



TUGAS AKHIR - MO 141326

ANALISIS UMUR KELELAHAN STRUKTUR *CATENARY ANCHORED LEG MOORING BUOY* PADA *SINGLE POINT MOORING* FSO ARCO ARDJUNA SAAT KONDISI TERTAMBAT

Wiradhani Pratama

NRP. 4311 100 001

DOSEN PEMBIMBING :

**Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.**

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015



FINAL PROJECT - MO 141326

***FATIGUE LIFE ANALYSIS OF CATENARY ANCHORED LEG
MOORING BUOY STRUCTURE ON SINGLE POINT MOORING
FSO ARCO ARDJUNA DUE TO THE INFLUENCE OF
MOORING CONDITION***

Wiradhani Pratama

NRP. 4311 100 001

SUPERVISORS :

Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.

DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2015

**ANALISIS UMUR KELELAHAN STRUKTUR *CATENARY*
ANCHORED LEG MOORING BUOY PADA SINGLE POINT
MOORING FSO ARCO ARDJUNA SAAT KONDISI
TERTAMBAT**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

WIRADHANI PRATAMA

NRP. 4311 100 001

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Nur Syahroni(Pembimbing 1)

2. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng.(Pembimbing 2)



SURABAYA, AGUSTUS 2015

**ANALISIS UMUR KELELAHAN STRUKTUR *CATENARY ANCHORED
LEG MOORING BUOY* PADA *SINGLE POINT MOORING* FSO ARCO
ARDJUNA SAAT KONDISI TERTAMBAT**

Nama Mahasiswa : Wiradhani Pratama
NRP : 4311100001
Jurusan : Teknik Kelautan – FTK ITS
Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

ABSTRAK

Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisa umur kelelahan struktur *catenary anchored leg mooring buoy* pada *single point mooring* FSO Arco Ardjuna saat kondisi tertambat. Analisa ini dilakukan karena masa pengoperasian FSO Arco Ardjuna akan diperpanjang, oleh karena itu perlu dilakukan analisis umur kelelahan struktur SPM yang dimana merupakan salahsatu fungsi *mooring* pada FSO Arco Ardjuna. Dengan mengetahui perilaku gerak antara FSO Arco Ardjuna dan *Single Point Mooring* akibat beban lingkungan perairan pada kondisi tertambat, akan didapatkan nilai *tension* pada *anchor legs* dan *hawser* dari beberapa konfigurasi pembebanan. Selain itu, akan diketahui nilai tekanan hidrostatis dan akselerasi pada struktur *Single Point Mooring* sebagai *input* dalam analisis tegangan struktur global. Setelah itu dilakukan analisa tegangan global struktur *Single Point Mooring* dengan beban *tension* pada *anchor legs* dan *hawser*, selain itu juga beban tekanan hidrostatis, akselerasi struktur dan beban berat keseluruhan struktur itu sendiri. Dari hasil tegangan global, dilakukan perhitungan umur kelelahan struktur SPM dengan menggunakan metode S-N Curve berdasarkan hukum kegagalan *Palmgren Miner* dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue* menggunakan metode *simplified*. Dari hasil pemodelan numerik yang dilakukan, diketahui bahwa perilaku gerak terbesar pada FSO Arco Ardjuna yaitu sebesar 1.104 deg/m untuk gerakan *roll* saat kondisi *light load* dan 3.968 deg/m untuk gerakan *heave* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*. Untuk hasil *tension* pada *anchor legs* terbesar yaitu 571.51 kN pada *anchor leg1* pada arah 0^0 dengan *safety factor* 12.34, dimana hasil ini memenuhi syarat yang dianjurkan oleh ABS yaitu 1.67. Sedangkan hasil *tension* pada *hawser* terbesar yaitu 997.07 kN pada *hawser 2* pada arah 0^0 dengan *safety factor* 4.11, dimana hasil ini masih memenuhi syarat yang dianjurkan oleh ABS yaitu 1.82. Setelah itu, didapatkan tegangan maksimum pada struktur SPM sebesar 137.16 MPa dan deformasi sebesar 5.6 mm. Hasil ini masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin dan deformasi yang dianjurkan oleh ABS yaitu 225 MPa dan 11.2 mm. Berdasarkan tegangan maksimum tersebut, diperoleh hasil umur kelelahan konstruksi bolder yaitu 68 tahun selama umur operasi.

Kata Kunci : *hot-spot stress, maximum principal stress, simplified fatigue assessment, single point mooring*

**FATIGUE LIFE ANALYSIS OF CATENARY ANCHORED LEG
MOORING BUOY STRUCTURE ON SINGLE POINT MOORING FSO
ARCO ARDJUNA DUE TO THE INFLUENCE OF MOORING
CONDITION**

Name : Wiradhani Pratama
NRP : 4311100001
Department : Teknik Kelautan – FTK ITS
Supervisors : Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D.
Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

ABSTRACT

In this paper, fatigue life that occur in catenary anchored leg mooring buoy structure on single point mooring FSO Arco Ardjuna due to the influence of mooring condition. This analyzing due to operation life of FSO Arco Ardjuna becomes longer, so it is important to do fatigue analysis for Single Point Mooring that became one of mooring function of FSO Arco Ardjuna. This case study begins with motion analysis of FSO and Single Point Mooring due to the environment load in mooring condition, then the tension of anchor legs and hawser will be found due to mooring condition. In addition, it will be known the hydrostatic pressure and structure acceleration of Single Point Mooring that used for input of global stress analysis. Based of tension of anchor legs and hawser, and so hydrostatic pressure, structure acceleration and structure's self weight, global stress analysis of Single Point Mooring structure will be done. From the results of the global stress, the calculation will be known for the fatigue life analysis of SPM structure by using S-N curve method based of Palmgren Miner's rules with estimate the cumulative fatigue damage using the method of simplified. Based on the modeling, it is known that the dominant motion for FSO Arco Ardjuna is 1.104 deg/m in roll at light condition and 3.968 deg/m in heave for SPM that moored with full load condition of FSO Arco Ardjuna. Based on the simulation carried out to obtain the maximum tension, the maximum anchor leg tension obtained on the anchor leg 1 is 571.51 kN at heading 0⁰ and the safety factor is 12.34. That safety factor was requires by ABS, which is 1.67. And the maximum hawser tension obtained on the hawser 2 is 997.07 kN at heading 0⁰ and the safety factor is 4.11. That safety factor was requires too by ABS, which is 1.82. While, the global stress analysis of SPM structure with maximum stress of 137.16 MPa and maximum deformation of 5.6 mm. This stress and deformation is less than the allowable maximum stress required by ABS, 225 MPa and 11.2 mm. based on the maximum stress, obtained the result of fatigue life in bolder construction is 68 years as long as the operation.

Keywords : hot-spot stress, maximum principal stress, simplified fatigue assessment, single point mooring

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul, “**Analisis Umur Kelelahan Struktur *Catenary Anchored Leg Mooring Buoy* Pada *Single Point Mooring* FSO Arco Ardjuna Saat Kondisi Tertambat**” ini dengan tepat waktu dan tanpa halangan yang berarti.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini berisi tentang analisis gerakan pada SPM saat kondisi tertambat dengan FSO Arco Ardjuna, kemudian didapatkan *tension* pada *anchor legs* dan *hawser* yang menghubungkan antara SPM dengan FSO untuk dipakai sebagai pembebanan pada pemodelan global struktur sehingga didapatkan hasil tegangan maksimum dan dilanjutkan dengan perhitungan umur kelelahan struktur untuk mengetahui apakah struktur masih aman untuk beroperasi.

Penulis mengharapkan saran dan kritik dari para pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan penyusunan dan penulisan berikutnya. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan, bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis sendiri pada khususnya..

Surabaya, Agustus 2015

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori.....	8
2.2.1 Moda Gerak Struktur Apung.....	8
2.2.2 Konsep Pembebanan	9
2.2.3 Beban Gelombang.....	10
2.2.4 Beban Arus.....	10
2.2.5 Beban Angin	11
2.2.6 <i>Response Amplitude Operator (RAO)</i>	11
2.2.7 Spektrum Gelombang	12
2.2.8 Respon Spektra	13
2.2.9 <i>Offset</i> dan <i>Tension</i> maksimum.....	13
2.2.10 <i>Boundary Condition</i> dan <i>meshing</i>	14

2.2.11	Tegangan Maksimum Utama	16
2.2.12	Metode Perhitungan Kelelahan	16
2.2.13	Kurva S-N	18
2.2.14	Penaksiran kelelahan sederhana (<i>Simplified Fatigue Assessment</i>)	19
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Prosedur Penelitian	23
3.3	Pengumpulan Data	26
BAB IV	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Pemodelan Struktur	31
4.1.1	FSO Arco Ardjuna	31
4.1.2	<i>Single Point Mooring</i>	33
4.2	Hidrostatik	34
4.3	Konfigurasi Arah Pembebanan Gelombang	36
4.4	<i>Response Amplitude Operator</i>	37
4.4.1	FSO Arco Ardjuna kondisi mooring	37
4.4.1.1	<i>Light Load – Mooring</i>	38
4.4.1.2	<i>Full Load – Mooring</i>	45
4.4.2	<i>Single Point Mooring</i> kondisi mooring	53
4.4.2.1	<i>Single Point Mooring</i> kondisi mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi <i>light load</i>	53
4.4.2.2	<i>Single Point Mooring</i> kondisi mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi <i>full load</i>	61
4.5	Spektrum Gelombang	68
4.6	Respon Spektra FSO Arco Ardjuna saat kondisi tertambat	69
4.6.1	Respon Spektra FSO Arco Ardjuna – <i>light load</i>	69
4.6.2	Respon Spektra FSO Arco Ardjuna – <i>full load</i>	76
4.7	Respon Spektra <i>Single Point Mooring</i> saat kondisi tertambat	83
4.7.1	Respon Spektra <i>Single Point Mooring</i> tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi <i>light load</i>	84

4.7.2 Respon Spektra <i>Single Point Mooring</i> tertambat dengan FSO	
Arco Ardjuna kondisi <i>full load</i>	91
4.8 Analisis Tegangan Pada <i>Anchor Legs</i> dan <i>Hawser</i>	98
4.9 Analisis Tekanan Hidrostatik dan <i>Structure Acceleration</i>	102
4.10 Pemodelan Struktur <i>Single Point Mooring</i>	103
4.11 <i>Sensitivity Meshing Analysis</i>	106
4.12 Pembebanan pada ANSYS Mechanical	108
4.12 Analisis Tegangan Pada Struktur SPM	111
4.13 Analisis Umur Kelelahan Struktur SPM	113
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	117
5.1 Kesimpulan	117
5.2 Saran	119
DAFTAR PUSTAKA	121
LAMPIRAN A	
LAMPIRAN B	
LAMPIRAN C	
LAMPIRAN D	
LAMPIRAN E	
LAMPIRAN F	
LAMPIRAN G	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Principle dimension dan data hidrostatis FSO Arco Ardjuna	26
Tabel 3.2 Main dimension CALM buoy	27
Tabel 3.3 Karakteristik anchor legs	27
Tabel 3.4 Karakteristik mooring hawser	28
Tabel 3.5 Data lingkungan	29
Tabel 4.1 Main dimension CALM buoy	33
Tabel 4.2 Data hidrostatis model FSO Arco Ardjuna dari software Maxsurf.....	35
Tabel 4.3 Koreksi hidrostatis data dengan model Maxsurf.....	36
Tabel 4.4 Nilai maksimum RAO FSO Arco Ardjuna light condition	45
Tabel 4.5 Nilai maksimum RAO FSO Arco Ardjuna full condition	52
Tabel 4.6 Nilai maksimum RAO SPM tertambat dengan FSO Arco Ardjuna light condition.....	60
Tabel 4.7 Nilai maksimum RAO SPM tertambat dengan FSO Arco Ardjuna full condition.....	68
Tabel 4.8 Analisis tension maksimum pada anchor legs pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load.....	99
Tabel 4.9 Analisis tension maksimum pada anchor legs pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load	100
Tabel 4.10 Analisis tension maksimum pada hawser pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load.....	100
Tabel 4.11 Analisis tension maksimum pada hawser pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load	100
Tabel 4.12 Analisis tension minimum pada anchor legs pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load.....	101
Tabel 4.13 Analisis tension minimum pada anchor legs pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load	101

Tabel 4.14 Analisis tension minimum pada hawser pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load.....	102
Tabel 4.15 Analisis tension minimum pada hawser pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load	102
Tabel 4.16 Tekanan hidrostatis dan percepatan struktur SPM.....	103
Tabel 4.17 Tabulasi hasil Maximum Principal Stress untuk variasi kerapatan meshing	107
Tabel 4.18 dan Tabal 4.19 di bawah ini menjelaskan perhitungan hot-spot stress dengan menggunakan faktor 1.12	114
Tabel 4.18 Perhitungan Hot-Spot Stress	114
Tabel 4.19 Perhitungan Hot-Spot Stress Range.....	115
Tabel 4.21 Hasil perhitungan kelelahan struktur SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load.....	116
Tabel 4.19 Hasil perhitungan kelelahan struktur SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load	116

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 FSO (Floating Storage and Offloading System) Arco Ardjuna	2
Gambar 1.2. Single Point Mooring	3
Gambar 2.1 General Arrangement FSO Arco Ardjuna.....	8
Gambar 2.2 Moda gerak struktur apung	9
Gambar 2.3 Pembuatan mesh pada konstruksi kapal.....	15
Gambar 2.4 Tegangan Maksimum Utama	16
Gambar 2.5 Kurva S-N	19
Gambar 3.1 Flowchart penyelesaian Tugas Akhir.....	23
Gambar 3.2 Anchor legs pattern	28
Gambar 4.1 General Arrangement FSO Arco Ardjuna.....	31
Gambar 4.2 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak samping (sheer plan).....	32
Gambar 4.3 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak depan (body plan)	32
Gambar 4.4 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak atas (half breadth plan)	32
Gambar 4.5 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak isometri	33
Gambar 4.6 Hasil pemodelan Single Point Mooring pada Autocad tampak 2- dimensi	34
Gambar 4.7 Hasil pemodelan Single Point Mooring pada Autocad tampak 3- dimensi	34

Gambar 4.8 Konfigurasi arah pembebanan gelombang.....	36
Gambar 4.9 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 0 derajat.....	38
Gambar 4.10 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 0 derajat.....	38
Gambar 4.11 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 30 derajat.....	39
Gambar 4.12 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 30 derajat.....	39
Gambar 4.13 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 60 derajat.....	40
Gambar 4.14 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 60 derajat.....	40
Gambar 4.15 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 90 derajat.....	41
Gambar 4.16 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 90 derajat.....	41
Gambar 4.17 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 120 derajat.....	42
Gambar 4.18 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 120 derajat.....	42
Gambar 4.19 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 150 derajat.....	43
Gambar 4.20 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 150 derajat.....	43

Gambar 4.21 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 180 derajat.....	44
Gambar 4.22 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi light load saat mooring dengan heading pembebanan 180 derajat.....	44
Gambar 4.23 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 0 derajat.....	45
Gambar 4.24 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 0 derajat.....	46
Gambar 4.25 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 30 derajat.....	46
Gambar 4.26 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 30 derajat.....	47
Gambar 4.27 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 60 derajat.....	47
Gambar 4.28 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 60 derajat.....	48
Gambar 4.29 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 90 derajat.....	48
Gambar 4.30 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 90 derajat.....	49
Gambar 4.31 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 120 derajat.....	49
Gambar 4.32 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 120 derajat.....	50

Gambar 4.33 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 150 derajat.....	50
Gambar 4.34 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 150 derajat.....	51
Gambar 4.35 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 180 derajat.....	51
Gambar 4.36 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi full load saat mooring dengan heading pembebanan 180 derajat.....	52
Gambar 4.37 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	53
Gambar 4.38 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	54
Gambar 4.39 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	54
Gambar 4.40 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	55
Gambar 4.41 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	55
Gambar 4.42 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	56

Gambar 4.43 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	56
Gambar 4.44 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	57
Gambar 4.45 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	57
Gambar 4.46 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	58
Gambar 4.47 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	58
Gambar 4.48 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	59
Gambar 4.49 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	59
Gambar 4.50 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	60
Gambar 4.51 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	61

Gambar 4.52 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	61
Gambar 4.53 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	62
Gambar 4.54 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	62
Gambar 4.55 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	63
Gambar 4.56 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	63
Gambar 4.57 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	64
Gambar 4.58 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	64
Gambar 4.59 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	65
Gambar 4.60 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	65

Gambar 4.61 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	66
Gambar 4.62 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	66
Gambar 4.63 Grafik RAO gerakan translasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	67
Gambar 4.64 Grafik RAO gerakan rotasi pada Single Point Mooring saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	67
Gambar 4.65 Spektrum Jonswap Perairan Laut Jawa dengan $H_s = 1,8$ m	68
Gambar 4.66 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 0 derajat.....	69
Gambar 4.67 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 0 derajat	70
Gambar 4.68 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 30 derajat.....	70
Gambar 4.69 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 30 derajat	71
Gambar 4.70 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 60 derajat.....	71

Gambar 4.71 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 60 derajat	72
Gambar 4.72 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 90 derajat.....	72
Gambar 4.73 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 90 derajat	73
Gambar 4.74 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 120 derajat.....	73
Gambar 4.75 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 120 derajat	74
Gambar 4.76 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 150 derajat.....	74
Gambar 4.77 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 150 derajat	75
Gambar 4.78 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 180 derajat.....	75
Gambar 4.79 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi light load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 180 derajat	76
Gambar 4.80 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 0 derajat.....	76

Gambar 4.81 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 0 derajat .	77
Gambar 4.82 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 30 derajat.....	77
Gambar 4.83 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 30 derajat	78
Gambar 4.84 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 60 derajat.....	78
Gambar 4.85 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 60 derajat	79
Gambar 4.86 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 90 derajat.....	79
Gambar 4.87 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 90 derajat	80
Gambar 4.88 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 120 derajat.....	80
Gambar 4.89 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 120 derajat	81
Gambar 4.90 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 150 derajat.....	81
Gambar 4.91 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 150 derajat	82
Gambar 4.92 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 180 derajat.....	82
Gambar 4.93 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi full load tertambat dengan SPM dengan heading pembebanan 180 derajat	83
Gambar 4.94 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	84

Gambar 4.95 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	84
Gambar 4.96 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	85
Gambar 4.97 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	85
Gambar 4.98 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	86
Gambar 4.99 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	86
Gambar 4.100 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	87
Gambar 4.101 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	87
Gambar 4.102 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	88
Gambar 4.103 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	88
Gambar 4.104 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	89
Gambar 4.105 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	89
Gambar 4.106 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	90

Gambar 4.107 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	90
Gambar 4.108 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	91
Gambar 4.109 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 0 derajat.....	91
Gambar 4.110 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	92
Gambar 4.111 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 30 derajat.....	92
Gambar 4.112 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	93
Gambar 4.113 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 60 derajat.....	93
Gambar 4.114 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	94
Gambar 4.115 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 90 derajat.....	94
Gambar 4.116 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	95
Gambar 4.117 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 120 derajat.....	95
Gambar 4.118 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	96

Gambar 4.119 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 150 derajat.....	96
Gambar 4.120 Grafik respon spektra gerakan translasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	97
Gambar 4.121 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi full load dengan heading pembebanan 180 derajat.....	97
Gambar 4.122 Pemodelan pada software ANSYS Aqwa tampak samping.....	98
Gambar 4.123 Pemodelan pada software ANSYS Aqwa tampak isometric	99
Gambar 4.125 Hasil pemodelan global pada Autocad – tampak atas.....	104
Gambar 4.126 Hasil pemodelan global pada Autocad – tampak samping	104
Gambar 4.127 Hasil pemodelan global pada Autocad – isometris	105
Gambar 4.128 Hasil pemodelan global pada ANSYS Mechanical	105
Gambar 4.129 Meshing struktur	106
Gambar 4.130 Refinement di daerah kritis	107
Gambar 4.131 Sensitivitas meshing model struktur SPM	108
Gambar 4.132 Beban akselerasi struktur	109
Gambar 4.133 Beban berat struktur	110
Gambar 4.134 Beban tekanan hidrostatis	110
Gambar 4.135 Tension hawser.....	111
Gambar 4.136 Tension Anchor Legs	111
Gambar 4.137 Deformasi pada struktur SPM.....	112
Gambar 4.138 Maximum stress struktur.....	112
Gambar 4.139 Penomoran titik-titik kritis pada struktur SPM	113
Gambar 4.140 Konstruksi kritis	114

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Infrastruktur lepas pantai dapat dikatakan jika infrastruktur tersebut terlepas langsung dari daratan, baik itu struktur tetap maupun terapung. Contoh dari infrastruktur lepas pantai seperti bangunan eksplorasi minyak dan gas bumi, pembangkit listrik tenaga laut, bandara terapung, dan lain-lain. *Floating structure* atau struktur terapung merupakan jenis bangunan lepas pantai yang dibiarkan terapung di lautan lepas. Jenis dari struktur terapung ini seperti semi-submersible, spar, kapal, dan lain-lain. Jenis bangunan ini umumnya dibuat bebas bergerak dalam 6 (enam) derajat kebebasan (*heave, surge, sway, pitch, roll, dan yaw*). Untuk menahan keenam gerakan ini, struktur terapung dibantu oleh sistem *mooring*.

Berkembangnya teknologi pengeboran migas lepas pantai menyebabkan kecenderungan untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi di laut dalam dengan menggunakan struktur terapung (*floating structure*). FSO merupakan fasilitas terapung yang dioperasikan di suatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang berfungsi untuk menerima, menyimpan, dan menyalurkan hidrokarbon. Struktur FSO terdiri dari sebuah struktur apung berbentuk sebuah kapal (dapat berupa bangunan baru atau modifikasi dari kapal tanker) berukuran besar yang ditambatkan secara permanen di tempat operasinya. Dalam penelitian ini membahas mengenai SPM pada FSO Arco Ardjuna.



Gambar 1.1 FSO (Floating Storage and Offloading System) Arco Ardjuna

(Sumber: <http://ekanuri.com>)

Sarana tambat apung (*mooring buoy*) banyak digunakan dalam kegiatan tambat lepas kapal tanker khususnya yang mengangkut minyak seperti pada Gambar 1.1 di atas. Hal ini ditempuh selain dari faktor ekonomis juga pertimbangan faktor keselamatan, *draft* kapal dan praktis karena sarana ini dapat dipindah-pindahkan sesuai kebutuhan migas. Ada beberapa sarana *buoy* tambat yang telah ada saat ini, salah satunya adalah SPM/SBM (*Single Point Mooring*). SPM (*Single Point Mooring*) adalah struktur yang memiliki sistem penambatan dan *cargo transfer* yang terintegrasi dimana tanker dapat bertambat pada haluannya dan memungkinkan *loading hose* berputar mengikuti posisi tanker yang dipengaruhi oleh gelombang dan arus selama pelaksanaan bongkar muat.

Sistem *mooring* dimanfaatkan untuk menahan pergerakan bangunan terapung agar tetap pada posisinya. Beragam jenis sistem *mooring* yang telah ada salah satunya adalah sistem *catenary mooring*. *Catenary* merupakan sebuah struktur berbentuk kurva yang biasanya berupa kabel ataupun rantai, menggantung bebas akibat bebannya sendiri. Penambat

struktur terapung yang menggunakan prinsip *catenary mooring* bertujuan untuk memanfaatkan berat *mooring* sehingga struktur terapung tertahan di posisinya selama mendapatkan gangguan dari lingkungan laut seperti pada Gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.2. Single Point Mooring

(Sumber: <http://ekanuri.com>)

Kelelahan (fatigue) pada struktur masih menjadi penyebab mayoritas kerusakan pada bangunan laut termasuk mayoritas kerusakan pada bangunan laut termasuk struktur SPM. Perkiraan umur kelelahan dilakukan berdasar pada fluktuasi beban yang akan diterima struktur selama masa operasinya. Beban yang diterima bangunan laut lebih didominasi oleh beban gelombang sehingga menyebabkan bangunan laut mempunyai kecenderungan lebih tinggi untuk mengalami kelelahan, selain itu faktor operasi pada tingkat tertentu menambah beban siklis sehingga struktur menjadi bertambah kritis (Djatkiko, 2003).

Pada kasus ini, *buoy* memerlukan adanya analisis umur kelelahan struktur yang dijadikan sebagai acuan apakah struktur tersebut masih layak untuk dioperasikan atau tidak. Dengan memodelkan FSO Arco Ardjuna dan SPM (*Single Point Mooring*) dalam kondisi tertambat, akan didapatkan respon struktur akibat adanya eksitasi gelombang pada FSO dan SPM.

Selanjutnya mencari tegangan global yang terjadi pada struktur SPM (*Single Point Mooring*) dalam kondisi tertambat yang didapatkan dari analisa tegangan pada *hawser* dan rantai jangkar pada SPM. Sehingga didapatkan umur kelelahan dari konstruksi SPM dengan menggunakan kurva S-N sesuai dengan hukum Palmgren Miner dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue* dengan menggunakan metode *simplified fatigue assessment*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana karakteristik respon struktur yang terjadi pada FSO Arco Ardjuna dan SPM (*Single Point Mooring*) akibat beban gelombang pada saat kondisi terapung bebas maupun saat kondisi tertambat?
2. Berapa besar tegangan pada *hawser* yang menghubungkan FSO Arco Ardjuna dengan SPM, dan *anchor legs* pada saat kondisi tertambat ?
3. Berapa besar tegangan global maksimum yang terjadi pada struktur SPM dan umur kelelahan struktur SPM (*Single Point Mooring*) akibat pengaruh beban siklis pada saat kondisi tertambat dengan FSO?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung karakteristik respon struktur yang terjadi pada FSO Arco Ardjuna dan SPM (*Single Point Mooring*) akibat beban gelombang pada saat kondisi terapung bebas maupun saat kondisi tertambat.
2. Menghitung besar tegangan pada *hawser* yang menghubungkan FSO Arco Ardjuna dengan SPM, dan *anchor legs* pada saat kondisi tertambat
3. Menghitung besar tegangan global maksimum yang terjadi pada struktur SPM dan umur kelelahan struktur SPM (*Single Point Mooring*) akibat pengaruh beban siklis pada saat kondisi tertambat dengan FSO

1.4 Manfaat

Dalam penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi industri eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi yang berlangsung di Indonesia. Secara spesifik manfaat daripada penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui prosedur dalam menganalisis dan menghitung karakteristik respon pada struktur SPM (*Single Point Mooring*) dan FSO Arco Ardjuna pada saat kondisi tertambat satu sama lain dan juga mengetahui nilai tegangan pada *anchor legs* dan juga *hawser* yang menghubungkan SPM dengan FSO pada saat kondisi tertambat.
2. Dapat mengetahui cara untuk menganalisis dan menghitung umur kelelahan pada struktur SPM (*Single Point Mooring*) akibat adanya beban siklis pada saat kondisi tertambat dengan FSO.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini antara lain :

1. Penelitian ini merupakan studi kasus pada FSO Arco Ardjuna milik Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java* (PHE ONWJ).
2. Sistem tambat yang digunakan adalah *single point mooring* tipe CALM (*Catenary Anchored Leg Mooring*) buoy.
3. *Heading* pembebanan pada *head sea*, *quartering sea*, *beam sea*, dan *following sea*.
4. Sistem *offloading side by side* dan tandem tidak diperhitungkan.
5. Pemodelan dan pergerakan *subsea hose* maupun *floating hose* diabaikan.
6. Validasi Maxsurf FSO Arco Ardjuna pada kondisi *Light Condition* dan *Full Condition*.
7. Pemodelan mekanisme konstruksi *turn table* pada *Single Point Mooring* diasumsikan *fix*

8. Beban yang digunakan untuk analisa tegangan dan umur kelelahan struktur yaitu *hawser tension* dan *anchoring legs tension*, *hydrostatic pressure*, *structure acceleration*, dan beban berat strutur SPM sendiri.
9. Analisis *fatigue* pada struktur FSO menggunakan metode S-N Curve dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue (cumulative fatigue damage)* menggunakan metode *simplified fatigue assessment*.
10. Analisis *fatigue* sampai 30 tahun masa operasi

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

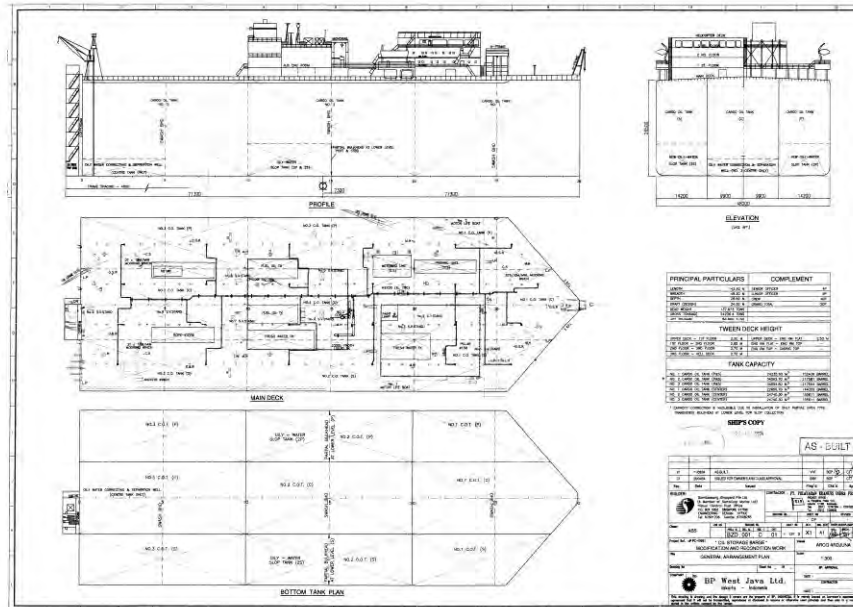
Single Point Mooring (SPM) seringkali digunakan pada eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas untuk menahan tegangan yang terjadi pada FSO akibat adanya beban lingkungan yang terjadi. Sedangkan beban lingkungan yang selama ini memiliki pengaruh paling signifikan adalah beban gelombang di perairan laut. FSO merupakan fasilitas terapung yang dioperasikan di suatu ladang minyak dan gas bumi lepas pantai yang berfungsi untuk menerima, menyimpan, dan menyalurkan hidrokarbon.

Struktur FSO terdiri dari sebuah struktur apung berbentuk sebuah kapal (dapat berupa bangunan baru atau modifikasi dari kapal tanker) berukuran besar yang ditambatkan secara permanen di tempat operasinya. Dalam penelitian ini membahas mengenai SPM pada FSO Arco Ardjuna. Untuk dapat menahan beban yang cukup besar tersebut, *buoy* telah di desain sedemikian rupa agar mampu menahan beban yang diterimanya pada saat FSO dalam kondisi tertambat. Oleh karena itu dibutuhkan analisa *fatigue* untuk mengetahui umur kelelahan daripada struktur *buoy* sebagai acuan apakah struktur tersebut masih dapat untuk dioperasikan atau perlu dilakukan pemeliharaan lebih lanjut.

Data Ukuran Utama Arco Ardjuna adalah sebagai berikut :

<i>Length</i>	(Loa) : 142,6 m
<i>Breadth</i>	(B) : 48,2 m
<i>Depth</i>	(H) : 26,5 m
<i>Draft Light Load</i>	(T) : 2,50 m
<i>Draft Full Load</i>	: 24,00 m
<i>Displacement</i>	(Δ) : 153,202 Ton

Sebagai gambaran umum dari FSO Arco Ardjuna, dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini.



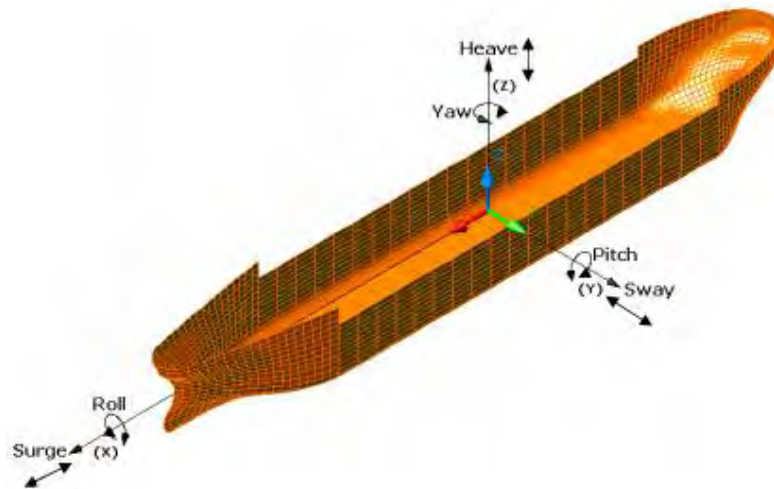
Gambar 2.1 General Arrangement FSO Arco Ardjuna

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Moda Gerak Struktur Apung

Setiap struktur apung yang bergerak di atas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri 6 (enam) macam gerakan, yang dapat dikategorikan dalam 3 (tiga) gerakan translasional dan 3 (tiga) gerakan rotasional. Macam-macam gerakan dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini meliputi:



Gambar 2.2 Moda gerak struktur apung

(Sumber: Ramadhan, 2010)

- a. *Surging* : Gerak osilasi translasi pada sumbu-x
- b. *Swaying* : Gerak osilasi translasi terhadap sumbu-y
- c. *Heaving* : Gerak osilasi translasi terhadap sumbu-z
- d. *Rolling* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
- e. *Pitching* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
- f. *Yawing* : Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

2.2.2 Konsep Pembebanan

Suatu sistem *mooring* dianalisa dengan berdasarkan desain kriteria yang dapat diformulasikan dalam 3 batasan yang telah ditetapkan, yaitu (DNV):

1. *Ultimate Limit State* (ULS), untuk memastikan bahwa sebuah struktur cukup kuat untuk bertahan terhadap efek beban yang ditimbulkan oleh beban lingkungan pada kondisi ekstrem.

2. *Accidental Limit State* (ALS), untuk memastikan bahwa suatu sstruktur memiliki kapasistas yang cukup untuk bertahan pada kegagalan sebuah sistem struktur yang dimana penyebab dari terjadinya kegagalan tidak diketahui
3. *Fatigue Limit State* (FLS), untuk memastikan bahwa sebuah struktur memiliki kapasitas yang cukup untuk bertahan pada beban bersifat siklis.

2.2.3 Beban Gelombang

Widodo (2010), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa beban yang dapat menyebabkan terjadinya kelelahan pada struktur adalah beban yang bersifat siklik. Dalam tugas akhir ini akan divariasikan berbagai kondisi pembebanan gelombang dengan mengacu pada data kondisi lingkungan tempat FSO dan SPM beroperasi.

Gelombang yang digerakkan oleh angin adalah komponen utama dari beban lingkungan yang mempengaruhi struktur bangunan apung lepas pantai. Gelombang-gelombang tersebut bersifat random, bervariasi berdasarkan tinggi dan panjang, dan untuk aplikasi pada bangunan apung lepas pantai perlu dilakukan pendekatan dengan memvariasikan gelombang lebih dari satu arah secara serempak. Karena kondisi gelombang yang acak, *sea-state* biasanya dijabarkan dalam bentuk statistik parameter gelombang seperti tinggi gelombang, periode puncak spektral, bentuk spektral dan arah gelombang.

2.2.4 Beban Arus

Beban arus dapat dimodelkan sebagai tambahan pada beban gelombang yang diaplikasikan. Penerapan beban arus dapat dilakukan sebagai masukan konstan atau dengan menggunakan nilai kedalaman, kecepatan

dan arah arus. Apabila *cable dynamics* digunakan dalam analisa maka pembebanan arus juga akan teraplikasikan sepanjang *cable* dengan menggunakan variabel kecepatan arus dan kedalaman

2.2.5 Beban Angin

Selain beban gelombang dan beban arus, beban angin juga dapat diaplikasikan dalam analisa model dengan menggunakan *spectrum option, user time dependent data*, maupun dengan hanya memasukkan kecepatan konstan

2.2.6 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) atau sering disebut sebagai *Transfer Function* adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai sebuah struktur lepas pantai. RAO juga disebut sebagai *Transfer Function* karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur. *Response Amplitude Operator* (RAO) merupakan suatu fungsi respon struktur per meter amplitudo gelombang dalam rentang frekuensi tertentu. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Bentuk umum dari persamaan RAO dalam fungsi frekuensi adalah sebagai berikut (Chakrabarti, 1987):

$$RAO(\omega) = \frac{X_p(\omega)}{\eta(\omega)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

$X_p(\omega)$ = amplitudo struktur

$\eta(\omega)$ = amplitudo gelombang

2.2.7 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang adalah karakteristik dari suatu gelombang pada perairan tertentu dimana intensitas gelombang dalam membentuk gelombang acak. Model matematik spektrum secara umum didasarkan pada 1 (satu) atau lebih parameter. Spektra gelombang dinyatakan dalam:

- bentuk spektrum kepadatan energi gelombang (spektrum gelombang)
- energi per 1 m² luas permukaan.

Spektrum gelombang JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*) merupakan salah satu jenis spektrum yang sering digunakan dalam perhitungan gelombang. Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Berikut persamaan dari spektrum JONSWAP:

$$S(\omega) = a g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right) \right] \gamma \exp \left[\frac{-(\omega - \omega_0)^2}{2 \tau^2 \omega_0^2} \right] \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

$S(\omega)$ = spektrum gelombang

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

τ = parameter bentuk (*shape parameter*)

untuk $\omega \leq \omega_0 = 0.07$ dan $\omega \geq \omega_0 = 0.9$

$a = 0.0076 (X_0) - 0.22$, untuk X_0 tidak diketahui $a = 0.0081$

Sedangkan nilai dari parameter puncak (γ) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \gamma &= 5 \quad \text{for } T_p / \sqrt{H_s} \leq 3.6; \quad \text{and} \\ \gamma &= \exp \left(5.75 - 1.15 \frac{T_p}{\sqrt{H_s}} \right) \quad \text{for } T_p / \sqrt{H_s} > 3.6 \end{aligned} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

T_p = periode puncak spektra

H_s = tinggi gelombang signifikan

2.2.8 Respon Spektra

Respon spektra didefinisikan sebagai respon energi dari struktur akibat energi gelombang. Pada sistem linier, respon spektra didapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian dikalikan dengan spektra gelombang, yang secara persamaan matematis dapat ditulis dengan:

$$S_R(\omega) = [RAO(\omega)]^2 \times S(\omega) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

$S_R(\omega)$ = spektrum respon ($m^2 - sec$)

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

RAO = *response amplitude operator*

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

2.2.9 Offset dan Tension maksimum

Maximum offset dapat ditentukan dengan prosedur di bawah ini:

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \dots \dots \dots (2.5)$$

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana,

S_{mean} = mean vessel offset

S_{max} = maximum vessel offset

S_{wfmax} = maximum wave frequency motion

S_{wfsig} = significant wave frequency motion

S_{lflmax} = maximum low-frequency motion

S_{lfsig} = significant low-frequency motion

Menurut *API-RP2SK 3rd edition*, *maximum tension* dapat ditentukan dengan prosedur dibawah ini:

1. $T_{\text{lflmax}} > T_{\text{wfmax}}$, maka:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{mean}} + T_{\text{lflmax}} + T_{\text{wfsig}} \dots\dots\dots(2.7)$$

2. $T_{\text{wfmax}} > T_{\text{lflmax}}$, maka:

$$T_{\text{max}} = T_{\text{mean}} + T_{\text{wfmax}} + T_{\text{lfsig}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

T_{mean} = *mean tension*

T_{max} = *maximum tension*

T_{wfmax} = *maximum wave frequency tension*

T_{wfsig} = *significant wave frequency tension*

T_{lflmax} = *maximum low-frequency tension*

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

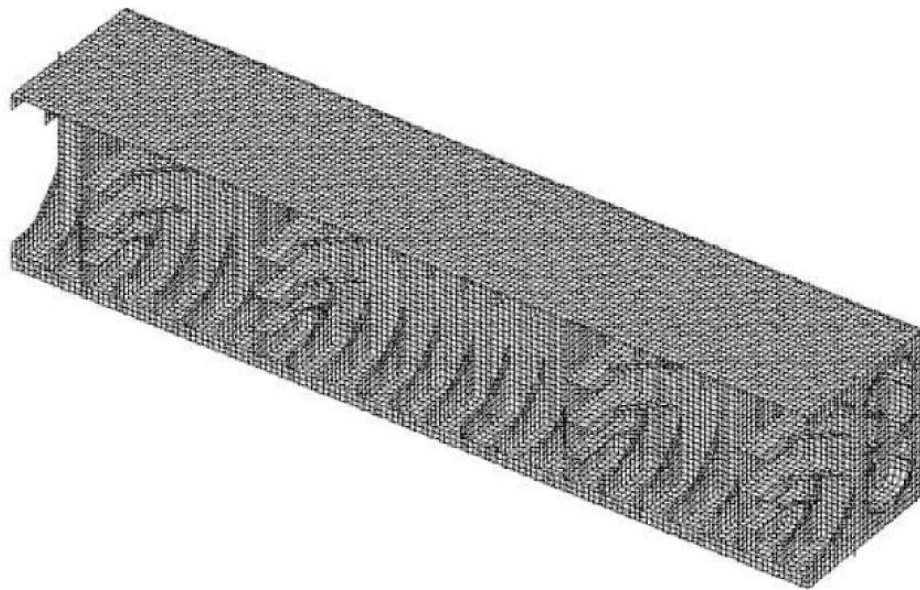
2.2.10 Boundary Condition dan meshing

Boundary condition atau kondisi batas sangatlah penting dalam proses analisis suatu struktur. *Boundary condition* sendiri dapat terbagi menjadi 3 bagian utama, yaitu *inertial*, *loads*, dan *supports*. *Boundary condition* tipe *inertial* diantaranya yaitu percepatan, *standard earth gravity*, dan kecepatan rotasi. Kemudian *Boundary condition* tipe *loads* diantaranya yaitu tekanan (*pressure*), gaya, momen, dan lain-lain. Sedangkan

boundary condition tipe *support* diantaranya adalah *fixed supports*, *displacement*, dan lain-lain. *Boundary condition* sendiri dapat kita aplikasikan sesuai dengan analisis yang akan kita lakukan. Seperti contohnya pada sebuah geometri struktur, *boundary condition* dapat diterapkan pada struktur sebagai *body*, *face*, *edge*, maupun titik sesuai dengan kondisi analisis yang ingin kita lakukan.

Pembuatan *mesh* sangat diperhatikan ukuran *mesh* dan jenis *mesh* yang digunakan, semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan pada model, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *mesh* yang memiliki ukuran yang lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh hasil yang teliti.

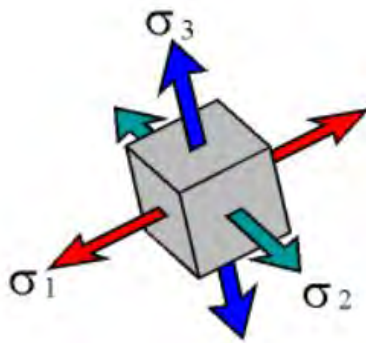
Dalam BKI “*Guidelines for Floating Production Installations, 2013*” ukuran *mesh* telah diatur sesuai dengan elemen-elemen yang akan ditinjau, seperti *plate element*, *beam elements for stiffeners*, *truss elements for stiffeners*. Untuk elemen *stiffener*, ukuran *mesh* minimum yang dianjurkan sebesar 0,5 dari tebal *stiffener*. Contoh pembuatan *mesh* pada konstruksi kapal dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Pembuatan *mesh* pada konstruksi kapal

2.2.11 Tegangan Maksimum Utama

Tegangan dapat ditransformasi dari suatu set sumbu koordinat ke set sumbu koordinat lainnya. Dengan transformasi pula dapat dicari set sumbu koordinat pada suatu titik yang memberikan tegangan utama dari kondisi tegangan yang telah diketahui di titik itu. Yang dimaksud tegangan utama ialah tegangan yang hanya memiliki nilai tidak nol untuk tegangan normal saja, sedangkan nilai tegangan gesernya nol. Ilustrasi tegangan maksimum utama dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.4 Tegangan Maksimum Utama (Sumber: ANSYS)

σ_1 – Maximum

σ_2 – Middle

σ_3 - Minimum

2.2.12 Metode Perhitungan Kelelahan

Secara umum, terdapat 2 (dua) metode yang dapat digunakan untuk analisis kelelahan, yaitu pendekatan kurva S-N (*S-N curve approach*) yang dibuat berdasarkan tes kelelahan, dan pendekatan mekanika kepecahan (*fracture mechanics approach*). Untuk tujuan desain kelelahan, pendekatan kurva S-N lebih banyak digunakan dan dianggap

sebagai metode yang paling cocok. Sedangkan metode mekanika kepecahan digunakan untuk menentukan ukuran cacat yang dapat diterima, menaksir perambatan retak kelelahan, merencanakan inspeksi dan strategi untuk memperbaikinya, dan lain-lain.

Analisa fatigue dengan metode S-N curve pada sambungan struktur dilakukan berdasarkan hukum kegagalan Palmgren-Miner (miner's rule). Menurut white dan ayyub (1996) miners's rule merupakan hipotesis kumulatif kerusakan berdasarkan konsep *strain energy*. Konsep *strain energy* menyatakan bahwa kerusakan terjadi ketika total *strain energy* pada siklus (n) dari variable amplitudo pembebanan adalah sama dengan total dari siklus N dari konstan amplitudo pembebanan.

Menurut Paik dan Thayambali (2007) analisa fatigue dengan menggunakan pendekatan S-N curve dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu :

1. Mendefinisikan histogram siklik rentang tegangan
2. Memilih kurva S-N yang sesuai dengan karakteristik material
3. Menghitung kumulatif kerusakan fatigue (*cumulative fatigue damage*)

Metode pendekatan S-N curve mempunyai 4 metodologi dalam mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue (cumulative fatigue damage)* yaitu metode *deterministic*, metode *simplified fatigue assessment*, metode *spectral* dan metode *time domain fatigue*. Diantara keempat metode tersebut, metode yang paling banyak digunakan dalam berbagai rules klasifikasi terutama anggota IASC seperti ABS, GL, LR dan bahkan CSR adalah metode *simplified fatigue* dengan pendekatan empiris parameter distribusi weibull (Bai, 2003). Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk analisa fatigue adalah menggunakan metode S-N Curve dengan *Simplified Fatigue Analysis*. Untuk analisis kelelahan dengan

menggunakan metode *simplified fatigue assessment* akan didapatkan hasil yang lebih akurat, karena adanya faktor parameter bentuk dari distribusi *Weibull* dalam *Simplified fatigue assessment*. Blagojevic (2010) menyebutkan bahwa untuk menghitung umur kelelahan dari struktur kapal, dibutuhkan *long-term stress distribution* dari struktur. Penelitian tentang beban gelombang yang mengenai badan kapal menunjukkan bahwa *long-term distribution of stress range* dapat direpresentasikan dengan parameter distribusi Weibull dan disebutkan bahwa pengaruh dari parameter bentuk Weibull ini sangat signifikan. Hasil dari penelitian menyebutkan bahwa dengan perubahan kecil dari parameter bentuk Weibull tersebut berpengaruh besar terhadap nilai *fatigue damage* yang dihasilkan.

2.2.13 Kurva S-N

Dasar dari kurva S-N atau *Wohler curve* adalah plot dari *stress* (S) dan *cycle* (N). Kurva S-N digunakan dalam karakteristik *fatigue* pada material yang mengalami pembebanan yang berulang pada magnitude konstan (Ariduru, 2004). Secara umum persamaan dan kurva S-N dapat dilihat sebagai berikut (ABS) :

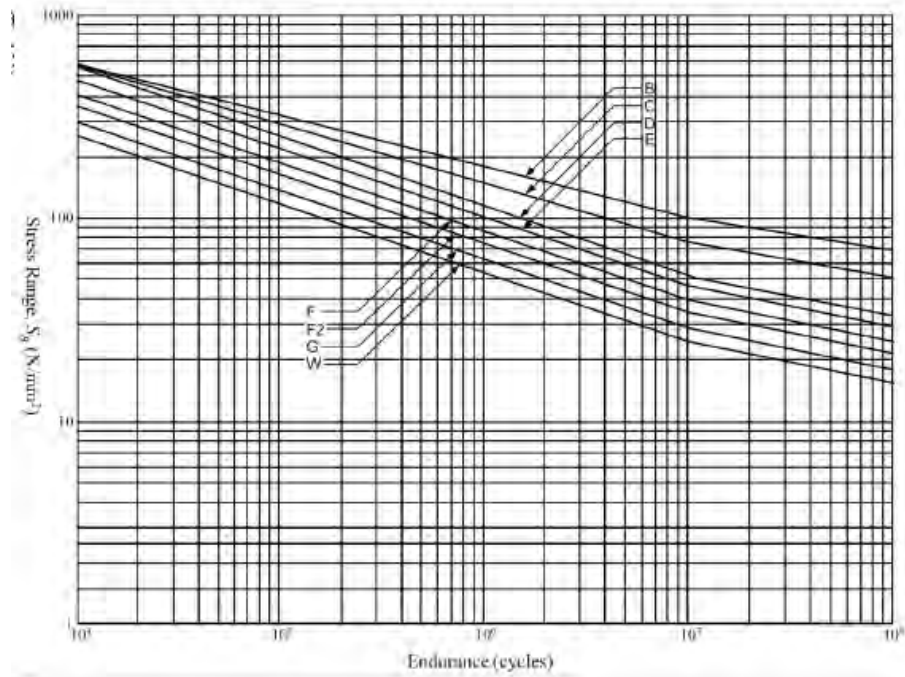
$$NS^m = A \text{ atau } \log(N) = \log(A) - m \log(S) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

A = koefisien kekuatan kelelahan (*fatigue strength coefficient*)

m = kemiringan kurva S-N

S = rentang tegangan



Gambar 2.5 Kurva S-N

2.2.14 Penaksiran kelelahan sederhana (*Simplified Fatigue Assessment*)

Penaksiran ini menggunakan metode *simplified*, yang dinyatakan sebagai berikut (BKI):

$$DM_i = \sum_{i=1}^k \frac{N_L}{K_2} \frac{S_{Ri}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_i \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\mu_i = \frac{\left\{ \gamma \left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i \right) - v_i^{-\Delta m/\xi} \gamma \left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i \right) \right\}}{1 - \frac{\gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)}{\Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)}} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$v_i = \left(\frac{S_q}{S_{Ri}} \right)^\xi \ln N_R \dots \dots \dots (2.12)$$

N_L = jumlah siklus untuk rencana umur desain = $\frac{f_0 U}{4 \log L}$

K_2 = konstanta sesuai kurva S-N

S_{Ri} = stress range (Mpa)

S_q = *stress range* pada perpotongan 2 segmen pada kurva S-N

m = *slope*

Δm = perubahan *slope* pada segmen atas-bawah pada kurva S-N

N_R = 10000, jumlah siklus

ξ = parameter distribusi tegangan = $1,4 - 0,2 \cdot \alpha \cdot L^{0.2}$

μ_i = koefisien tegangan

$\Gamma(x)$ = fungsi gamma

U = *design-life* (detik)

L = panjang struktur (m)

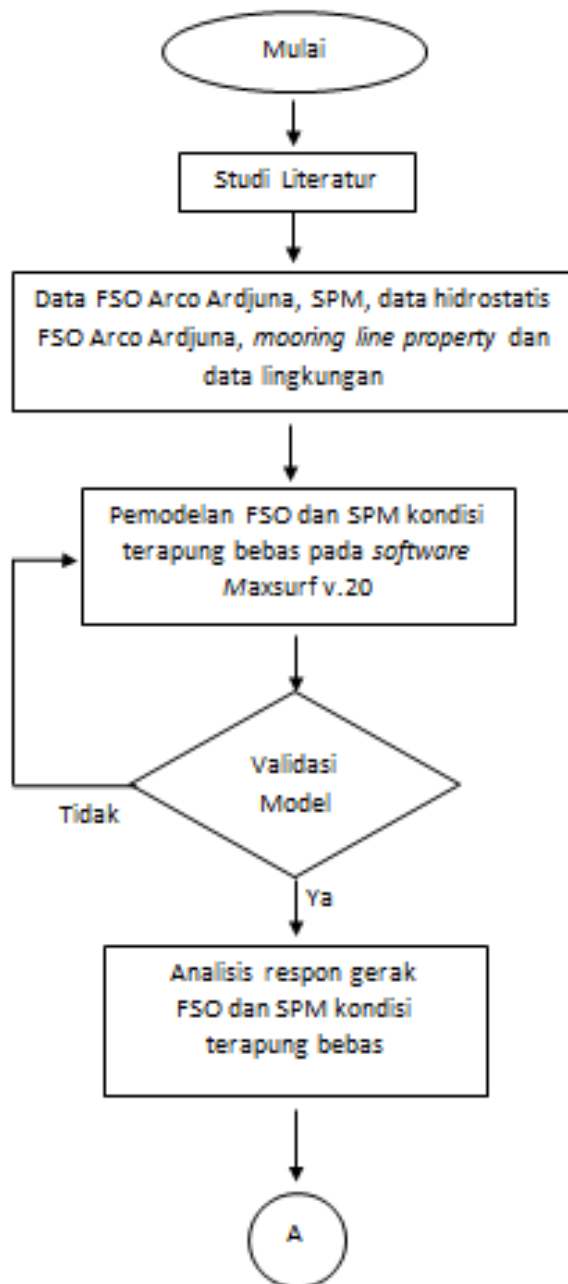
Selanjutnya, rasio *cumulative fatigue damage* (D) dapat diubah ke dalam perhitungan umur kelelahan menggunakan persamaan di bawah ini

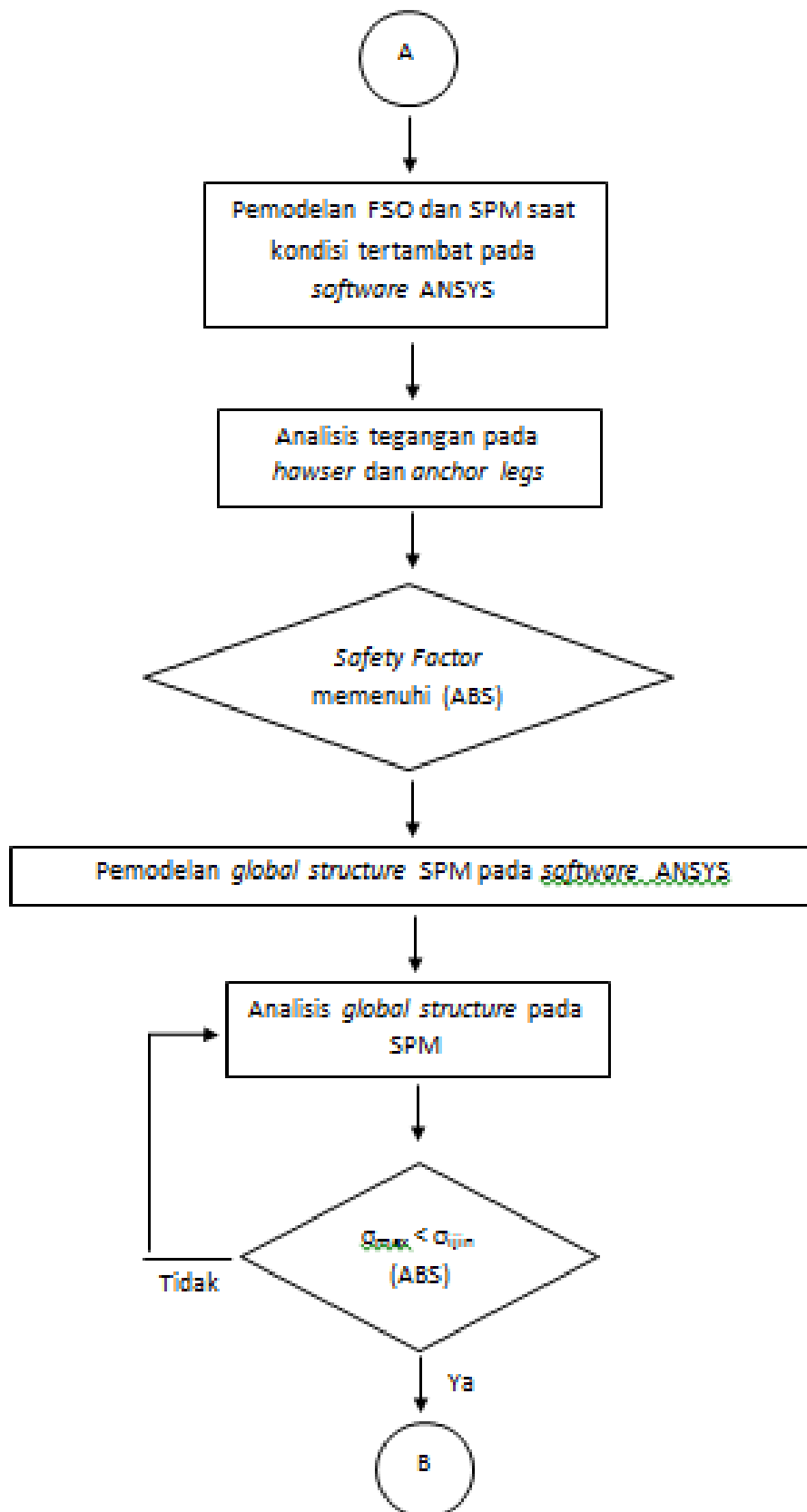
$$fatigue\ life = \frac{design\ life}{D} \dots\dots\dots(2.13)$$

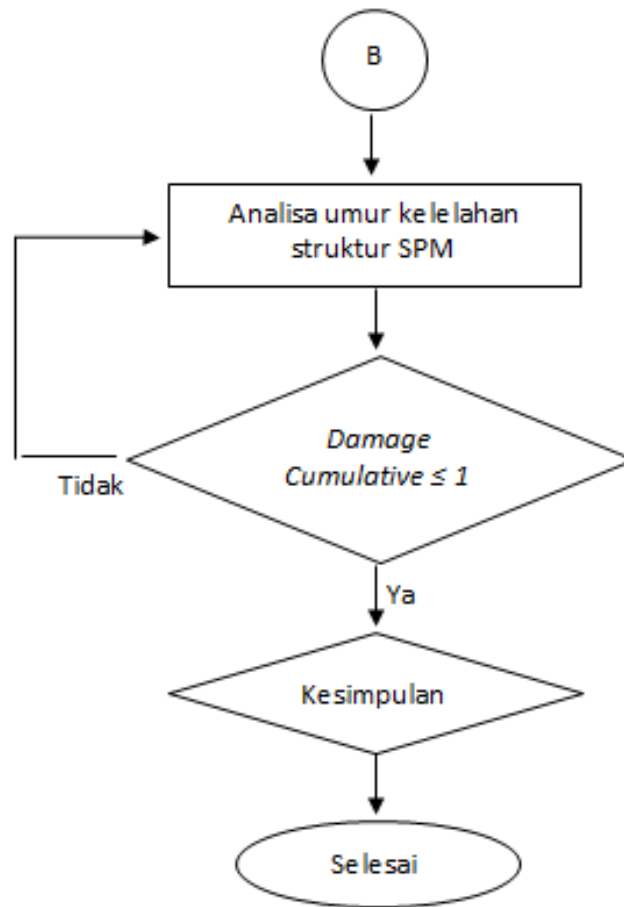
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini







Gambar 3.1 *Flowchart* penyelesaian Tugas Akhir

3.2 **Prosedur Penelitian**

1. Studi Literatur

Pada tugas akhir ini mengambil bahan-bahan yang dibutuhkan sebagai studi literatur dari buku, materi perkuliahan, jurnal, dan juga mengacu dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mempunyai keterkaitan pembahasan sebagai acuan dasar teori yang digunakan, selain itu juga pada penelitian ini mengacu pada *standart* maupun *code* yang relevan.

2. Pengumpulan Data FSO Arco Ardjuna, SPM, data hidrostatis FSO Arco Ardjuna, *mooring line property* dan data lingkungan
Data FSO Arco Ardjuna, SPM, data hidrostatis FSO Arco Ardjuna, *mooring line property* dan data lingkungan didapatkan dari PT. Citra Mas.
3. Pemodelan FSO dan SPM kondisi terapung bebas pada *software Maxsurf v.20*
Pemodelan struktur FSO dan SPM pada *software* yang digunakan yaitu Maxsurf v.20. Dari pemodelan ini akan dilanjutkan dengan mendapatkan data hidrostatis dari struktur
4. Validasi model *software* Maxsurf
Setelah dilakukan pemodelan struktur FSO dan SPM pada *software* Maxsurf, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah memvalidasi model yang telah dibuat dengan data yang telah didapatkan sebelumnya. Adapun batas *error* yang digunakan pada proses validasi sebagai acuan pendekatan model struktur yaitu tidak melebihi 5% dari data. Jika nilai *error*-nya melebihi dari 5%, maka harus dilakukan pemodelan kembali terkait model struktur FSO maupun SPM.
5. Analisis respon gerak FSO dan SPM pada kondisi terapung bebas
Menganalisis respon gerakan pada struktur FSO maupun struktur SPM (*Single Point Mooring*) untuk mengetahui karakteristik gerakan pada masing-masing struktur dalam kondisi terapung bebas dan juga didapatkan data RAO (*Response Amplitude Operator*) pada masing-masing struktur yang nantinya akan digunakan pada langkah selanjutnya.
6. Pemodelan FSO dan SPM saat kondisi tertambat pada *software* ANSYS
Langkah selanjutnya yaitu melakukan pemodelan FSO dan SPM dalam kondisi tertambat pada *software* ANSYS Aqwa.
7. Analisis tegangan pada *hawser* dan *anchor legs*
Dari hasil analisis ini didapatkan tegangan yang terjadi pada *hawser* dan rantai jangkar. Kemudian menghitung *safety factor* yang kemudian

divalidasikan dengan ABS untuk mengetahui apakah nilai *safety factor* yang terjadi memenuhi syarat yang sesuai pada ABS. Setiap *tension* pada *anchor legs* dan *hawser* yang diijinkan menurut ABS yaitu pada *anchor legs* harus lebih dari 1,67, sedangkan pada *hawser* harus lebih dari 1.82. *Safety factor* didapat dari membagi MBL (*Minimum Breaking Load*) dengan *tension* maksimum yang didapat.

9. Pemodelan *local structure* SPM pada *software* ANSYS

Langkah selanjutnya yaitu melakukan pemodelan SPM dalam kondisi tertambat pada *software* ANSYS.

10. Analisis tegangan global

Melakukan analisis tegangan global pada struktur SPM pada *software* ANSYS. Dari analisa yang dilakukan dapat dilanjutkan dengan memvalidasi hasil analisis tegangan global pada struktur SPM sehingga memenuhi syarat yang tertera pada ABS.

11. Analisa umur kelelahan struktur

Dari hasil analisis tegangan global pada struktur SPM yang telah dilakukan. Langkah selanjutnya yaitu menganalisis umur kelelahan daripada struktur *Single Point Mooring* dengan menggunakan kurva S-N berdasarkan hukum kegagalan *Palmgren Miner* dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue* menggunakan metode *simplified fatigue assessment*.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan meliputi data struktur dan data lingkungan. Data struktur terdiri dari *principle dimension* dan data hidrostatis FSO Arco Ardjuna, *main dimension* SPM, *property of anchor legs* dan *property mooring line* dapat dilihat pada Tabel 3.1 sampai Tabel 3.5 dan Gambar 3.2 di bawah ini

- FSO Arco Ardjuna:

Tabel 3.1 *Principle dimension* dan data hidrostatis FSO Arco Ardjuna

Designation	Units	Minimum Operating Draft	Maximum Operating Draft
Length, Loa	m	142.6	
Breadth, B	m	48.2	
Depth, D	m	26.5	
Displacement	tonne	15,529	153,202
Draft to Baseline	m	2.5	24
WSA	m ²	6,681	12,813
Max. Cross sect. area	m ²	114.34	1,150.63
Waterplane area	m ²	6239	6,239
Cp		0.91	0.91
Cb		0.87	0.9
Cm		0.959	0.99
Cwp		0.91	0.91
LCB from zero pt.	m	-2.69	-2.78
LCF from zero pt.	m	-2.79	-2.79
KB	m	1.26	12.02
KMt	m	78	19.73
KMI	m	590.8	71.3

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

- *Single Point Mooring:*

Tabel 3.2 Main dimension CALM buoy

Designation	Unit	Data
<i>Shell Outer Diameter</i>	m	12
<i>Centre Well Diameter</i>	m	3.57
<i>Skirt Outer Diameter</i>	m	16.26
<i>Buoy Body Height</i>	m	5.3
<i>Skirt Height/ Baseline</i>	m	1
<i>Buoy Installed Draft</i>	m	2.38
<i>Centre of Gravity (KG)</i>	m	3.42
<i>Mass</i>	kg	255340
<i>Kxx</i>		7,63
<i>Kyy</i>		7,63
<i>Kzz</i>		10,61

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

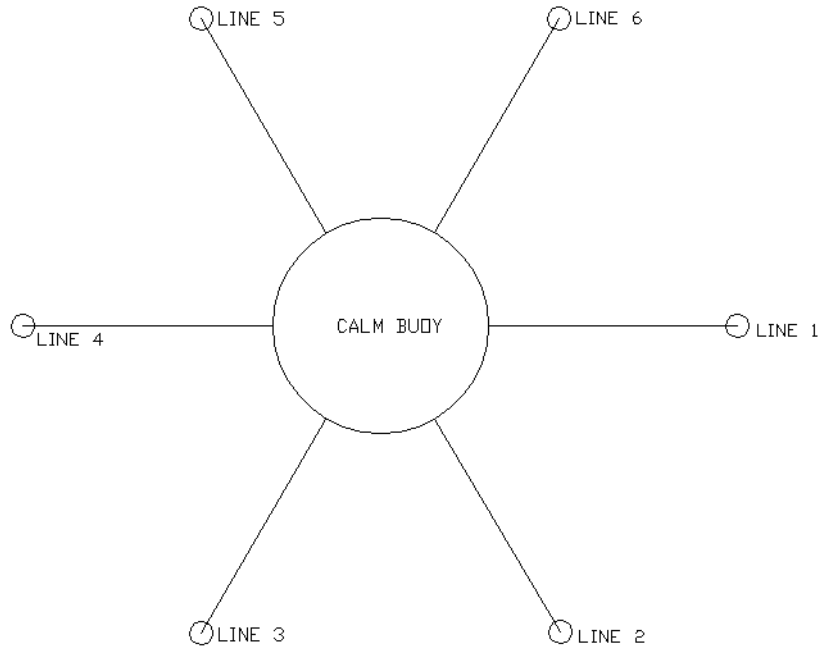
- *Anchor Legs*

Tabel 3.3 Karakteristik *anchor legs*

<i>Number of Legs</i>	6
<i>Anchoring Pattern</i>	Even Spacing (60°)
<i>Paid out length</i>	350 m
<i>Pretension</i>	262.17 kN
<i>Pretension angle (w/horizontal)</i>	45.26°
<i>Number of segment</i>	1
<i>Chain diameter</i>	102 mm
<i>Chain type</i>	R3
<i>Minimum breaking load</i>	8315 kN
<i>Minimum breaking load after corrosion</i>	7051 kN
<i>Unit weight in Air</i>	210.16 kg/m
<i>Unit weight in Water</i>	182.72 kg/m
<i>Stiffness EA</i>	868 MN
<i>Anchoring radius</i>	302.57 m

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

- *Anchor legs pattern (Top view)*



Gambar 3.2 Anchor legs pattern

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

- *Mooring Hawsers*

Tabel 3.4 Karakteristik *mooring hawser*

<i>Number of Lines</i>	<i>Twin Line</i>
<i>Material</i>	Nylon
<i>Length</i>	220 ft
<i>Design Mooring Force</i>	400 tonnes
<i>New Dry Breaking Strength per Hawser</i>	4094 kN

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

- Data Lingkungan Perairan Laut Jawa

Tabel 3.5 Data lingkungan

Parameter	Unit	<i>1-year return period</i>
Kedalaman	m	45
Tinggi Gelombang Maksimum/Hm	m	3.2
Periode Gelombang Maksimum /Tm	s	6.6
Tinggi Gelombang Signifikan/Hs	m	1.8
Periode Gelombang Signifikan/Ts	s	6.3
Periode Puncak Gelombang (Tp)	s	6.3
Kecepatan Angin	m/s	12.3
Spektrum gelombang	JONSWAP	
Kecepatan Arus 0% kedalaman	m/s	0.72
Kecepatan Arus 10% kedalaman	m/s	0.62
Kecepatan Arus 20% kedalaman	m/s	0.54
Kecepatan Arus 30% kedalaman	m/s	0.48
Kecepatan Arus 40% kedalaman	m/s	0.44
Kecepatan Arus 50% kedalaman	m/s	0.41
Kecepatan Arus 60% kedalaman	m/s	0.39
Kecepatan Arus 70% kedalaman	m/s	0.37
Kecepatan Arus 80% kedalaman	m/s	0.36
Kecepatan Arus 90% kedalaman	m/s	0.35
Kecepatan Arus 100% kedalaman	m/s	0.34

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

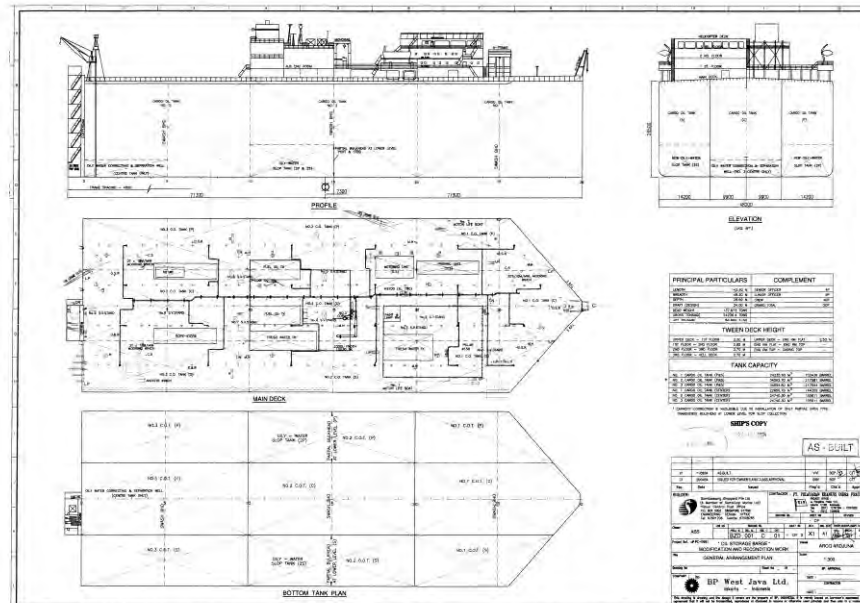
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

4.1.1 FSO Arco Ardjuna

Pada pengerjaan pemodelan ini, menggunakan kapal FSO Arco Ardjuna yang sedang beroperasi di Laut Jawa. Pemodelan pada FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan *software* Maxsurf yang mengacu pada *General Arrangement* pada Gambar 4.1 dan *principal dimension* sebagai berikut:

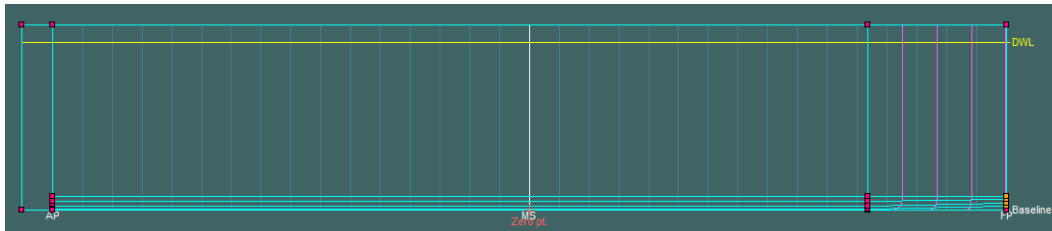
<i>Length</i>	(Loa) : 142,6 m
<i>Breadth</i>	(B) : 48,2 m
<i>Depth</i>	(H) : 26,5 m
<i>Draft Light Load</i>	(T) : 2,50 m
<i>Draft Full Load</i>	: 24,00 m
<i>Displacement</i>	(Δ) : 153,202 Ton



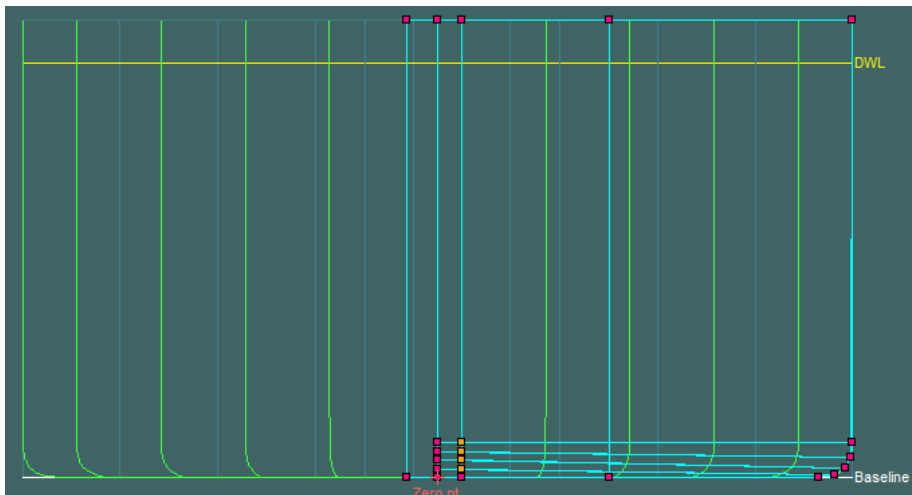
Gambar 4.1 *General Arrangement* FSO Arco Ardjuna

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

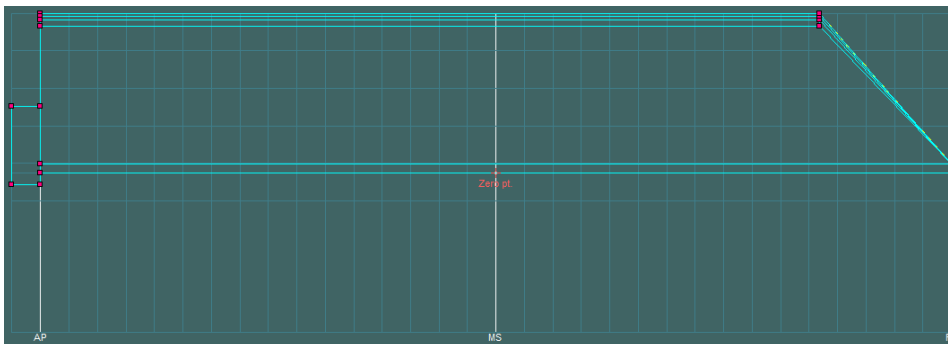
Pada Gambar 4.2 sampai Gambar 4.5 berikut adalah hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna dengan menggunakan *software* Maxsurf



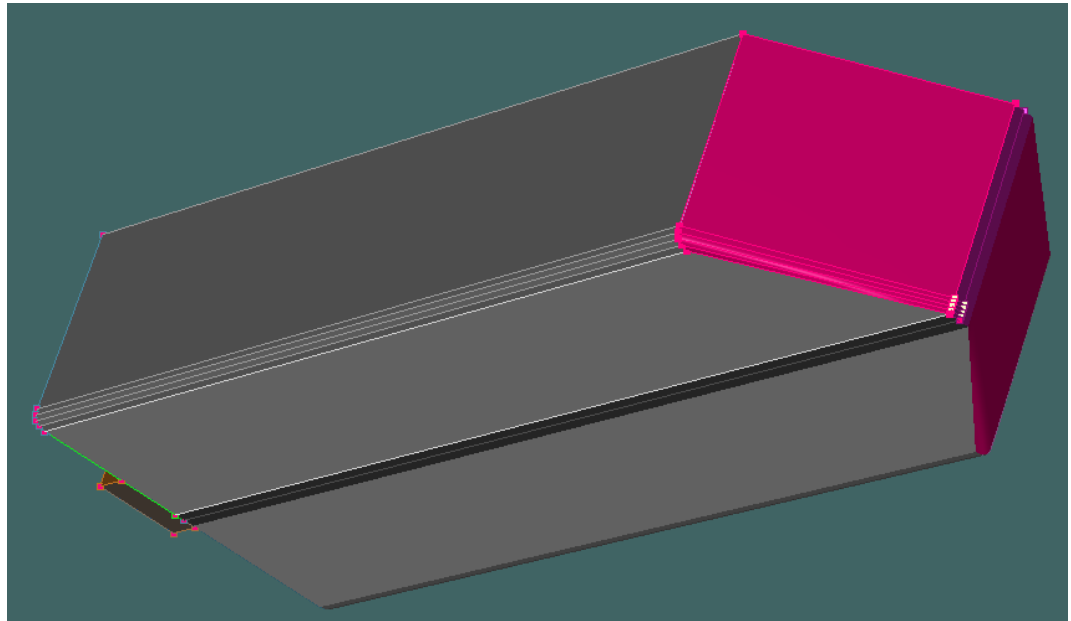
Gambar 4.2 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak samping (*sheer plan*)



Gambar 4.3 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak depan (*body plan*)



Gambar 4.4 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak atas (*half breadth plan*)



Gambar 4.5 Hasil pemodelan FSO Arco Ardjuna pada Maxsurf tampak isometri

4.1.2 Single Point Mooring

Pemodelan *Single Point Mooring* menggunakan data utama dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Main dimension CALM buoy

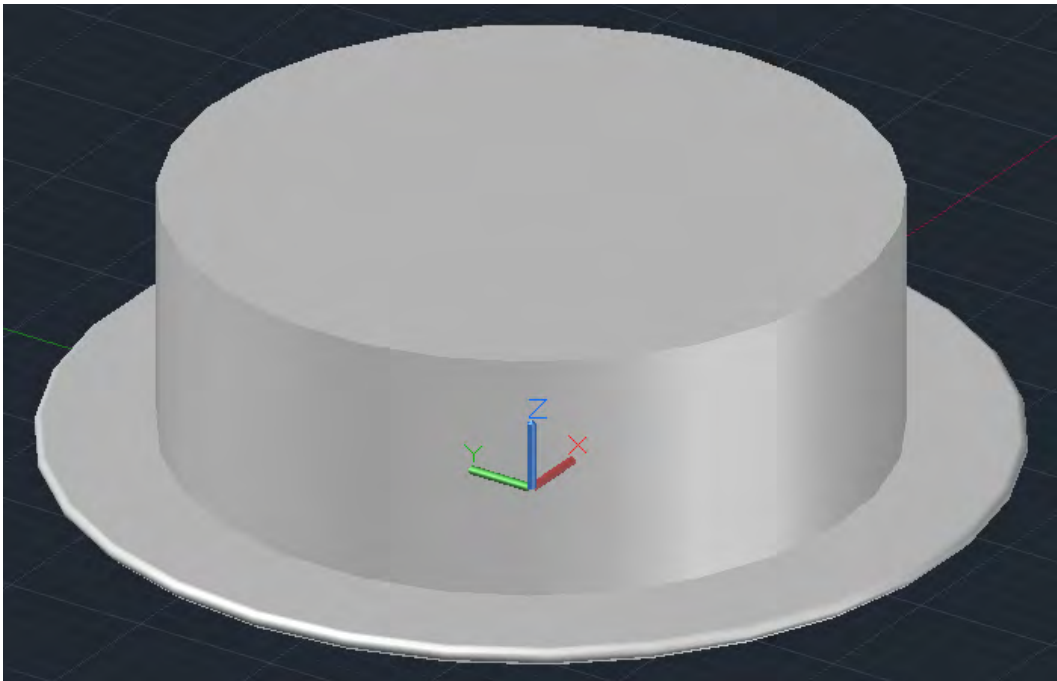
Designation	Unit	Data
<i>Shell Outer Diameter</i>	m	12
<i>Centre Well Diameter</i>	m	3.57
<i>Skirt Outer Diameter</i>	m	16.26
<i>Buoy Body Height</i>	m	5.3
<i>Skirt Thickness</i>	mm	12
<i>Skirt Height/ Baseline</i>	m	1
<i>Buoy Installed Draft</i>	m	2.38
<i>Centre of Gravity (KG)</i>	m	3.42

(Sumber: Pertamina PHE ONWJ)

Berikut Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 merupakan hasil pemodelan *Single Point Mooring* dengan menggunakan *software* Autocad



Gambar 4.6 Hasil pemodelan *Single Point Mooring* pada Autocad tampak 2-dimensi



Gambar 4.7 Hasil pemodelan *Single Point Mooring* pada Autocad tampak 3-dimensi

4.2 Hidrostatik

Perlu dilakukan proses validasi untuk mendapatkan model kapal yang sama dengan keadaan sebenarnya. Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan data hasil hidrostatik yang diperoleh dari *software* Maxsurf dengan data hidrostatik FSO Arco Ardjuna yang sudah ada.

