



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM STRUKTUR
CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY
MOORING TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING**

JAMHARI HIDAYAT BIN MUSTOFA

NRP. 4313 100 149

Dosen Pembimbing:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



FINAL PROJECT - MO141326

**THE ANALYSIS OF MAXIMUM STRESS IN CHAIN STOPPER
STRUCTURE OF HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING
DURING FSO OFFLOADING SYSTEM**

JAMHARI HIDAYAT BIN MUSTOFA

REG. 4313 100 149

Supervisor:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017



TUGAS AKHIR – MO141326

**ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM
STRUKTUR *CHAIN STOPPER* PADA
HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING
TERHADAP FSO SAAT SISTEM *OFFLOADING***

JAMHARI HIDAYAT BIN MUSTOFA
NRP. 4313 100 149

Dosen Pembimbing:
Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.
Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – MO141326

**THE ANALYSIS OF MAXIMUM STRESS IN
CHAIN STOPPER STRUCTURE OF
HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING
DURING FSO OFFLOADING SYSTEM**

JAMHARI HIDAYAT BIN MUSTOFA

REG. 4313 100 149

Supervisor:

Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.

Suntoyo, S.T., M. Eng., Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2017

**ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM STRUKTUR
CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY
MOORING TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING**

TUGAS AKHIR

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

Oleh:

JAMHARI HIDAYAT BIN MUSTOFA NRP. 4313100149

Disetujui oleh:

1. Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Dr.Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

6. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2017

ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM STRUKTUR CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING

ABSTRAK

Analisis kekuatan pada struktur *chain stopper* pada *hexagonal SBM CALM* sangat diperlukan karena memiliki peranan penting untuk penghubung antara *buoy* dengan *seabed* yang berjumlah enam berupa *stud less chain* dalam masa operasinya. Analisis kekuatan strukturnya mengacu pada besaran maksimum tegangan ekuivalen Von Mises dengan *software ANSYS Mechanical 16.2* untuk memenuhi kriteria jenis material ASTM A148 *Grade 105-85* (*yield stress* 585 MPa) yang beroperasi di titik perairan Kepulauan Seribu. Hasil analisis statis pada struktur tersebut menunjukkan telah memenuhi kriterianya dengan tegangan Von Mises maksimumnya sebesar 328.69 MPa/0.94 (operasi) dan 463.53 MPa/0.99 (badai). Analisis berawal dengan perhitungan manual untuk mengetahui perbedaan titik berat kapal FSO saat *full load* dan *ballast* dengan metode regresi statistik berdasarkan data kapal pada umumnya. Selanjutnya, kapal FSO dan *hexagonal SBM* dimodelkan dengan *software MOSES 7.0* untuk analisis respons strukturnya dan mendapatkan *outputnya* untuk *diinputkan* ke *software Orcaflex 9.2* untuk analisis tegangan maksimum tiap *mooring line*. Tegangan maksimum yang didapatkan dari tiap skenario analisis selalu terjadi pada *mooring line* ke-1 dengan konfigurasi sistem tambat baik saat *in line* maupun *between line* sebesar 1178.73 kN (operasi) dan 1662.27 kN (badai).

Kata kunci: *chain stopper, FSO, hexagonal SBM CALM, Von Mises tension.*

**THE ANALYSIS OF MAXIMUM STRESS IN CHAIN STOPPER
STRUCTURE OF HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING
DURING FSO OFFLOADING SYSTEM**

ABSTRACT

Strength analysis of chain stopper structure on Hexagonal SBM CALM is necessary because it has an important role to connect between buoy with seabed which amounts to six from stud less chain during its operation. Structural strength analysis refers to the maximum magnitude of Von Mises equivalent stress with ANSYS Mechanical 16.2 software to meet the criteria of material type ASTM A148 Grade 105-85 (yield stress 585 MPa) operating at the point of waters of the Kepulauan Seribu. the ABS 2014 (ASTM A36) criteria operating at the point of waters of Kepulauan Seribu. The result of static analysis on the structure shows that it has met the criteria with maximum Von Mises voltage of 328.69 MPa/0.94 (operation) and 463.53 MPa/0.99 (storm). The analysis begins with manual calculations to determine the difference of FSO vessel weight during full load and ballast with statistical regression method based on ship data in general. Furthermore, the FSO and hexagonal SBM vessels are modeled with MOSES 7.0 software for structural response analysis and obtaining their outputs for input into Orcaflex 9.2 software for maximum stress analysis of each mooring line. Maximum stress obtained from each scenario analysis always occurs on the 1st mooring line (with mooring system configuration in line and in line between) of 1178.73 kN (operation) and 1662.27 kN (storm).

Keywords: chain stopper, FSO, hexagonal SBM CALM, Von Mises tension.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanallahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya kepada semesta alam dan berkat ridho-Nya pula penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik yang berjudul **“ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSIMUM STRUKTUR CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING”**.

Tugas akhir ini merupakan salah satu kewajiban bagi mahasiswa Jurusan Teknik Kelautan untuk dapat memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas akhir ini membahas seputar bagaimana kekuatan struktur yang sebenarnya terjadi pada area *chain stopper* yang ada pada sistem tambat terapung (*Single Buoy Mooring*) ketika ditambat dengan kapal FSO saat beroperasi (*offloading*) di perairan Kepulauan Seribu.

Penulis menyadari bahwa di dunia ini tidak ada yang sempurna sehingga saran dan kritik yang membangun pada laporan ini sangat diharapkan agar dapat memberikan kemanfaatan yang seluas-luasnya bagi pembaca. Penulis juga berharap semoga tugas akhir ini dapat dijadikan pertimbangan dan menginspirasi untuk perancangan atau penelitian selanjutnya mengenai struktur *Single Buoy Mooring*.

Surabaya, 27 Juli 2017

Jamhari Hidayat Bin Mustofa

4313100149

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian laporan ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan oleh banyak pihak sehingga penulis mengucapkan rasa terima kasih atas segala bimbingan maupun bantuan berupa dukungan dan materi serta doa secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Keluarga penulis yang tidak pernah berhenti sejak awal memberikan doa, dukungan, dan bantuan materi sejak awal perkuliahan.
2. Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D., sebagai dosen pembimbing pertama yang telah bersedia membimbing penulis dalam penggerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Sunto, S.T., M.Eng., Ph.D., sebagai dosen pembimbing kedua yang juga turut meluangkan waktunya bagi penulis untuk asistensi tugas akhir ini.
4. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., sebagai dosen wali yang telah memberikan dukungan dan arahan bagi penulis selama berkuliah.
5. Karyawan Tata Usaha Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan – ITS, yang telah membantu mempersiapkan segala keperluan administrasi untuk perkuliahan dan tugas akhir.
6. Keluarga besar angkatan Valtameri L-31 yang selalu memberikan inspirasi dan semangat untuk penggerjaan tugas akhir.
7. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan inspirasi.

Semoga segala kebaikan atas bantuan dan dukungannya kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini mendapatkan balasan yang setimpal oleh Allah *subhanallahu wa ta'ala. Aamiin allahumma aamiin.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	2
1.3 TUJUAN	3
1.4 BATASAN MASALAH	3
1.5 MANFAAT	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.2 DASAR TEORI	8
2.2.1 <i>Floating Storage and Offloading (FSO)</i>	8
2.2.2 Teori Bangunan Apung	9
2.2.3 Teori Gerak Kapal.....	15
2.2.4 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Reguler	19
2.2.5 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak.....	23
2.2.6 Sistem Tambat (<i>Mooring System</i>).....	27
2.2.7 Analisis Dinamis	31

2.2.8 Tegangan Pada Struktur	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 METODE PENELITIAN.....	37
3.2 PENGUMPULAN DATA	40
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 PERMODELAN KAPAL FSO & <i>HEXAGONAL SBM</i>	45
4.2 SKENARIO ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR	48
4.2.1 Perhitungan Titik Berat Struktur.....	48
4.2.2 Perhitungan Radius Girasi Struktur	48
4.2.3 Skenario Pembebaan	49
4.2.4 Skenario Analisis	49
4.3 PERHITUNGAN DATA SEBARAN BEBAN LINGKUNGAN PADA PERAIRAN KEPULAUAN SERIBU	50
4.4 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR.....	54
4.4.1 Analisis Karakteristik Gerak Struktur pada Gelombang Reguler ...	54
4.4.2 Analisis Karakteristik Gerak Struktur pada Gelombang Acak	65
4.5 PERMODELAN SISTEM TAMBAT KAPAL DAN SBM.....	75
4.6 ANALISIS TEGANGAN PADA <i>MOORING LINE</i>	76
4.7 ANALISIS TEGANGAN PADA STRUKTUR <i>CHAIN STOPPER</i>	82
4.7.1 Pengonversian Data Model Struktur <i>Chain Stopper</i>	82
4.7.2 Analisis Sensitivitas <i>Meshing</i>	83
4.7.3 Pembebaan pada Struktur <i>Chain Stopper</i>	85
BAB V PENUTUP.....	88
5.1 KESIMPULAN	88
5.2 SARAN	90
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Contoh FSO milik perusahaan Maersk.....	8
Gambar II.2 Definisi-definisi ukuran utama kapal	11
Gambar II.3 Titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas kapal tampak samping	12
Gambar II.4 Titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas kapal tampak depan	12
Gambar II.5 Jari-jari girasi <i>rolling</i>	13
Gambar II.6 Jari-jari girasi <i>pitching</i>	14
Gambar II.7 Jari-jari girasi <i>yawing</i>	14
Gambar II.8 Sistem sumbu dan definisi gerakan bangunan terapung.....	15
Gambar II.9 Definisi gelombang reguler	20
Gambar II.10 Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung.....	22
Gambar II.11 Definisi spektrum energi gelombang.....	24
Gambar II.12 Transformasi spektrum gelombang menjadi spektrum respons	26
Gambar II.13 (a) <i>Single Buoy Mooring</i> ; (b) <i>External Turret Mooring</i>	27
Gambar II.14 Parameter <i>mooring line</i>	29
Gambar II.15 Distribusi tegangan pada sepanjang tegangan lentur.....	32
Gambar II.16 Tegangan lentur	33
Gambar II.17 Gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap penampang.....	34
Gambar II.18 Komponen tegangan dalam 3D	34
Gambar III.1 <i>Flow chart</i> penyelesaian tugas akhir	38
Gambar III.2 Lokasi titik operasi sistem tambat pada perairan Kepulauan Seribu	43
Gambar IV.1 Permodelan kapal FSO dengan <i>software MAXSURF Modeler</i>	45
Gambar IV.2 Permodelan kapal FSO dengan <i>software MOSES 7.0</i>	46
Gambar IV.3 Permodelan <i>hexagonal SBM</i> dengan <i>software MOSES 7.0</i>	47
Gambar IV.4 Grafik korelasi antara tinggi gelombang dan distribusi kumulatif .	52
Gambar IV.5 Grafik korelasi antara puncak periode gelombang dan distribusi kumulatif	52
Gambar IV.6 Grafik RAO <i>surge</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebahan	55
Gambar IV.7 Grafik RAO <i>sway</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebahan	56

Gambar IV.8 Grafik RAO <i>heave</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebangan	56
Gambar IV.9 Grafik RAO <i>roll</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebangan	57
Gambar IV.10 Grafik RAO <i>pitch</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebangan	58
Gambar IV.11 Grafik RAO <i>yaw</i> FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebangan	59
Gambar IV.12 Grafik RAO <i>surge</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	61
Gambar IV.13 Grafik RAO <i>sway</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	61
Gambar IV.14 Grafik RAO <i>heave</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	62
Gambar IV.15 Grafik RAO <i>roll</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	63
Gambar IV.16 Grafik RAO <i>pitch</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	63
Gambar IV.17 Grafik RAO <i>yaw</i> SBM dengan variasi arah pembebangan	64
Gambar IV.18 Perubahan tinggi gelombang signifikan spektrum gelombang JONSWAP	65
Gambar IV.19 Grafik spektrum <i>surge</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	66
Gambar IV.20 Grafik spektrum <i>sway</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	67
Gambar IV.21 Grafik spektrum <i>heave</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	67
Gambar IV.22 Grafik spektrum <i>roll</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	68
Gambar IV.23 Grafik spektrum <i>pitch</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	69
Gambar IV.24 Grafik spektrum <i>yaw</i> FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan	70
Gambar IV.25 Grafik spektrum <i>surge</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan	71
Gambar IV.26 Grafik spektrum <i>sway</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan	72

Gambar IV.27 Grafik spektrum <i>heave</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan.....	73
Gambar IV.28 Grafik spektrum <i>roll</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan.....	73
Gambar IV.29 Grafik spektrum <i>pitch</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan.....	74
Gambar IV.30 Grafik spektrum <i>yaw</i> SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan.....	74
Gambar IV.31 Konfigurasi <i>mooring line</i> pada kapal FSO dalam bentuk <i>in line</i> ..	76
Gambar IV.32 Konfigurasi <i>mooring line</i> pada kapal FSO dalam bentuk <i>between line</i>	76
Gambar IV.33 Tampak atas simulasi Orcaflex 9.2 kondisi 4 – OPERASI (7899.90 s).....	81
Gambar IV.34 Tampak atas simulasi Orcaflex 9.2 kondisi 3 – BADAII (10498.10 s)	82
Gambar IV.35 Model struktur <i>chain stopper</i> dari AutoCAD 2017 (.dwg).....	83
Gambar IV.36 Model struktur <i>chain stopper</i> dari ANSYS <i>Mechanical</i> 16.2 (.iges).....	83
Gambar IV.37 Grafik uji sensitivitas <i>meshing</i>	84
Gambar IV.38 Hasil <i>running meshing</i> tipe <i>quadrilateral</i> terhadap <i>chain stopper</i>	84
Gambar IV.39 Pemberian area <i>fixed support</i> dan gaya pada <i>chain stopper</i> (N)...	85
Gambar IV.40 Hasil <i>running</i> tegangan Von Mises (MPa) tampak iso - OPERASI	86
Gambar IV.41 Hasil <i>running</i> tegangan Von Mises (MPa) tampak detail - OPERASI	86
Gambar IV.42 Hasil <i>running</i> tegangan Von Mises (MPa) tampak iso – BADAII	87
Gambar IV.43 Hasil <i>running</i> tegangan Von Mises (MPa) tampak detail – BADAII	87

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum	27
Tabel III.1 Properti hidrostatis kapal FSO 330 meter.....	40
Tabel III.2 Properti material <i>hexagonal</i> SBM.....	41
Tabel III.3 Dimensi <i>hexagonal</i> SBM	41
Tabel III.4 Dimensi <i>mooring line</i>	41
Tabel III.5 Data distribusi tinggi gelombang perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)	42
Tabel III.6 Data presentasi kecepatan angin perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)	42
Tabel III.7 Data presentasi kecepatan arus perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)	43
Tabel IV.1 Hasil validasi model kapal FSO dengan <i>software MAXSURF Modeler</i>	46
Tabel IV.2 Hasil validasi model kapal FSO dengan <i>software MOSES 7.0</i>	47
Tabel IV.3 Hasil validasi model <i>hexagonal</i> SBM dengan <i>software MOSES 7.0</i> . 48	48
Tabel IV.4 Perhitungan titik berat dan radius girasi kapal untuk kondisi <i>full load</i>	49
Tabel IV.5 Perhitungan titik berat dan radius girasi kapal untuk kondisi <i>ballast</i> . 49	49
Tabel IV.6 Data sebaran gelombang pada perairan Kepulauan Seribu 2004-2014	50
Tabel IV.7 Perhitungan jumlah presentasi gelombang dan kumulatifnya tiap interval.....	50
Tabel IV.8 Tabulasi perhitungan komponen peluang kumulatif H_s (m) Error! Bookmark not defined.	
Tabel IV.9 Tabulasi perhitungan komponen peluang kumulatif T_p (s).....	51
Tabel IV.10 Tabulasi perhitungan kurun waktu panjang tinggi gelombang signifikan (m).....	53
Tabel IV.11 Tabulasi perhitungan kurun waktu panjang puncak periode gelombang (s)	53

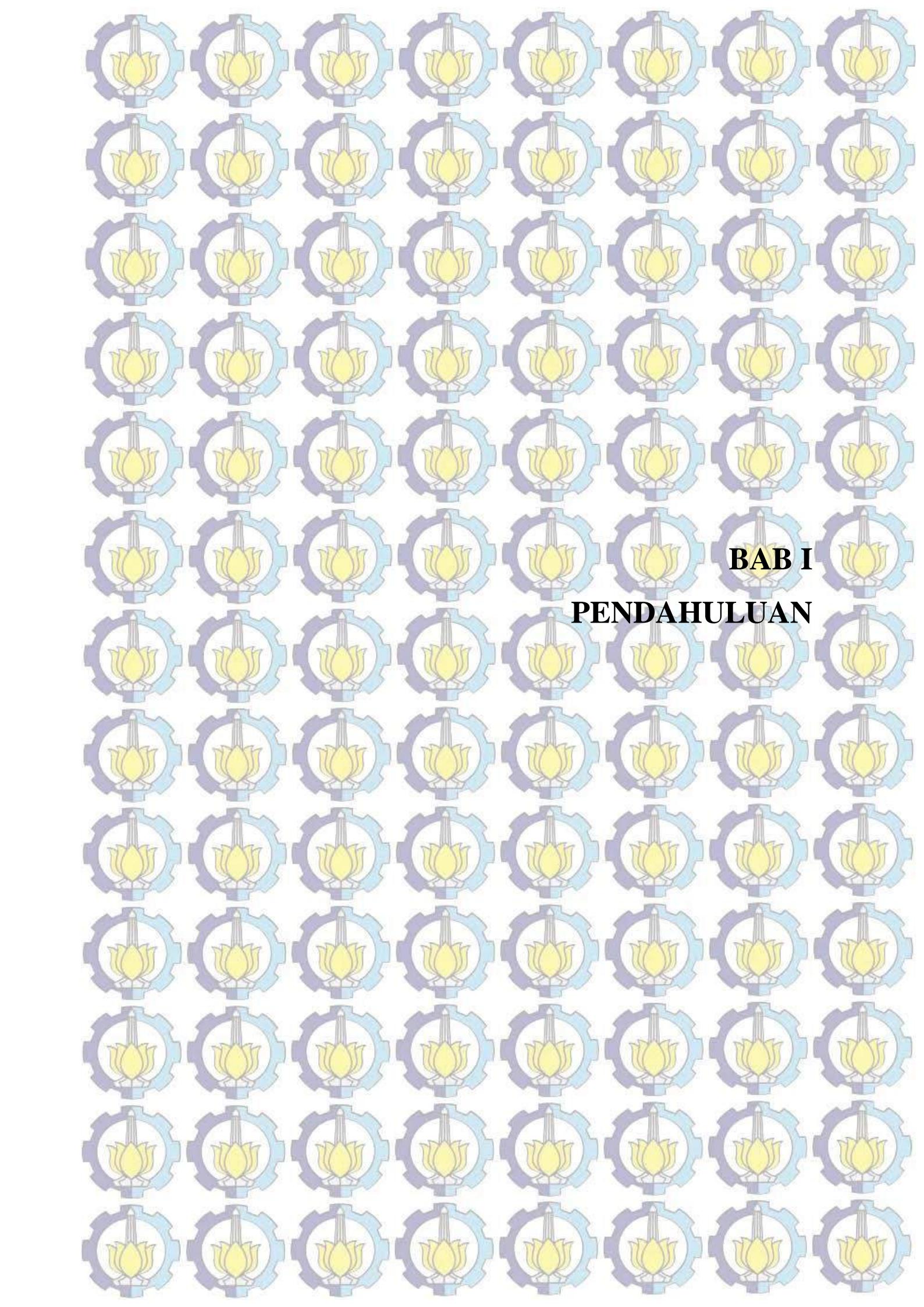
Tabel IV.12 Data lingkungan perairan Kepulauan Seribu kurun waktu tahunan tertentu.....	54
Tabel IV.13 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan FSO saat kondisi <i>full load</i>	60
Tabel IV.14 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan FSO saat kondisi <i>ballast</i>	60
Tabel IV.15 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan <i>hexagonal SBM</i>	64
Tabel IV.16 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>surge</i> kapal FSO	66
Tabel IV.17 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>sway</i> kapal FSO	67
Tabel IV.18 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>heave</i> kapal FSO	68
Tabel IV.19 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>roll</i> kapal FSO	68
Tabel IV.20 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>pitch</i> kapal FSO	69
Tabel IV.21 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>yaw</i> kapal FSO.....	70
Tabel IV.22 Amplitudo ekstrem tiap gerakan kapal FSO.....	70
Tabel IV.23 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>surge hexagonal SBM</i> .	71
Tabel IV.24 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>sway hexagonal SBM</i> ..	72
Tabel IV.25 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>heave hexagonal SBM</i> .	73
Tabel IV.26 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>roll hexagonal SBM</i>	74
Tabel IV.27 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>pitch hexagonal SBM</i> ..	74
Tabel IV.28 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan <i>yaw hexagonal SBM</i>	75
Tabel IV.29 Amplitudo ekstrem tiap gerakan <i>hexagonal SBM</i>	75
Tabel IV.30 Kriteria faktor keamanan tegangan <i>mooring line</i> dari ABS 2014	77
Tabel IV.31 Kriteria tegangan yang diizinkan untuk ASTM A148 (585 MPa <i>yield stress</i>)	77
Tabel IV.32 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 1 – OPERASI	78
Tabel IV.33 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 1 – BADAI..	78
Tabel IV.34 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 2 – OPERASI	79
Tabel IV.35 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 2 – BADAI..	79
Tabel IV.36 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 3 – OPERASI	79

