5	1199.81	7681.75	6.40
Line 6	1105.64	7681.75	6.95
Line 7	1743.05	7681.75	4.41
Line 8	1483.06	7681.75	5.18

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1000.94	7681.75	7.67
Line 2	1035.62	7681.75	7.42
Line 3	1005.64	7681.75	7.64
Line 4	1131.97	7681.75	6.79
Line 5	1131.93	7681.75	6.79
Line 6	1005.63	7681.75	7.64
Line 7	1035.66	7681.75	7.42
Line 8	1000.97	7681.75	7.67

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 605 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1125.18	7681.75	6.83
Line 2	1133.28	7681.75	6.78
Line 3	708.95	7681.75	10.84
Line 4	717.14	7681.75	10.71
Line 5	719.99	7681.75	10.67
Line 6	711.56	7681.75	10.80
Line 7	1090.51	7681.75	7.04
Line 8	1092.47	7681.75	7.03

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	730.20	7681.75	10.52
Line 2	714.24	7681.75	10.76
Line 3	750.24	7681.75	10.24
Line 4	777.36	7681.75	9.88
Line 5	821.40	7681.75	9.35
Line 6	784.62	7681.75	9.79
Line 7	1500.63	7681.75	5.12
Line 8	1314.02	7681.75	5.85

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	605.09	7681.75	12.70
Line 2	591.55	7681.75	12.99
Line 3	796.28	7681.75	9.65
Line 4	856.11	7681.75	8.97
Line 5	986.10	7681.75	7.79
Line 6	887.28	7681.75	8.66
Line 7	1661.70	7681.75	4.62
Line 8	1300.06	7681.75	5.91

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	576.10	7681.75	13.33
Line 2	566.91	7681.75	13.55
Line 3	795.83	7681.75	9.65
Line 4	885.48	7681.75	8.68
Line 5	1050.39	7681.75	7.31
Line 6	915.01	7681.75	8.40
Line 7	1757.88	7681.75	4.37
Line 8	1406.91	7681.75	5.46

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	900.16	7681.75	8.53
Line 2	979.77	7681.75	7.84
Line 3	833.69	7681.75	9.21
Line 4	994.71	7681.75	7.72
Line 5	994.66	7681.75	7.72
Line 6	833.71	7681.75	9.21
Line 7	979.79	7681.75	7.84
Line 8	900.19	7681.75	8.53

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 577.5 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1135.69	7681.75	6.76
Line 2	1119.72	7681.75	6.86
Line 3	777.12	7681.75	9.88
Line 4	780.11	7681.75	9.85
Line 5	777.29	7681.75	9.88
Line 6	772.63	7681.75	9.94
Line 7	1163.79	7681.75	6.60
Line 8	1169.93	7681.75	6.57

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	765.22	7681.75	10.04
Line 2	736.11	7681.75	10.44
Line 3	562.60	7681.75	13.65
Line 4	840.66	7681.75	9.14
Line 5	888.09	7681.75	8.65
Line 6	855.83	7681.75	8.98
Line 7	1511.10	7681.75	5.08
Line 8	1346.52	7681.75	5.70

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	633.66	7681.75	12.12
Line 2	617.79	7681.75	12.43
Line 3	840.08	7681.75	9.14
Line 4	885.63	7681.75	8.67
Line 5	1006.79	7681.75	7.63
Line 6	944.16	7681.75	8.14
Line 7	1667.42	7681.75	4.61
Line 8	1326.12	7681.75	5.79

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	590.78	7681.75	13.00
Line 2	568.89	7681.75	13.50
Line 3	851.09	7681.75	9.03
Line 4	915.53	7681.75	8.39
Line 5	1067.51	7681.75	7.20
Line 6	978.05	7681.75	7.85
Line 7	1764.17	7681.75	4.35
Line 8	1423.67	7681.75	5.40

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	935.90	7681.75	8.21
Line 2	999.75	7681.75	7.68
Line 3	883.73	7681.75	8.69
Line 4	995.36	7681.75	7.72
Line 5	995.38	7681.75	7.72
Line 6	883.74	7681.75	8.69
Line 7	999.82	7681.75	7.68
Line 8	935.94	7681.75	8.21

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 550 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1184.09	7681.75	6.49
Line 2	1152.82	7681.75	6.66
Line 3	828.27	7681.75	9.27
Line 4	823.43	7681.75	9.33
Line 5	820.77	7681.75	9.36
Line 6	824.10	7681.75	9.32
Line 7	1193.89	7681.75	6.43
Line 8	1217.55	7681.75	6.31

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	807.76	7681.75	9.51
Line 2	769.67	7681.75	9.98
Line 3	868.42	7681.75	8.85
Line 4	886.70	7681.75	8.66
Line 5	934.84	7681.75	8.22
Line 6	908.22	7681.75	8.46
Line 7	1530.82	7681.75	5.02
Line 8	1389.41	7681.75	5.53

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	672.75	7681.75	11.42
Line 2	641.16	7681.75	11.98
Line 3	872.72	7681.75	8.80
Line 4	910.19	7681.75	8.44
Line 5	1033.56	7681.75	7.43
Line 6	990.70	7681.75	7.75
Line 7	1680.03	7681.75	4.57
Line 8	1371.21	7681.75	5.60

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	613.46	7681.75	12.52
Line 2	595.80	7681.75	12.89
Line 3	906.35	7681.75	8.48
Line 4	956.93	7681.75	8.03
Line 5	1102.26	7681.75	6.97
Line 6	1034.88	7681.75	7.42
Line 7	1774.10	7681.75	4.33
Line 8	1459.74	7681.75	5.26