Dalam proses validasi ini dilakukan dalam dua kondisi yaitu saat *light load* maupun saat *full load*.

Besaran-besaran hidrostatis yang dibandingkan terdapat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 di bawah ini. Perbedaan hasil perhitungan hidrostatis yang diperoleh antara *software* Maxsurf dengan data hidrostatis pada FSO Arco Ardjuna yang sebenarnya diberikan toleransi atau faktor *error* sebesar 5%. Dengan begitu hasil perancangan model yang dibuat dapat dikatakan valid untuk dipakai sebagai input dalam menghitung karakteristik gerakan kapal.

Tabel 4.2 Data hidrostatis model FSO Arco Ardjuna dari *software* Maxsurf

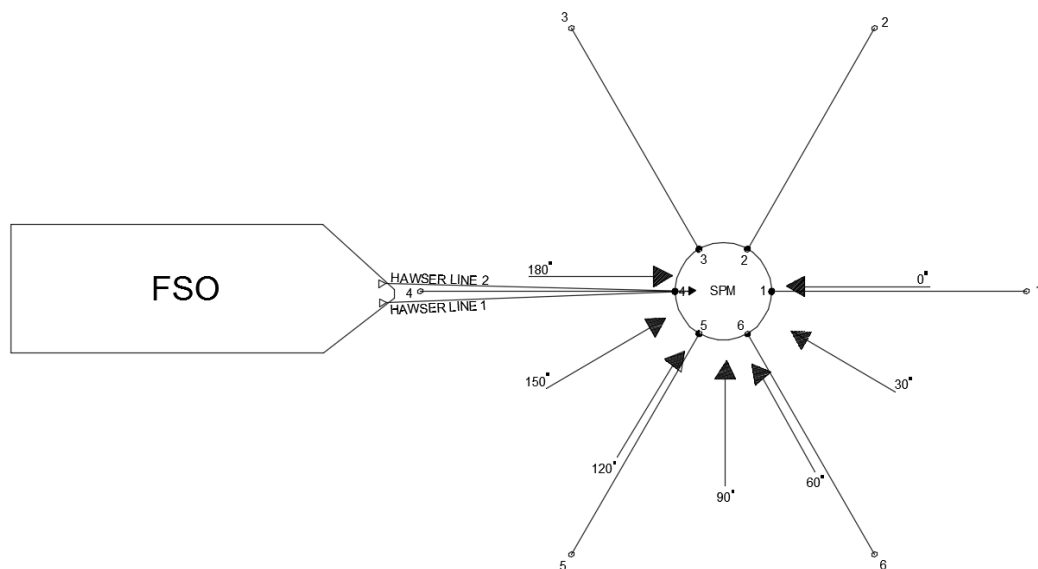
	Measurement	Value	Units
1	Displacement	15083	t
2	Volume (displaced)	14714,925	m ³
3	Draft Amidships	2,500	m
4	Immersed depth	2,500	m
5	WL Length	142,200	m
6	Beam max extents o	47,999	m
7	Wetted Area	6690,549	m ²
8	Max sect. area	114,658	m ²
9	Waterpl. Area	6198,083	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,903	
11	Block coeff. (Cb)	0,862	
12	Max Sect. area coeff	0,958	
13	Waterpl. area coeff.	0,908	
14	LCB length	-2,617	from z
15	LCF length	-2,880	from z
16	LCB %	-1,840	from z
17	LCF %	-2,025	from z
18	KB	1,301	m
19	KG fluid	14,040	m
20	BMt	76,942	m
21	BML	595,077	m
22	GMt corrected	64,203	m
23	GML	582,338	m
24	KMt	78,243	m
25	KML	596,378	m
26	Immersion (TPc)	63,530	tonne/c
27	MTC	617,671	tonne.

	Measurement	Value	Units
1	Displacement	147745	t
2	Volume (displaced)	144141,109	m ³
3	Draft Amidships	24,000	m
4	Immersed depth	24,000	m
5	WL Length	142,200	m
6	Beam max extents o	47,556	m
7	Wetted Area	13252,794	m ²
8	Max sect. area	1119,948	m ²
9	Waterpl. Area	6131,747	m ²
10	Prismatic coeff. (Cp)	0,905	
11	Block coeff. (Cb)	0,888	
12	Max Sect. area coeff	0,981	
13	Waterpl. area coeff.	0,907	
14	LCB length	-2,731	from z
15	LCF length	-2,783	from z
16	LCB %	-1,920	from z
17	LCF %	-1,957	from z
18	KB	12,124	m
19	KG fluid	13,440	m
20	BMt	7,593	m
21	BML	60,156	m
22	GMt corrected	6,277	m
23	GML	58,840	m
24	KMt	19,717	m
25	KML	72,280	m
26	Immersion (TPc)	62,850	tonne/c
27	MTC	611,343	tonne.

Tabel 4.3 Koreksi hidrostatik data dengan model Maxsurf

	UNIT	LIGHT			FULL		
		Data	Model	Error	Data	Model	Error
Displacement	tonne	15529	15083	0,029	153202	147745	0,0356
Volume	m ³	15009,76	14714,93	0,020	149293,7	144141,107	0,0345
Draft to Baseline	m	2,5	2,5	0,000	24	24	0,0000
Immersed depth	m	2,5	2,5	0,000	24	24	0,0000
Lwl	m	142,6	142,2	0,003	142,6	142,2	0,0028
Beam Lwl	m	48,2	47,999	0,004	48,2	47,556	0,0134
WSA	m ²	6681	6690,549	-0,001	12813	13252,794	-0,0343
Max. Cross sect. area	m ²	114,34	114,658	-0,003	1150,63	1119,948	0,0267
Waterplane area	m ²	6239	6198,083	0,007	6239	6131,747	0,0172
Cp		0,91	0,903	0,008	0,908	0,905	0,0033
Cb		0,873	0,862	0,013	0,904	0,888	0,0177
Cm		0,959	0,958	0,001	0,996	0,981	0,0151
Cwp		0,908	0,908	0,000	0,908	0,907	0,0011
LCB from midship	m	-2,69	-2,617	0,027	-2,78	-2,731	0,0176
LCF from midship	m	-2,79	-2,88	-0,032	-2,79	-2,783	0,0025
KB	m	1,26	1,301	-0,033	12,02	12,124	-0,0087
KMt	m	78	78,243	-0,003	19,73	19,717	0,0007
KML	m	590,8	596,378	-0,009	71,3	72,28	-0,0137

4.3 Konfigurasi Arah Pembebanan Gelombang



Gambar 4.8 Konfigurasi arah pembebanan gelombang

Gambar 4.8 di atas menjelaskan konfigurasi arah pembebanan gelombang dilakukan pada sudut 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° untuk analisa respon gerakan struktur apung FSO maupun SPM.

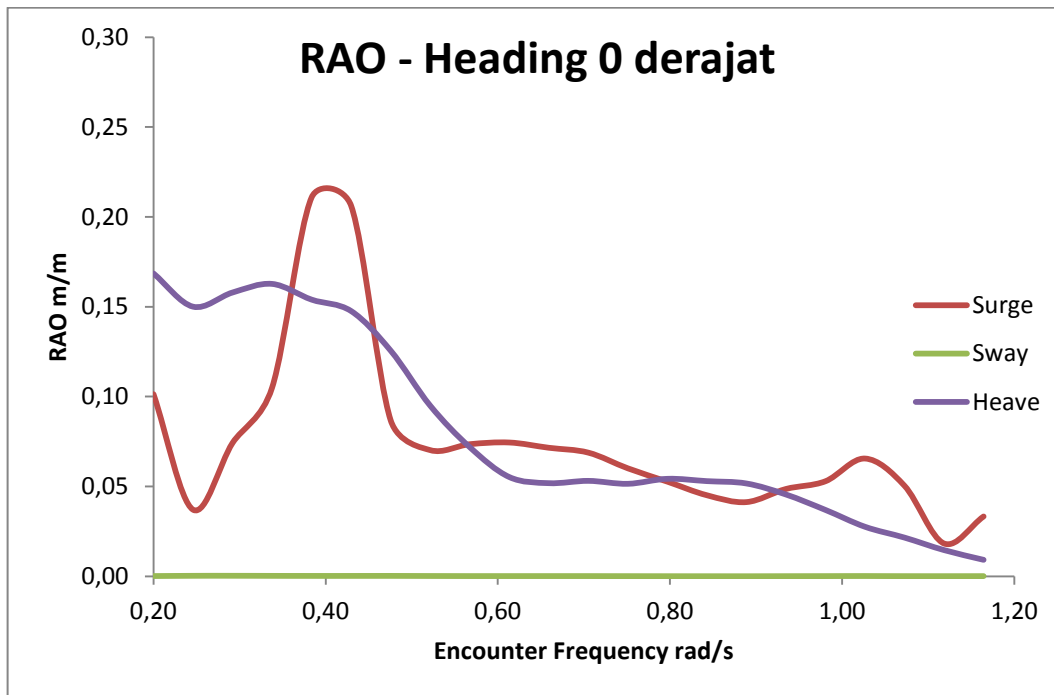
4.4 Response Amplitude Operator

Untuk mendapatkan perhitungan karakteristik gerakan pada FSO Arco Ardjuna dan SPM perlu dilakukan dengan mendapatkan *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan menggunakan *software* Maxsurf. Berikut adalah grafik RAO pada FSO Arco Ardjuna dan *Single Point Mooring*. Pada FSO Arco Ardjuna, RAO dibedakan pada tiga kondisi yaitu *light load* dan *full load*

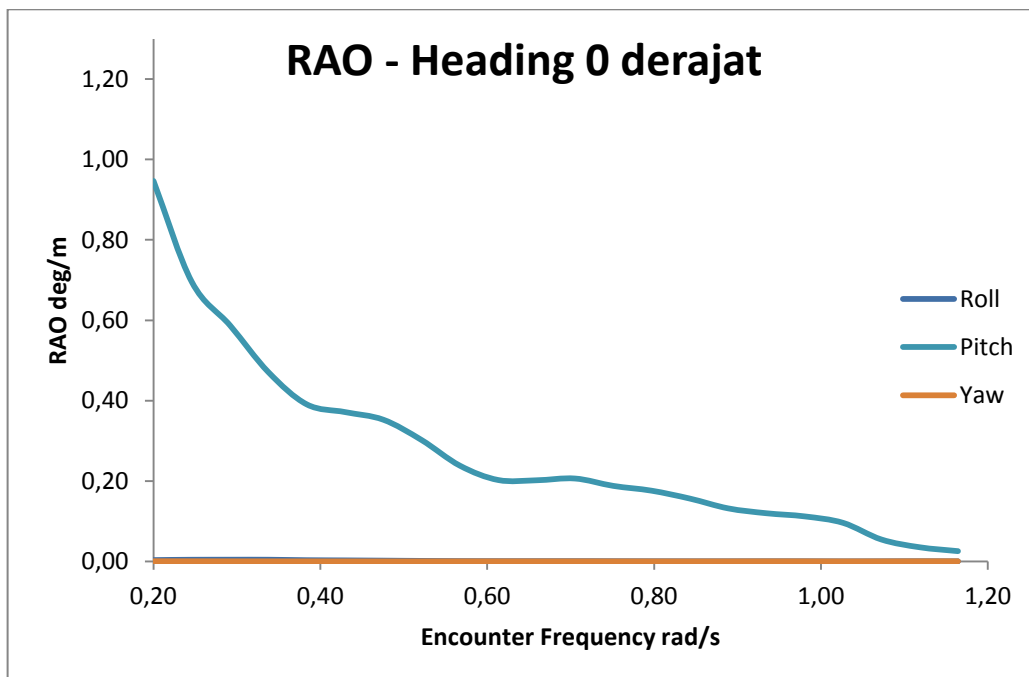
4.4.1 FSO Arco Ardjuna kondisi mooring

Perhitungan karakteristik gerakan FSO Arco Ardjuna saat kondisi *mooring* dilakukan pada kondisi *light load* dan *full load*. Pada kondisi *light load* dilakukan pada sarat 2,5 m, sedangkan pada kondisi *full load* dilakukan pada sarat 24 m, dengan kedalaman laut 45 m. Berikut adalah grafik RAO pada kondisi *light load* maupun *full load* untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw* dengan *heading* pembebanan 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180°

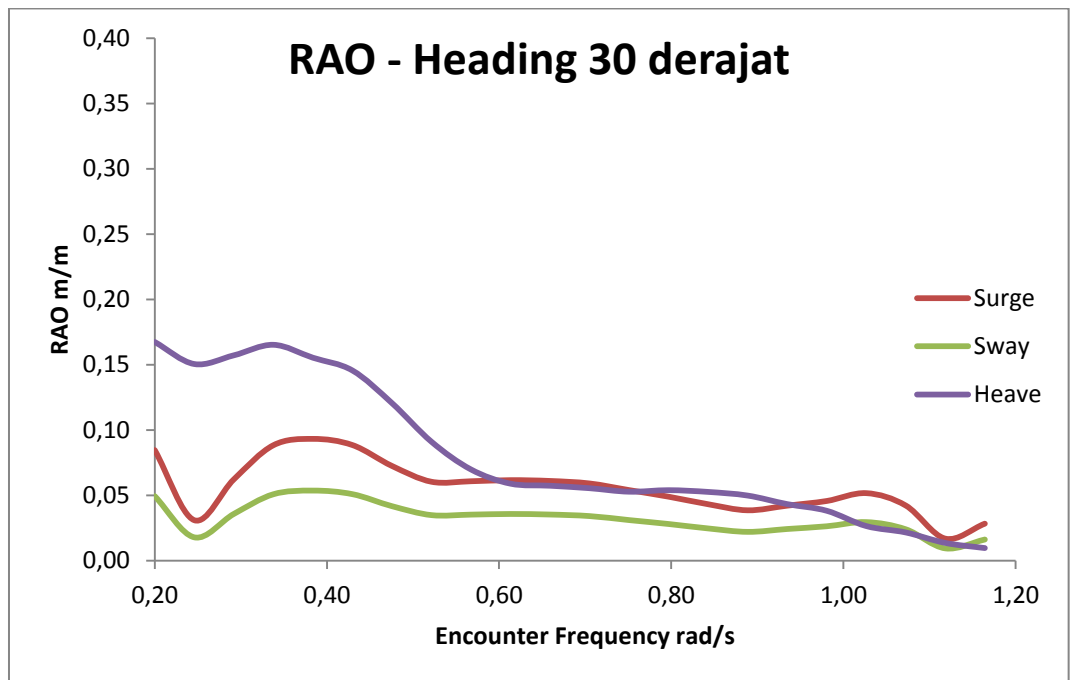
4.4.1.1 Light Load – Mooring



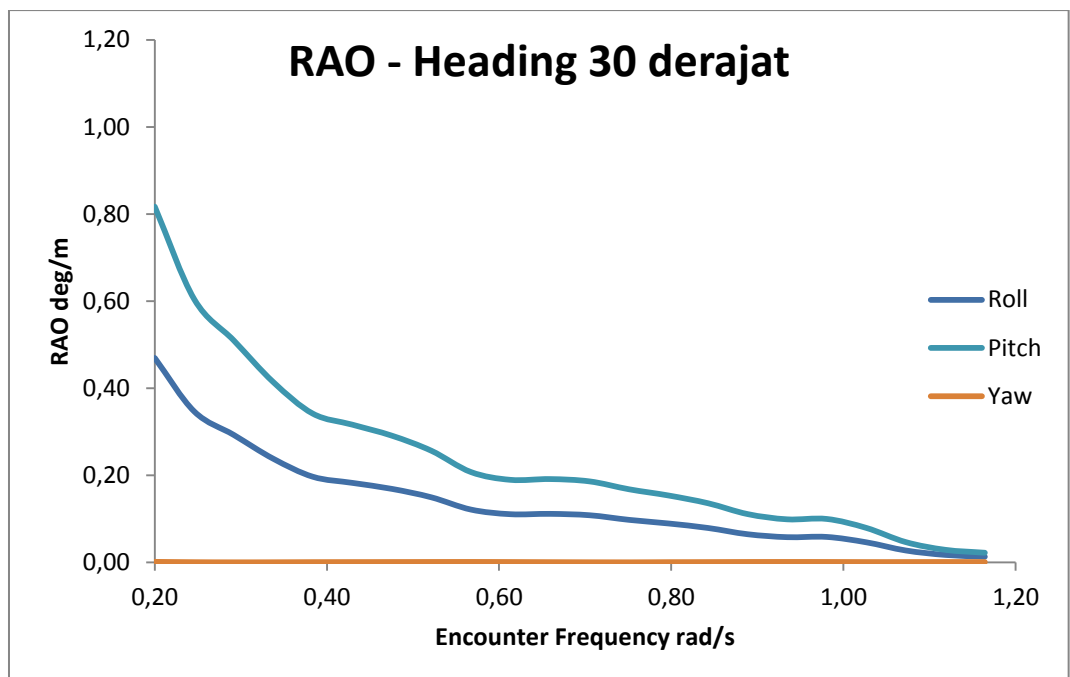
Gambar 4.9 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



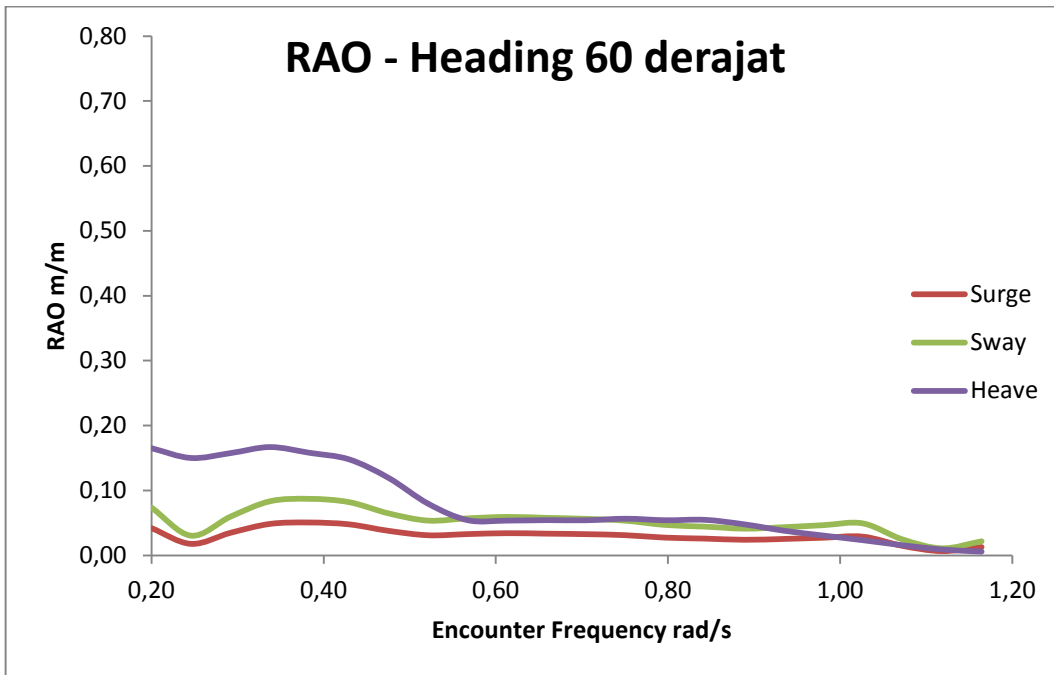
Gambar 4.10 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



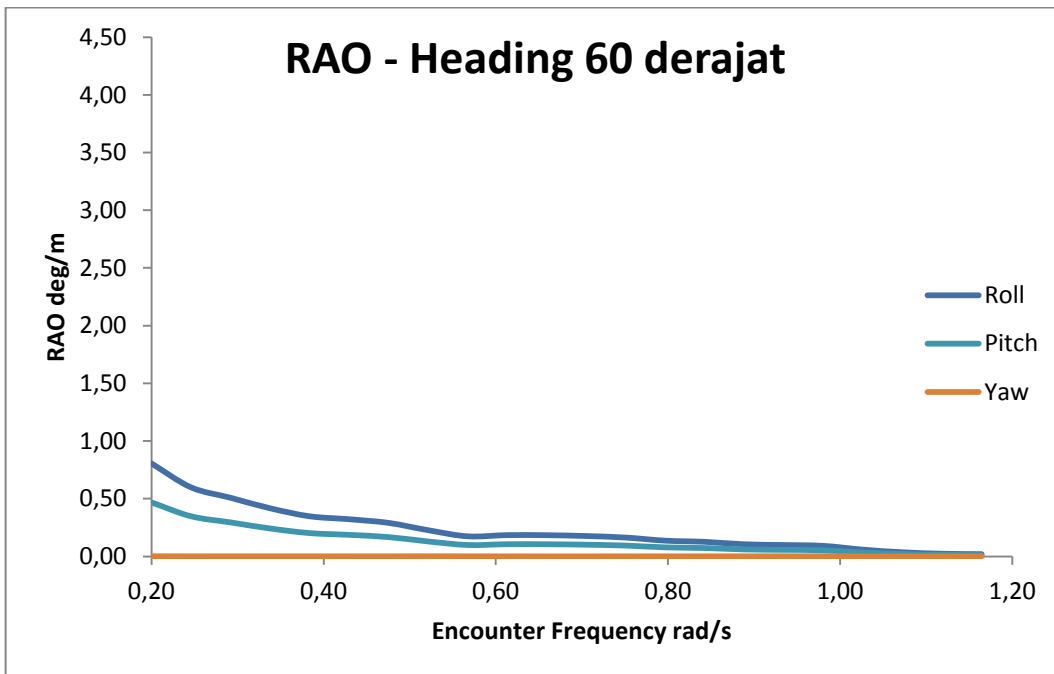
Gambar 4.11 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



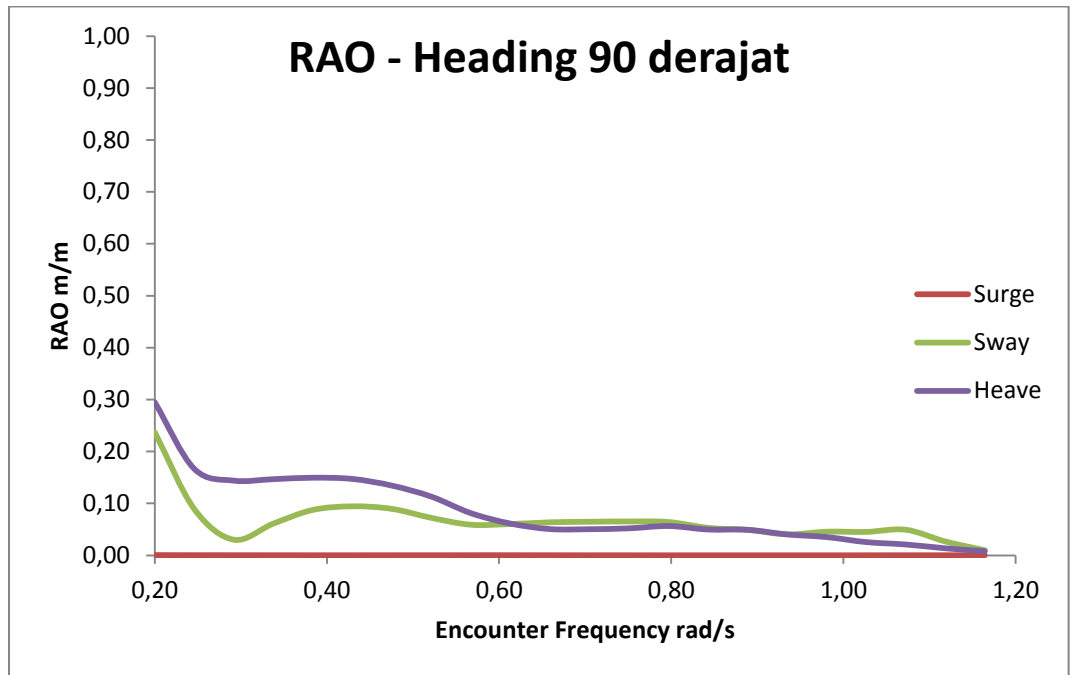
Gambar 4.12 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



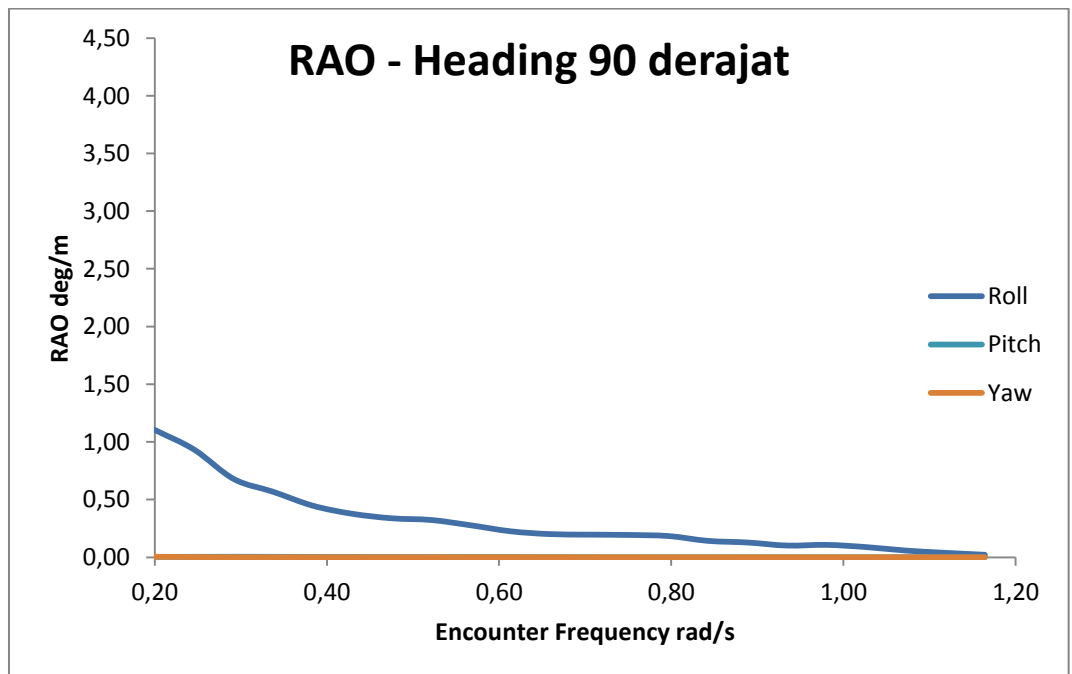
Gambar 4.13 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



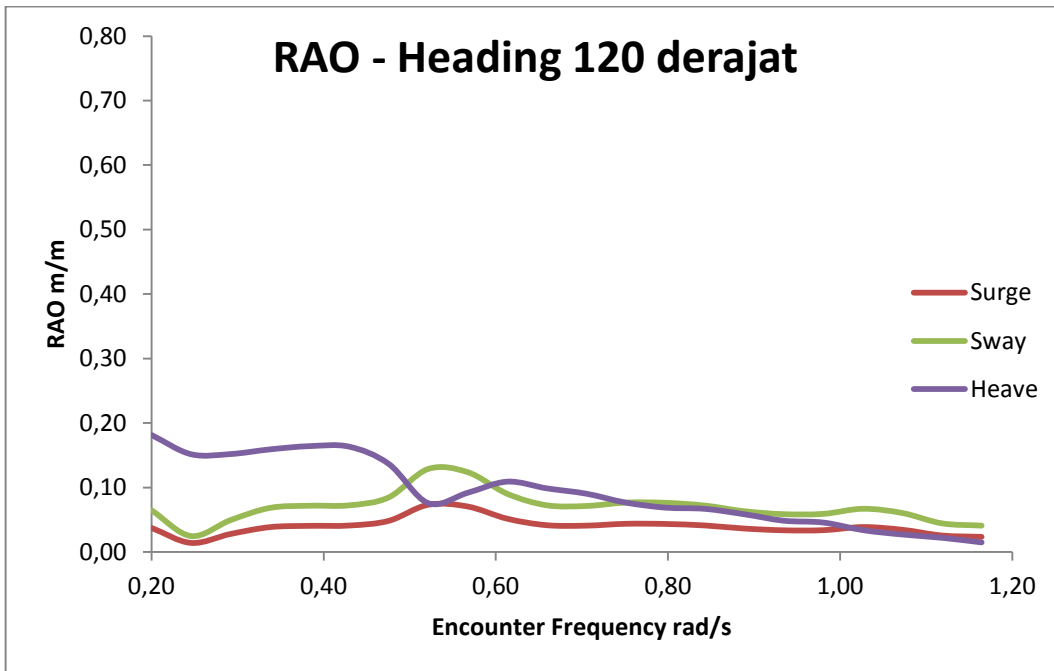
Gambar 4.14 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



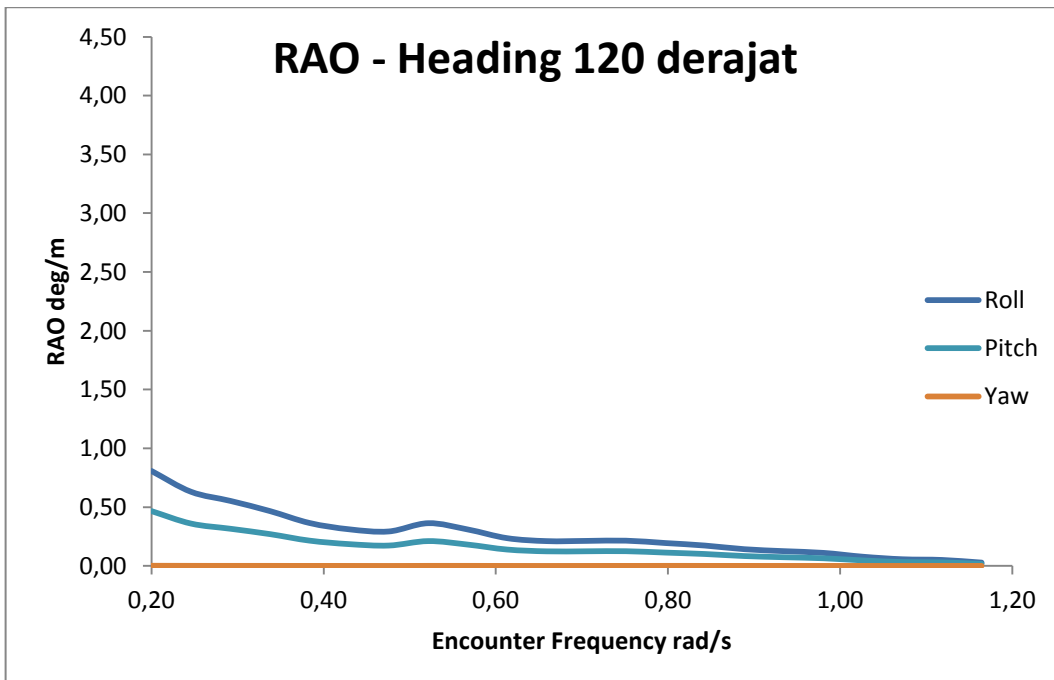
Gambar 4.15 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



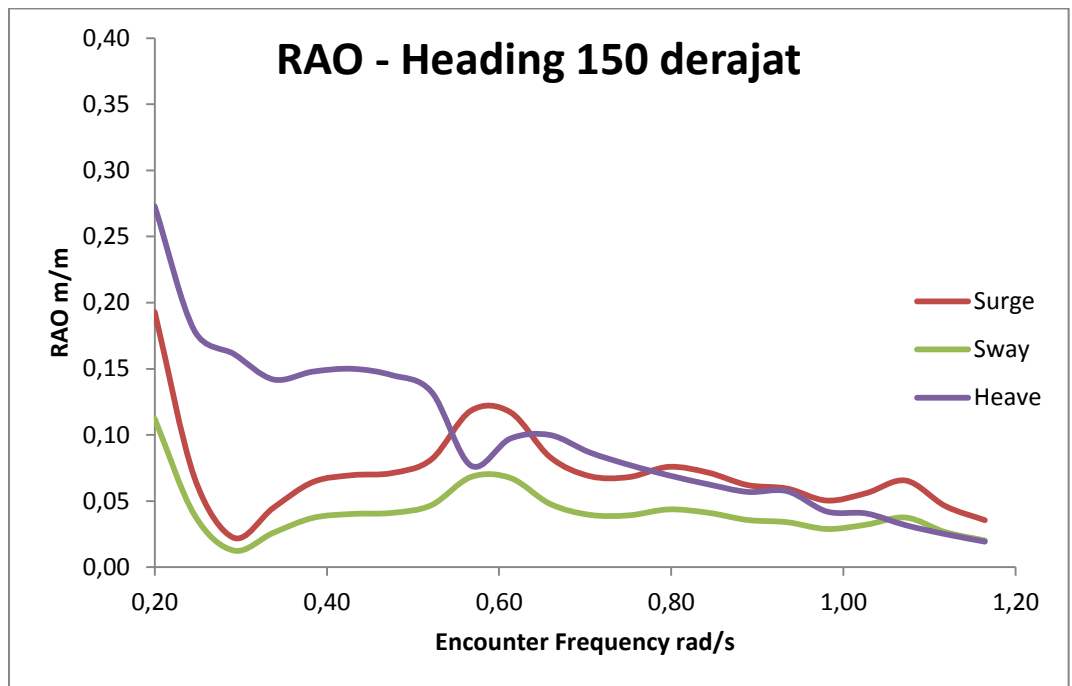
Gambar 4.16 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



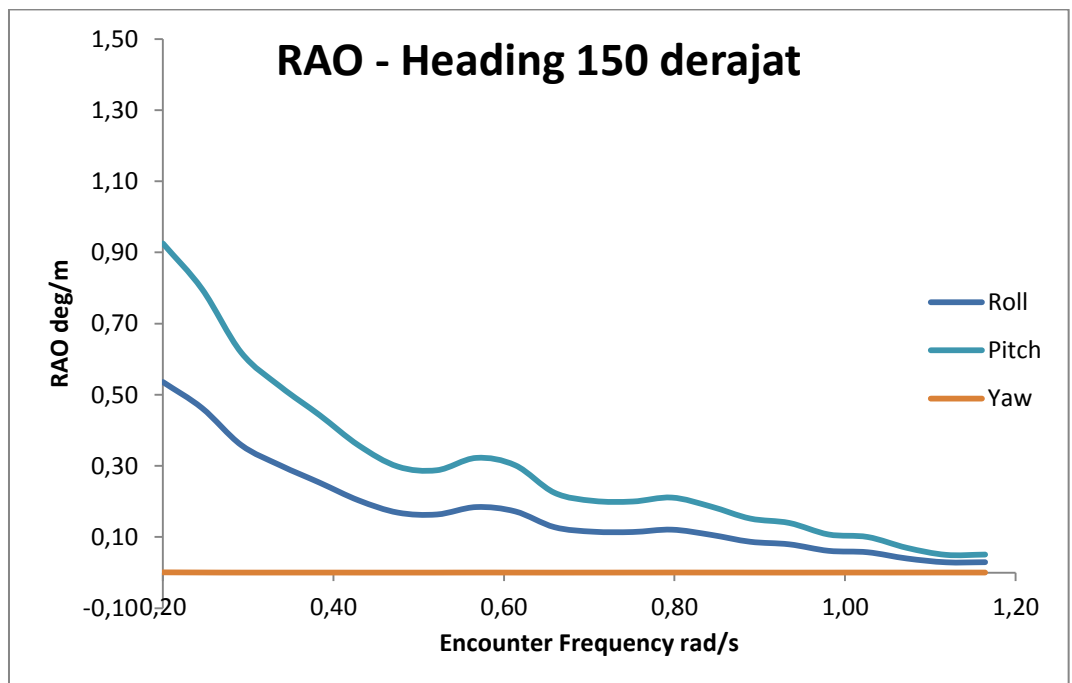
Gambar 4.17 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



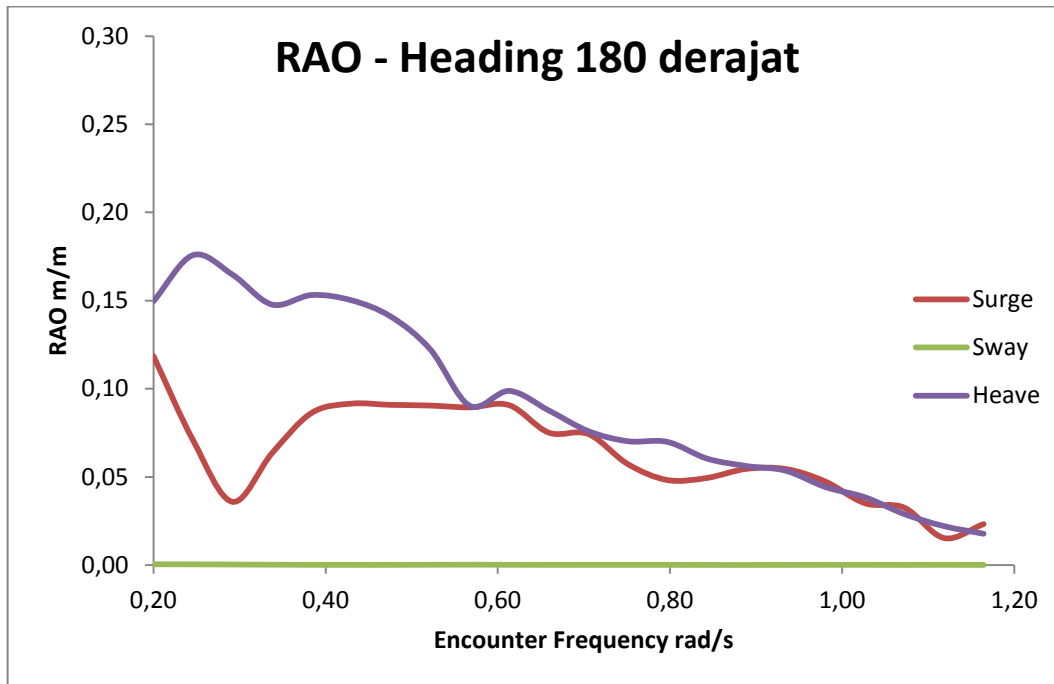
Gambar 4.18 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



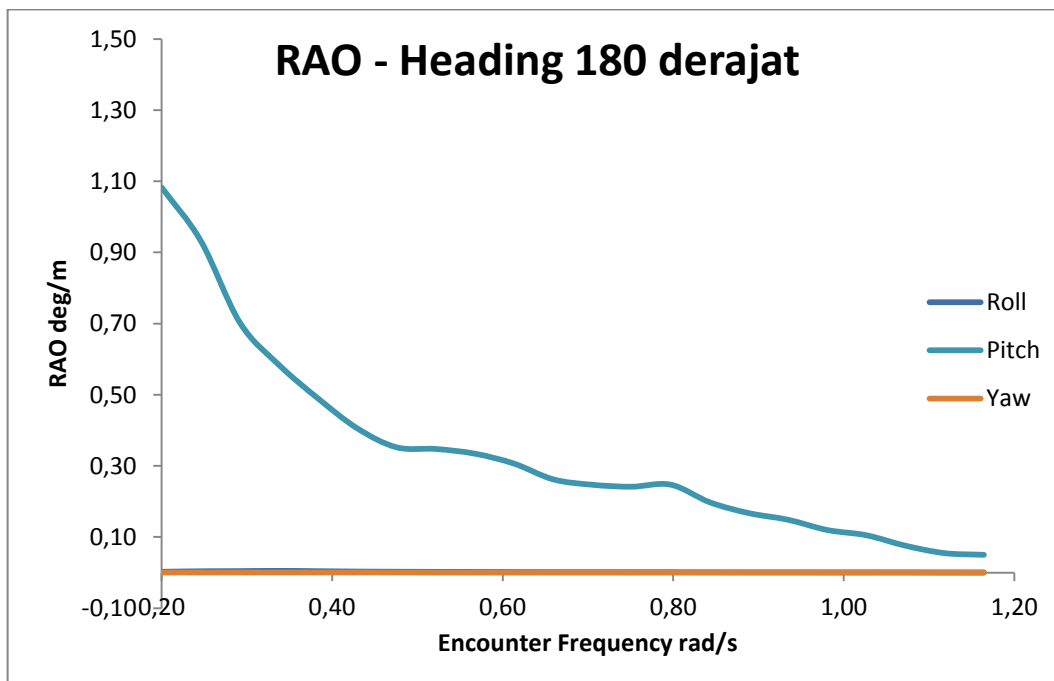
Gambar 4.19 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.20 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.21 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 180 derajat



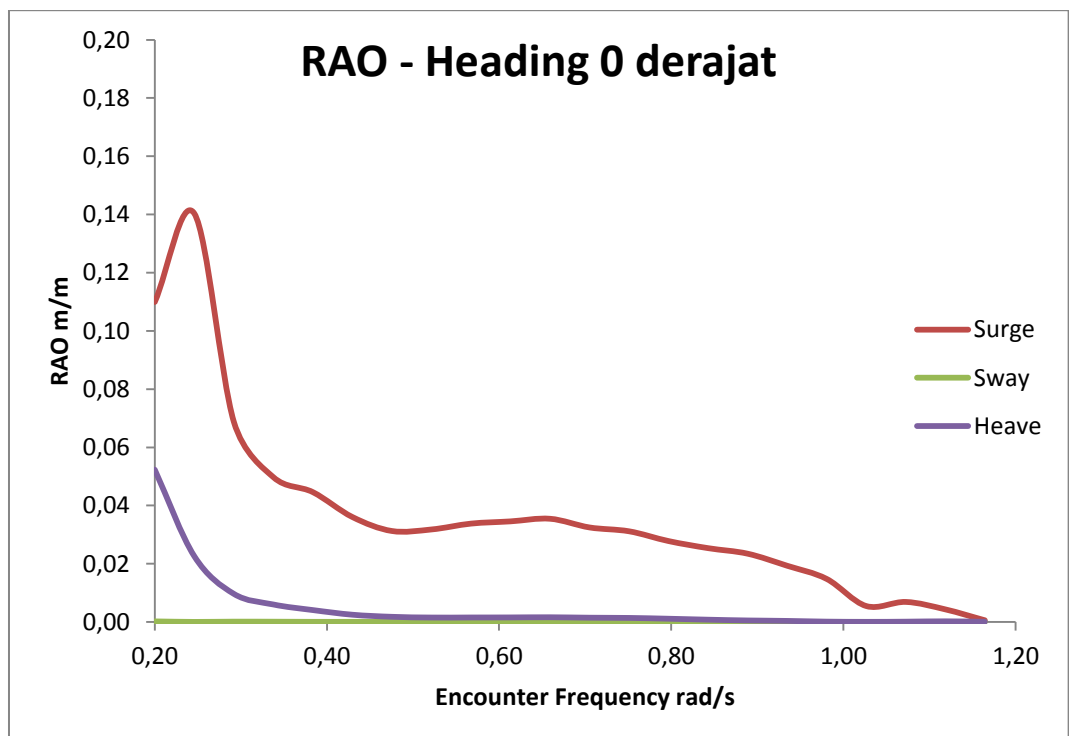
Gambar 4.22 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

Tabel 4.4 Nilai maksimum RAO FSO Arco Ardjuna *light condition*

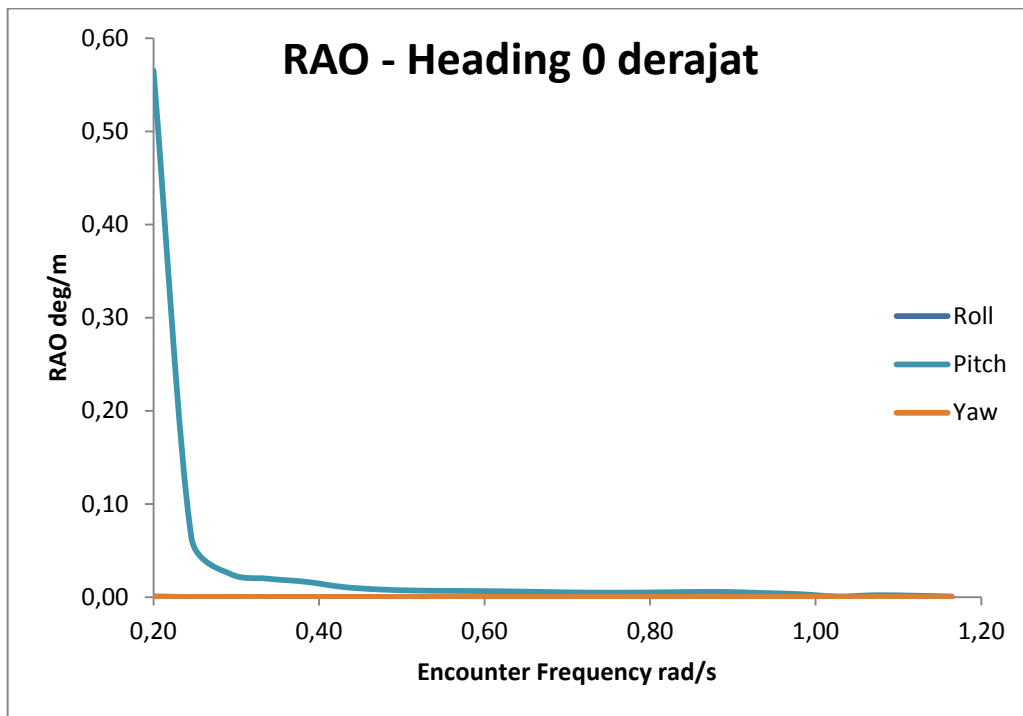
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum							Max
		0 deg	30 deg	60 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg	
Surge	m/m	0,211	0,093	0,051	0,000	0,073	0,193	0,119	0,211
Sway	m/m	0,000	0,054	0,087	0,237	0,129	0,112	0,001	0,237
Heave	m/m	0,169	0,167	0,167	0,295	0,181	0,273	0,176	0,295
Roll	deg/m	0,004	0,469	0,805	1,104	0,807	0,536	0,005	1,104
Pitch	deg/m	0,947	0,817	0,468	0,005	0,466	0,925	1,083	1,083
Yaw	deg/m	0,001	0,001	0,001	0,004	0,002	0,001	0,000	0,004

Berdasarkan Gambar 4.9 sampai Gambar 4.22 dan Tabel 4.4 di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0,211 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,237 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 0,295 (m/m) pada *heading* 90°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 1,104 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 1.083 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.004 (deg/m) pada *heading* 90°.

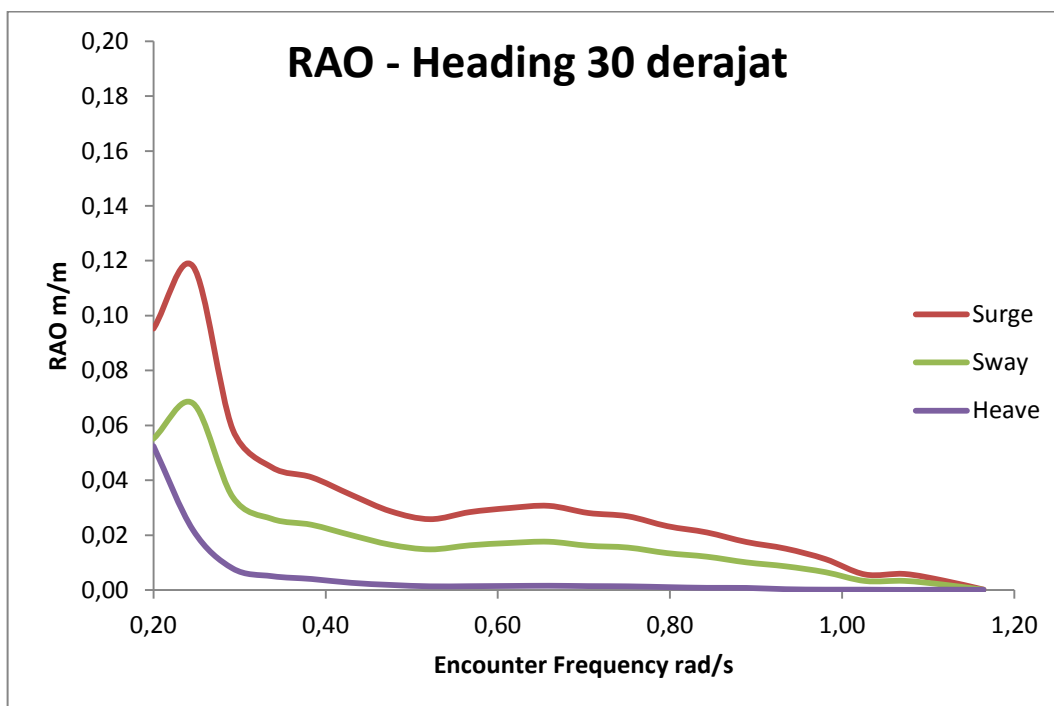
4.4.1.2 Full Load – Mooring



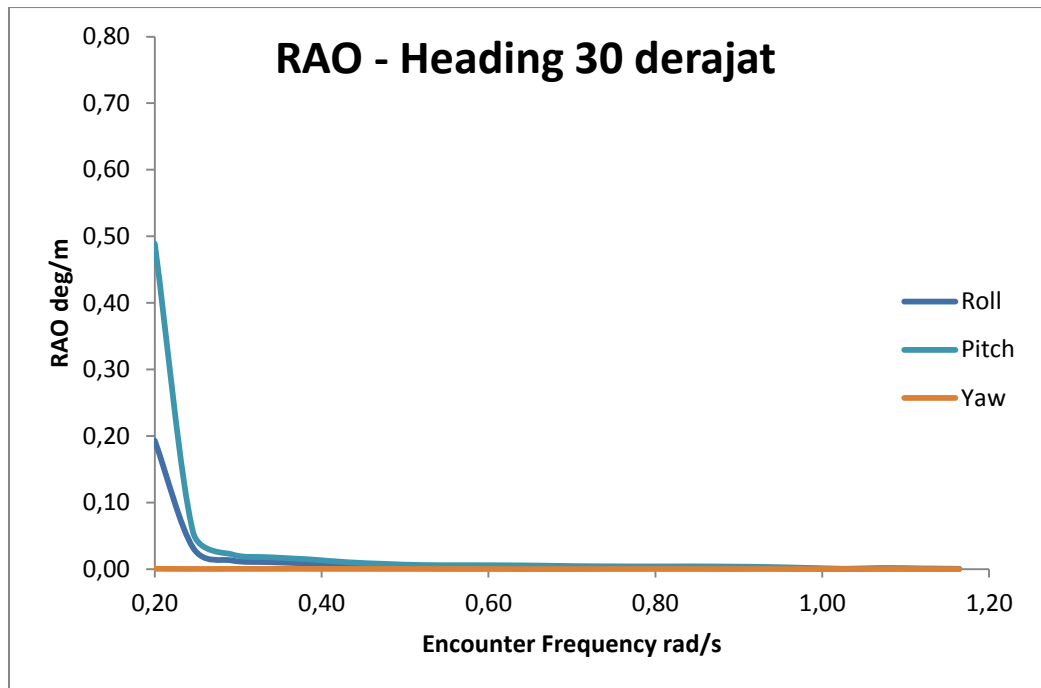
Gambar 4.23 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



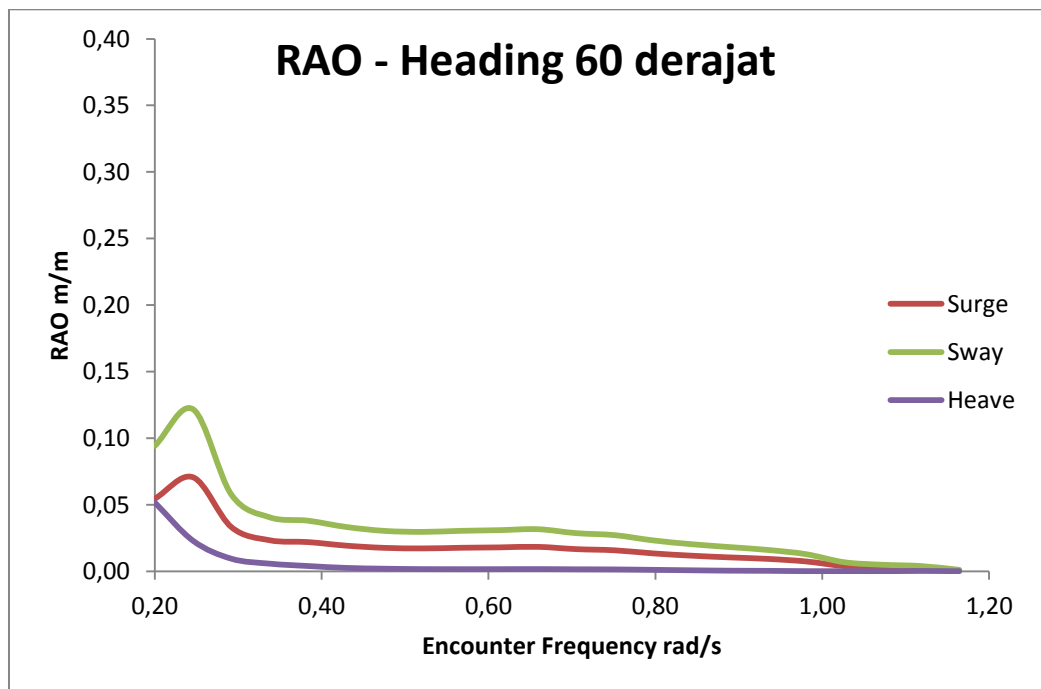
Gambar 4.24 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



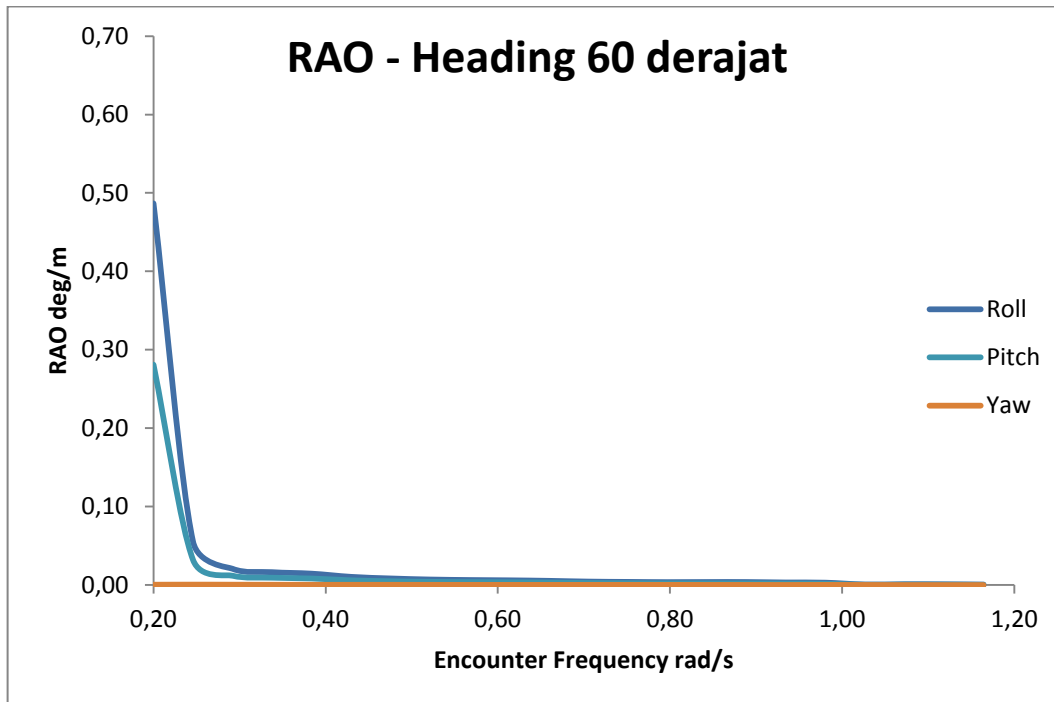
Gambar 4.25 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



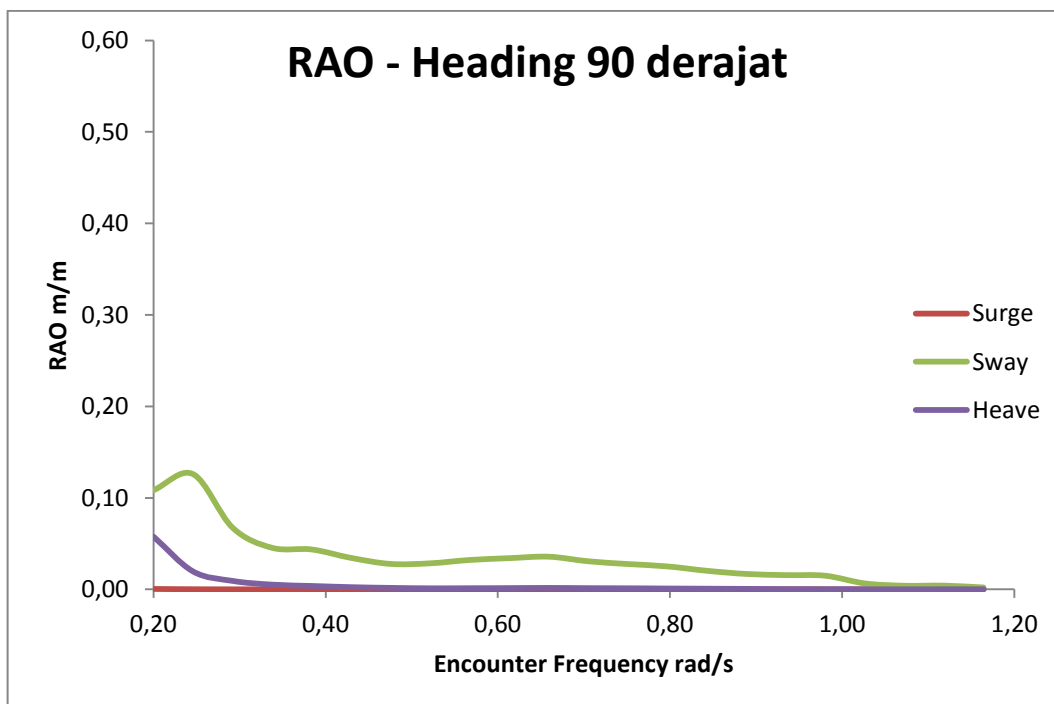
Gambar 4.26 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



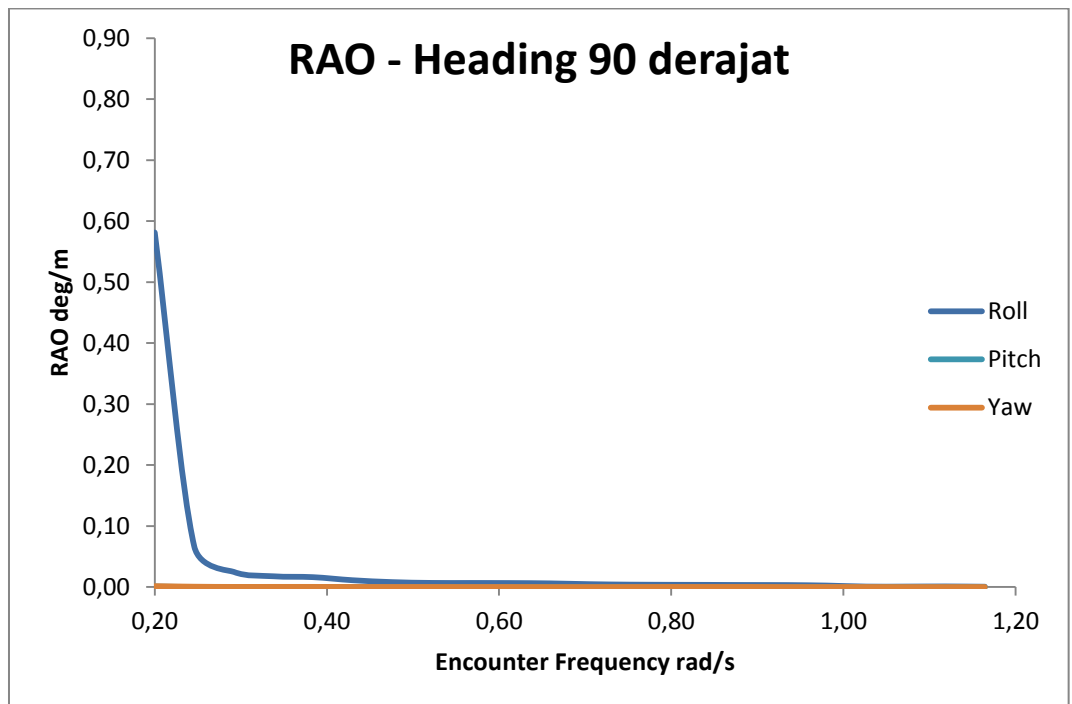
Gambar 4.27 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



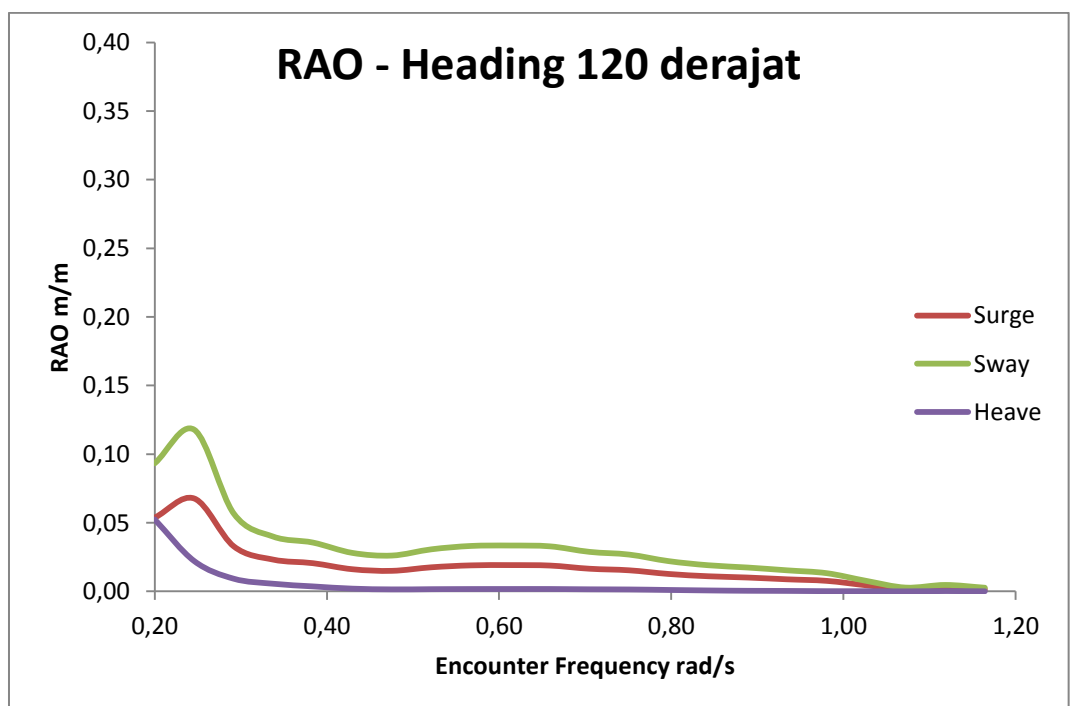
Gambar 4.28 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



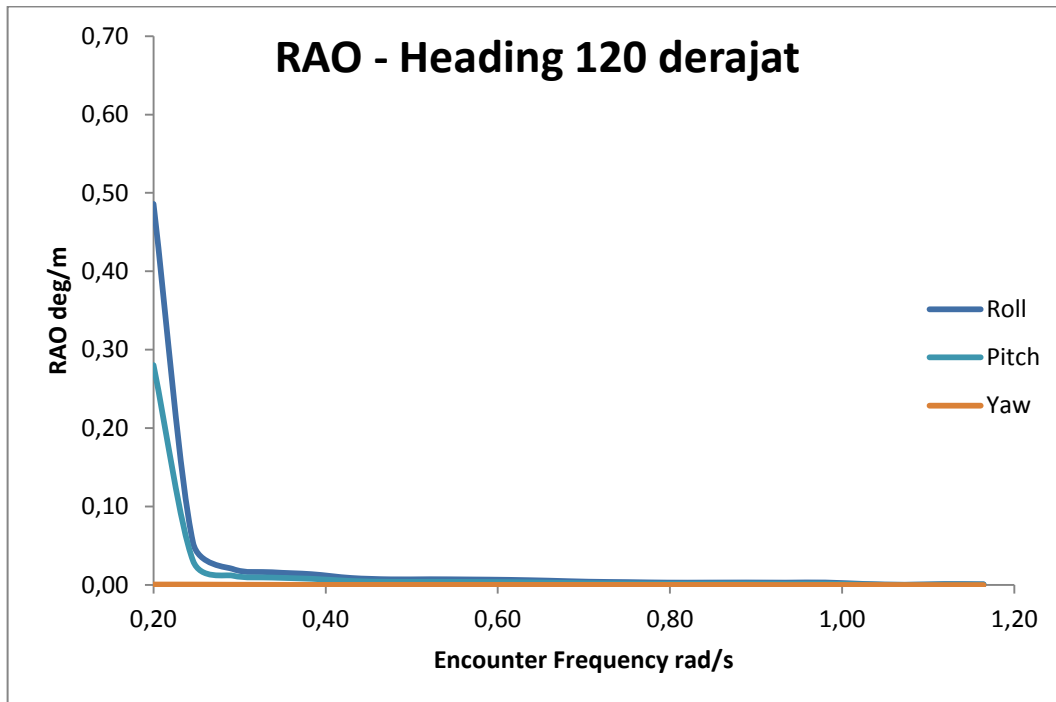
Gambar 4.29 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



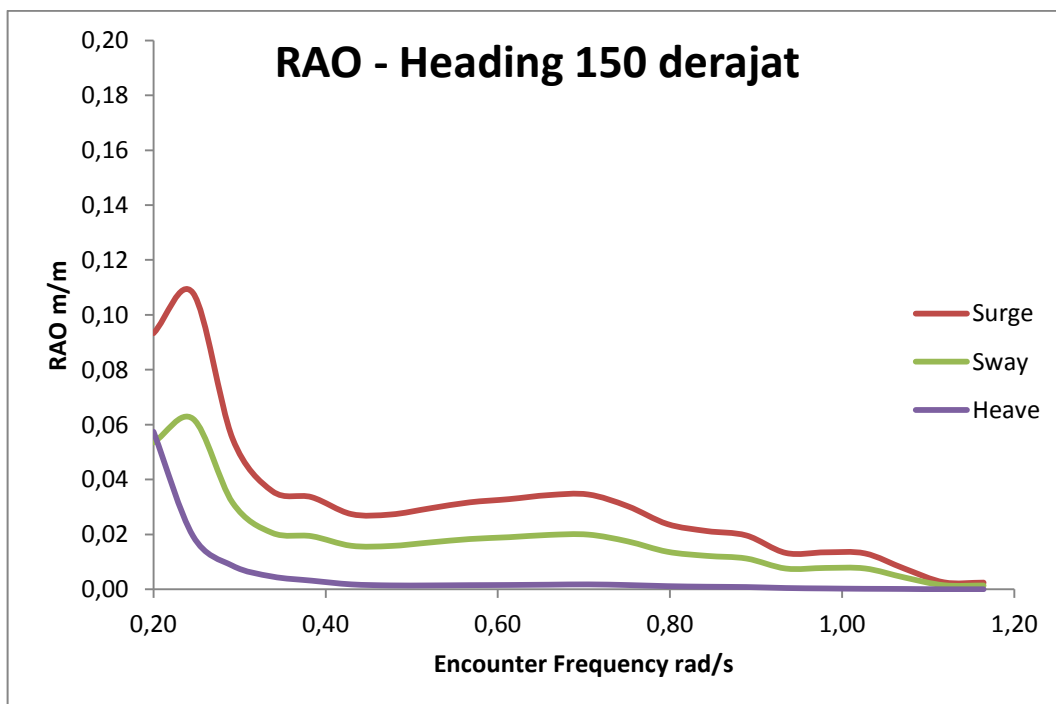
Gambar 4.30 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



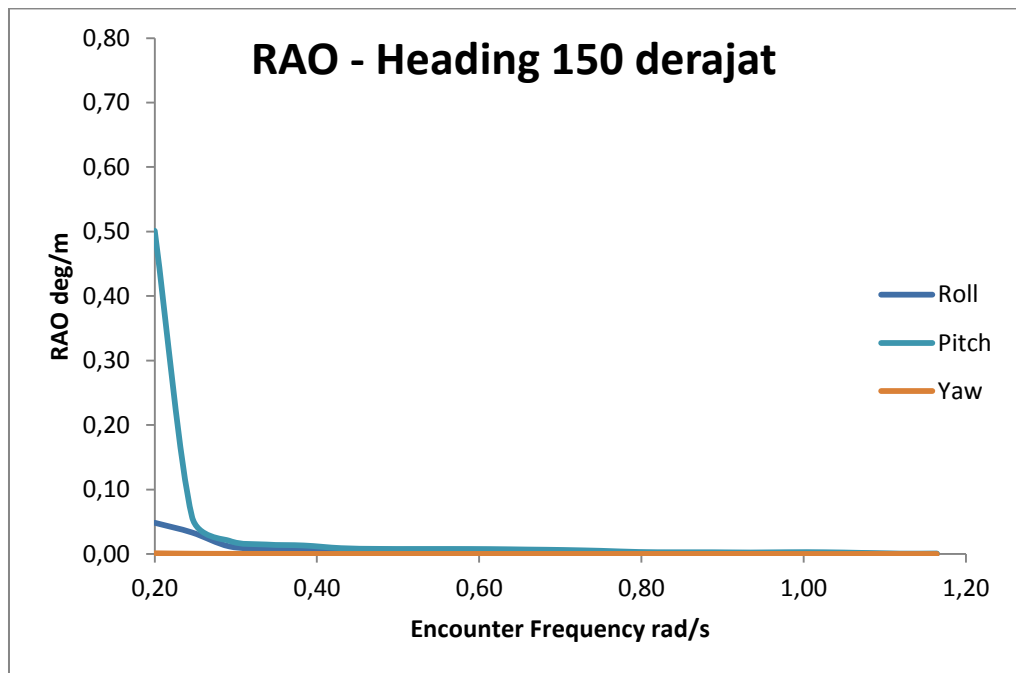
Gambar 4.31 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



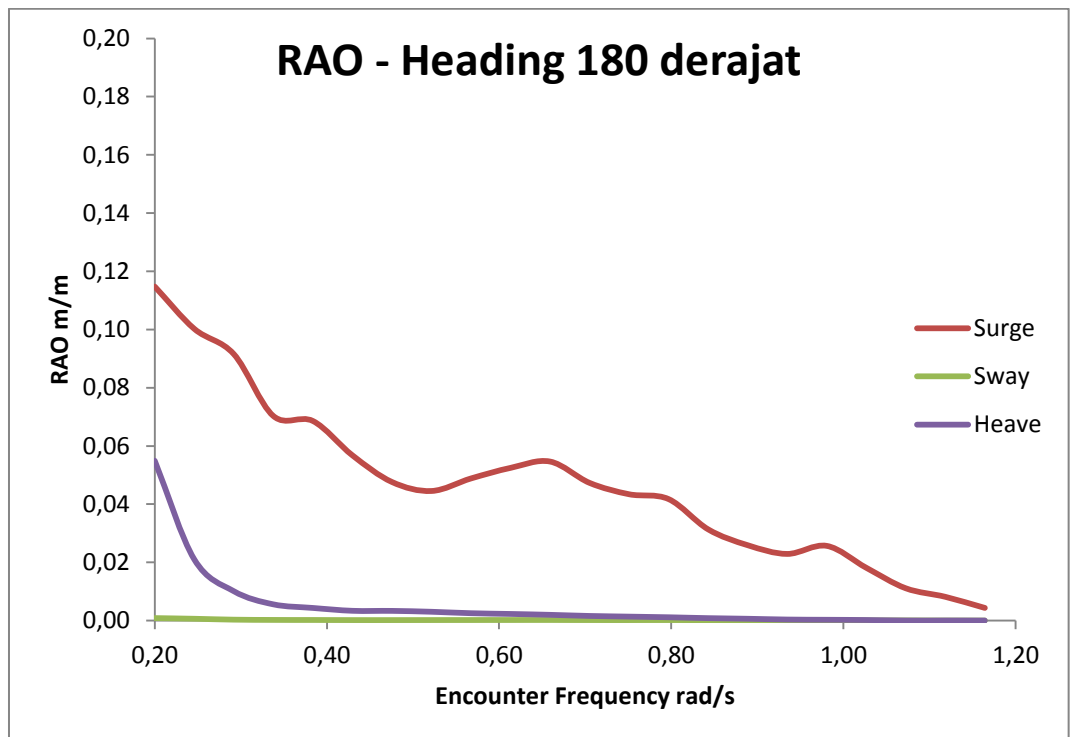
Gambar 4.32 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



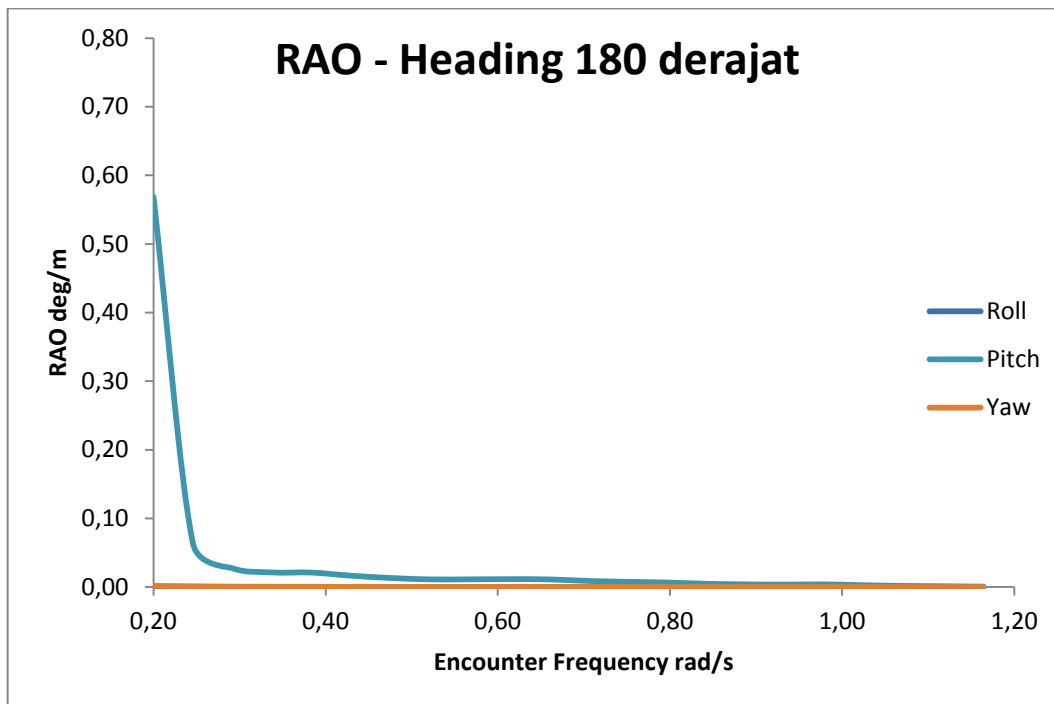
Gambar 4.33 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.34 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.35 Grafik RAO gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 180 derajat



Gambar 4.36 Grafik RAO gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *mooring* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

Tabel 4.5 Nilai maksimum RAO FSO Arco Ardjuna *full condition*

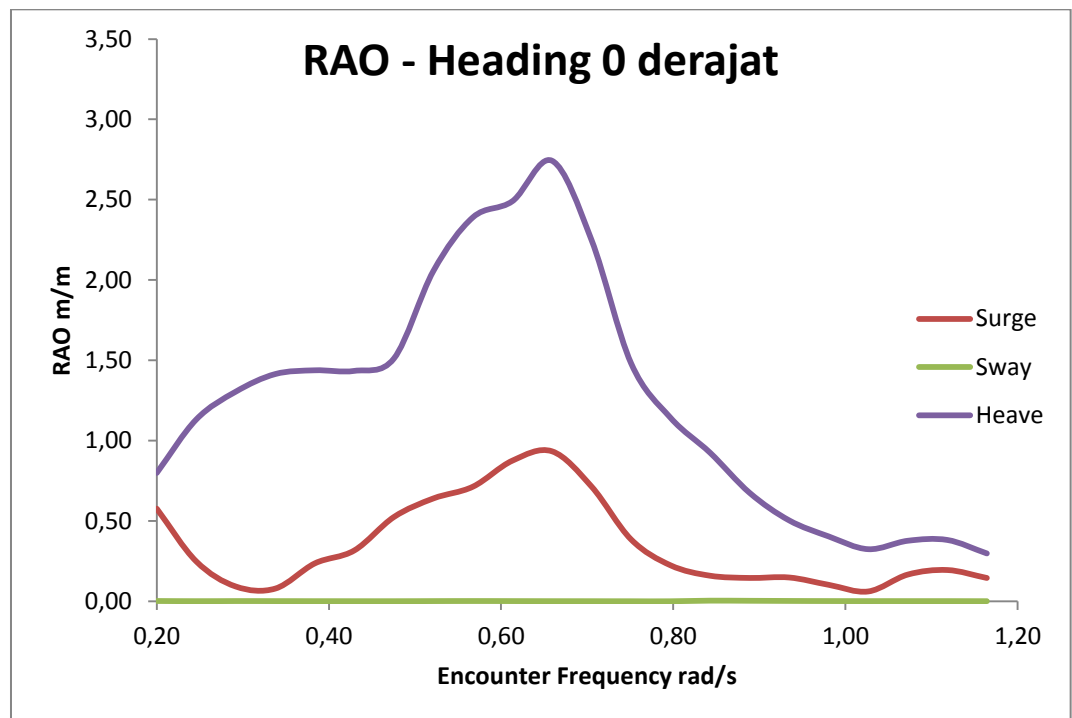
Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum							Max
		0 deg	30 deg	60 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg	
Surge	m/m	0,140	0,118	0,071	0,000	0,068	0,108	0,115	0,140
Sway	m/m	0,000	0,068	0,122	0,126	0,118	0,062	0,001	0,126
Heave	m/m	0,052	0,052	0,052	0,058	0,052	0,057	0,055	0,058
Roll	deg/m	0,001	0,193	0,487	0,581	0,486	0,048	0,000	0,581
Pitch	deg/m	0,565	0,489	0,281	0,001	0,280	0,501	0,568	0,568
Yaw	deg/m	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002

Berdasarkan Gambar 4.23 sampai Gambar 4.36 dan Tabel 4.5 di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0,140 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,126 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 0,058 (m/m) pada *heading* 90°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 0.581 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 0.568 (deg/m) pada *heading* 180°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.002 (deg/m) pada *heading* 90°.