Tabel IV.37 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 3 – BADAII..	80
Tabel IV.38 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 4 – OPERASI ..	80
.....	
Tabel IV.39 <i>Tension</i> maksimum <i>hawser</i> dan <i>mooring line</i> kondisi 4 – BADAII..	80
Tabel IV.40 <i>Tension</i> maksimum <i>mooring line</i> dari empat kondisi - OPERASI... 81	81
Tabel IV.41 <i>Tension</i> maksimum <i>mooring line</i> dari empat kondisi - BADAII..... 81	81
Tabel IV.42 Properti geometri struktur <i>chain stopper</i> dari ANSYS Mechanical 16.2 ..	83
.....	
Tabel IV.43 Hasil dari uji sensitivitas <i>meshing</i> terhadap perubahan ukuran <i>meshing</i> ..	84
.....	
Tabel IV.44 Hasil analisis statis pada struktur <i>chain stopper</i>	85

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	Perhitungan Data Sebaran Kecepatan Angin dan Arus pada Perairan Kepulauan Seribu 2004-2014
LAMPIRAN B-1	Perhitungan Titik Berat Kapal FSO kondisi <i>Full Load</i> dan <i>Ballast</i>
LAMPIRAN B-2	Tabel RAO Kapal FSO Kondisi <i>Full Load</i> dan <i>Ballast</i>
LAMPIRAN B-3	Tabel Perhitungan Spektrum JONSWAP Kapal FSO
LAMPIRAN C-1	Tabel RAO <i>Hexagonal SBM</i>
LAMPIRAN C-2	Tabel Perhitungan Spektrum JONSWAP <i>Hexagonal SBM</i>
LAMPIRAN D	MOSES 7.0 Syntax (.CIF & .DAT) – FSO dan SBM
LAMPIRAN E	Data <i>Input</i> Properti Model Geometri pada Orcaflex 9.2

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Teknologi perancangan bangunan lepas pantai telah berkembang pesat seiring meningkatnya kebutuhan masyarakat global akan minyak dan gas bumi. Indonesia hingga hari ini masih memiliki potensi untuk menjadi salah satu negara penghasil minyak dan gas terbesar di dunia sehingga teknologi perancangan struktur bangunan lepas pantai sangat dibutuhkan saat ini. Struktur bangunan lepas pantai dirancang khusus berdasarkan kedalaman laut dan kondisi lingkungan serta inovasi baru yang dibutuhkan untuk dapat mengeksplorasi minyak dan gas agar dapat ditempatkan pada kedalaman perairan antara yang sangat dangkal (*very shallow water*) dengan perairan yang sangat dalam (*the deep ocean*) (Nallayarasu, 2015).

Struktur terapung (*floating structures*) adalah salah satu teknologi pada bangunan lepas pantai di samping terdapat struktur terpanjang (*fixed structure*) yang memiliki fungsi utama yang sama yakni eksplorasi hidrokarbon di lepas pantai. Struktur terapung memiliki kelebihan dibandingkan dengan struktur terpanjang karena dinilai lebih ekonomis sebab tidak memerlukan struktur baru dan lebih mudah dapat dimanfaatkannya kembali ketika masa operasinya telah selesai serta efisien karena berbasis teknologi *Mobile Offshore Production Unit* (MOPU).

Floating Storage and Offloading (FSO) adalah salah satu struktur terapung atau kapal yang paling umum digunakan untuk kegiatan eksplorasi hidrokarbon di lepas pantai. Kapal FSO memiliki fungsi penyimpanan dan penyaluran hidrokarbon yang mentah ke *shuttle tanker* atau kapal lainnya agar dapat diproses untuk menjadi suatu nilai kebutuhan yang digunakan manusia. Selama masa operasi, kapal FSO mengalami pergerakan pada perairan kondisi tertentu sangat dipengaruhi beban lingkungan seperti gelombang laut, angin, dan arus sehingga diperlukan adanya analisis dan perhitungan mengenai besaran atau kecenderungan pergerakan kapal FSO tersendiri agar mampu dipastikan aman dalam beroperasi.

Sistem tambat (*mooring system*) adalah salah satu teknologi struktur terapung yang berkembang untuk dapat meredam pergerakan struktur terapung

yang ditambat karena bersifat mampu bergerak bebas mengikuti beban lingkungan sekitarnya. Artinya, struktur terapung seperti kapal FSO walaupun bergerak sesuai arah beban lingkungan namun tetap tertambat pada tali tambat (*mooring line*) untuk membantu proses *weathervaning* sehingga kegiatan eksplorasi hidrokarbon atau proses tandem *offloading* dengan infrastruktur yang lain beroperasi secara aman. Salah satu jenis sistem tambat yang sering digunakan pada kapal (FPSO/FSO, *Oil/Shuttle Tanker*, dsb) adalah *Single Buoy Mooring* (SBM) atau *Single Point Mooring* (SPM). *Catenary Anchored Leg Mooring* (CALM) adalah konfigurasi yang paling umum dari tipe SBM untuk digunakan karena mampu menangani kapal pengangkut minyak yang sangat besar dan memiliki konfigurasi yang menggunakan enam atau delapan rantai jangkar berat yang ditempatkan secara radial di sekitar pelampung (*buoy*) berdasarkan beban lingkungan yang dirancang (Wikipedia, Single Buoy Mooring, 2017).

Pada penelitian tugas akhir ini berdasarkan data dari proyek miliki PT. Adidaya Energi Mandiri, tipe sistem tambat yang dianalisis untuk kapal FSO 300 DWT adalah SBM tipe CALM yang berbentuk *hexagonal* (selanjutnya *hexagonal* SBM) dan berada pada kondisi *offloading* yang beroperasi pada perairan Kepulauan Seribu. Agar operasional *offloading* pada FSO dapat beroperasi secara aman berdasarkan regulasi yang berlaku, perlu dilakukan analisis kestabilan kapal FSO yang disebabkan beban lingkungan sekitar dan kekuatan *mooring lines* pada *hexagonal* SBM yang disebabkan adanya gaya tarik. Setelah diketahui respons dari kapal FSO dan *hexagonal* SBM akibat beban lingkungan, selanjutnya dilakukan analisis besaran tegangan *hawser* yang menghubungkan antara FSO dan *hexagonal* SBM serta tegangan pada *mooring lines* sehingga dapat dilakukan analisis selanjutnya mengenai tegangan maksimum yang sebenarnya terjadi di area *chain stopper* pada *hexagonal* SBM.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Dalam pengerajan tugas akhir ini diangkat beberapa permasalahan yakni:

1. Bagaimana perilaku gerak terhadap kapal FSO dan *hexagonal* SBM akibat beban gelombang saat terapung bebas (*free floating*) pada kondisi riil?

2. Berapa besar gaya tarik (*tension*) maksimum rantai jangkar (*mooring lines*) yang menghubungkan *hexagonal* SBM dengan *seabed*?
3. Berapa besar tegangan lokal maksimum yang terjadi pada struktur *chain stopper* karena pergerakan kapal FSO yang tertambat pada saat *offloading*?

1.3 TUJUAN

Adapun tujuan pada tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui perilaku gerak yang terjadi pada kapal FSO dan *hexagonal* SBM akibat beban lingkungan saat terapung bebas pada kondisi riil.
2. Mengetahui besaran gaya tarik (*tension*) maksimum pada rantai jangkar (*mooring lines*) yang menghubungkan antara *hexagonal* SBM dengan *seabed*.
3. Mengetahui besaran tegangan lokal maksimum yang terjadi pada struktur *chain stopper* karena pergerakan kapal FSO yang tertambat pada saat *offloading*.

1.4 BATASAN MASALAH

Untuk memudahkan analisis yang ingin dicapai sesuai tujuan dan menghindari pembahasan yang melebar maka berikut adalah batasan ruang lingkup yang diterapkan pada tugas akhir ini:

1. Penelitian ini adalah studi kasus pada kekuatan struktur *hexagonal* SBM yang tertambat di lokasi perairan Kepulauan Seribu milik PT. Adidaya Energi Mandiri.
2. Sistem tambat yang digunakan adalah SBM tipe CALM yang berbentuk *hexagonal* (bersegi enam).
3. Kapal FSO yang digunakan untuk analisis berkapasitas 308625 DWT dengan acuan ukuran tipe VLCC (*Very Large Crude Carrier*).
4. *Boarding platform*, *rope guard*, *chain*, *house*, *product swivel*, *pipe platform*, *turntable assembly*, dan *piping assembly* serta *riser* tidak dimodelkan sehingga pergerakan *housenya* pun diabaikan.
5. *Hawser* diasumsikan dua segmen.
6. Data lingkungan yang digunakan berdasarkan wilayah perairan Kepulauan Seribu tahun 2004-2014.

7. Perhitungan tegangan lokal maksimum pada struktur *chain stopper* difokuskan pada beban gaya tarik maksimum *hexagonal* SBM dengan jangkar (*mooring line*).

1.5 MANFAAT

Manfaat dari penggerjaan penelitian dari tugas akhir ini adalah agar penulis dapat menerapkan pengetahuan dari mata kuliah Mekanika Teknik, Perancangan dan Konstruksi Bangunan Laut dan Hidrodinamika serta Olah Gerak Bangunan Apung dengan melakukan perhitungan secara bertahap agar dapat mengetahui besaran pergerakan kapal FSO dan *hexagonal* SBM akibat beban lingkungan pada kondisi tertentu dan gaya tarik (*tension*) pada *hawser* yang menghubungkan antara keduanya serta *mooring line* pada *hexagonal* SBM ke dasar laut.

Selain itu, mahasiswa teknik kelautan dapat mengetahui prosedur cara menghitung dan menganalisis besaran tegangan lokal maksimum pada struktur *chain stopper* yang ada pada *hexagonal* SBM.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menerangkan mengenai latar belakang penelitian pada tugas akhir yang dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang hendak ingin dicapai, batasan ruang lingkup masalah untuk penelitian dan pembahasan yang difokuskan, dan manfaat yang didapatkan dari tugas akhir ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori yang menjadi acuan dalam pelaksanaan penelitian di tugas akhir ini. Sumber yang didapatkan untuk bab ini berasal dari situs jurnal baik lokal maupun internasional, literatur, buku baik tugas akhir maupun yang relevan dengan topik teknologi kelautan, dan *rules/codes* yang terkait.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini mendeskripsikan metodologi yang digunakan dan langkah-langkah penggerjaan yang berdasarkan prosedur yang ditetapkan untuk penelitian pada tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai langkah-langkah pengolahan data dan analisis berdasarkan metodologi yang telah direncanakan pada BAB III serta menginterpretasikan atas setiap hasil analisis yang didapatkan. Pembahasan dan analisis yang dilakukan berdasarkan bantuan *software* yang akan digunakan: 1) Melakukan permodelan struktur kapal FSO dan *hexagonal* SBM dengan MAXSURF *Modeler* dan validasi data berdasarkan data dari PT. Adidaya Energi Mandiri; 2) Melakukan perhitungan data sebaran beban lingkungan pada perairan Kepulauan Seribu dengan metode distribusi probabilitas Weibull untuk mengetahui tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang, kecepatan angin, dan kecepatan arus dalam kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan; 3) Menganalisis respons gerakan 6 SDoF (*Single Degree of Freedom*) berdasarkan grafik RAO dengan permodelan struktur kondisi terapung bebas pada MOSES 7.0 dan selanjutnya dilakukan analisis spektrum respons dengan formulasi JONSWAP; 4) Menganalisis tegangan tali/rantai pada *hexagonal* SBM dengan Orcaflex 9.2; 5) Melakukan analisis tegangan lokal maksimum pada *chain stopper hexagonal* SBM dengan ANSYS *Mechanic* 16.2 yang sebelumnya telah dikonversikan dari AutoCAD 2017 untuk geometri strukturnya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil keseluruhan penelitian yang difokuskan pada tugas akhir ini dan saran yang diberikan untuk dapat dilakukan penelitian selanjutnya sehingga menghasilkan suatu pengembangan baru untuk analisis yang lebih mendalam dengan topik yang relevan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

Saat ini telah berkembang dari inovasi pengembangan teknologi kelautan guna menunjang untuk memenuhi tingginya tuntutan akan kebutuhan hidrokarbon berupa teknologi struktur terapung (*floating structures*). Struktur terapung merupakan struktur yang memiliki karakteristik pergerakan mengikuti dampak dari beban lingkungan (gelombang, arus, dan angin). Sudah menjadi hal yang umum ketika struktur terapung diidentikkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik seperti kabel atau rantai bahkan *jacket*. Hal yang utama untuk diperhatikan pada struktur terapung ini adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut.

Floating Storage and Offloading (FSO) adalah salah satu struktur terapung yang digunakan untuk hanya menampung hasil produksi hidrokarbon dari lepas pantai sedangkan teknologi sistem tambat seperti *Single Buoy Mooring* (SBM) tipe *Catenary Anchor Leg Mooring* (CALM) adalah salah satu struktur apung yang umum digunakan yang berfungsi menambat struktur apung seperti kapal FSO agar dapat meredam atau menahan gaya-gaya terhadap FSO akibat beban lingkungan saat proses *offloading*. Sebab, pada proses *offloading*, konfigurasi pada SBM harus mampu menghasilkan gaya pengembalian (*restoring force*) untuk meminimalkan besaran perpindahan kapal FSO dari titik awal.

Selain itu, hal mendasar yang perlu dilakukan dalam penelitian terkait teknologi kapal FSO dan SBM adalah mengetahui secara hitungan matematis mengenai perilaku struktur terapung pada FSO dan SBM terhadap lingkungan lepas pantai. Sebab, setiap tipe struktur terapung memiliki karakteristik perilaku yang berbeda-beda dan dapat membantu untuk memastikan konfigurasi struktur awal telah aman untuk beroperasi di lepas pantai dari segi stabilitasnya. Selanjutnya, analisis struktur secara global terutama pada SBM sendiri seperti kekuatan pada bagian *buoy*, tegangan *hawser* yang menghubungkan antara SBM dan FSO, dan tegangan rantai (*mooring line*) yang menghubungkan antara SBM dengan dasar laut perlu dilakukan agar SBM itu sendiri dapat menahan gaya-gaya akibat beban

lingkungan dan terhubungnya dengan kapal FSO. Namun, analisis struktur secara global pada SBM belum cukup karena belum dipastikan aman sebelum melakukan analisis tegangan lokal pada bagian yang kritis pada SBM seperti *chain stopper* dan pelatnya sehingga ketika diketahui adanya bagian struktur yang belum aman dalam memenuhi berdasarkan acuan regulasi yang digunakan maka perlu dilakukan konfigurasi ulang terhadap struktur SBM hingga dapat dipastikan tegangan lokal maksimumnya telah aman.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Floating Storage and Offloading* (FSO)



Gambar II.1 Contoh FSO milik perusahaan Maersk
(sumber: gcaptain.com/signs-long-term-contract-maersk)

Floating Production, Storage, and Offloading (FPSO) adalah salah satu unit kapal yang digunakan oleh industri minyak dan gas lepas pantai untuk produksi, pengolahan, dan penyimpanan hidrokarbon seperti minyak atau gas cair. FPSO dirancang untuk menerima hidrokarbon yang diproduksi sendiri atau dari platform terdekat, memproses hasil produksi, menyalurkan minyak sampai ditransferkan ke sebuah kapal tanker atau melalui pipa ke darat. FPSO bisa dikonversikan ke bentuk kapal jenis *oil tanker*, *shuttle tanker*, dsb.

Sebuah kapal yang digunakan hanya untuk menyalurkan hasil produksi minyak (tanpa memprosesnya) disebut sebagai *Floating Storage and Offloading* (FSO) (Wikipedia, Floating Production Storage and Offloading, 2017). Sebab itu, kapal FSO serupa dengan FPSO dan perbedaan keduanya hanya pada hidrokarbon yang tidak di proses pada tangki kapal FSO (OCIMF, 2009). Selain itu, perbedaan FSO dengan kapal tanker adalah sistem operasinya tidak berlayar sebagaimana

kapal tanker melainkan menggunakan sistem tambat (*mooring system*). Kekuatan konstruksi gadingnya lebih besar dibandingkan dengan kapal yang berukuran sama karena adanya beban di atas geladak yang sangat besar.