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	979.32	7681.75	7.84
Line 2	1029.42	7681.75	7.46
Line 3	935.88	7681.75	8.21
Line 4	1010.14	7681.75	7.60
Line 5	1010.15	7681.75	7.60
Line 6	935.89	7681.75	8.21
Line 7	1029.46	7681.75	7.46
Line 8	979.36	7681.75	7.84

Maksimum *tension* dengan posisi *subsea buoy* 522.5 m dari *anchor*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1147.79	7681.75	6.69
Line 2	1119.07	7681.75	6.86
Line 3	865.14	7681.75	8.88
Line 4	859.40	7681.75	8.94
Line 5	855.92	7681.75	8.97
Line 6	858.82	7681.75	8.94
Line 7	1158.35	7681.75	6.63
Line 8	1179.46	7681.75	6.51

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	833.26	7681.75	9.22
Line 2	789.86	7681.75	9.73
Line 3	909.71	7681.75	8.44
Line 4	920.70	7681.75	8.34
Line 5	972.17	7681.75	7.90
Line 6	958.27	7681.75	8.02
Line 7	1535.46	7681.75	5.00
Line 8	1411.75	7681.75	5.44

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	707.31	7681.75	10.86
Line 2	670.11	7681.75	11.46
Line 3	927.50	7681.75	8.28
Line 4	939.89	7681.75	8.17
Line 5	1044.65	7681.75	7.35
Line 6	1016.27	7681.75	7.56
Line 7	1697.28	7681.75	4.53
Line 8	1421.44	7681.75	5.40

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	653.64	7681.75	11.75
Line 2	611.53	7681.75	12.56
Line 3	953.34	7681.75	8.06
Line 4	992.78	7681.75	7.74
Line 5	1135.22	7681.75	6.77
Line 6	1082.47	7681.75	7.10
Line 7	1785.65	7681.75	4.30
Line 8	1501.31	7681.75	5.12

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1011.88	7681.75	7.59
Line 2	1054.52	7681.75	7.28
Line 3	979.49	7681.75	7.84
Line 4	1030.02	7681.75	7.46
Line 5	1030.03	7681.75	7.46
Line 6	979.50	7681.75	7.84
Line 7	1054.57	7681.75	7.28
Line 8	1011.92	7681.75	7.59

Maksimum *tension* dua *subsea buoy*

Arah Pembebanan 0°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	1131.71	7681.75	6.79
Line 2	1134.60	7681.75	6.77
Line 3	607.63	7681.75	12.64
Line 4	613.47	7681.75	12.52
Line 5	613.47	7681.75	12.52
Line 6	607.63	7681.75	12.64
Line 7	1134.58	7681.75	6.77
Line 8	1131.70	7681.75	6.79

Arah Pembebanan 45°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	732.92	7681.75	10.48
Line 2	723.71	7681.75	10.61
Line 3	637.97	7681.75	12.04
Line 4	662.31	7681.75	11.60
Line 5	727.84	7681.75	10.55
Line 6	683.46	7681.75	11.24
Line 7	1435.49	7681.75	5.35
Line 8	1253.39	7681.75	6.13

Arah Pembebanan 90°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	628.85	7681.75	12.22
Line 2	624.79	7681.75	12.30
Line 3	657.82	7681.75	11.68
Line 4	707.90	7681.75	10.85
Line 5	805.86	7681.75	9.53
Line 6	757.59	7681.75	10.14
Line 7	1431.95	7681.75	5.36
Line 8	1187.50	7681.75	6.47

Arah Pembebanan 135°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	581.45	7681.75	13.21
Line 2	578.74	7681.75	13.27
Line 3	667.78	7681.75	11.50
Line 4	743.08	7681.75	10.34
Line 5	879.89	7681.75	8.73
Line 6	783.90	7681.75	9.80
Line 7	1612.92	7681.75	4.76
Line 8	1295.05	7681.75	5.93

Arah Pembebanan 180°

Line	Max. Tension (kN)	MBL (kN)	SF
Line 1	939.30	7681.75	8.18
Line 2	1013.99	7681.75	7.58
Line 3	652.78	7681.75	11.77
Line 4	681.80	7681.75	11.27
Line 5	681.81	7681.75	11.27
Line 6	652.79	7681.75	11.77
Line 7	1014.03	7681.75	7.58
Line 8	939.26	7681.75	8.18

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Madea Eka Silfiani dilahirkan di Kota Nganjuk, Jawa Timur pada tanggal 29 Maret 1997, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Negeri Ngliman 1 Nganjuk pada tahun 2003-2009, kemudian melanjutkan Pendidikan di SMP Negeri 2 Wungu Madiun pada tahun 2009-2012 dan SMA Negeri 1 Nganjuk pada tahun 2012-2015. Setelah menyelesaikan Pendidikan SMA, penulis diterima

di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama masa perkuliahan penulis aktif mengikuti kegiatan seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan bidang Sosmas. Penulis juga pernah menjadi panitia dalam berbagai kegiatan mahasiswa diantaranya menjadi Koordinator kesekretariatan OCEANO pada tahun 2018 dan menjadi panitia dalam International Seminar on Ocean and Coastal Engineering (ISOCEEN) 2018. Pada tahun 2018 penulis berkesempatan untuk kerja praktek di PT. PAL INDONESIA (PERSERO) Surabaya selama 2 bulan. Selama menempuh pendidikan S-1 selama 4 tahun, penulis tertarik dalam bidang hidrodinamika dan perancangan struktur lepas pantai sehingga dalam tugas akhir ini mengambil topik yang berhubungan dengan sistem tambat bangunan apung.

Kontak Penulis

Email : madeaasilfianii@gmail.com

Telepon : +6282244789316