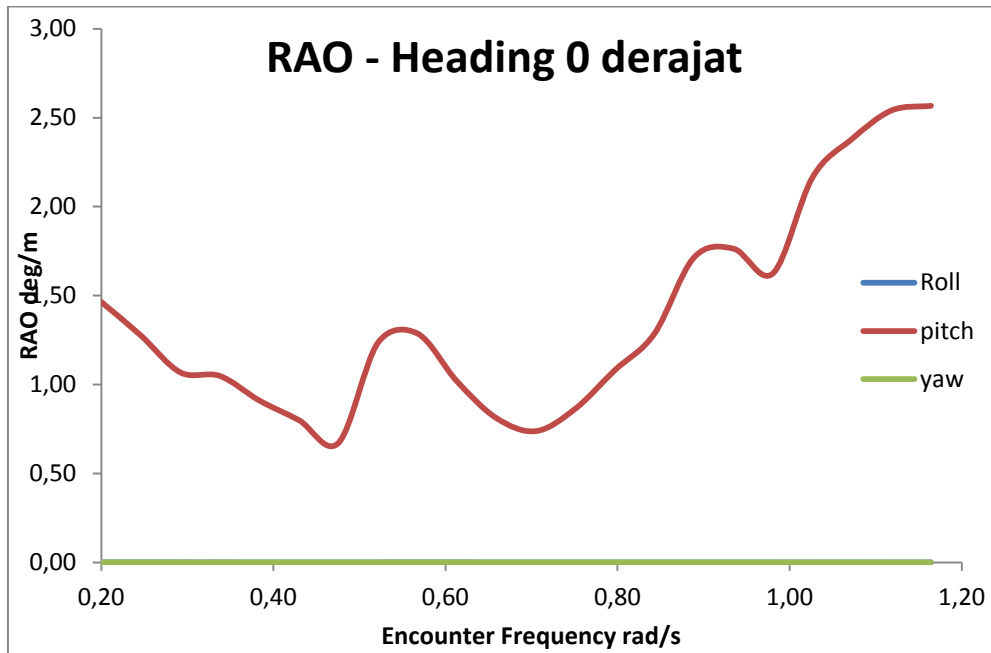
4.4.2 Single Point Mooring kondisi mooring

Perhitungan RAO pada *Single Point Mooring* saat kondisi *mooring* dilakukan pada sarat 2.38 m, dengan kedalaman laut 45 m. Grafik RAO pada SPM dilakukan untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll* dan *pitch*. *Heading* pembebanan untuk mencari RAO *Single Point Mooring* saat kondisi tertambat adalah 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , hal ini untuk mencari respon gerakan *Single Point Mooring* akibat *heading* pembebanan yang searah dengan salah satu *anchor line* pada *Single Point Mooring* dan juga mengetahui respon gerakan *Single Point Mooring* akibat *heading* pembebanan yang berasal dari *between anchor legs*.

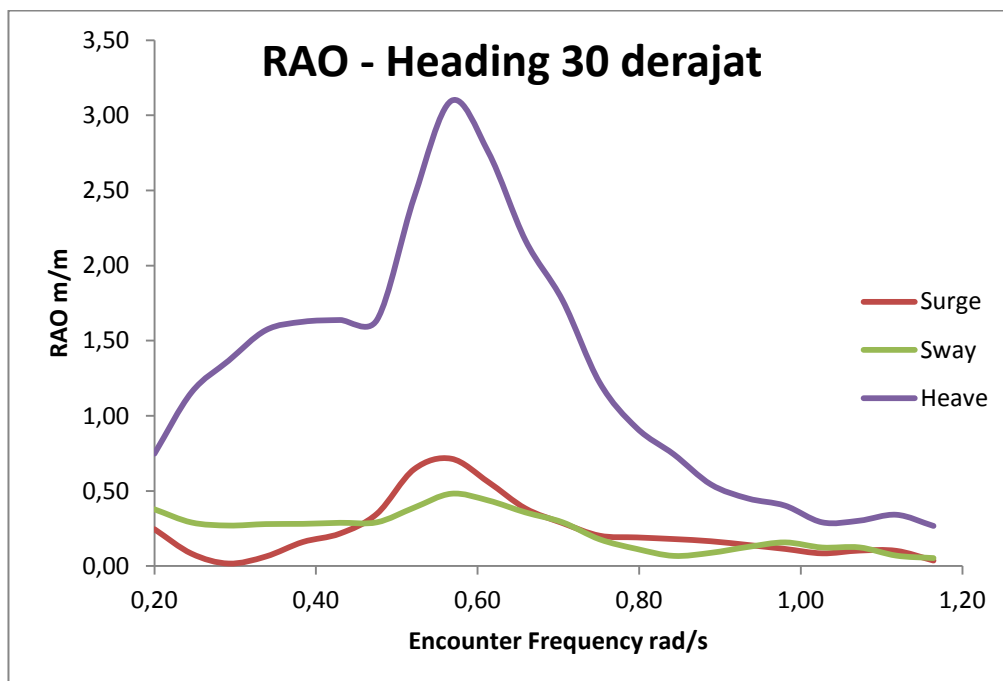
4.4.2.1 Single Point Mooring kondisi mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load



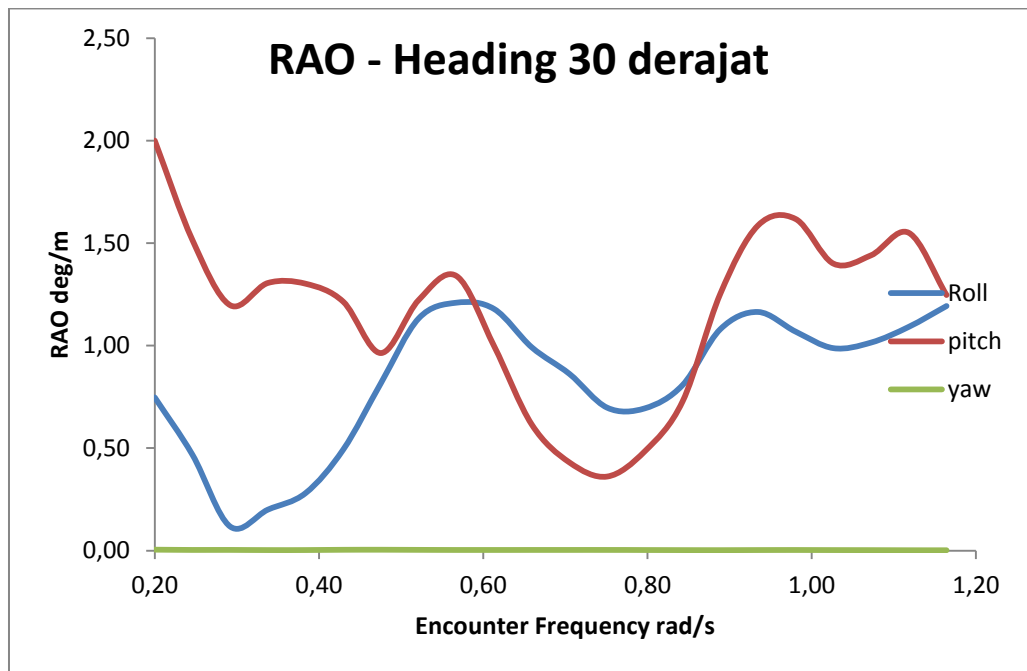
Gambar 4.37 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



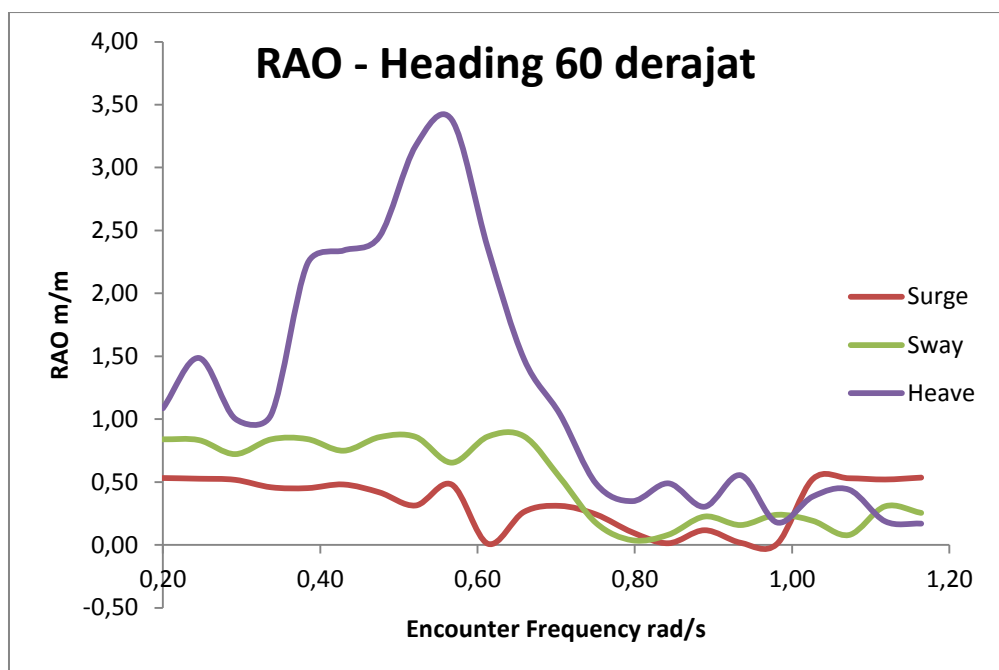
Gambar 4.38 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



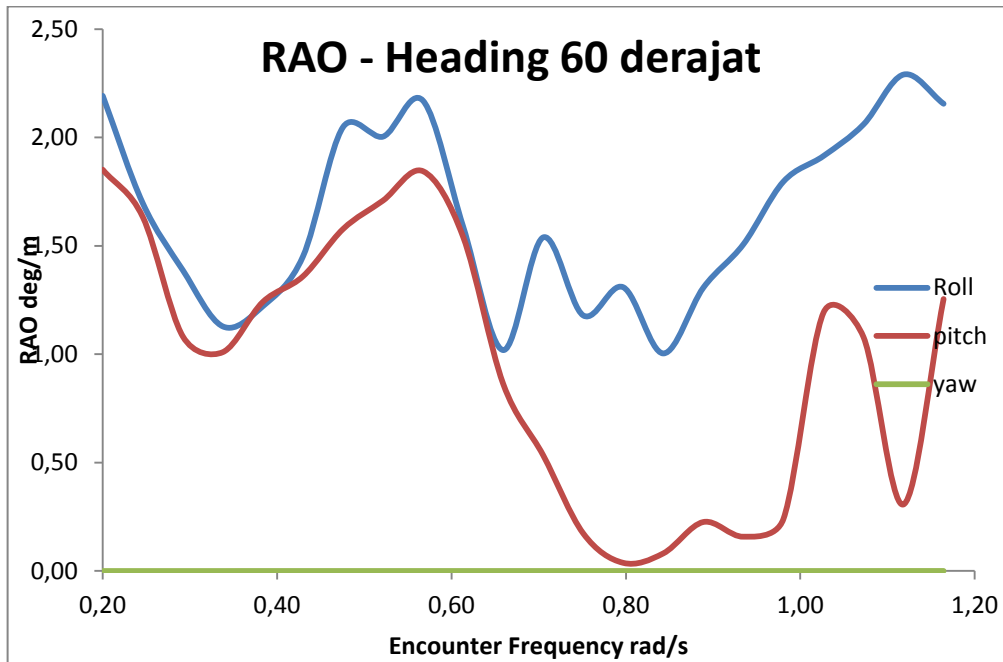
Gambar 4.39 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



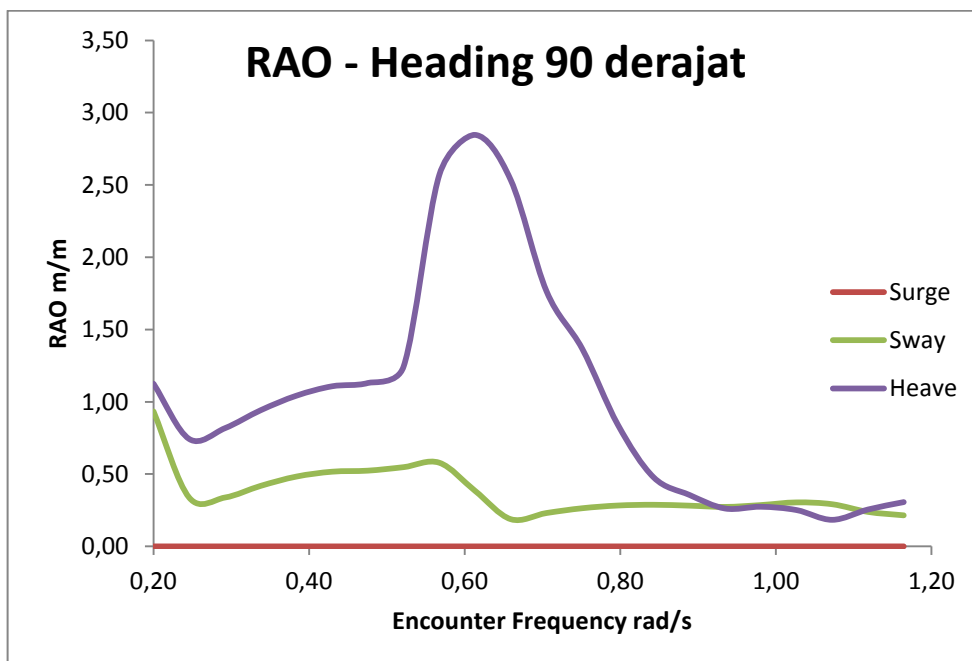
Gambar 4.40 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



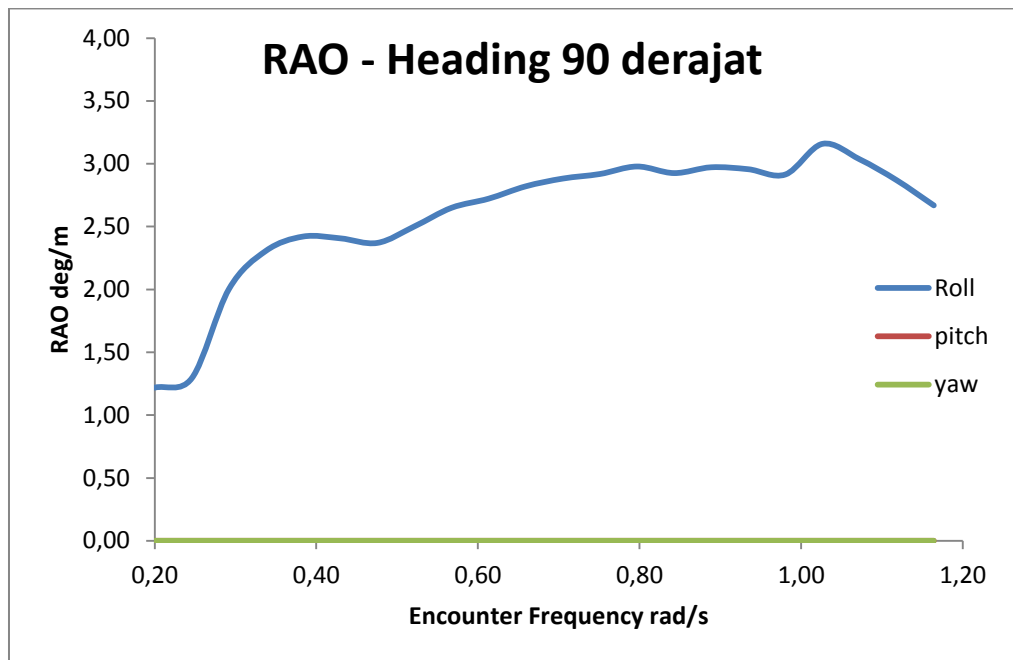
Gambar 4.41 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



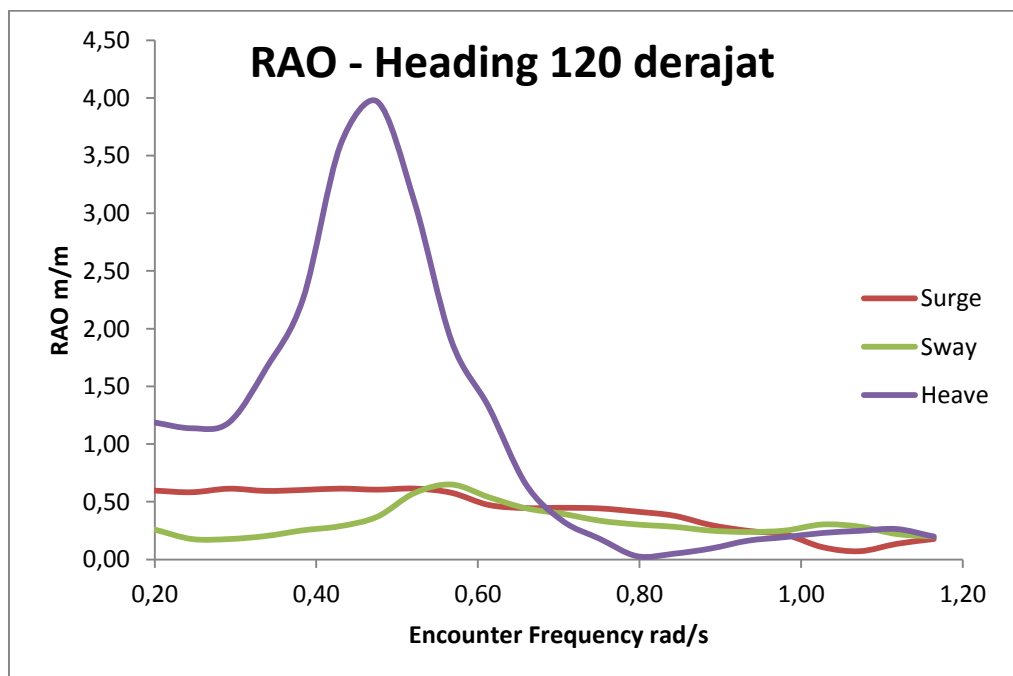
Gambar 4.42 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



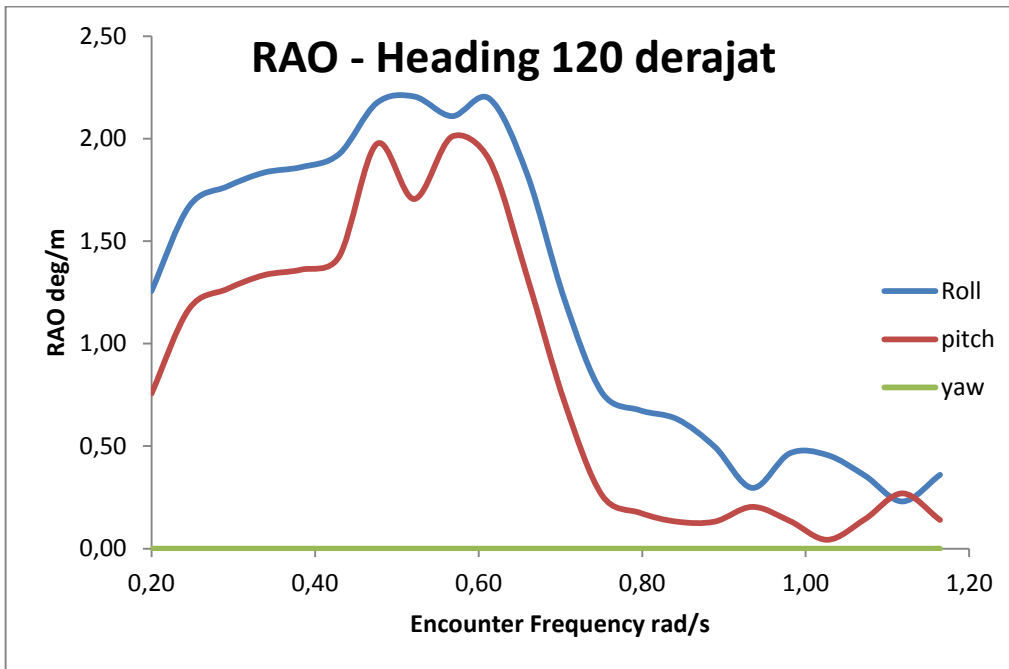
Gambar 4.43 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



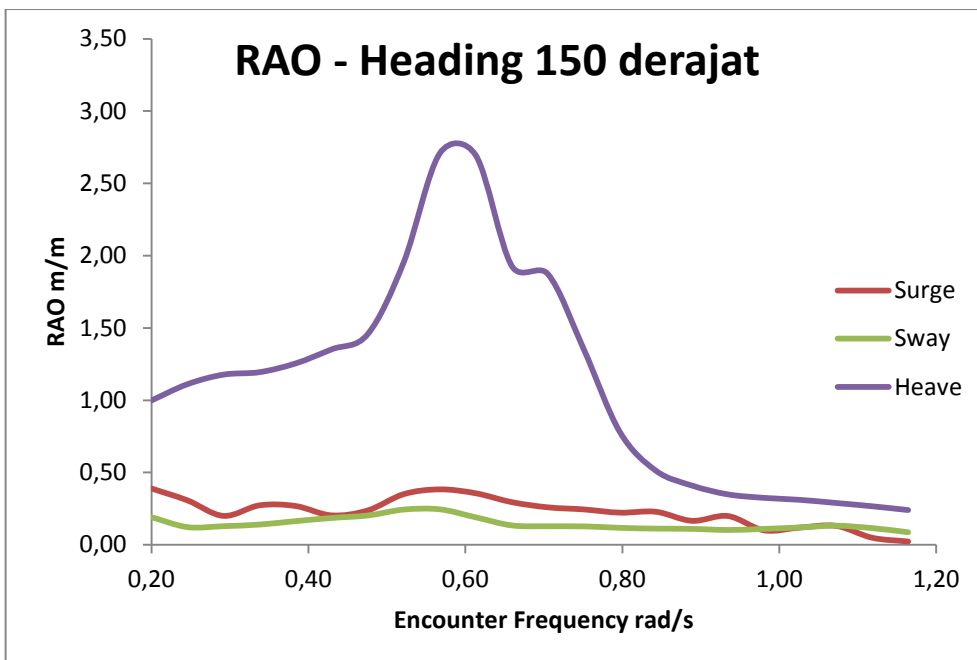
Gambar 4.44 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



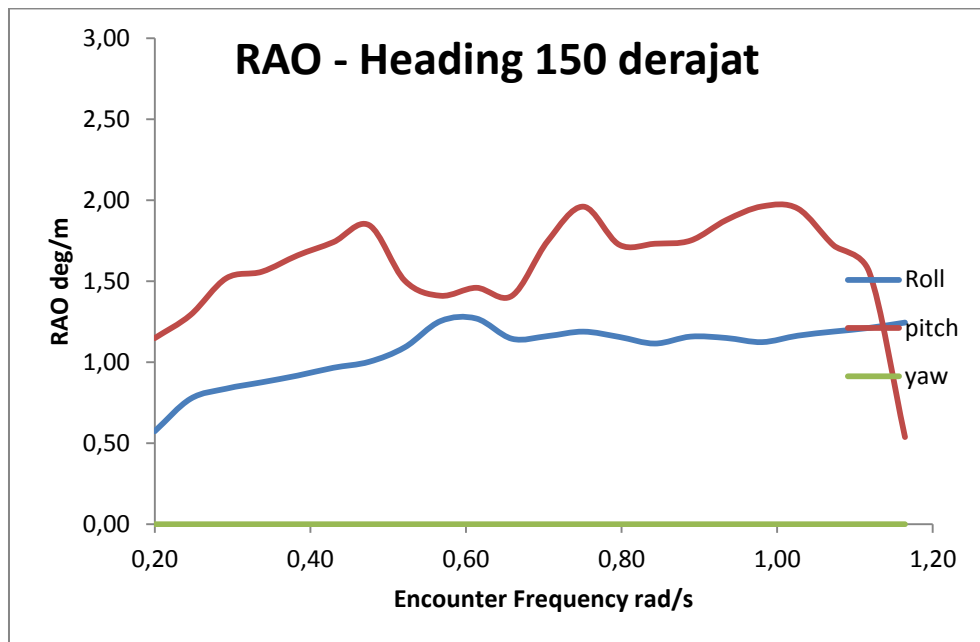
Gambar 4.45 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



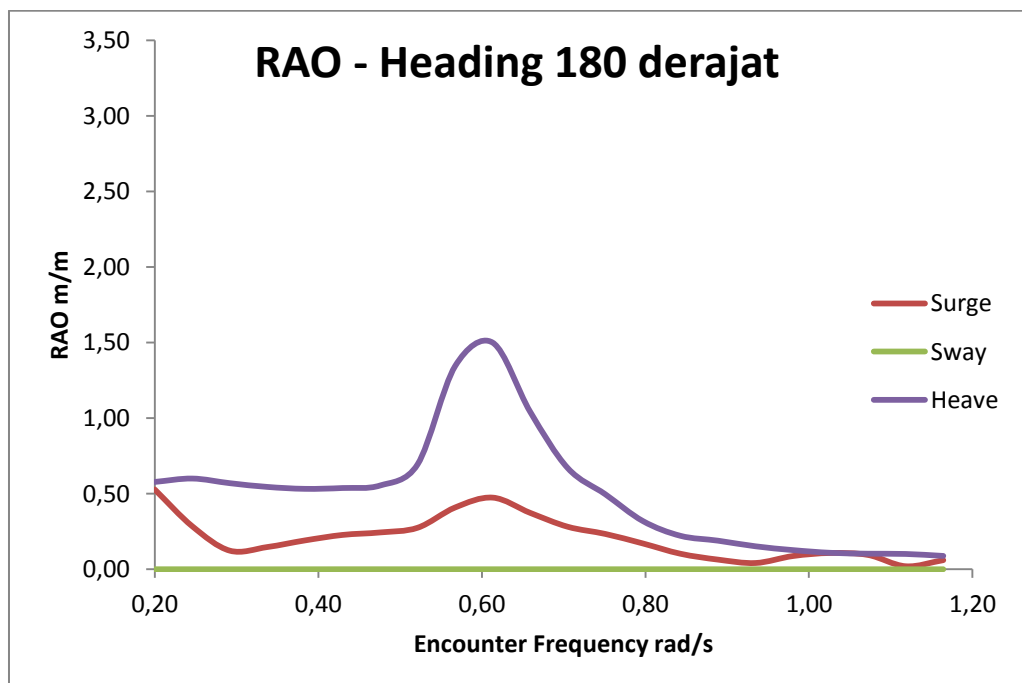
Gambar 4.46 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



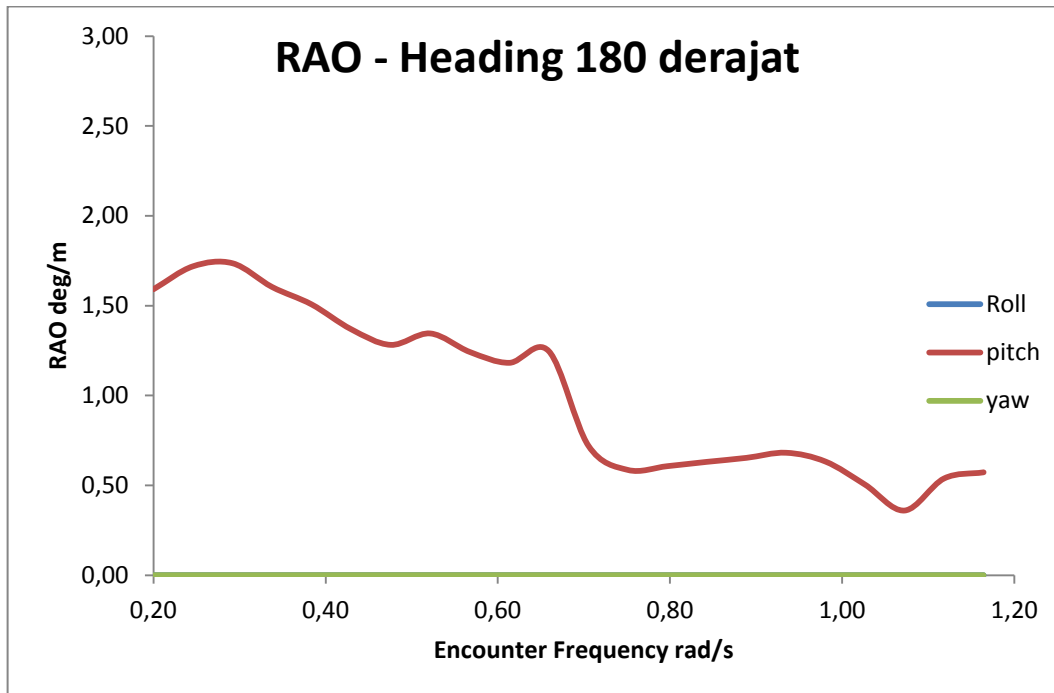
Gambar 4.47 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.48 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.49 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat



Gambar 4.50 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

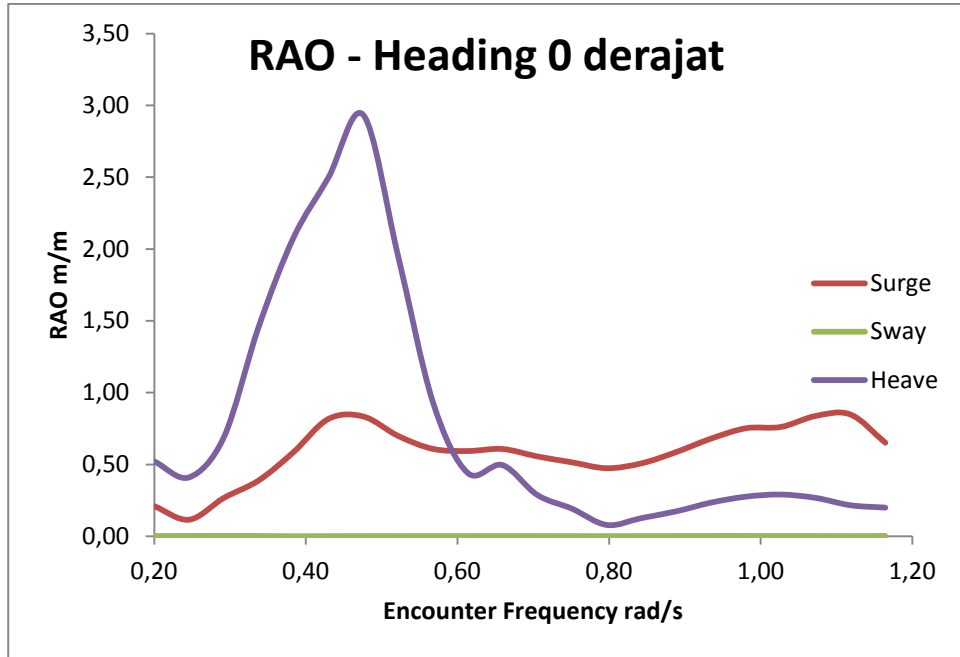
Tabel 4.6 Nilai maksimum RAO SPM tertambat dengan FSO Arco Ardjuna *light condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum							Max
		0 deg	30 deg	60 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg	
Surge	m/m	0,934	0,715	0,536	0,000	0,614	0,390	0,528	0,934
Sway	m/m	0,004	0,481	0,864	0,934	0,649	0,246	0,001	0,934
Heave	m/m	2,742	3,096	3,380	2,846	3,968	2,707	1,499	3,968
Roll	deg/m	0,001	1,209	2,291	3,159	2,205	1,270	0,001	3,159
Pitch	deg/m	2,567	2,000	1,852	0,000	2,009	1,961	1,736	2,567
Yaw	deg/m	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005

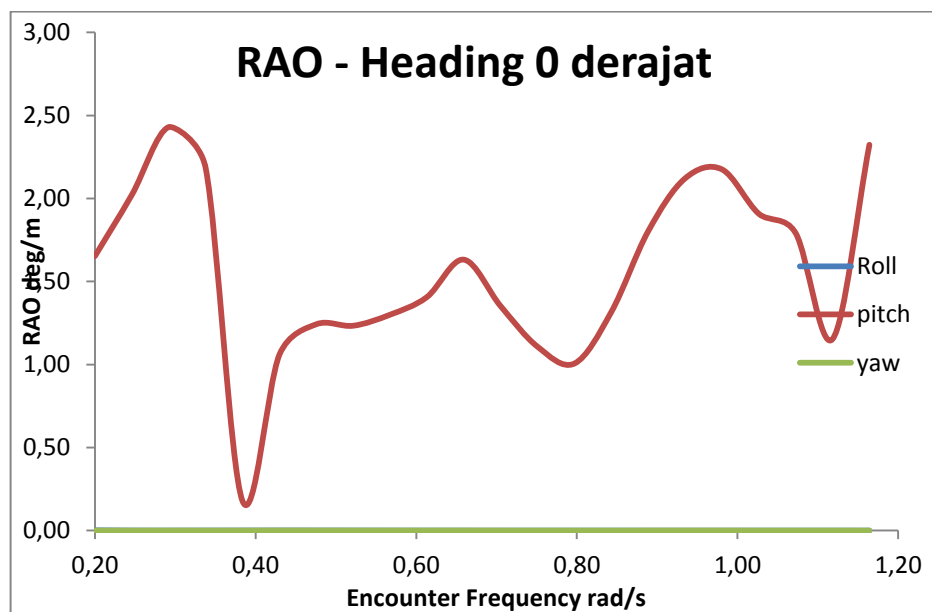
Berdasarkan Gambar 4.37 sampai Gambar 4.50 dan Tabel 4.6 di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0.934 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,934 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 3.968 (m/m) pada *heading* 120°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 3.159 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 2.567 (deg/m) pada *heading* 0°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.005 (deg/m) pada *heading* 30°.

4.4.2.2 *Single Point Mooring* kondisi *mooring* dengan FSO Arco

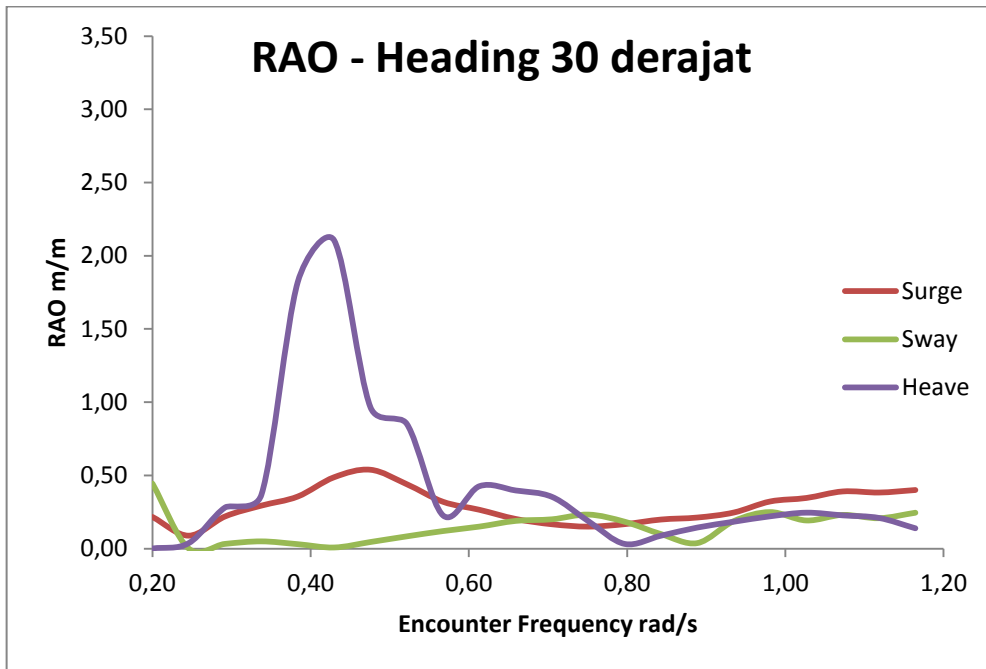
Ardjuna kondisi *full load*



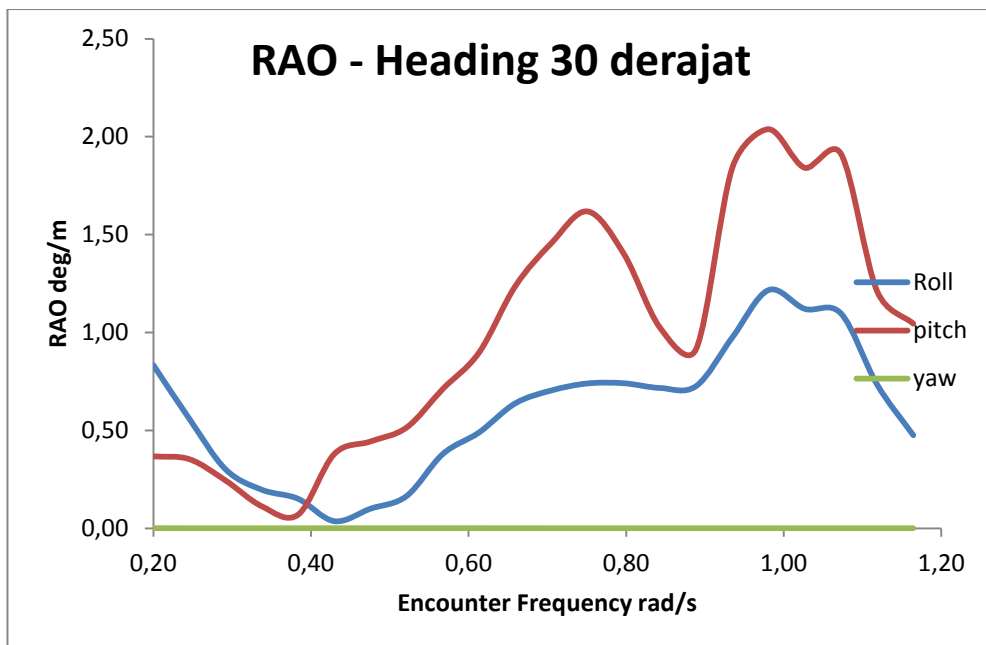
Gambar 4.51 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



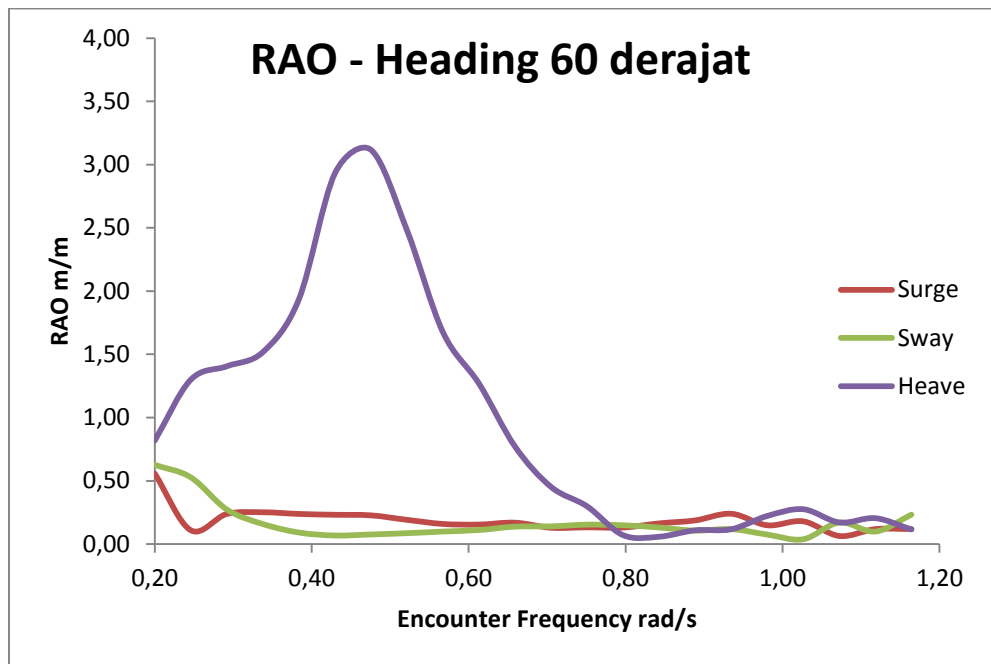
Gambar 4.52 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat *mooring* dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



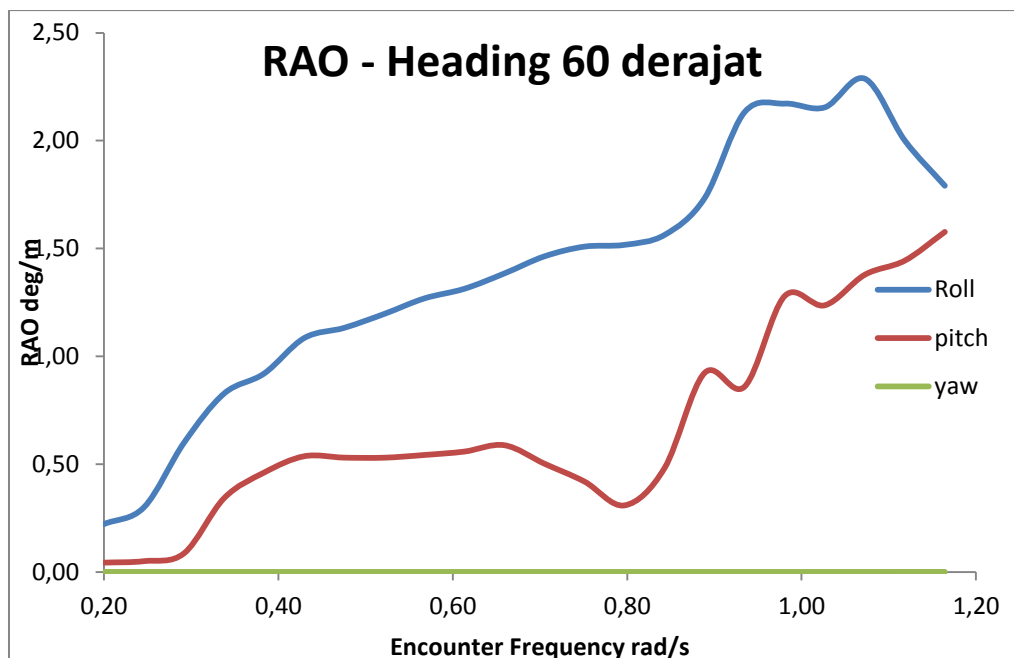
Gambar 4.53 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



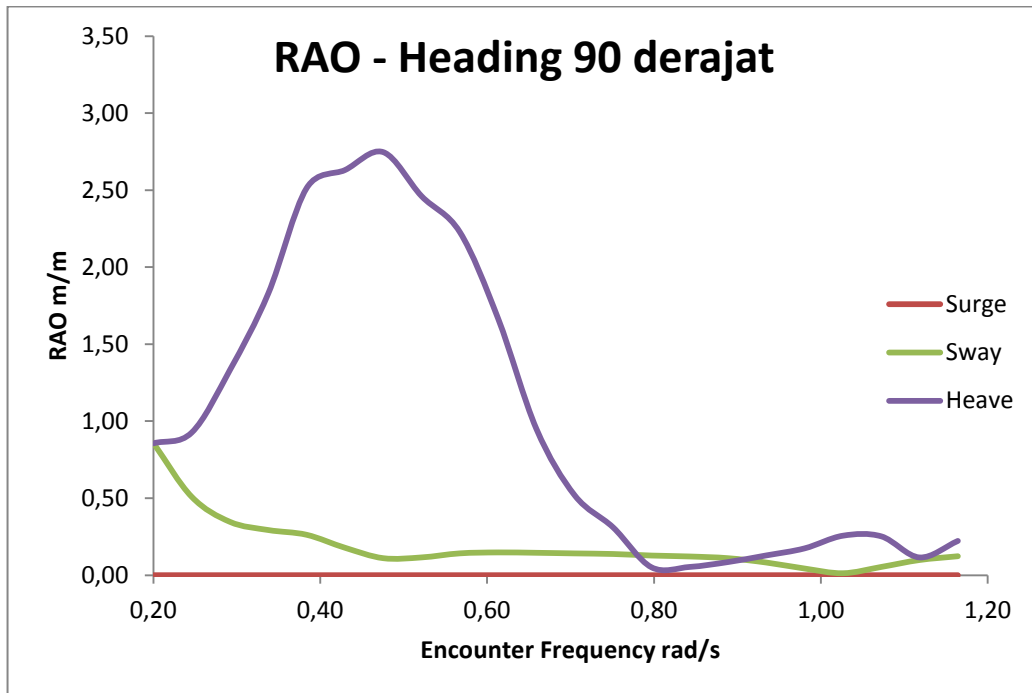
Gambar 4.54 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



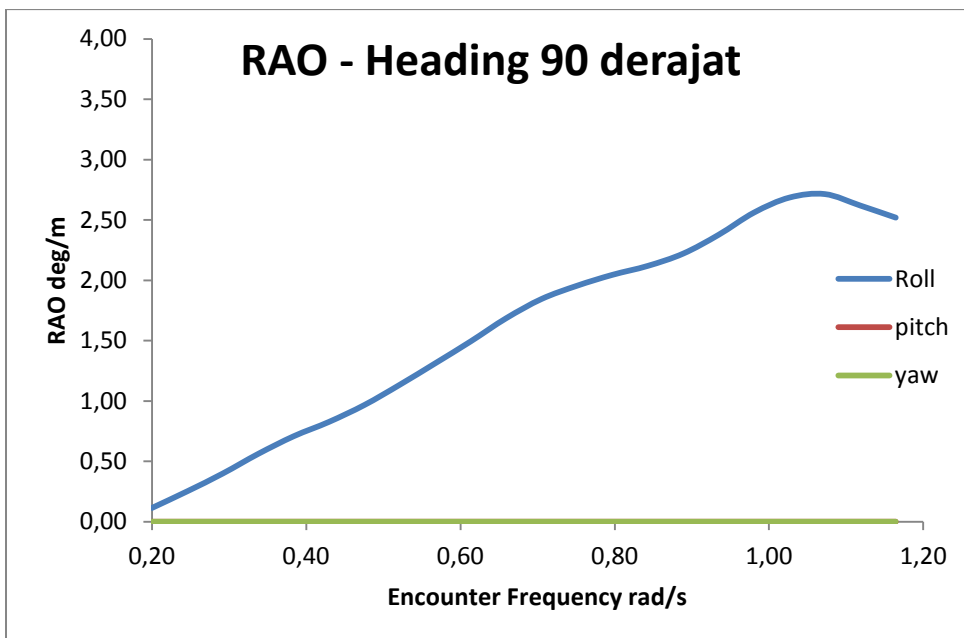
Gambar 4.55 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan heading pembebanan 60 derajat



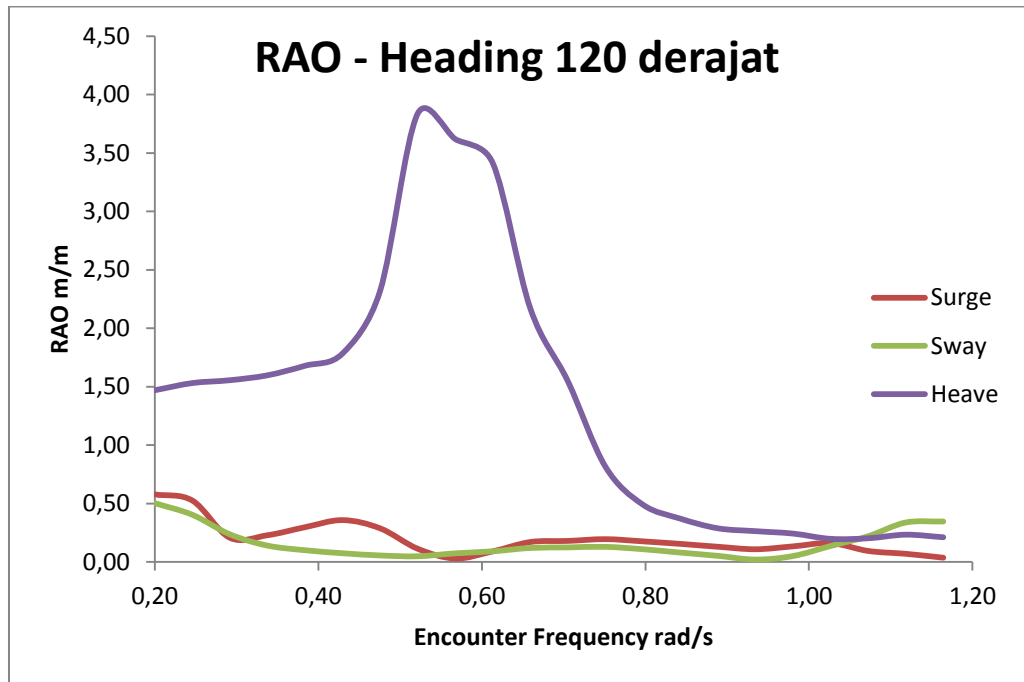
Gambar 4.56 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan heading pembebanan 60 derajat



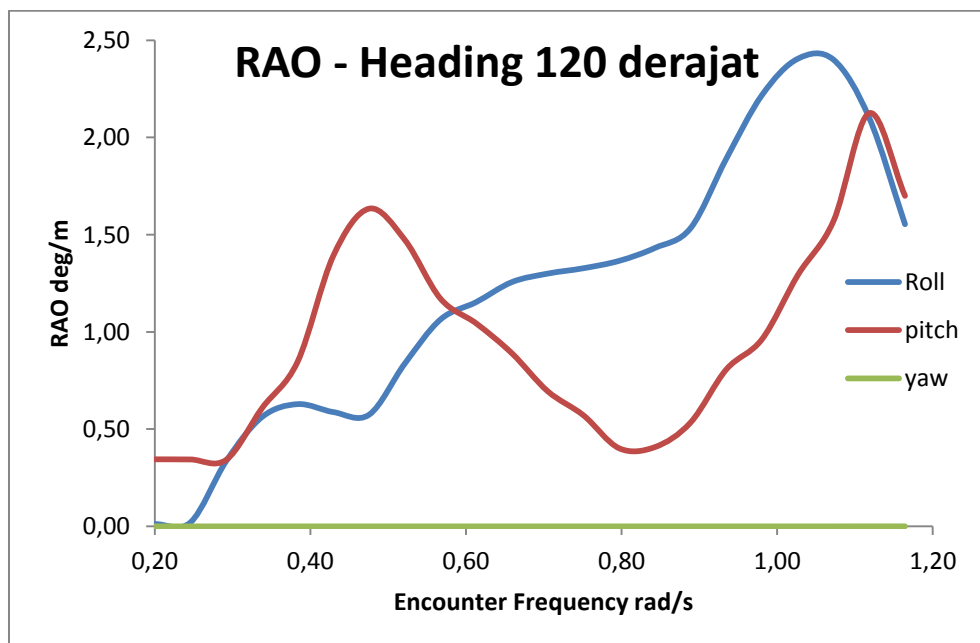
Gambar 4.57 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



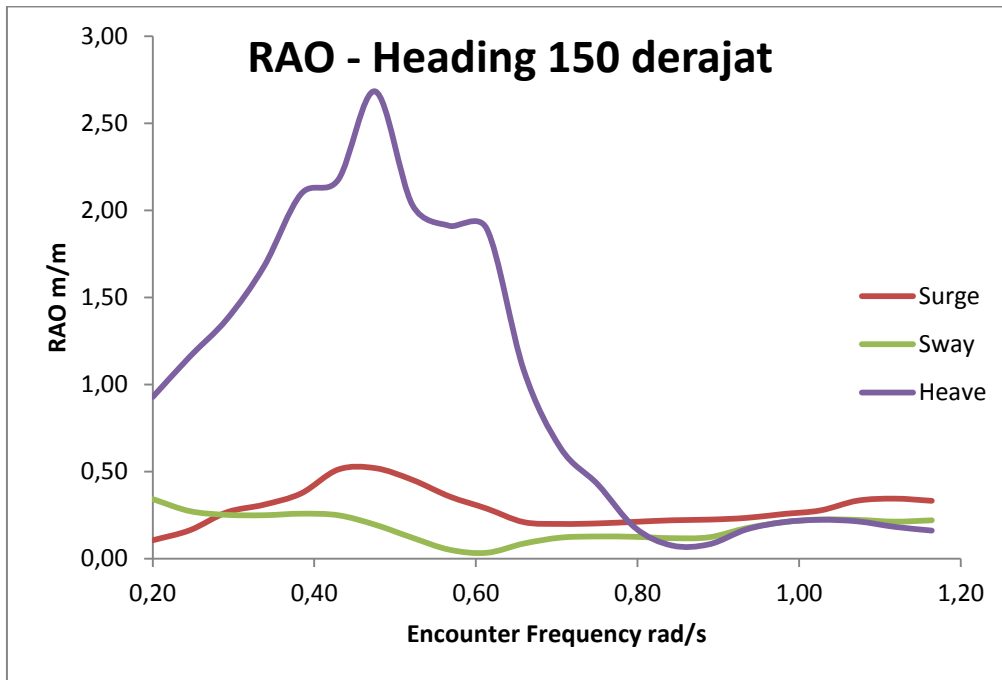
Gambar 4.58 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



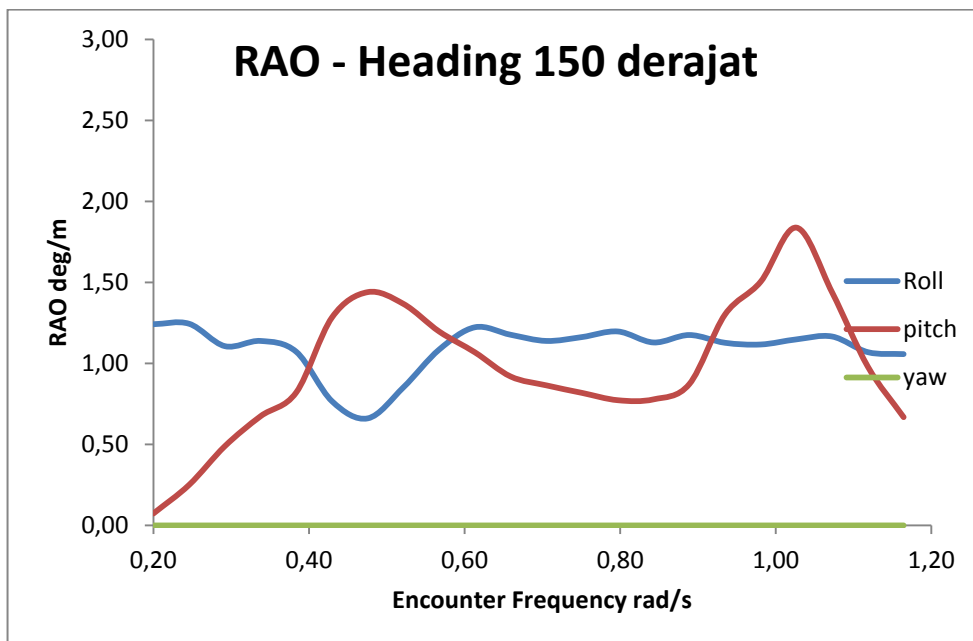
Gambar 4.59 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



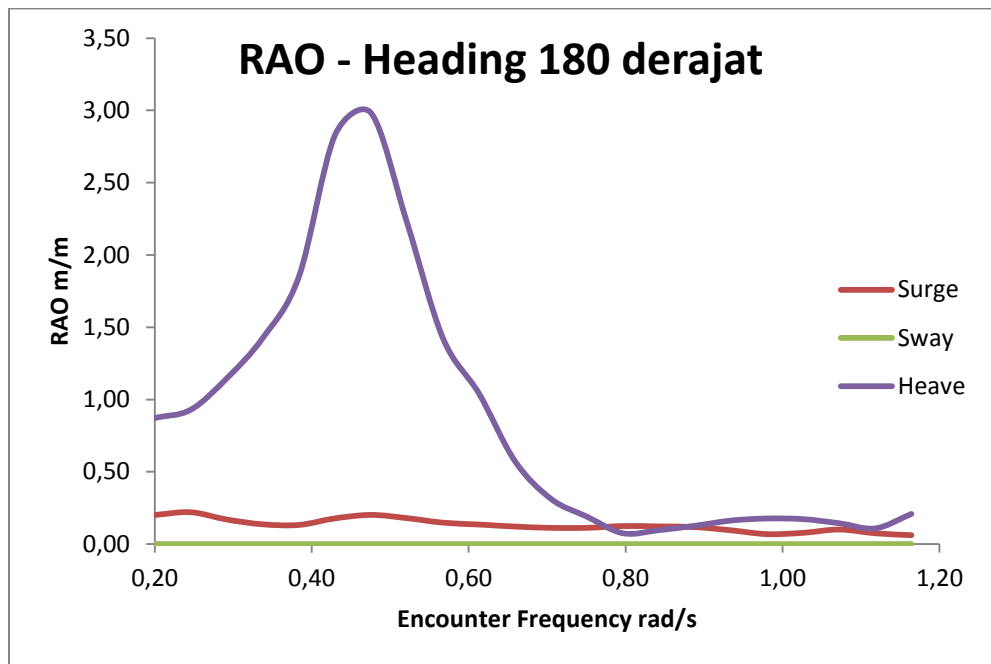
Gambar 4.60 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



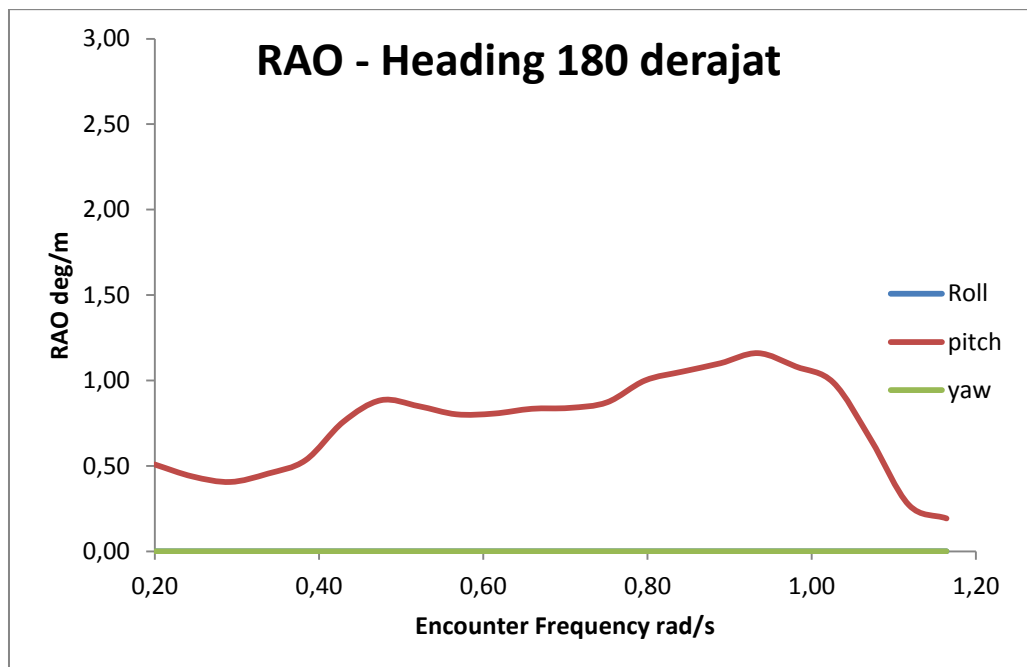
Gambar 4.61 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.62 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.63 Grafik RAO gerakan translasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat



Gambar 4.64 Grafik RAO gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* saat mooring dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

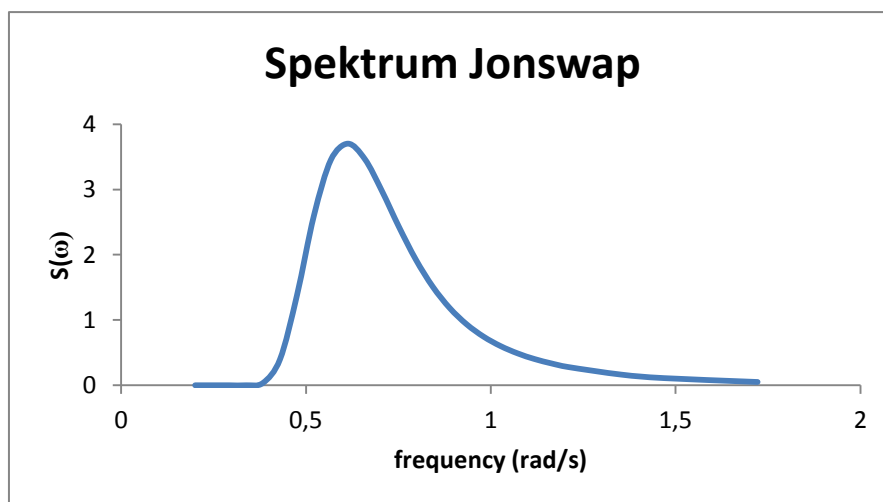
Tabel 4.7 Nilai maksimum RAO SPM tertambat dengan FSO Arco Ardjuna *full condition*

Moda Gerakan	Unit	RAO Maksimum							Max
		0 deg	30 deg	60 deg	90 deg	120 deg	150 deg	180 deg	
Surge	m/m	0,847	0,539	0,558	0,000	0,579	0,520	0,221	0,847
Sway	m/m	0,002	0,445	0,627	0,859	0,504	0,342	0,000	0,859
Heave	m/m	2,934	2,106	3,117	2,747	3,835	2,682	2,983	3,835
Roll	deg/m	0,002	1,217	2,287	2,714	2,405	1,244	0,000	2,714
Pitch	deg/m	2,430	2,038	1,577	0,000	2,125	1,838	1,160	2,430
Yaw	deg/m	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001

Berdasarkan Gambar 4.51 sampai Gambar 4.64 dan Tabel 4.7 di atas dapat dilihat bahwa *surge* tertinggi ialah sebesar 0,847 (m/m) yaitu pada *heading* 0°, *sway* tertinggi pada *heading* 90° sebesar 0,859 (m/m), dan *heave* tertinggi sebesar 3.835 (m/m) pada *heading* 120°. Untuk gerak osilasi rotasional *roll* maksimum pada *heading* 90° sebesar 2.714 (deg/m), *pitch* maksimum sebesar 2.430 (deg/m) pada *heading* 0°, dan *yaw* maksimum sebesar 0.001 (deg/m) pada *heading* 30°.

4.5 Spektrum Gelombang

Spektrum Gelombang yang digunakan pada analisis karakteristik gerakan struktur *Single Point Mooring* dan FSO Arco Ardjuna adalah Spektrum Jonswap. Gambar 4.65 di bawah ini menunjukkan grafik spektra JONSWAP.

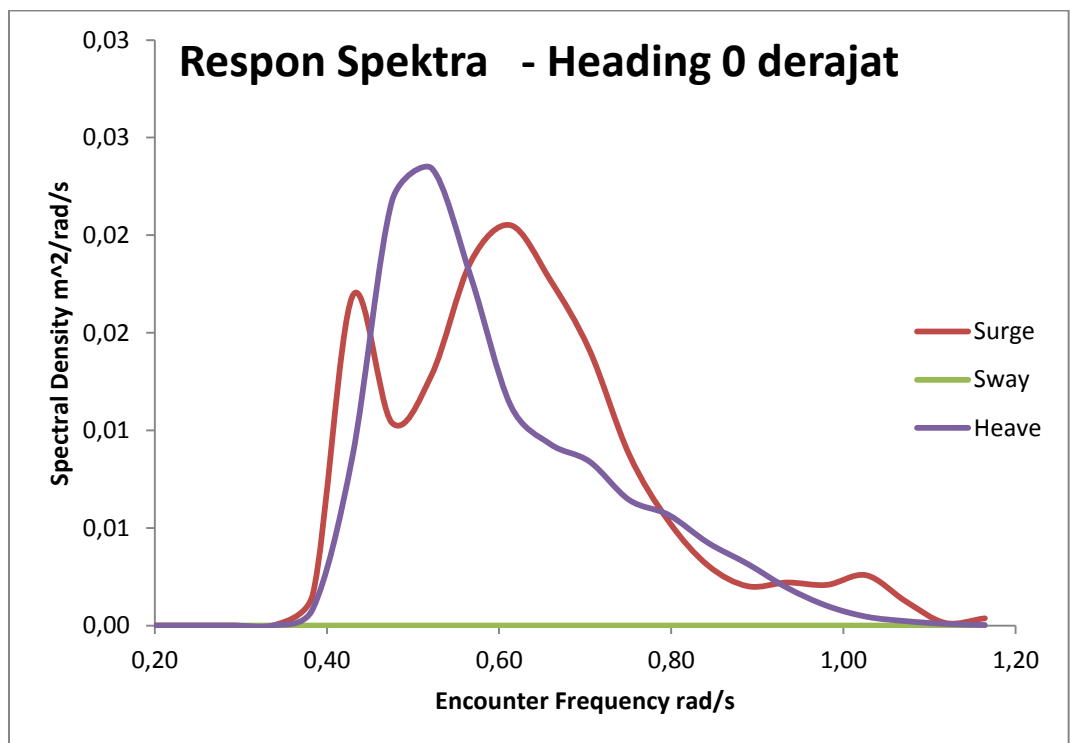


Gambar 4.65 Spektrum Jonswap Perairan Laut Jawa dengan $H_s = 1,8$ m

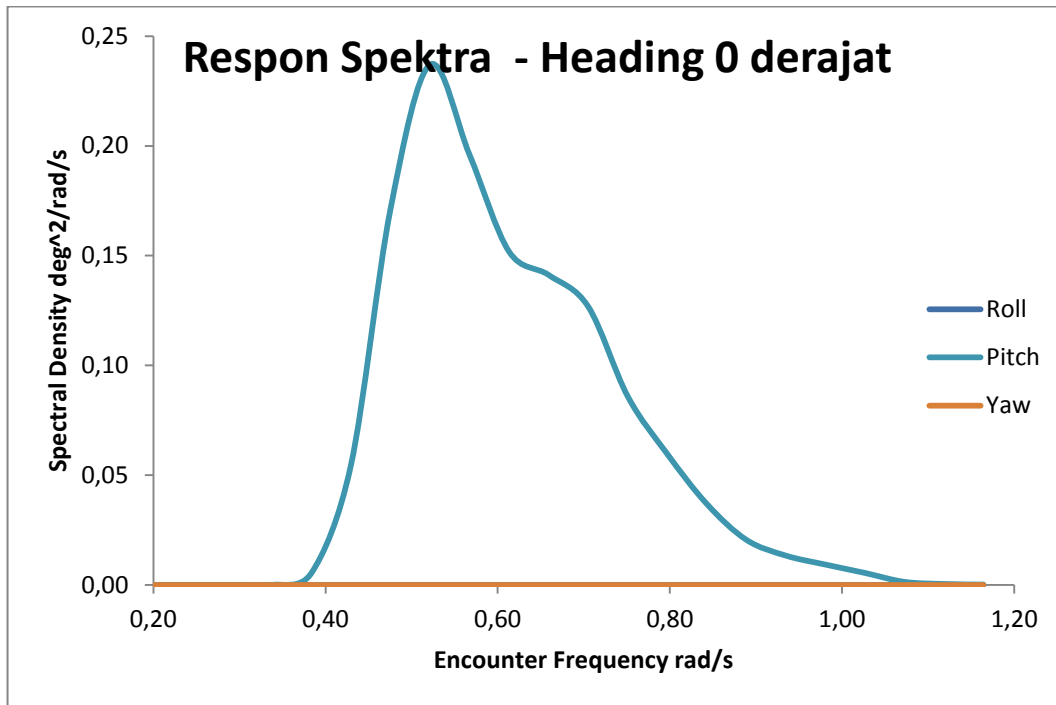
4.6 Respon Spektra FSO Arco Ardjuna saat kondisi tertambat

Perhitungan respon spektra pada FSO Arco Ardjuna dilakukan pada kondisi *Light Load* maupun *Full Load* dengan kedalaman laut 45 m. Grafik respon spektra pada FSO dilakukan untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll* dan *pitch*. Berikut adalah grafik respon spektra pada FSO Arco Ardjuna dengan *heading* pembebanan 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° 180° dapat dilihat pada Gambar 4.66 sampai Gambar 4.93

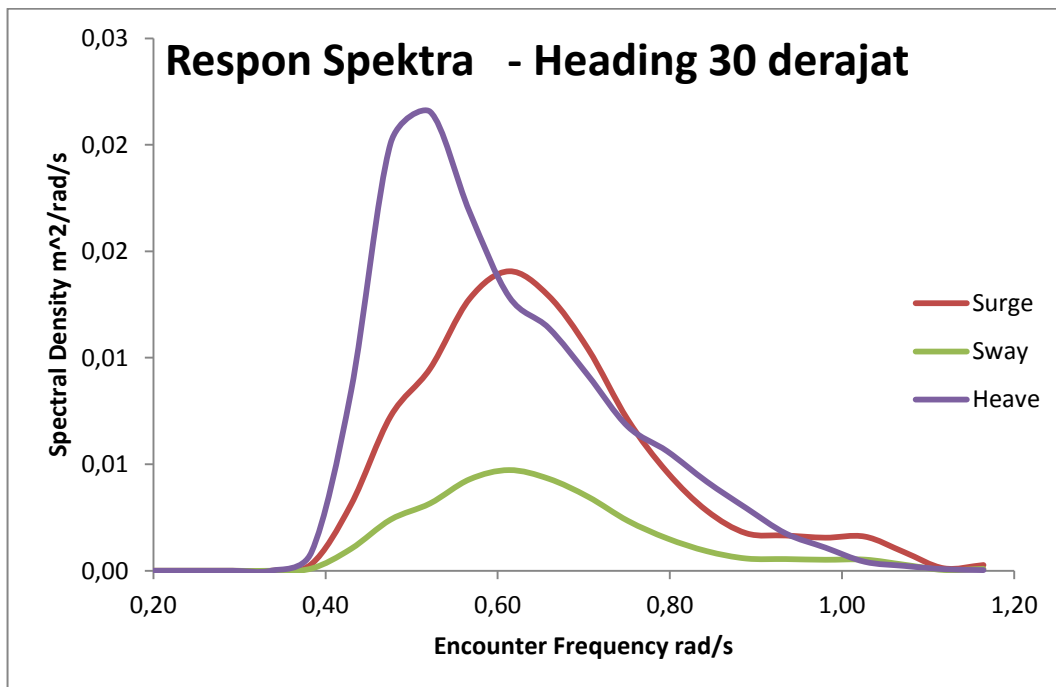
4.6.1 Respon Spektra FSO Arco Ardjuna – light load



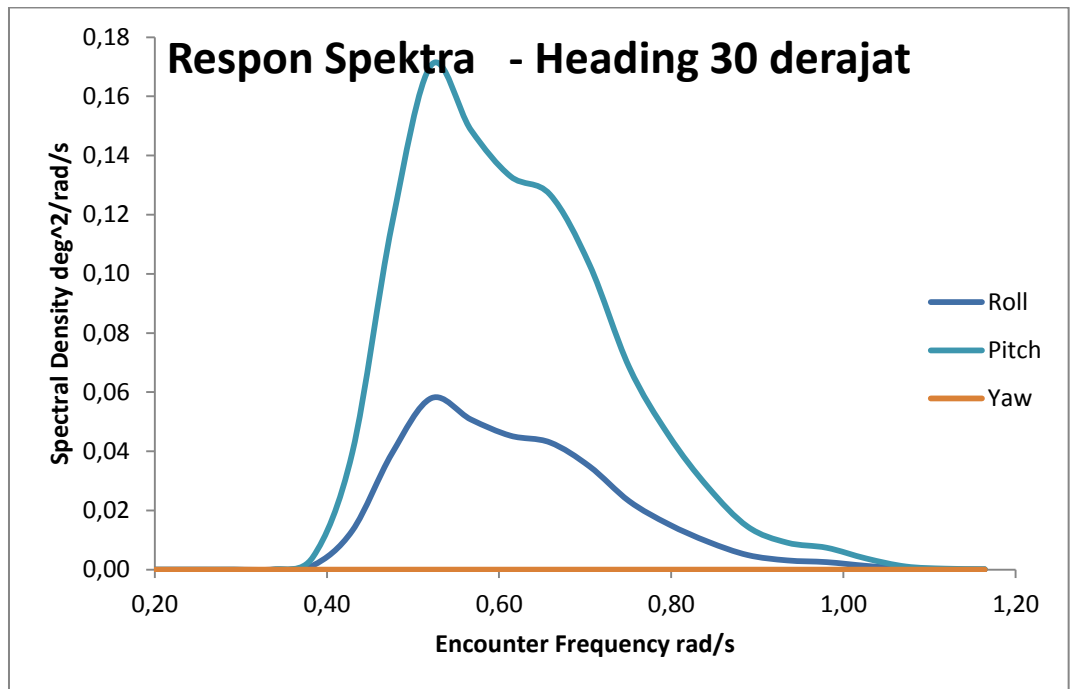
Gambar 4.66 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 0 derajat



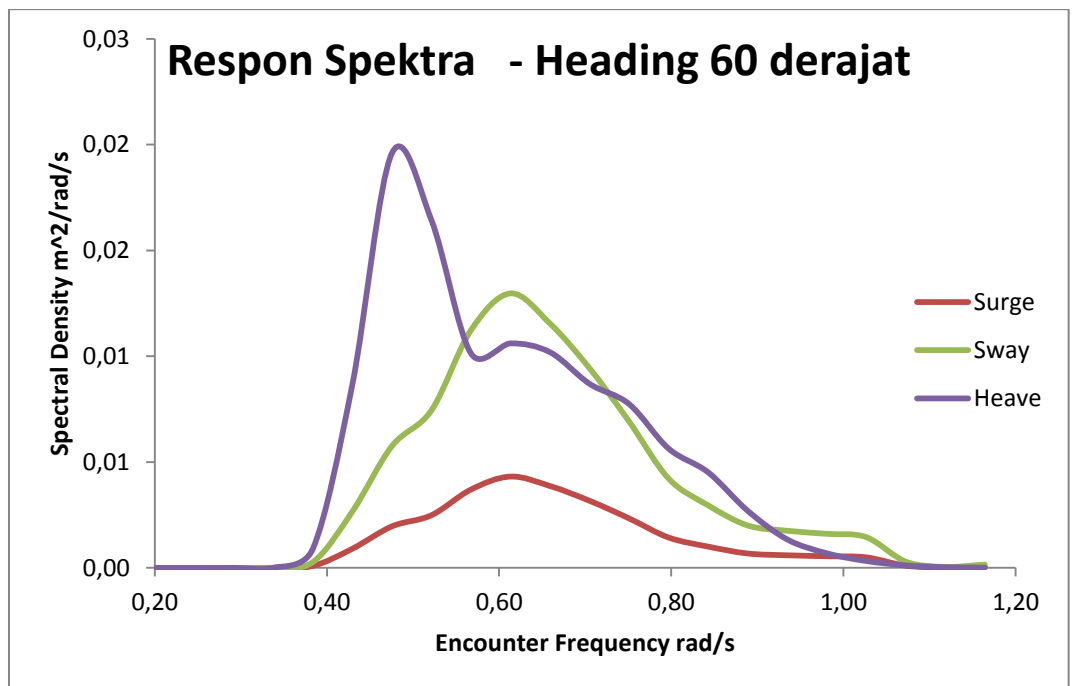
Gambar 4.67 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 0 derajat