2.2.2 Teori Bangunan Apung

Hal yang mendasar dan penting untuk diketahui dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengenai teori bangunan kapal dan mengenal beberapa istilahnya. Berikut ini beberapa istilah yang umum digunakan (Murtedjo, 2004):

➤ Ukuran utama kapal

a. *Length Between Perpendicular* (L_{pp})

Panjang kapal yang menghubungkan antara dua garis tegak yaitu jarak horizontal antara garis tegak depan/haluan/FP dengan garis tegak belakang/buritan/AP. *After Perpendicular* (AP) adalah garis tegak buritan yaitu garis tegak yang terletak berimpit pada sumbu poros kemudi sedangkan *Front Perpendicular* (FP) adalah garis tegak haluan di mana garis tegak yang terletak pada titik potong antara linggi haluan dengan garis air pada sarat air muatan penuh yang telah direncanakan.

b. *Length of Water Line* (L_{wl})

Length of water line adalah panjang garis air yang diukur mulai dari perpotongan linggi buritan dengan garis air pada sarat sampai dengan pada perpotongan linggi haluan dengan garis air/FP (jarak mendatar antara kedua ujung garis muat). Sebagai pendekatan, panjang garis air dapat dirumuskan sebagai fungsi dari L_{pp} yaitu:

$$L_{wl} = L_{pp} + (2 \div 4)\%L_{pp} \quad (2.1)$$

c. *Length of Displacement* (L_{disp})

Length of displacement adalah panjang kapal imajiner yang terjadi karena adanya perpindahan fluida sebagai akibat dari tercelupnya badan kapal. Dalam kaitan perancangan *Lines Plan* dengan metode diagram NSP (*Nederlandsch Scheepbouwkundig Proefstation*), panjang ini digunakan untuk menentukan seberapa besar luasan-luasan bagian yang tercelup air, pada saat L_{disp} dibagi menjadi 20 *station*. Panjang *displacement* dirumuskan sebagai rata-rata antara L_{pp} dan L_{wl} , yaitu:

$$L_{disp} = \frac{1}{2}(L_{pp} + L_{wl}) \quad (2.2)$$

d. *Length Over All* (Loa)

Length over all adalah panjang keseluruhan kapal yang diukur dari ujung bagian belakang kapal sampai dengan ujung bagian depan badan kapal.

e. *Breadth* (B)

Lebar kapal yang diukur pada sisi dalam pelat di tengah kapal (*amidship*).

f. *Depth* (H)

Tinggi geladak utama (*main deck*) kapal adalah jarak vertikal yang diukur pada bidang tengah kapal (*midship*) dari atas *keel* (lunas) sampai sisi atas geladak di sisi kapal.

g. *Draught* atau *Draft* (T)

Sarat air kapal yaitu jarak vertikal yang diukur dari sisi atas *keel* sampai dengan garis air (*waterline*) pada bidang tengah kapal (*midship*).

h. *Service Speed* (V_s)

Kecepatan dinas adalah kecepatan operasional kapal saat berlayar di laut.

Kecepatan dinas umumnya (60–80)% kecepatan maksimum.

i. *Displacement* (Δ)

Displacement merupakan berat keseluruhan badan kapal termasuk di dalamnya adalah konstruksi badan kapal, permesinan dan sistemnya, elektrik dan sistemnya, furnitur dan interior, *crew* dan bawaannya, logistik, bahan bakar, pelumas, air tawar, dan muatan kapal.

$$\Delta = \text{LWT} + \text{DTW} \quad (2.3.1)$$

$$= L_{wl} \times B \times T \times C_b \times \gamma_{air \text{ laut}} \quad (2.3.2)$$

$$= V \times \gamma_{air \text{ laut}} \quad (2.3.3)$$

j. *Volume Displacement* (V)

Volume *displacement* adalah volume perpindahan fluida (air) sebagai akibat adanya bagian badan kapal yang tercelup di bagian bawah permukaan air.

$$V = L_{wl} \times B \times T \times C_b \quad (2.4)$$

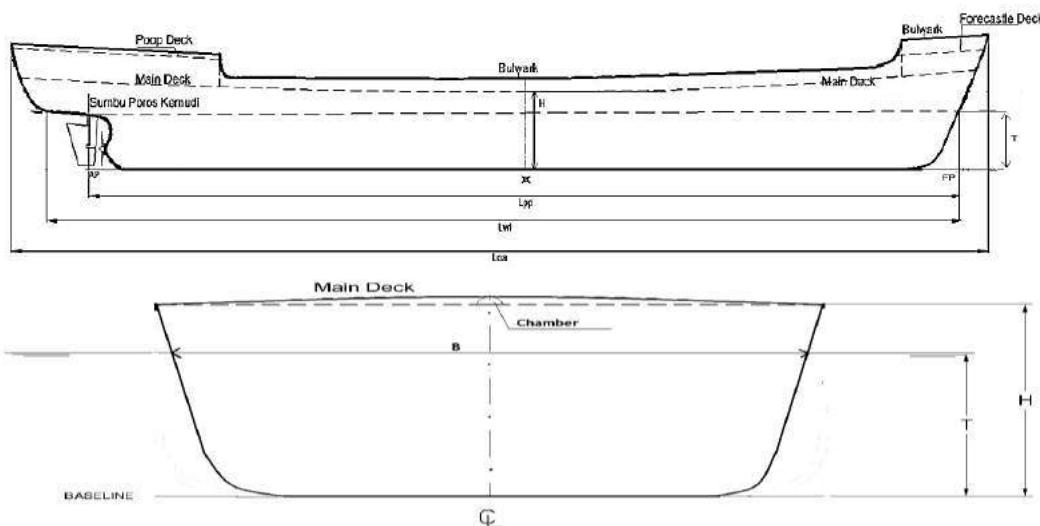
k. *Light Weight* (LWT)

Light weight adalah berat komponen-komponen dalam kapal yang ‘tidak berubah’ dalam fungsi waktu operasional kapal. Secara umum yang termasuk dalam LWT adalah berat-berat konstruksi badan kapal, mesin induk dan sistemnya, mesin bantu dan sistemnya, pompa-pompa dan sistemnya, perpipaan, instalasi listrik, interior diruang akomodasi, peralatan dapur,

peralatan navigasi dan komunikasi, *crane*, perlengkapan keselamatan, *winch*, rantai jangkar, jangkar, *propeller*, kemudi dan peralatan atau perlengkapan lainnya.

1. *Dead Weight (DWT)*

Dead weight adalah berat komponen-komponen dalam kapal yang bisa ‘berubah’ dalam fungsi waktu operasional kapal. Secara umum yang termasuk dalam DWT adalah berat-berat (muatan cair/padat, bahan bakar, minyak pelumas, air tawar, logistik, *crew* dan bawaannya, *foam/cairan kimia* untuk pemadam kebakaran).



Gambar II.2 Definisi-definisi ukuran utama kapal

(sumber: ‘Perancangan Lines Plan Bangunan Laut Terapung’ hal. 9 oleh Mas Murtedjo, 2014)

➤ Titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas

Berikut ini penjelasan dari titik yang berpengaruh pada stabilitas:

a. Titik Berat/Gravitasi (G)

Titik gravitasi adalah titik pusat berat kapal keseluruhan atau titik tangkap gaya berat kapal keseluruhan dan dipengaruhi oleh bentuk konstruksi kapal dan posisi/berat komponen yang ada (permesinan, peralatan, perlengkapan, muatan, bahan bakar, dan air tawar).

b. Titik Apung (B)

Titik apung adalah titik pusat/titik berat volume badan kapal di bawah garis air/titik apung/titik tangkap gaya tekan ke atas dan dipengaruhi oleh bentuk kapal di bawah permukaan air.

c. Titik Metasentrik (M)

Dapat didefinisikan sebagai titik perpotongan antara gaya tekan ke atas pada saat *even keel* dengan gaya tekan ke atas pada saat kapal mengalami kemiringan. Titik M dapat digambarkan dalam suatu grafik yang tergantung dari sudut kemiringan.

d. Tinggi Titik Metasentrik terhadap *Keel* (KM)

Tinggi titik metasentrik terhadap atau di atas lunas (*keel*) adalah jumlah jarak dari *keel* ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentrik (BM) sehingga KM juga dapat dihitung dengan rumus:

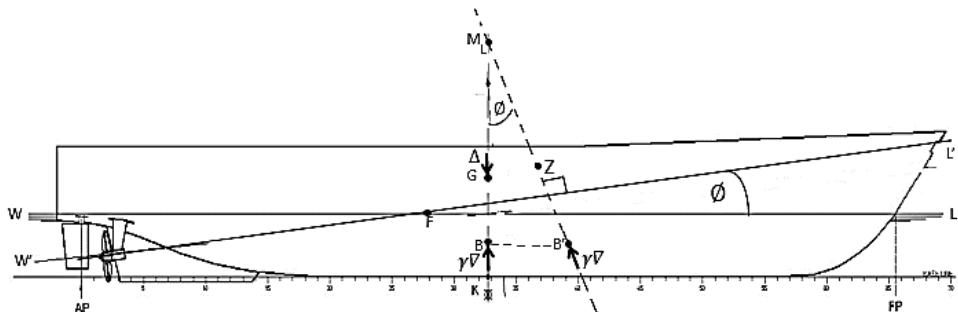
$$KM = KB + BM \quad (2.5)$$

e. Tinggi Titik Apung terhadap *Keel* (KB)

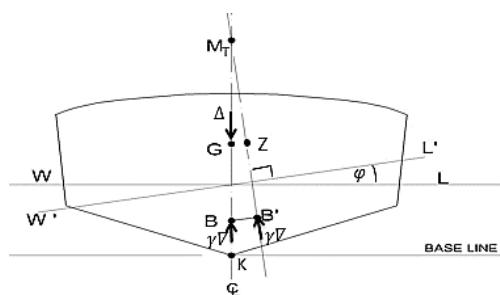
Tinggi titik apung terhadap *keel* adalah titik *buoyancy* vertikal kapal yang diukur dari *keel* sampai titik B (apung). KB juga biasa diidentikkan dengan istilah VCB (*Vertical Centre of Buoyancy*).

f. Tinggi Titik Berat terhadap *Keel* (KG)

Tinggi titik berat terhadap *keel* adalah titik berat vertikal kapal yang diukur dari *keel* sampai titik G (berat/gravitasi). KG juga biasa diidentikkan dengan istilah VCG (*Vertical Centre of Gravity*).



Gambar II.3 Titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas kapal tampak samping
(sumber: ‘Teori Bangunan Apung’ oleh Mas Murtedjo, 2014)



Gambar II.4 Titik-titik yang berpengaruh pada stabilitas kapal tampak depan
(sumber: ‘Teori Bangunan Apung’ oleh Mas Murtedjo, 2014)

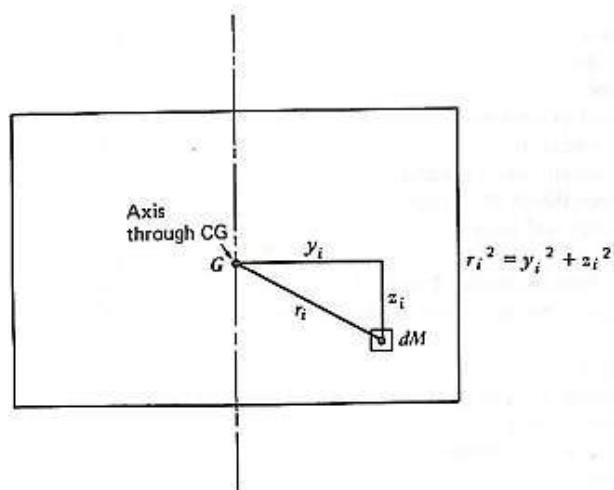
➤ Komponen hidrostatik kapal dalam analisis Responses Amplitude Operator (RAO)

Penting untuk diketahui dan dipahami terkait elemen-elemen yang berpengaruh pada analisis respons gerak suatu struktur terapung melalui perhitungan RAO terutama penggunaan pada *software* yang dibutuhkan beberapa data komponen hidrostatik untuk diinputkan. Di antaranya dan penjelasannya adalah sebagai berikut:

a. Jari-Jari Girasi

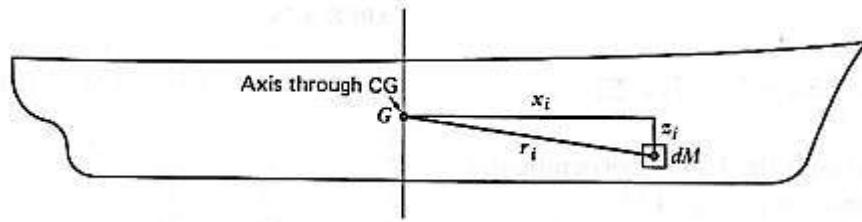
Dalam dunia *engineering*, jari-jari girasi sering diaplikasikan dalam berbagai keadaan. Misalnya untuk *structure engineering* dan *naval architect*. Pengertian jari-jari girasi adalah jarak yang menunjukkan distribusi massa (atau area) dari benda tersebut. Pada daerah lingkaran dengan jari-jari tersebut dianggap massa (atau area) terdistribusi secara sama. Jari-jari girasi juga sering digunakan dalam dunia teknik perkapanan karena kapal memiliki 6 DoF (*Degree of Freedom*)/6 derajat kebebasan sehingga jari-jari girasinya pun ada tiga yaitu: terhadap sumbu x (r_x), y (r_y), dan z (r_z). Jari-jari girasi ini adalah akar jarak antara *centre of gravity* dengan bagian dari objek yang ditinjau. Jari-jari girasi berguna untuk mengetahui kekakuan atau *stiffness* dari sebuah struktur (Ardhiansyah, 2011). Sebab pada daerah jari-jari girasi mempunyai *bending moment* maksimum (Azkia, 2016).

Jari-jari girasi kapal untuk *rolling* (k_{xx}), *pitching* (k_{yy}), dan *yawing* (k_{zz}) ditunjukkan pada Gambar II.5-II.7.



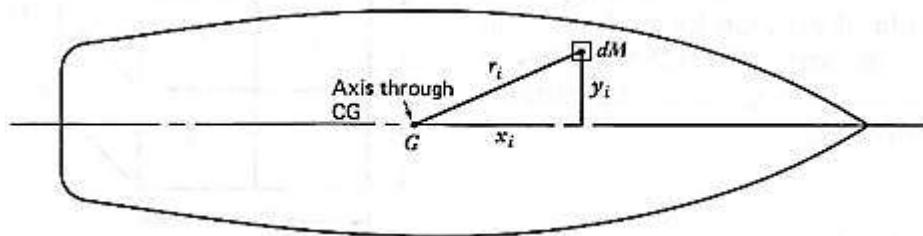
Gambar II.5 Jari-jari girasi *rolling*

(sumber: ‘Dynamics of Marine Vehicles’ hal. 56 oleh R. Bhattacharyya)



Gambar II.6 Jari-jari girasi *pitching*

(sumber: ‘Dynamics of Marine Vehicles’ hal. 57 oleh R. Bhattacharyya)



Gambar II.7 Jari-jari girasi *yawing*

(sumber: ‘Dynamics of Marine Vehicles’ hal. 57 oleh R. Bhattacharyya)

Jika distribusi massa solid pada kapal tidak diketahui, maka jari-jari girasinya bisa didapatkan dengan pendekatan sebagai berikut (Journée & Massie., 2001):

$$k_{xx} \approx 0.30 \times B \text{ to } 0.40 \times b \quad (2.6.1)$$

$$k_{yy} \approx 0.22 \times L \text{ to } 0.28 \times L \quad (2.6.2)$$

$$k_{zz} \approx 0.22 \times L \text{ to } 0.28 \times L \quad (2.6.3)$$

Di mana L adalah panjang kapal dan B adalah lebar pada kapal. Jari-jari girasi pada gerakan *roll* (k_{xx}), *pitch* (k_{yy}), dan *yaw* (k_{zz}) diusulkan oleh Bureau Veritas (BV) dengan pendekatan sebagai berikut:

$$k_{xx} = 0.289 \cdot B \cdot \left(1.0 + \left(\frac{2 \cdot \overline{KG}}{B} \right)^2 \right) \quad (2.6.4)$$

$$k_{yy} = k_{zz} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot L} \quad (2.6.5)$$

Di mana \overline{KG} adalah tinggi titik berat atau gravitasi di atas *keel*.

b. *Longitudinal Centre of Gravity* (LCG)

Longitudinal centre of gravity adalah titik berat longitudinal kapal yang diukur dari *midship* (ke belakang AP/ke depan FP).

c. *Transverse Centre of Gravity* (TCG)

Transversal centre of gravity adalah titik berat transversal/datar melintang yang diukur dari posisi *centre line* ke kanan atau ke kiri.

2.2.3 Teori Gerak Kapal

Bilamana sebuah bangunan apung atau kapal mendapatkan eksitasi gelombang akan mengalami gerakan osilasi dalam 6-derajat kebebasan. Gerakan-gerakan yang terjadi adalah gerakan translasi dan rotasi.

Moda gerak translasi di antaranya adalah:

- 1) *Surge*, gerakan transversal arah sumbu x
- 2) *Sway*, gerakan transversal arah sumbu y
- 3) *Heave*, gerakan transversal arah sumbu z

sedangkan untuk mode gerak rotasinya adalah:

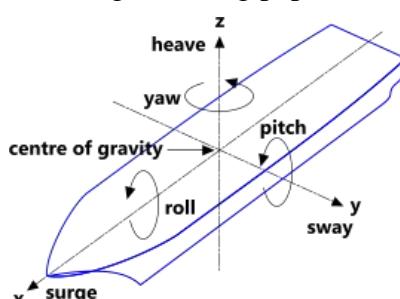
- 4) *Roll*, gerakan rotasi arah sumbu x
- 5) *Pitch*, gerakan rotasi arah sumbu y
- 6) *Yaw*, gerakan rotasi arah sumbu z

Berikut ini persamaan umum gerak respons suatu sistem pada gelombang reguler (Bhattacharyya, 1978):

$$a\ddot{\eta} + b\dot{\eta} + c\eta = F \cos \omega_e t \quad (2.7)$$

Keterangan,

- a : koefisien komponen gaya inersia (kg)
- b : koefisien komponen gaya redaman (N.s/m atau N.s/derajat)
- c : koefisien komponen gayakekakuan (N/m atau N/derajat)
- η : respons pada derajat kebebasan tertentu (m atau derajat)
- $\dot{\eta}$: kecepatan respons pada derajat kebebasan tertentu (m/s atau derajat/s)
- $\ddot{\eta}$: percepatan respons pada derajat kebebasan tertentu (m/s² atau derajat/s²)
- F_o : amplitudo gaya eksitasi (m)
- ω_e : frekuensi gelombang papasan atau *encountering* (rad/s)



Gambar II.8 Sistem sumbu dan definisi gerakan bangunan terapung
(sumber: www.calqlata.com)

2.2.3.1 Gerakan Murni Kapal

Gerakan Surge (x) Murni

$$(M + M'_1)\ddot{x} + b_1\dot{x} = F_1 \cos \omega_e t \quad (2.8.1)$$

$(M + M'_1)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *surge*. Sebagai ilustrasi ketika kapal bergerak dan *displacementnya* berubah maka seolah-olah adanya penambahan massa benda akibat terdorongnya partikel fluida di sekitarnya dalam jumlah massa tertentu karena bergeraknya kapal itu sendiri. Hal ini yang disebut sebagai massa tambah (*added mass*) akibat gerakan bangunan apung tertentu. b_1 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *surge* yang didapatkan hasil eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. $(F_1 \cos \omega_e t)$ adalah komponen gaya penggetar atau eksitasi sedangkan F_1 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *surge* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Adanya $(\cos \omega_e t)$ menunjukkan gaya penggetarnya bersifat periodik dan reguler. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel*. Sistem gerakan *surge* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

Gerakan Sway (y) Murni

$$(M + M'_2)\ddot{y} + b_2\dot{y} = F_2 \cos \omega_e t \quad (2.8.2)$$

$(M + M'_2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *sway* sementara b_2 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *sway* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. F_2 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *sway* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel*. Sistem gerakan *sway* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

Gerakan Heave (z) Murni

$$(M + M'_3)\ddot{z} + b_3\dot{z} + \rho g(A_{wp})z = F_3 \cos \omega_e t \quad (2.8.3)$$

$(M + M'_3)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari massa bangunan apung dan massa tambahnya untuk gerakan *heave* lalu b_3

adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *heave* yang didapatkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. ($\rho g A_{wp}$) adalah koefisien dari komponen gaya pengembali (*stiffness*) yang menyebabkan gerakan osilasi naik turun (*heaving*) karena fungsinya untuk mengembalikan ke posisi setimbang (*equilibrium*). Hal ini juga disebabkan karena adanya gaya penggetar eksternal sehingga ada kecenderungan yang berasal dari penambahan gaya apung saat bangunan apung bergerak secara vertikal dan membentuk perubahan pada saratnya. F_3 adalah amplitudo dari gaya penggetar yang menyebabkan terbentuknya gerakan *heave* akibat gaya eksitasi berupa tekanan hidrostatis dan dinamis gelombang. Komponen gaya eksitasi didapatkan berdasarkan penggunaan metode *strip/panel* dan dapat dihitung berdasarkan kemampuan komputasi atau *software* berbasis *finite element method* yang tersedia.

Gerakan Roll (Φ) Murni

$$(Mk_{xx}^2 + M'_4 k'_{xx}^2) \ddot{\Phi} + b_4 \dot{\Phi} + Mg\bar{GM}_T \Phi = F_4 \cos \omega_e t \quad (2.8.4)$$

$(I_{xx}^2 + I'_{xx}^2)$ atau $(Mk_{xx}^2 + M'_4 k'_{xx}^2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan *roll* sementara k_{xx} adalah jari-jari girasi gerakan *roll* terhadap sumbu x. b_4 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *roll* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. ($Mg\bar{GM}_T$) adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya apung akibat gerakan *roll*. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana pada pegas spiral yang jika diberi gaya ke kanan atau kiri maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut. M adalah massa bangunan apung, g adalah percepatan gravitasi, dan \bar{GM}_T adalah radius metasentrik transversal bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan F_4 adalah amplitudo momen penggetarnya untuk gerakan *roll*.

Gerakan Pitch (Θ) Murni

$$(Mk_{yy}^2 + M'_5 k'_{yy}^2) \ddot{\Theta} + b_5 \dot{\Theta} + Mg\bar{GM}_L \Theta = F_5 \cos \omega_e t \quad (2.8.5)$$

$(I_{yy}^2 + I'_{yy}^2)$ atau $(Mk_{yy}^2 + M'_5 k'_{yy}^2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen

inersia massa tambah untuk gerakan *pitch* sementara k_{yy} adalah jari-jari girasi gerakan *pitch* terhadap sumbu y. b_5 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *pitch* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. $(Mg\overline{GM}_L)$ adalah koefisien dari komponen gaya pengembali atau penunjukkan sifat kekakuannya karena adanya tambahan gaya apung akibat gerakan *pitch* dengan \overline{GM}_L adalah radius metasentris longitudinal bangunan apung. Sifat kekakuannya dapat diilustrasikan sebagaimana pada pegas yang jika diberi gaya ke depan atau belakang maka terdapat perlawanan untuk kesetimbangan pegas tersebut. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan F_5 adalah amplitudo momen penggetarnya untuk gerakan *pitch*.

Gerakan Yaw (Ψ) Murni

$$(Mk_{zz}^2 + M'_6 k'_{zz}^2) \ddot{\Psi} + b_6 \dot{\Psi} = F_6 \cos \omega_e t \quad (2.8.6)$$

$(I_{zz}^2 + I'_{zz}^2)$ atau $(Mk_{zz}^2 + M'_6 k'_{zz}^2)$ adalah koefisien dari komponen gaya inersia dan penjumlahan dari momen inersia bangunan apung dan momen inersia massa tambah untuk gerakan *yaw* sementara k_{zz} adalah jari-jari girasi gerakan *yaw* terhadap sumbu z. b_6 adalah koefisien dari gaya redaman (*damping*) akibat gerakan *yaw* yang dihasilkan dari eksperimen atau pendekatan berdasarkan geometri bangunan apung. Ruas kanan adalah komponen momen penggetar eksternal berupa gaya tekanan hidrostatis dan tekanan dinamis gelombang dengan F_6 adalah amplitudo momen penggetarnya untuk gerakan *yaw*. Sistem gerakan *yaw* tidak memiliki unsur kekakuan (*stiffness*) sehingga komponen gaya pengembalinya tidak ada.

2.2.3.2 Gerakan Couple Six Degree of Freedom

Pada sub-bab sebelumnya telah dipaparkan persamaan murni tiap gerakan 6 derajat kebebasan untuk bangunan apung namun pada kenyataannya di perairan gelombang kapal bergerak secara bersamaan atau saling berinteraksi antar gerakannya. Oleh karena itu diperlukan suatu persamaan matematis yang menggabungkan persamaan keseluruhan gerakannya atau gerakan kopel (*coupled motion*) bangunan apung sebagaimana berikut:

$$\sum_{k=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\eta}_k + B_{jk} \dot{\eta}_k + C_{jk} \eta_k] = F_j e^{i\omega t}, \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.9.1)$$

Keterangan,

- M_{jk} : komponen matriks massa umum bangunan apung
- A_{jk} : komponen matriks massa tambah gerakan tertentu
- B_{jk} : komponen matriks koefisien redaman umum
- C_{jk} : koefisien-koefisien gaya hidrostatik pengembalian
- F_j : amplitudo gaya eksitasi dalam besaran kompleks

F_1 , F_2 , dan F_3 adalah amplitudo gaya-gaya eksitasi yang mengakibatkan *surge*, *sway*, dan *heave* sedangkan F_4 , F_5 , dan F_6 adalah amplitudo momen eksitasi untuk *roll*, *pitch*, dan *yaw* sehingga *subscript j* dan *k* adalah penunjukan derajat kebebasan tertentu dan penggambaran interaksi antara gerakannya.

Terbentuknya respons gerakan kopel berdasarkan asumsi bahwa responsnya memiliki bentuk dinamisme yang sama dengan gaya eksitasinya sebagaimana berikut (Lewis, 1989):

$$\begin{aligned}\eta_j &= \bar{\eta}_j e^{i\omega t} \\ \dot{\eta}_j &= (i\omega)\bar{\eta}_j e^{i\omega t} \\ \ddot{\eta}_j &= (-\omega^2)\bar{\eta}_j e^{i\omega t}\end{aligned}\quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.9.2)$$

Dengan $\bar{\eta}_j$ adalah amplitudo respons kompleks. Jika persamaan 2.9.2 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.9.1 maka persamaannya menjadi:

$$\sum_{k=1}^6 [-\omega^2(M_{jk} + A_{jk}) + i\omega B_{jk} + C_{jk}] \bar{\eta}_j e^{i\omega t} = F_j e^{i\omega t} \quad (2.9.3)$$

Jika persamaan 2.9.3 dapat disederhanakan maka persamaannya menjadi:

$$\bar{\eta}_j \sum_{k=1}^6 [K_{jk}] = F_j; \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.9.4)$$

Karena matriks total gaya atau momen penggetar eksternal F_j ekuivalen dalam bentuk dinamisme yang sama pada respons gerakan pada awalnya $\bar{\eta}_j$ maka amplitudo respons gerakannya adalah *inverse* matriks sebagaimana berikut:

$$\bar{\eta}_j = \sum_{k=1}^6 [K_{jk}]^{-1} F_j; \quad j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.9.5)$$

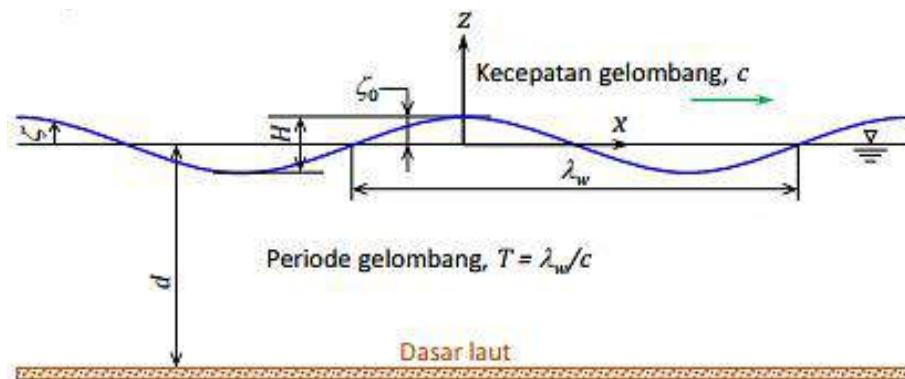
2.2.4 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Reguler

2.2.4.1 Teori Gelombang Reguler

Teori gelombang reguler diidentikkan dengan memiliki amplitudo yang kecil di mana asumsi tinggi gelombangnya sangat kecil dibandingkan panjang

gelombang atau kedalaman laut (Djatmiko E. B., 2012). Karena rumitnya menyederhanakan perumusan matematis gelombang yang kompleks maka asumsi tersebut diharapkan dapat memberikan keleluasaan syarat batas-batas tertentu untuk mendapatkan rumusan sederhana teori gelombang reguler. Meskipun secara pengamatan bahwa teori gelombang reguler mustahil diterapkan secara langsung pada kondisi gelombang yang riil namun jika hasil teori gelombang reguler di superposisi dengan ketentuan yang ada maka dapat disesuaikan untuk diterapkan pada kondisi gelombang laut riil yang sifatnya acak.

Gambar II.9 adalah penggambaran mengenai parameter-parameter umum yang perlu diketahui untuk teori gelombang reguler.



Gambar II.9 Definisi gelombang reguler
(sumber: ‘Hidrodinamika I – Teori Gelombang Airy (PowerPoint)’ oleh E. B. Djatmiko)

Keterangan,

- λ_w : panjang gelombang (m) berhubungan dengan $k_w = 2\pi/\lambda_w$
- k_w : angka gelombang – jumlah siklus gelombang yang terjadi dalam satu meter (rad/m)
- c : kecepatan gelombang atau *wave celerity* (m/s)
- T : periode gelombang (s) berhubungan dengan $\omega = 2\pi/T$
- ω : frekuensi gelombang – jumlah siklus gelombang yang terjadi dalam satu sekon (rad/s)
- H : tinggi gelombang (m)
- ζ_0 : amplitudo gelombang atau $\zeta_0 = H/2$ (m)
- ζ : elevasi permukaan gelombang (m)
- d : kedalaman laut (m)

$$\Phi = \frac{\zeta_0 g}{\omega} \frac{\cosh(k_w(z + d))}{\cosh(k_w d)} \cos(\omega t - k_w x) \quad (2.10.1)$$

Persamaan 2.10.1 adalah inti dari teori gelombang reguler di mana fungsi potensial (ϕ) tak berdimensi yang bila diturunkan secara parsial terhadap salah satu sumbu koordinat pada analisis dua dimensi Gambar II.9 akan menghasilkan komponen kecepatan dan percepatan pada arah tersebut sebagaimana pada persamaan 2.10.2 dan 2.10.3.

$$\mathbf{u} = \frac{d\phi}{dx}; \quad \mathbf{w} = \frac{d\phi}{dz} \quad (2.10.2)$$

$$\dot{\mathbf{u}} = \frac{dx}{dt}; \quad \dot{\mathbf{w}} = \frac{dz}{dt} \quad (2.10.3)$$

Keterangan,

u : kecepatan partikel sumbu x (m/s)

w : kecepatan partikel sumbu z (m/s)

\dot{u} : percepatan partikel sumbu x (m/s^2)

\dot{w} : percepatan partikel sumbu z (m/s^2)

x : posisi horizontal (m)

z : elevasi permukaan air (m)

t : waktu (s)

Komponen kecepatan partikel atau aliran menjadi penting untuk teori gelombang reguler karena jika diidentifikasi komponen tersebut beserta pola alirannya maka sudah pasti merupakan hasil diketahui awalnya untuk besaran beban atau gaya aliran dari variasi tekanan gelombang (Djatmiko E. B., 2012). Selain itu yang menarik adalah konsep variasi tekanan gelombang berkaitan erat dengan karakteristik bangunan apung pada gelombang reguler atau acak sebab respons bangunan apung merupakan akibat dari gaya-gaya aliran atau gelombang.

Berikut ini adalah simplifikasi dari persamaan umum variasi tekanan gelombang dan merupakan hasil dari hubungan asumsi syarat batas pada teori gelombang reguler dengan persamaan Bernoulli.

$$p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \rho g \zeta_0 \sin(\omega t - k_w x) \quad (2.10.4)$$

$$p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \rho g \zeta_0 e^{k_w z} \sin(\omega t - k_w x) \quad (2.10.5)$$

Keterangan,

p : tekanan dinamis atau gelombang (kN/m^2)

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)

Persamaan 2.10.4 berlaku pada perairan dangkal sedangkan persamaan 2.10.5 berlaku pada perairan dalam di mana perbandingan antara kedalaman dan panjang gelombangnya sangat besar atau $d/L \rightarrow \infty$.

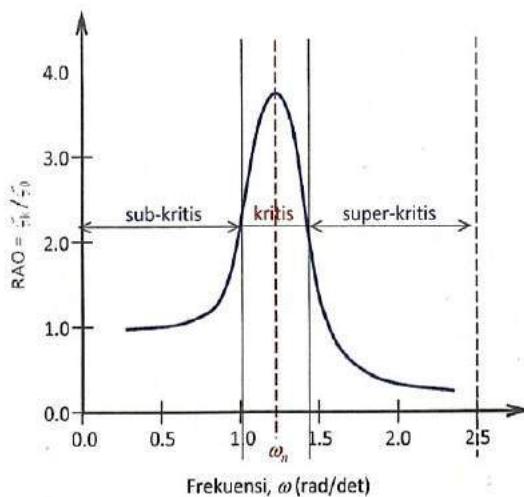
2.2.4.2 Response Amplitude Operator (RAO)

Response Amplitude Operator (RAO) adalah fungsi atau operator matematis untuk mengetahui respons oleh bangunan apung yang berdasarkan amplitudonya sebagai akibat beban eksitasi gelombang dalam rentang frekuensi atau periode tertentu. Dengan kata lain, RAO adalah informasi karakteristik gerakan bangunan laut terhadap gelombang dengan fungsi sebuah operator. RAO juga dikatakan sebagai transfer *function* karena RAO adalah operator atau alat untuk mentransfer beban luar yakni gelombang dalam bentuk respons pada suatu struktur. Respons gerakan RAO untuk gerakan translasi adalah perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (dalam satuan panjang atau meter) (Djatmiko E. B., 2012):

$$\text{RAO} = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} (\text{m/m}) \quad (2.11.1)$$

Sedangkan respons non-dimensi atau RAO untuk gerakan rotasi adalah perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni perkalian antara angka gelombang dengan amplitudo gelombang insiden:

$$\text{RAO} = \frac{\zeta_{k0}}{k_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g) \zeta_0} (\text{rad/rad}) \quad (2.11.2)$$



Gambar II.10 Bentuk umum grafik respon gerakan bangunan apung
(sumber: ‘Perilaku dan Operabilitas Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak’ hal. 65 oleh E. B. Djatmiko)

2.2.4.3 Beban Gelombang *Seconder Order*

Pengaruh beban gelombang *second order* akan tampak pada perilaku struktur apung yang ditambat pada SBM. Pada gelombang reguler, cara yang paling umum untuk mendefinisikan pengaruh non linear adalah dengan melengkapi persamaan Bernoulli (Faltinsen, 1990).

Setelah dilengkapi persamaan Bernoulli, didapatkan hasilnya yang akan diklasifikasikan menjadi tiga komponen penyusun: beban *mean wave drift*, beban osilasi variasi frekuensi, dan beban osilasi dari penjumlahan frekuensi tersebut yang akan mendeskripsikan spektrum gelombang.

2.2.5 Perilaku Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.5.1 Spektrum Gelombang

Spektrum gelombang adalah salah satu konsep awal dalam pengembangan analisis untuk mengetahui fenomena fisik gelombang acak yang selanjutnya dapat diketahui bagaimana karakteristik bangunan apung pada kondisi riil. Pada prinsipnya gelombang acak merupakan superposisi dari gelombang-gelombang reguler yang jumlahnya tak hingga dan tidak ada satunya pun gelombang reguler yang mengalami pengulangan yang sama.

Untuk dapat mendefinisikan gelombang acak secara matematis maka perlu diketahui yang berhubungan dengan energi gelombang sebab pada prinsipnya sebuah gelombang reguler memuat energi yang berarti setiap unit atau satuan luas permukaannya adalah sama dengan nilai kuadrat amplitudonya sebagaimana persamaan 2.12.1 (Djatmiko E. B., 2012).

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 \quad (2.12.1)$$

Keterangan,

E_n : komponen energi gelombang reguler ke-n (N/m)

ρ : massa jenis air laut (kg/m^3)

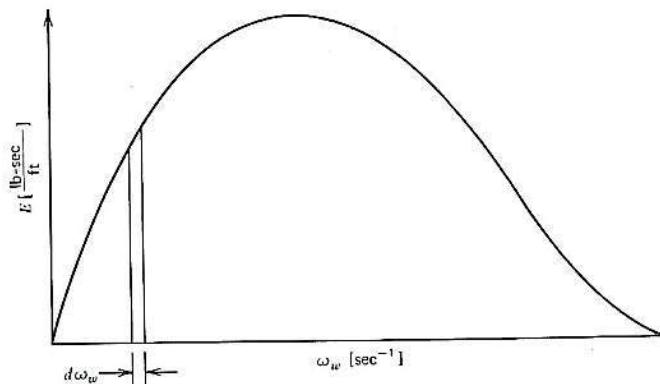
g : percepatan gravitasi (m/s^2)

ζ_0 : amplitudo gelombang (m)

Sebagaimana prinsip hubungan superposisi jumlah gelombang reguler dengan kombinasi amplitudo dan frekuensi berbeda terhadap gelombang acak maka energi total dari keseluruhan komponen energi gelombang reguler untuk mendapatkan hasil energi gelombang acak didapatkan persamaan 2.12.2.

$$E_T = \frac{1}{2} \rho g \sum \zeta_0^2 \quad (2.12.2)$$

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan (1.0 m^2) dapat dikatakan sebagai kepadatan spektrum energi gelombang atau spektrum gelombang. Spektrum energi dapat divisualkan secara grafik sebagaimana pada Gambar II.11.



Gambar II.11 Definisi spektrum energi gelombang
(sumber: 'Dynamics of Marine Vehicles' hal. 112 oleh R. Bhattacharyya)

Kurva pada Gambar II.11 merupakan hasil distribusi energi tiap gelombang reguler sedang ordinatnya (sumbu y) adalah besaran per energi ($E_i - \text{lb}/\text{ft}$) yang dibagi terhadap rentang frekuensi ($d\omega_w - 1/\text{s}$) sehingga satuannya menjadi ($\text{lb}\cdot\text{s}/\text{ft}$) dan absisnya (sumbu x) adalah frekuensi gelombang ω_w dalam satuan (s^{-1}).