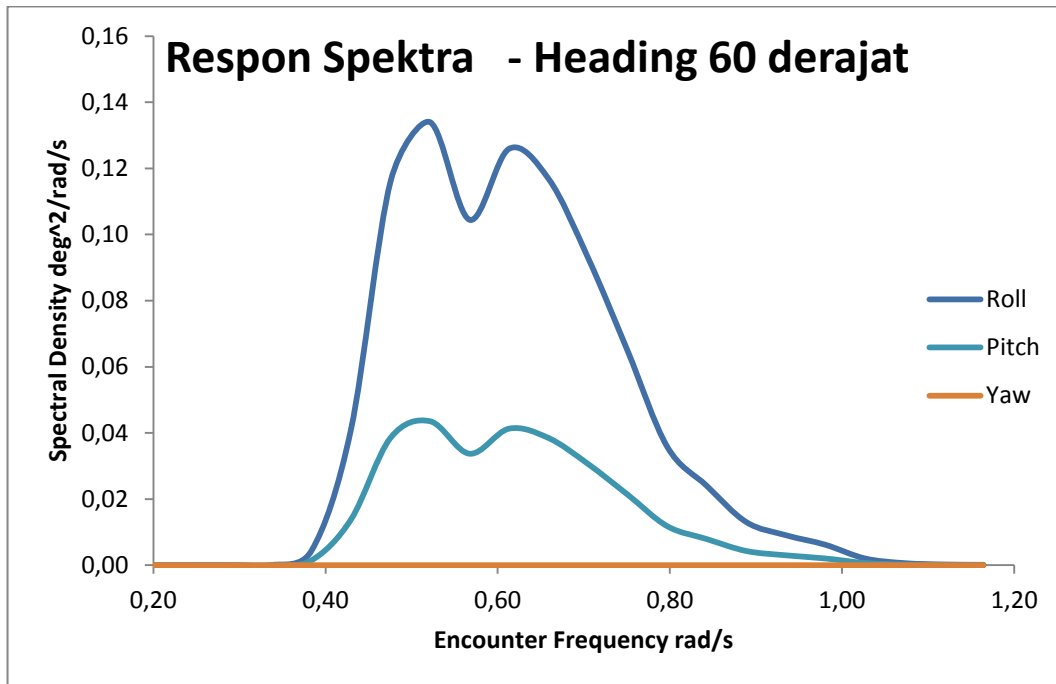
Gambar 4.68 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 30 derajat



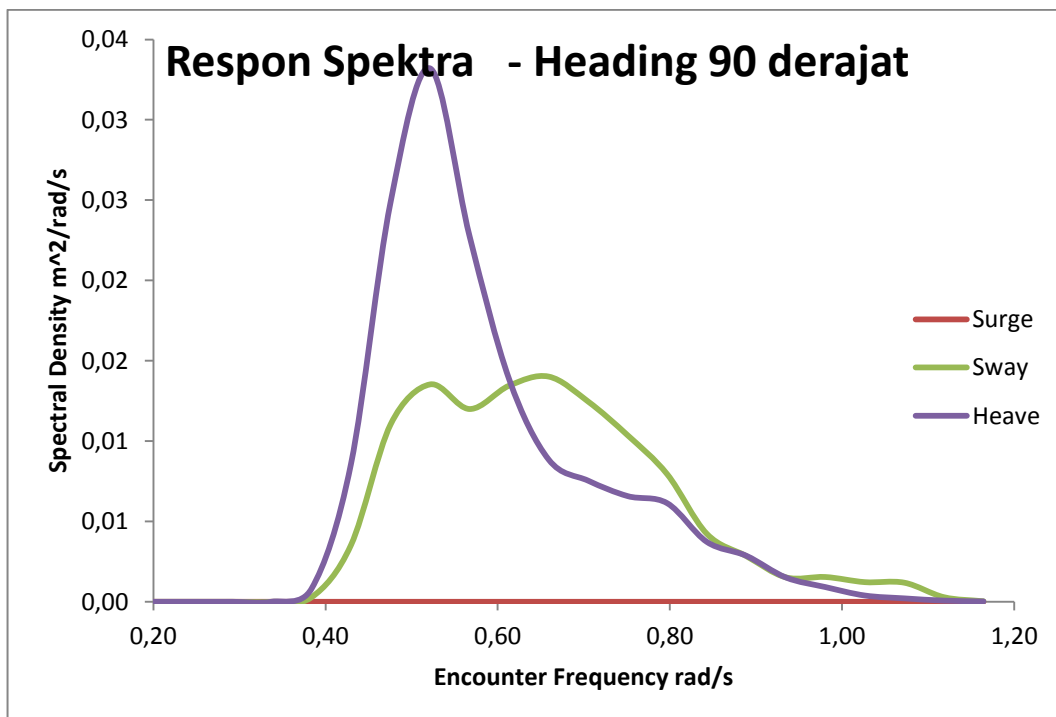
Gambar 4.69 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 30 derajat



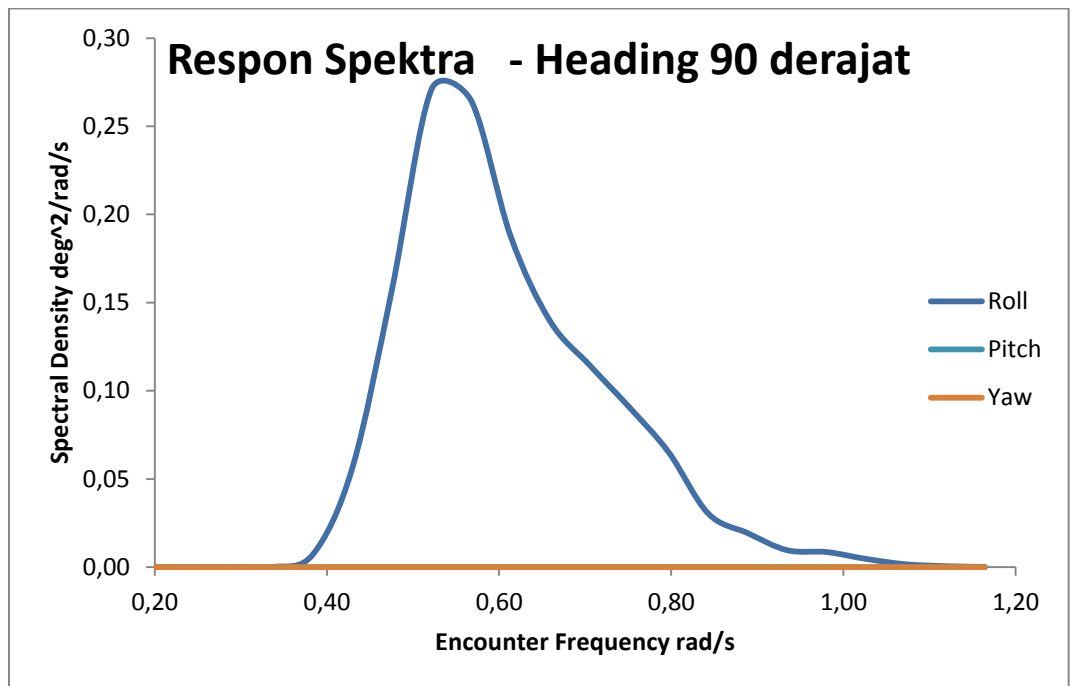
Gambar 4.70 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 60 derajat



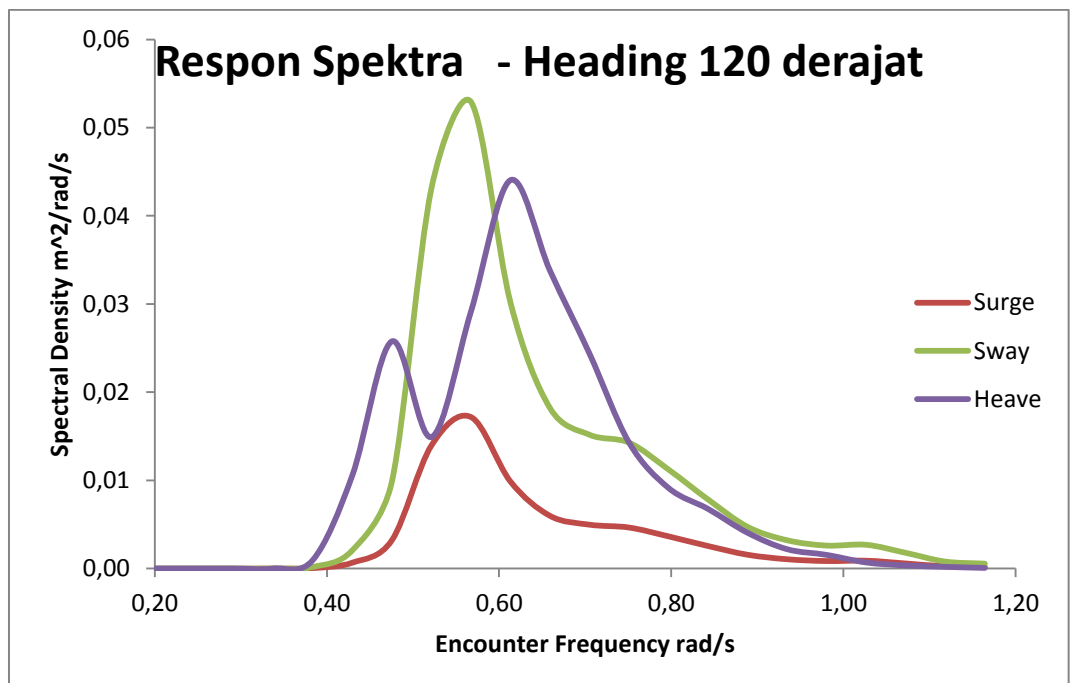
Gambar 4.71 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 60 derajat



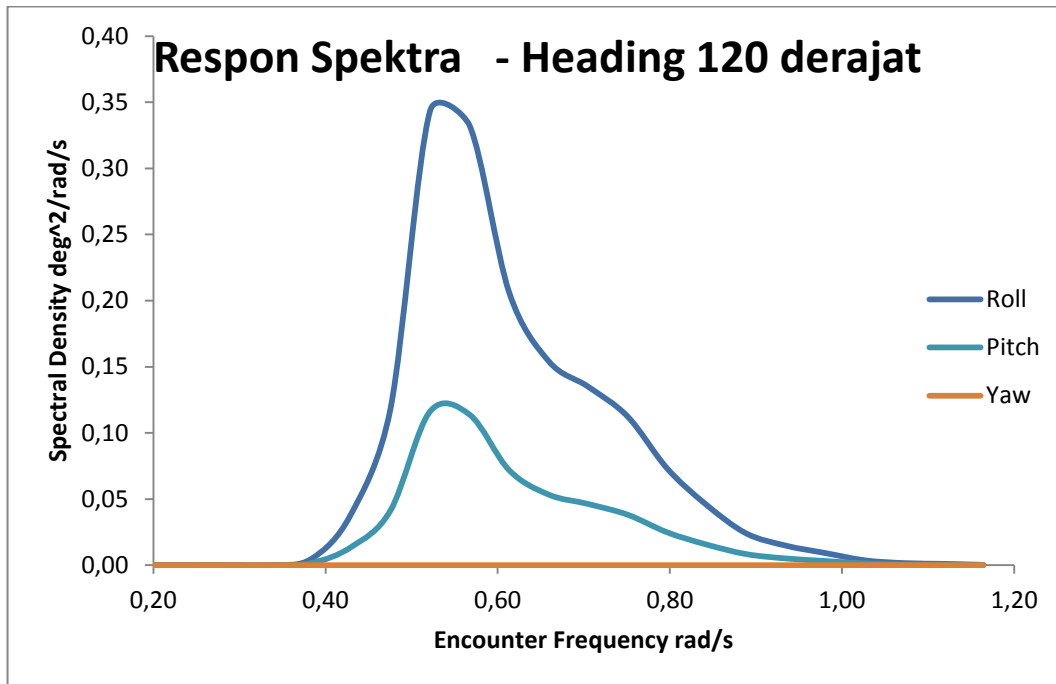
Gambar 4.72 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 90 derajat



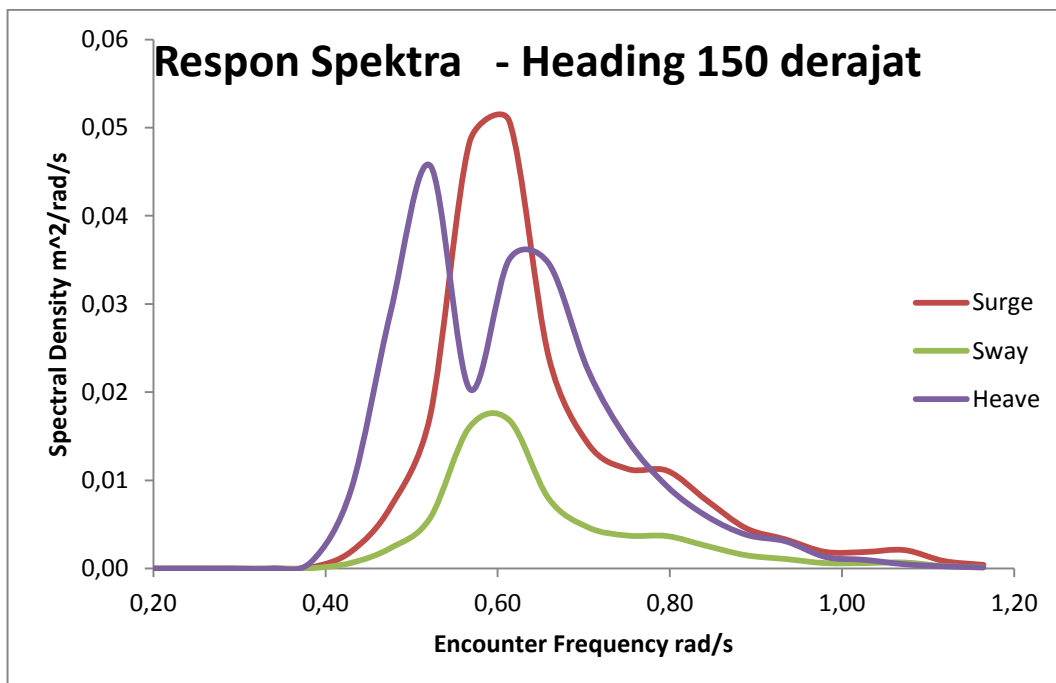
Gambar 4.73 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 90 derajat



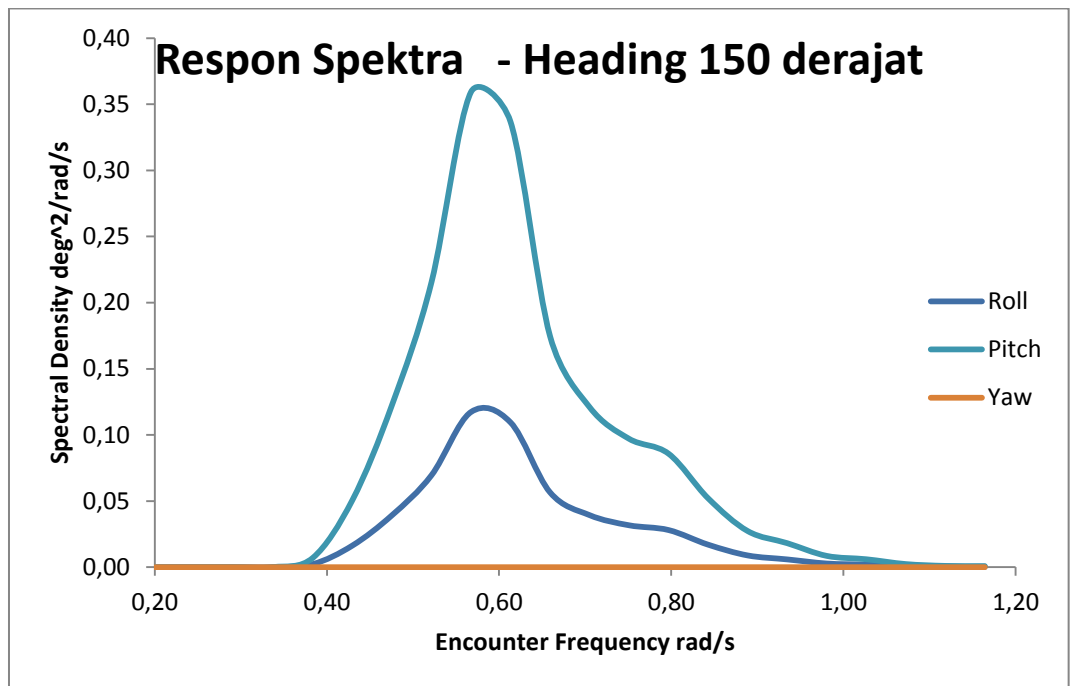
Gambar 4.74 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 120 derajat



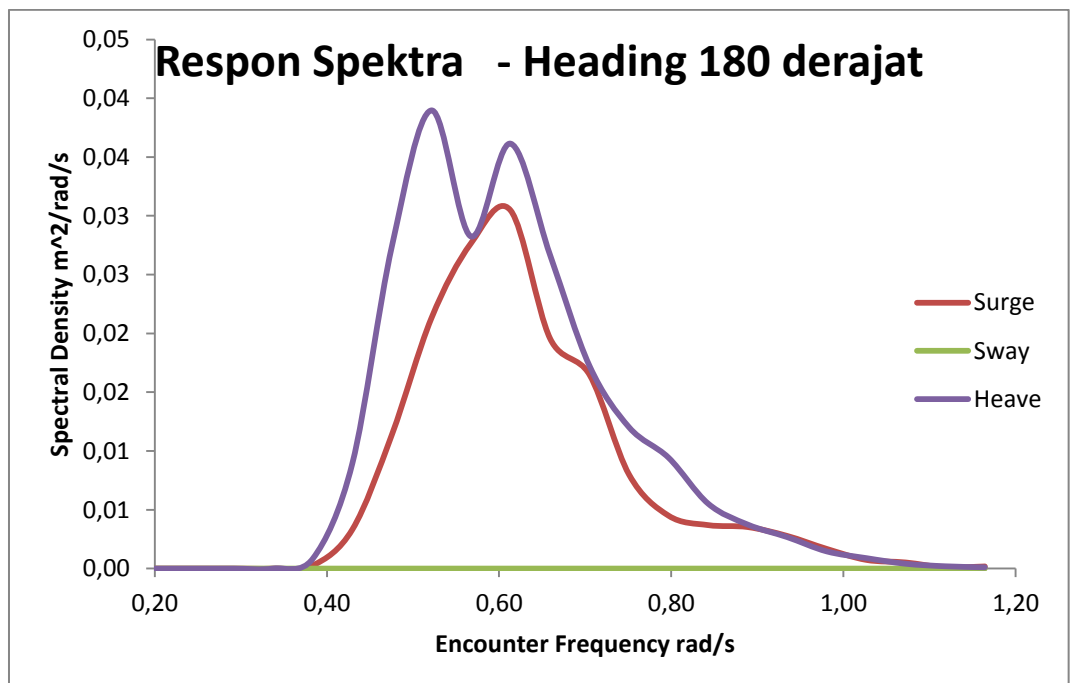
Gambar 4.75 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 120 derajat



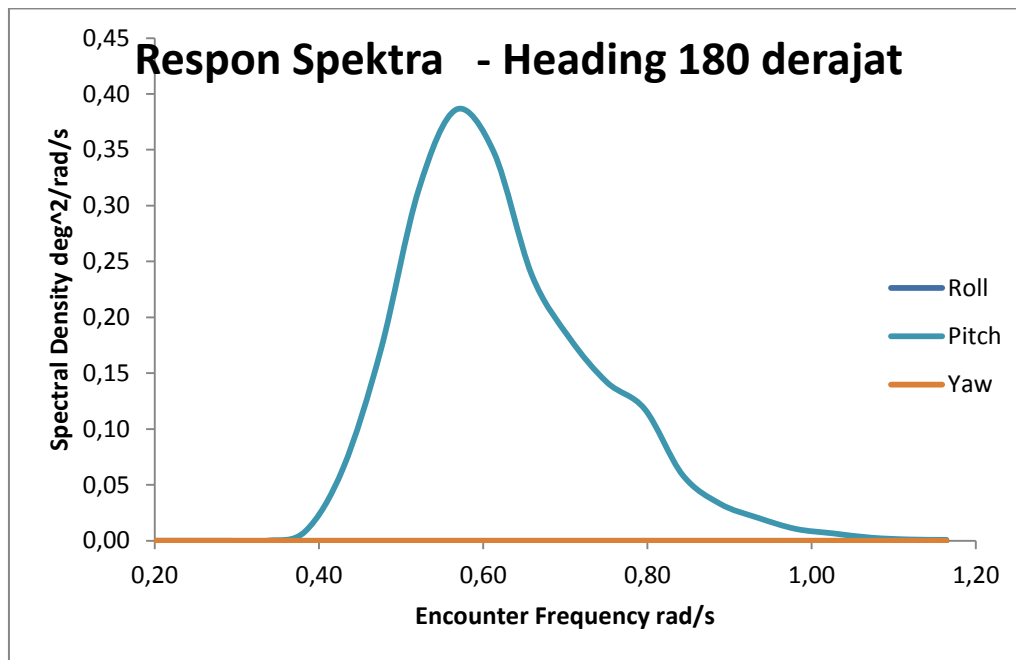
Gambar 4.76 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.77 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 150 derajat

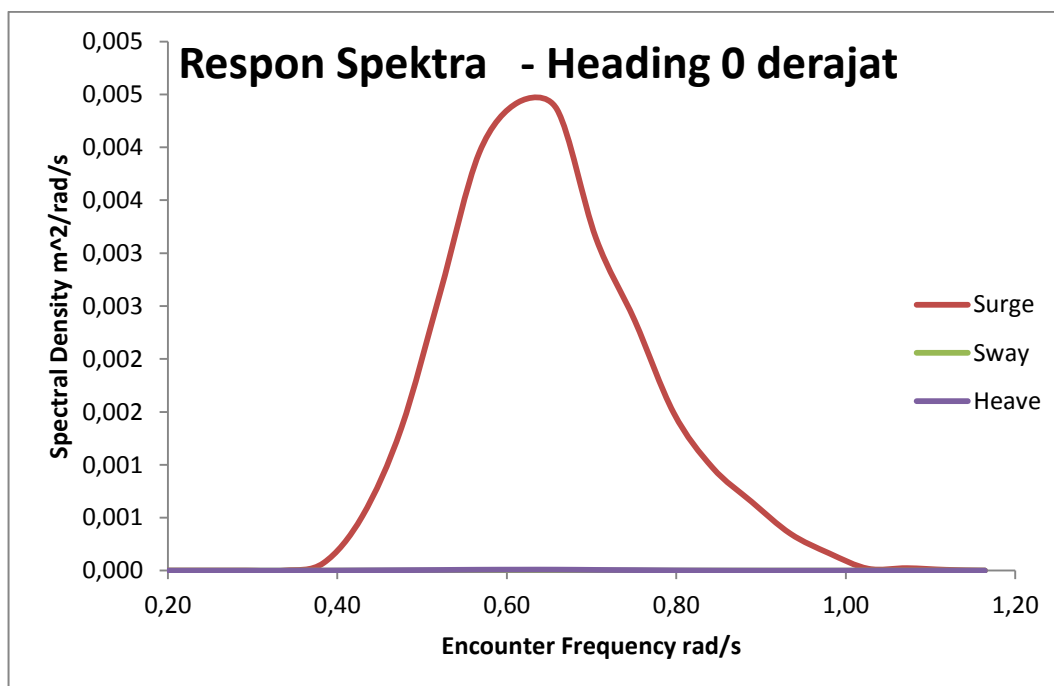


Gambar 4.78 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 180 derajat

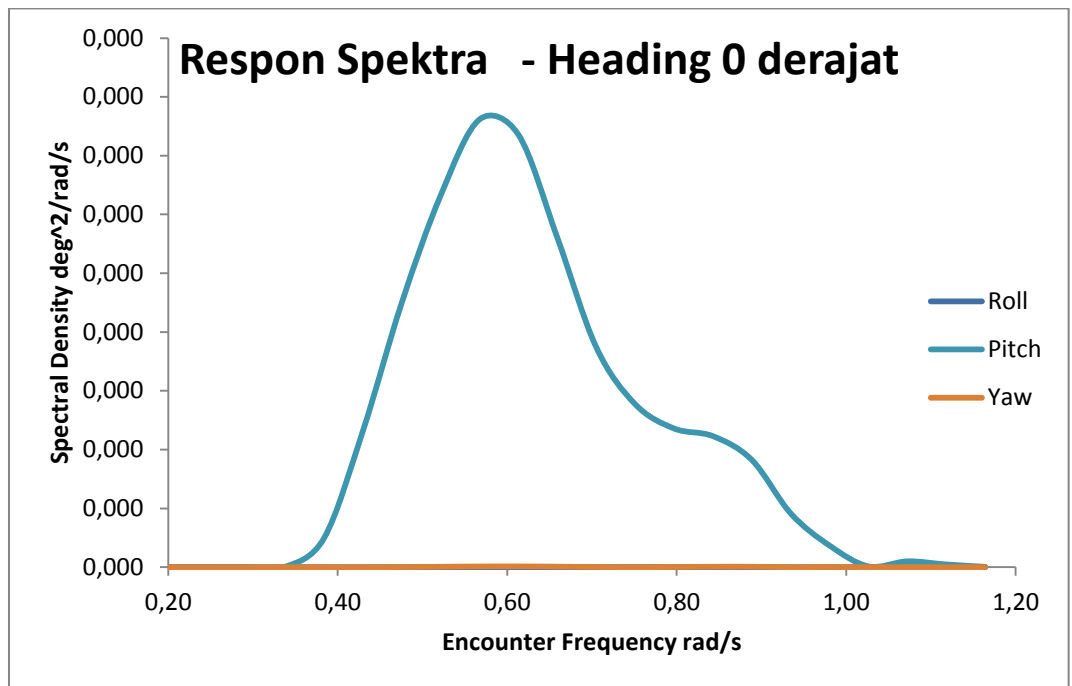


Gambar 4.79 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *light load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 180 derajat

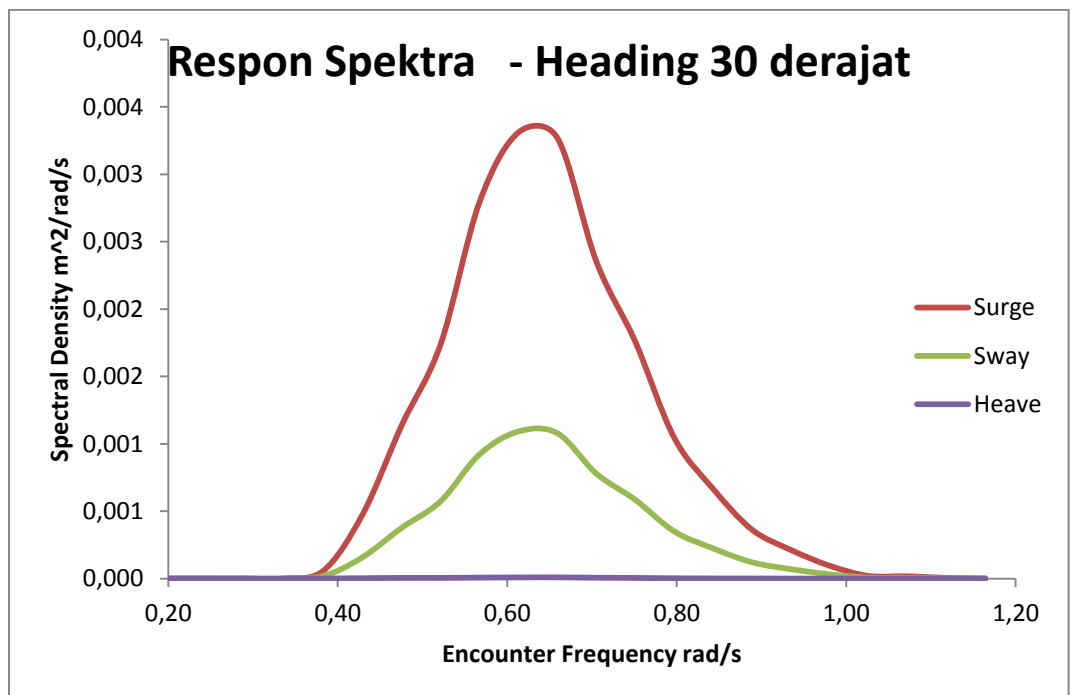
4.6.2 Respon Spektra FSO Arco Ardjuna – full load



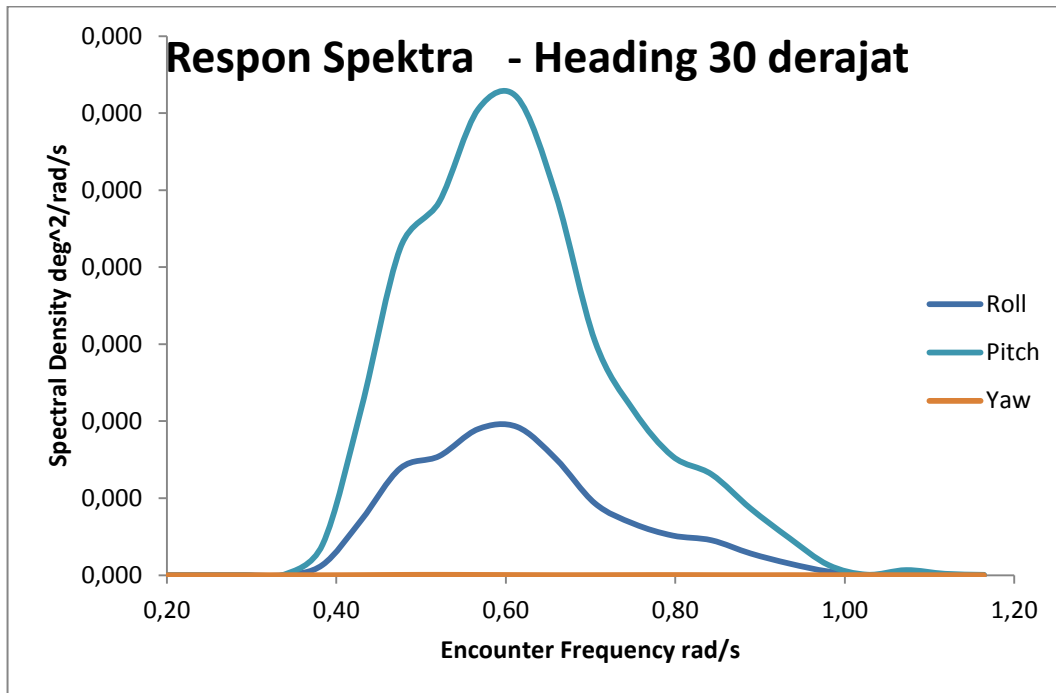
Gambar 4.80 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 0 derajat



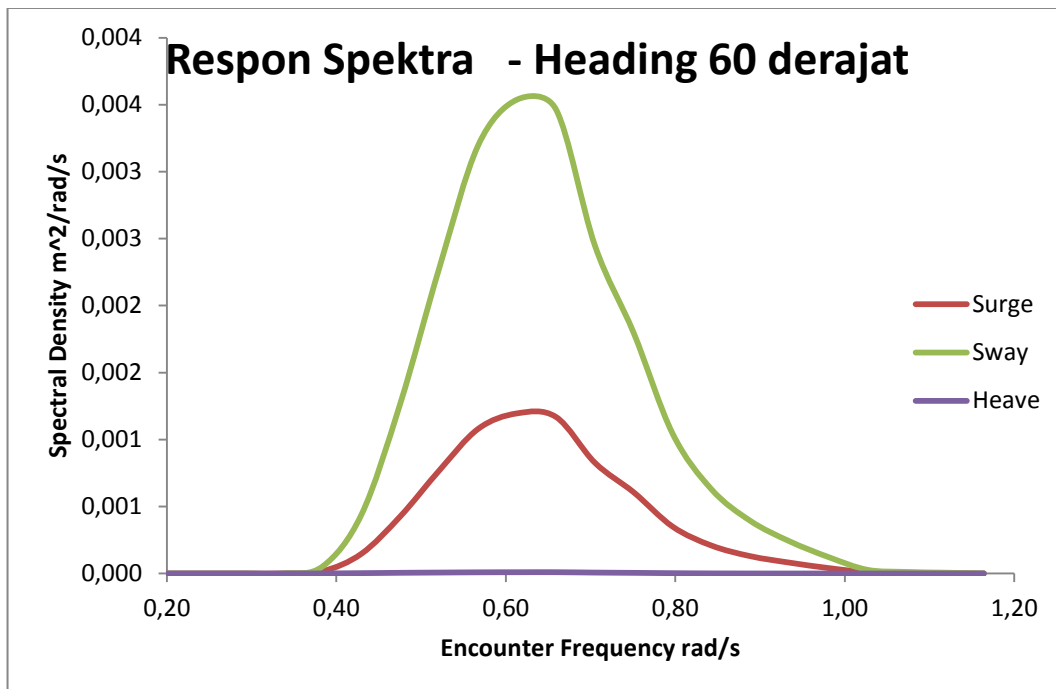
Gambar 4.81 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 0 derajat



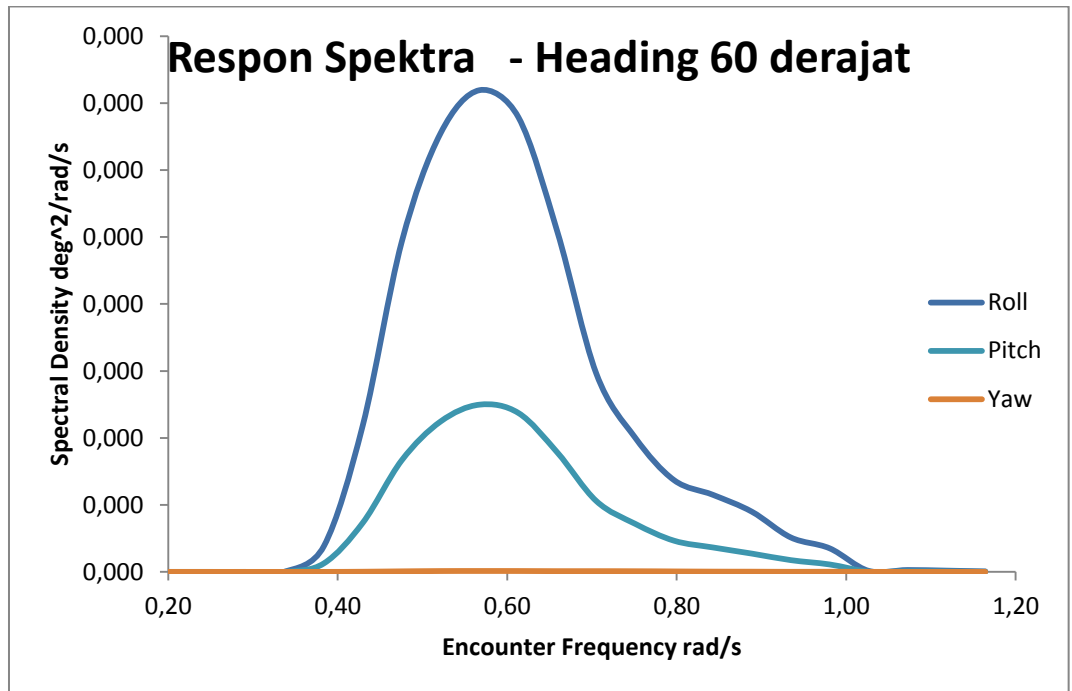
Gambar 4.82 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 30 derajat



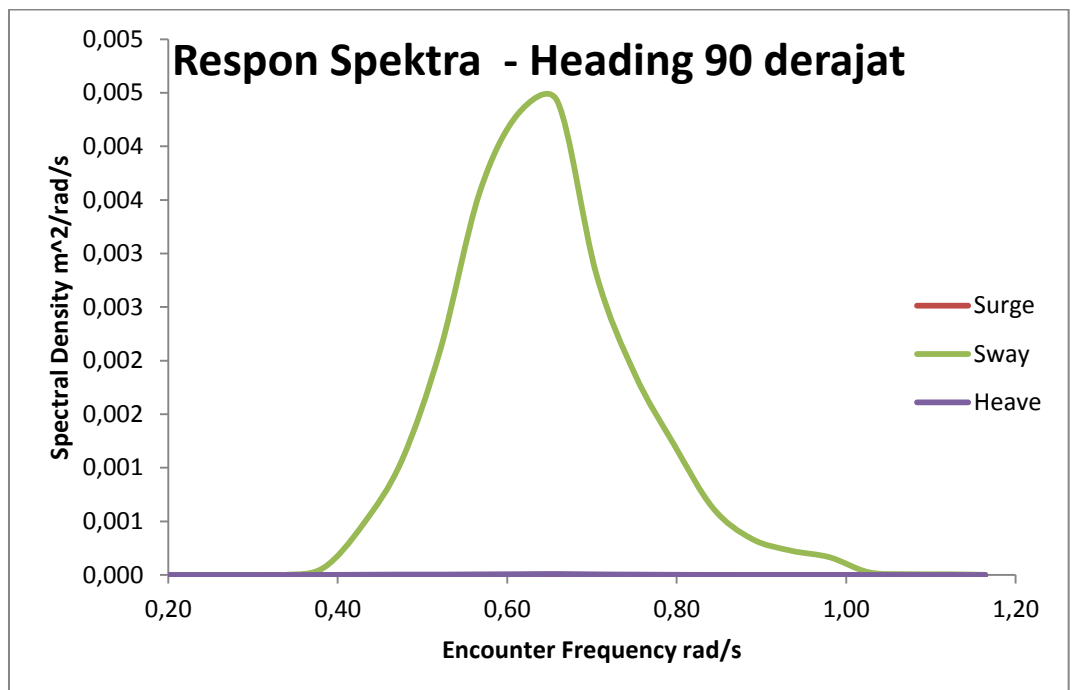
Gambar 4.83 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 30 derajat



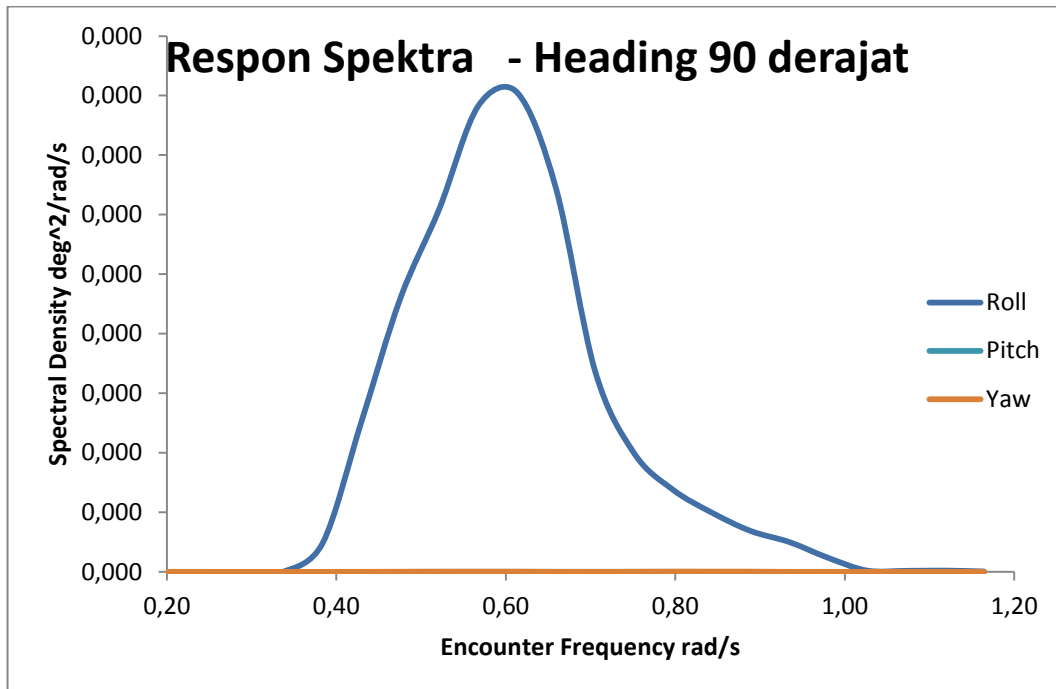
Gambar 4.84 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 60 derajat



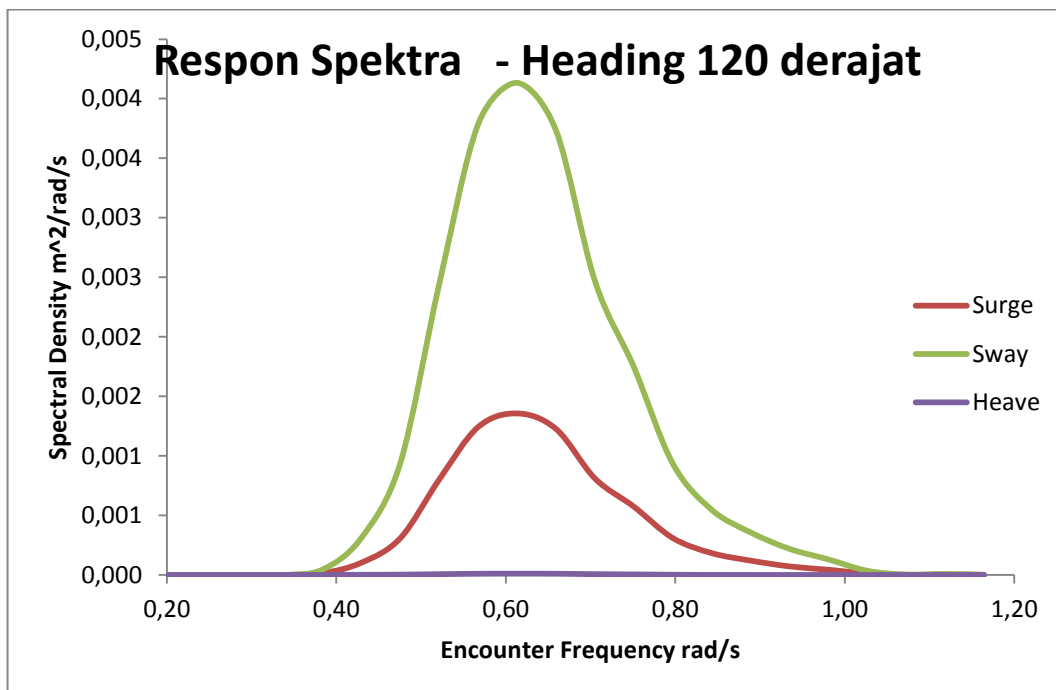
Gambar 4.85 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 60 derajat



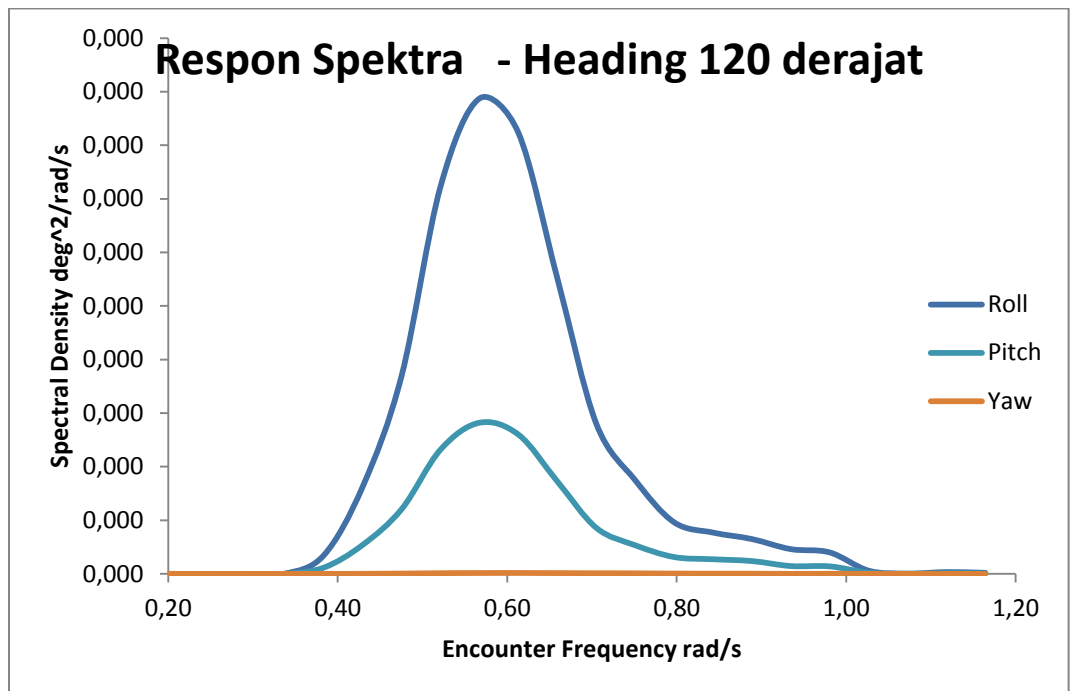
Gambar 4.86 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 90 derajat



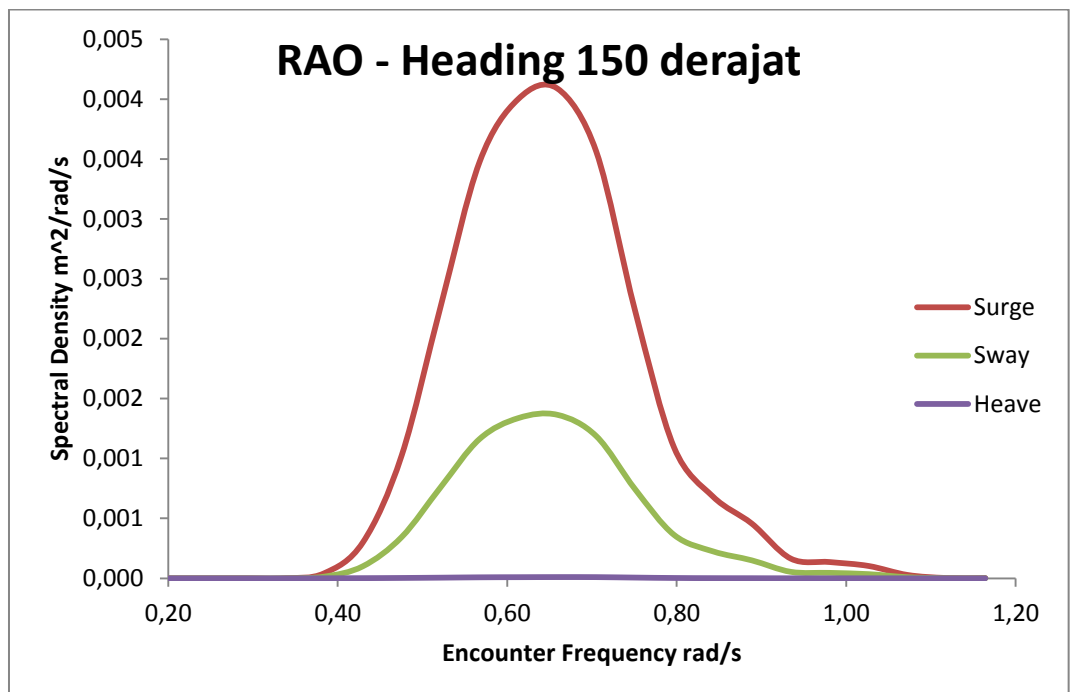
Gambar 4.87 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 90 derajat



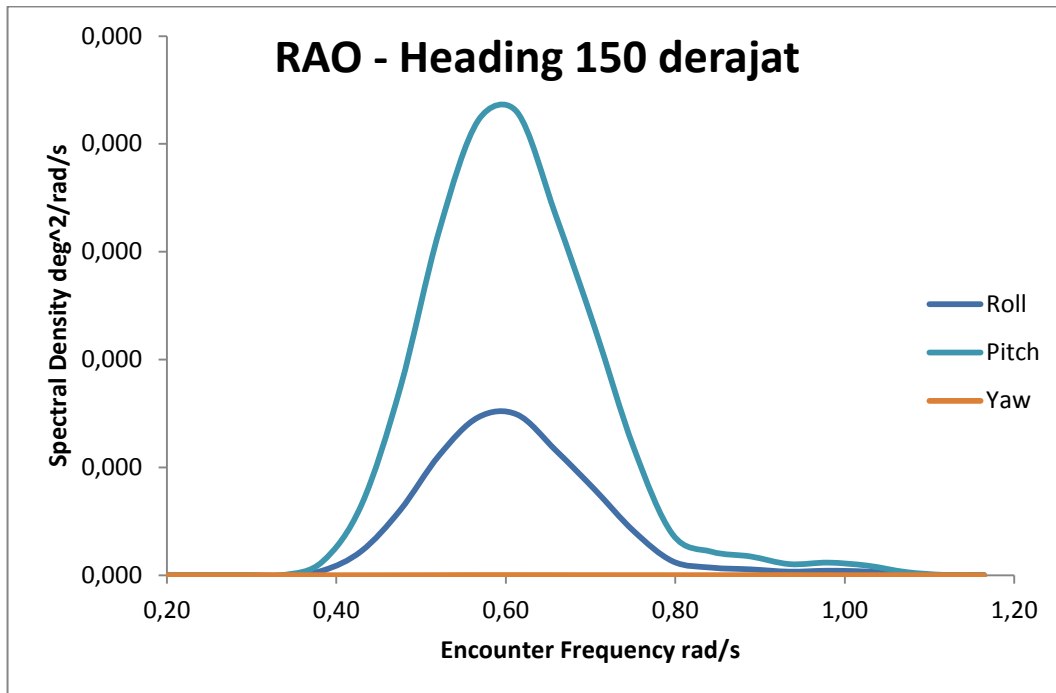
Gambar 4.88 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 120 derajat



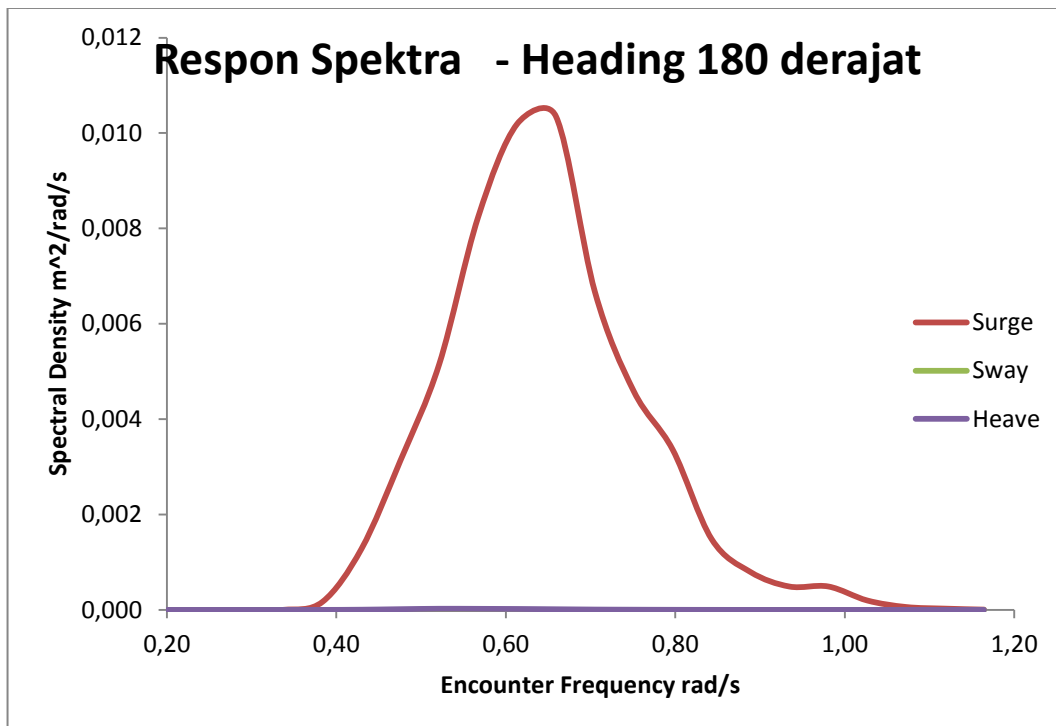
Gambar 4.89 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 120 derajat



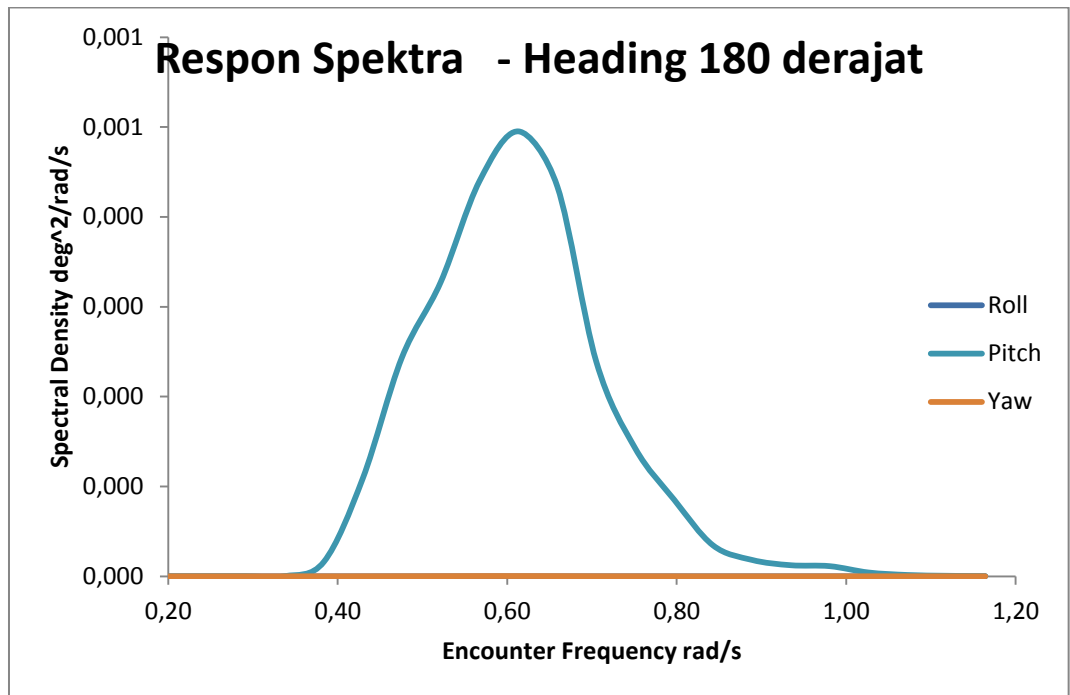
Gambar 4.90 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.91 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.92 Grafik respon spektra gerakan translasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 180 derajat

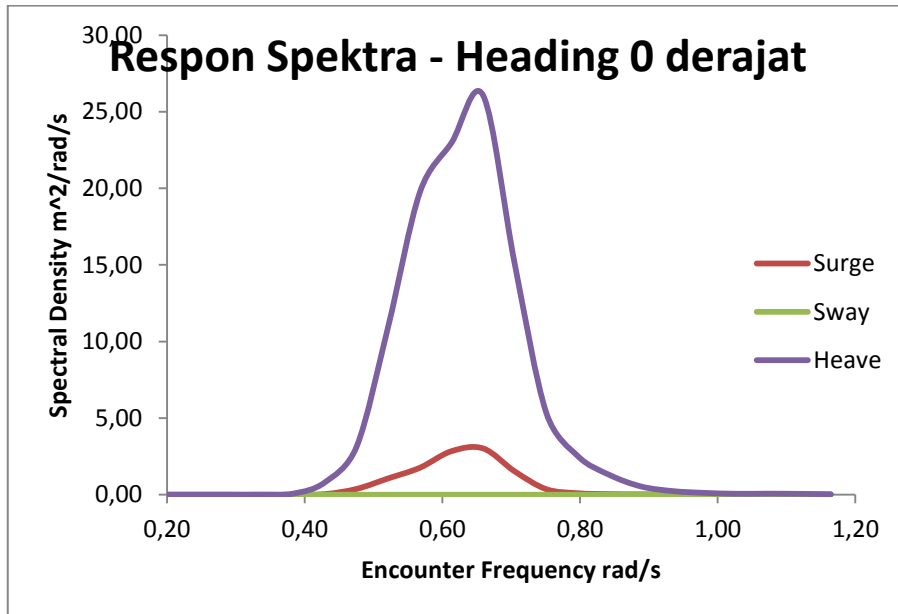


Gambar 4.93 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada FSO Arco Ardjuna saat kondisi *full load* tertambat dengan SPM dengan *heading* pembebanan 180 derajat

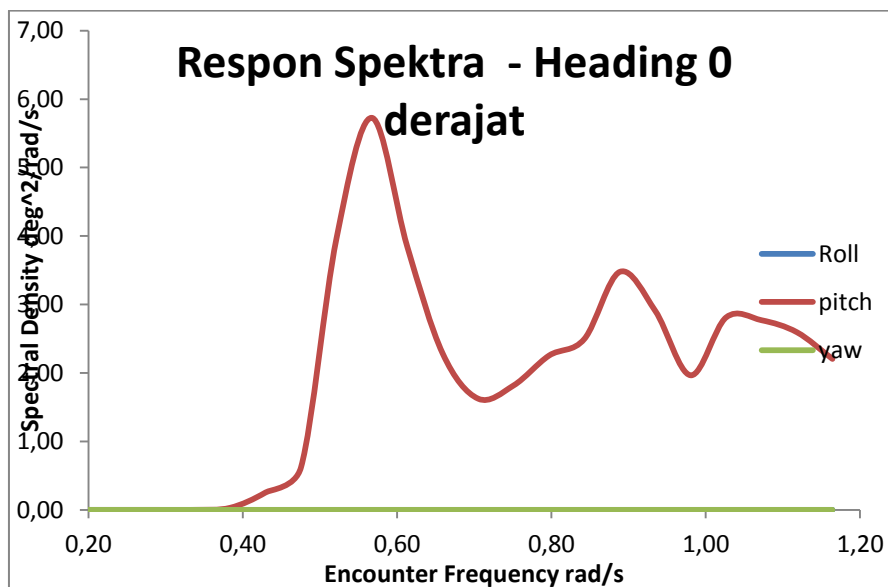
4.7 Respon Spektra *Single Point Mooring* saat kondisi tertambat

Perhitungan respon spektra pada *Single Point Mooring* dilakukan saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dan *full load* pada sarat $t = 2,38$ m dengan kedalaman laut 45 m. Grafik respon spektra pada SPM dilakukan untuk gerakan *surge*, *sway*, *heave*, *roll* dan *pitch*. Berikut adalah grafik respon spektra pada *Single Point Mooring* dengan *heading* pembebanan 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° 180° dapat dilihat pada Gambar 4.94 sampai Gambar 4.121.

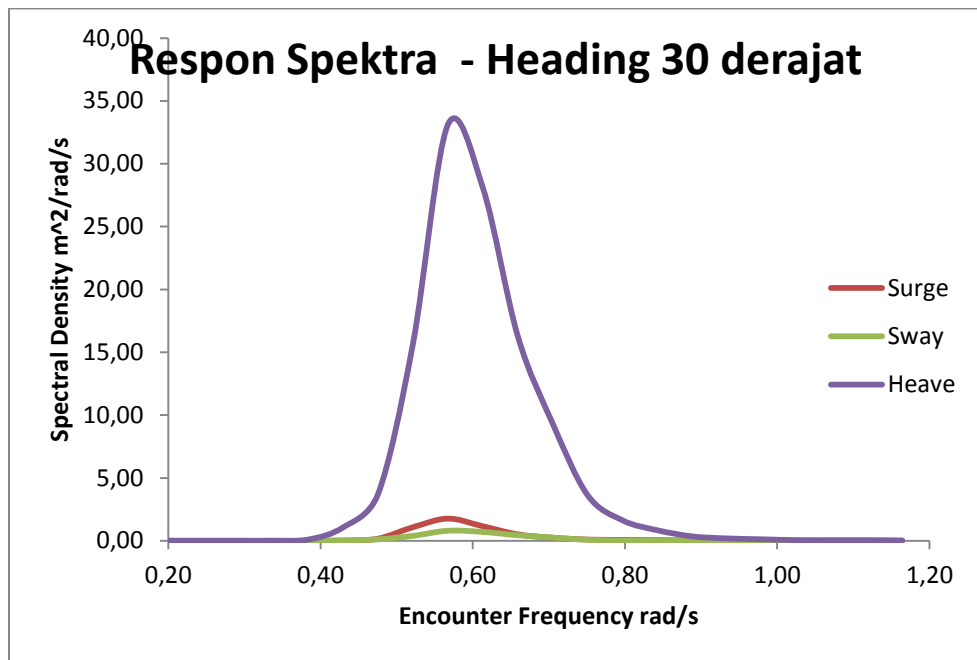
4.7.1 Respon Spektra Single Point Mooring tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi light load



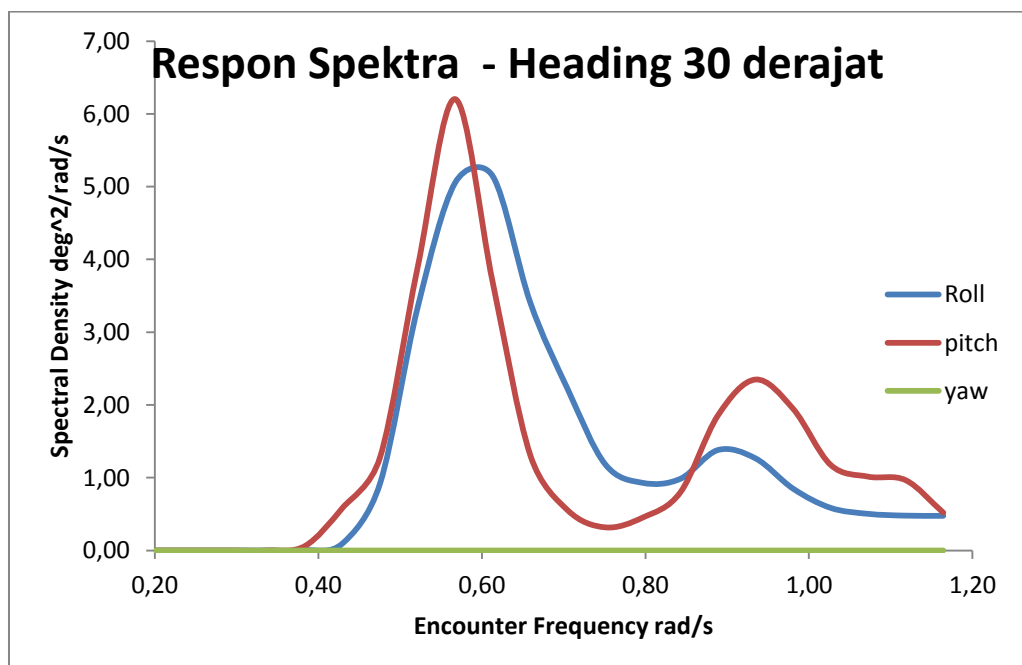
Gambar 4.94 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



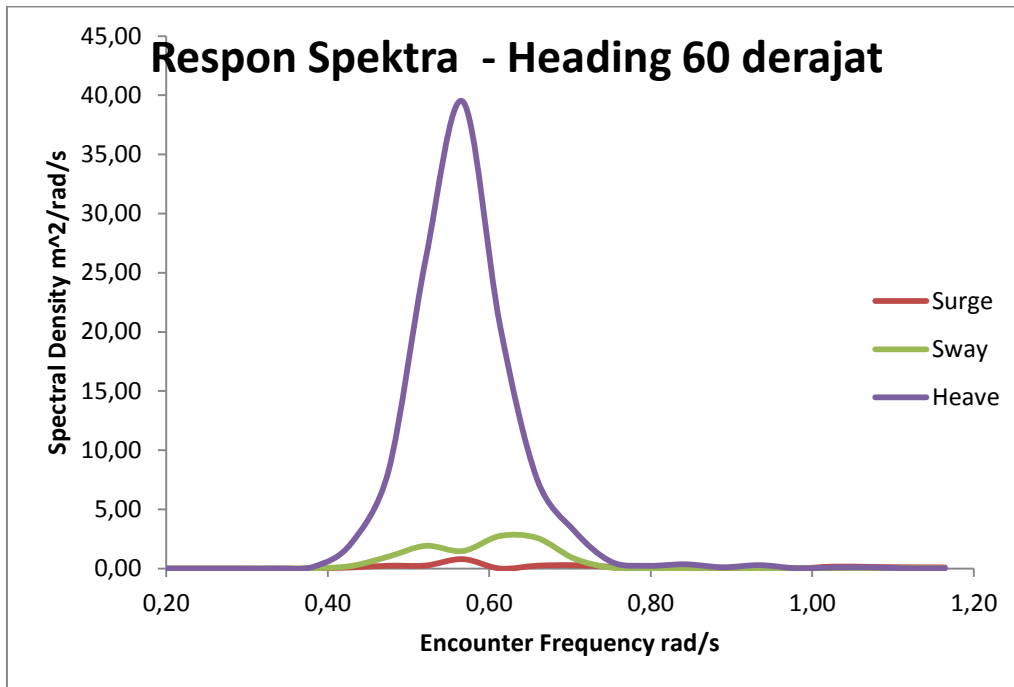
Gambar 4.95 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



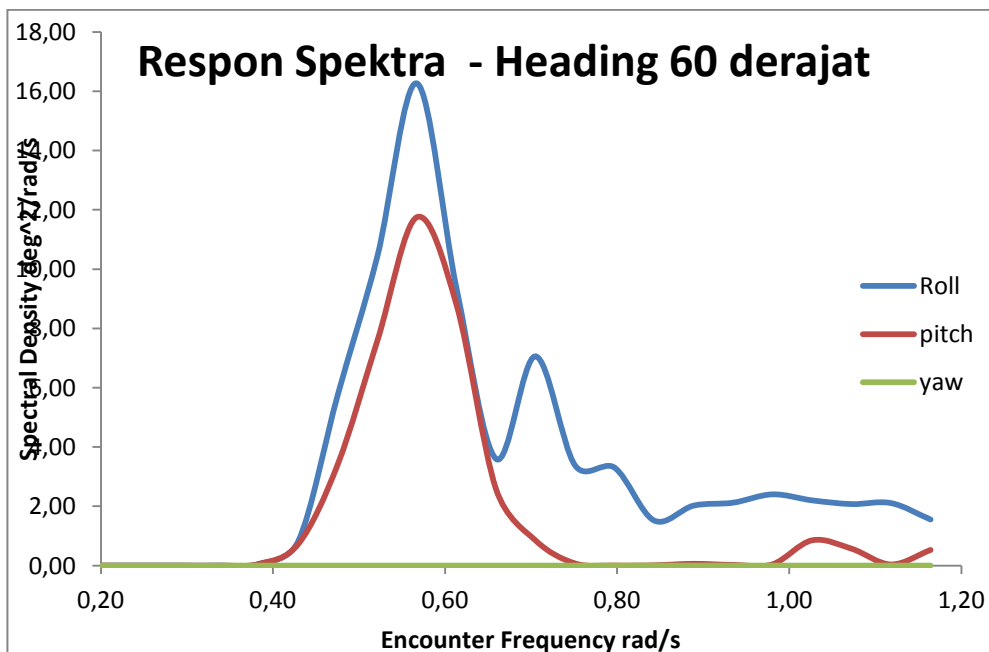
Gambar 4.96 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



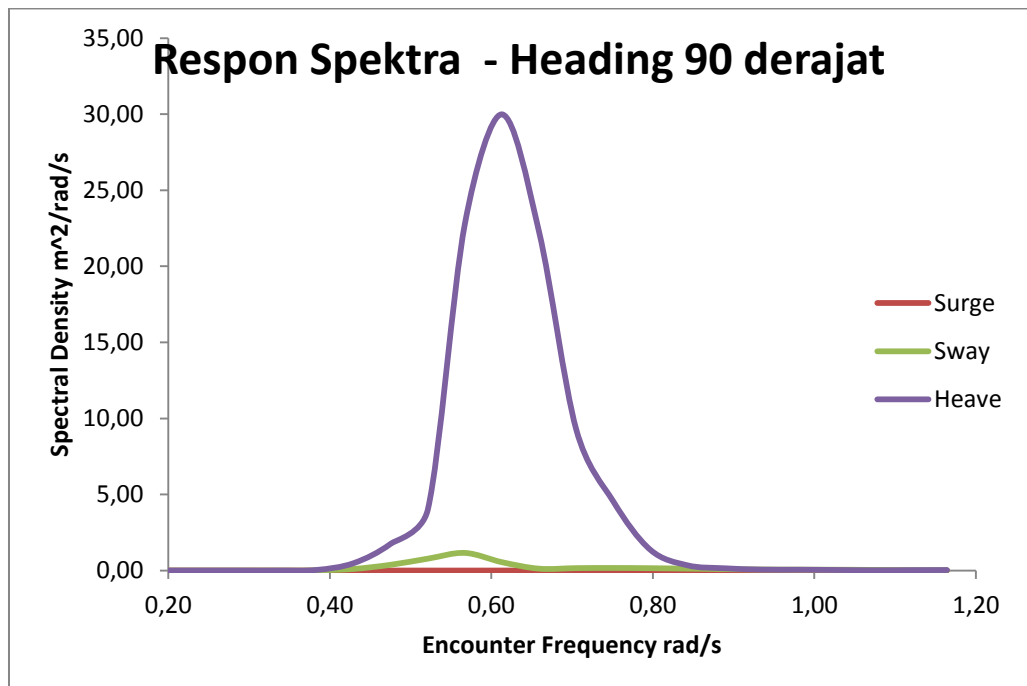
Gambar 4.97 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



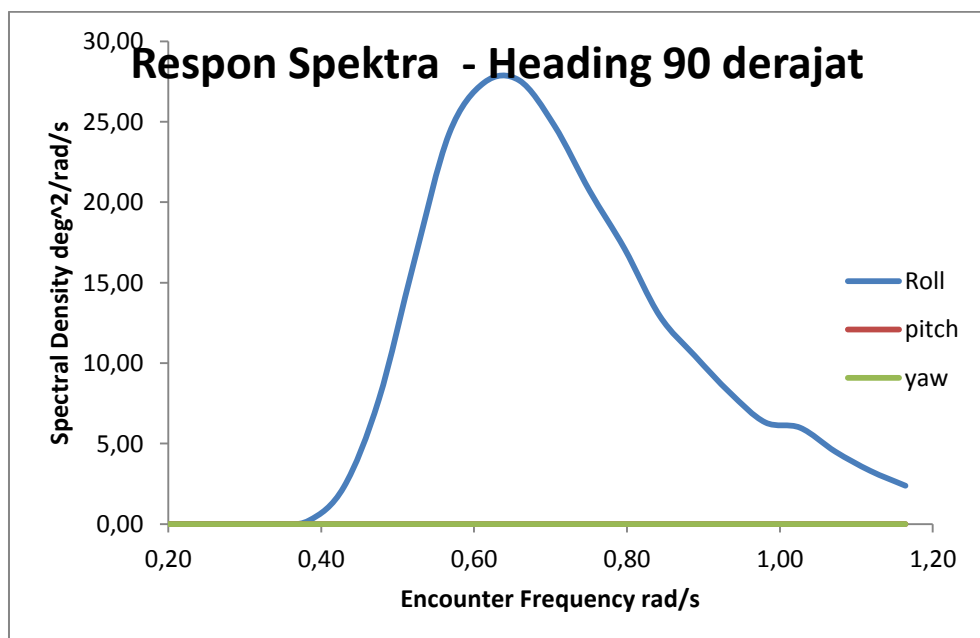
Gambar 4.98 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



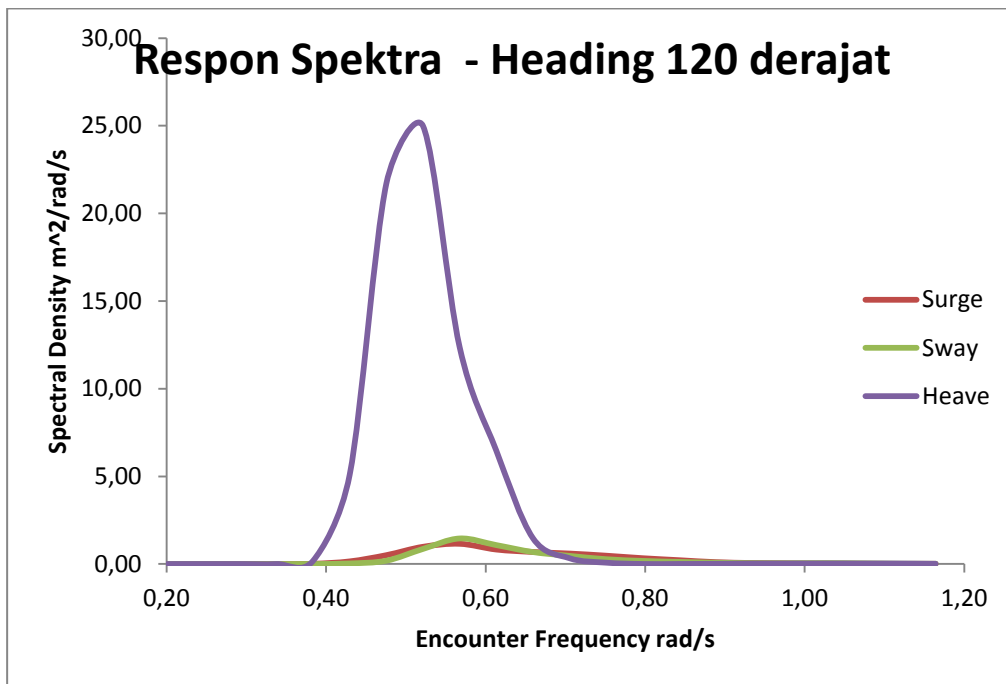
Gambar 4.99 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



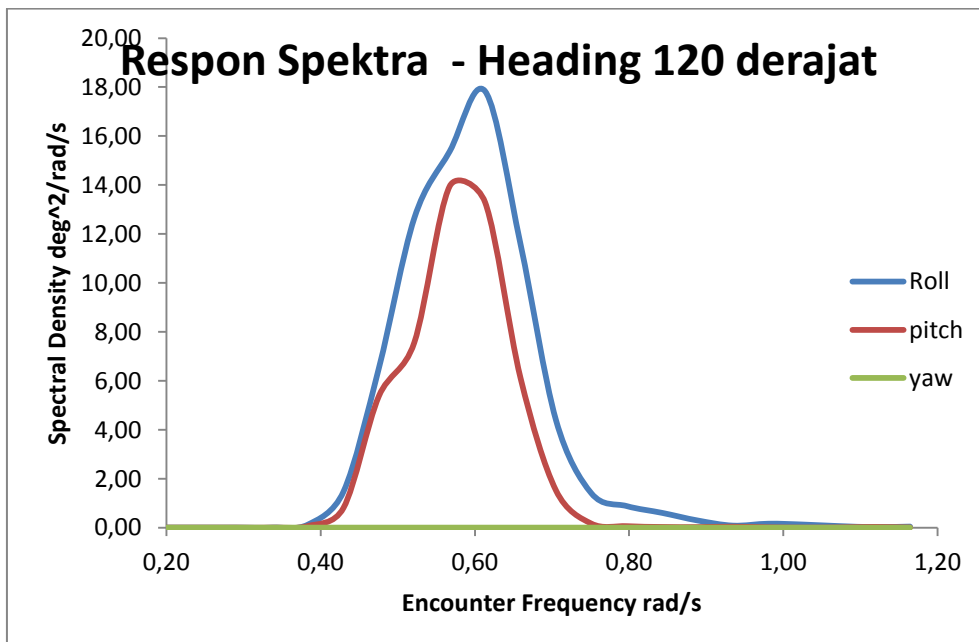
Gambar 4.100 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



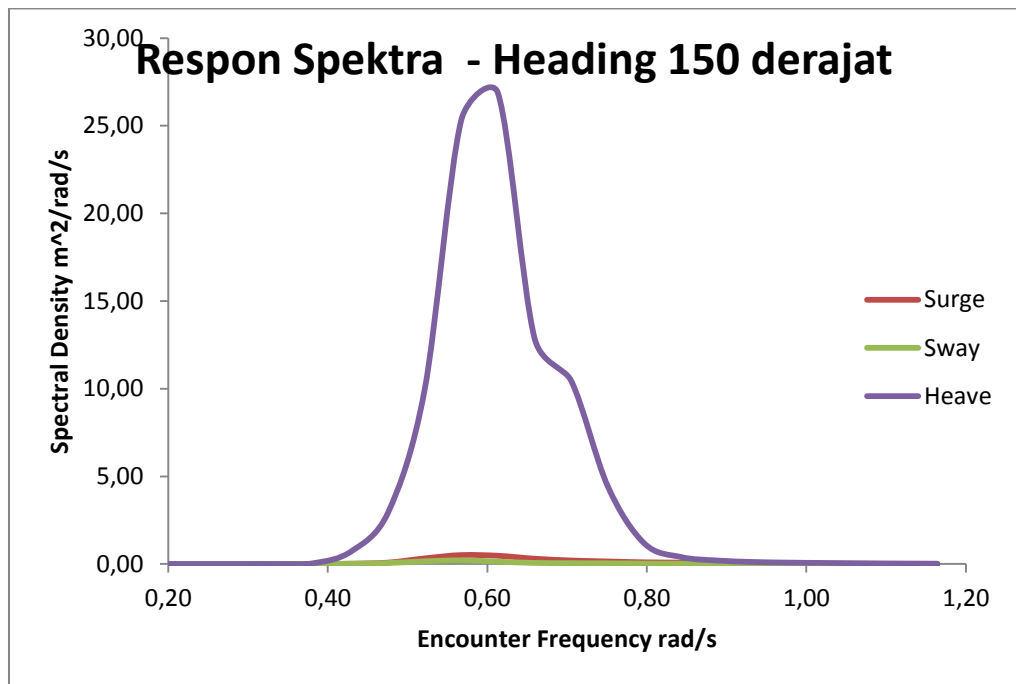
Gambar 4.101 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



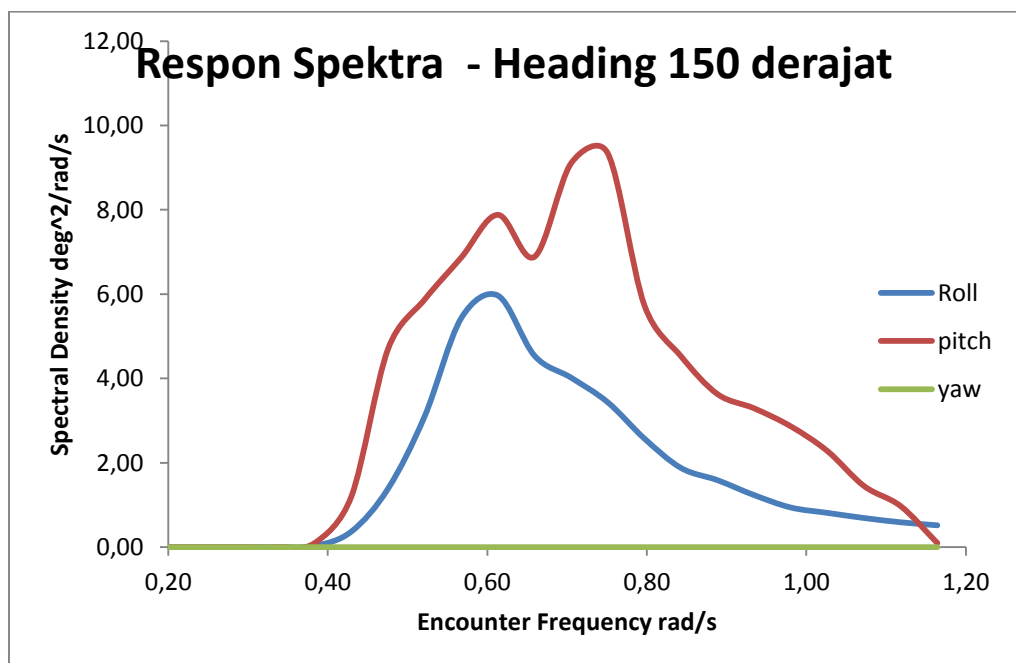
Gambar 4.102 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



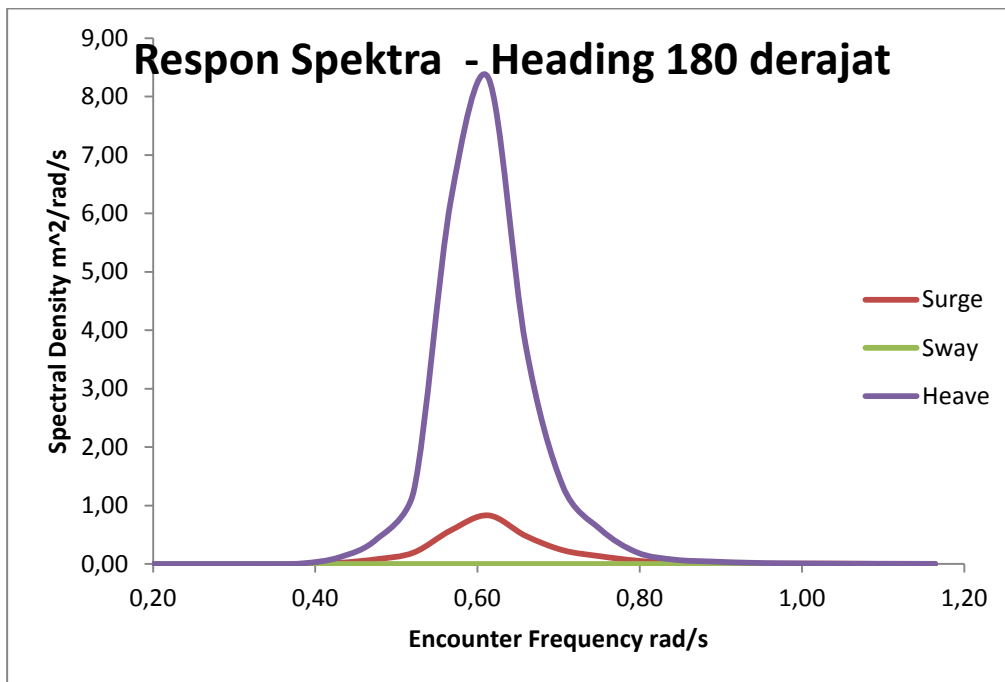
Gambar 4.103 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



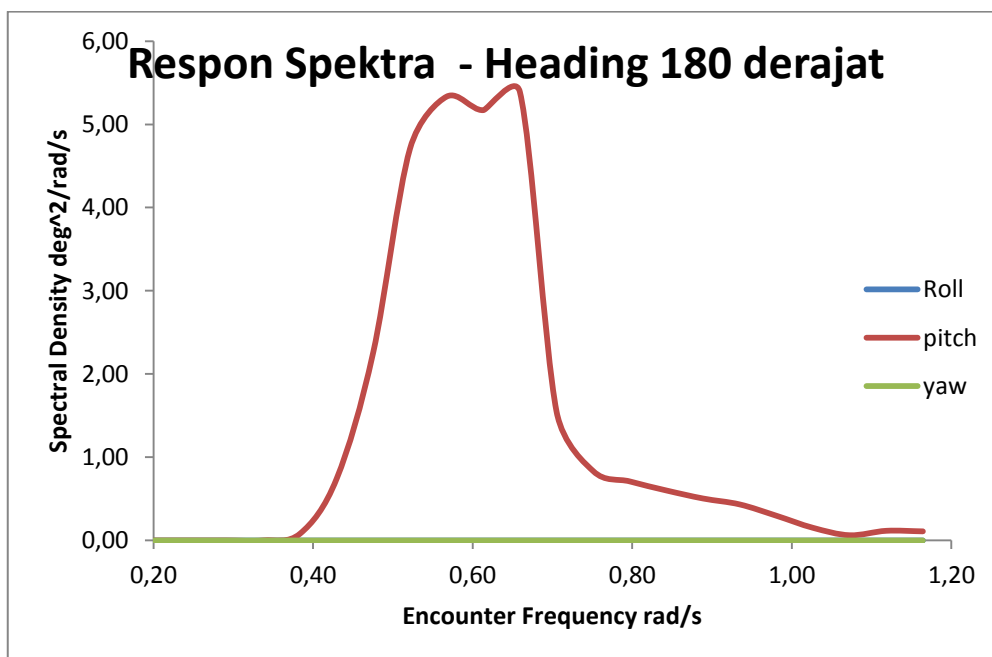
Gambar 4.104 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan heading pembebanan 150 derajat



Gambar 4.105 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan heading pembebanan 150 derajat

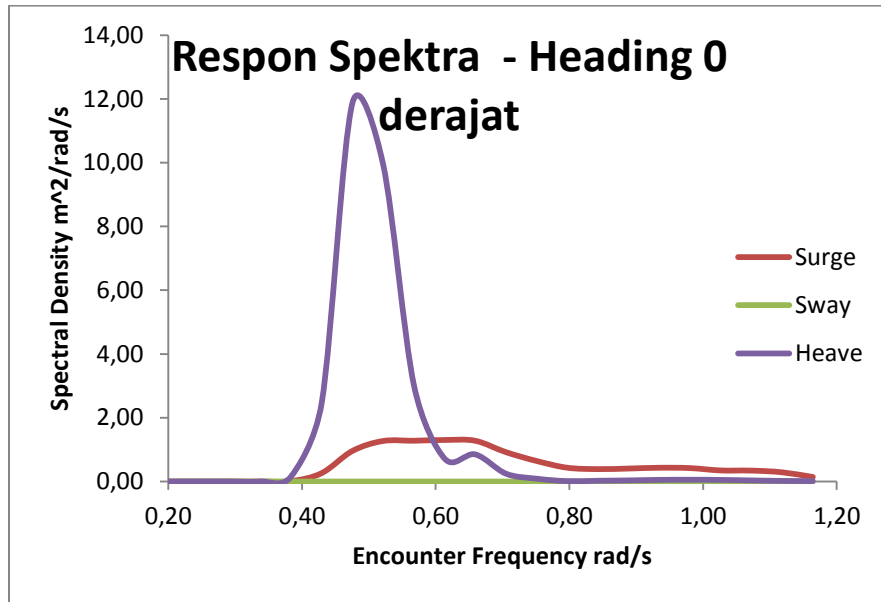


Gambar 4.106 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

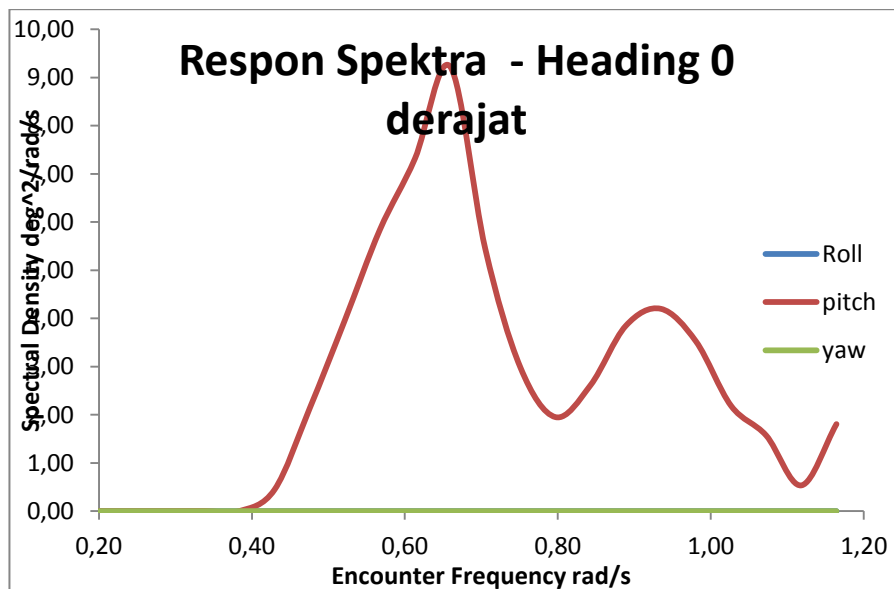


Gambar 4.107 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

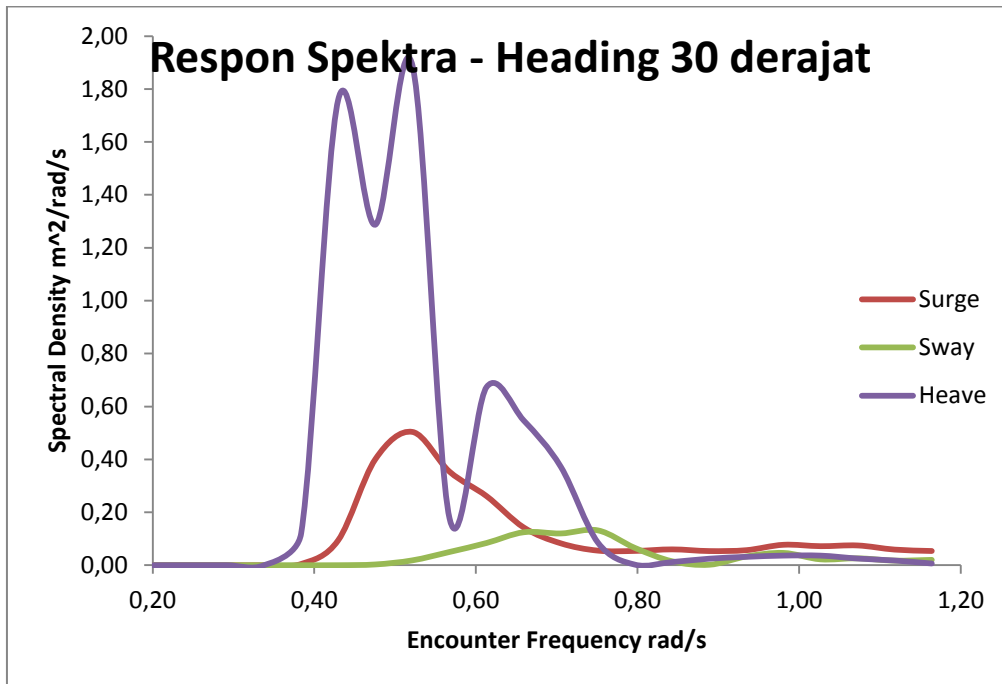
4.7.2 Respon Spektra *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*



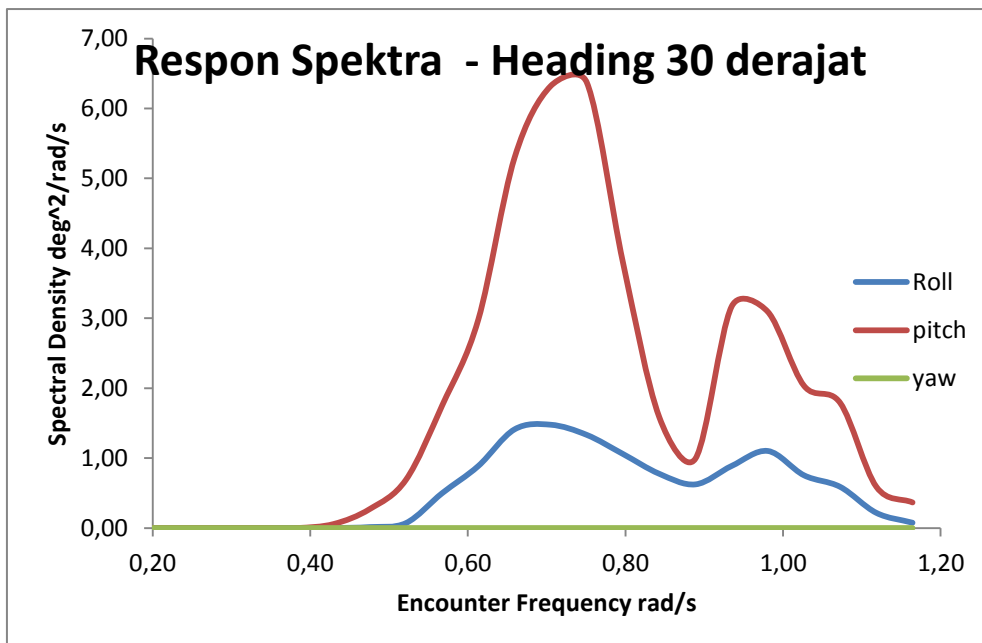
Gambar 4.108 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



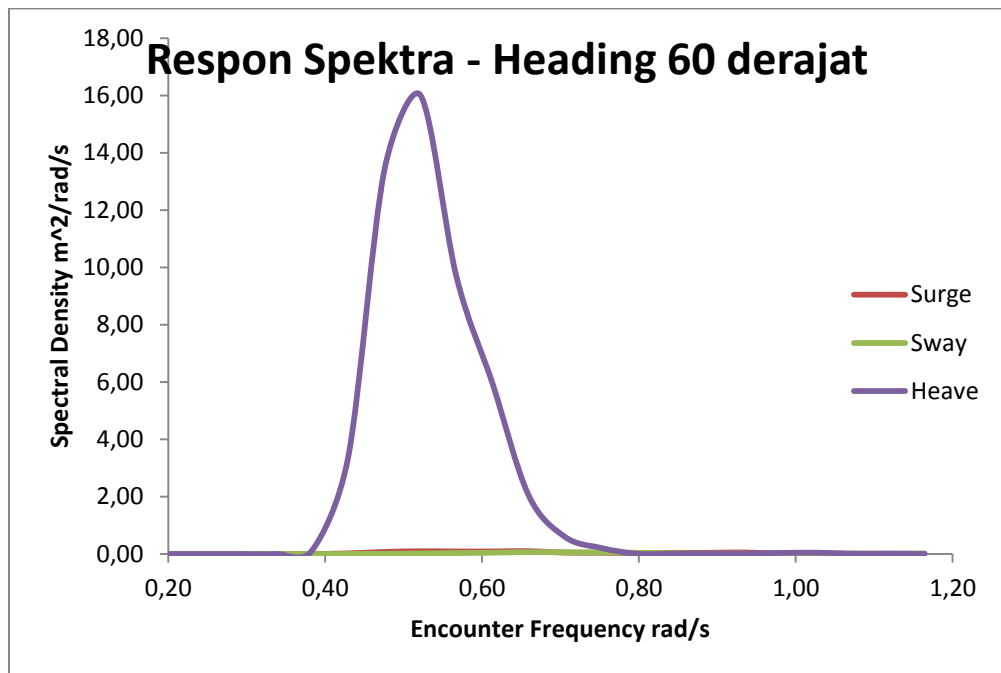
Gambar 4.109 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 0 derajat



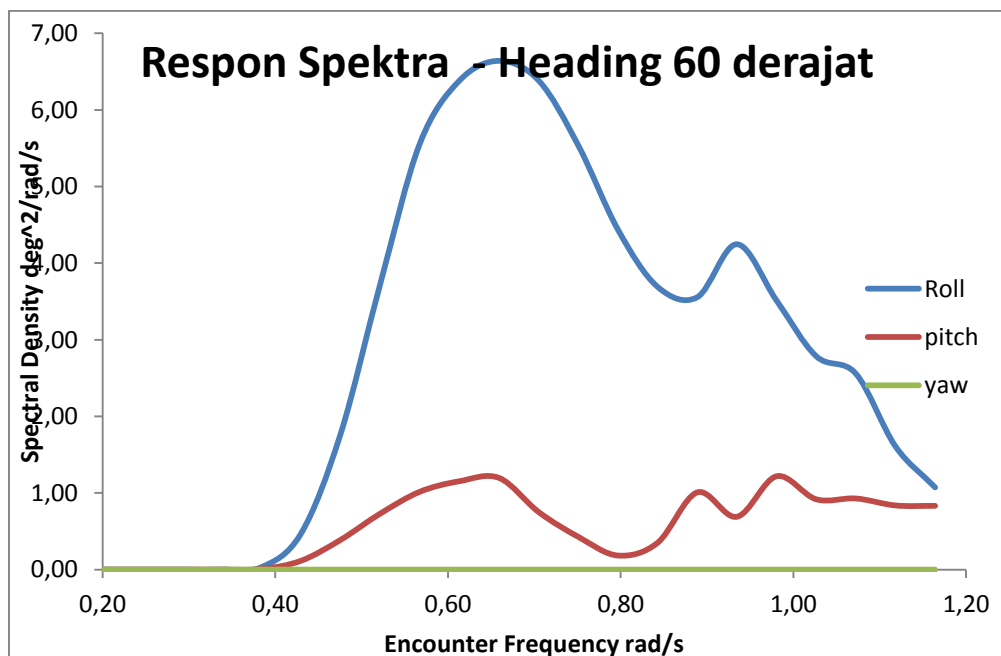
Gambar 4.110 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



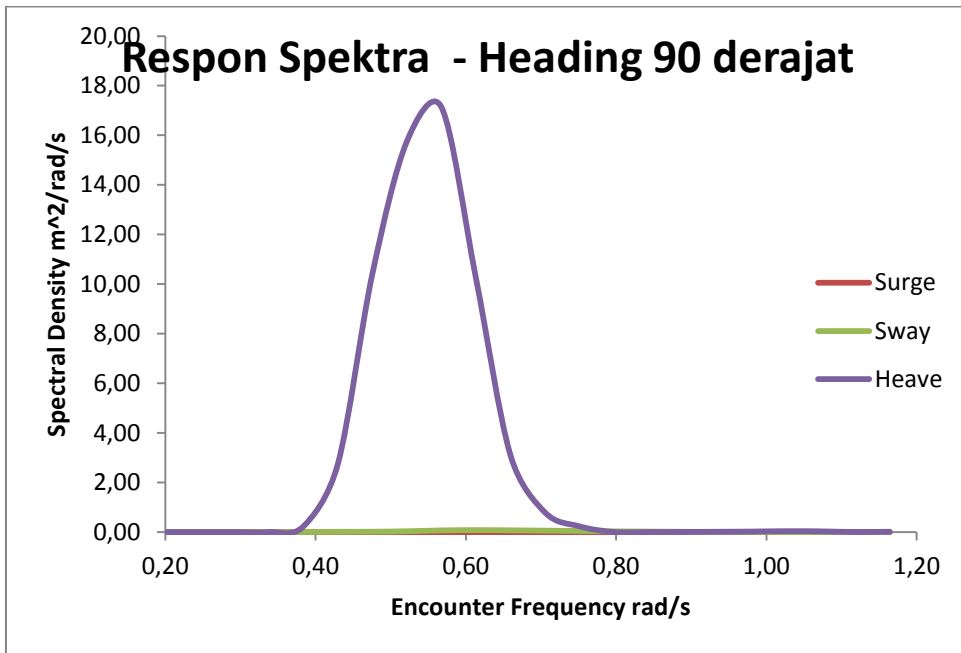
Gambar 4.111 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 30 derajat



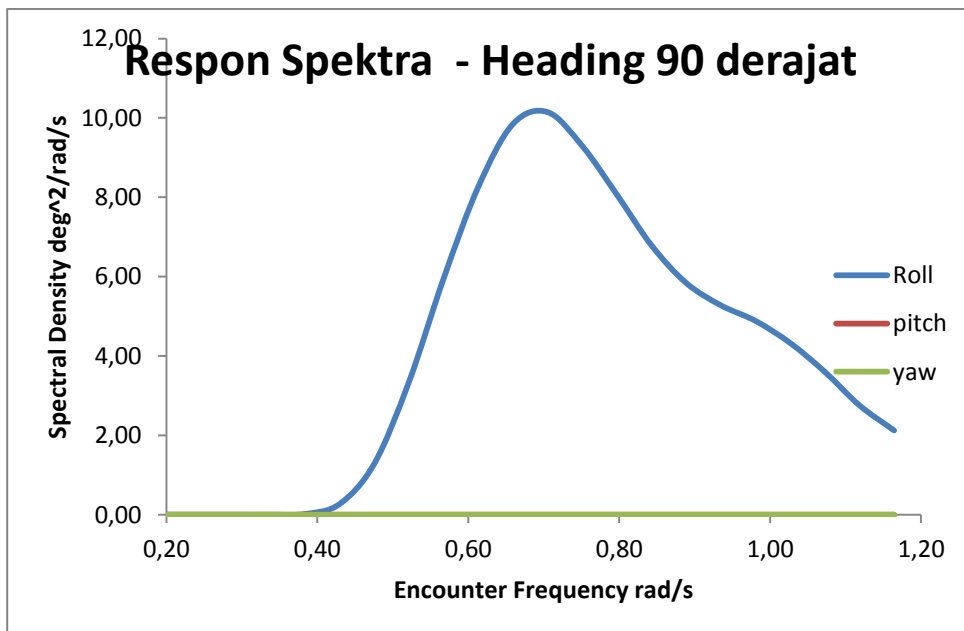
Gambar 4.112 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



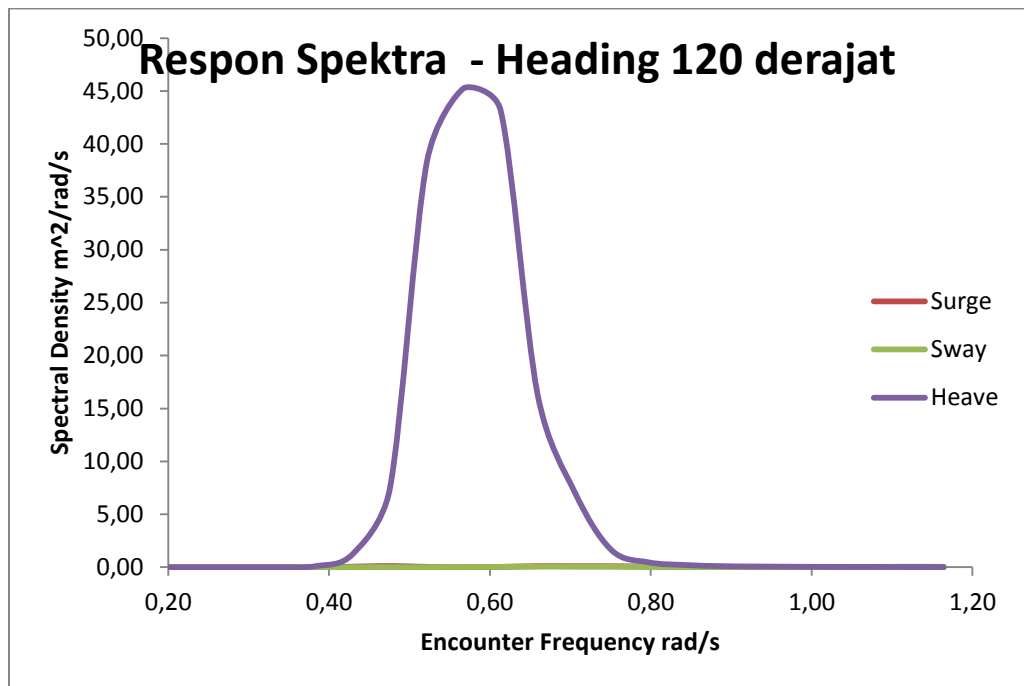
Gambar 4.113 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 60 derajat



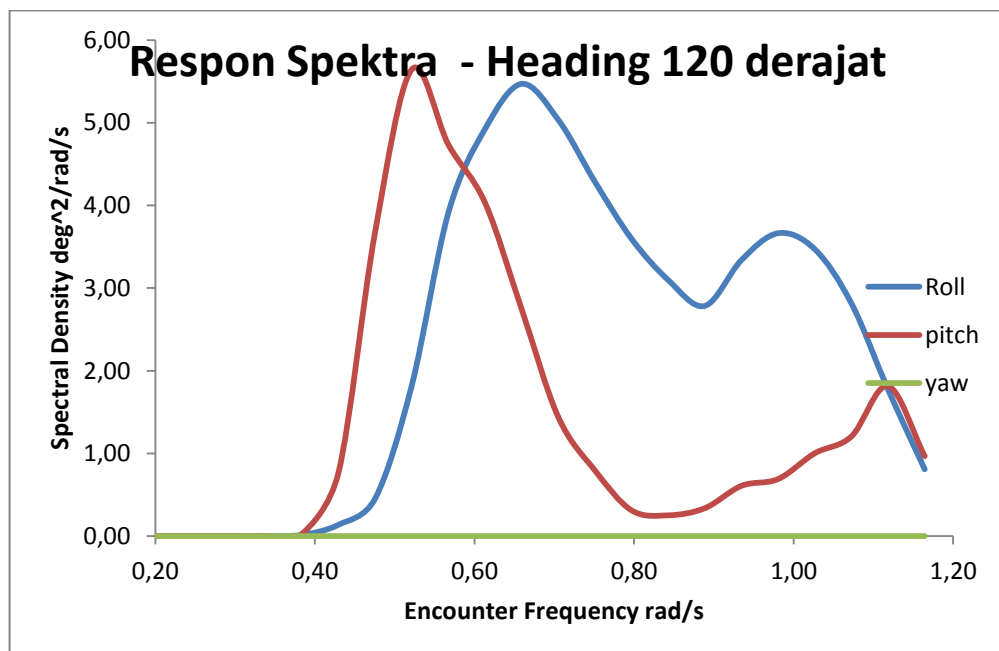
Gambar 4.114 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



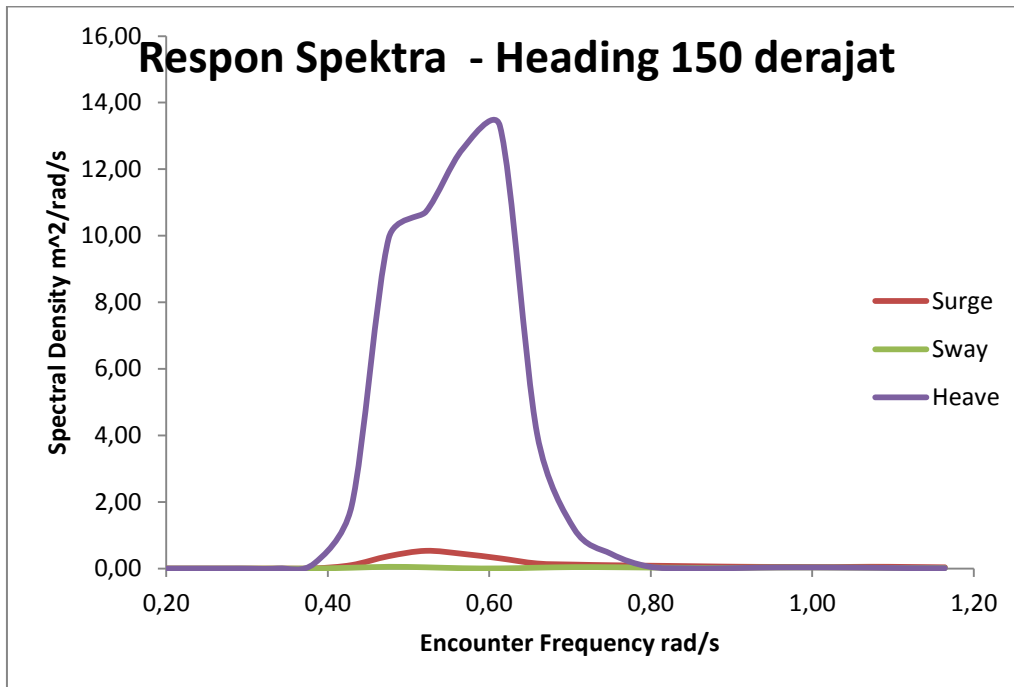
Gambar 4.115 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 90 derajat



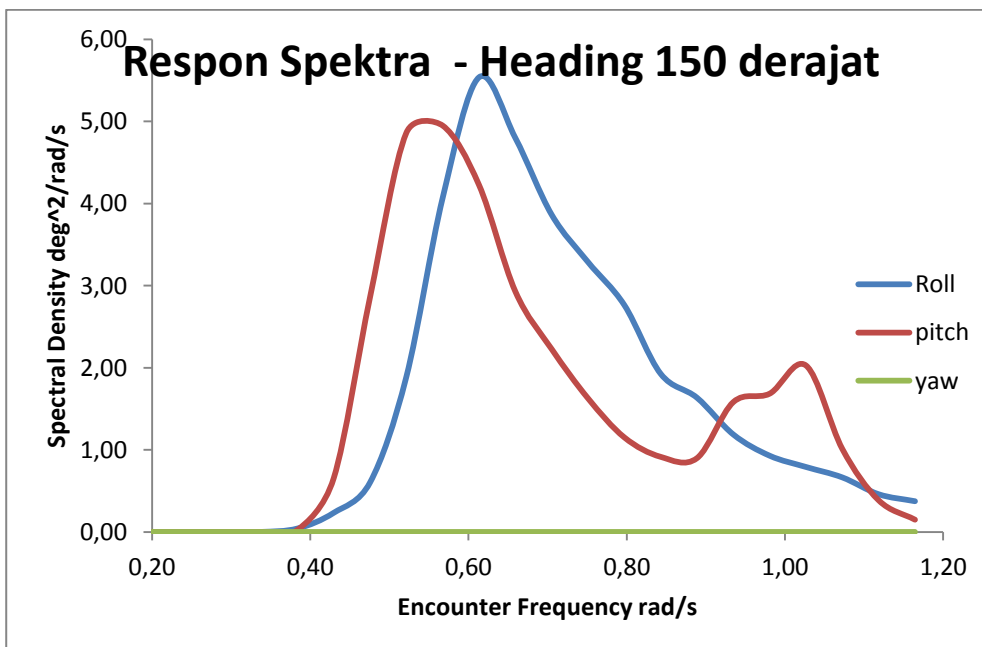
Gambar 4.116 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



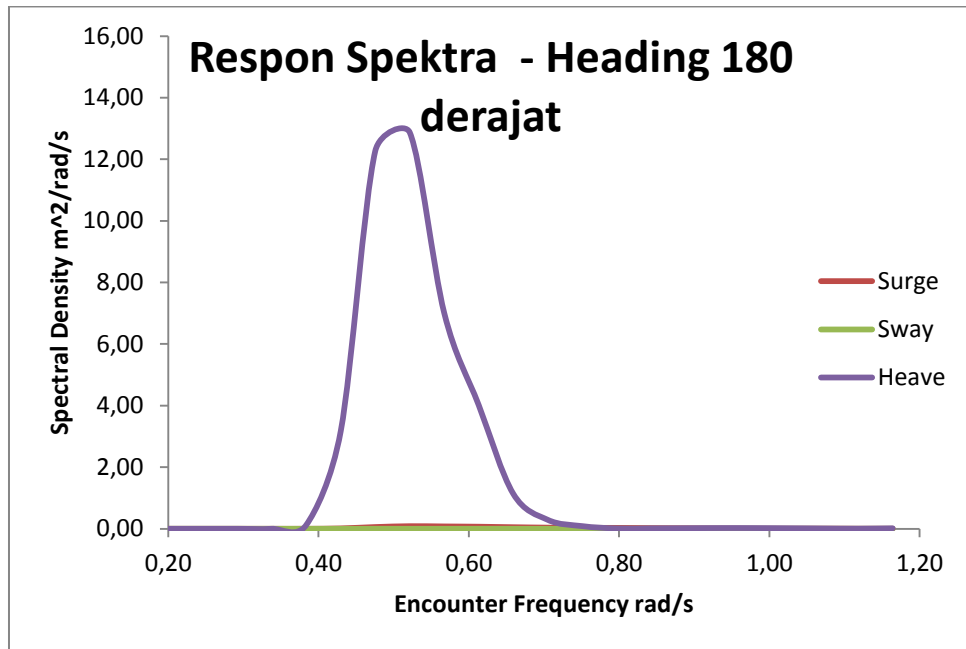
Gambar 4.117 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 120 derajat



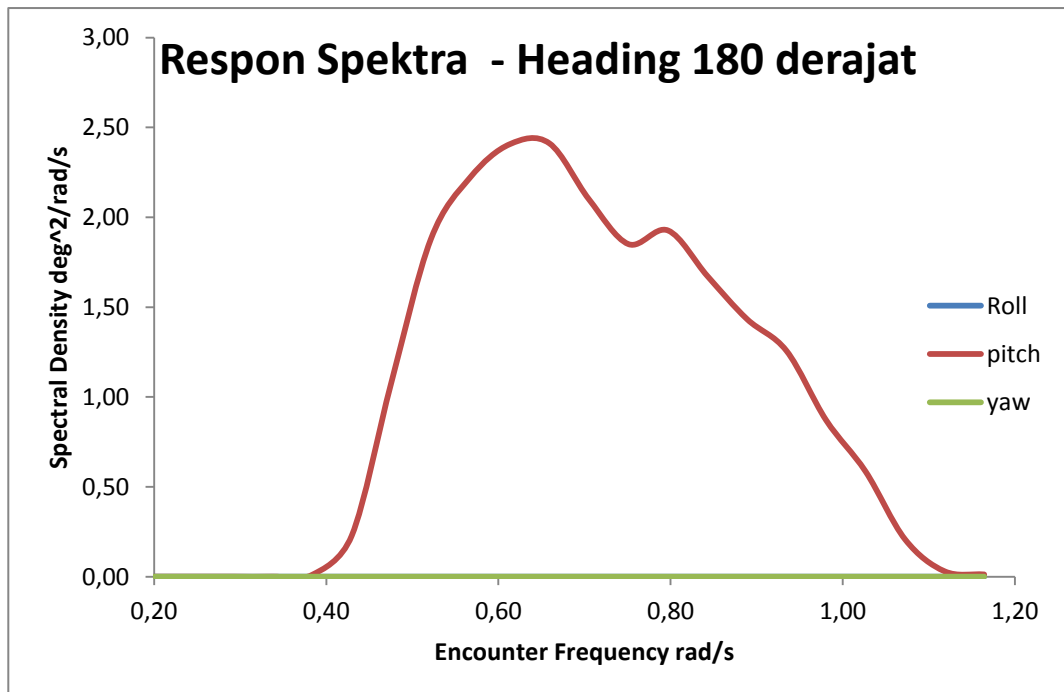
Gambar 4.118 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.119 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 150 derajat



Gambar 4.120 Grafik respon spektra gerakan translasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat



Gambar 4.121 Grafik respon spektra gerakan rotasi pada *Single Point Mooring* tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* dengan *heading* pembebanan 180 derajat

4.8 Analisis Tegangan Pada Anchor Legs dan Hawser

Analisis tegangan pada *anchor line* dan *hawser* pada struktur *Single Point Mooring* pada saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dan *full load* dilakukan untuk mendapatkan tegangan terbesar pada *anchor legs* dan *hawser* sebagai *input* pada pemodelan selanjutnya. Analisis ini mengacu pada standar *American Bureau of Shipping (ABS)*, dimana *safety factor* dari tegangan *mooring line* yang didapat dengan membagi *Minimum Breaking Load* dengan *tension* yang didapatkan dari hasil simulasi. Hasil perbandingan tersebut harus lebih besar dari ketentuan ABS, yaitu 1,67 untuk *anchor legs* dan 1,82 untuk *hawser*.

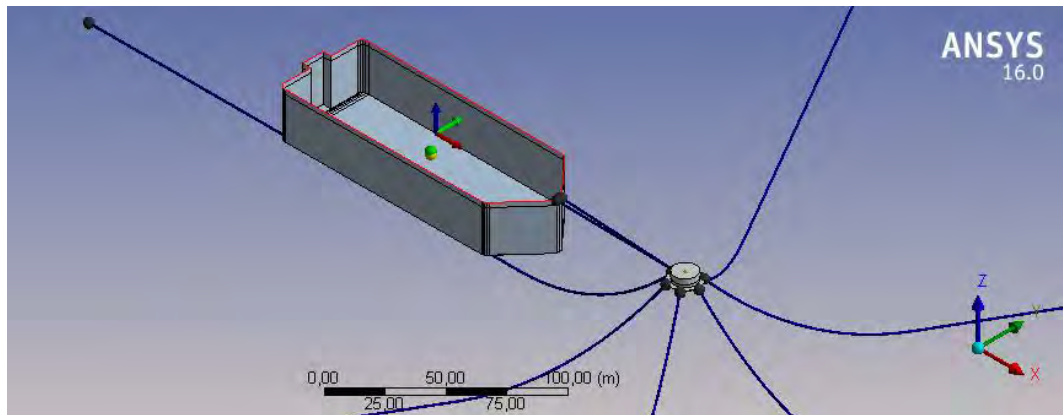
Analisis tegangan pada *mooring line* dilakukan dengan menggunakan bantuan *software ANSYS Aqwa* dengan simulasi *time domain* selama 10800 detik (3 jam). Skenario analisis ini dilakukan dalam 2 kondisi yaitu:

1. *Single Point Mooring* – FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*
2. *Single Point Mooring* – FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

Untuk arah pembebanan gelombang terhadap *heading* struktur dilakukan dalam tujuh arah, yaitu 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , dan 180° . Gambar 4.122 dan Gambar 4.123 berikut ini adalah hasil pemodelan pada *software ANSYS Aqwa* saat kondisi tertambat.



Gambar 4.122 Pemodelan pada *software ANSYS Aqwa* tampak samping



Gambar 4.123 Pemodelan pada *software* ANSYS Aqwa tampak *isometric*

Setelah dilakukan simulasi dengan *software* ANSYS Aqwa selama 10800 detik (3jam) didapatkan *tension* pada *anchor legs* dan *hawser* maksimum dan minimum pada setiap sudut pembebanan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.8 sampai Tabel 4.15 di bawah ini:

Tabel 4.8 Analisis *tension* maksimum pada *anchor legs* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	571,506	12,34	526,76	13,39	487,398	14,47
Line 2	495,357	14,23	463,406	15,22	481,096	14,66
Line 3	488,374	14,44	455,681	15,47	459,44	15,35
Line 4	402,075	17,54	453,883	15,53	474,721	14,85
Line 5	490,427	14,38	461,769	15,27	489,184	14,41
Line 6	454,117	15,53	529,895	13,31	498,363	14,15

90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
463,76	15,20	461,255	15,29	442,57	15,93	433,58	16,26
420,98	16,75	451,549	15,62	395,26	17,84	413,47	17,05
418,69	16,84	464,035	15,19	596,23	11,83	610,75	11,54
448,03	15,74	481,65	14,64	605,80	11,64	615,16	11,46
470,35	14,99	615,525	11,46	599,17	11,77	610,27	11,55
476,91	14,78	492,012	14,33	422,92	16,67	411,95	17,12

Tabel 4.9 Analisis *tension* maksimum pada *anchor legs* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	417,554	16,89	450,159	15,66	335,135	21,04
Line 2	301,662	23,37	303,391	23,24	323,126	21,82
Line 3	203,745	34,61	329,753	21,38	265,175	26,59
Line 4	201,992	34,91	326,429	21,60	290,818	24,25
Line 5	208,384	33,84	312,426	22,57	372,368	18,94
Line 6	407,878	17,29	467,402	15,09	481,774	14,64

	90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
	324,978	21,70	293,851	24,00	300,20	23,49	341,171	20,67
	295,271	23,88	315,619	22,34	287,25	24,55	368,237	19,15
	312,166	22,59	317,012	22,24	349,79	20,16	392,131	17,98
	324,538	21,73	361,638	19,50	415,88	16,95	435,562	16,19
	493,908	14,28	496,968	14,19	403,71	17,47	396,643	17,78
	436,149	16,17	367,727	19,17	344,41	20,47	372,684	18,92

Tabel 4.10 Analisis *tension* maksimum pada *hawser* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	989,119	4,14	891,197	4,59	845,5	4,84
Line 2	997,068	4,11	896,656	4,57	847,91	4,83

	90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
	909,69	4,50	892,444	4,59	859,27	4,76	810,056	5,05
	923,45	4,43	919,116	4,45	862,03	4,75	815,481	5,02

Tabel 4.11 Analisis *tension* maksimum pada *hawser* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	763,59	5,36	611,501	6,70	642,31	6,37
Line 2	766,619	5,34	622,527	6,58	651,47	6,28

	90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
	697,759	5,87	701,341	5,84	709,31	5,77	614,212	6,67
	703,271	5,82	707,803	5,78	714,43	5,73	617,416	6,63

Tabel 4.12 Analisis *tension* minimum pada *anchor legs* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	246,82	28,57	220,952	31,91	212,251	33,22
Line 2	258,76	27,25	221,606	31,82	291,13	24,22
Line 3	245,42	28,73	201,234	35,04	239,343	29,46
Line 4	219,78	32,08	199,937	35,27	213,842	32,97
Line 5	242,37	29,09	221,77	31,79	210,073	33,56
Line 6	256,22	27,52	221,997	31,76	249,951	28,21

90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
252,72	27,90	206,55	34,14	217,72	32,39	245,66	28,70
242,16	29,12	203,69	34,62	227,17	31,04	263,86	26,72
253,05	27,86	210,64	33,47	281,80	25,02	265,65	26,54
268,93	26,22	204,62	34,46	219,73	32,09	235,14	29,99
216,63	32,55	199,79	35,29	262,41	26,87	259,66	27,15
229,60	30,71	206,73	34,11	284,54	24,78	263,72	26,74

Tabel 4.13 Analisis *tension* minimum pada *anchor legs* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	116,395	60,58	121,027	58,26	177,195	39,79
Line 2	149,031	47,31	171,727	41,06	170,766	41,29
Line 3	155,737	45,28	126,114	55,91	166,044	42,46
Line 4	142,834	49,36	179,86	39,20	191,491	36,82
Line 5	153,194	46,03	162,386	43,42	167,72	42,04
Line 6	146,72	48,06	119,913	58,80	117,856	59,83

90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
189,75	37,16	169,486	41,60	141,79	49,73	183,546	38,42
132,411	53,25	136,31	51,73	151,22	46,63	106,023	66,50
139,525	50,54	160,301	43,99	181,55	38,84	190,171	37,08
144,245	48,88	169,9	41,50	124,08	56,83	156,075	45,18
111,218	63,40	114,901	61,37	123,20	57,23	185,89	37,93
130,13	54,18	162,423	43,41	184,77	38,16	105,392	66,90

Tabel 4.14 Analisis *tension* minimum pada *hawser* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	0	-	0	-	0	-
Line 2	0	-	0	-	0	-

90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-
0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-

Tabel 4.15 Analisis *tension* minimum pada *hawser* pada SPM saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *full load*

	0 degree		30 degree		60 degree	
	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
Line 1	0	-	0	-	0	-
Line 2	0	-	0	-	0	-

90 degree		120 degree		150 degree		180 degree	
Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check	Tension (kN)	Check
0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-
0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-

Berdasarkan tabel – tabel di atas dapat diketahui bahwa *anchor legs* SPM dan *hawser* yang menghubungkan SPM dan FSO Arco Ardjuna memiliki *safety factor* terkecil 11,46 untuk *anchor legs* dan 4,11 pada *hawser* yang berarti lebih besar dari *safety factor* yang dianjurkan oleh ABS. Hal ini menunjukkan bahwa *anchor legs* dan *hawser* aman untuk beroperasi. Nilai *tension* maksimum dan minimum ini nantinya akan digunakan untuk pembebanan pada pemodelan ANSYS Mechanical.

4.9 Analisis Tekanan Hidrostatik dan *Structure Acceleration*

Selain beban *tension* pada *anchor legs* dan *hawser*, tekanan hidrostatik dan percepatan pada struktur juga perlu dipertimbangkan dalam analisis sebuah struktur. Nilai *hydrostatic pressure* dan *structure acceleration* diambil pada detik di mana terjadi *tension* terbesar pada *mooring line*. Tabel 4.16 berikut merupakan hasil perhitungan tekanan hidrostatik dan percepatan struktur.

Tabel 4.16 Tekanan hidrostatik dan percepatan struktur SPM

		Light Load						
		Heading 0	Heading 30	Heading 60	Heading 90	Heading 120	Heading 150	Heading 180
Hydrostatic Force (kN)		5954,810	5611,898	6708,883	5941,725	6024,843	5007,014	5344,574
Acceleration	x	-0,698	0,070	-0,028	0,021	-0,325	-0,724	0,610
	y	5,048	-0,063	0,723	0,580	-0,883	0,903	4,394
m/s ²	z	0,946	-0,556	1,579	0,933	-0,844	0,604	0,349

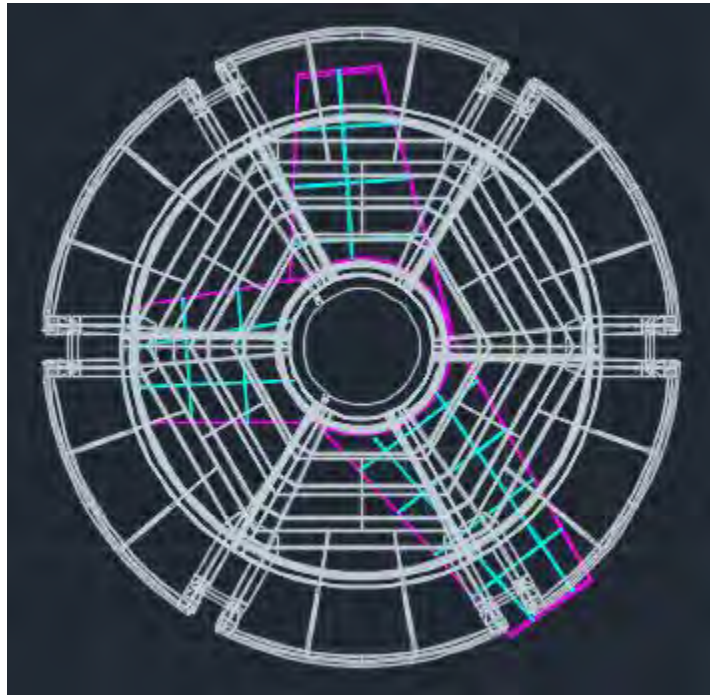
		Full Load						
		Heading 0	Heading 30	Heading 60	Heading 90	Heading 120	Heading 150	Heading 180
Hydrostatic Force (kN)		6528,374	6129,894	6033,032	6541,078	6263,367	6015,166	5580,884
Acceleration	x	-0,539	-0,350	-0,391	0,756	0,236	0,479	0,249
	y	0,331	0,233	0,624	-1,459	0,216	3,134	2,701
m/s ²	z	1,276	1,138	0,870	0,820	0,835	-0,630	0,703

4.10 Pemodelan Struktur *Single Point Mooring*

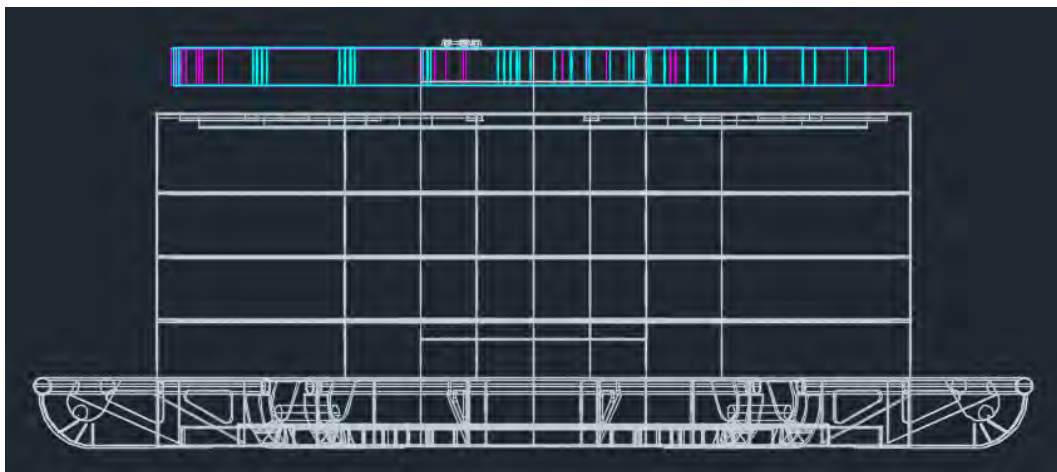
Sebelum dilakukan analisa tegangan dan umur kelelahan struktur *Single Point Mooring* terlebih dahulu membuat model pada Autocad yang nantinya sebagai *geometry input* pada ANSYS Mechanical. Model yang dibuat merupakan model konstruksi global. Pemodelan pada ANSYS Mechanical dibuat berdasarkan dimensi yang didapatkan dari data ukuran asli *general arrangement Single Point Mooring*. Jenis material konstruksi *Single Point Mooring* menggunakan baja ASTM A36 dengan *yield strength* sebesar 250 Mpa. Data foto struktur *Single Point Mooring* dan hasil pemodelan global dapat dilihat pada Gambar 4.124 sampai Gambar 4.128 berikut.



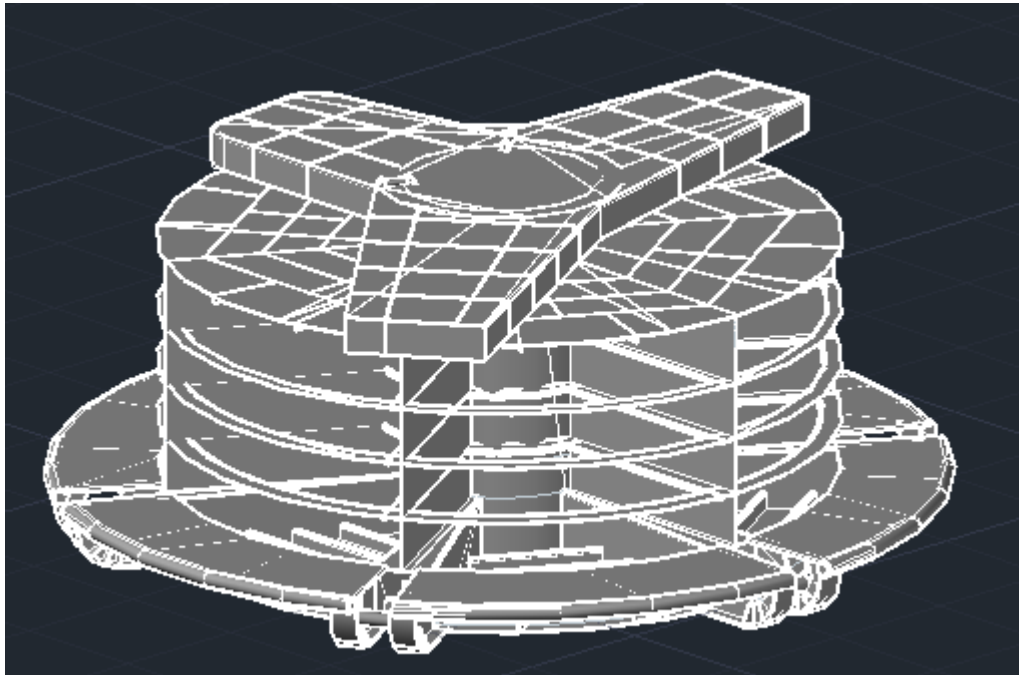
Gambar 4.124 Foto struktur *Single Point Mooring*



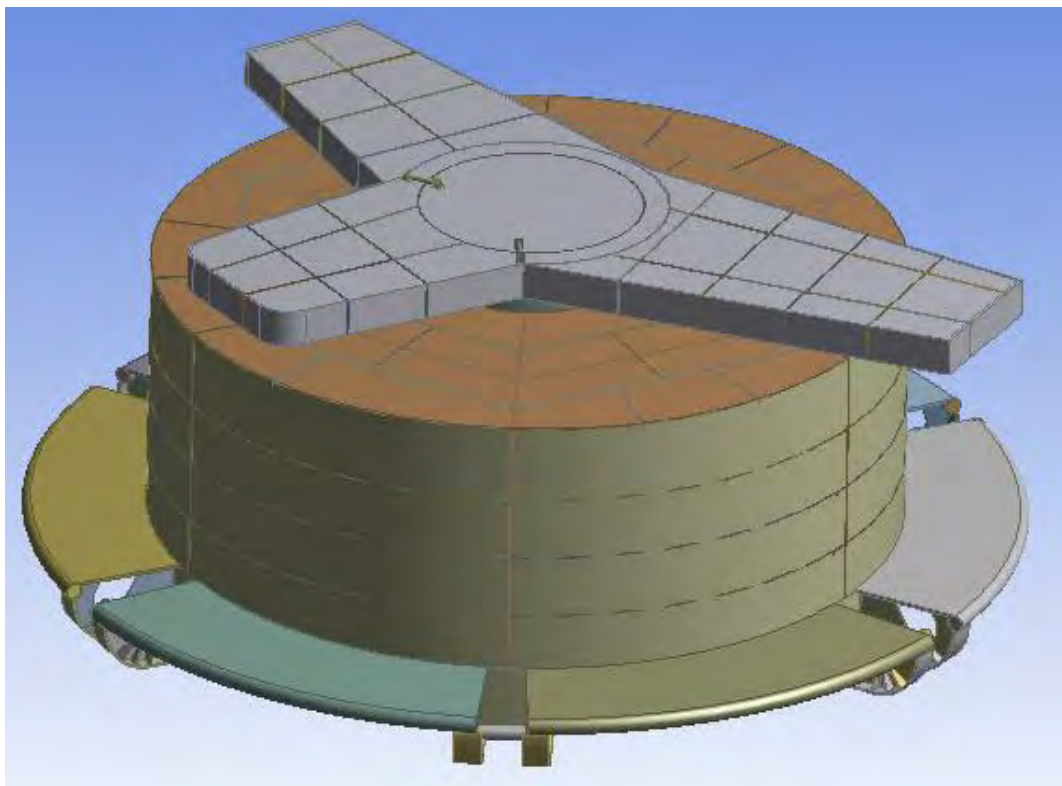
Gambar 4.125 Hasil pemodelan global pada Autocad – tampak atas



Gambar 4.126 Hasil pemodelan global pada Autocad – tampak samping



Gambar 4.127 Hasil pemodelan global pada Autocad – isometris

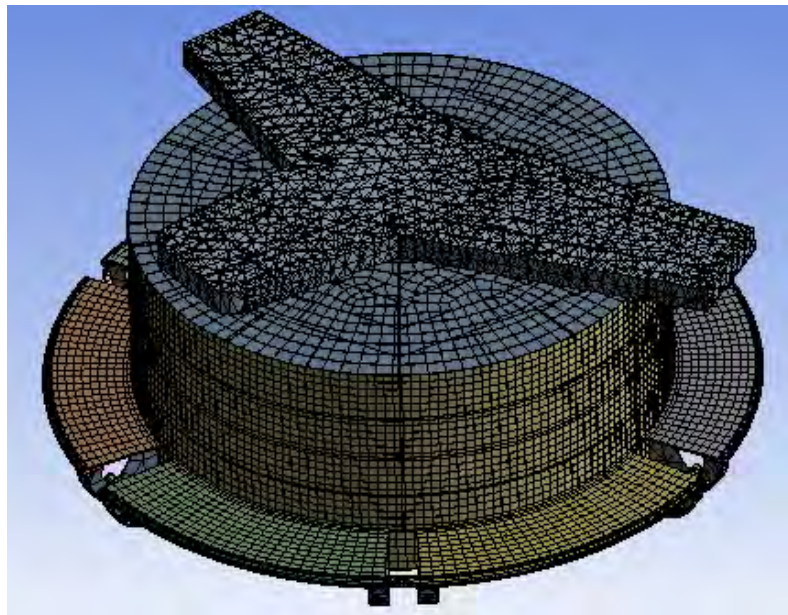


Gambar 4.128 Hasil pemodelan global pada ANSYS Mechanical

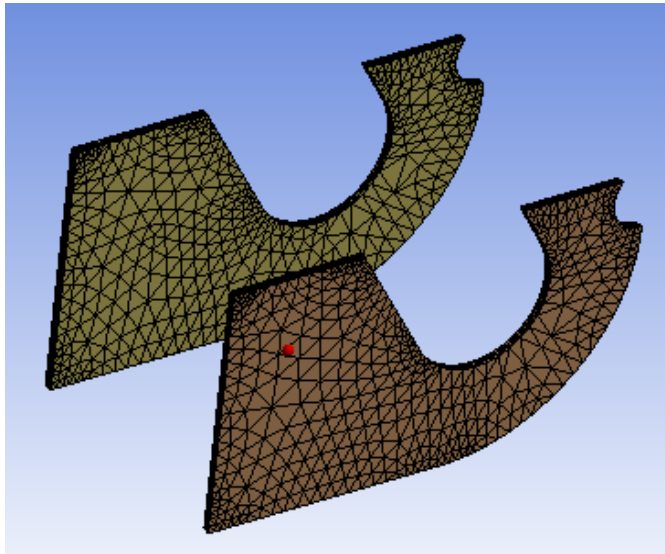
Setelah pembuatan pemodelan struktur global *Single Point Mooring* dengan menggunakan ANSYS Mechanical, langkah selanjutnya adalah pemberian beban. Hasil *stress* yang didapatkan dari *software* ini nantinya akan dianalisis tegangan ijinnya berdasarkan *American Bureau Shipping*.

4.11 *Sensitivity Meshing Analysis*

Sensitivity analysis perlu dilakukan untuk memastikan apakah tegangan yg terjadi dari *output* sudah benar dan mendekati nilai kebenaran. Dalam tugas akhir ini, uji sensitivitas dilakukan melalui variasi kerapatan dalam *meshing*. Berdasarkan variasi kerapatan *meshing* yang telah dilakukan tersebut akan didapatkan hasil *maximum stress*. Dari beberapa hasil tegangan yang dihasilkan dianalisis hingga didapatkan perbedaan hasil kurang dari 5%. Pada tugas akhir ini dilakukan *running* dengan kondisi kerapatan *meshing* seperti pada Gambar 4.129 dan 4.130



Gambar 4.129 *Meshing* struktur

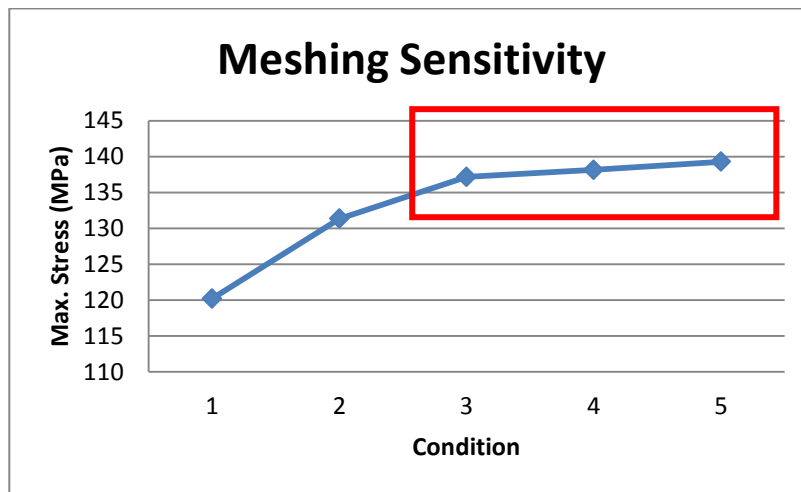


Gambar 4.130 *Refinement* di daerah kritis

Berdasarkan variasi *meshing* yang dilakukan, didapatkan tabulasi *meshing* dan *maximum principal stress* yang dihasilkan pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.131 sebagai berikut:

Tabel 4.17 Tabulasi hasil *Maximum Principal Stress* untuk variasi kerapatan *meshing*

Condition	Mesh Sizing (m)	Max. Stress (Mpa)	Error
1	0,5	120,22	
2	0,45	131,34	0,09
3	0,4	137,16	0,04
4	0,35	138,16	0,01
5	0,3	139,28	0,01



Gambar 4.131 Sensitivitas *meshing* model struktur SPM

Berdasarkan Tabel 4.17 dan grafik pada Gambar 4.131 dapat disimpulkan bahwa struktur *Single Point Mooring* dapat dengan baik dimodelkan pada ukuran *mesh* 0.4 meter karena hasil perhitungan *error* untuk *mesh* ini kurang dari 5%.

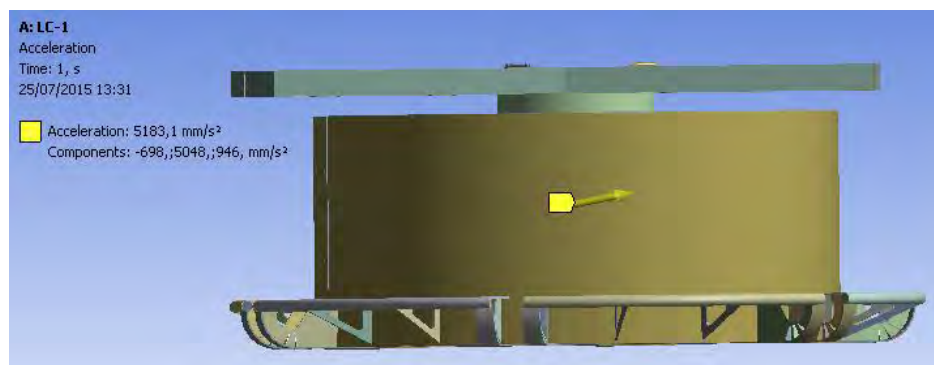
4.12 Pembebanan pada ANSYS Mechanical

Dalam analisis kelelahan pada struktur *Single Point Mooring*, diperlukan beberapa konfigurasi pembebanan *tension* yang telah didapat sebelumnya. Selain beban *tension anchor legs* dan *hawser*, adapun beban berat dari struktur SPM, *hydrostatic pressure*, dan *structure acceleration*. Beberapa konfigurasi pembebanan struktur pada ANSYS Mechanical berdasarkan *tension*, kondisi FSO Arco Ardjuna dan *heading* pembebanan antara lain:

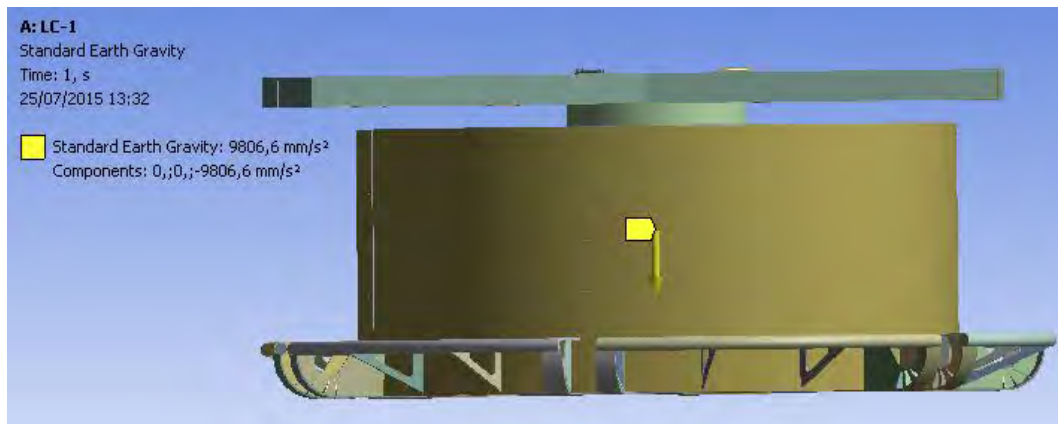
1. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 0°
2. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 30°
3. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 60°
4. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 90°
5. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 120°
6. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 150°
7. *Maximum Tension* – FSO *light load* – *heading* 180°
8. *Minimum Tension* – FSO *light load* – *heading* 0°

9. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 30°
10. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 60°
11. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 90°
12. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 120°
13. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 150°
14. *Minimum Tension* – FSO *light load* – heading 180°
15. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 0°
16. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 30°
17. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 60°
18. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 90°
19. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 120°
20. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 150°
21. *Maximum Tension* – FSO *full load* – heading 180°
22. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 0°
23. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 30°
24. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 60°
25. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 90°
26. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 120°
27. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 150°
28. *Minimum Tension* – FSO *full load* – heading 180°

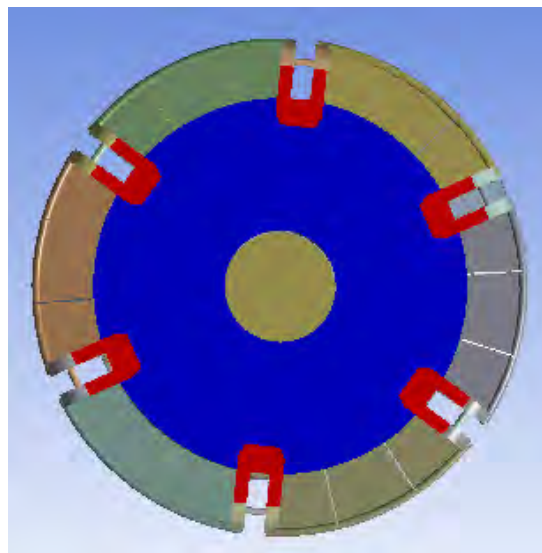
Gambar 4.132 sampai Gambar 4.136 berikut adalah *boundary condition* pada struktur SPM:



Gambar 4.132 Beban akselerasi struktur



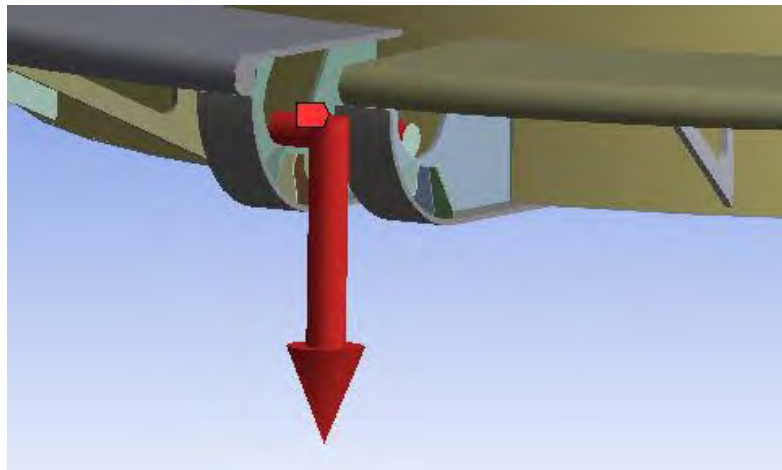
Gambar 4.133 Beban berat struktur



Gambar 4.134 Beban tekanan hidrostatik



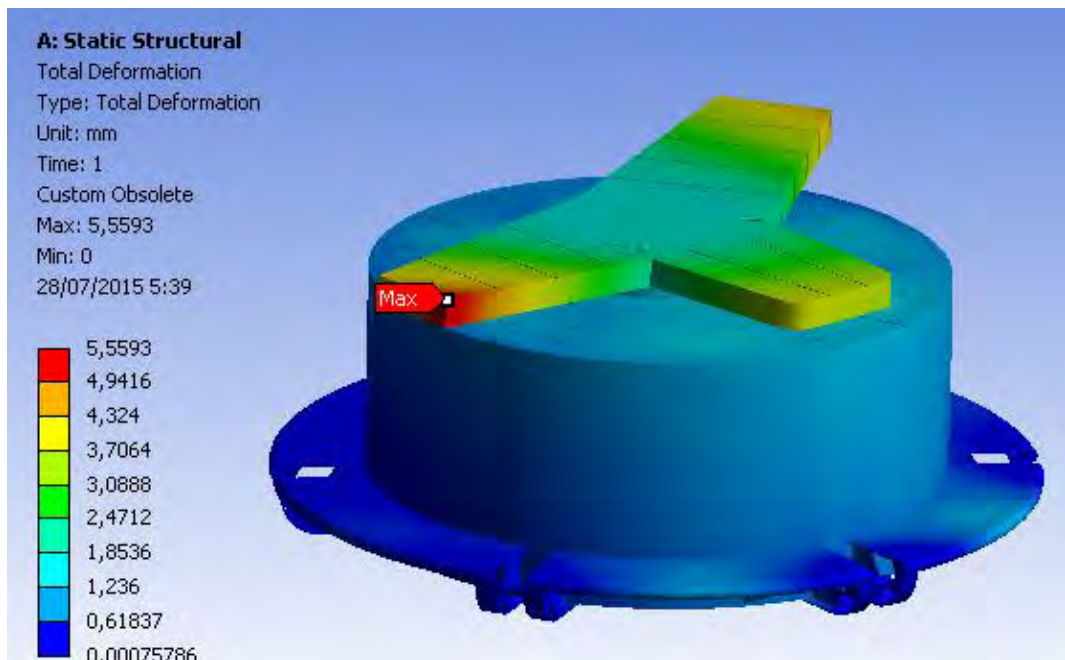
Gambar 4.135 Tension hawser



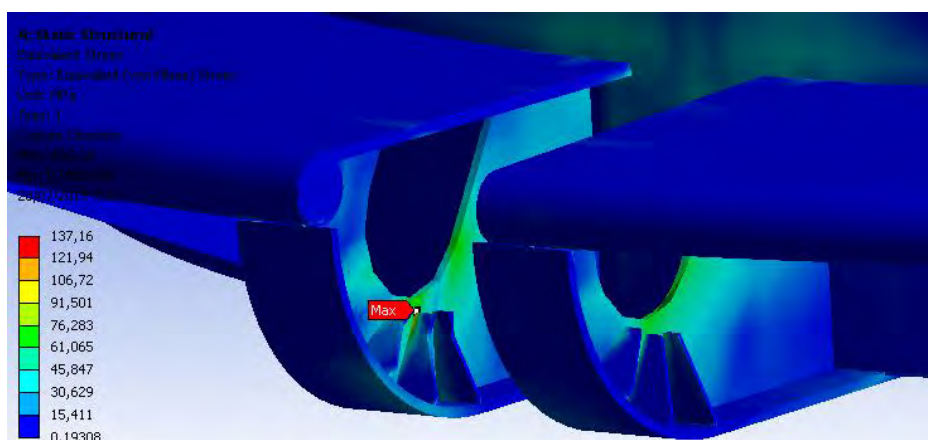
Gambar 4.136 Tension Anchor Legs

4.12 Analisis Tegangan Pada Struktur SPM

Gambar 4.137 dan Gambar 4.138 berikut ini adalah hasil *maximum stress* dan deformasi pada struktur *Single Point Mooring*



Gambar 4.137 Deformasi pada struktur SPM



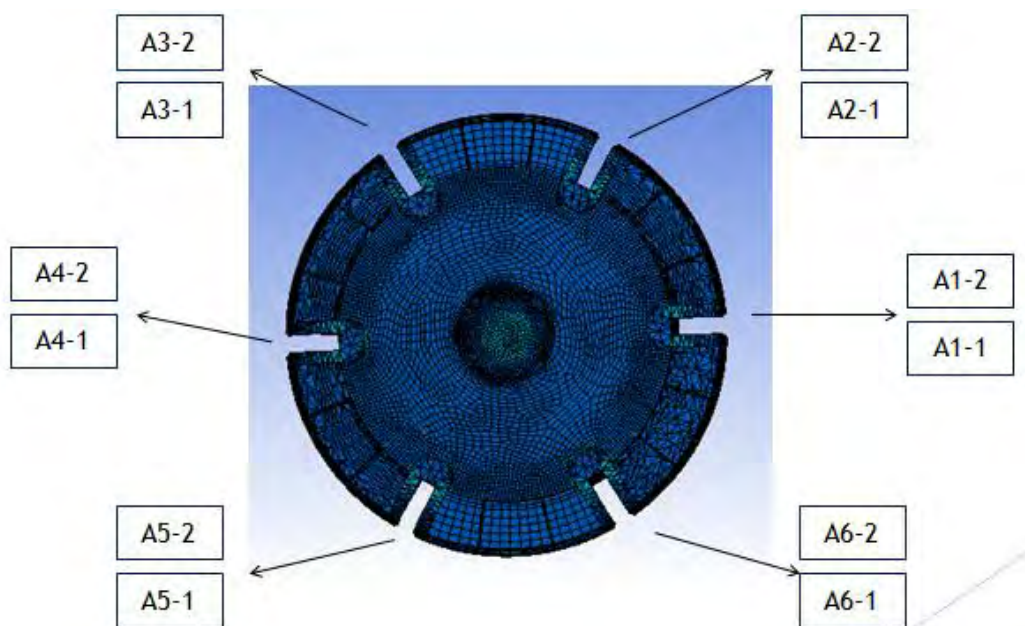
Gambar 4.138 Maximum stress struktur

Berdasarkan hasil pemodelan struktur global *Single Point Mooring* pada Gambar 4.137 dan Gambar 4.138 dengan pembebanan sesuai *tension anchor legs* dan *hawser*, tekanan hidrostatik, beban berat struktur, dan akselerasi struktur didapatkan tegangan maksimum sebesar 137,16 MPa dengan deformasi 5,6 mm. Nilai tegangan maksimum tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin yang dianjurkan oleh ABS "Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems" sebesar 225

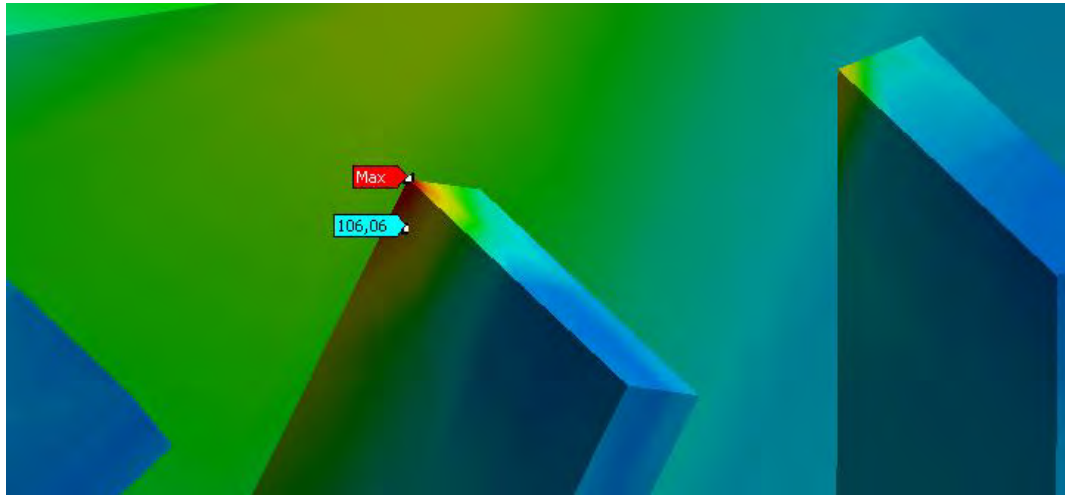
MPa. Dan Nilai deformasi yang dihasilkan juga masih lebih kecil jika dibandingkan dengan syarat deformasi maksimum yang tercantum dalam ABS “*Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction*” yaitu 11.2 mm.