Untuk mendapatkan spektrum gelombang yang diinginkan maka dibuatlah penentuan rentang frekuensi ($d\omega_w$) yang sangat kecil agar superposisi dari gelombang reguler benar-benar mendekati kondisi riil. Selain itu, sebagai cara untuk membuktikan bahwa di laut terdapat kontribusi dari seluruh frekuensi gelombang berdasarkan tiap rentang frekuensi pada absisnya. Dengan demikian energi dalam rentang frekuensi ($d\omega_w$) adalah sama dengan luasan bawah kurvanya atau dapat digunakan persamaan 2.12.3 sebagai bentuk mewakili total energi gelombang yang ada.

$$E_T = \int_0^\infty (E) d\omega_w = \int_0^\infty \left(\frac{E_i}{d\omega_w} \right) d\omega_w \quad (2.12.3)$$

Jika ordinat (sumbu y) pada Gambar II.11 dibagi dengan perkalian antara massa jenis air laut (ρ) dan percepatan gravitasinya (g) sehingga ordinatnya menjadi $E_i/(\rho g \cdot d\omega_w)$ kemudian direkonstruksi kembali kurvanya sehingga terbentuk distribusi energi yang baru maka didapatkan komponen spektrum gelombang

dengan ordinatnya disebut sebagai *spectral density of wave energy* atau $S(\omega_w)$ dalam satuan (m^2/s^3) dan absisnya disebut sebagai frekuensi gelombang atau ω_w dalam satuan (s^{-1}).

$$S(\omega_w) = \frac{\zeta_0^2}{2d\omega_w} \quad (2.12.4)$$

Sehingga luasan di bawah kurva spektrum energi total gelombang dapat kembali dituliskan dari persamaan 2.12.3 menjadi persamaan 2.12.5

$$E_T = \rho g \int_0^\infty S(\omega_w) d\omega_w \quad (2.12.5)$$

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

Spektrum gelombang JONSWAP adalah salah satu model spektrum yang memiliki kemiripan fisik lingkungan dengan perairan laut Indonesia umumnya namun tidak seganas *North Sea* yang merupakan lokasi hasil eksperimennya. Namun, diharapkan dengan penggunaan model spektrum tersebut dapat meningkatkan keamanan dalam perancangan struktur bangunan apung.

$$S_J(\omega_w) = \alpha \cdot g^2 \cdot \omega^{-5} \cdot \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right] \cdot \gamma^{\exp \left[-0.5 \cdot \left(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \cdot \omega_p} \right)^2 \right]} \quad (2.12.6)$$

Keterangan,

$$\alpha : \frac{5}{16} \cdot \frac{H_s^2 \cdot \omega_p^4}{g^2} \cdot (1 - 0.287 \cdot \ln \gamma)$$

H_s : tinggi gelombang signifikan (m)

ω_p : frekuensi puncak – *peak wave frequency* (rad/s)

ω : frekuensi puncak (rad/s)

g : 9.81 (m/s²)

σ : parameter bentuk (*shape parameter*),

: 0.07 jika $\omega \leq \omega_o$ dan 0.09 jika $\omega \geq \omega_o$

T_p : puncak periode gelombang (s)

φ : $T_p / \sqrt{H_s}$

γ : parameter ketinggian (*peakedness parameter*)

$$\begin{cases} \varphi \leq 3.6 \rightarrow 5.0 \\ 3.6 < \varphi < 5.0 \rightarrow \exp(5.75 - 1.15\varphi) \\ \varphi \geq 5.0 \rightarrow 1.0 \end{cases}$$

2.2.5.2 Respons Bangunan Apung pada Gelombang Acak

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya yang berupa gelombang sinusoidal (reguler) dalam jumlah tidak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang mempunyai tingkat energi tertentu yang dikontribusikan yang kemudian secara keseluruhan diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djatmiko E. B., 2012).

Hasil analisis berupa pengaruh interaksi hidrodinamika pada massa tambah, *potential damping*, dan gaya eksternal didapatkan pada analisis respons bangunan apung pada gelombang reguler. Selanjutnya, spektrum respons pada gelombang acak didapatkan dari hasil transformasi spektrum gelombang untuk mengetahui respons strukturnya. Secara matematis, nilai pada RAO dikuadratkan lalu dikali dengan spektrum gelombangnya sebagaimana pada persamaan 2.13.1.

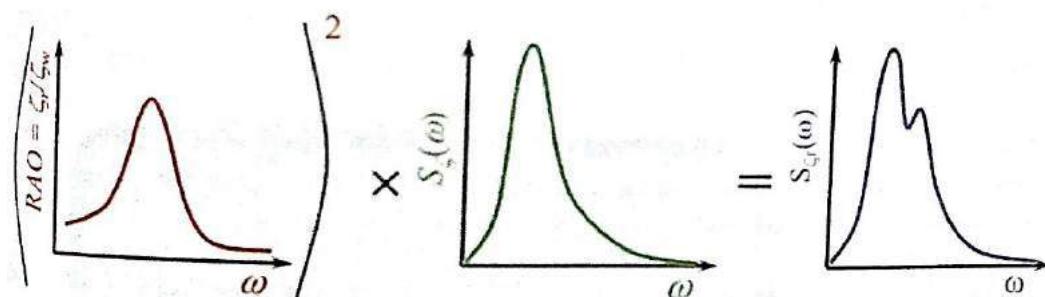
$$S_\eta(\omega_e) = \text{RAO}^2 \times S_\zeta(\omega_e) \quad (2.13.1)$$

Keterangan,

$S_\eta(\omega_e)$: spektrum respons struktur untuk setiap derajat kebebasan η ($\text{m}^2\text{-s}$)

$S_\zeta(\omega_e)$: spektrum energi gelombang ($\text{m}^2\text{-s}$) atau $S_J(\omega_w)$ untuk JONSWAP

RAO² : transfer function



Gambar II.12 Transformasi spektrum gelombang menjadi spektrum respons
(sumber: ‘Perilaku dan Operabilitas Bangunan Apung di Atas Gelombang Acak’ hal. 161 oleh E. B. Djatmiko)

Dari spektrum respons dapat diketahui parameter-parameter gelombang yang terdapat pada tabel berikut:

Tabel II.1 Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1.25\sqrt{m_0}$	$2.5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2.00\sqrt{m_0}$	$4.00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1:10 gelombang tertinggi	$2.55\sqrt{m_0}$	$1.25\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1:1000 gelombang tertinggi	$3.44\sqrt{m_0}$	$1.25\sqrt{m_0}$

Keterangan,

m_0 : luasan di bawah kurva spektrum (*zero moment*)

Luasan di bawah kurva spektrum untuk momen ke-0 didapatkan berdasarkan persamaan 2.13.2.

$$m_n = \int_0^{\infty} \omega_w^n \cdot S_{\eta}(\omega_e) d\omega_w \quad (2.13.2)$$

Keterangan,

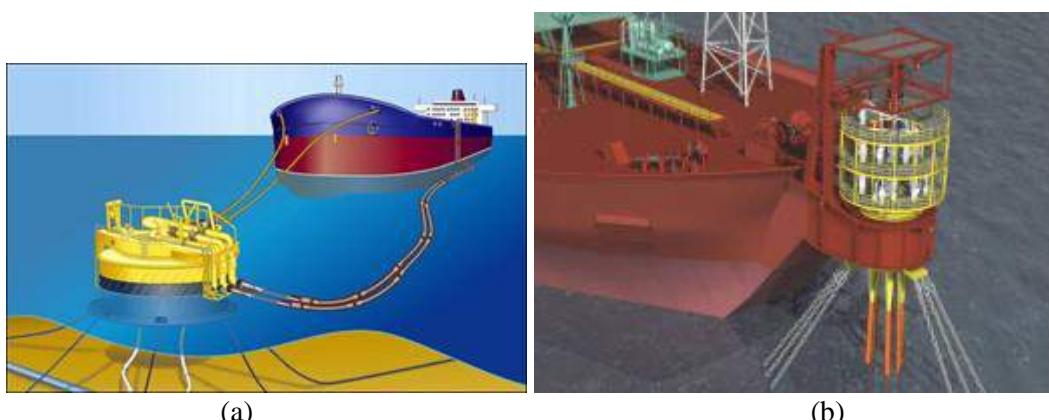
m_n : momen ke-n

ω_w^n : frekuensi gelombang (rad/s)

$S_{\eta}(\omega_e)$: spektrum respons struktur untuk setiap derajat kebebasan η ($m^2 \cdot s$)

2.2.6 Sistem Tambat (*Mooring System*)

Pada prinsipnya sistem tambat berfungsi untuk meredam pergerakan kapal akibat beban lingkungan sehingga posisi kapal tetap berada pada tempatnya dalam masa operasi. Sistem tambat terbagi menjadi dua kategori yakni: 1) Sifatnya *weathervaning* bagi yang ditambat (SBM, *turret mooring system*, dan *tower yoke mooring system*); 2) Sifatnya *non-weathervaning* bagi yang ditambat (*spread mooring system* dan *jetty mooring system*).



Gambar II.13 (a) *Single Buoy Mooring*; (b) *External Turret Mooring*
(sumber: helmidadang.wordpress.com & fishsafe.eu/en)

2.2.6.1 Single Buoy Mooring (SBM)

Single buoy mooring merupakan salah satu struktur yang memiliki fungsi sebagai penambat dan interkoneksi untuk muatan tanker atau pembongkaran produk hidrokarbon. SBM terdiri atas sebuah *buoy* yang ditambat ke dasar dengan menggunakan empat, enam, atau delapan rantai jangkar berat. SBM membantu bangunan apung untuk proses *weathervaning* yang berarti memungkinkan bangunan apung dapat bergerak sesuai arah akibat beban lingkungan. Hal ini penting untuk dapat meminimalkan gerakan struktur terapung akibat beban lingkungan (API Recommended Practice 2SK, 1997).

SBM terdiri dari tiga jenis yakni *Turret Mooring*, CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*), dan SALM (*Single Anchor Leg Mooring*). Masing-masing jenis tersebut memiliki kelebihan dan kelemahan tersendiri namun CALM adalah jenis yang paling umum digunakan karena mampu menangani ukuran kapal yang besar bahkan kapal seperti VLCC (*Very Large Crude Carriers*) di mana tidak ada lagi fasilitas alternatif yang tersedia.

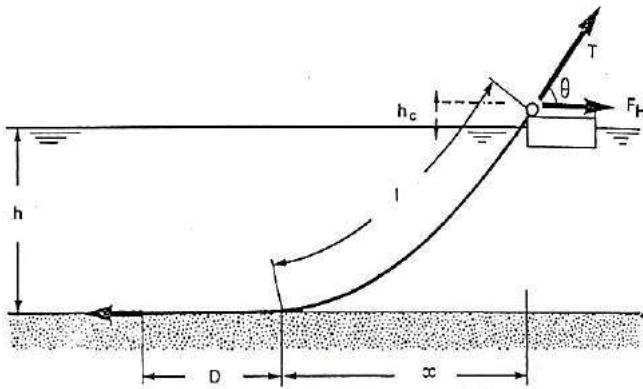
2.2.6.2 Mooring Line

Tali tambat (*mooring line*) terbagi menjadi dua komponen yaitu:

- *Wire rope* adalah sistem kabel lebih ringan dibanding sistem rantai oleh karena itu pada umumnya tali tambat terdapat gaya pengembali (*restoring force*) yang lebih baik pada laut dalam dibanding rantai dan membutuhkan tegangan awal yang kecil.
- *Chain* (rantai) adalah sistem rantai telah terbukti untuk daya tahan pada operasi di lepas pantai. Rantai lebih baik untuk pencegahan akan abrasi pada dasar laut dan memberikan kontribusi yang signifikan pada daya cengkeram jangkar.
- Kombinasi antara *chain* dan *wire rope* harus dilakukan dengan pemilihan panjang yang tepat sehingga dapat memperoleh sistem tambat yang menguntungkan secara ekonomis dan aman. Selain itu, secara teknis besaran tegangannya (*pretension*) akan sedikit lebih rendah, gaya pengembali (*restoring force*) yang lebih tinggi, dan *holding anchor* yang lebih besar serta daya tahannya terhadap abrasi dasar laut yang bagus. Hal ini juga menjadi pertimbangan untuk cocok dioperasikan pada laut dalam (*deep water*).

2.2.6.3 Penentuan Mooring Line

Fungsi utama tali pada sistem tambat adalah agar bangunan apung dapat berada pada posisi sesuai tujuan penambatannya dan memiliki ukuran panjang serta *pretension* yang sesuai.



Gambar II.14 Parameter mooring line

(sumber: ‘Analisa Analisa Resiko Pada Mooring Lines SPM Akibat Beban Kelelahan’ oleh Henny Triastuti Kusumawardhani)

Berikut adalah penentuan panjang minimum dari *mooring line (basic equation)*:

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{w \cdot h} + 1} \quad (2.15.1)$$

atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{w \cdot h} - 1} \quad (2.15.2)$$

Keterangan,

- l : panjang minimum tali tambat (*chain line*)
- h : jarak vertikal dari *fairlead* ke *seabed* = $h_m + h_c$
- h_m : kedalaman air
- h_c : tinggi *fairlead* di atas permukaan air
- w : berat tali tambat di dalam air per satuan panjang
- F_H : gaya horizontal *pre-tension* atau tali tambat pada *fairlead* = 10% MBL
- T : *tension* maksimum dari tali tambat (*pre-tension*) pada *fairlead*
- D : *length resting on the seabed* (panjang tali tambat yang menempel pada *seabed*)

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari tali tambat, yaitu:

- 200 s/d 300 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.
- 50 s/d 100 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

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

$$x = l - h \left(1 + 2 \frac{a}{h} \right)^{0.5} + a \cosh^{-1} \left(1 + \frac{h}{a} \right) \quad (2.15.3)$$

Keterangan,

- | | |
|---|---|
| x | : jarak minimum <i>mooring line</i> (m) |
| l | : panjang keseluruhan <i>mooring line</i> (m) |
| h | : jarak titik tumpu ke <i>seabed</i> (m) |
| a | : T_H/w |

2.2.6.4 Gaya Tarik pada *Mooring Line*

Gerakan pada bangunan apung atau kapal yang disebabkan beban lingkungan akan menyebabkan tali tambat mendapatkan tarikan atau tegangan. Tegangan (*tension*) akibat tarikan pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

➤ *Mean Tension*

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

➤ *Maximum Tension*

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

Berdasarkan aturan standar dari API RP 2SK edisi ketiga, tegangan maksimum dapat ditentukan dengan prosedur sebagai berikut:

➤ Jika $T_{lfmax} > T_{wfmax}$, maka:

$$T_{\max} = T_{\text{mean}} + T_{lf\max} + T_{wfsig} \quad (2.16.1)$$

➤ Jika $T_{wfmax} > T_{lfmax}$, maka:

$$T_{\max} = T_{\text{mean}} + T_{wf\max} + T_{lfsig} \quad (2.16.2)$$

Keterangan,

- | | |
|--------------|---------------------------------|
| $T_{lf\max}$ | : maximum low-frequency tension |
|--------------|---------------------------------|

T_{wfmax}	: maximum wave frequency tension
T_{max}	: maximum tension
T_{mean}	: mean tension
T_{lfsig}	: significant low-frequency tension
T_{wfsig}	: significant wave frequency tension

Sebagai catatan penting bahwa batasan atau *limit* besaran tegangan pada tali tambat dan faktor keamanan yang direkomendasikan untuk kondisi *intact condition* (ULS) adalah 1,67 sedangkan untuk kondisi *damage* (ALS) adalah 1,25. Dengan persamaan *safety factor*nya sebagai berikut:

$$\text{Safety Factor (SF)} = \frac{\text{Min. Breaking Load (MBL)}}{\text{Max. Tension}} \quad (2.16.3)$$

2.2.7 Analisis Dinamis

Analisis dinamis memperhitungkan respons dinamis dari tali tambat. Dampak variasi waktu yang disebabkan massa tali tambat, redaman, dan percepatan relatif fluida disertakan. Melalui cara pendekatan dengan gerakan *fairlead* yang berdasarkan variasi waktu dari mode gerakan osilasi dalam 6-derajat kebebasan. Metode analisis simulasi domain pada bangunan apung terbagi menjadi dua, yaitu (DNV, 2004):

- *Frequency Domain Analysis*

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada rentang frekuensi yang telah ditentukan. Metode ini juga dapat untuk memprediksi respons gelombang acak termasuk gerakan bangunan apung itu sendiri dan percepatan, gaya tendon serta sudut. Kelebihan dari metode ini adalah dapat lebih menghemat waktu perhitungan dan juga proses *input* dan *output* sedangkan kelemahannya adalah persamaan non linier diasumsikan menjadi persamaan linier dengan kata lain keakuratan hasil perhitungannya menjadi berkurang dibandingkan dengan penggunaan persamaan non linier. Umumnya metode ini digunakan untuk mencari respons struktur.

- *Time Domain Analysis*

Time domain analysis adalah penuntasan gerakan dinamis yang disebabkan beban lingkungan yang *cyclic* berdasarkan fungsi rentang waktu yang telah ditentukan sebelumnya. Pendekatan ini dengan cara memakai prosedur

integrasi waktu dan menghasilkan respons dengan riwayat waktunya berdasarkan fungsi waktu $[x(t)]$. *Time domain* menjadi metode untuk analisis dinamis dalam menentukan nilai *tension* sedangkan *frequency domain* menjadi metode untuk mengetahui respons struktur. Metode ini juga umumnya dilakukan pada saat kondisi ekstrem atau badi dan bukan metode yang tepat jika dilakukan analisis kelelahan (*fatigue*). Jika dibandingkan metode *frequency domain*, maka keuntungannya adalah semua tipe model non-linear (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat. Sedangkan kelemahannya adalah membutuhkan waktu perhitungan yang lebih. Berdasarkan aturan standar DNV OS E301 sendiri bahwa minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 s). Umumnya metode ini dijadikan acuan untuk analisis dinamis dalam mencari gaya tarik atau tegangan dan juga biasa digunakan pada kondisi ekstrem namun tidak untuk analisis kelelahan (*fatigue*).

2.2.8 Tegangan Pada Struktur

2.2.8.1 Tegangan Aksial

Tegangan aksial atau normal merupakan intensitas gaya pada suatu titik tertentu yang tegak lurus terhadap suatu penampang dan menghasilkan tegangan akibat adanya gaya tarik atau tekan. Berikut persamaan umumnya:

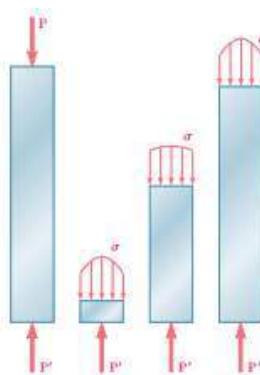
$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.17)$$

Keterangan,

τ : tegangan aksial (Pa)

F : gaya yang bekerja (N)

A : luas penampang *chock* (m^2)



Gambar II.15 Distribusi tegangan pada sepanjang tegangan lentur
(sumber: ‘Mechanics of Materials’ hal. 10 oleh Ferdinand Beer dkk.)

2.2.8.2 Tegangan Lentur

Momen luar diimbangi oleh momen dalam yang merupakan resultan tegangan lentur (*bending*). Berikut adalah turunan rumus agar mendapatkan persamaan umum tegangan lenturnya:

$$M = \int_A f \cdot dA \cdot y = \int_A \left(-\frac{y}{c} f_{max} \right) \cdot dA \cdot y = -\frac{f_{max}}{c} \int_A y^2 dA \quad (2.18.1)$$

Karena $\int_A y^2 dA$ adalah momen inersia (I) maka tegangan lentur pada sembarang titik yang berjarak y dari garis netal adalah:

$$f = -\frac{M \cdot y}{I} \quad (2.18.2)$$

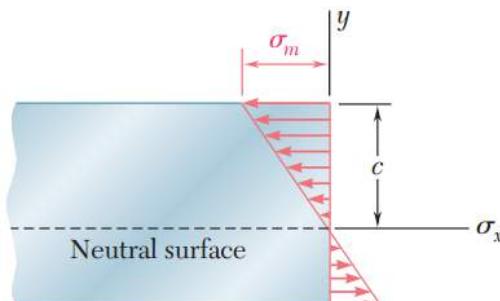
Keterangan,

f : tegangan lentur atau biasa disimbolkan juga dengan σ

M : momen *bending* (ton.m)

y : jarak normal bidang (m)

I : momen inersia bidang (m^2)



Gambar II.16 Tegangan lentur

(sumber: ‘Mechanics of Materials’ hal. 229 oleh Ferdinand Beer dkk.)