4.13 Analisis Umur Kelelahan Struktur SPM

Perhitungan umur kelelahan dalam tugas akhir ini menggunakan metode S-N Curve berdasarkan hukum kegagalan *palmgren miner (miner’s rule)* dengan mengestimasi kumulatif kegagalan *fatigue (cumulative fatigue damage)* menggunakan metode *simplified fatigue analysis*. Berikut adalah tabulasi *maximum principal stress* yang terjadi pada lokasi-lokasi kritis di struktur SPM yang nantinya digunakan dalam perhitungan umur kelelahan. Penomoran titik-titik kritis pada struktur SPM dapat dilihat pada Gambar 4.139 dan Gambar 4.140 berikut



Gambar 4.139 Penomoran titik-titik kritis pada struktur SPM



Gambar 4.140 Konstruksi kritis

Tabel 4.18 dan Tabal 4.19 di bawah ini menjelaskan perhitungan *hot-spot stress* dengan menggunakan faktor 1.12

Tabel 4.18 Perhitungan *Hot-Spot Stress*

LC-1			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	106,04	1,12	118,76
A1-2	105,44	1,12	118,09
A2-1	80,72	1,12	90,41
A2-2	50,06	1,12	56,07
A3-1	88,23	1,12	98,82
A3-2	93,99	1,12	105,27
A4-1	66,92	1,12	74,95
A4-2	86,37	1,12	96,73
A5-1	68,47	1,12	76,69
A5-2	96,15	1,12	107,69
A6-1	33,77	1,12	37,82
A6-2	43,72	1,12	48,97

LC-8			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	43,36	1,12	48,56
A1-2	46,48	1,12	52,06
A2-1	61,45	1,12	68,82
A2-2	66,89	1,12	74,92
A3-1	52,99	1,12	59,35
A3-2	62,89	1,12	70,44
A4-1	55,44	1,12	62,09
A4-2	55,06	1,12	61,67
A5-1	52,73	1,12	59,06
A5-2	64,95	1,12	72,74
A6-1	67,28	1,12	75,35
A6-2	70,17	1,12	78,59

Tabel 4.19 Perhitungan *Hot-Spot Stress Range*

LC-1 / LC-8			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	118,76	48,56	70,20
A1-2	118,09	52,06	66,04
A2-1	90,41	68,82	21,58
A2-2	56,07	74,92	18,85
A3-1	98,82	59,35	39,47
A3-2	105,27	70,44	34,83
A4-1	74,95	62,09	12,86
A4-2	96,73	61,67	35,07
A5-1	76,69	59,06	17,63
A5-2	107,69	72,74	34,94
A6-1	37,82	75,35	37,53
A6-2	48,97	78,59	29,62

f_0	=	1 operation factor
U	=	30 year
	=	9,46E+08 second
L	=	16,26 m
	=	$\frac{f_0 U}{4 \log L}$
N_L	=	1,95E+08
Hot-spot SN-curve parameters (Class D):		
m	=	3
Δm	=	2
K_2	=	1,52E+12
S_q	=	53,4 N/mm ²

Weibull parameter			
α	=	0,93	
ξ	=	1,07511	
v_i	=	$\left(\frac{S_e}{S_{90}}\right)^\xi \ln N_e$	6,86
$1 + \frac{m}{\xi}$	=		3,79
$1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}$	=		5,65
$\Gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}\right)$	=		4,64
$\gamma\left(1 + \frac{m}{\xi}, v_i\right)$	=		4,2961
$\gamma\left(1 + \frac{m + \Delta m}{\xi}, v_i\right)$	=		48,8756
$v_i^{-\Delta m/\xi}$	=	0,02780	

Dalam analisa ini menggunakan metode *simplified*, yang dinyatakan sebagai berikut

$$DM_t = \sum_{i=1}^k \frac{N_L}{K_2} \frac{S_{Rt}^m}{(\ln N_R)^{m/\xi}} \mu_t \Gamma \left(1 + \frac{m}{\xi} \right)$$

DM = 1,74E-01

Tabel 4.21 Hasil perhitungan kelelahan struktur SPM saat tertambat dengan FSO
Arco Ardjuna kondisi *light load*

Load Condition	Operation factor	Part											
		A1-1	A1-2	A2-1	A2-2	A3-1	A3-2	A4-1	A4-2	A5-1	A5-2	A6-1	A6-2
LC 1-8	0,14	1,74E-01	3,19E-01	5,18E-04	2,63E-04	1,06E-02	5,67E-03	3,88E-05	5,86E-03	1,88E-04	5,76E-03	7,58E-04	2,52E-03
LC 2-9	0,14	1,34E-01	1,66E-01	6,76E-04	3,09E-03	7,44E-03	3,60E-02	1,14E-05	1,24E-04	3,36E-02	8,35E-05	7,10E-02	7,32E-02
LC 3-10	0,14	9,38E-08	5,00E-03	4,87E-04	5,99E-03	6,60E-02	9,37E-05	1,72E-08	3,58E-09	2,25E-02	9,46E-04	8,49E-02	1,06E-01
LC 4-11	0,14	1,43E-10	6,38E-06	3,96E-04	1,30E-02	3,96E-02	9,53E-03	2,73E-02	2,76E-03	8,54E-02	1,50E-01	6,76E-02	1,38E-01
LC 5-12	0,14	7,96E-01	1,69E+00	4,33E-02	2,14E-01	9,30E-02	1,03E-01	1,38E-02	3,03E-01	4,18E-01	2,70E-01	1,95E-07	1,74E-04
LC 6-13	0,14	7,72E-01	8,66E-01	4,03E-02	5,24E-02	6,33E-02	7,80E-02	2,10E-02	1,60E-01	5,43E-01	5,77E-01	9,61E-04	3,18E-08
LC 7-14	0,14	4,11E-04	2,08E-03	4,11E-04	2,08E-03	2,77E-06	3,82E-06	2,96E-01	3,57E-01	1,52E-02	8,50E-02	3,31E-05	1,96E-05
Total Damage Ratio		2,68E-01	4,36E-01	1,23E-02	4,16E-02	4,00E-02	3,32E-02	5,11E-02	1,18E-01	1,60E-01	1,56E-01	3,22E-02	4,57E-02
Fatigue Life (years)		111,9177	68,84437	2437,993	721,5133	750,3315	902,5681	586,9548	253,1856	187,8524	192,8218	932,5377	656,6827

Tabel 4.19 Hasil perhitungan kelelahan struktur SPM saat tertambat dengan FSO
Arco Ardjuna kondisi *full load*

Load Condition	Operation factor	Part											
		A1-1	A1-2	A2-1	A2-2	A3-1	A3-2	A4-1	A4-2	A5-1	A5-2	A6-1	A6-2
LC 15-22	0,14	1,42E-01	1,43E-01	1,35E-03	7,06E-03	5,00E-02	3,06E-02	6,19E-04	4,80E-03	4,60E-02	1,98E-04	2,59E-08	1,72E-04
LC 16-23	0,14	5,39E-02	8,04E-02	9,16E-05	2,49E-04	1,44E-03	1,71E-04	6,96E-10	1,58E-05	7,07E-04	3,22E-03	6,28E-03	5,92E-03
LC 17-24	0,14	3,01E-05	2,04E-07	7,06E-08	4,58E-03	3,04E-03	1,14E-03	3,75E-05	2,00E-04	7,10E-03	1,11E-03	2,29E-02	2,73E-02
LC 18-25	0,14	8,01E-05	8,54E-07	3,63E-07	5,52E-04	2,34E-02	5,89E-03	2,19E-02	7,82E-04	5,45E-02	3,23E-02	3,08E-02	1,31E-01
LC 19-26	0,14	4,14E-07	9,22E-06	1,78E-04	2,14E-04	1,50E-02	3,71E-03	1,20E-02	3,88E-03	2,47E-02	3,96E-02	1,09E-06	1,30E-06
LC 20-27	0,14	1,68E-08	4,78E-04	6,97E-04	2,19E-05	5,35E-03	3,10E-04	3,64E-02	2,03E-02	1,76E-02	4,07E-02	2,88E-05	1,99E-04
LC 21-28	0,14	7,95E-14	2,77E-05	2,41E-04	8,70E-05	3,32E-03	2,30E-04	8,65E-03	3,91E-02	3,59E-04	4,49E-05	5,56E-07	1,57E-14
Total Damage Ratio		2,80E-02	3,19E-02	3,66E-04	1,82E-03	1,45E-02	6,00E-03	1,14E-02	9,87E-03	2,16E-02	1,67E-02	8,57E-03	2,36E-02
Fatigue Life (years)		1071,806	939,1712	81940,41	16447,33	2068,578	4996,491	2636,515	3039,92	1391,953	1792,26	3499,84	1272,147

Dari hasil perhitungan umur kelelahan struktur, pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.19 diperoleh hasil bahwa struktur *Single Point Mooring* memiliki harga $D < 1$ sehingga struktur tersebut dapat dikatakan masih aman untuk digunakan dalam kondisi operasi dengan umur kelelahan struktur 68 tahun

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat dibuat berdasarkan pengerjaan Tugas Akhir ini adalah :

1. Respon struktur FSO Arco Ardjuna dan *Single Point Mooring* akibat beban gelombang pada saat *free floating*, adalah sebagai berikut :
 - RAO FSO Arco Ardjuna, nilai terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan *surge* terbesar 0.338 m/m, *sway* terbesar 0.88 m/m, *heave* terbesar 0.910 m/m, *roll* terbesar 4.46 °/m, *pitch* terbesar 1.156 °/m, *yaw* terbesar 0.585 °/m.
 - RAO *Single Point Mooring* terbesar dengan nilai *surge* 1.007 m/m, *sway* 1.005 m/m, *heave* 4.074 m/m, *roll* 3.641 °/m, *pitch* 2.65 °/m, *yaw* 0.000 °/m.

2. Respon struktur FSO Arco Ardjuna dan *Single Point Mooring* akibat beban gelombang pada saat *mooring*, adalah sebagai berikut :
 - RAO FSO Arco Ardjuna, nilai terbesar terjadi pada kondisi *light* dengan *surge* terbesar 0.21 m/m, *sway* terbesar 0.237 m/m, *heave* terbesar 0.295 m/m, *roll* terbesar 1.104 °/m, *pitch* terbesar 1.083 °/m, *yaw* terbesar 0.004 °/m.
 - RAO *Single Point Mooring*, nilai terbesar pada saat tertambat dengan FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* dengan nilai *surge* 0.934 m/m, *sway* 0.934 m/m, *heave* 3.968 m/m, *roll* 3.159 °/m, *pitch* 2.567 °/m, *yaw* 0.005 °/m.

3. Hasil *tension anchor leg* terbesar yang menghubungkan antara FSO Arco Ardjuna dengan *Single Point Mooring* dari hasil simulasi terjadi pada *anchor leg 1* dengan nilai sebesar 571.51 kN dan sudut pembebanan 0°. *Anchor Legs* memiliki *Minimum Breaking Load* sebesar 7051 kN sehingga

dengan *tension* yang didapatkan dari hasil simulasi, memiliki *safety factor* 12.34. *Safety factor* ini lebih dari 1.67 yang dianjurkan oleh *American Bureau of Shipping*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *anchor leg* dalam kondisi aman melakukan proses *mooring*. Sedangkan hasil *tension hawser* terbesar yang menghubungkan antara FSO Arco Ardjuna dengan *Single Point Mooring* dari hasil simulasi terjadi pada *hawser 2* dengan nilai sebesar 997.07 kN dan sudut pembebanan 0^0 . *Anchor Legs* memiliki *Minimum Breaking Load* sebesar 4094 kN sehingga dengan *tension* yang didapatkan dari hasil simulasi, memiliki *safety factor* 4.11. *Safety factor* ini lebih dari 1.82 yang dianjurkan oleh *American Bureau of Shipping*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa *hawser* dalam kondisi aman melakukan proses *mooring*

4. Berdasarkan hasil pemodelan struktur global *Single Point Mooring* dengan pembebanan sesuai *tension anchor legs* dan *hawser*, tekanan hidrostatik, beban berat struktur, dan akselerasi struktur didapatkan tegangan maksimum sebesar 137,16 MPa dengan deformasi 5,6 mm. Nilai tegangan maksimum tersebut masih lebih kecil jika dibandingkan dengan tegangan ijin yang dianjurkan oleh ABS "Safehull-Dynamic Loading Approach for FPSO Systems" sebesar 225 MPa. Dan Nilai deformasi yang dihasilkan juga masih lebih kecil jika dibandingkan dengan syarat deformasi maksimum yang tercantum dalam ABS "Shipbuilding and Repair Quality Standard for Hull Structures during Construction" yaitu 11.2 mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur SPM masih aman untuk beroperasi. Dari hasil perhitungan umur kelelahan struktur, diperoleh hasil bahwa struktur *Single Point Mooring* memiliki harga $D < 1$ sehingga struktur tersebut dapat dikatakan aman untuk melakukan proses *mooring* dengan umur kelelahan struktur 68 tahun.

5.2 Saran

1. Untuk analisa lebih spesifik dalam penentuan umur kelelahan struktur *Single Point Mooring*, perlu mempertimbangkan faktor korosi.
2. Perlu dilakukan analisa umur kelelahan dengan menggunakan metode lain untuk membandingkan hasil yang lebih akurat.

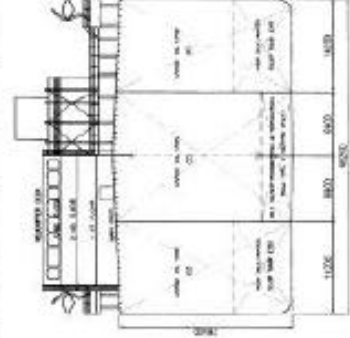
(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. 1999. *The Application of Synthetic Ropes For Offshore Mooring*. USA: American Bureau Shipping.
- ABS. 2011. *The Application of Fiber Rope for Offshore Mooring*. USA: American Bureau Shipping
- ABS. 2014. *Fatigue Assessment of Offshore Structures*. USA: American Bureau Shipping.
- ABS. 2014. *Single Point Moorings*. USA: American Bureau Shipping
- American Petroleum Institute*. (2001). “API RP 2P”. Washington. DC.
- American Petroleum Institute*. (2005). “API RP2SK 3rd edition”. Washington. DC.
- API RP 2SK. (1996). *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*. Washington. DC
- Bai, Jushan. 2003. *Inferential Theory for Factor Models of Large Dimensions*. Journal of the Econometric Society. Volume 71, Issue 1, pages 135-171.
- Chakrabarti, S.K., 1987, *Hydrodynamics of Offshore Structures*, USA: Computational Mechanics Publications Southampton.
- Djarmiko, E. B. and Murdijanto, 2003, *Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di atas Gelombang*, Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- DNV-OS-E301*, 2004, *Positioning Mooring*, Norway: Det Norske Veritas.
- KR. 2001. *Guidances for Single Point Mooring*. Korea: Korean Register.

- Lennseth, L. Dan Torsethaugen, K. 1985. *Wave growth under traveling wind field*. Polar-lows project. Technical report No.8, The Norwegian Meteorological Institute, Blindern, Oslo.
- Paik J.K., Thayamballi A. K. 2007. *Ship-Shaped Offshore Installations*. Cambridge University Press.
- Ramadhan, Afrizal. 2010. *Analisa Kekuatan Memanjang Doble Hull CPO Barge Pengaruh Heaving Pitching couple dan Distribusi Beban*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. ITS Surabaya
- White, G.J., Ayyub, B.M., Mansour,A.E., dan P.H. Wirsching. 1996. *Probability Based Design Requirements for Longitudinally Stiffened Panels in Ship Structures*. 7th ASCE Speciality Conference on Probabilistic Mechanics and Structural Realibility, Worcester, MA.
- Widodo, M.T. 2010. *Analisis Keandalan Scantling Struktur Geladak Dan Dasar Pada Konversi Tanker Menjadi FPSO Terhadap Beban Kelelahan*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN A
DATA STRUKTUR FSO ARCO ARDJUNA
DAN *SINGLE POINT MOORING*



ELEVATION
1/8" = 1'-0"

PRINCIPAL PARTICULARS	COMPLAINT
1. WORKS	1. WORKS
2. CONTRACT	2. CONTRACT
3. SPECIFICATIONS	3. SPECIFICATIONS
4. DRAWINGS	4. DRAWINGS
5. MATERIALS	5. MATERIALS
6. METHODS	6. METHODS
7. TIME	7. TIME
8. COST	8. COST
9. SAFETY	9. SAFETY
10. ENVIRONMENT	10. ENVIRONMENT
11. COMMUNITY	11. COMMUNITY
12. LEGAL	12. LEGAL
13. OTHER	13. OTHER

TIME SCHEDULE	
START DATE	10/10/2010
END DATE	10/10/2010
TOTAL DURATION	0
START TIME	08:00
END TIME	17:00
WEEKENDS	NO
HOLIDAYS	NO
WET WEATHER	NO
WINTER	NO
WIND	NO
TEMPERATURE	NO
MOON	NO
STARLIGHT	NO
STAR	NO
PLANET	NO
COMET	NO
NEBULA	NO
QUASAR	NO
BLACK HOLE	NO
WHITE DWARF	NO
RED DWARF	NO
ORANGE DWARF	NO
YELLOW DWARF	NO
GREEN DWARF	NO
BLUE DWARF	NO
PURPLE DWARF	NO
PINK DWARF	NO
BROWN DWARF	NO
BLACK DWARF	NO
WHITE DWARF	NO
RED DWARF	NO
ORANGE DWARF	NO
YELLOW DWARF	NO
GREEN DWARF	NO
BLUE DWARF	NO
PURPLE DWARF	NO
PINK DWARF	NO
BROWN DWARF	NO

AS-BUILT

4.1.1.1.1

4.1.1.1.2

4.1.1.1.3

4.1.1.1.4

4.1.1.1.5

4.1.1.1.6

4.1.1.1.7

4.1.1.1.8

4.1.1.1.9

4.1.1.1.10

4.1.1.1.11

4.1.1.1.12

4.1.1.1.13

4.1.1.1.14

4.1.1.1.15

4.1.1.1.16

4.1.1.1.17

4.1.1.1.18

4.1.1.1.19

4.1.1.1.20

4.1.1.1.21

4.1.1.1.22

4.1.1.1.23

4.1.1.1.24

4.1.1.1.25

4.1.1.1.26

4.1.1.1.27

4.1.1.1.28

4.1.1.1.29

4.1.1.1.30

4.1.1.1.31

4.1.1.1.32

4.1.1.1.33

4.1.1.1.34

4.1.1.1.35

4.1.1.1.36

4.1.1.1.37

4.1.1.1.38

4.1.1.1.39

4.1.1.1.40

4.1.1.1.41

4.1.1.1.42

4.1.1.1.43

4.1.1.1.44

4.1.1.1.45

4.1.1.1.46

4.1.1.1.47

4.1.1.1.48

4.1.1.1.49

4.1.1.1.50

4.1.1.1.51

4.1.1.1.52

4.1.1.1.53

4.1.1.1.54

4.1.1.1.55

4.1.1.1.56

4.1.1.1.57

4.1.1.1.58

4.1.1.1.59

4.1.1.1.60

4.1.1.1.61

4.1.1.1.62

4.1.1.1.63

4.1.1.1.64

4.1.1.1.65

4.1.1.1.66

4.1.1.1.67

4.1.1.1.68

4.1.1.1.69

4.1.1.1.70

4.1.1.1.71

4.1.1.1.72

4.1.1.1.73

4.1.1.1.74

4.1.1.1.75

4.1.1.1.76

4.1.1.1.77

4.1.1.1.78

4.1.1.1.79

4.1.1.1.80

4.1.1.1.81

4.1.1.1.82

4.1.1.1.83

4.1.1.1.84

4.1.1.1.85

4.1.1.1.86

4.1.1.1.87

4.1.1.1.88

4.1.1.1.89

4.1.1.1.90

4.1.1.1.91

4.1.1.1.92

4.1.1.1.93

4.1.1.1.94

4.1.1.1.95

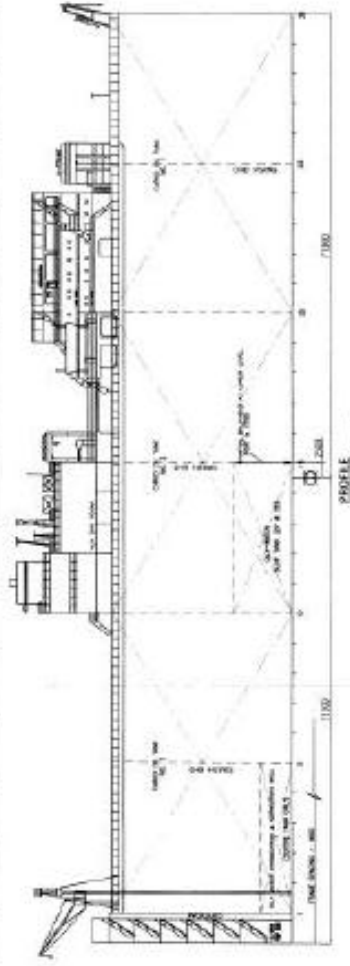
4.1.1.1.96

4.1.1.1.97

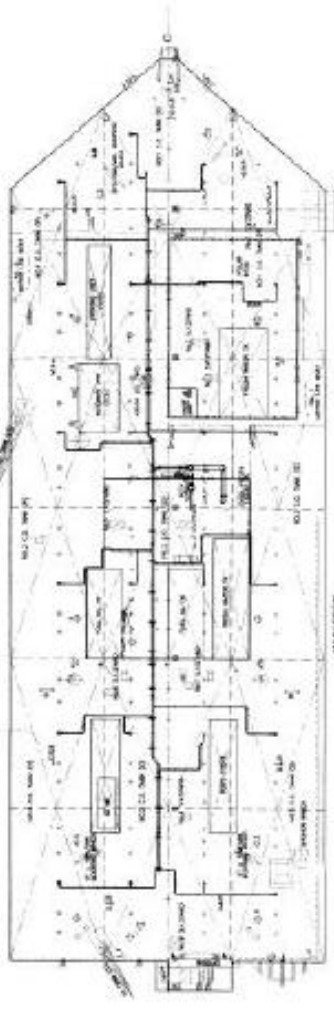
4.1.1.1.98

4.1.1.1.99

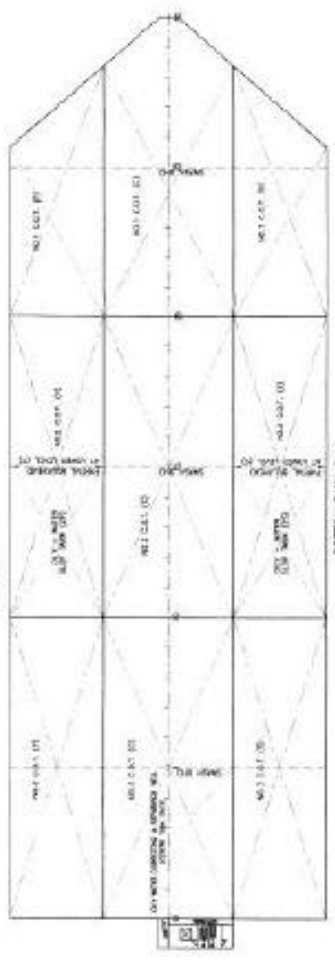
4.1.1.1.100



ELEVATION
1/8" = 1'-0"



FLOOR PLAN
1/8" = 1'-0"



FLOOR PLAN
1/8" = 1'-0"

4.1.1.1.101

4.1.1.1.102

4.1.1.1.103

4.1.1.1.104

4.1.1.1.105

4.1.1.1.106

4.1.1.1.107

4.1.1.1.108

4.1.1.1.109

4.1.1.1.110

4.1.1.1.111

4.1.1.1.112

4.1.1.1.113

4.1.1.1.114

4.1.1.1.115

4.1.1.1.116

4.1.1.1.117

4.1.1.1.118

4.1.1.1.119

4.1.1.1.120

4.1.1.1.121

4.1.1.1.122

4.1.1.1.123

4.1.1.1.124

4.1.1.1.125

4.1.1.1.126

4.1.1.1.127

4.1.1.1.128

4.1.1.1.129

4.1.1.1.130

4.1.1.1.131

4.1.1.1.132

4.1.1.1.133

4.1.1.1.134

4.1.1.1.135

4.1.1.1.136

4.1.1.1.137

4.1.1.1.138

4.1.1.1.139

4.1.1.1.140

4.1.1.1.141

4.1.1.1.142

4.1.1.1.143

4.1.1.1.144

4.1.1.1.145

4.1.1.1.146

4.1.1.1.147

4.1.1.1.148

4.1.1.1.149

4.1.1.1.150

4.1.1.1.151

4.1.1.1.152

4.1.1.1.153

4.1.1.1.154

4.1.1.1.155

4.1.1.1.156

4.1.1.1.157

4.1.1.1.158

4.1.1.1.159

4.1.1.1.160

4.1.1.1.161

4.1.1.1.162

4.1.1.1.163

4.1.1.1.164

4.1.1.1.165

4.1.1.1.166

4.1.1.1.167

4.1.1.1.168

4.1.1.1.169

4.1.1.1.170

4.1.1.1.171

4.1.1.1.172

4.1.1.1.173

4.1.1.1.174

4.1.1.1.175

4.1.1.1.176

4.1.1.1.177

4.1.1.1.178

4.1.1.1.179

4.1.1.1.180

4.1.1.1.181

4.1.1.1.182

4.1.1.1.183

4.1.1.1.184

4.1.1.1.185

4.1.1.1.186

4.1.1.1.187

4.1.1.1.188

4.1.1.1.189

4.1.1.1.190

4.1.1.1.191

4.1.1.1.192

4.1.1.1.193

4.1.1.1.194

4.1.1.1.195

4.1.1.1.196

4.1.1.1.197

4.1.1.1.198

4.1.1.1.199

4.1.1.1.200

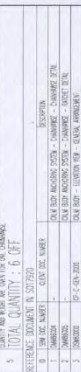
Rev	Description	Author	Checked	Appr'd	Date
1	ISSUED FOR CONSTRUCTION	MS	MS	MS	01.23.20
2	REVISED TO REFLECT CHANGES	MS	MS	MS	02.15.20
3	REVISED TO REFLECT CHANGES	MS	MS	MS	03.10.20
4	REVISED TO REFLECT CHANGES	MS	MS	MS	04.05.20
5	REVISED TO REFLECT CHANGES	MS	MS	MS	05.01.20
6	REVISED TO REFLECT CHANGES	MS	MS	MS	06.01.20

NOTE: 1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (IN PARENTHESES). 2. UNLESS OTHERWISE SPECIFIED, ALL DIMENSIONS ARE TO FACE. 3. ALL DIMENSIONS ARE TO BE TAKEN FROM THE CENTERLINE OF THE PART UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 4. ALL DIMENSIONS ARE TO BE TAKEN FROM THE CENTERLINE OF THE PART UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 5. ALL DIMENSIONS ARE TO BE TAKEN FROM THE CENTERLINE OF THE PART UNLESS OTHERWISE SPECIFIED. 6. ALL DIMENSIONS ARE TO BE TAKEN FROM THE CENTERLINE OF THE PART UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

REVISIONS:

NO.	DATE	DESCRIPTION
1	01.23.20	ISSUED FOR CONSTRUCTION
2	02.15.20	REVISED TO REFLECT CHANGES
3	03.10.20	REVISED TO REFLECT CHANGES
4	04.05.20	REVISED TO REFLECT CHANGES
5	05.01.20	REVISED TO REFLECT CHANGES
6	06.01.20	REVISED TO REFLECT CHANGES

CHAMFERED DETAILS
SCALE: 1/5



REV	DESCRIPTION	DATE
01	ISSUED FOR CONSTRUCTION	01.23.20
02	REVISED TO REFLECT CHANGES	02.15.20
03	REVISED TO REFLECT CHANGES	03.10.20
04	REVISED TO REFLECT CHANGES	04.05.20
05	REVISED TO REFLECT CHANGES	05.01.20
06	REVISED TO REFLECT CHANGES	06.01.20

PERTAMINA
PHE ONWJ

SINGLE BODY MOORINGS INC
10000 WILSON AVENUE, SUITE 100
HOUSTON, TEXAS 77036-1000
PHONE: 281-416-1000
FAX: 281-416-1001
WWW.SINGLEBODYMOORINGS.COM

DATE: 06.01.20
DRAWN: MS
CHECKED: MS
APPROVED: MS

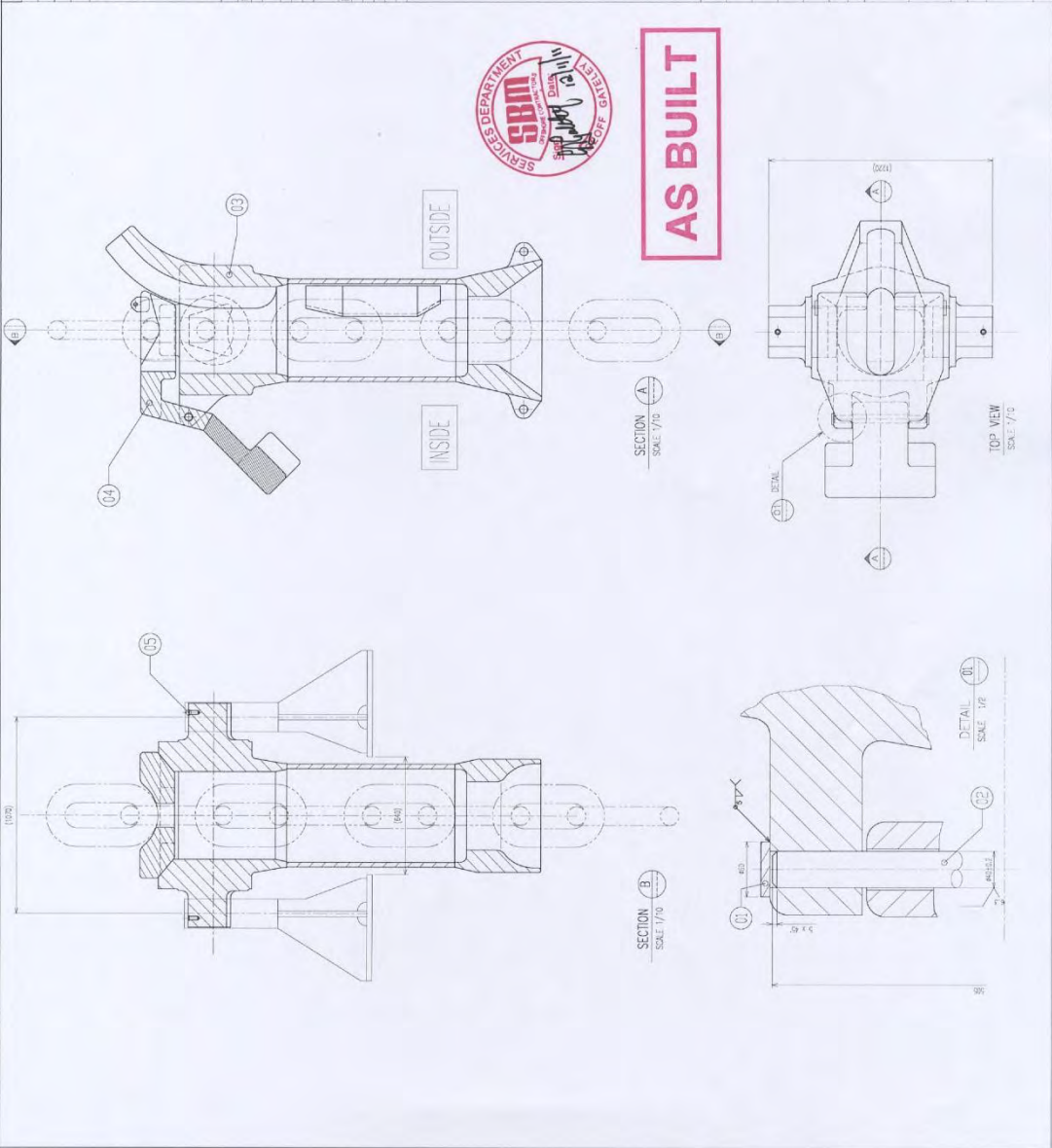
PROJECT: PERTAMINA PHE ONWJ
SHEET: 1 OF 1

SCALE: 1/5

SECTION A-A
SCALE: 1/10

SECTION B-B
SCALE: 1/10

TOP VIEW
SCALE: 1/5



REV	DESCRIPTION	DATE
01	ISSUED FOR CONSTRUCTION	01.23.20
02	REVISED TO REFLECT CHANGES	02.15.20
03	REVISED TO REFLECT CHANGES	03.10.20
04	REVISED TO REFLECT CHANGES	04.05.20
05	REVISED TO REFLECT CHANGES	05.01.20
06	REVISED TO REFLECT CHANGES	06.01.20

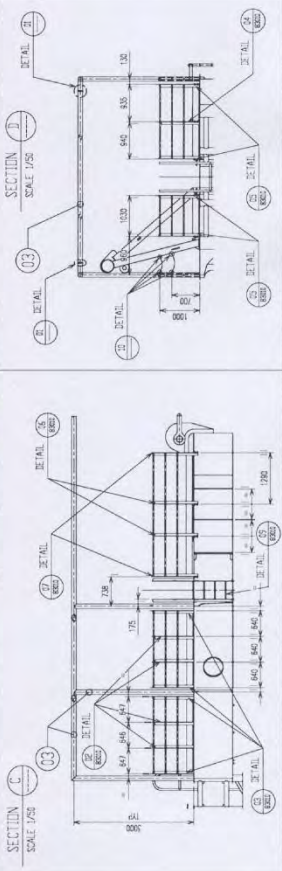
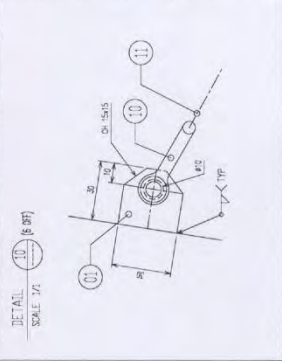
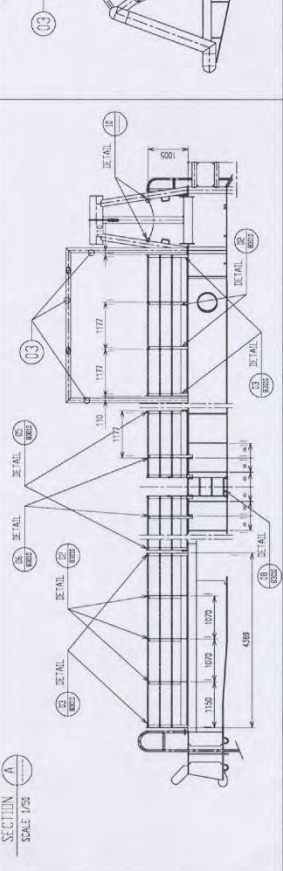
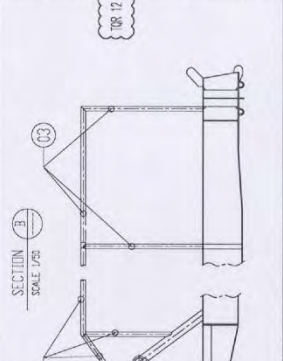
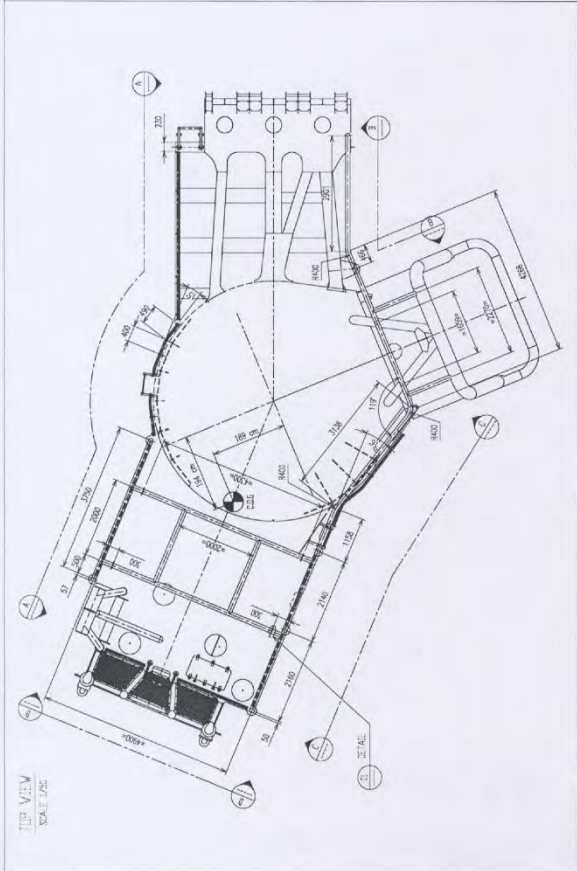
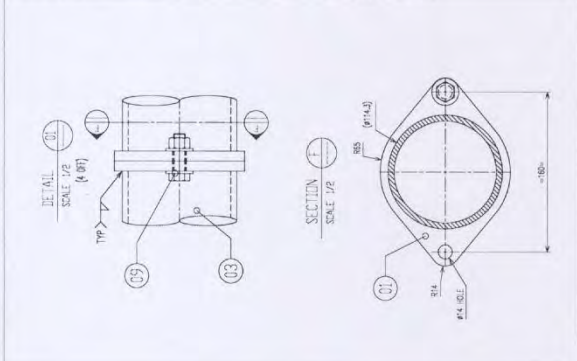
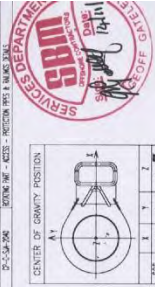
Station	Description	Author	Checked	Date	Scale
1	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
2	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
3	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
4	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
5	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
6	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
7	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
8	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
9	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
10	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
11	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20

AS BUILT

NOTES:

1. ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS (M.M.).
2. ALL DIMENSIONS ARE TO FACE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
3. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
4. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
5. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
6. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
7. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
8. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
9. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
10. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.
11. ALL DIMENSIONS ARE TO CENTERLINE UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

Station	Description	Author	Checked	Date	Scale
1	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
2	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
3	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
4	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
5	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
6	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
7	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
8	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
9	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
10	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
11	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20



Station	Description	Author	Checked	Date	Scale
1	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
2	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
3	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
4	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
5	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
6	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
7	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
8	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
9	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
10	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
11	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20

Station	Description	Author	Checked	Date	Scale
1	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
2	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
3	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
4	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
5	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
6	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
7	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
8	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
9	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
10	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20
11	SECTION THROUGH THE PROTECTIVE COVER	MD-304	WR		1:20

PERTAMINA PHE ONWJ

SINGLE BODY MOORINGS INC

ENGINEERING OFFICES WANGI P.D. BOX 189

WANGI, WEST JAVA 17063 - Indonesia

PROJECT NO: 100001 / 200001 - 02-C-03-001 / 20-C-03-001

DATE: 10/10/2011

SCALE: 1:20

PROJECT TITLE: OAM BOY FOR USE AND INSTALLATION OF PROTECTIVE COVER

DATE: 10/10/2011

PROJECT NO: 100001 / 200001 - 02-C-03-001 / 20-C-03-001

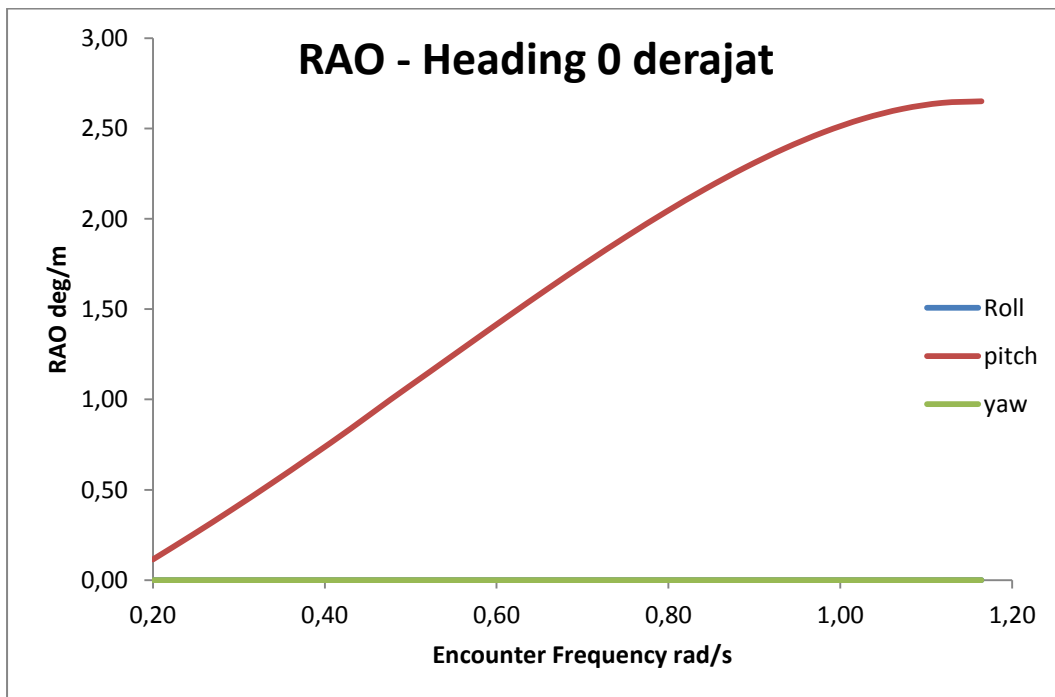
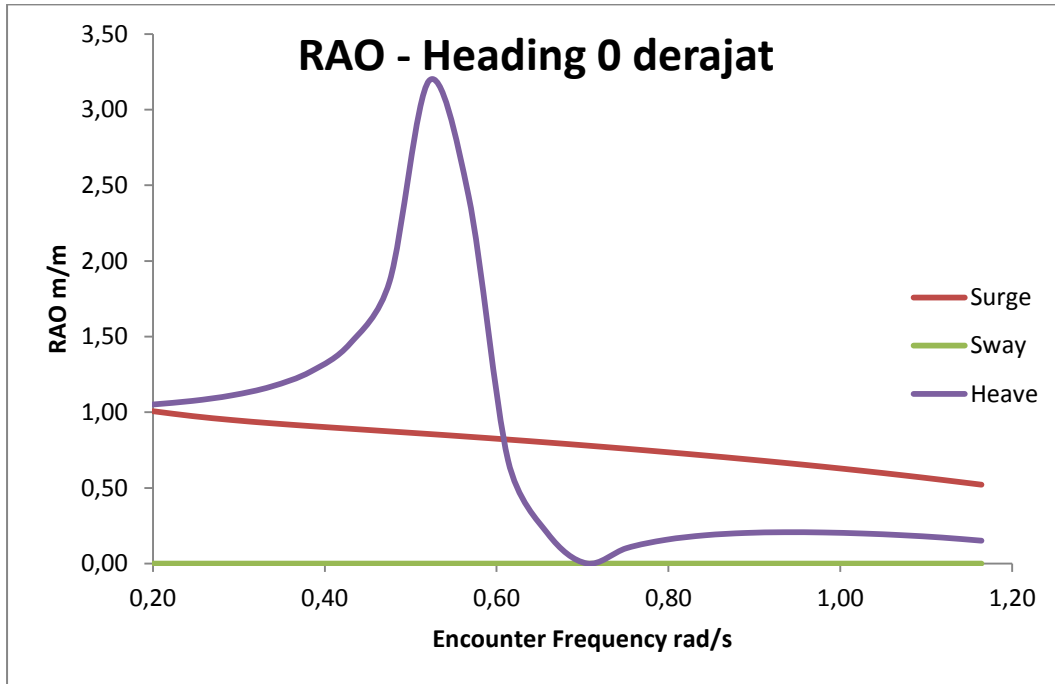
DATE: 10/10/2011

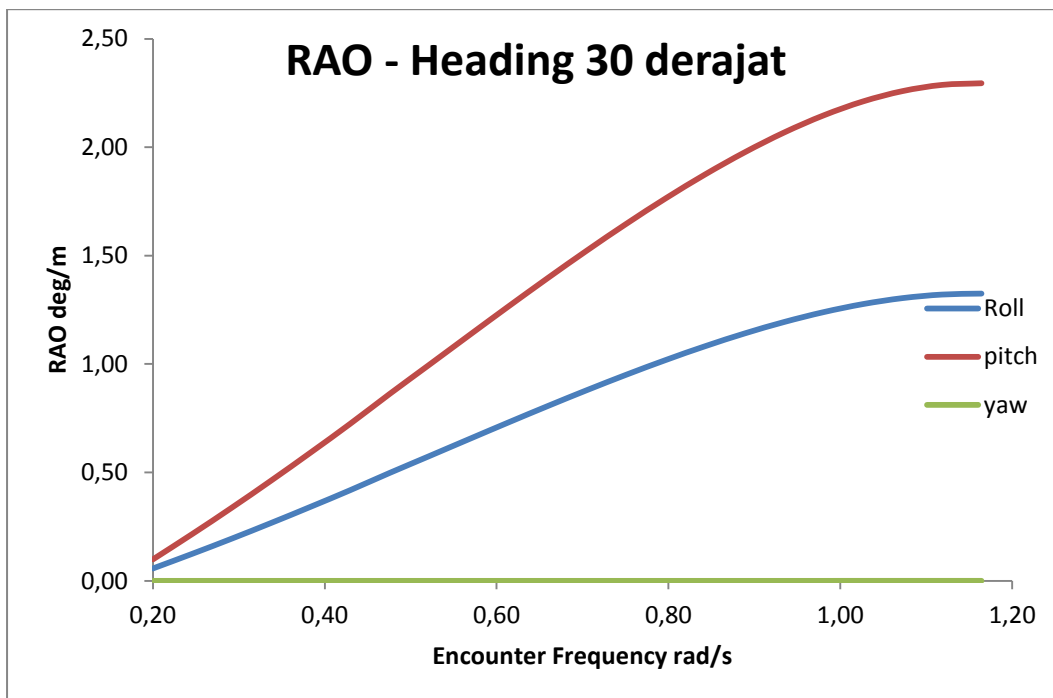
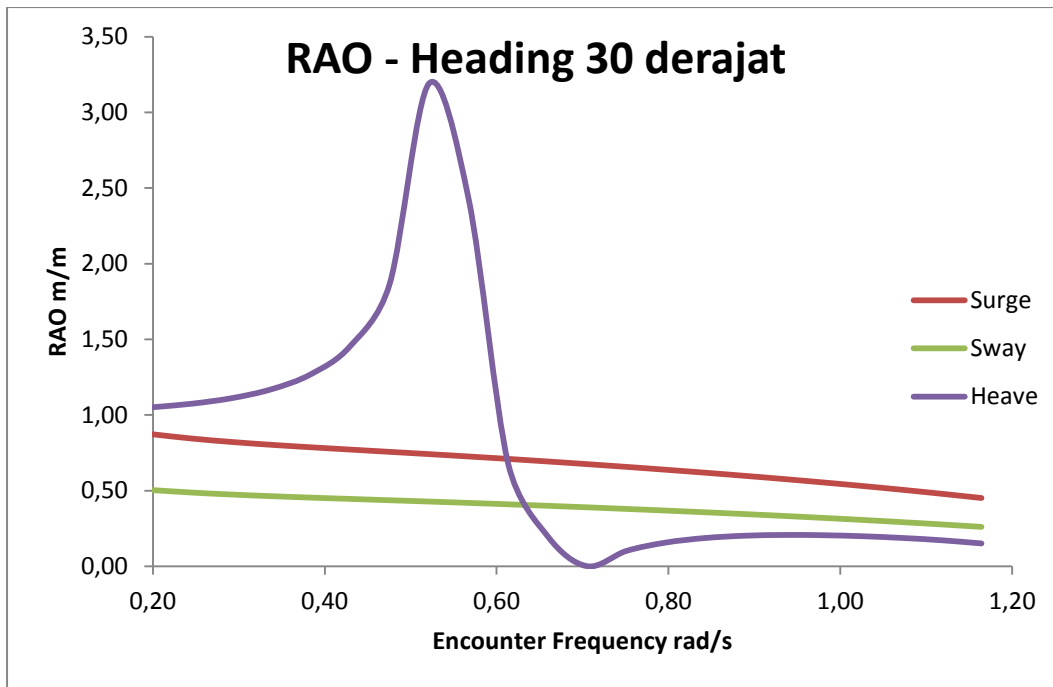
PROJECT TITLE: OAM BOY FOR USE AND INSTALLATION OF PROTECTIVE COVER

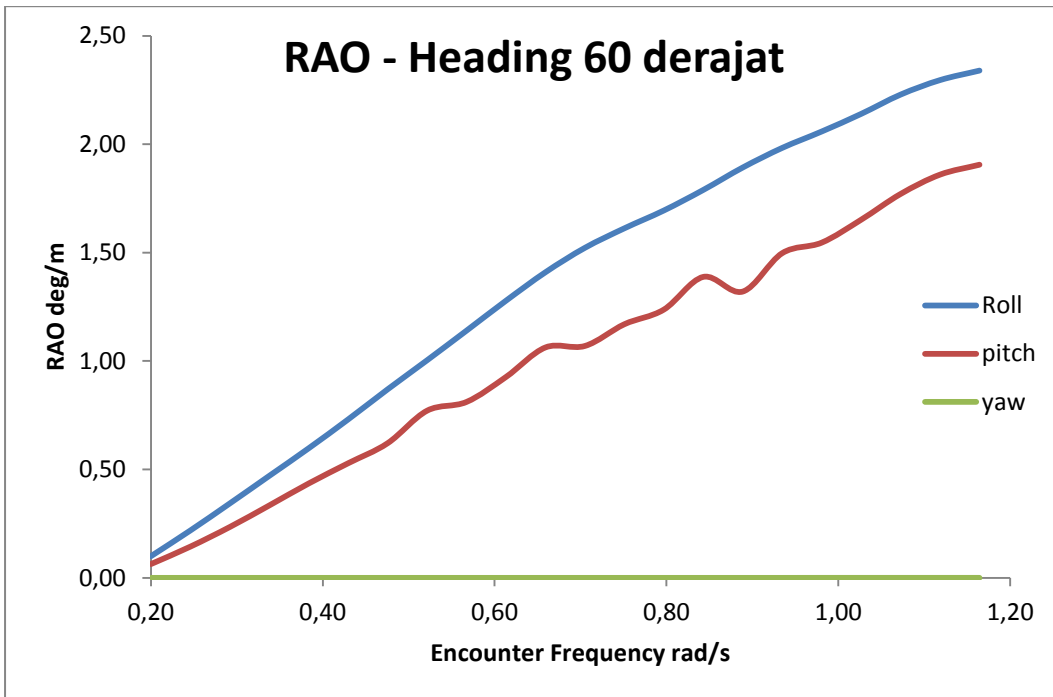
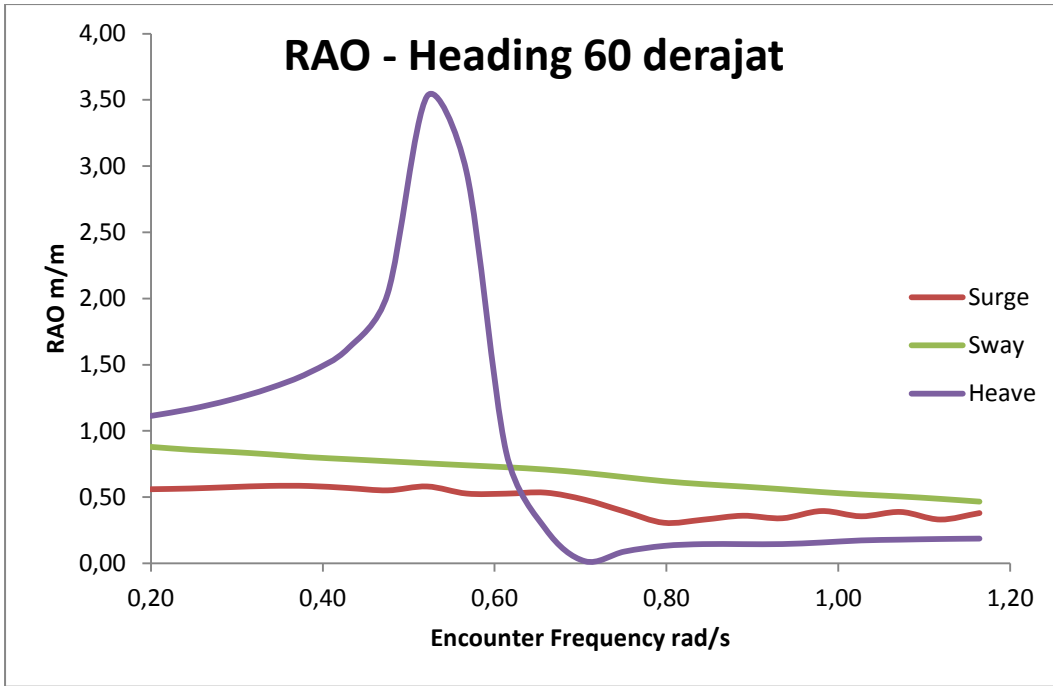
DATE: 10/10/2011

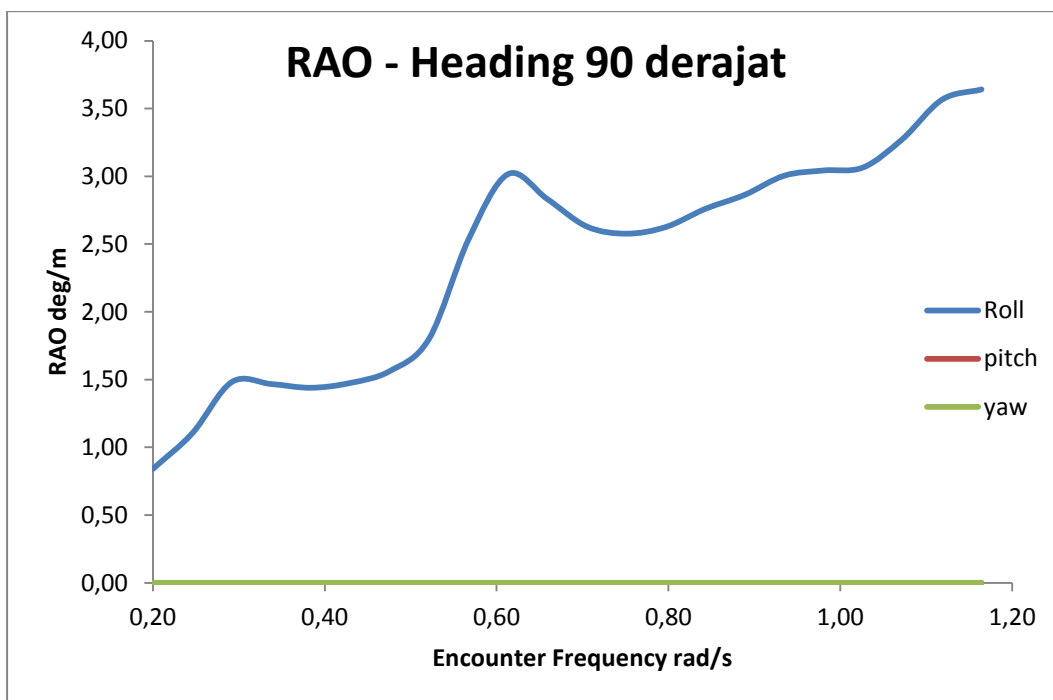
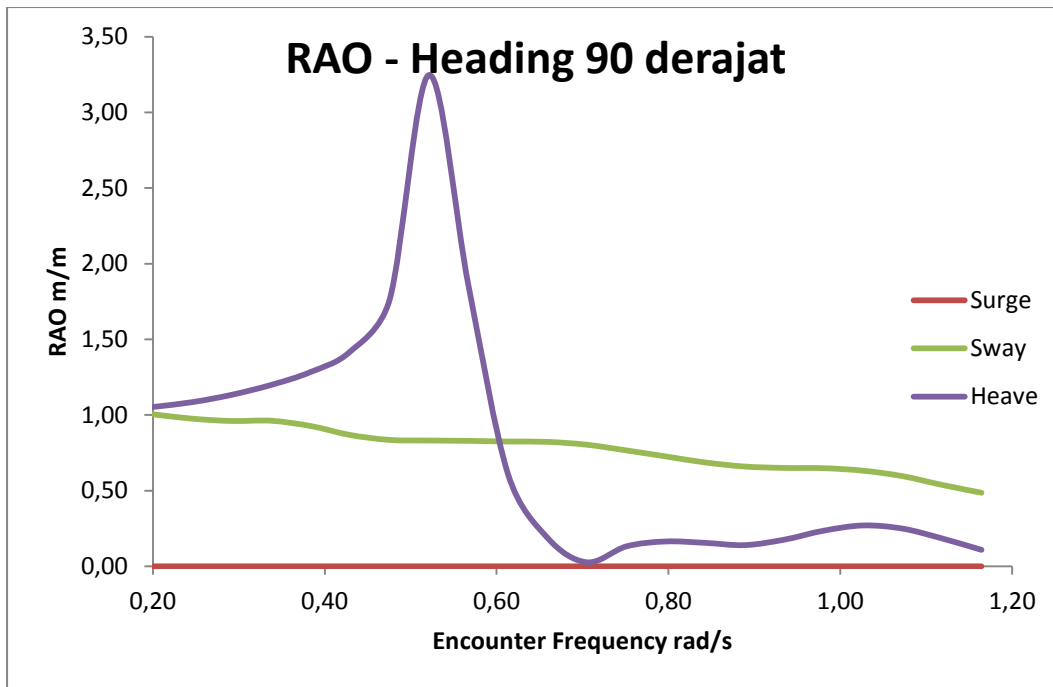
LAMPIRAN B
RAO FSO ARCO ARDJUNA DAN SPM
SAAT *FREE FLOATING*

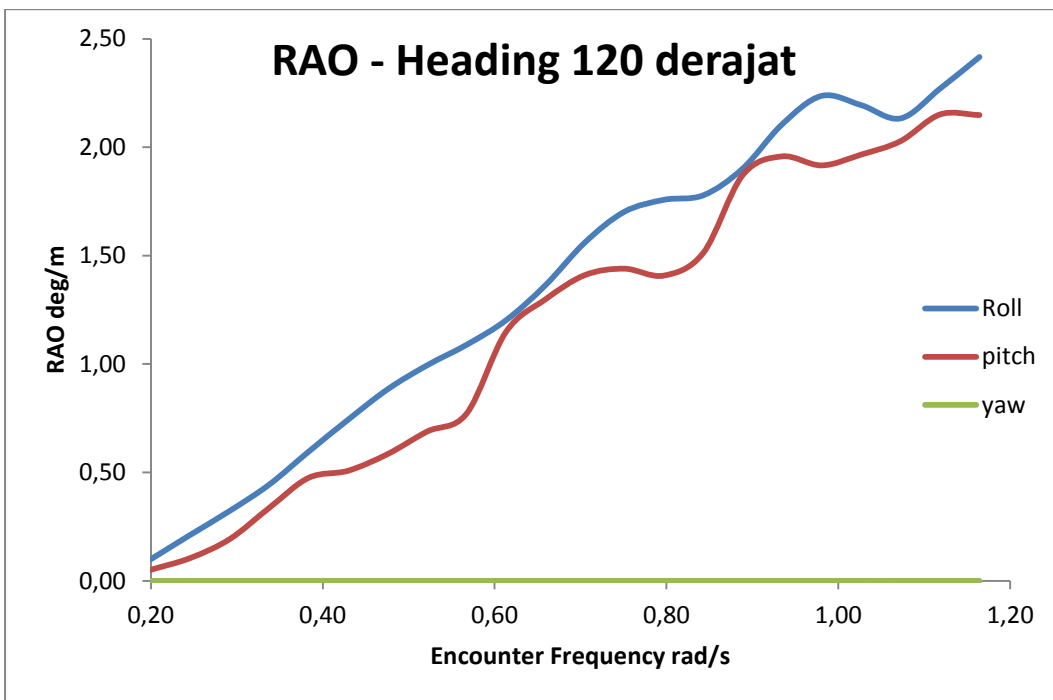
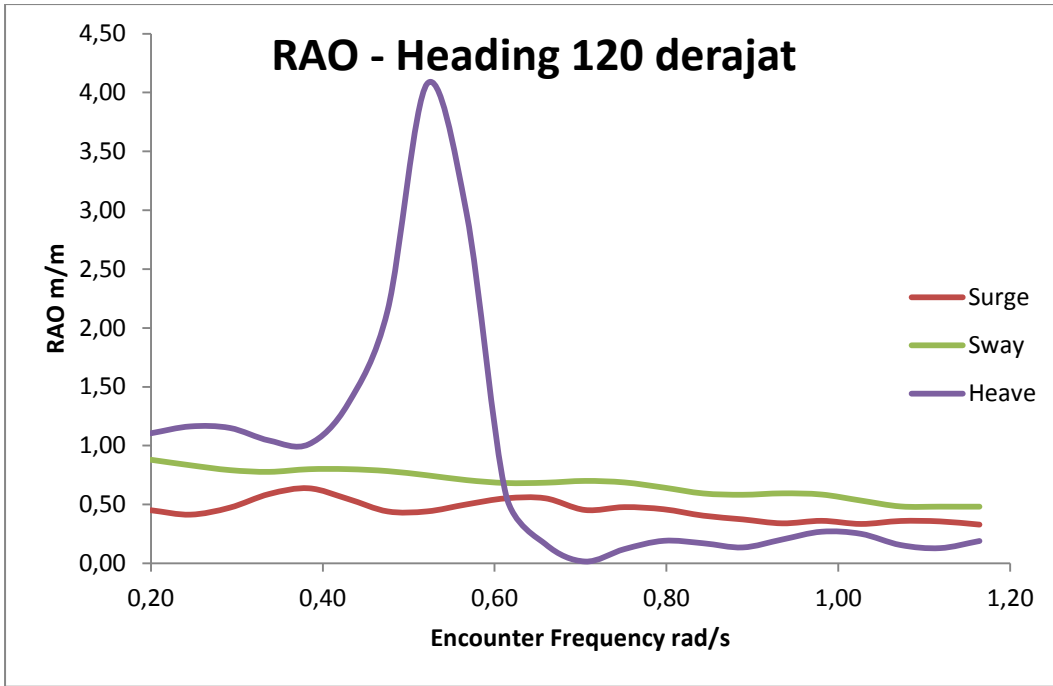
RAO Single Point Mooring kondisi free floating

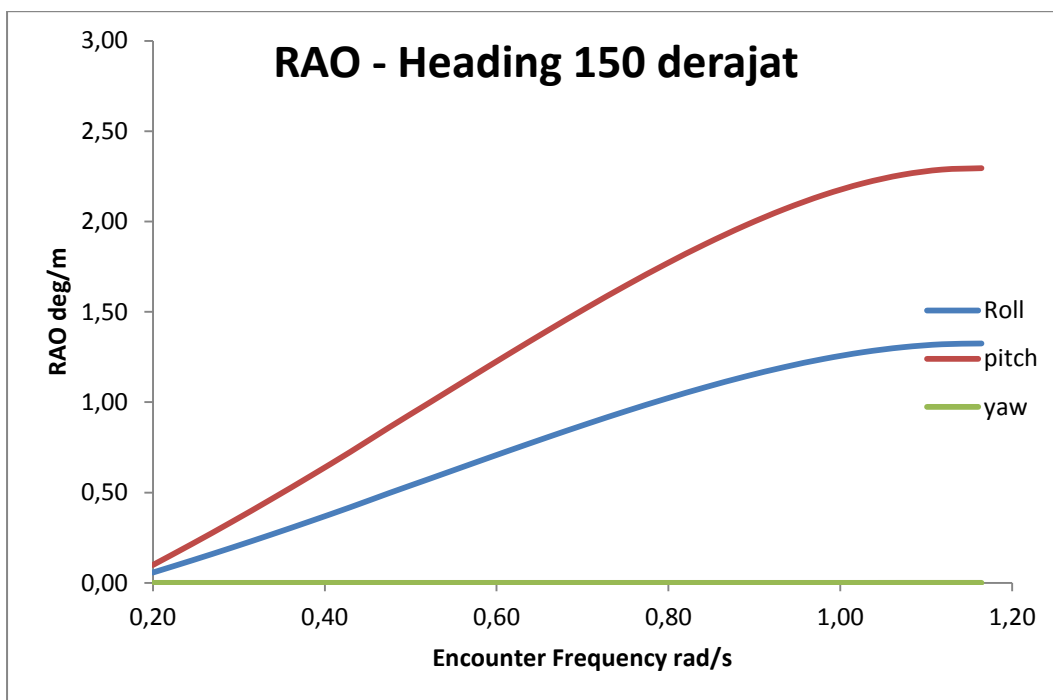
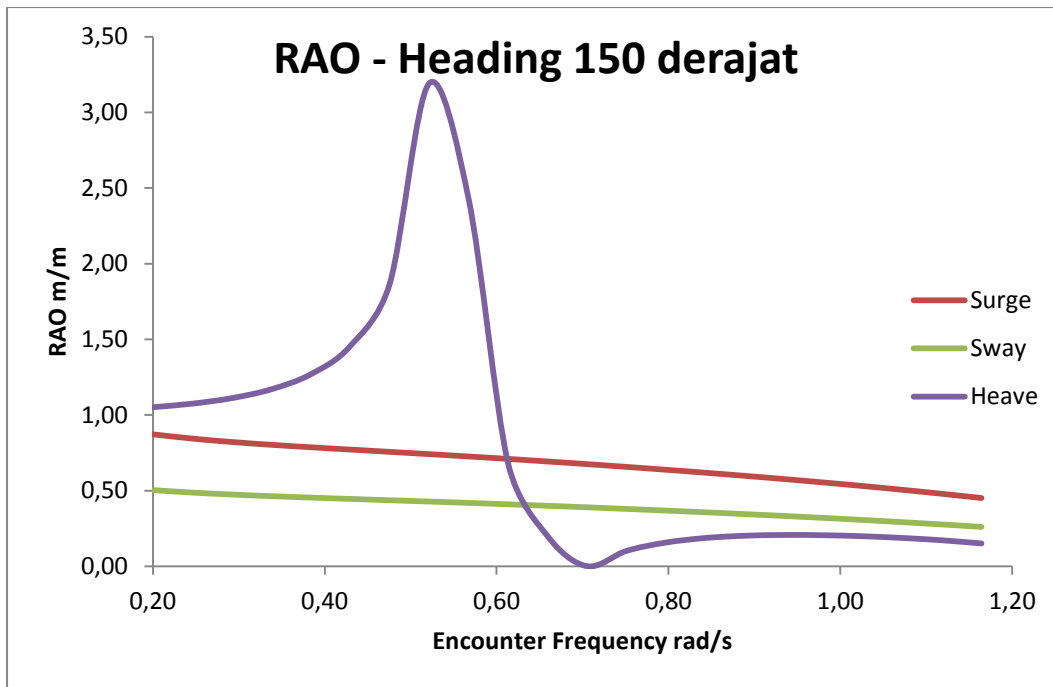


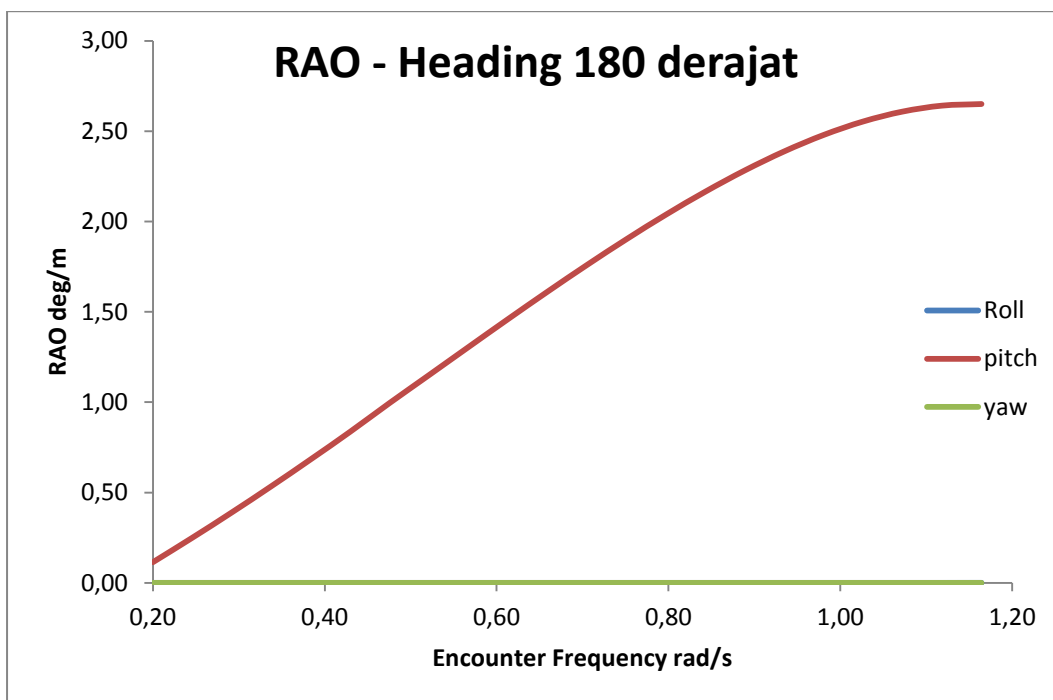
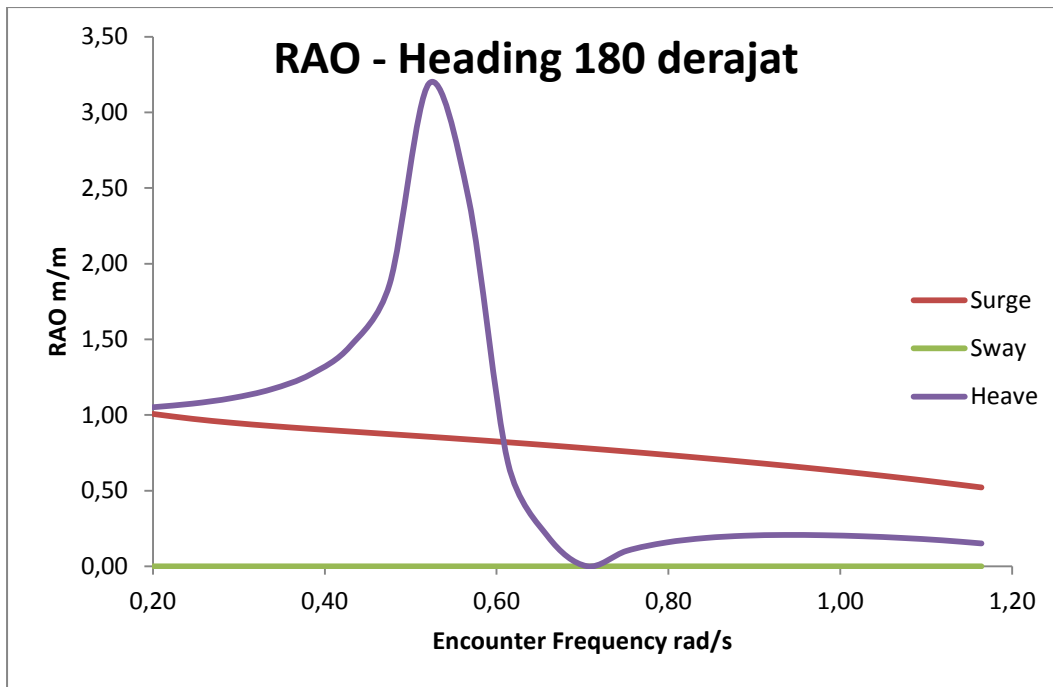




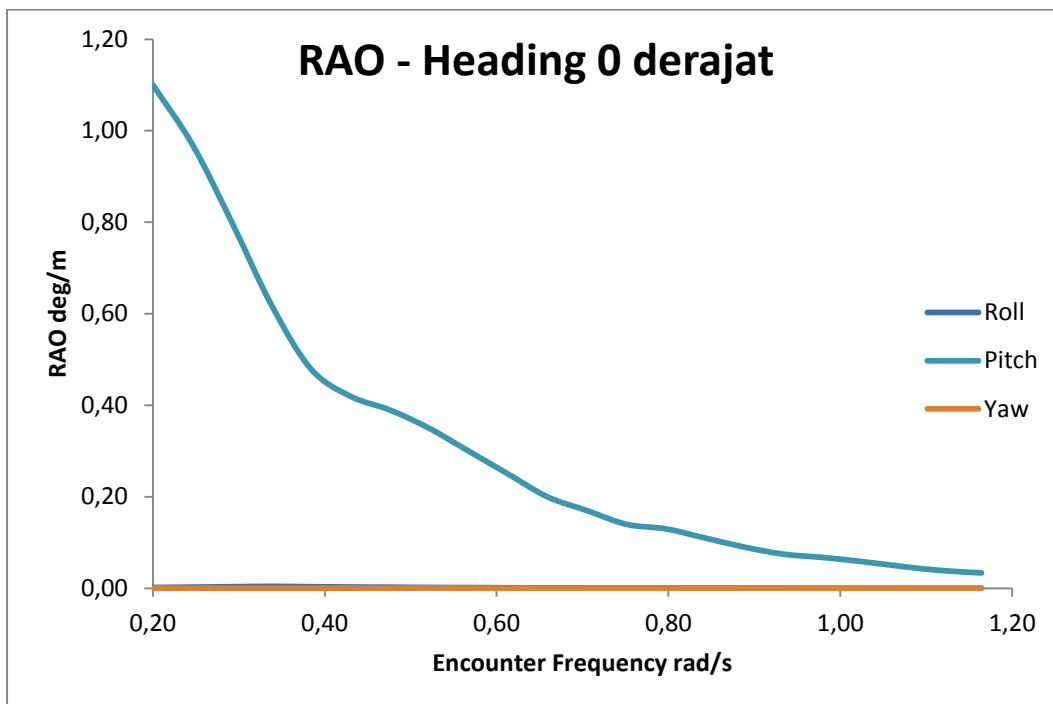
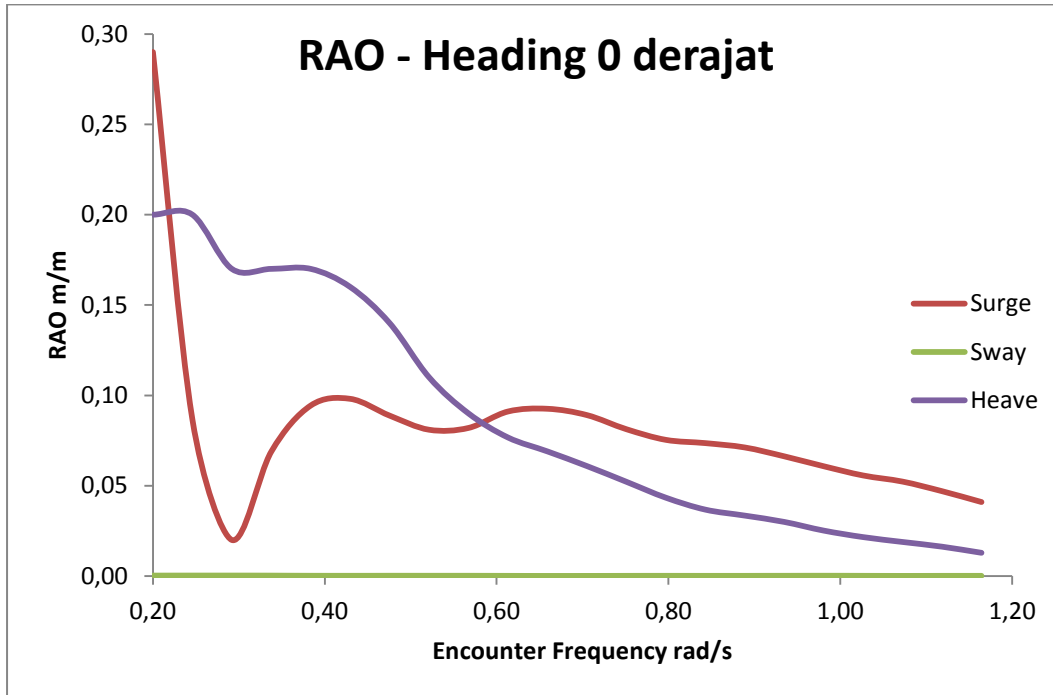


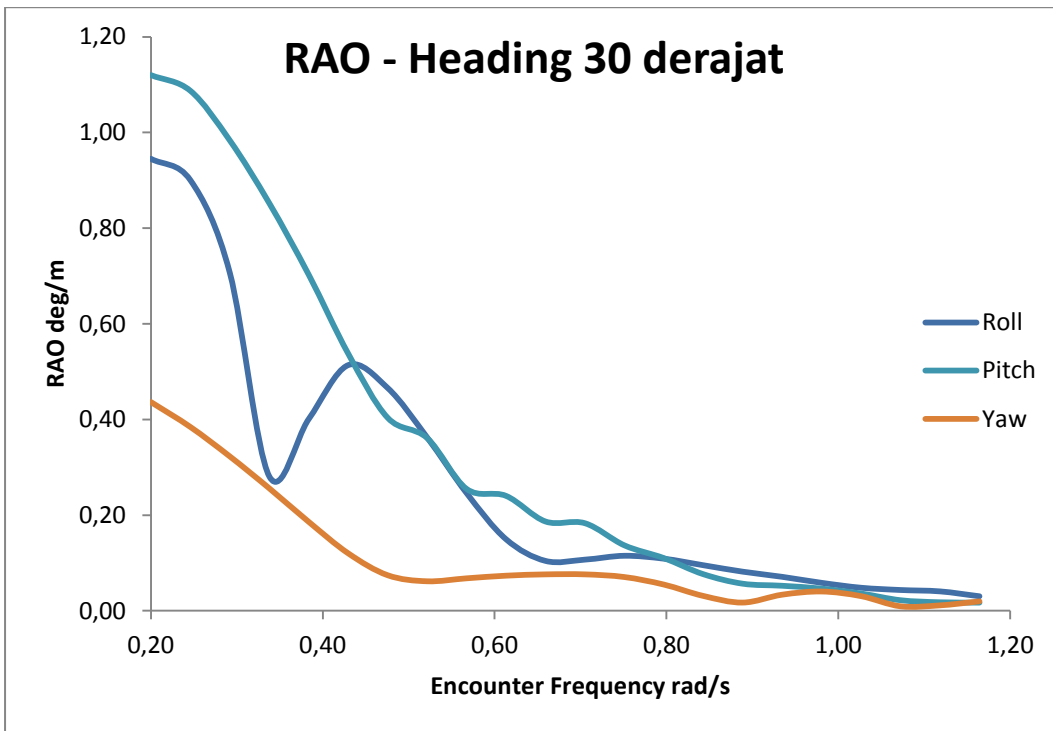
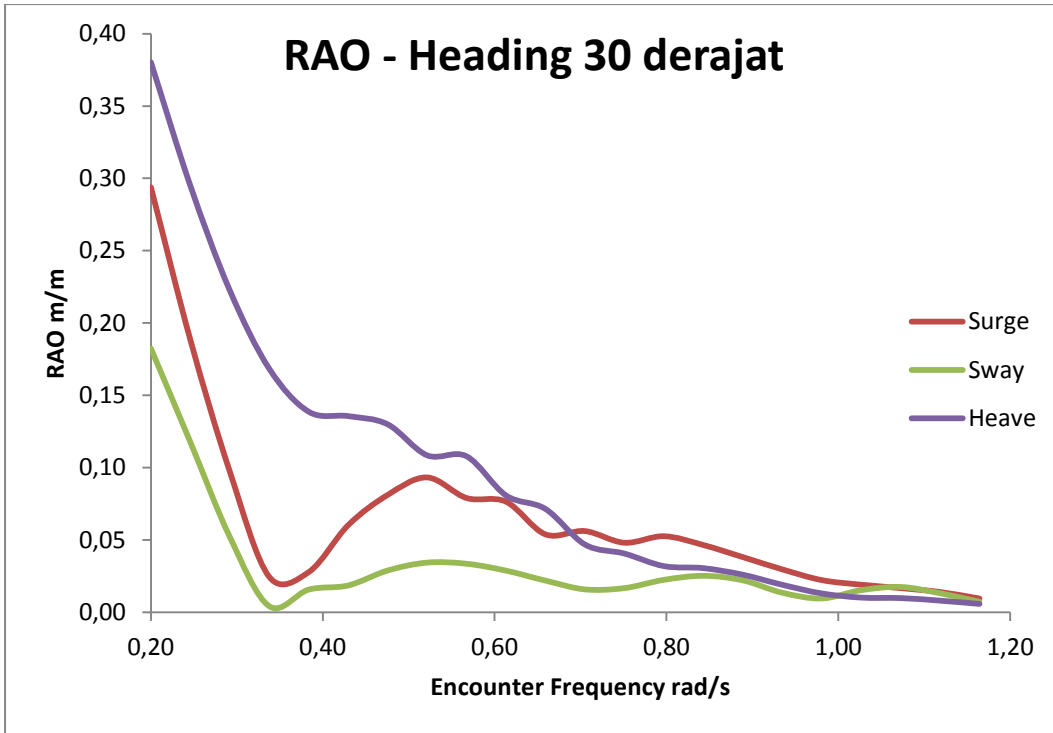


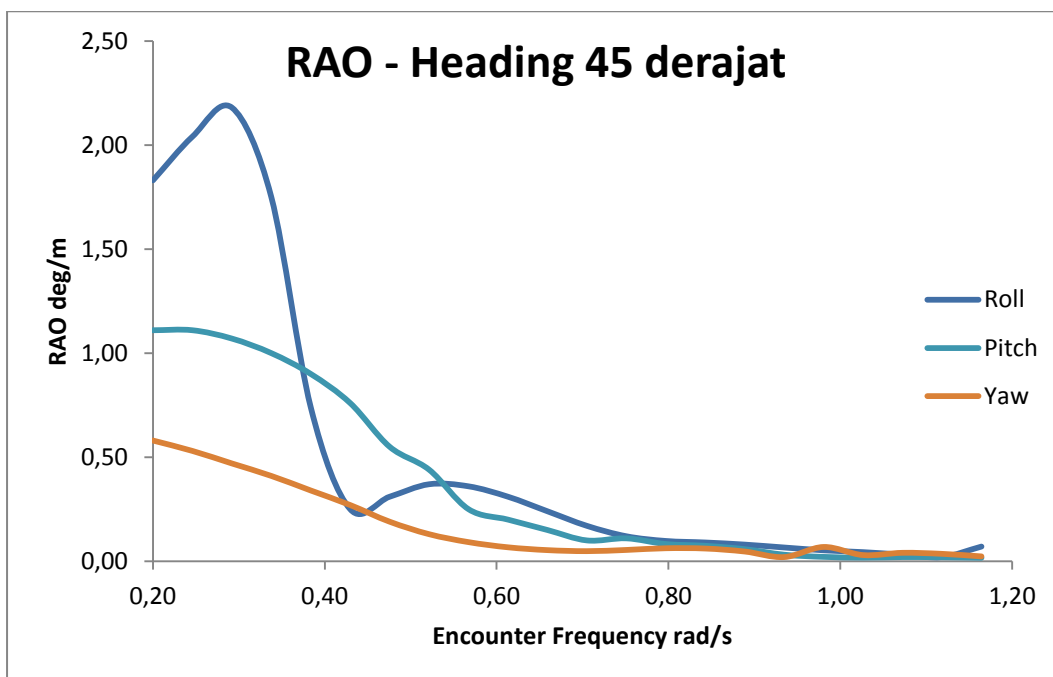
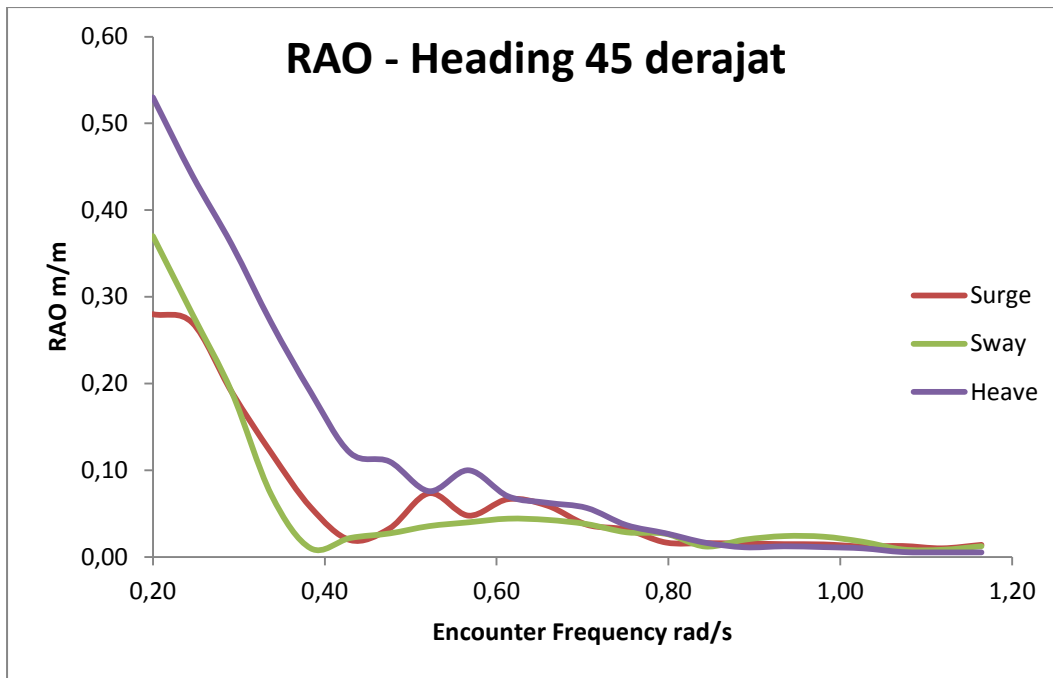


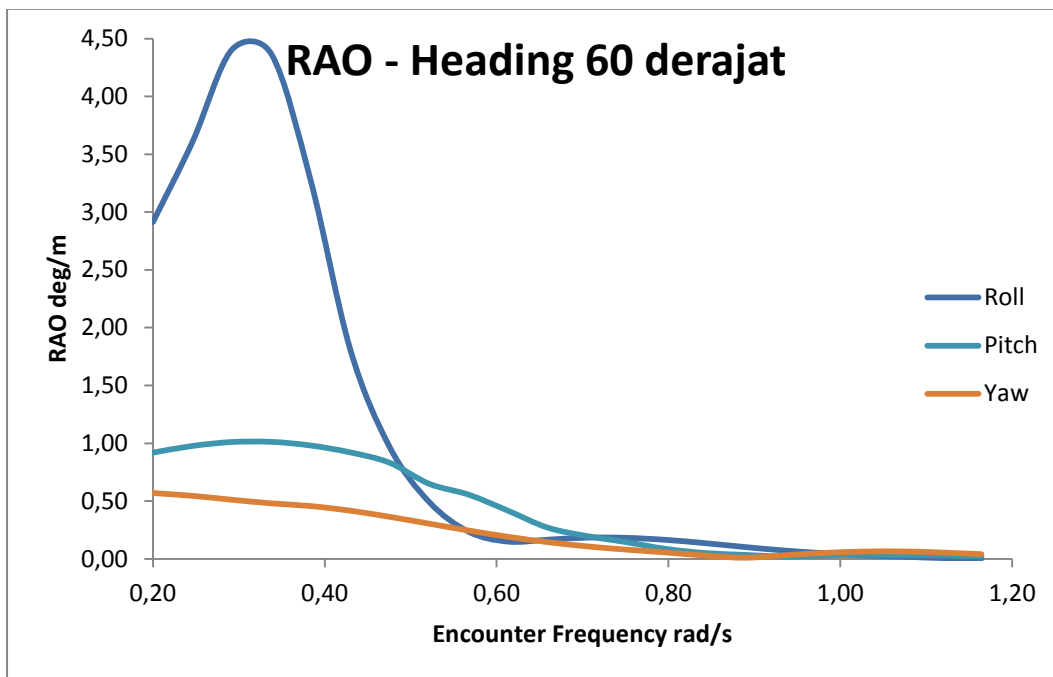
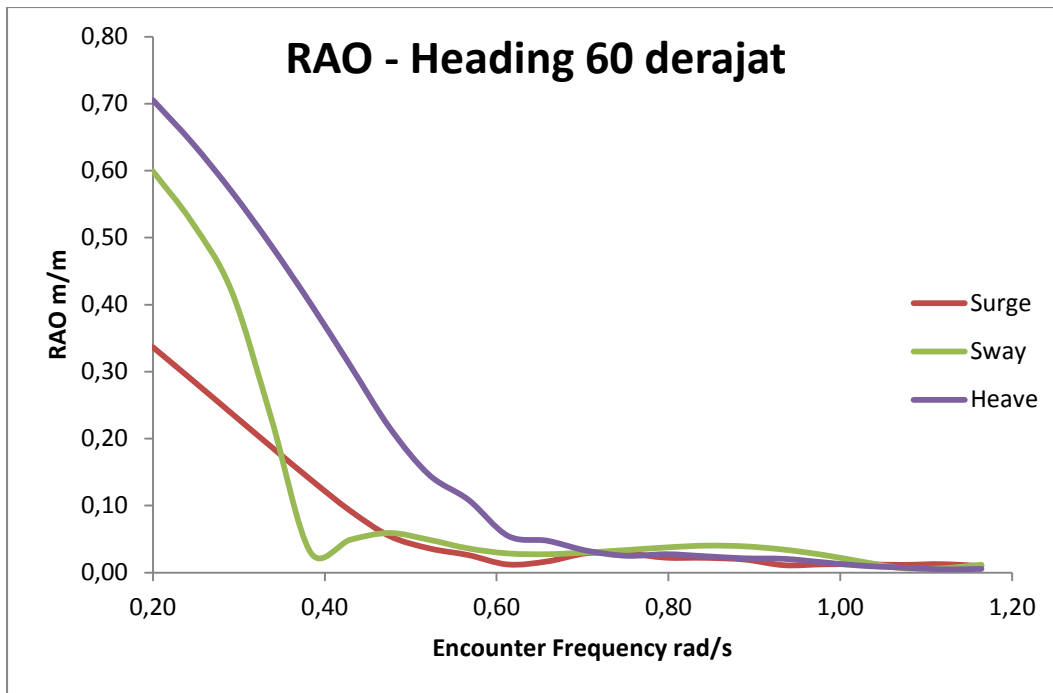


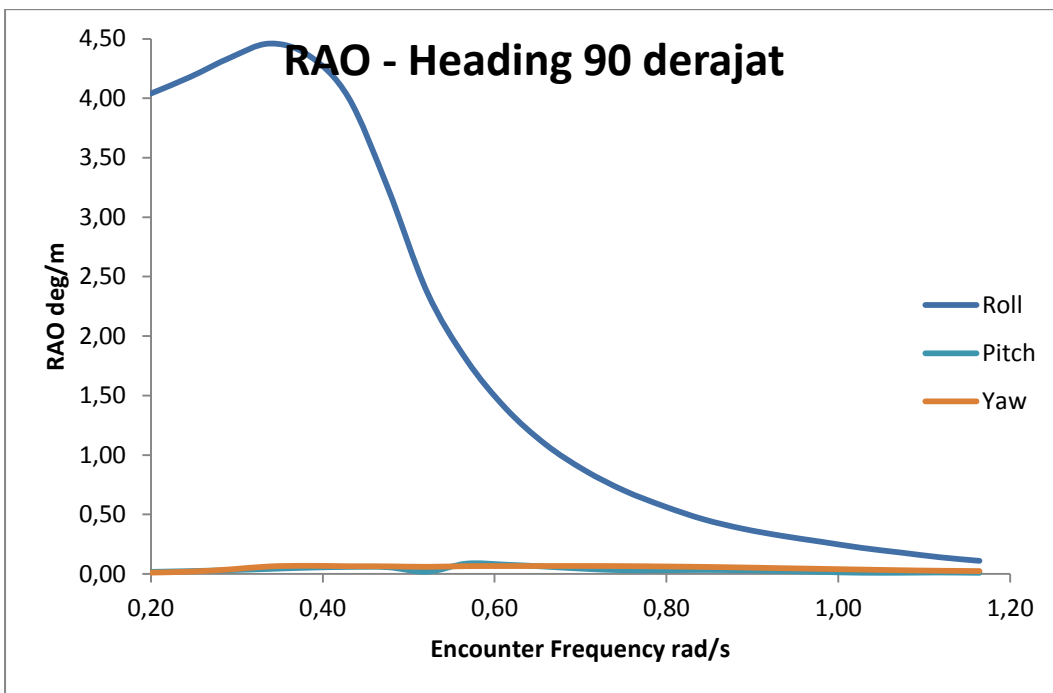
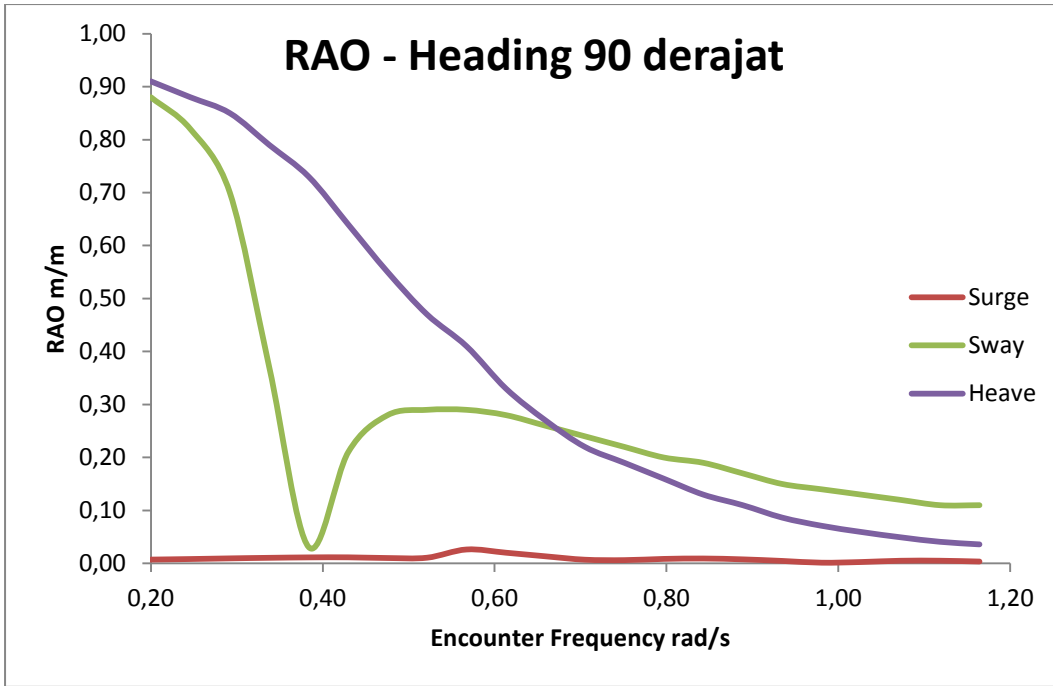
RAO FSO Arco Ardjuna kondisi *light load* saat *free floating*

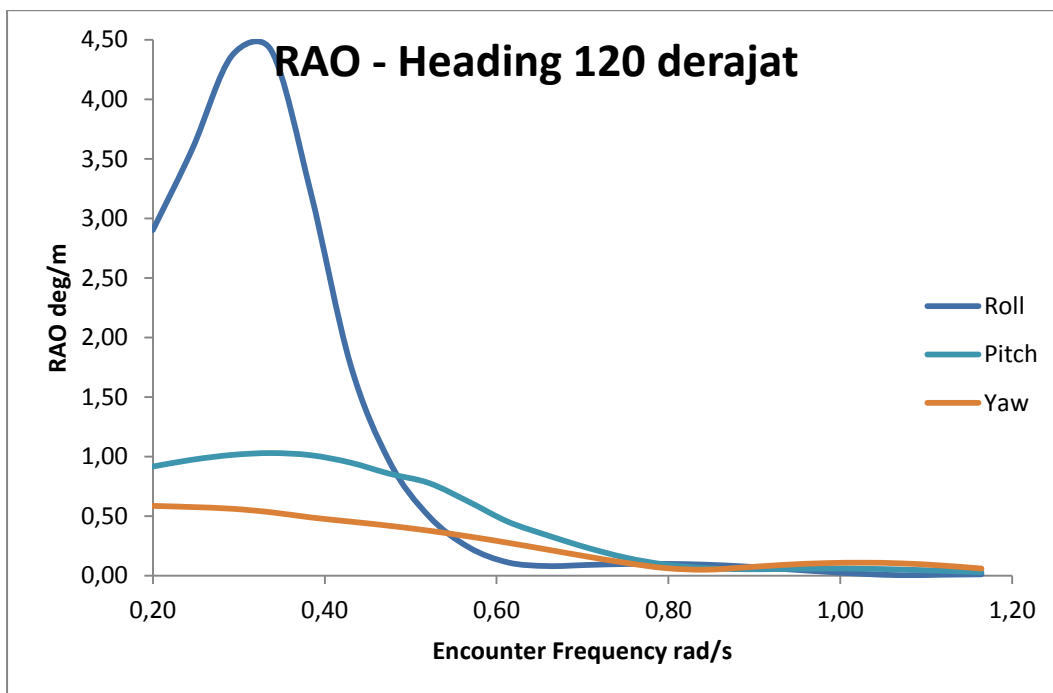
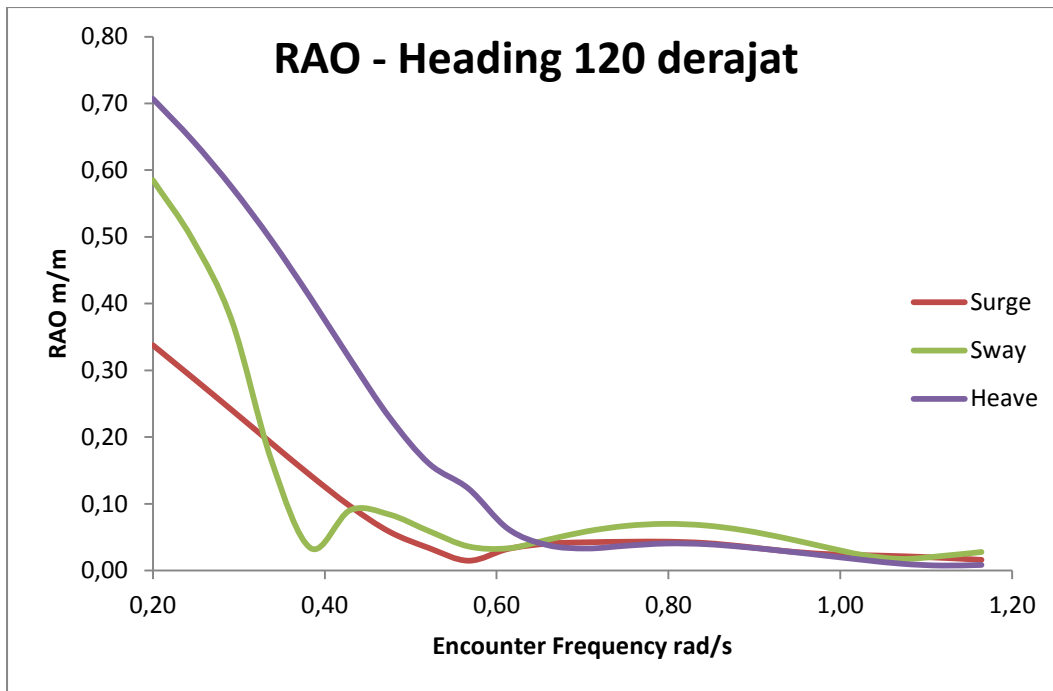


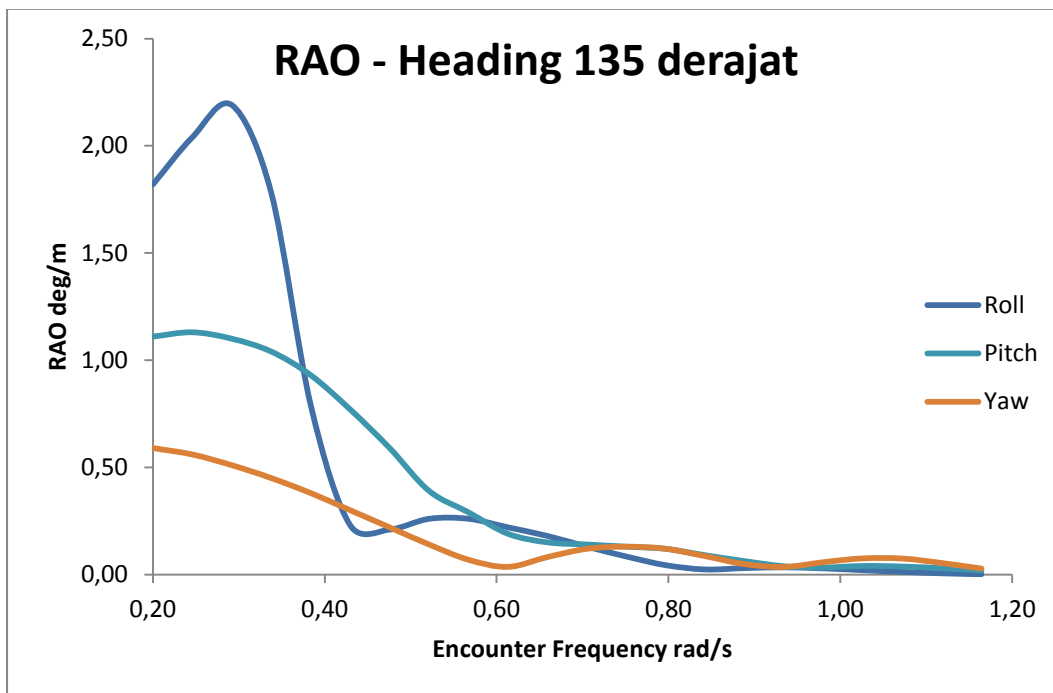
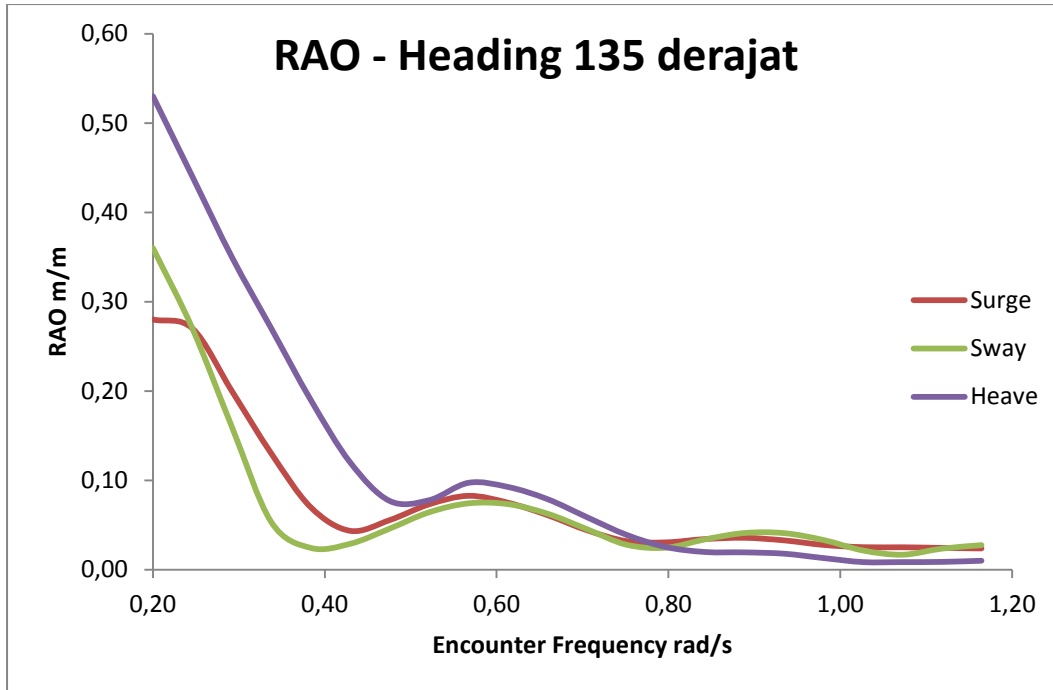


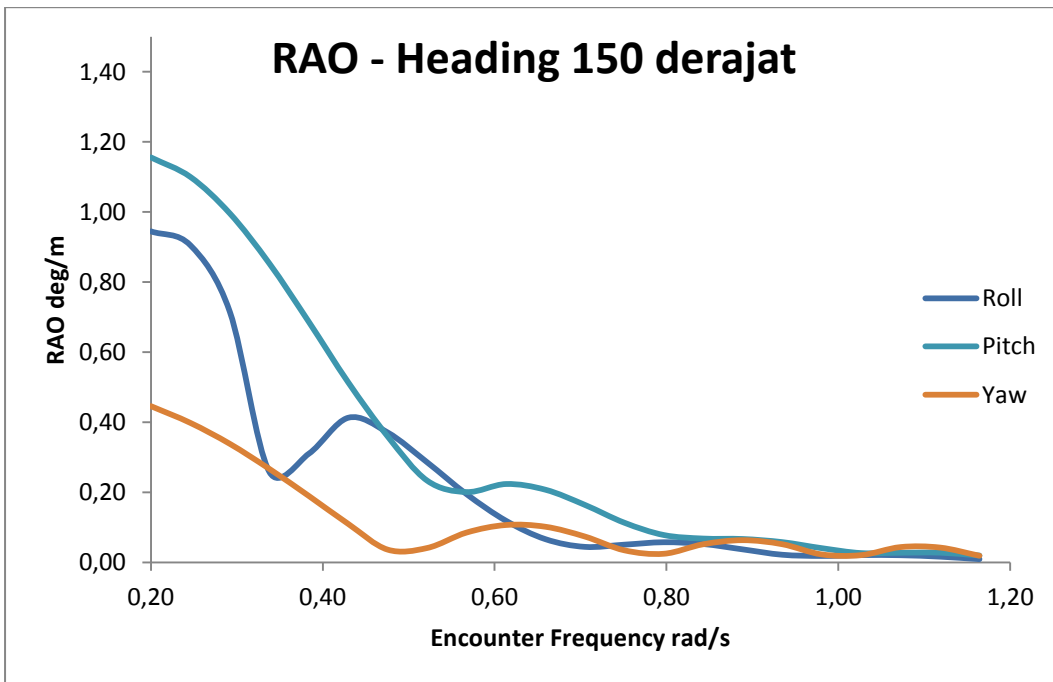
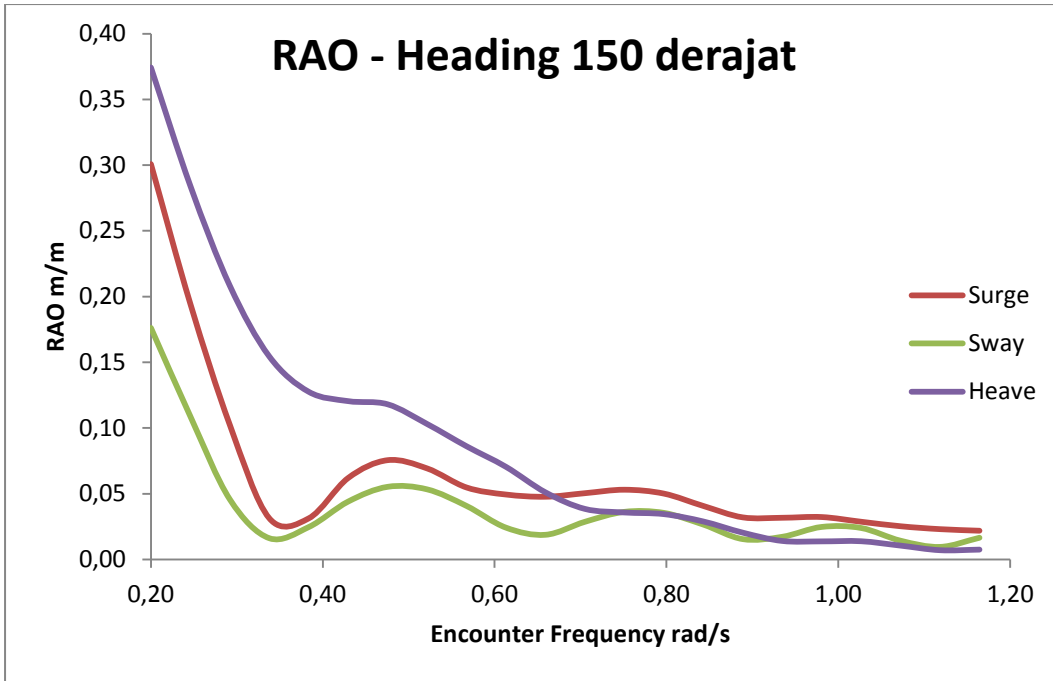


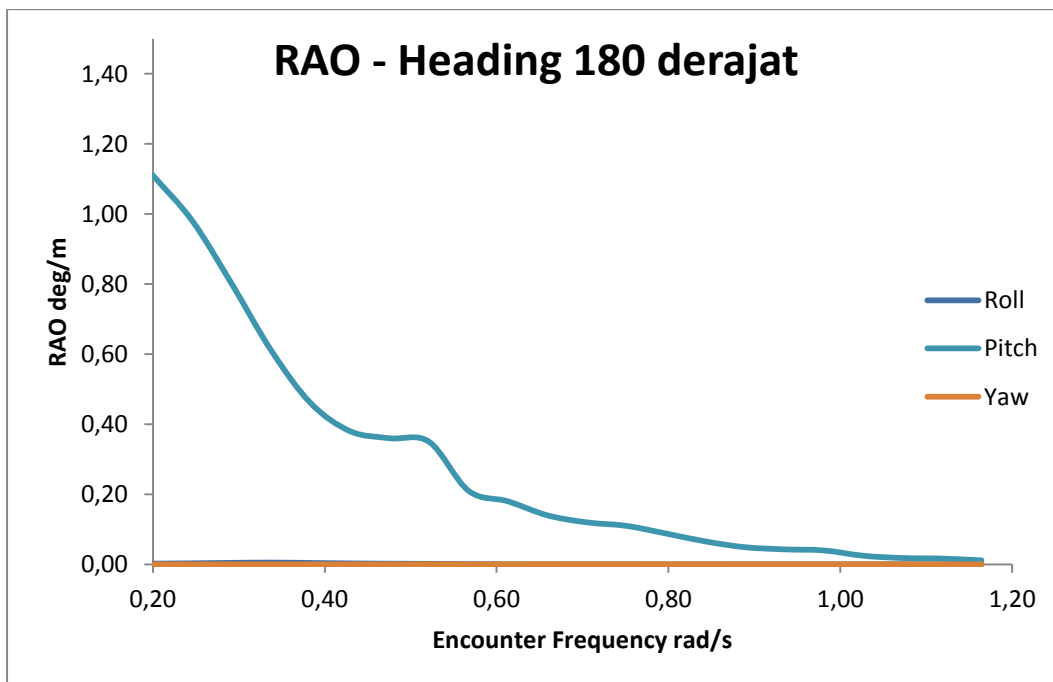
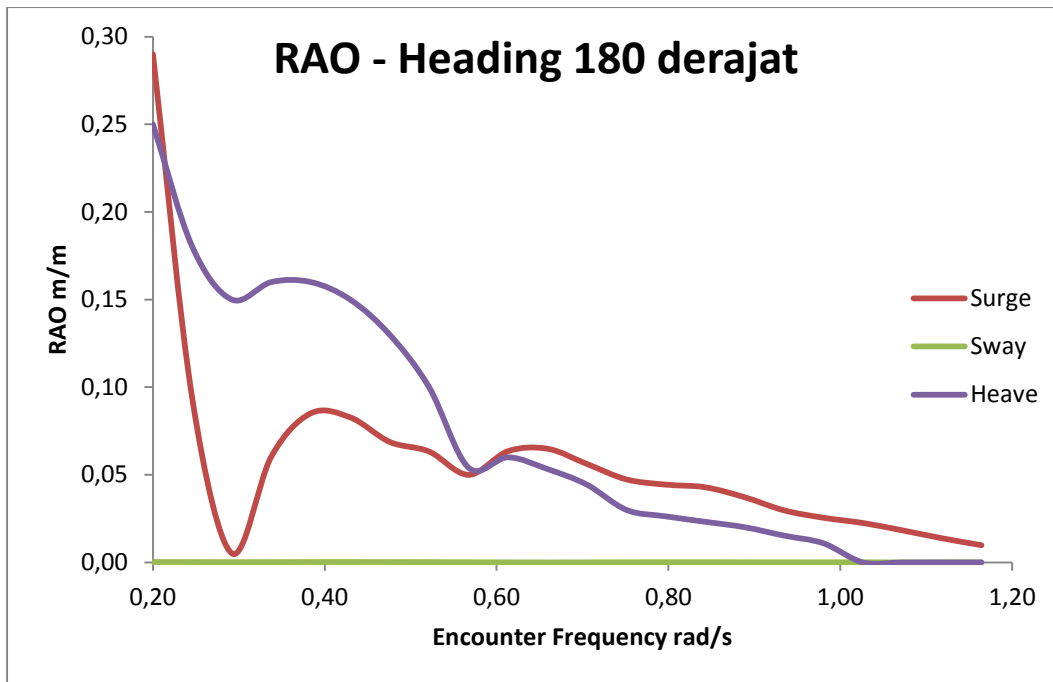




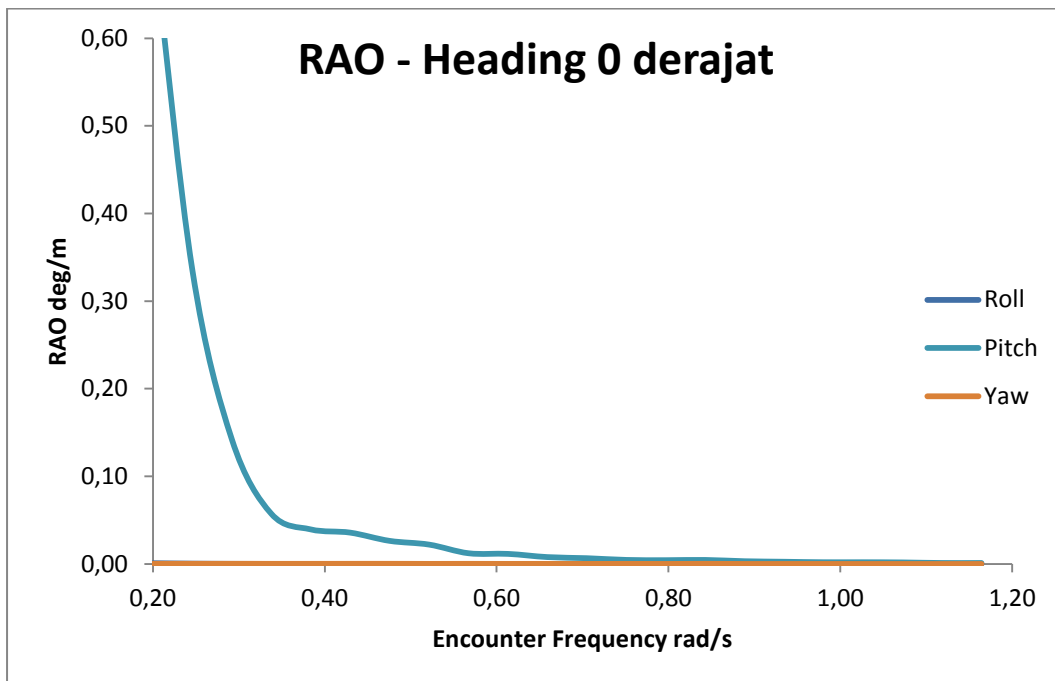
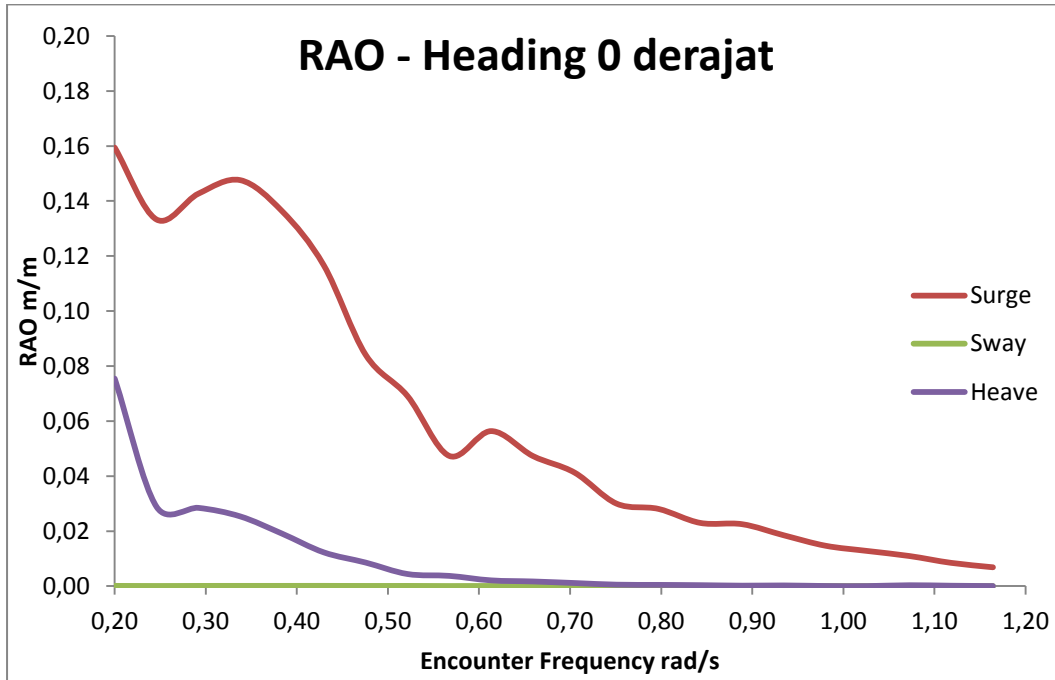


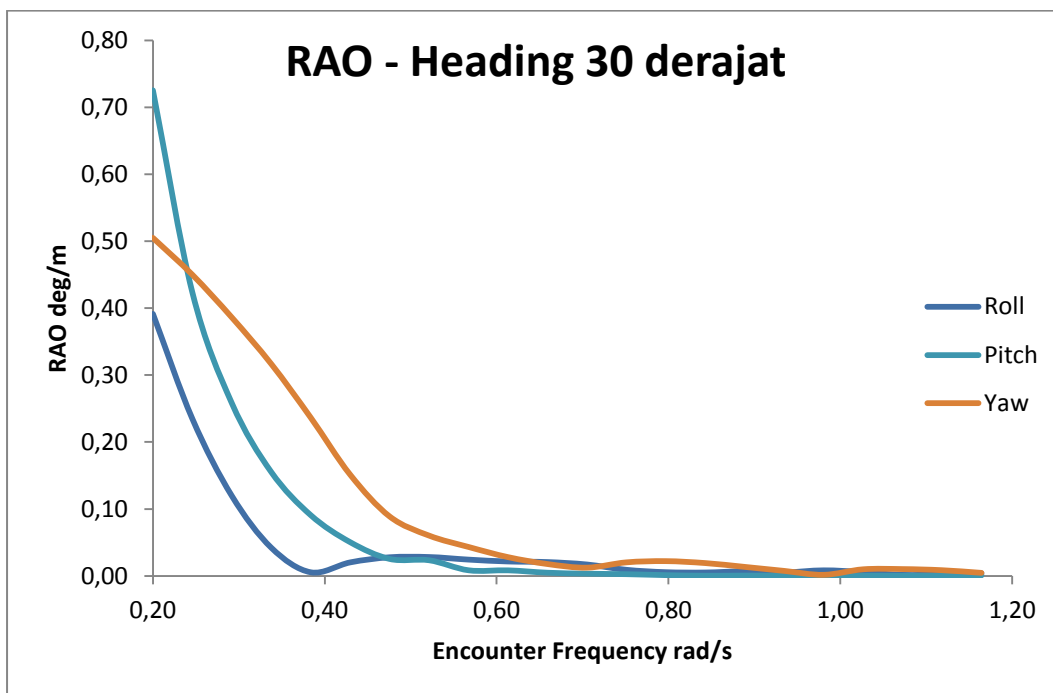
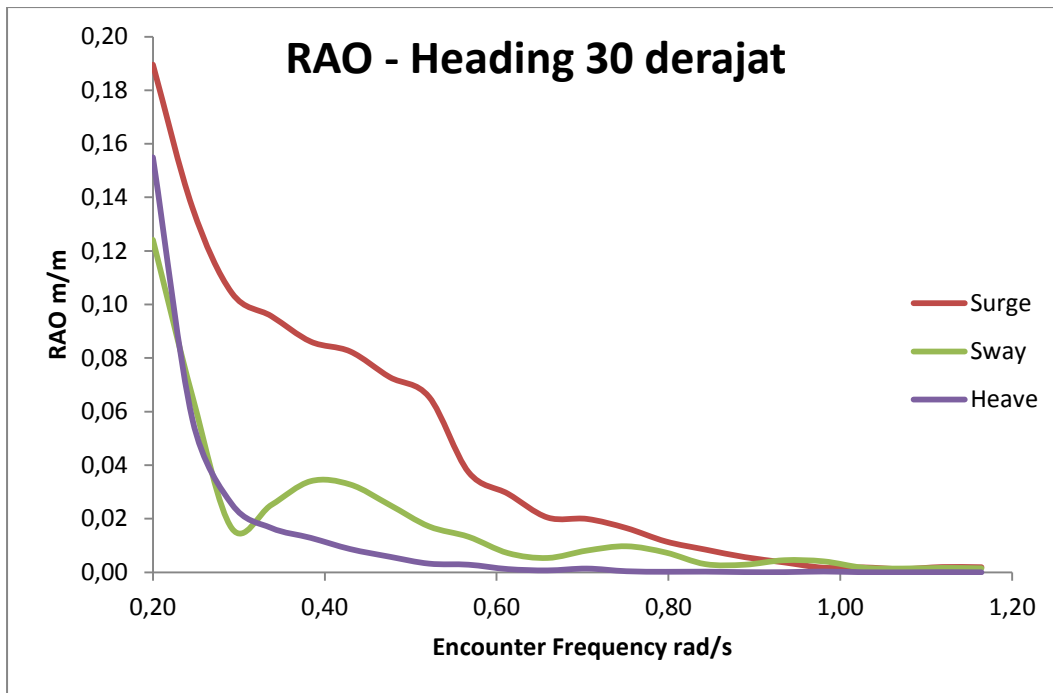


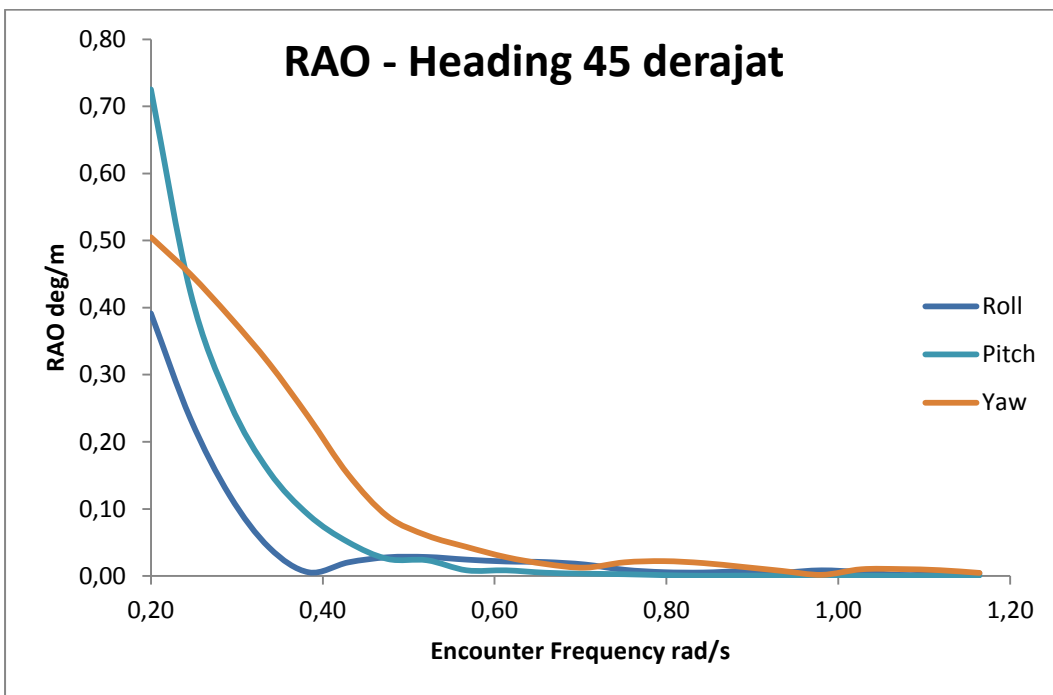
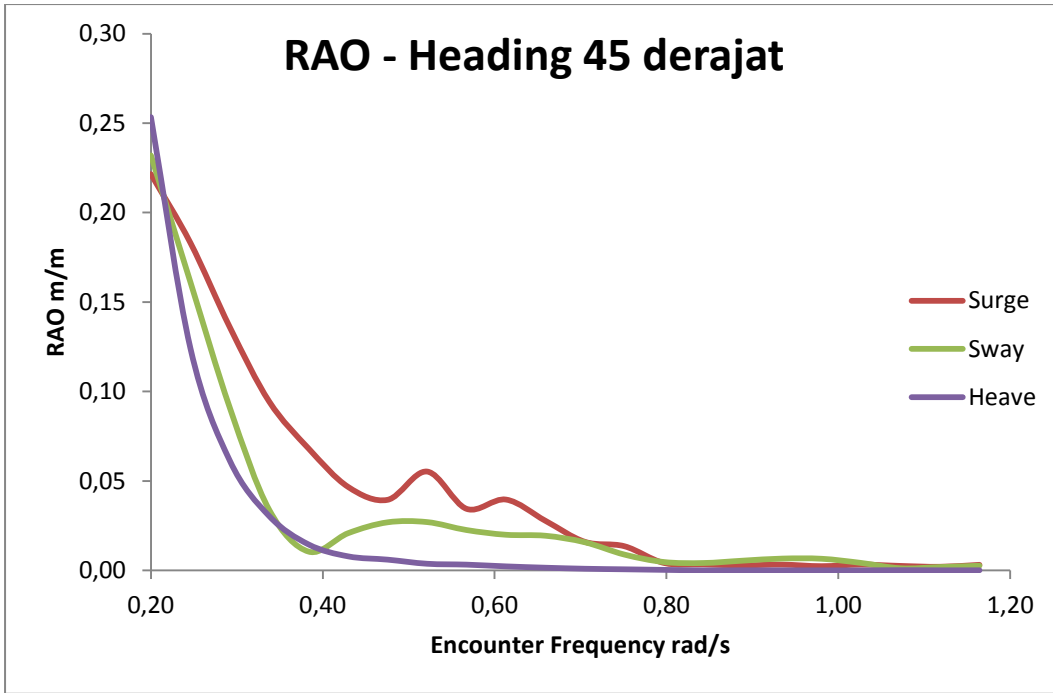


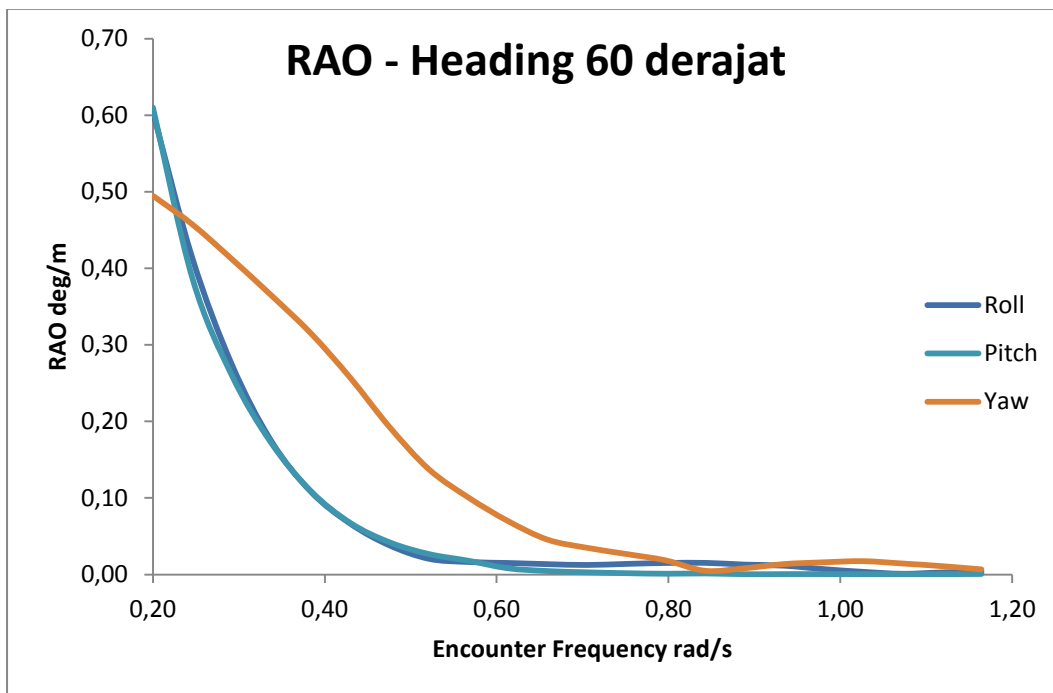
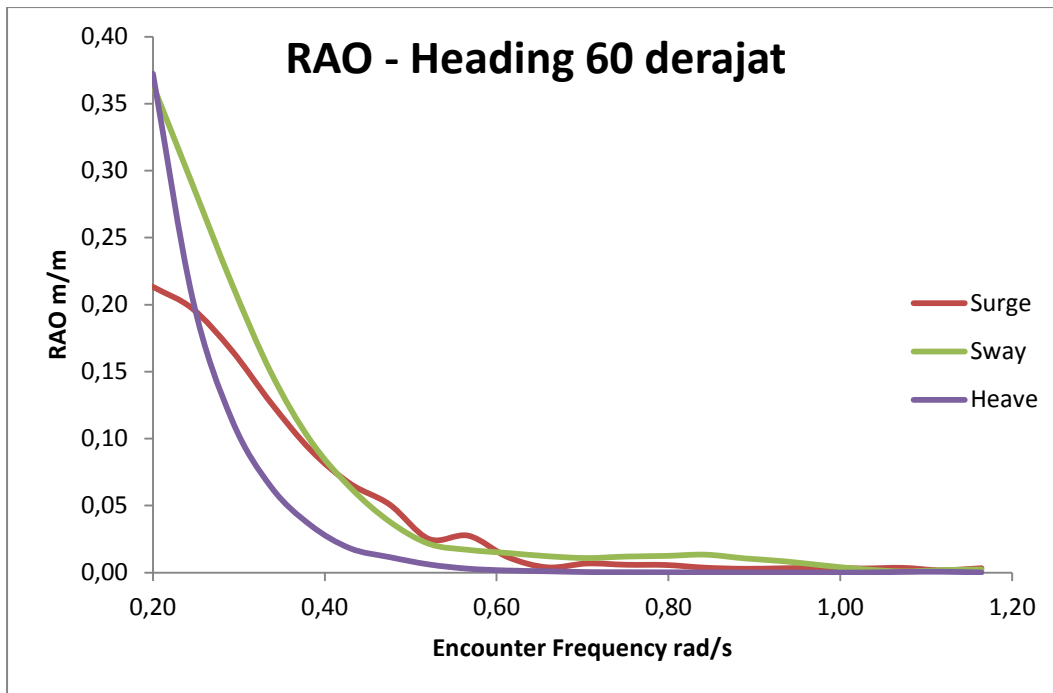


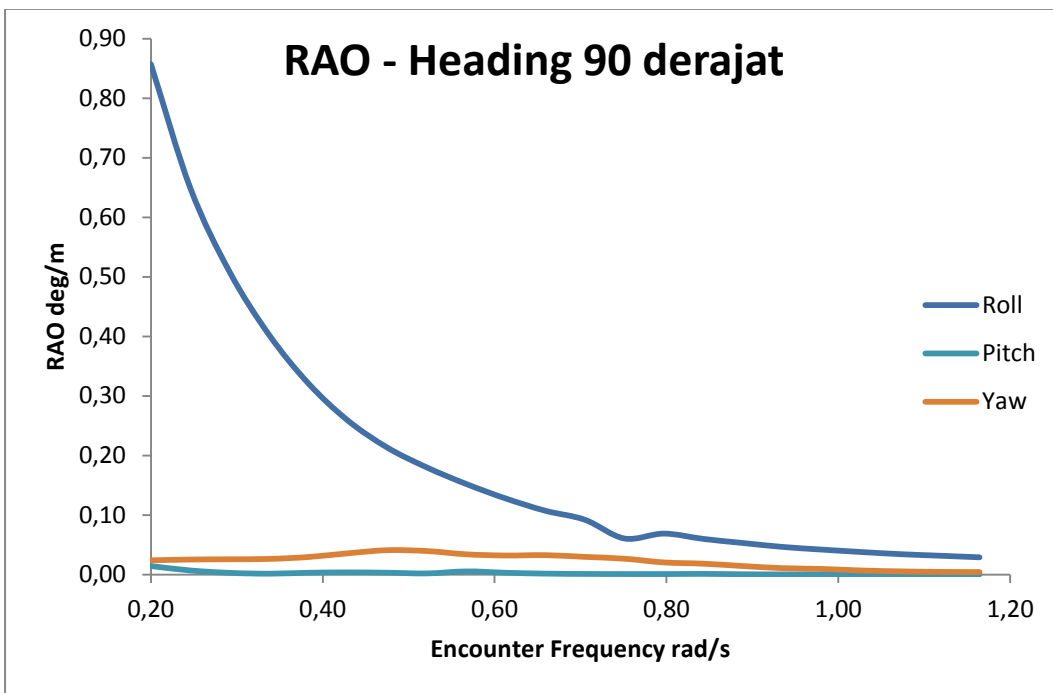
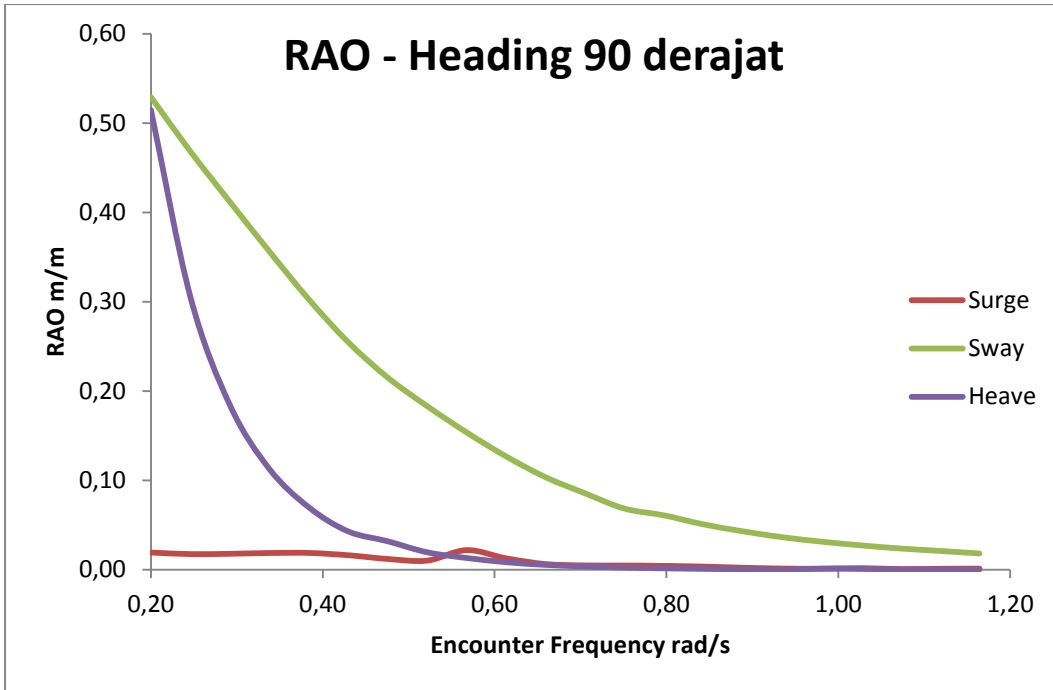
RAO FSO Arco Ardjuna kondisi *full load* saat *free floating*

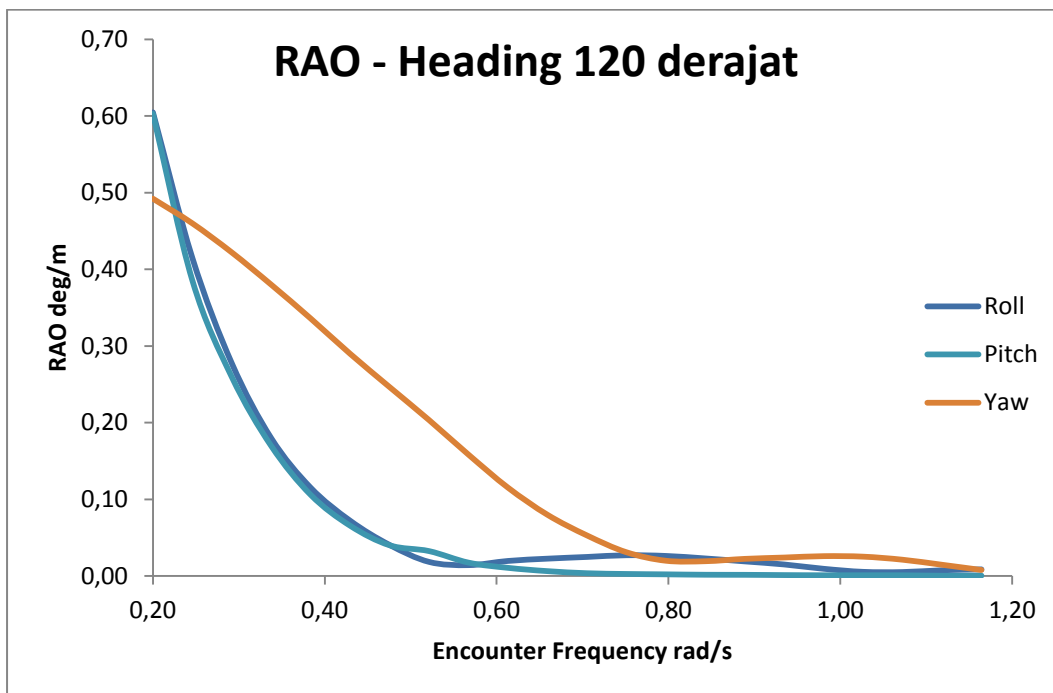
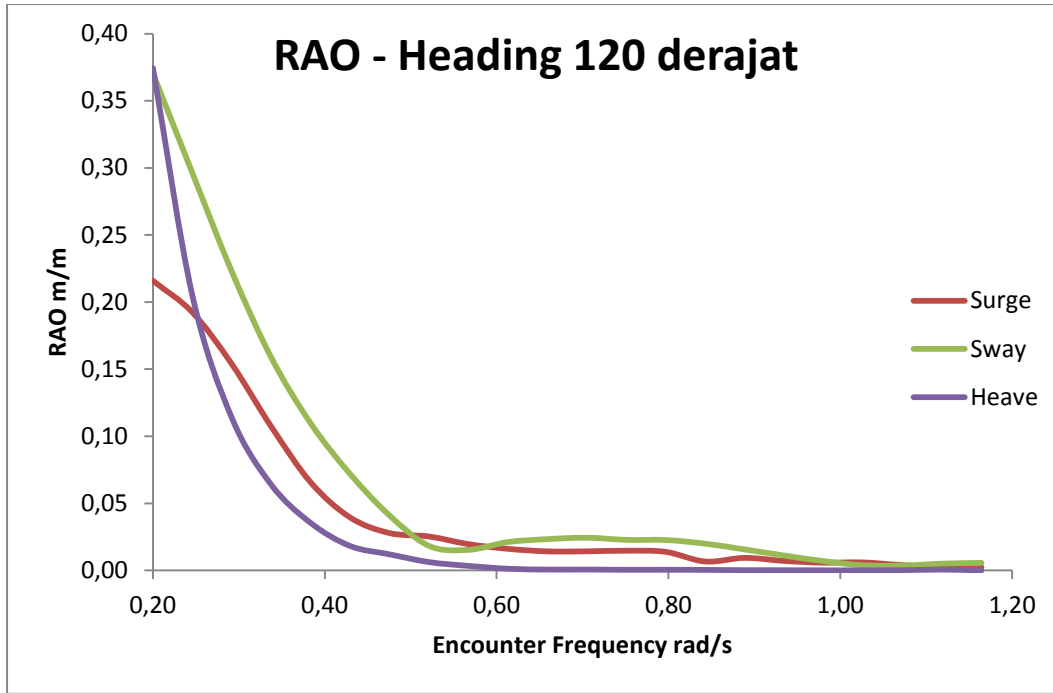


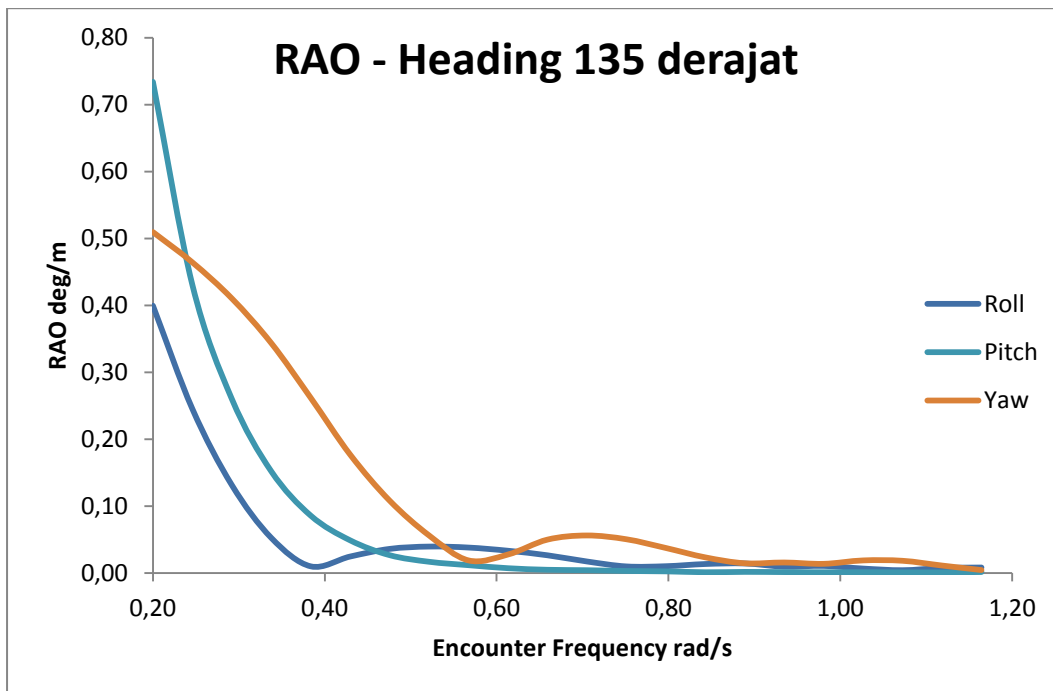
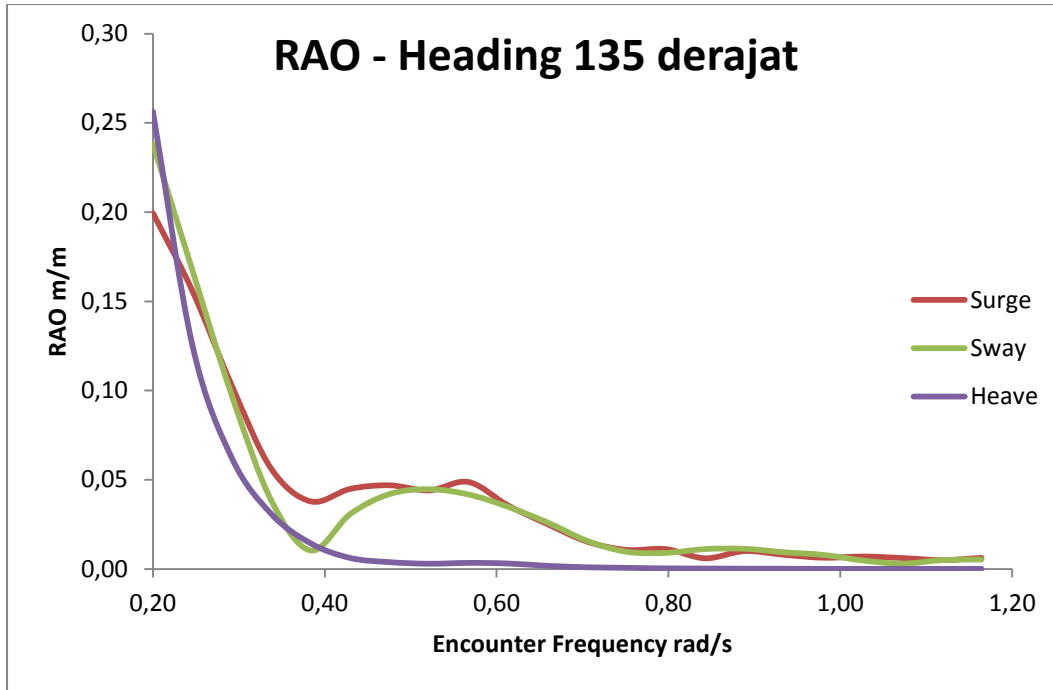


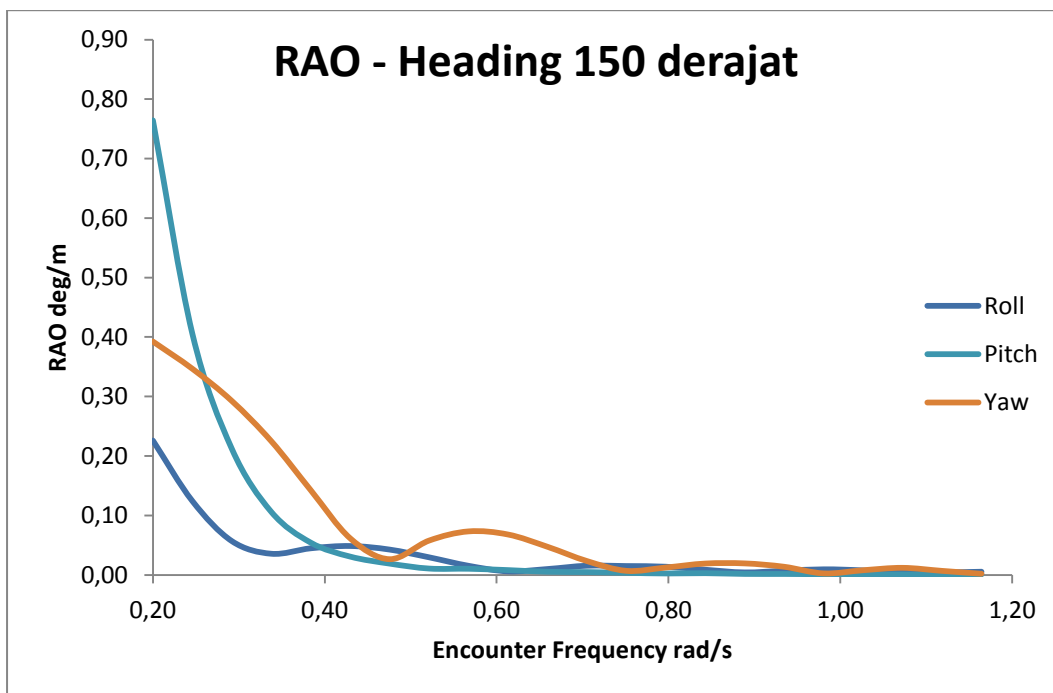
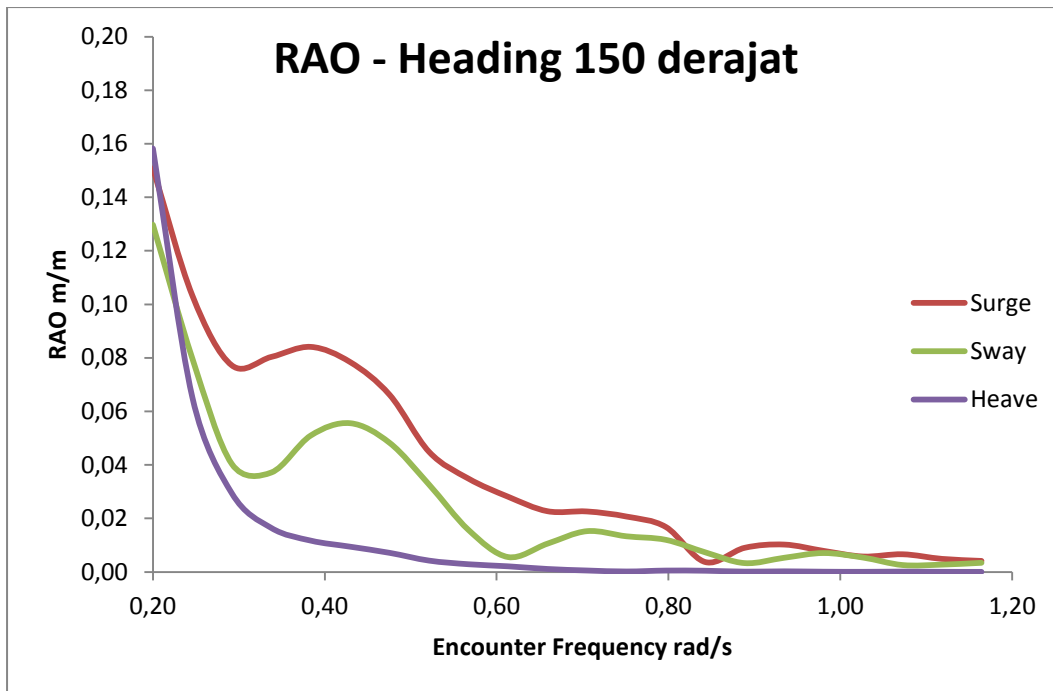


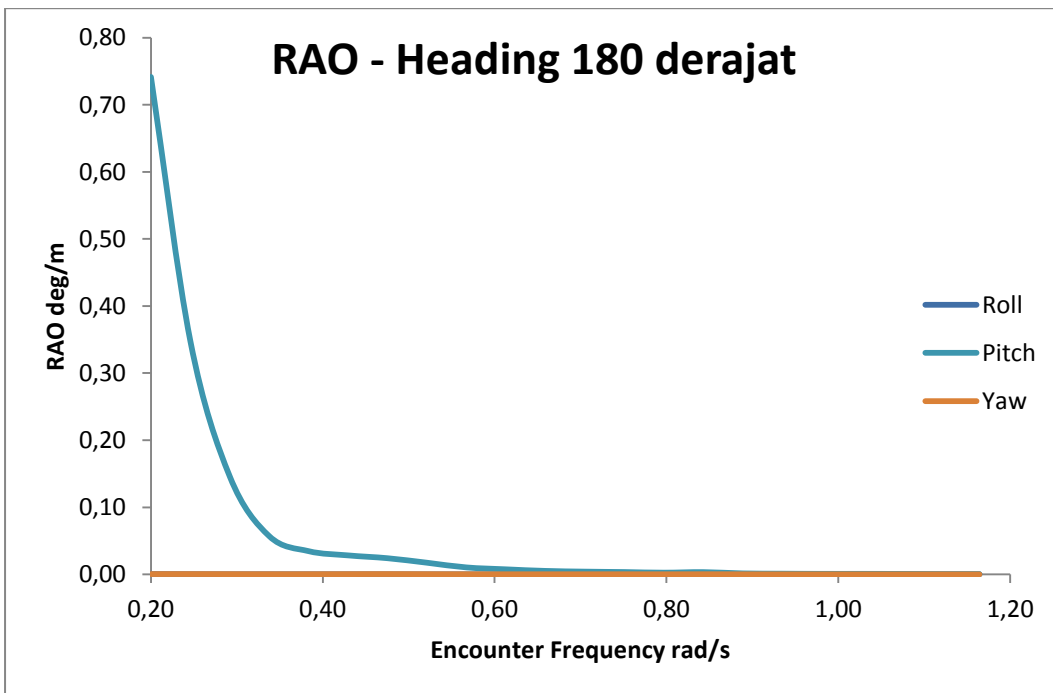
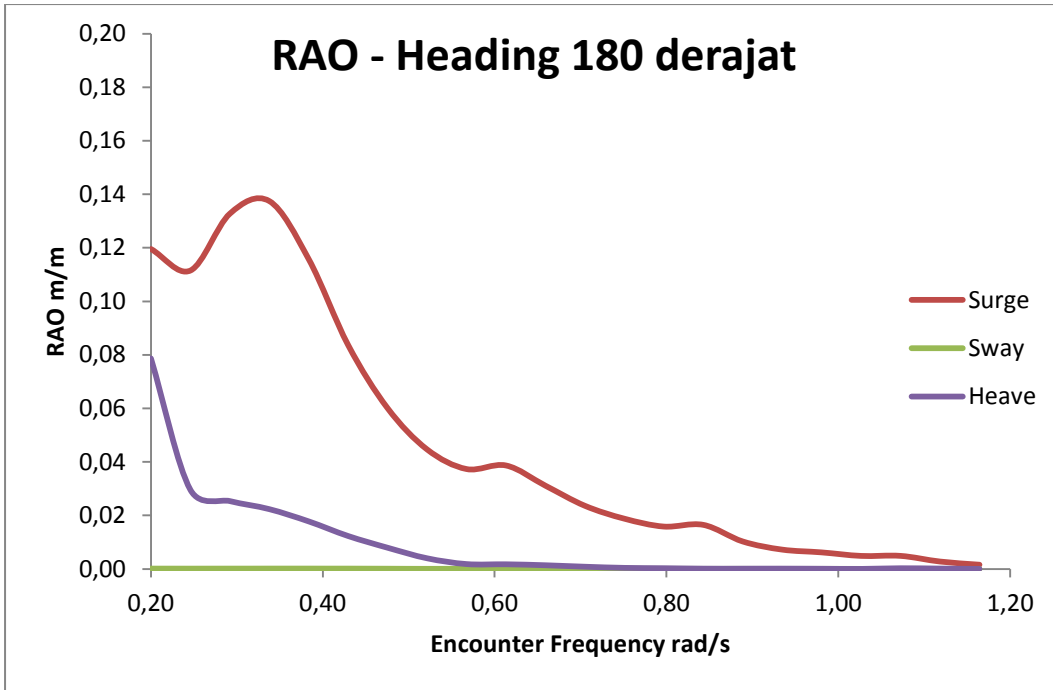




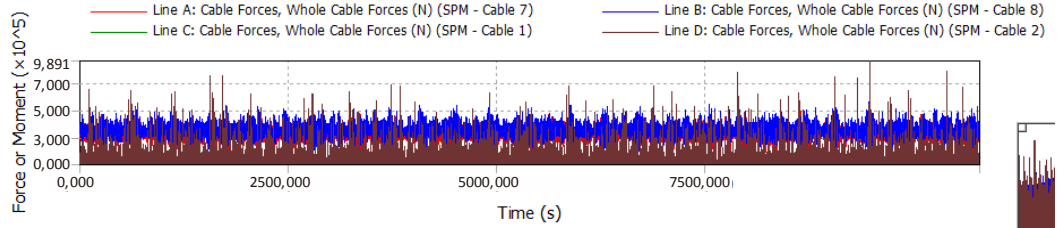
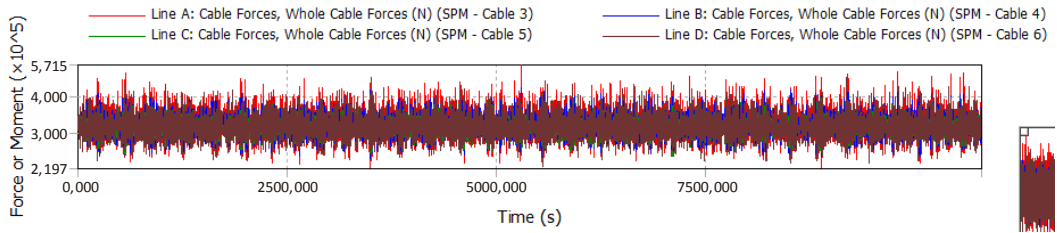