2.2.8.3 Tegangan Geser

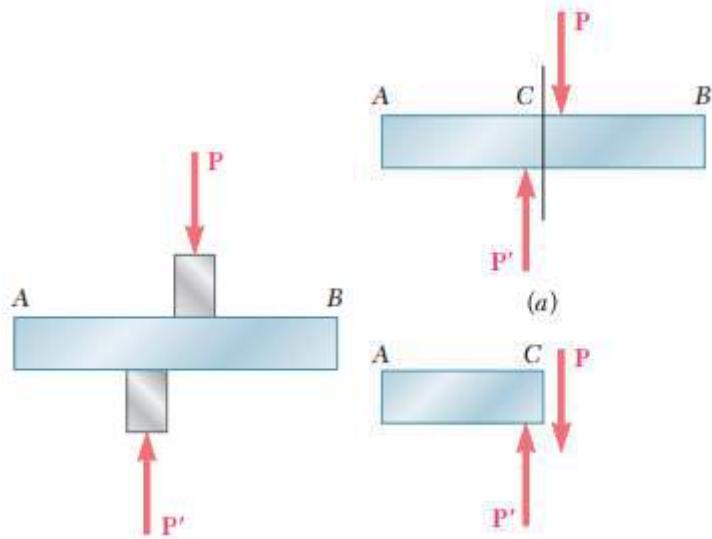
Tegangan geser (*shear stress*) adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang dan berikut persamaan umumnya:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (2.19)$$

Keterangan,

V : gaya geser (N)

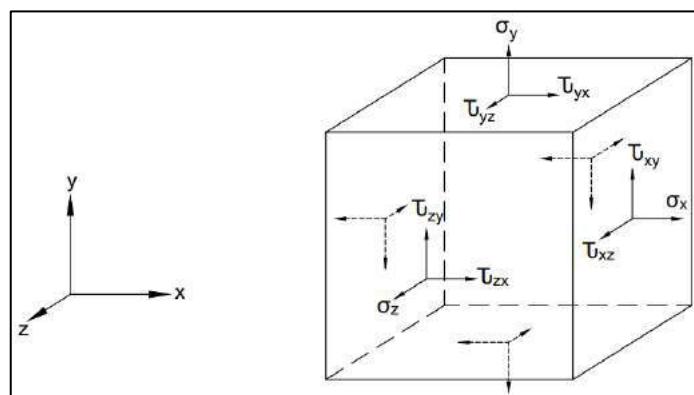
A : luas penampang (m^2)



Gambar II.17 Gaya yang bekerja berlawanan arah terhadap penampang
(sumber: ‘Mechanics of Materials’ hal. 11 oleh Ferdinand Beer dkk.)

2.2.8.4 Tegangan Von Mises

Metode elemen hingga adalah salah satu metode untuk mendapatkan tegangan-tegangan yang terjadi pada setiap sisi untuk suatu elemen tiga dimensi. Cara untuk mengetahui acuan nilai tegangan maksimum yang terjadi pada *node* tertentu terhadap tegangan izin (*allowable stress*) atau tegangan lelehnya (*yield stress*) untuk menyelesaikan metode elemen hingga dalam menghitung seluruh komponen tegangan yang terjadi adalah menggunakan prinsip tegangan Von Mises. Tegangan Von Mises atau tegangan uniaksial (*uniaxial stress*) adalah tegangan yang mengombinasikan tegangan-tegangan utama (normal dan geser) pada suatu elemen dan tidak memiliki arah.



Gambar II.18 Komponen tegangan dalam 3D
(sumber: ‘Mengulas Ulang (Resume) Mengenai Konsep Tegangan sebagai Pengantar Kuliah Teori Pelat dan Cangkang’ hal. 2 oleh Jamhari, dkk)

Tegangan Von Mises adalah pengembangan dari teori energi distorsi di mana energi distorsi merupakan energi yang dibutuhkan oleh suatu material untuk mengalami deformasi bentuk. Jika suatu material terjadi distorsi akibat beban luar maka bentuk materialnya akan berubah tanpa mengubah volumenya. Tegangan Von Mises mengalkulasikan energi distorsi per satuan volume yang diperlukan kemudian digunakan hasilnya untuk mengalkulasikan tegangan ekuivalen yang mengakibatkan deformasi bentuk yang terjadi. Jika suatu struktur memiliki tegangan atau energi distorsi Von Mises lebih besar dari tegangan atau energi distorsi yang diizinkan atau dibutuhkan untuk mencapai kondisi leleh (*yield point*) maka struktur tersebut mengalami kegagalan. Tegangan Von Mises dapat dihitung dengan persamaan 2.20 dengan hasil satuannya berupa Pa atau N/m².

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2.20)$$

Keterangan,

σ_{eq} : tegangan ekuivalen Von Mises (Pa)

σ_x : tegangan normal sumbu x (Pa)

σ_y : tegangan normal sumbu y (Pa)

σ_z : tegangan normal sumbu z (Pa)

τ_{xy} : tegangan geser bidang xy (Pa)

τ_{xz} : tegangan geser bidang xz (Pa)

τ_{yz} : tegangan geser bidang yz (Pa)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

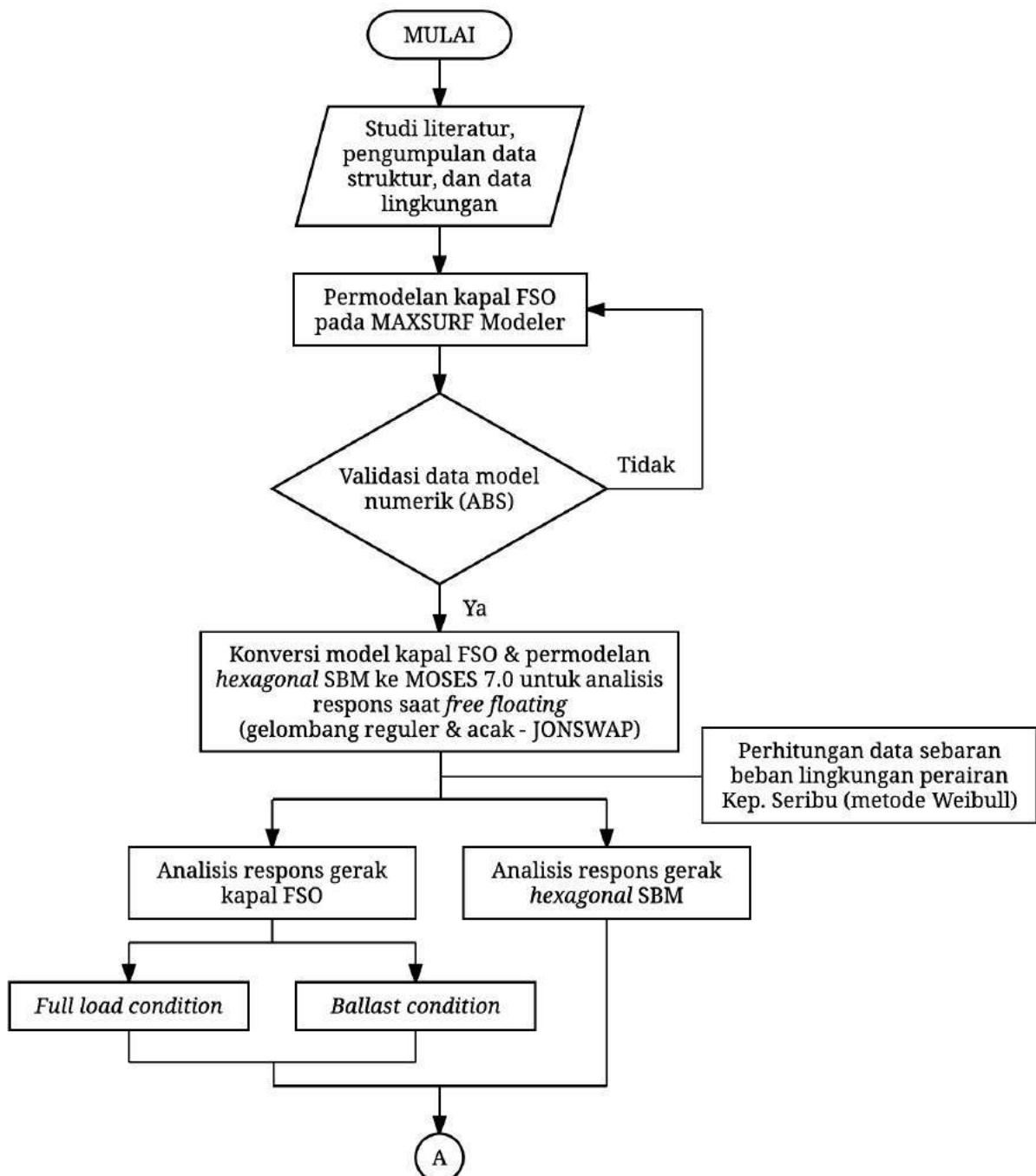
METODOLOGI PENELITIAN

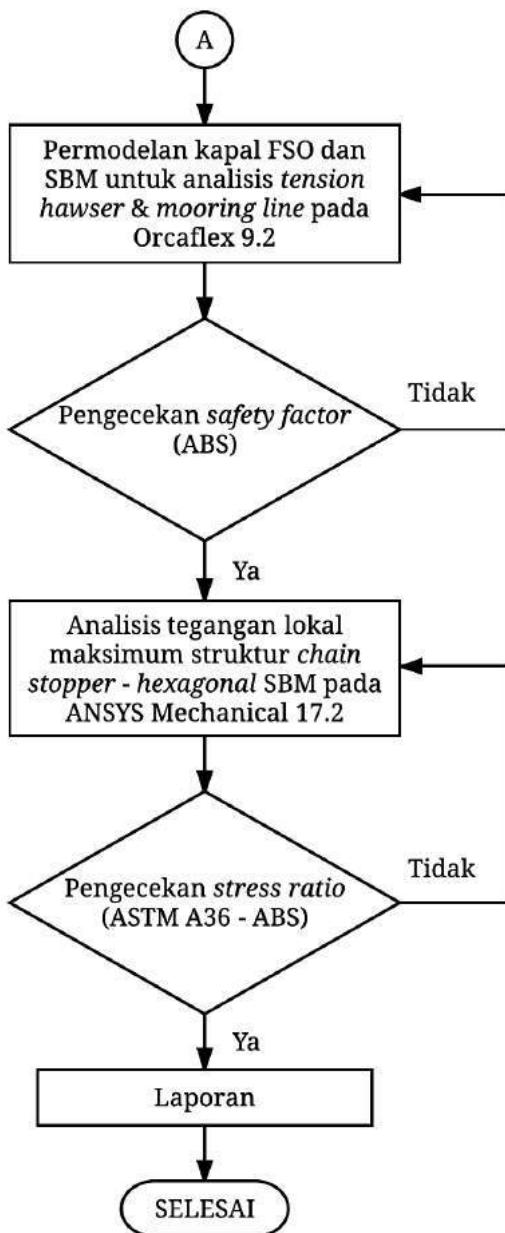
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Bentuk diagram alir (*flow chart*) untuk tugas akhir sebagaimana berikut:





Gambar III.1 Flow chart penyelesaian tugas akhir

Penjelasan Bagan Alir

1. Studi Literatur

Studi literatur ini menerangkan apa saja referensi yang dipelajari untuk pengerjaan penelitian pada tugas akhir ini. Referensi pertama kali yang diambil berdasarkan data dan laporan dari proyek ‘Banner Hex Buoy 01 – Global Structure Analysis’ oleh PT. Adidaya Energi Mandiri. Selain itu, referensi juga diambil dari beberapa tugas akhir yang sebelumnya telah ada, materi perkuliahan, jurnal, dan buku serta *rules/codes* terbaru yang relevan untuk F(P)SO dan *mooring system*.

2. Permodelan dengan MAXSURF Modeler

Permodelan sederhana untuk struktur kapal FSO dalam penelitian pada tugas akhir ini menggunakan *software MAXSURF Modeler* yang tujuannya untuk mendapatkan koordinat-koordinat bentuk *body* kapal FSO yang akan digunakan pada *software MOSES 7.0* untuk analisis RAO dan spektrum respons.

3. Validasi Model

Setelah dilakukan permodelan struktur kapal FSO dengan *software MAXSURF Modeler*, dilakukan pengecekan kesesuaian atau validasi dari data hidrostatik dari PT. Adidaya Energi Mandiri yang kemudian dibandingkan dengan data hidrostatik dari *software* tersebut. Validasi tersebut mengikuti ketentuan aturan ABS MODU 2016.

4. Permodelan dengan MOSES 7.0

Setelah mendapatkan data koordinat dari *software MAXSURF Modeler*, selanjutnya *diinputkan* data tersebut pada MOSES Editor (kondisi *free floating*) pada kondisi *full load* dan *ballast* untuk kemudian dijalankan (*run analysis*) agar mendapatkan *output* model kapal FSO dan *hexagonal SBM*. *Hexagonal SBM* dapat mulai dimodelkan tanpa melalui *MAXSURF Modeler* dengan koordinat-koordinat yang sederhana karena bentuknya yang segi enam.

5. Analisis RAO dengan MOSES 7.0

Setelah dijalankan pada MOSES Editor berdasarkan data koordinat dari *MAXSURF Modeler*, selanjutnya didapatkan *output* data karakteristik respons gerak berupa hasil analisis dari perhitungan *Response Amplitude Operator* (RAO) pada kondisi *full load* dan *ballast* yang kemudian diolah datanya untuk membuat grafik dan interpretasinya. Hal ini juga sama diterapkan untuk model *hexagonal SBM* dengan satu kondisi.

6. Permodelan Kondisi Tertambat dengan Orcaflex 9.2 untuk Analisis Tension

Hasil *output* dari MOSES Editor kemudian *diinputkan* ke Orcaflex 9.2 untuk permodelan kapal FSO dan SBM yang selanjutnya menganalisis besaran tegangan pada *hawser* dan rantai jangkar yang ditambat dari *buoy* ke dasar laut untuk memastikan konfigurasi penghubung SBM sesuai regulasi yang berlaku

untuk aman beroperasi dan mengetahui besaran tegangan maksimum yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu untuk dijadikan acuan analisis lebih lanjut.

7. Analisis Tegangan Lokal Maksimum *Chain Stopper* dengan ANSYS 16.2

Hasil tegangan maksimum (global) *mooring line* SBM dari Orcaflex 19.2 kemudian diinputkan ke ANSYS *Mechanical* untuk dianalisis lebih lanjut mengenai tegangan lokal maksimum yang sebenarnya terjadi pada area *chain stopper hexagonal* SBM berdasarkan regulasi yang digunakan dan apabila terdapat besaran tegangannya melebihi batas aman maka perlu dilakukan konfigurasi ulang pada desain *chain stopper* atau SBMnya secara keseluruhan.

3.2 PENGUMPULAN DATA

Data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah data struktur dan lingkungan. Data struktur meliputi properti hidrostatis pada kapal FSO dengan panjang longitudinal 330 meter, dimensi utama *hexagonal* SBM, dan properti *mooring line* serta material pada *hexagonal* SBM. Berikut ini adalah daftar tabel data berdasarkan laporan analisis struktur global pada *hexagonal* SBM oleh PT. Adidaya Energi Mandiri sebelumnya:

Tabel III.1 Properti hidrostatis kapal FSO 330 meter

<i>Displacement</i>	Δ	=	308625	t
<i>Volume (displaced)</i>	∇	=	301097.591	m^3
<i>Draft amidships</i>	T	=	20.422	m
<i>Immersed depth</i>		=	20.422	m
<i>Waterline length</i>	L_{wl}	=	330.366	m
<i>Beam max extents on WL</i>		=	54.252	m
<i>Wetted Area</i>	S_w	=	27025.599	m^2
<i>Max sect. area</i>		=	1103.764	m^2
<i>Waterpl. Area</i>	A_{wl}	=	16055.723	m^2
<i>Prismatic coeffisien</i>	C_p	=	0.826	frm zero pt. (+ve fwd) m
<i>Block coeffisien</i>	C_b	=	0.823	frm zero pt. (+ve fwd) m
<i>Max. sect. area coeff.</i>	C_m	=	0.996	frm zero pt. (+ve fwd)% L_{wl}
<i>Waterpl. Area coeff.</i>	C_{wp}	=	0.896	frm zero pt. (+ve fwd)% L_{wl}
<i>Longitudinal Centre of Buoyancy</i>	<i>LCB</i>	=	-152.876	m
	<i>LCB %</i>	=	-160.427	
<i>Longitudinal Centre of Flotation</i>	<i>LCF</i>	=	-46.275	m
	<i>LCF %</i>	=	-48.56	

<i>Height above the keel</i>	KB	=	10.594	m
<i>Keel to Centre of Buoyancy (fluid)</i>	KG	=	0	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Buoyancy</i>	BMT	=	11.909	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Buoyancy</i>	BML	=	401.568	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Gravity</i>	GMt	=	22.503	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Gravity</i>	GML	=	412.162	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Keel</i>	KMt	=	22.503	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Keel</i>	KML	=	412.162	m
<i>Tonnes per Centimetre Immersion</i>	TPc	=	164.571	tonne/cm
<i>Moment to Trim per cm</i>	MTc	=	164.571	tonne.m

Jenis material yang digunakan pada struktur *hexagonal* SBM adalah ASTM

A36. Berikut properti material yang digunakan untuk analisis berikutnya:

Tabel III.2 Properti material *hexagonal* SBM

Parameter	Unit	Nilai
<i>Yield stress (σ_{yield})</i>	MPa	250
<i>Tensile stress ($\sigma_{tensile}$)</i>	MPa	550
<i>Density (ρ)</i>	kg/m	7800
<i>Young modulus (E)</i>	MPa	210000
<i>Shear modulus (G)</i>	MPa	78000
<i>Poisson's ratio (u)</i>	-	0.3

Dimensi yang digunakan pada *hexagonal* SBM dan *mooring line* untuk analisis berikutnya ditunjukkan pada Tabel III.3 dan Tabel III.4.

Tabel III.3 Dimensi *hexagonal* SBM

Parameter	Unit	Nilai
<i>Circumscribed diameter</i>	m	14
<i>Height</i>	m	5.5
<i>Displacement</i>	mT	408
XCG/YCG	m	0/0
ZCG from MWL	m	1.75
Rxx	m	3.61
Ryy	m	3.61
Rzz	m	3.61

Tabel III.4 Dimensi *mooring line*

Parameter	Unit	Nilai
<i>Mooring line</i>	point	6
<i>Type</i>	-	<i>Chain, stud less</i>
<i>Length</i>	m	300
<i>Diameter</i>	m	0.108
<i>Axial stiffeners</i>	kN	995183.493
<i>Minimum breaking load</i>	kN	3380.732

Berikut adalah beberapa data lingkungan dengan rentang waktu antara Mei 2004 hingga Januari 2014 pada lokasi perairan Kepulauan Seribu dengan kedalaman ± 40 meter pada garis lintangnya $5^{\circ}26'40.0''S$ dan garis busurnya $106^{\circ}14'42.0''E$.