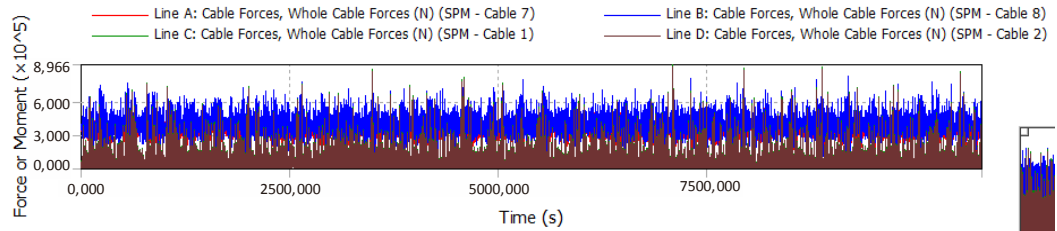
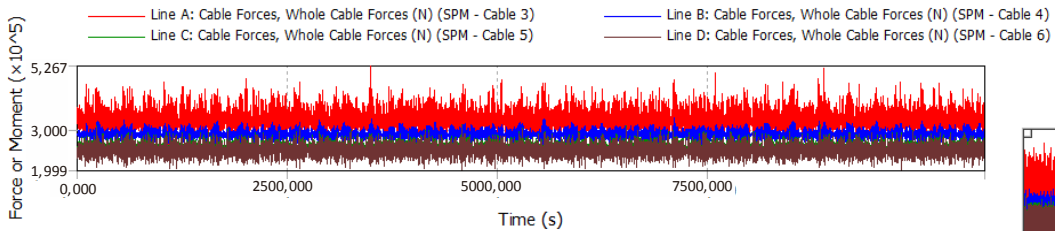




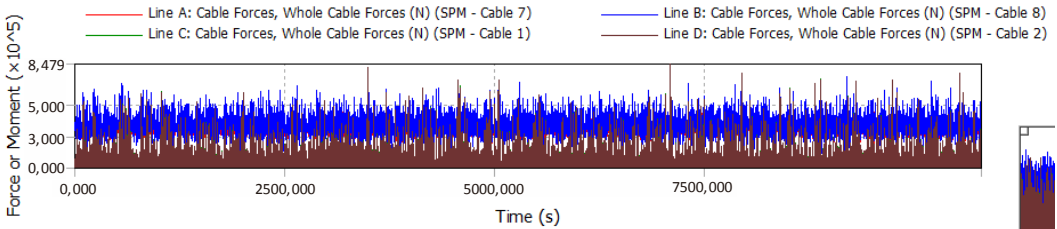
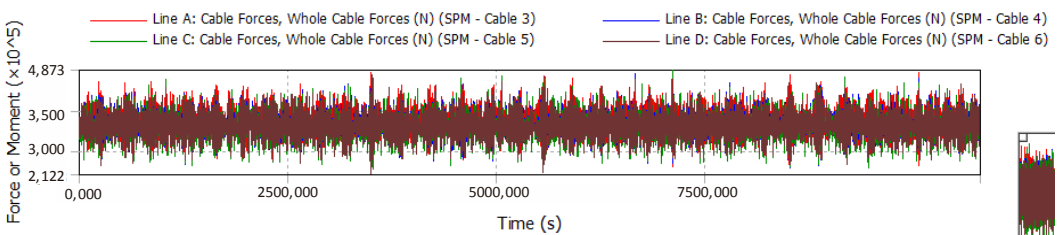
LAMPIRAN C
OUTPUT TENSION PADA ANCHOR LEGS
DAN HAWSER



LIGHT 30

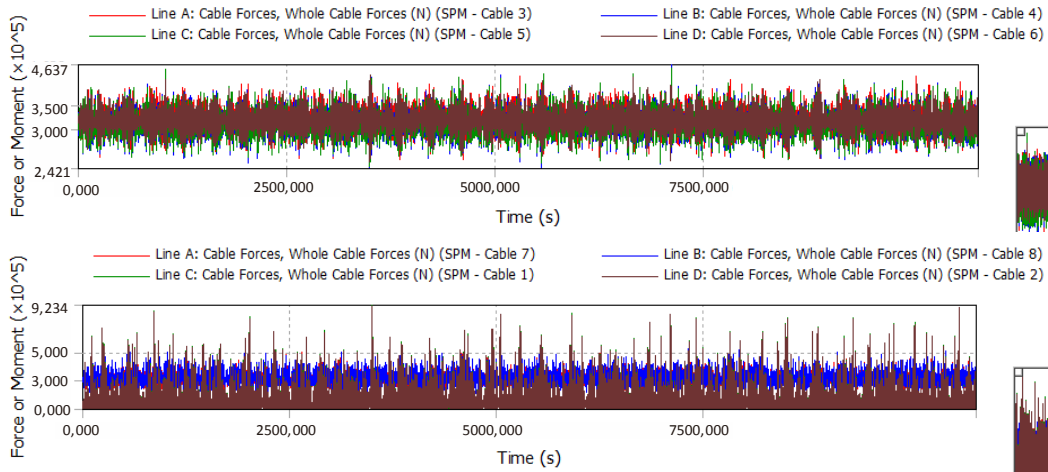


LIGHT 60

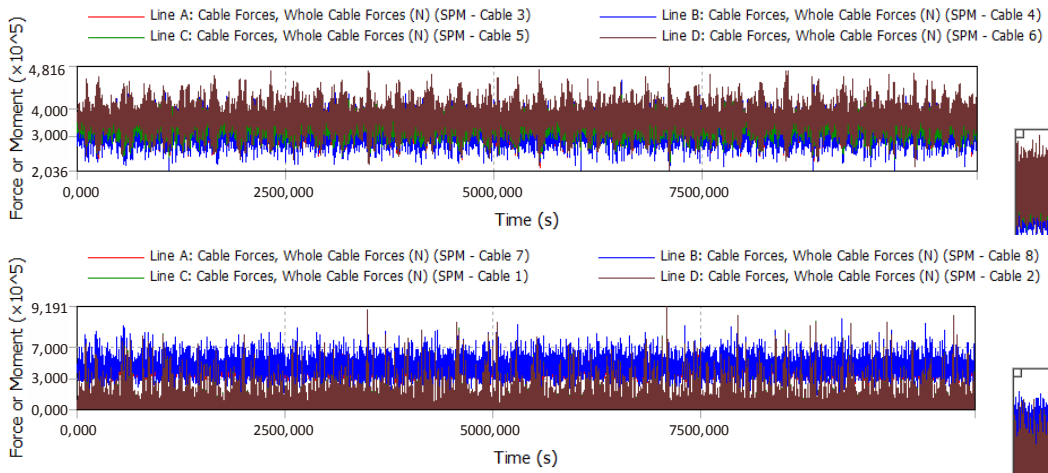


LIGHT 0

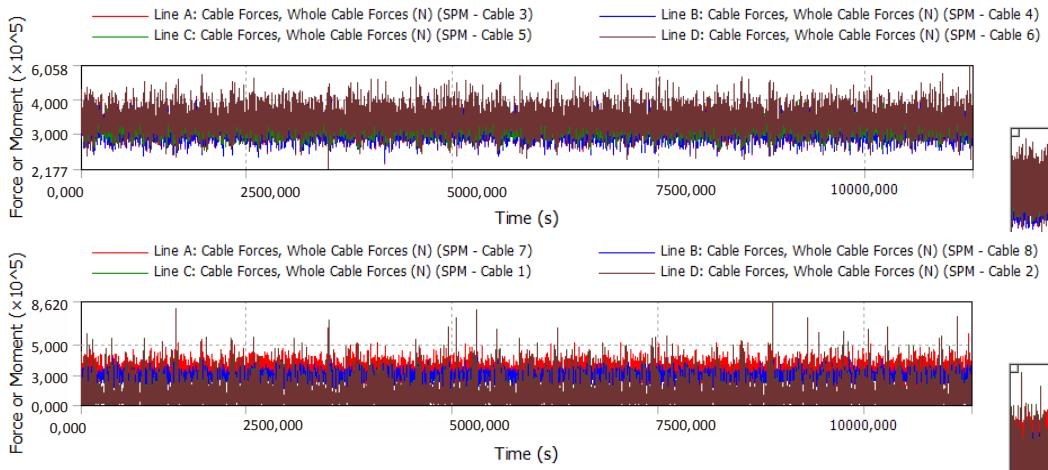
LIGHT 90



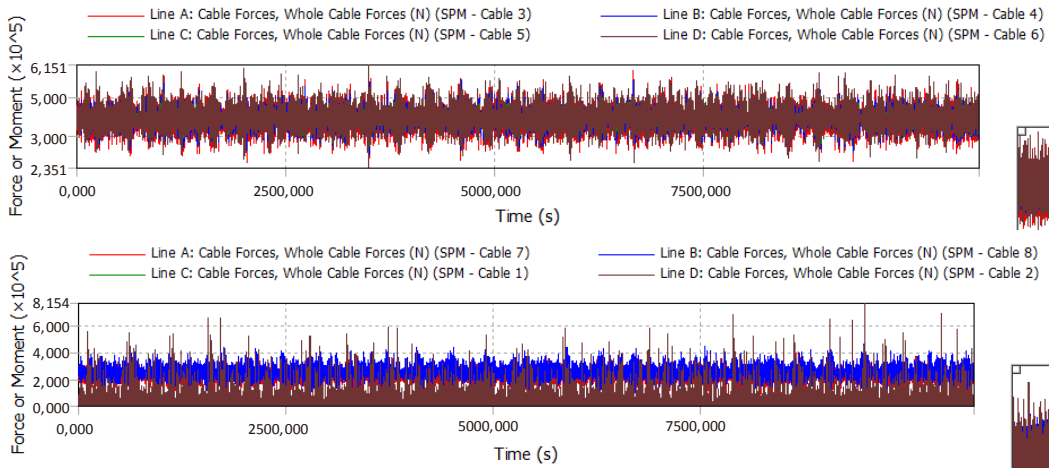
LIGHT 120



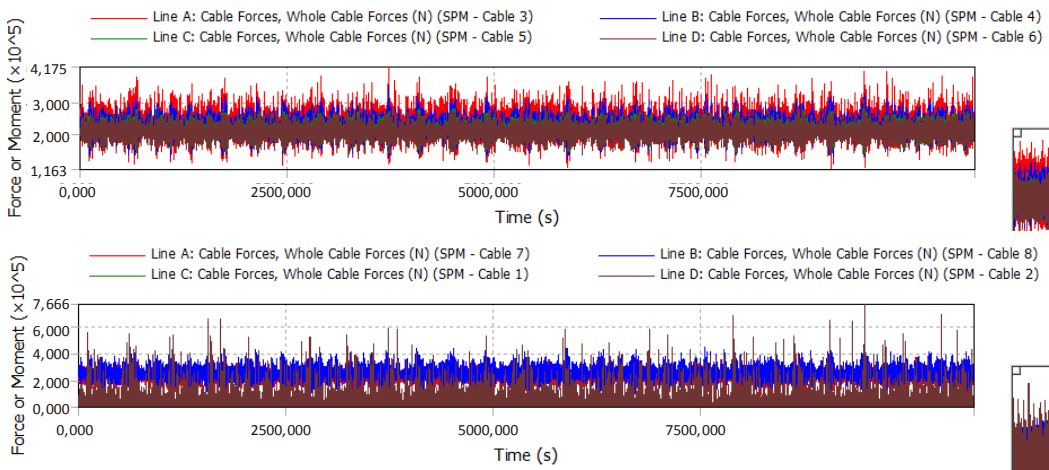
LIGHT 150



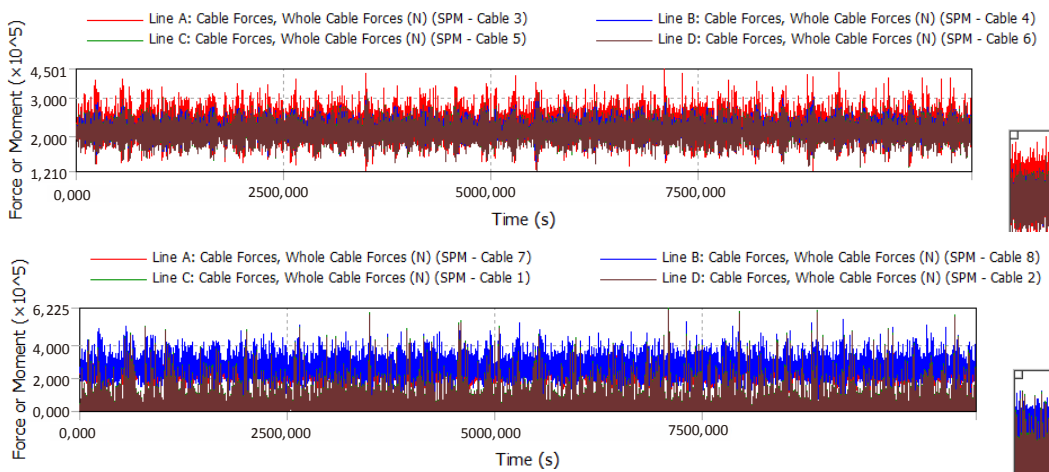
LIGHT 180



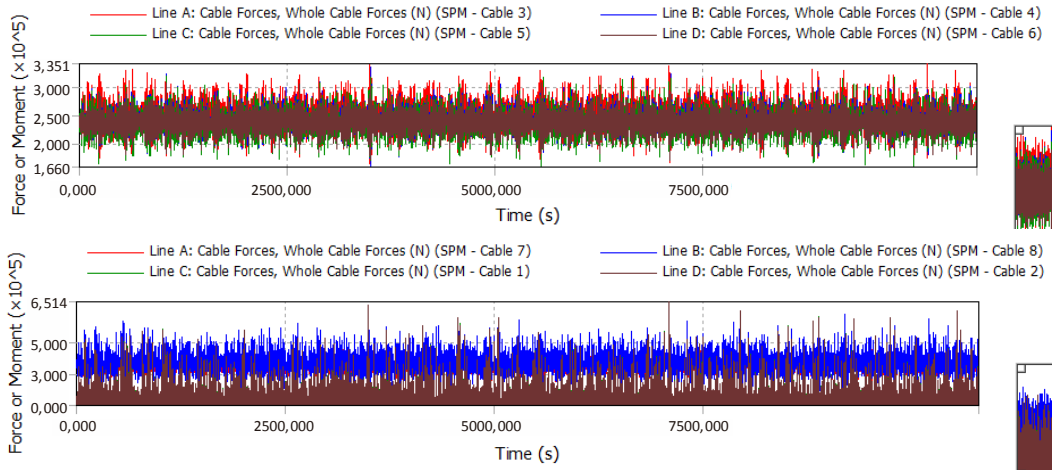
FULL 0



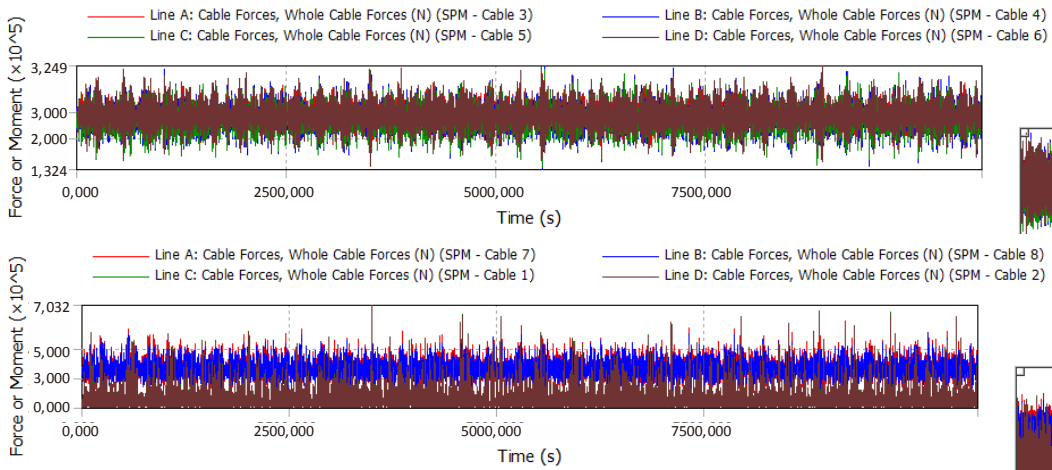
FULL 30



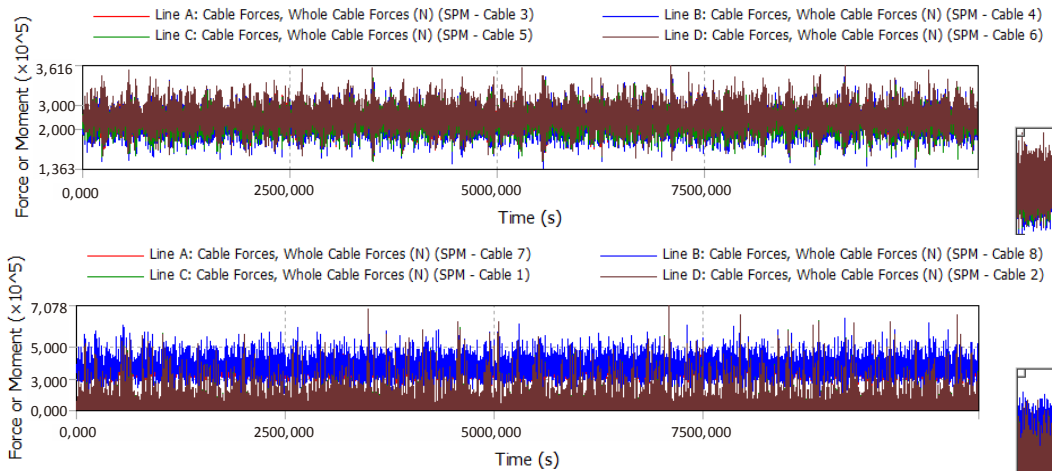
FULL 60



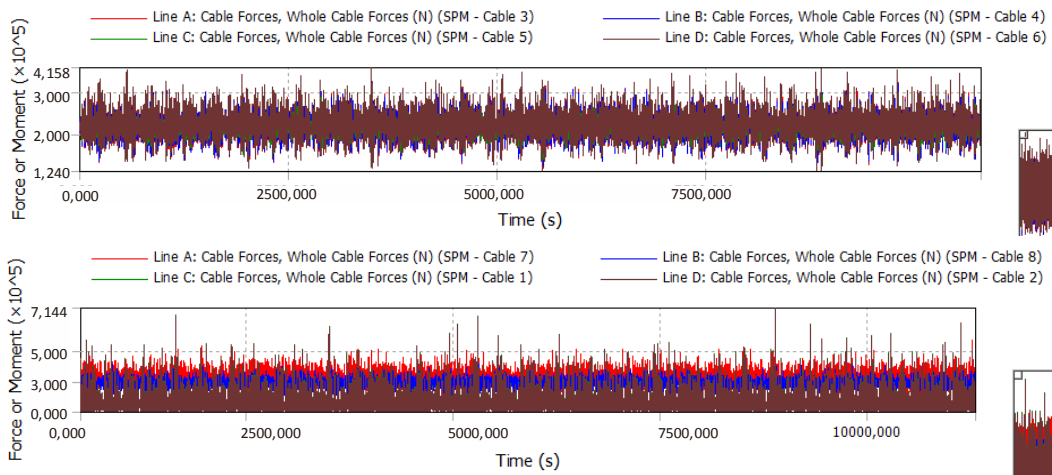
FULL 90



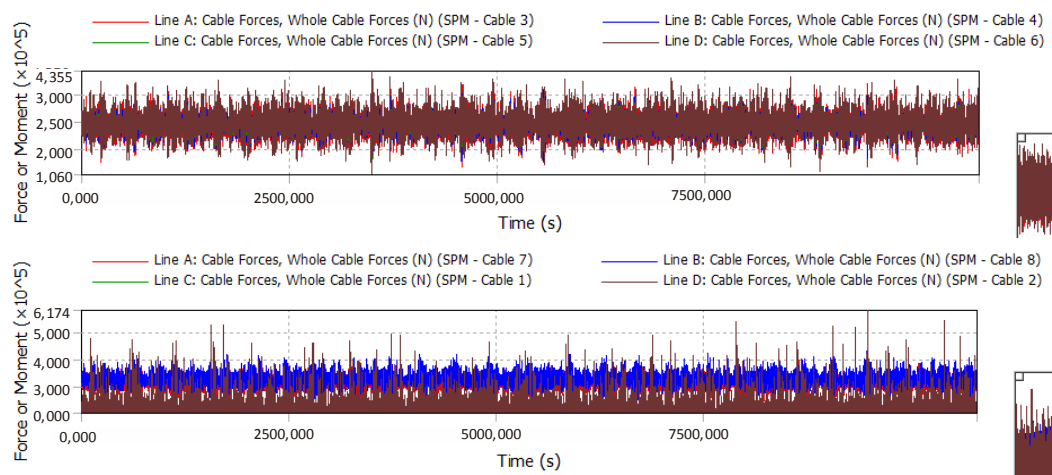
FULL 120



FULL 150

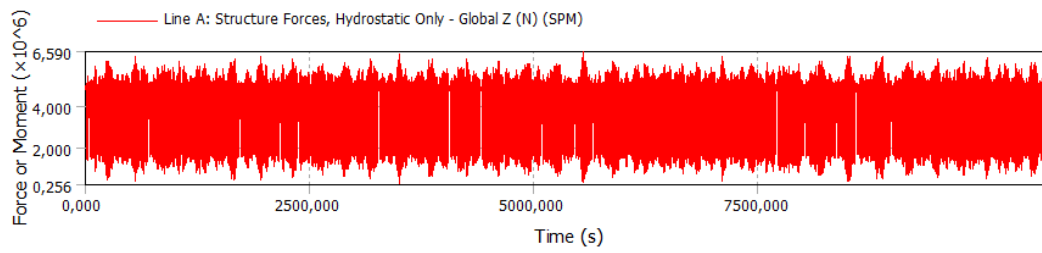


FULL 180

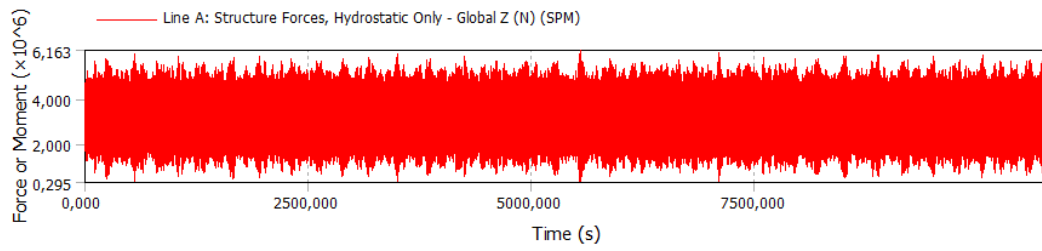


LAMPIRAN D
OUTPUT HYDROSTATIC PRESSURE
PADA STRUKTUR SINGLE POINT MOORING

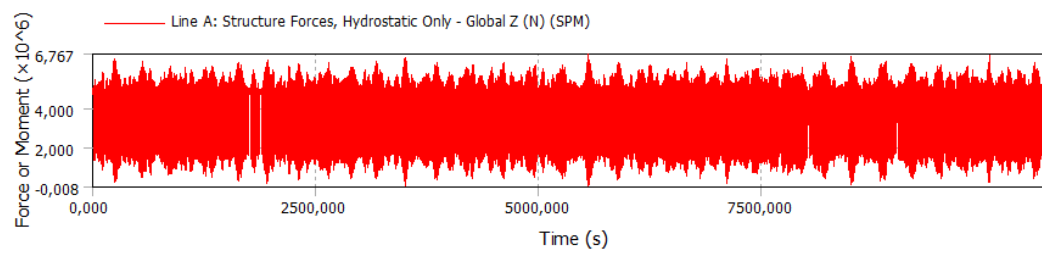
LIGHT 0



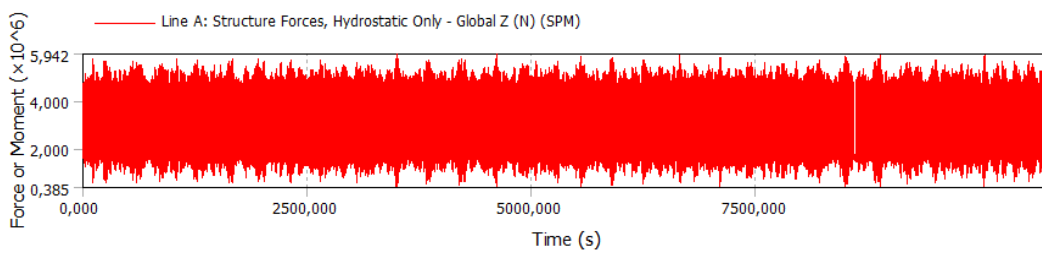
LIGHT 30



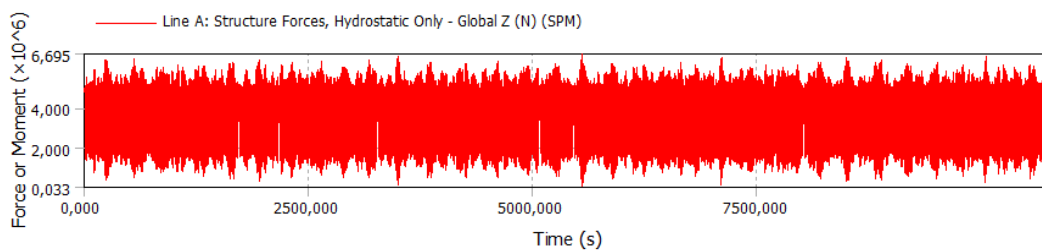
LIGHT 60



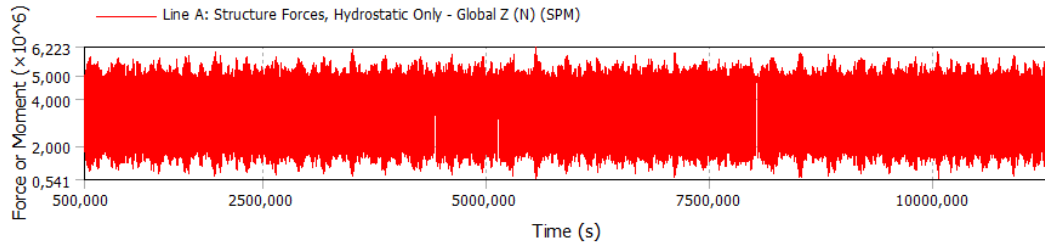
LIGHT 90



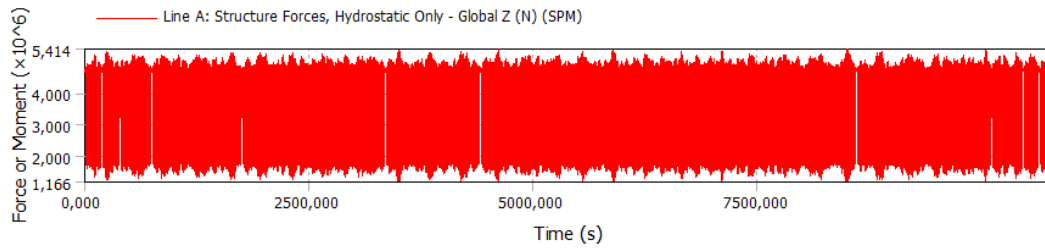
LIGHT 120



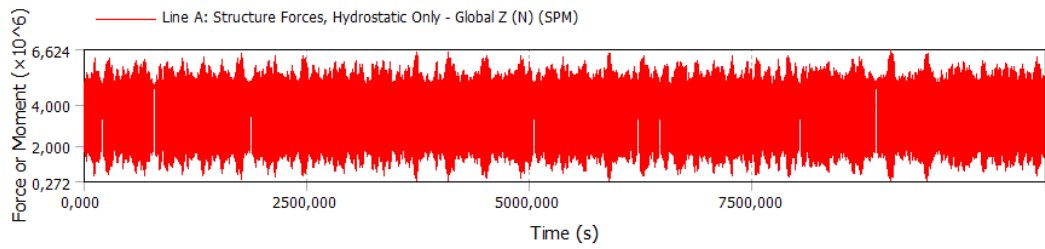
LIGHT 150



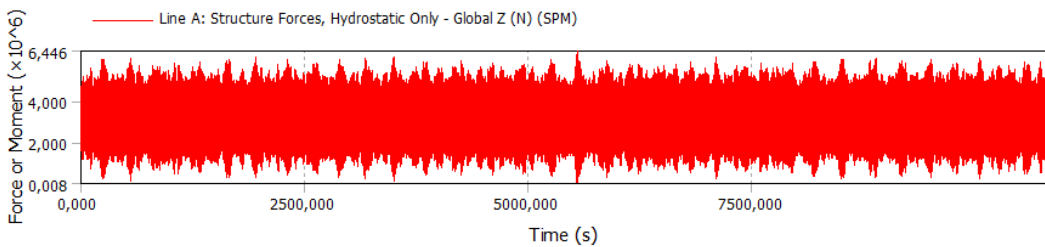
LIGHT 180



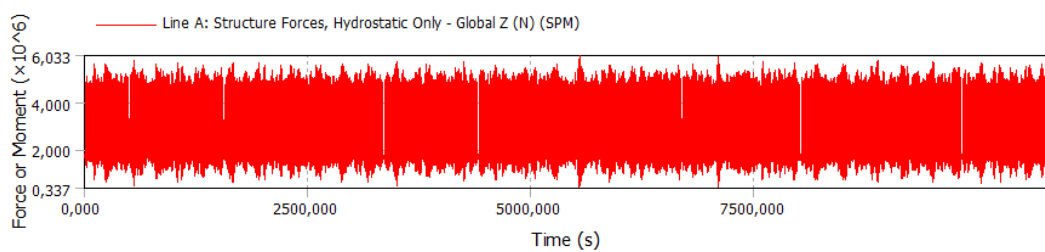
FULL 0



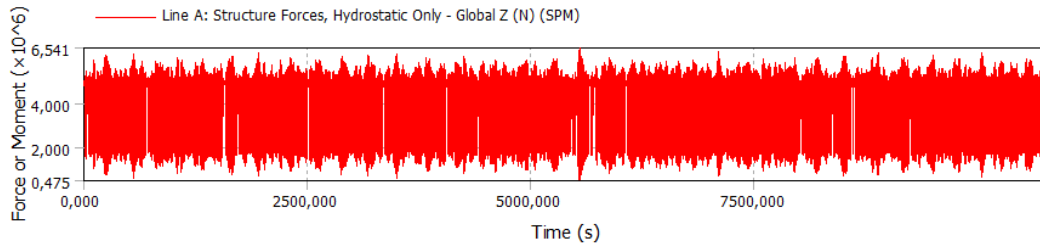
FULL 30



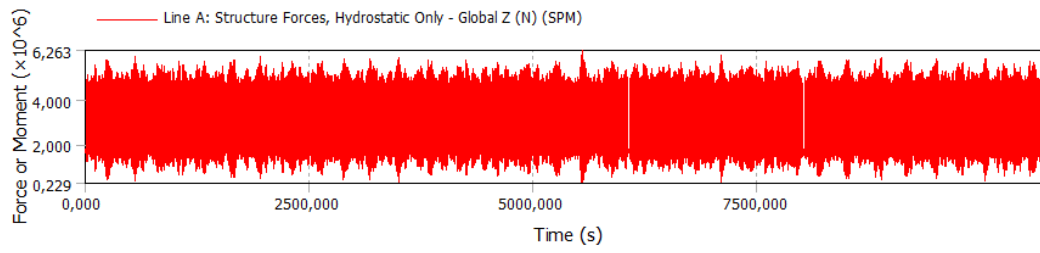
FULL 60



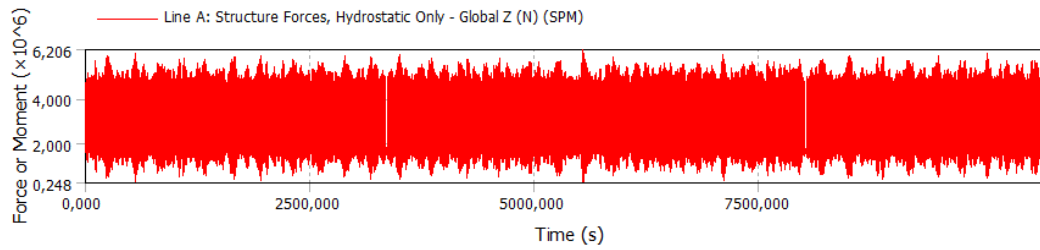
FULL 90



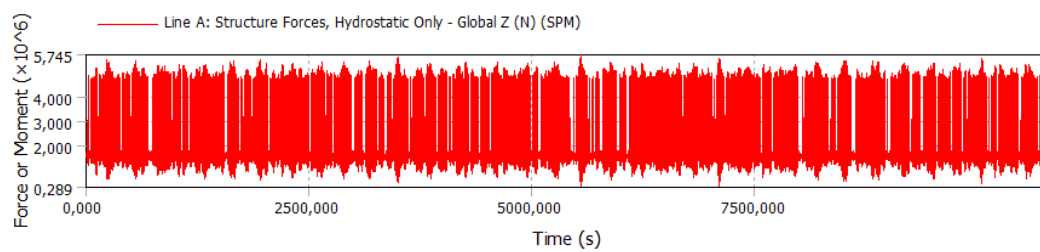
FULL 120



FULL 150

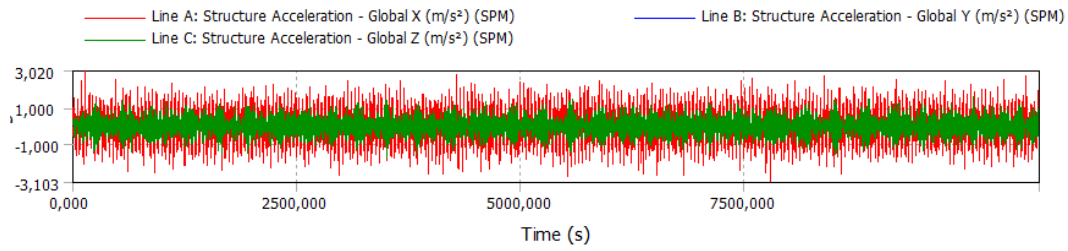


FULL 180

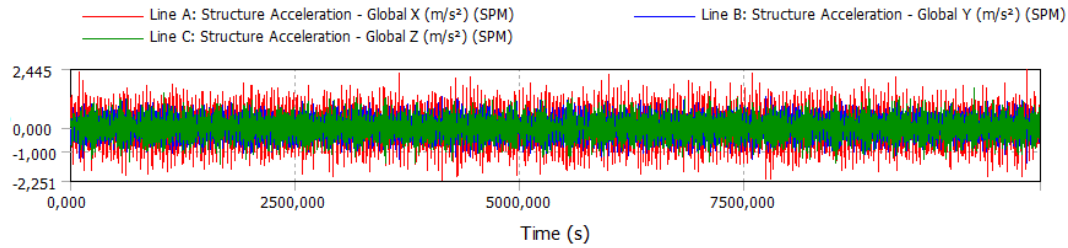


LAMPIRAN E
OUTPUT STRUCTURE ACCELERATION PADA
STRUKTUR SINGLE POINT MOORING

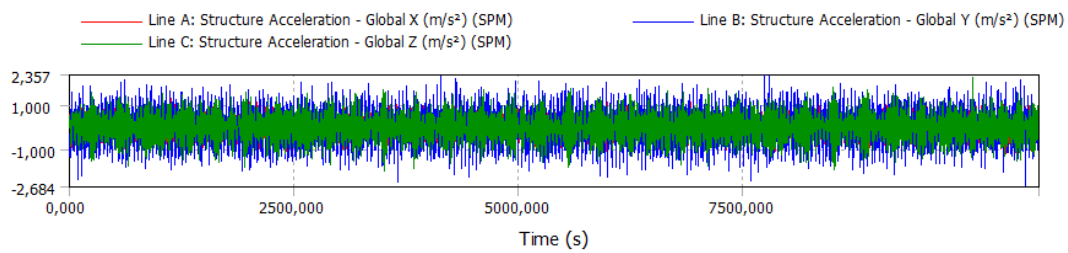
LIGHT 0



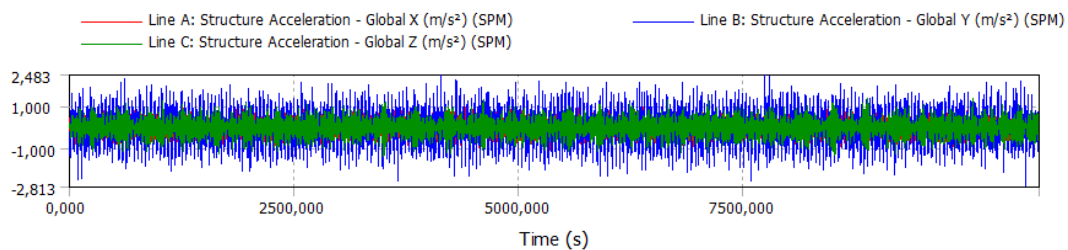
LIGHT 30



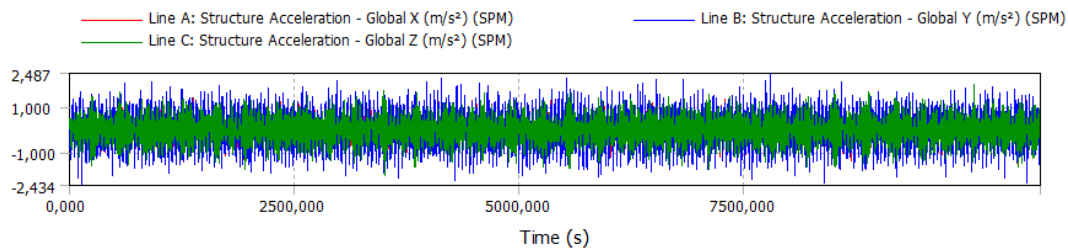
LIGHT 60



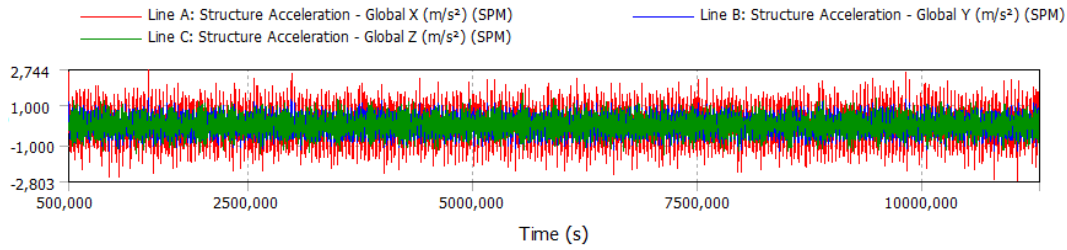
LIGHT 90



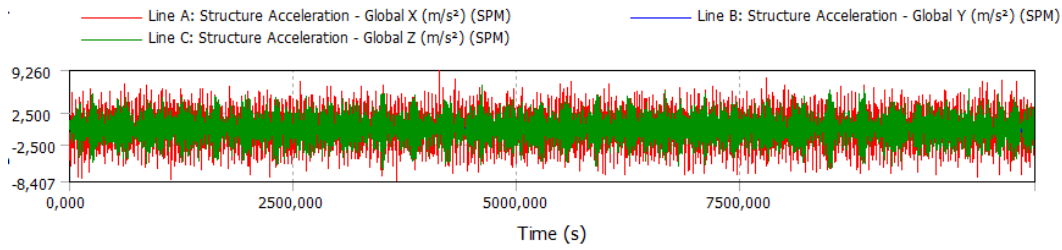
LIGHT 120



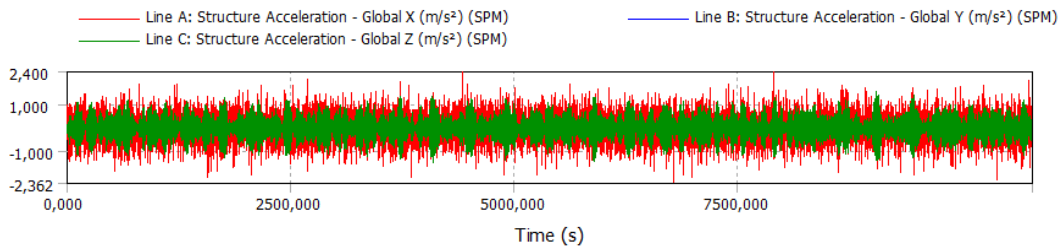
LIGHT 150



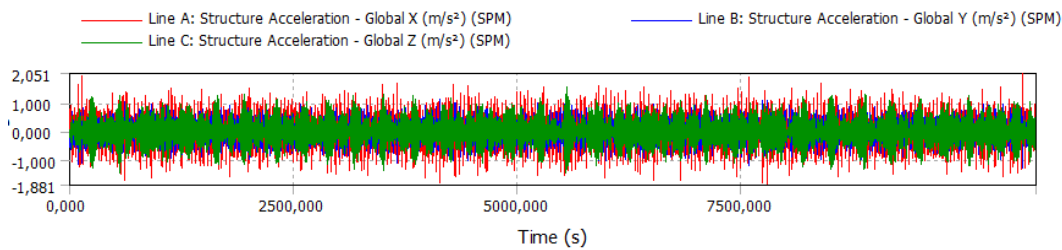
LIGHT 180



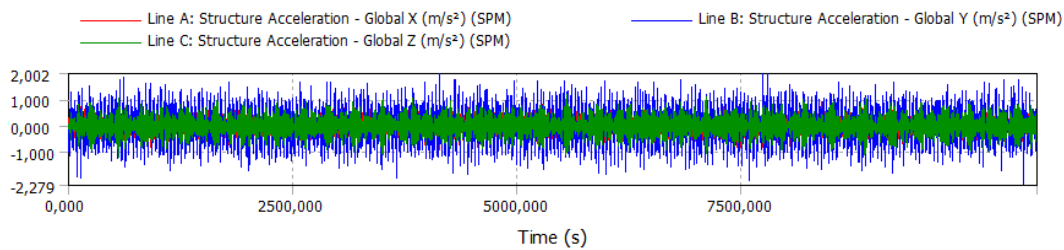
FULL 0



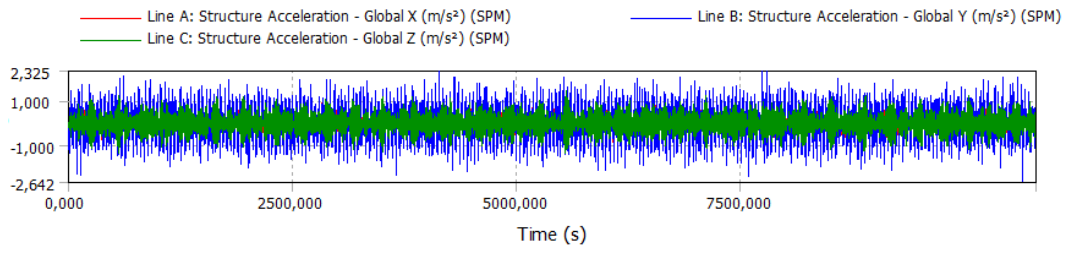
FULL 30



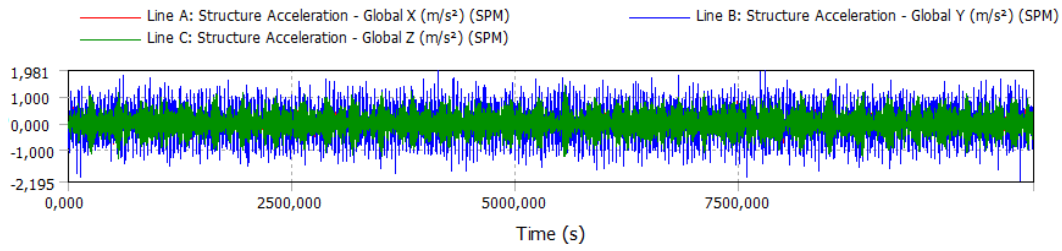
FULL 60



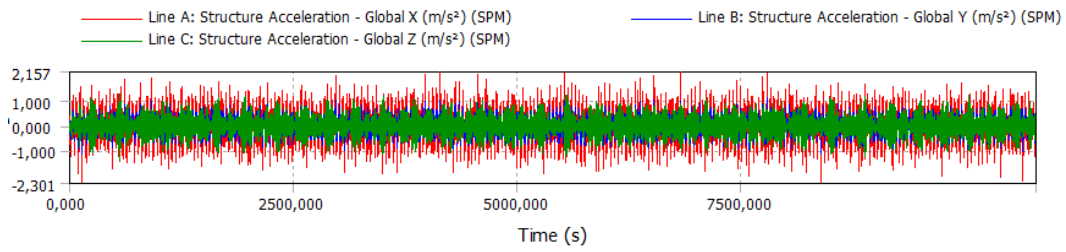
FULL 90



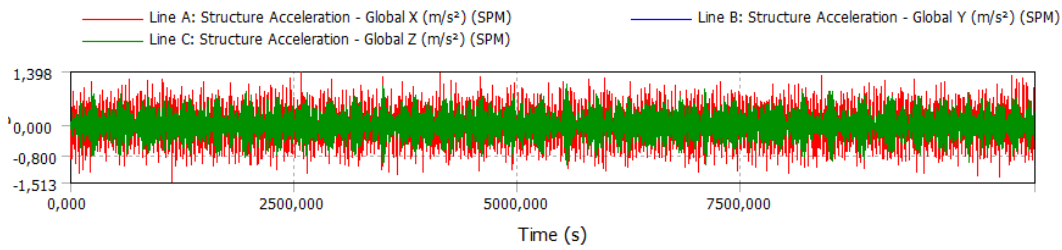
FULL 120



FULL 150



FULL 180



LAMPIRAN F
PERHITUNGAN *HYDROSTATIC PRESSURE* DAN
STRUCTURE ACCELERATION

Massa SPM = 255340 kg

L0

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	571,506	5954,81	-1,190	6,130	0,610
Anchor Leg 2	495,357	5954,81	-1,190	6,130	0,610
Anchor Leg 3	488,374	4867,89	-0,290	1,990	1,400
Anchor Leg 4	402,075	4867,89	-0,290	1,990	1,400
Anchor Leg 5	490,427	4867,89	-0,290	1,990	1,400
Anchor Leg 6	454,117	5954,81	-1,190	6,130	0,610
Hawser 1	989,119	5951,00	-0,570	8,010	0,770
Hawser 2	997,068	5951,00	-0,570	8,010	0,770
		5954,81	-0,698	5,048	0,946

L30

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	526,76	645,17	1,650	-0,980	-0,890
Anchor Leg 2	463,406	295,36	-0,220	0,160	-1,410
Anchor Leg 3	455,681	1048,85	-0,890	0,500	-0,640
Anchor Leg 4	453,883	1048,85	-0,890	0,500	-0,640
Anchor Leg 5	461,769	325,61	1,260	-0,740	-1,000
Anchor Leg 6	529,895	645,17	1,650	-0,980	-0,890
Hawser 1	891,197	5611,90	-1,000	0,520	0,510
Hawser 2	896,656	5611,90	-1,000	0,520	0,510
		5611,90	0,070	-0,063	-0,556

L60

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	487,398	6708,88	0,520	-0,950	2,241
Anchor Leg 2	481,096	6312,12	0,240	-0,210	1,650
Anchor Leg 3	459,44	6443,50	0,590	-0,690	1,740
Anchor Leg 4	474,721	6596,61	-0,220	1,140	1,330
Anchor Leg 5	489,184	6532,58	0,370	-1,980	1,540
Anchor Leg 6	498,363	6049,38	-0,860	0,970	0,750
Hawser 1	845,5	6520,90	-0,430	3,750	1,690
Hawser 2	847,91	6520,90	-0,430	3,750	1,690
		6708,88	-0,028	0,723	1,579

L90

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	463,76	5655,29	-0,260	1,550	0,690
Anchor Leg 2	420,98	5794,69	-0,230	-0,670	1,240
Anchor Leg 3	418,69	5794,69	-0,230	-0,670	1,240
Anchor Leg 4	448,03	5941,73	-0,150	1,170	1,130
Anchor Leg 5	470,35	5494,07	0,160	1,330	0,530
Anchor Leg 6	476,91	5655,29	-0,260	1,550	0,690
Hawser 1	909,69	5720,46	0,570	0,190	0,970
Hawser 2	923,45	5720,46	0,570	0,190	0,970
		5941,73	0,021	0,580	0,933

L120

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	461,255	462,57	0,460	0,450	-1,420
Anchor Leg 2	451,549	1076,25	1,620	2,210	-0,900
Anchor Leg 3	464,035	33,18	-2,550	0,220	-1,660
Anchor Leg 4	481,65	154,57	-0,130	-6,580	-1,750
Anchor Leg 5	615,525	558,84	-0,860	-1,870	-0,990
Anchor Leg 6	492,012	558,84	-0,860	-1,870	-0,990
Hawser 1	892,444	6024,84	-0,140	0,190	0,480
Hawser 2	919,116	6024,84	-0,140	0,190	0,480
		6024,84	-0,325	-0,883	-0,844

L150

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	442,57	5316,18	-0,980	-0,650	0,990
Anchor Leg 2	395,26	5316,18	-0,980	-0,650	0,990
Anchor Leg 3	596,23	5726,89	-0,190	-0,260	1,110
Anchor Leg 4	605,80	5383,36	-7,470	6,690	0,430
Anchor Leg 5	599,17	1724,36	-0,440	-0,110	-0,240
Anchor Leg 6	422,92	5670,519	-0,11	-0,140	0,710
Hawser 1	859,27	5459,31	2,190	1,170	0,420
Hawser 2	862,03	5459,31	2,190	1,170	0,420
		5007,01	-0,724	0,903	0,604

L180

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	433,58	5344,57	-7,160	9,890	0,600
Anchor Leg 2	413,47	5344,57	-7,160	9,890	0,600
Anchor Leg 3	610,75	5312,89	-0,120	3,270	0,560
Anchor Leg 4	615,16	5012,48	0,370	-1,580	0,110
Anchor Leg 5	610,27	5211,07	0,440	6,330	0,310
Anchor Leg 6	411,95	5344,57	-7,160	9,890	0,600
Hawser 1	810,056	4828,20	8,950	1,480	0,130
Hawser 2	815,481	4828,20	8,950	1,480	0,130
		5344,57	0,610	4,394	0,349

F0

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	417,554	6528,37	-1,200	-2,860	1,340
Anchor Leg 2	301,662	6528,37	-1,200	-2,860	1,340
Anchor Leg 3	203,745	6399,35	0,750	7,000	1,230
Anchor Leg 4	201,992	5925,79	1,590	9,590	0,910
Anchor Leg 5	208,384	6399,35	0,750	7,000	1,230
Anchor Leg 6	407,878	6528,37	-1,200	-2,860	1,340
Hawser 1	763,59	6475,872	-1,900	-6,180	1,410
Hawser 2	766,619	6475,872	-1,900	-6,180	1,410
		6528,37	-0,539	0,331	1,276

F30

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	450,159	5866,65	-0,820	0,520	0,990
Anchor Leg 2	303,391	6093,83	0,470	-0,280	1,250
Anchor Leg 3	329,753	6129,89	-0,230	0,170	1,320
Anchor Leg 4	326,429	6129,89	-0,230	0,170	1,320
Anchor Leg 5	312,426	6093,83	0,470	-0,280	1,250
Anchor Leg 6	467,402	5866,65	-0,820	0,520	0,990
Hawser 1	611,501	5866,65	-0,820	0,520	0,990
Hawser 2	622,527	5866,65	-0,820	0,520	0,990
		6129,89	-0,350	0,233	1,138

F60

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	335,135	5497,79	-0,620	0,780	0,630
Anchor Leg 2	323,126	5769,88	-0,240	0,230	1,023
Anchor Leg 3	265,175	5712,03	-0,100	-0,250	0,910
Anchor Leg 4	290,818	6033,03	-0,140	0,420	1,220
Anchor Leg 5	372,368	5454,11	-0,260	1,080	0,870
Anchor Leg 6	481,774	5598,25	-0,590	0,910	0,770
Hawser 1	642,31	5598,25	-0,590	0,910	0,770
Hawser 2	651,47	5598,25	-0,590	0,910	0,770
		6033,03	-0,391	0,624	0,870

F90

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	324,978	6541,08	0,350	0,490	1,460
Anchor Leg 2	295,271	6038,05	-0,520	-1,390	1,000
Anchor Leg 3	312,166	6038,05	-0,520	-1,390	1,000
Anchor Leg 4	324,538	5849,93	0,760	-8,190	0,850
Anchor Leg 5	493,908	5851,40	0,430	-2,790	-0,680
Anchor Leg 6	436,149	5902,82	5,930	1,020	0,810
Hawser 1	697,759	6066,66	-0,190	0,290	1,060
Hawser 2	703,271	6066,66	-0,190	0,290	1,060
		6541,08	0,756	-1,459	0,820

F120

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	293,851	5710,01	-0,560	-1,100	0,980
Anchor Leg 2	315,619	5817,27	-0,430	-0,720	0,950
Anchor Leg 3	317,012	6263,37	0,430	0,330	1,420
Anchor Leg 4	361,638	926,68	0,920	0,940	0,870
Anchor Leg 5	496,968	5681,47	0,610	0,840	0,830
Anchor Leg 6	367,727	5802,84	0,380	0,620	0,950
Hawser 1	701,341	4968,77	0,270	0,410	0,340
Hawser 2	707,803	4968,77	0,270	0,410	0,340
		6263,37	0,236	0,216	0,835

F150

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	300,20	5980,28	0,260	0,160	1,190
Anchor Leg 2	287,25	5980,28	0,260	0,160	1,190
Anchor Leg 3	349,79	6015,17	0,310	8,970	1,290
Anchor Leg 4	415,88	5883,43	0,390	7,310	1,020
Anchor Leg 5	403,71	5883,43	0,390	7,310	1,020
Anchor Leg 6	344,41	5980,28	0,260	0,160	1,190
Hawser 1	709,31	1606,78	0,980	0,500	-5,970
Hawser 2	714,43	1606,78	0,980	0,500	-5,970
		6015,17	0,479	3,134	-0,630

F180

	Tension (kN)	Hydrostatic Pressure (kN)	Acceleration (m/s ²)		
			x	y	z
Anchor Leg 1	341,171	5187,95	-0,310	-6,760	0,650
Anchor Leg 2	368,237	5580,88	-0,110	2,830	1,050
Anchor Leg 3	392,131	5255,11	1,020	3,710	0,630
Anchor Leg 4	435,562	5255,11	1,020	3,710	0,630
Anchor Leg 5	396,643	5255,11	1,020	3,710	0,630
Anchor Leg 6	372,684	5580,88	-0,110	2,830	1,050
Hawser 1	614,212	5117,60	-0,270	5,790	0,490
Hawser 2	617,416	5117,60	-0,270	5,790	0,490
		5580,88	0,249	2,701	0,703

LAMPIRAN G
PERHITUNGAN UMUR KELELAHAN
STRUKTUR *SINGLE POINT MOORING*

LC-1			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	106,06	1,12	118,79
A1-2	105,44	1,12	118,09
A2-1	80,72	1,12	90,41
A2-2	66,89	1,12	74,92
A3-1	88,23	1,12	98,82
A3-2	93,99	1,12	105,27
A4-1	66,92	1,12	74,95
A4-2	86,37	1,12	96,73
A5-1	68,47	1,12	76,69
A5-2	96,15	1,12	107,69
A6-1	67,28	1,12	75,35
A6-2	70,17	1,12	78,59

LC-8			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	43,36	1,12	48,56
A1-2	33,77	1,12	37,82
A2-1	61,45	1,12	68,82
A2-2	50,06	1,12	56,07
A3-1	52,99	1,12	59,35
A3-2	62,89	1,12	70,44
A4-1	55,44	1,12	62,09
A4-2	55,06	1,12	61,67
A5-1	52,73	1,12	59,06
A5-2	64,95	1,12	72,74
A6-1	46,48	1,12	52,06
A6-2	43,72	1,12	48,97

LC-2			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	93,74	1,12	104,99
A1-2	99,59	1,12	111,54
A2-1	59,96	1,12	67,16
A2-2	66,93	1,12	74,96
A3-1	80,83	1,12	90,53
A3-2	83,74	1,12	93,79
A4-1	47,68	1,12	53,40
A4-2	57,53	1,12	64,43
A5-1	85,69	1,12	95,97
A5-2	60,26	1,12	67,49
A6-1	89,47	1,12	100,21
A6-2	90,83	1,12	101,73

LC-9			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	34,48	1,12	38,62
A1-2	37,53	1,12	42,03
A2-1	39,63	1,12	44,39
A2-2	39,39	1,12	44,12
A3-1	47,99	1,12	53,75
A3-2	38,64	1,12	43,28
A4-1	38,69	1,12	43,33
A4-2	43,06	1,12	48,23
A5-1	41,21	1,12	46,16
A5-2	46,88	1,12	52,51
A6-1	37,63	1,12	42,15
A6-2	38,66	1,12	43,30

LC-3			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	53,03	1,12	59,39
A1-2	77,46	1,12	86,76
A2-1	69,17	1,12	77,47
A2-2	79,39	1,12	88,92
A3-1	93,71	1,12	104,96
A3-2	59,35	1,12	66,47
A4-1	55,09	1,12	61,70
A4-2	54,43	1,12	60,96
A5-1	93,64	1,12	104,88
A5-2	74,38	1,12	83,31
A6-1	94,64	1,12	106,00
A6-2	97,75	1,12	109,48

LC-10			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	49,59	1,12	55,54
A1-2	47,13	1,12	52,79
A2-1	50,13	1,12	56,15
A2-2	47,94	1,12	53,69
A3-1	42,64	1,12	47,76
A3-2	45,66	1,12	51,14
A4-1	45,42	1,12	58,96
A4-2	56,49	1,12	58,96
A5-1	45,85	1,12	58,96
A5-2	47,35	1,12	58,96
A6-1	40,83	1,12	45,73
A6-2	41,36	1,12	46,32

LC-4			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	56,24	1,12	62,99
A1-2	65,65	1,12	73,53
A2-1	66,56	1,12	74,55
A2-2	72,43	1,12	81,12
A3-1	88,60	1,12	99,23
A3-2	80,98	1,12	90,70
A4-1	87,35	1,12	97,83
A4-2	74,33	1,12	83,25
A5-1	89,6	1,12	100,35
A5-2	101,34	1,12	113,50
A6-1	90,98	1,12	101,90
A6-2	101,37	1,12	113,53

LC-11			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	55,3	1,12	61,94
A1-2	57,65	1,12	64,57
A2-1	48,29	1,12	54,08
A2-2	35,72	1,12	40,01
A3-1	42,61	1,12	47,72
A3-2	46,47	1,12	52,05
A4-1	44,71	1,12	50,08
A4-2	47,39	1,12	53,08
A5-1	35,72	1,12	40,01
A5-2	40,61	1,12	45,48
A6-1	39,66	1,12	44,42
A6-2	41,77	1,12	46,78

LC-5			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	52,39	1,12	58,68
A1-2	67,69	1,12	75,81
A2-1	53,13	1,12	59,51
A2-2	63,76	1,12	71,41
A3-1	88,64	1,12	99,28
A3-2	97,92	1,12	109,67
A4-1	92,35	1,12	103,43
A4-2	91,65	1,12	102,65
A5-1	98,17	1,12	109,95
A5-2	98,92	1,12	110,79
A6-1	45,89	1,12	51,40
A6-2	60,60	1,12	67,87

LC-12			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	47,28	1,12	52,95
A1-2	43,15	1,12	48,33
A2-1	40,01	1,12	44,81
A2-2	39,88	1,12	44,67
A3-1	34,8	1,12	38,98
A3-2	42,84	1,12	47,98
A4-1	36,99	1,12	41,43
A4-2	45,89	1,12	51,40
A5-1	32,59	1,12	36,50
A5-2	33,8	1,12	37,86
A6-1	41,91	1,12	46,94
A6-2	45,11	1,12	50,52

LC-6			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	54,64	1,12	61,20
A1-2	69,53	1,12	77,87
A2-1	62,34	1,12	69,82
A2-2	71,98	1,12	80,62
A3-1	80,59	1,12	90,26
A3-2	62,34	1,12	69,82
A4-1	90,59	1,12	101,46
A4-2	97,09	1,12	108,74
A5-1	91,06	1,12	101,99
A5-2	103,86	1,12	116,32
A6-1	57,79	1,12	64,72
A6-2	58,02	1,12	64,98

LC-13			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	49,25	1,12	55,16
A1-2	52,82	1,12	59,16
A2-1	45,18	1,12	50,60
A2-2	43,49	1,12	48,71
A3-1	49,96	1,12	55,96
A3-2	51,47	1,12	57,65
A4-1	35,98	1,12	40,30
A4-2	39,97	1,12	44,77
A5-1	39,96	1,12	44,76
A5-2	42,49	1,12	47,59
A6-1	45,98	1,12	51,50
A6-2	55,25	1,12	61,88

LC-7			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	61,71	1,12	69,12
A1-2	63,41	1,12	71,02
A2-1	57,99	1,12	64,95
A2-2	77,07	1,12	86,32
A3-1	52,29	1,12	58,56
A3-2	58,78	1,12	65,83
A4-1	78,07	1,12	87,44
A4-2	90,08	1,12	100,89
A5-1	69,81	1,12	78,19
A5-2	70,08	1,12	78,49
A6-1	71,31	1,12	79,87
A6-2	74,53	1,12	83,47

LC-14			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	49,22	1,12	55,13
A1-2	61,71	1,12	69,12
A2-1	57,27	1,12	64,14
A2-2	70,64	1,12	79,12
A3-1	45,52	1,12	50,98
A3-2	51,56	1,12	57,75
A4-1	43,36	1,12	48,56
A4-2	45,36	1,12	50,80
A5-1	51,41	1,12	57,58
A5-2	64,64	1,12	72,40
A6-1	60,19	1,12	67,41
A6-2	64,52	1,12	72,26

LC-15			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	95,87	1,12	107,37
A1-2	96,20	1,12	107,74
A2-1	66,91	1,12	74,94
A2-2	70,39	1,12	78,84
A3-1	86,38	1,12	96,75
A3-2	90,05	1,12	100,86
A4-1	59,45	1,12	66,58
A4-2	75,94	1,12	85,05
A5-1	86,24	1,12	96,59
A5-2	63,94	1,12	71,61
A6-1	41,49	1,12	46,47
A6-2	61,87	1,12	69,29

LC-22			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	35,89	1,12	40,20
A1-2	36,15	1,12	40,49
A2-1	43,55	1,12	48,78
A2-2	37,89	1,12	42,44
A3-1	38,15	1,12	42,73
A3-2	46,41	1,12	51,98
A4-1	39,48	1,12	44,22
A4-2	45,85	1,12	51,35
A5-1	38,83	1,12	43,49
A5-2	48,04	1,12	53,80
A6-1	38,83	1,12	43,49
A6-2	46,41	1,12	51,98

LC-16			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	82,23	1,12	92,10
A1-2	93,42	1,12	104,63
A2-1	56,12	1,12	62,85
A2-2	62,9	1,12	70,45
A3-1	66,89	1,12	74,92
A3-2	62,23	1,12	69,70
A4-1	46,33	1,12	51,89
A4-2	52,57	1,12	58,88
A5-1	62,73	1,12	70,26
A5-2	73,42	1,12	82,23
A6-1	72,73	1,12	81,46
A6-2	72,9	1,12	81,65

LC-23			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	33,25	1,12	37,24
A1-2	40,22	1,12	45,05
A2-1	42,49	1,12	47,59
A2-2	46,25	1,12	51,80
A3-1	43,25	1,12	48,44
A3-2	46,78	1,12	52,39
A4-1	45,04	1,12	50,44
A4-2	42,98	1,12	48,14
A5-1	42,22	1,12	47,29
A5-2	45,64	1,12	51,12
A6-1	40,98	1,12	45,90
A6-2	41,52	1,12	46,50

LC-17			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	59,06	1,12	66,15
A1-2	59,38	1,12	66,51
A2-1	52,04	1,12	58,28
A2-2	73,16	1,12	81,94
A3-1	69,97	1,12	78,37
A3-2	72,16	1,12	80,82
A4-1	55,92	1,12	62,63
A4-2	68,74	1,12	76,99
A5-1	76,53	1,12	85,71
A5-2	74,99	1,12	83,99
A6-1	83,16	1,12	93,14
A6-2	84,99	1,12	95,19

LC-24			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	48,15	1,12	53,93
A1-2	55,36	1,12	62,00
A2-1	48,79	1,12	54,64
A2-2	43,35	1,12	48,55
A3-1	42,51	1,12	47,61
A3-2	49,61	1,12	55,56
A4-1	44,52	1,12	49,86
A4-2	52,80	1,12	59,14
A5-1	43,99	1,12	49,27
A5-2	52,55	1,12	58,86
A6-1	41,99	1,12	47,03
A6-2	42,35	1,12	47,43

LC-18			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	61,16	1,12	68,50
A1-2	60,87	1,12	68,17
A2-1	48,22	1,12	54,01
A2-2	68,41	1,12	76,62
A3-1	81,58	1,12	91,37
A3-2	74,29	1,12	83,20
A4-1	81,03	1,12	90,75
A4-2	62,02	1,12	69,46
A5-1	82,34	1,12	92,22
A5-2	83,03	1,12	92,99
A6-1	82,58	1,12	92,49
A6-2	98,29	1,12	110,08

LC-25			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	47,89	1,12	53,64
A1-2	55,52	1,12	62,18
A2-1	43,71	1,12	48,96
A2-2	48,89	1,12	54,76
A3-1	40,23	1,12	45,06
A3-2	42,95	1,12	48,10
A4-1	40,25	1,12	45,08
A4-2	41,09	1,12	46,02
A5-1	33,25	1,12	37,24
A5-2	38,91	1,12	43,58
A6-1	38,89	1,12	43,56
A6-2	39,28	1,12	43,99

LC-19			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	52,19	1,12	58,45
A1-2	62,87	1,12	70,41
A2-1	60,93	1,12	68,24
A2-2	57,22	1,12	64,09
A3-1	77,33	1,12	86,61
A3-2	74,29	1,12	83,20
A4-1	75,45	1,12	84,50
A4-2	70,95	1,12	79,46
A5-1	78,33	1,12	87,73
A5-2	84,29	1,12	94,40
A6-1	41,27	1,12	46,22
A6-2	54,42	1,12	60,95

LC-26			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	47,56	1,12	53,27
A1-2	54,26	1,12	60,77
A2-1	45,36	1,12	50,80
A2-2	41,07	1,12	46,00
A3-1	39,55	1,12	44,30
A3-2	45,72	1,12	51,21
A4-1	39,29	1,12	44,00
A4-2	42,12	1,12	47,17
A5-1	36,55	1,12	40,94
A5-2	38,29	1,12	42,88
A6-1	46,89	1,12	52,52
A6-2	48,6	1,12	54,43

LC-20			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	41,32	1,12	46,28
A1-2	68,51	1,12	76,73
A2-1	68,22	1,12	76,41
A2-2	52,49	1,12	58,79
A3-1	68,73	1,12	76,98
A3-2	62,15	1,12	69,61
A4-1	73,15	1,12	81,93
A4-2	76,92	1,12	86,15
A5-1	75,28	1,12	84,31
A5-2	83,23	1,12	93,22
A6-1	48,74	1,12	54,59
A6-2	54,19	1,12	60,69

LC-27			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	38,88	1,12	43,55
A1-2	49,54	1,12	55,48
A2-1	47,77	1,12	53,50
A2-2	42,25	1,12	47,32
A3-1	37,99	1,12	42,55
A3-2	44,76	1,12	50,13
A4-1	27,93	1,12	31,28
A4-2	36,73	1,12	41,14
A5-1	36,25	1,12	40,60
A5-2	36,99	1,12	41,43
A6-1	37,93	1,12	42,48
A6-2	38,27	1,12	42,86

LC-21			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	46,06	1,12	51,59
A1-2	68,07	1,12	76,24
A2-1	68,21	1,12	76,40
A2-2	57,58	1,12	64,49
A3-1	67,58	1,12	75,69
A3-2	62,47	1,12	69,97
A4-1	72,83	1,12	81,57
A4-2	85,07	1,12	95,28
A5-1	65,07	1,12	72,88
A5-2	65,07	1,12	72,88
A6-1	45,89	1,12	51,40
A6-2	40,12	1,12	44,93

LC-28			
Code	Maximum Principal Stress [Mpa]	Factor	Hot-spot Stress [Mpa]
A1-1	45,85	1,12	51,35
A1-2	57,34	1,12	64,22
A2-1	51,67	1,12	57,87
A2-2	44,09	1,12	49,38
A3-1	39,63	1,12	44,39
A3-2	46,09	1,12	51,62
A4-1	38,98	1,12	43,66
A4-2	39,21	1,12	43,92
A5-1	47,16	1,12	52,82
A5-2	53,25	1,12	59,64
A6-1	40,98	1,12	45,90
A6-2	40,29	1,12	45,12

LC-1 / LC-8			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	118,79	48,56	70,22
A1-2	118,09	37,82	80,27
A2-1	90,41	68,82	21,58
A2-2	74,92	56,07	18,85
A3-1	98,82	59,35	39,47
A3-2	105,27	70,44	34,83
A4-1	74,95	62,09	12,86
A4-2	96,73	61,67	35,07
A5-1	76,69	59,06	17,63
A5-2	107,69	72,74	34,94
A6-1	75,35	52,06	23,30
A6-2	78,59	48,97	29,62

LC-3 / LC-10			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	59,39	55,54	3,85
A1-2	86,76	52,79	33,97
A2-1	77,47	56,15	21,32
A2-2	88,92	53,69	35,22
A3-1	104,96	47,76	57,20
A3-2	66,47	51,14	15,33
A4-1	61,70	58,96	2,74
A4-2	60,96	58,96	2,00
A5-1	104,88	58,96	45,92
A5-2	83,31	58,96	24,35
A6-1	106,00	45,73	60,27
A6-2	109,48	46,32	63,16

LC-2 / LC-9			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	104,99	38,62	66,37
A1-2	111,54	42,03	69,51
A2-1	67,16	44,39	22,77
A2-2	74,96	44,12	30,84
A3-1	90,53	53,75	36,78
A3-2	93,79	43,28	50,51
A4-1	53,40	43,33	10,07
A4-2	64,43	48,23	16,21
A5-1	95,97	46,16	49,82
A5-2	67,49	52,51	14,99
A6-1	100,21	42,15	58,06
A6-2	101,73	43,30	58,43

LC-4 / LC-11			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	62,99	61,94	1,05
A1-2	73,53	64,57	8,96
A2-1	74,55	54,08	20,46
A2-2	81,12	40,01	41,12
A3-1	99,23	47,72	51,51
A3-2	90,70	52,05	38,65
A4-1	97,83	50,08	47,76
A4-2	83,25	53,08	30,17
A5-1	100,35	40,01	60,35
A5-2	113,50	45,48	68,02
A6-1	101,90	44,42	57,48
A6-2	113,53	46,78	66,75

LC-5 / LC-12			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	58,68	52,95	5,72
A1-2	75,81	48,33	27,48
A2-1	59,51	44,81	14,69
A2-2	71,41	44,67	26,75
A3-1	99,28	38,98	60,30
A3-2	109,67	47,98	61,69
A4-1	103,43	41,43	62,00
A4-2	102,65	51,40	51,25
A5-1	109,95	36,50	73,45
A5-2	110,79	37,86	72,93
A6-1	51,40	46,94	4,46
A6-2	67,87	50,52	17,35

LC-7 / LC-14			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	69,12	55,13	13,99
A1-2	71,02	69,12	1,90
A2-1	64,95	64,14	0,81
A2-2	86,32	79,12	7,20
A3-1	58,56	50,98	7,58
A3-2	65,83	57,75	8,09
A4-1	87,44	48,56	38,88
A4-2	100,89	50,80	50,09
A5-1	78,19	57,58	20,61
A5-2	78,49	72,40	6,09
A6-1	79,87	67,41	12,45
A6-2	83,47	72,26	11,21

LC-6 / LC-13			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	61,20	55,16	6,04
A1-2	77,87	59,16	18,72
A2-1	69,82	50,60	19,22
A2-2	80,62	48,71	31,91
A3-1	90,26	55,96	34,31
A3-2	69,82	57,65	12,17
A4-1	101,46	40,30	61,16
A4-2	108,74	44,77	63,97
A5-1	101,99	44,76	57,23
A5-2	116,32	47,59	68,73
A6-1	64,72	51,50	13,23
A6-2	64,98	61,88	3,10

LC-15 / LC-22			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	107,37	40,20	67,18
A1-2	107,74	40,49	67,26
A2-1	74,94	48,78	26,16
A2-2	78,84	42,44	36,40
A3-1	96,75	42,73	54,02
A3-2	100,86	51,98	48,88
A4-1	66,58	44,22	22,37
A4-2	85,05	51,35	33,70
A5-1	96,59	43,49	53,10
A5-2	71,61	53,80	17,81
A6-1	46,47	43,49	2,98
A6-2	69,29	51,98	17,32

LC-16 / LC-23			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	92,10	37,24	54,86
A1-2	104,63	45,05	59,58
A2-1	62,85	47,59	15,27
A2-2	70,45	51,80	18,65
A3-1	74,92	48,44	26,48
A3-2	69,70	52,39	17,30
A4-1	51,89	50,44	1,44
A4-2	58,88	48,14	10,74
A5-1	70,26	47,29	22,97
A5-2	82,23	51,12	31,11
A6-1	81,46	45,90	35,56
A6-2	81,65	46,50	35,15

LC-18 / LC-25			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	68,50	53,64	14,86
A1-2	68,17	62,18	5,99
A2-1	54,01	48,96	5,05
A2-2	76,62	54,76	21,86
A3-1	91,37	45,06	46,31
A3-2	83,20	48,10	35,10
A4-1	90,75	45,08	45,67
A4-2	69,46	46,02	23,44
A5-1	92,22	37,24	54,98
A5-2	92,99	43,58	49,41
A6-1	92,49	43,56	48,93
A6-2	110,08	43,99	66,09

LC-17 / LC-24			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	66,15	53,93	12,22
A1-2	66,51	62,00	4,50
A2-1	58,28	54,64	3,64
A2-2	81,94	48,55	33,39
A3-1	78,37	47,61	30,76
A3-2	80,82	55,56	25,26
A4-1	62,63	49,86	12,77
A4-2	76,99	59,14	17,85
A5-1	85,71	49,27	36,44
A5-2	83,99	58,86	25,13
A6-1	93,14	47,03	46,11
A6-2	95,19	47,43	47,76

LC-19 / LC-26			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	58,45	53,27	5,19
A1-2	70,41	60,77	9,64
A2-1	68,24	50,80	17,44
A2-2	64,09	46,00	18,09
A3-1	86,61	44,30	42,31
A3-2	83,20	51,21	32,00
A4-1	84,50	44,00	40,50
A4-2	79,46	47,17	32,29
A5-1	87,73	40,94	46,79
A5-2	94,40	42,88	51,52
A6-1	46,22	52,52	6,29
A6-2	60,95	54,43	6,52

LC-20 / LC-27			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	46,28	43,55	2,73
A1-2	76,73	55,48	21,25
A2-1	76,41	53,50	22,90
A2-2	58,79	47,32	11,47
A3-1	76,98	42,55	34,43
A3-2	69,61	50,13	19,48
A4-1	81,93	31,28	50,65
A4-2	86,15	41,14	45,01
A5-1	84,31	40,60	43,71
A5-2	93,22	41,43	51,79
A6-1	54,59	42,48	12,11
A6-2	60,69	42,86	17,83

LC-21 / LC-28			
Code	Hot-spot Stress Maximum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Minimum Tension [Mpa]	Hot-spot Stress Range [Mpa]
A1-1	51,59	51,35	0,24
A1-2	76,24	64,22	12,02
A2-1	76,40	57,87	18,52
A2-2	64,49	49,38	15,11
A3-1	75,69	44,39	31,30
A3-2	69,97	51,62	18,35
A4-1	81,57	43,66	37,91
A4-2	95,28	43,92	51,36
A5-1	72,88	52,82	20,06
A5-2	72,88	59,64	13,24
A6-1	51,40	45,90	5,50
A6-2	40,12	40,29	0,17

BIODATA PENULIS



Wiradhani Pratama dilahirkan di Kota Surabaya pada 16 Maret 1993. Lahir dari keluarga yang sederhana yang merupakan anak pertama dari 2 bersaudara pasangan Hadi Prajitno dan Widi Kusmijati. Penulis menempuh pendidikan SD, SMP dan SMA di Sidoarjo. Setelah itu, tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya melalui jalur SNMPTN-Undangan. Selama di bangku perkuliahan penulis aktif di berbagai organisasi mahasiswa, kegiatan sosial, dan kegiatan-kegiatan yang lain. Penulis pernah tergabung dalam beberapa organisasi dalam maupun luar kampus, antara lain Badan Koordinasi Pemandu FTK sebagai pencetus sekaligus ketua pertama, Badan Eksekutif Mahasiswa FTK sebagai staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa dan ketua Departemen Sosial Masyarakat, UKM Fotografi ITS atau UKAFO sebagai staf Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa, LDJ Bahrul Ilmi sebagai staf Departemen Syi'ar, LDF Al Bahri sebagai ketua Departemen Kaderisasi, aktif dalam kegiatan-kegiatan yang dilaksanakan oleh Kementerian Sosial Masyarakat Badan Eksekutif Mahasiswa ITS, dan Gerakan Mahasiswa Surabaya sebagai calon anggota. Penulis pernah beberapa kali mendapatkan dana dalam lomba PKM, salah satunya yaitu tentang pembangkit listrik tenaga arus laut sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif untuk daerah Indonesia Timur yang dinamakan APUNG (*floating breakwater power plant*) yang menghabiskan dana lebih dari 11 juta rupiah. Motto penulis ialah kesuksesan seseorang dilihat dari seberapa lama dia mampu bertahan untuk terus berkarya. Penulis yakin jika setiap orang selalu melakukan kebaikan untuk orang lain dan dirinya sendiri. Allah SWT pasti memberikan kemudahan dalam kehidupannya.

Contact Person: wiradhani.pratama@gmail.com