Tabel III.5 Data distribusi tinggi gelombang perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)

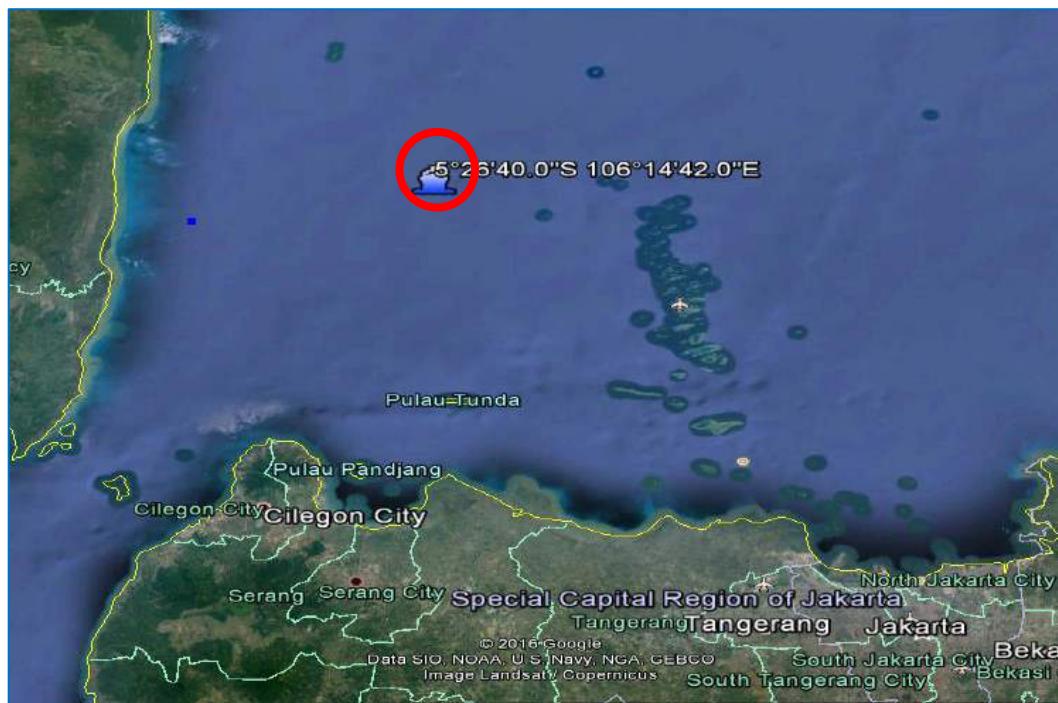
PEAK PERIOD (T_p)		H_s (m)							
		0.0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1.00	1.00-1.25	1.25-1.50	1.50-1.75	>1.75
Total Period (s)	4-5	387	1226	1298	611	37	0	0	0
	5-6	1268	9488	13068	12103	5717	2099	398	71
	6-7	305	3990	13895	3975	936	499	176	60
	7-8	17	600	2118	8744	490	62	0	0
	8-9	0	90	429	460	266	1	0	0
	9-10	0	2	96	64	11	0	0	0

Tabel III.6 Data presentasi kecepatan angin perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)

WIND DIRECTION (DEG.)		Wind Speed (knots)						
		1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	>=13
N	348.75-11.25	233	232	181	57	29	1	0
NNE	11.25-33.75	203	174	71	12	2	0	0
NE	33.75-56.25	275	336	144	26	1	0	0
ENE	56.25-78.75	415	577	512	343	96	22	3
ENE	78.75-101.25	604	1449	2812	2738	2047	1270	531
ESE	101.25-123.75	659	1636	3406	3792	3288	2126	1412
SE	123.75-146.25	619	1354	1567	769	403	118	48
SSE	146.25-168.75	471	1010	506	64	17	7	0
S	168.75-191.25	434	707	357	130	33	1	0
SSW	191.25-213.75	426	687	552	391	191	74	70
SW	213.75-236.25	369	763	1204	960	890	573	799
WSW	236.25-258.75	364	809	1267	1308	916	569	313
WSW	258.75-281.25	350	802	1216	16654	688	234	90
WNW	281.25-303.75	330	745	984	962	736	428	365
NW	303.75-326.25	348	599	702	667	609	546	816
NNW	326.25-348.75	229	339	340	257	152	138	96

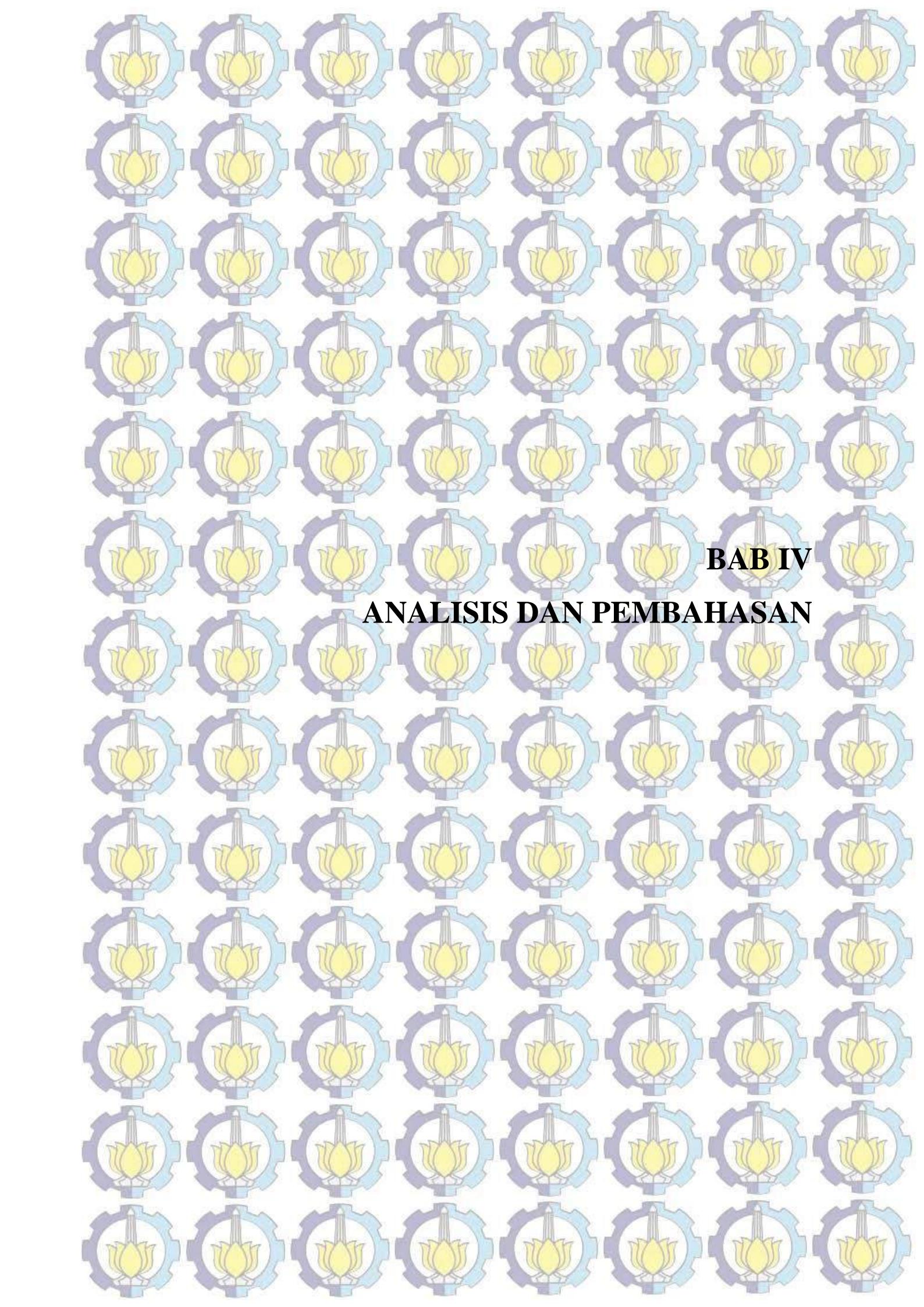
Tabel III.7 Data presentasi kecepatan arus perairan Kepulauan Seribu (2004-2014)

CURRENT		Current Speed (m/s)							
		0-0.06	0.06-0.12	0.12-0.18	0.18-0.24	0.24-0.3	0.3-0.36	0.36-0.42	>=0.42
N	348.75-11.25	1849	5631	0	2218	0	134	21	30
NNE	11.25-33.75	1724	3062	0	557	0	32	16	18
NE	33.75-56.25	1150	1752	0	209	0	10	9	6
ENE	56.25-78.75	984	1070	0	206	0	6	6	11
ENE	78.75-101.25	1065	980	0	136	0	19	11	0
ESE	101.25-123.75	1330	1101	0	97	0	18	3	6
SE	123.75-146.25	1535	1554	0	229	0	52	27	6
SSE	146.25-168.75	1647	1654	0	204	0	47	23	3
S	168.75-191.25	1655	1323	0	287	0	34	37	14
SSW	191.25-213.75	1442	1522	0	320	0	111	7	0
SW	213.75-236.25	1366	1629	0	489	0	127	27	24
WSW	236.25-258.75	1195	1001	0	186	0	57	19	16
WSW	258.75-281.25	1288	703	0	114	0	27	33	21
WNW	281.25-303.75	1478	1194	0	137	0	35	17	24
NW	303.75-326.25	11366	7829	0	565	0	82	9	4
NNW	326.25-348.75	3885	6295	0	3681	0	791	84	47



Gambar III.2 Lokasi titik operasi sistem tambat pada perairan Kepulauan Seribu

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

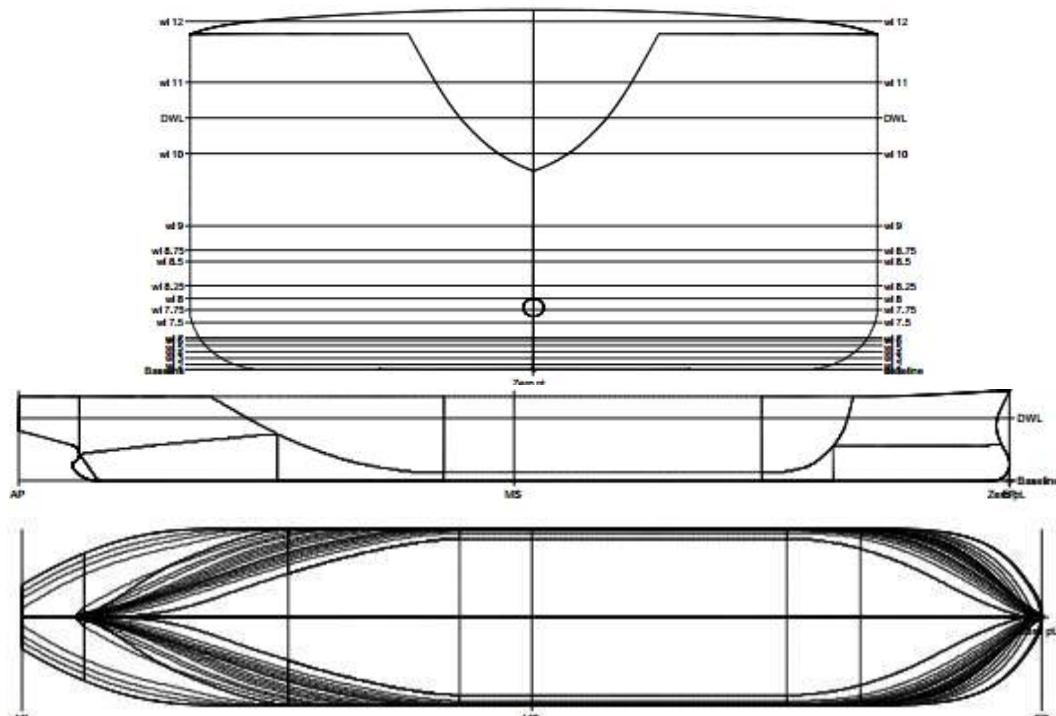
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 PERMODELAN KAPAL FSO & HEXAGONAL SBM

Permodelan pada kapal FSO dan *hexagonal* SBM dilakukan dengan bantuan *software MAXSURF Modeler* atau *MOSES Modeler* dan *MOSES 7.0* untuk analisis lebih lanjut mengenai topik penelitian tugas akhir ini. Langkah awal permodelan dengan *software MAXSURF Modeler* adalah memasukkan data *principle dimension* dari Tabel III.1 ke salah satu *template vessel library* yang telah tersedia di *software* agar memudahkan dan tinggal penyesuaian beberapa model desain agar parameter strukturnya dapat mendekati atau sama dengan parameter pada Tabel III.1. Selanjutnya, *MAXSUF Modeler* secara otomatis memberikan informasi properti hidrostatisnya dan apabila modelnya telah sesuai dengan melakukan beberapa validasi berdasarkan acuan *ABS Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units (MODU) 2016* pada data awal Tabel III.1 maka berikutnya dapat melakukan analisis mengenai karakteristik gerakannya saat mengapung dengan *software MOSES 7.0*. Berikut ini *screenshot print-out* hasil permodelan dengan *MAXSURF Modeler* beserta hasil validasinya.



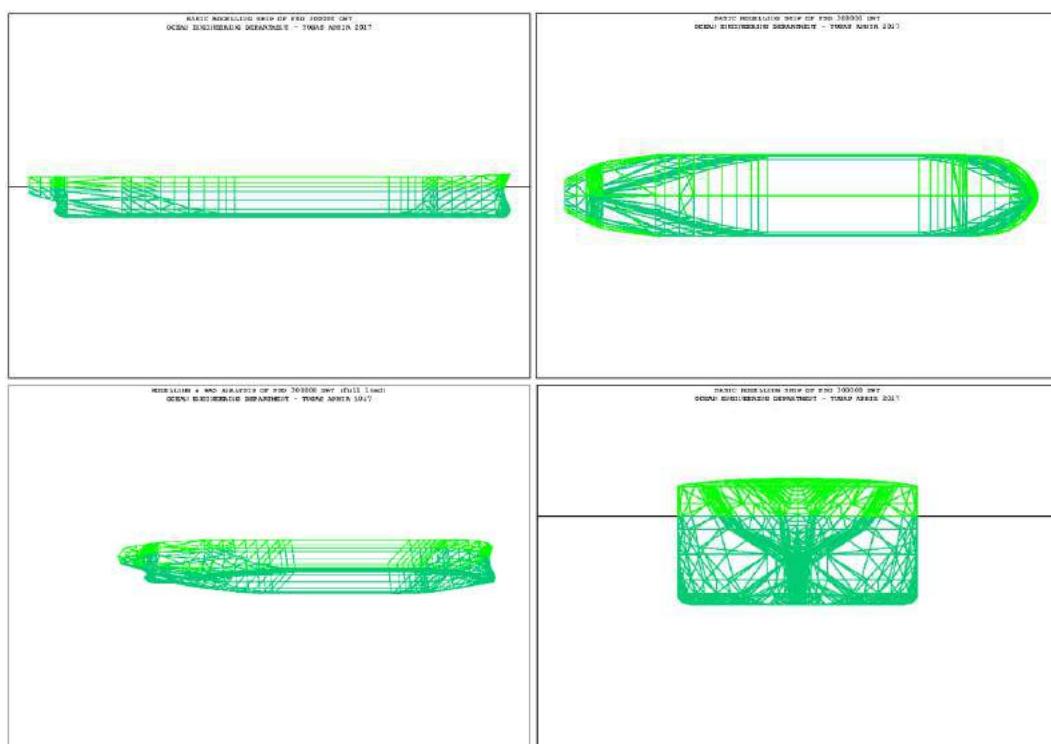
Gambar IV.1 Permodelan kapal FSO dengan *software MAXSURF Modeler*

Tabel IV.1 Hasil validasi model kapal FSO dengan *software MAXSURF Modeler*

Karakteristik	Unit	Data Awal	MAXSURF	Validitas	Status
<i>Displacement (Δ)</i>	t	308625	304896	99%	OK!
<i>Volume (displaced) (V)</i>	m^3	301098	297459	99%	OK!
<i>Wetted Surface Area (WSA)</i>	m^2	27026	26984.96	100%	OK!
<i>Prismatic coefficient (C_p)</i>		0.826	0.824	100%	OK!
<i>Block coefficient (C_b)</i>		0.823	0.821	100%	OK!
<i>Max. sect. area coeff. (C_m)</i>		0.996	0.997	100%	OK!
<i>Max sect. area</i>	m^2	1104	1118	99%	OK!
<i>Height above the keel (KB)</i>	m	11	10.529	99%	OK!
<i>Moment to Trim per cm (MTc)</i>	T.m	3850.454	3901.665	99%	OK!

Kriteria validasi berdasarkan ABS MODU 2016 adalah bahwa validasi *displacementnya* bernilai minimum 98% (*error 2%*) sedangkan ketentuan lainnya bernilai minimum 99% (*error 1%*).

Langkah berikutnya adalah permodelan kapal FSO kembali dilakukan dengan *software MOSES 7.0* untuk analisis RAO, *added mass – damping*, dan *mean wave drift force*. Permodelannya berdasarkan metode teori strip dari kalkulasi *offset* pada *MAXSURF Modeler* sebelumnya dimana titik-titik koordinatnya menggambarkan model kapal FSO sebagaimana gambar *screenshot* di bawah hasil permodelan dengan *MOSES 7.0* beserta hasil validasinya dengan ABS MODU 2016.

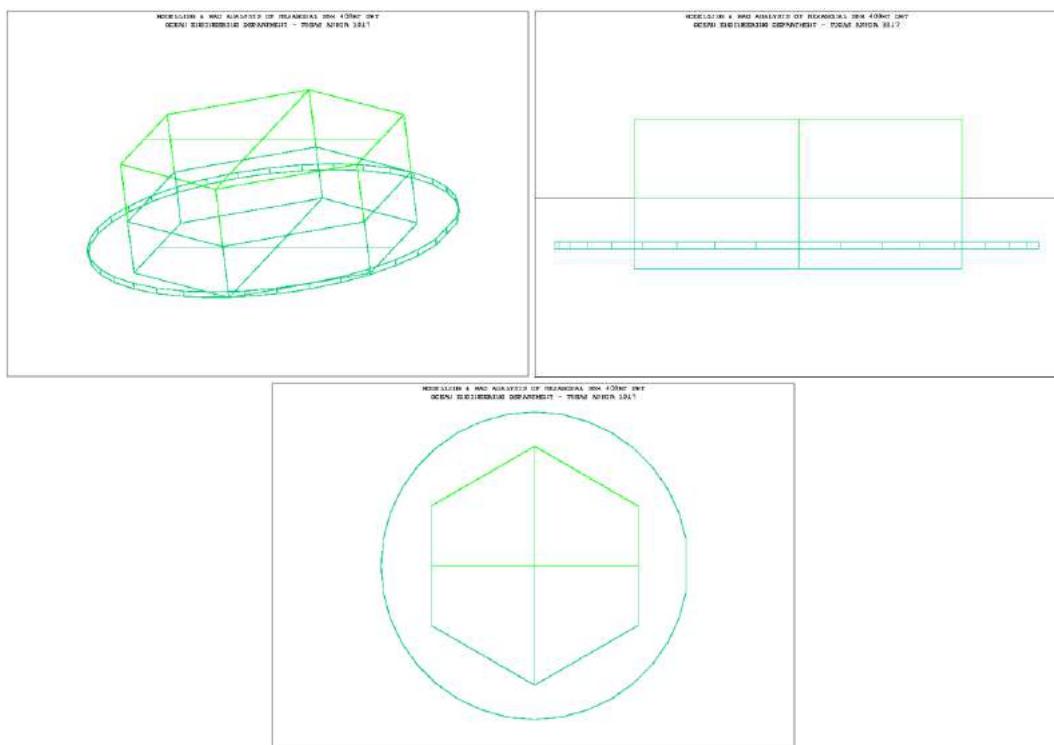


Gambar IV.2 Permodelan kapal FSO dengan *software MOSES 7.0*

Tabel IV.2 Hasil validasi model kapal FSO dengan *software* MOSES 7.0

Karakteristik	Unit	Data Awal	MOSES	Validitas	Status
<i>Draft amidships (T)</i>	m	20	20.5	100%	OK!
<i>Displacement (Δ)</i>	t	308625	309659.8	100%	OK!
Longitudinal Centre of Buoyancy (LCB)	m	-153	-152	99%	OK!
Longitudinal Metacentric Radius of Keel (KML)	m	412.162	413.74	100%	OK!
Longitudinal Metacentric Radius of Buoyancy (BML)	m	401.568	403.02	100%	OK!

Sedangkan permodelan pada *hexagonal* SBM dicukupkan dengan bantuan *software* MOSES 7.0 karena bentuknya yang sederhana hanya berupa *hexagonal* dan silinder sekaligus mendapatkan *output* yang akan dianalisis selanjutnya tanpa perlu menggunakan MAXSURF *Modeler* sebagaimana pada kapal FSO karena bentuknya yang lebih rumit untuk menentukan titik-titik koordinatnya secara manual. Berikut ini hasil *screenshot* dari permodelan dengan MOSES 7.0 beserta hasil validasinya berdasarkan ABS MODU 2016.



Gambar IV.3 Permodelan *hexagonal* SBM dengan *software* MOSES 7.0

Tabel IV.3 Hasil validasi model *hexagonal* SBM dengan *software* MOSES 7.0

Karakteristik	Unit	Data Awal	MOSES	Validitas	Status
<i>Circumscribed diameter</i>	m	14	14	100%	OK!
<i>Height</i>	m	5.5	5.514	100%	OK!
<i>Displacement</i>	mT	408	402	99%	OK!

4.2 SKENARIO ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR

Skenario analisis karakteristik gerak pada kapal FSO dan *hexagonal* SBM diperlukan sebelum melanjutkan pada langkah analisis berikutnya. Adapun skenario muatan dan pembebanannya adalah sebagai berikut:

- a) Kapal FSO kondisi muatan 100% atau *full load condition*
- b) Kapal FSO kondisi muatan 10% atau *ballast condition*

Variasi muatan tersebut diharapkan dapat mewakili kondisi rill saat kapal FSO sedang beroperasi dan dapat mempengaruhi titik beratnya pada dua kondisi tersebut. Secara teori, perubahan titik berat dapat mempengaruhi nilai radius girasi yang fungsinya memperoleh momen inersia kapal terutama gerakan yang sifatnya rotasi seperti gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

4.2.1 Perhitungan Titik Berat Struktur

Permodelan kapal FSO dengan MAXSURF *Modeler* dan MOSES 7.0 hanya didasarkan pada lambung kapal saja sehingga untuk titik beratnya pada dua kondisi perlu dilakukan perhitungan secara manual yang hasilnya ketika dimasukkan kedua *software* tersebut akan mengubah tinggi sarat kapalnya beserta parameter hidrostatik lainnya. Proses perhitungannya didasari dengan mengacu pada *General Arrangement* (AutoCAD) dari kapal pembanding yang memiliki ukuran utama yang sama dengan data awal lalu diasumsikan memiliki bentuk dan peralatan yang sama sehingga selanjutnya dapat menerapkan skenario dua variasi kondisi saat beroperasinya kapal FSO. Jika dua kondisi telah divariasikan beban muatannya, maka titik berat dan tinggi saratnya akan berubah serta memiliki karakteristik gerakan atau fungsi RAO yang berbeda dari dua kondisi tersebut. Perhitungan manualnya dapat diperhatikan secara lengkap pada Lampiran B-1.

4.2.2 Perhitungan Radius Girasi Struktur

Selain perhitungan penentuan titik berat pada struktur kapal FSO, radius girasi struktur juga perlu diperhitungkan dengan menggunakan variabel titik berat sebelumnya. Radius girasi dari gerak rotasi struktur merupakan hasil akar dari

jumlah massa dikalikan masing-masing jarak massa tersebut dari titik beratnya (Bhattacharyya, 1978). Sehingga fungsi penentuan radius girasi struktur adalah untuk mendeskripsikan gerakan struktur secara rotasi atau memiliki sifat kekakuan seperti pada gerakan *roll*, *pitch*, dan *yaw*.

Pada penelitian ini, pendekatan rumus yang digunakan berdasarkan standar Bureau Veritas karena bentuk kapal yang dianalisis tidak homogen sehingga relatif lebih rumit untuk penentuan titik *point mass* dari sebuah volume benda tak beraturan. Rumus yang digunakan berdasarkan pada persamaan 2.6.4 dan 2.6.5.

Berikut ini merupakan hasil perhitungan titik berat dan radius girasi kapal dalam dua kondisi yakni *full load* dan *ballast* sebagai berikut:

Tabel IV.4 Perhitungan titik berat dan radius girasi kapal untuk kondisi *full load*

FSO - <i>full load</i> ($T = 20.67 \text{ m}$)					
Titik Berat Kapal (meter)			Radius Girasi Kapal (meter)		
x	y	z	k_{xx}	k_{yy}	k_{zz}
163.91	0.00	17.61	22.84	93.93	93.93

Tabel IV.5 Perhitungan titik berat dan radius girasi kapal untuk kondisi *ballast*

FSO - <i>ballast</i> ($T = 18.32 \text{ m}$)					
Titik Berat Kapal (meter)			Radius Girasi Kapal (meter)		
x	y	z	k_{xx}	k_{yy}	k_{zz}
174.58	0.00	14.09	20.57	93.93	93.93

4.2.3 Skenario Pembebanan

Skenario pembebanan lingkungan terhadap struktur kapal FSO dan *hexagonal* SBM untuk tujuan analisis karakteristik responsnya pada awalnya berdasarkan arah pembebanan 0° (*following seas*), 45° (*quartering seas*), 90° (*beam seas*), 135° (*quartering seas*), dan 180° (*heading seas*) namun pembahasan pada penelitian ini hanya difokuskan pada tiga arah pembebanan berdasarkan respons yang paling maksimum di antara 0° atau 180° , 45° atau 135° , dan 90° .

Selain itu, pembebanannya dilakukan secara *collinear*, yaitu beban gelombang, arus, dan angin berasal dari arah yang sama sebab struktur akan memperoleh beban maksimum sehingga dapat diketahui respons maksimum dan *tension* maksimum pada *mooring line*.

4.2.4 Skenario Analisis

Skenario analisis yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari kondisi struktur kapal FSO dan *hexagonal* SBM mengapung bebas (*free floating*) pada

gelombang reguler dan gelombang acak (JONSWAP Spektrum). Fungsi RAO yang didapatkan dari masing-masing struktur tersebut kemudian dilakukan analisis *tension* maksimum pada *mooring line* dan selanjutnya dilakukan analisis tegangan lokal maksimum pada *chain stopper hexagonal* SBM.

4.3 PERHITUNGAN DATA SEBARAN BEBAN LINGKUNGAN PADA PERAIRAN KEPULAUAN SERIBU

Sebelum pada tahap analisis respons pergerakan kapal FSO dan *hexagonal* SBM akibat beban gelombang saat *free floating*, perlu dilakukan perhitungan data sebaran gelombang pada perairan Kepulauan Seribu 2004-2014 dengan metode distribusi probabilitas Weibull untuk mengetahui tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan.

Tabel IV.6 Data sebaran gelombang pada perairan Kepulauan Seribu 2004-2014

T_p (s)	H_s (m)							
	0.0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.75	0.75-1.00	1.00-1.25	1.25-1.50	1.50-1.75	>1.75
4-5	387	1226	1298	611	37	0	0	0
5-6	1268	9488	13068	12103	5717	2099	398	71
6-7	305	3990	13895	3975	936	499	176	60
7-8	17	600	2118	8744	490	62	0	0
8-9	0	90	429	460	266	1	0	0
9-10	0	2	96	64	11	0	0	0

Tabel IV.6 menunjukkan data sebaran gelombang dari hasil pengukuran di suatu perairan Kepulauan Seribu dengan masa periode 2004-2014. Direkomendasikan jumlah total gelombang dari tabel ditambah 0.5 untuk mengantisipasi kejadian gelombang-gelombang signifikan di atas 1.75 meter dan kejadian puncak periode gelombang di atas 10 sekon. Selanjutnya prosedur yang diterapkan pada analisis kurun waktu panjang dalam prediksi tinggi gelombang signifikan dan periode puncak gelombang adalah menggunakan bantuan grafis dalam penyelesaiannya.

Tabel IV.7 Perhitungan jumlah presentasi gelombang dan kumulatifnya tiap interval

H_s (m)	T_p (s)						TOTAL	Kumulatif
	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10		
0.0-0.25	387	1268	305	17	0	0	1977	1977
0.25-0.50	1226	9488	3990	600	90	2	15396	17373
0.50-0.75	1298	13068	13895	2118	429	96	30904	48277
0.75-1.00	611	12103	3975	8744	460	64	25957	74234

1.00-1.25	37	5717	936	490	266	11	7457	81691
1.25-1.50	0	2099	499	62	1	0	2661	84352
1.50-1.75	0	398	176	0	0	0	574	84926
>1.75	0	71	60	0	0	0	131	85057
TOTAL	3559	44212	23836	12031	1246	173	85057	

Tabel IV.7 menunjukkan hasil penjumlahan banyaknya gelombang yang terjadi pada tiap-tiap interval dan perhitungan jumlah kumulatif setiap kenaikan interval sampai dengan harga H_s dan T_p maksimum.

Tabel IV.8 Tabulasi perhitungan komponen peluang kumulatif H_s (m)

H_s	$P(H_s)$	$\ln (H_s - a)$	$\ln [\ln\{1/1-P(H_s)\}]$
(1)	(2)	(3)	(4)
0.25	0.02324	-1.3863	-3.7500
0.50	0.20425	-0.6931	-1.4763
0.75	0.56758	-0.2877	-0.1763
1.00	0.87275	0.0000	0.7235
1.25	0.96042	0.2231	1.1723
1.50	0.99171	0.4055	1.5670
1.75	0.99845	0.5596	1.8675

Tabel IV.9 Tabulasi perhitungan komponen peluang kumulatif T_p (s)

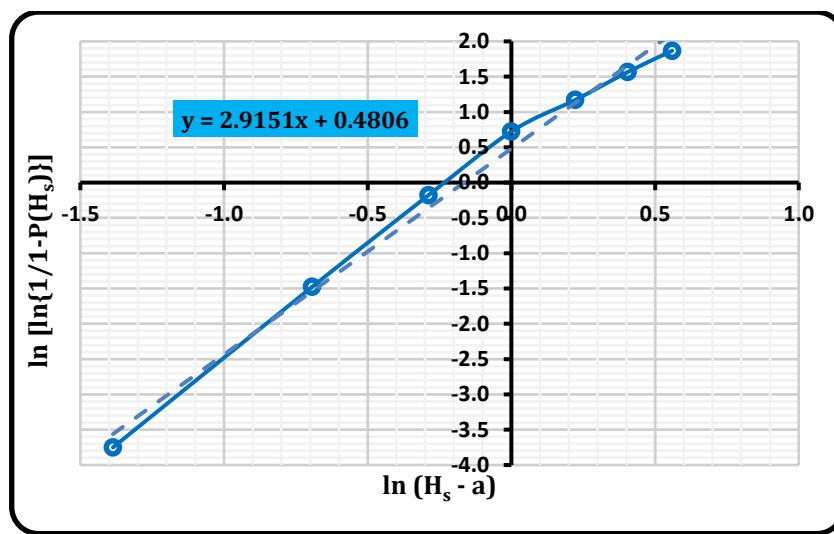
T_p	$P(T_p)$	$\ln (T_p - a)$	$\ln [\ln\{1/1-P(T_p)\}]$
(1)	(2)	(3)	(4)
5.00	0.04184	1.6094	-3.1526
6.00	0.56163	1.7918	-0.1927
7.00	0.84187	1.9459	0.6121
8.00	0.98331	2.0794	1.4093
9.00	0.99796	2.1972	1.8237
10.00	0.99999	2.3026	2.4886

Keterangan pada tabulasi perhitungan Tabel IV.8 dan Tabel IV.9 adalah sebagai berikut:

- Harga acuan batas bawah tinggi gelombang a diambil sama dengan 0.0 m.
- Untuk perhitungan $P(H_s)$ dan $P(T_p)$ berikut jumlah gelombang total diambil sebesar $85057 + 0.5 = 85075.5$ gelombang. Nilai 0.5 jumlah gelombang adalah untuk mengantisipasi ketidaktentuan karena kemungkinan adanya gelombang dengan intensitas di atas $H_s = 1.75$ m dan puncak periode gelombang dengan intensitas di atas $T_p = 10$ s.

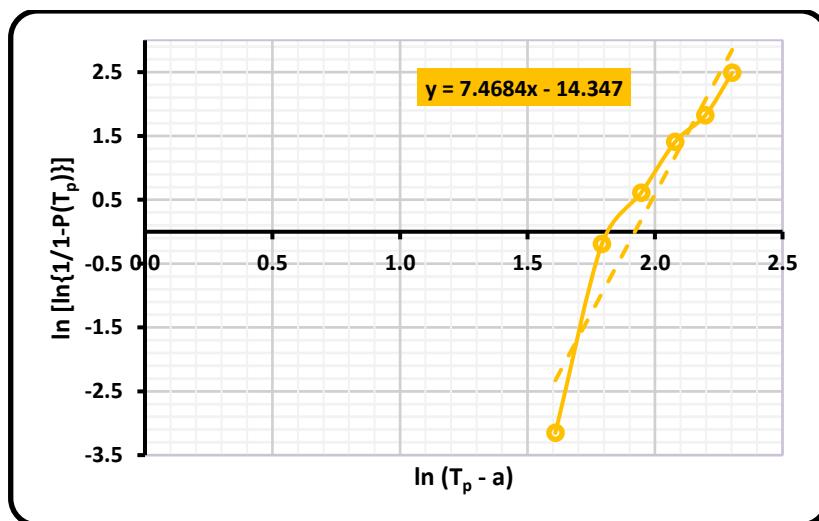
- $P(H_s)$ adalah jumlah kumulatif pada setiap tinggi gelombang signifikan dibagi dengan jumlah gelombang total 85075.5 dan begitu pula dengan $P(T_p)$.

Dengan menggunakan data dari Tabel IV.8 dan Tabel IV.9 akan menghasilkan grafik pada Gambar IV.4 dan Gambar IV.5 yang menunjukkan hubungan antara parameter dalam kolom (3) sebagai absis dan kolom (4) sebagai ordinat. Kurva yang terbentuk dengan persamaan garisnya dapat dijadikan acuan analisis regresi atau perkiraan *trendline* sebaran data sebagai bahan untuk dapat memprediksi tinggi gelombang signifikan dan puncak periode gelombang dalam kurun waktu tertentu.



Gambar IV.4 Grafik korelasi antara tinggi gelombang dan distribusi kumulatif

Gambar IV.4 menunjukkan bahwa persamaan *trendlinenya* adalah $y = 2.9151x + 0.4806$ dengan sumbu-x $\rightarrow \ln(H_s - a)$ dan sumbu-y $\rightarrow \ln[\ln\{1/1-P(H_s)\}]$.



Gambar IV.5 Grafik korelasi antara puncak periode gelombang dan distribusi kumulatif

Sedangkan Gambar IV.5 menunjukkan bahwa persamaan *trendlinenya* adalah $y = 7.4684x - 14.347$ dengan sumbu-x $\rightarrow \ln(T_p - a)$ dan sumbu y $\rightarrow \ln[\ln\{1/1-P_y(T_p)\}]$.

Berikut ini adalah hasil perhitungan beserta keterangan proses perhitungannya untuk memprediksi tinggi gelombang signifikan dan puncak periode gelombang dalam kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan.

Tabel IV.10 Tabulasi perhitungan kurun waktu panjang tinggi gelombang signifikan (m)

Kurun Waktu Tahun	$P_y(H_s)$	$\ln [\ln\{1/1-P_y(H_s)\}]$	$\ln (H_s - a)$	H_s
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	0.99997	2.3304	0.6346	1.89
50	0.99999	2.4758	0.6844	1.98
100	1.00000	2.5325	0.7039	2.02

Tabel IV.11 Tabulasi perhitungan kurun waktu panjang puncak periode gelombang (s)

Kurun Waktu Tahun	$P_y(T_p)$	$\ln [\ln\{1/1-P_y(T_p)\}]$	$\ln (T_p - a)$	T_p
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	0.99996	2.3304	2.2331	9.33
50	0.99999	2.4758	2.2525	9.51
100	0.99999	2.5325	2.2601	9.58

Keterangan pada tabulasi perhitungan Tabel IV.10 dan Tabel IV.11 adalah sebagai berikut:

- Kolom (1) menunjukkan kurun waktu tahun tertentu
- Kolom (2) didapatkan dari persamaan $P_y(H) = P_y(T) = 1 - \frac{a}{b \times 365 \times 24}$; a merupakan kurun waktu panjang (dalam tahun) kejadian gelombang; b merupakan durasi badai (3 jam)
- Kolom (3) diperoleh dari perhitungan dari kolom (2)
- Kolom (4) didapatkan dari pembacaan *trendline* dengan menggunakan persamaan garis yang didapatkan kedua grafik tersebut dengan x merupakan hasil yang dimasukkan ke dalam kolom (4)
- Kolom (5) merupakan hasil akhir berupa tinggi gelombang signifikan yang diperoleh dari inversi kolom (4) yaitu $(H_s - a) = e^{\ln(H_s - a)}$, di awal telah dijelaskan bahwa $a = 0.0$ meter maka $H_s - a = H_s$ dan begitu pula untuk puncak periode gelombang

Perhitungan untuk mengetahui kecepatan angin (knot) dan kecepatan arus (m/s) kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan juga perlu dilakukan berdasarkan data pada Tabel III.6 dan Tabel III.7. Metode perhitungan yang digunakan sama dengan sebelumnya yakni metode distribusi probabilitas Weibull dan hasilnya akan digunakan untuk analisis dinamis struktur kapal dan SBM saat tertambat dengan bantuan *software* Orcaflex 9.2. Perhitungan selengkapnya dapat diperhatikan di Lampiran A. Tabel IV.12 ditampilkan sebagai hasil perhitungan data sebaran lingkungan perairan Kepulauan Seribu kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan.

Tabel IV.12 Data lingkungan perairan Kepulauan Seribu kurun waktu tahunan tertentu

Parameter	Unit	1-year return period	10-year return period	100-year return period
Tinggi Gelombang Signifikan (H_s)	m	1.89	1.98	2.02
Puncak Periode Gelombang (T_p)	s	9.33	9.51	9.58
Kecepatan Angin	knot	17.87	18.80	19.18
Kecepatan Arus	m/s	0.57	0.64	0.66

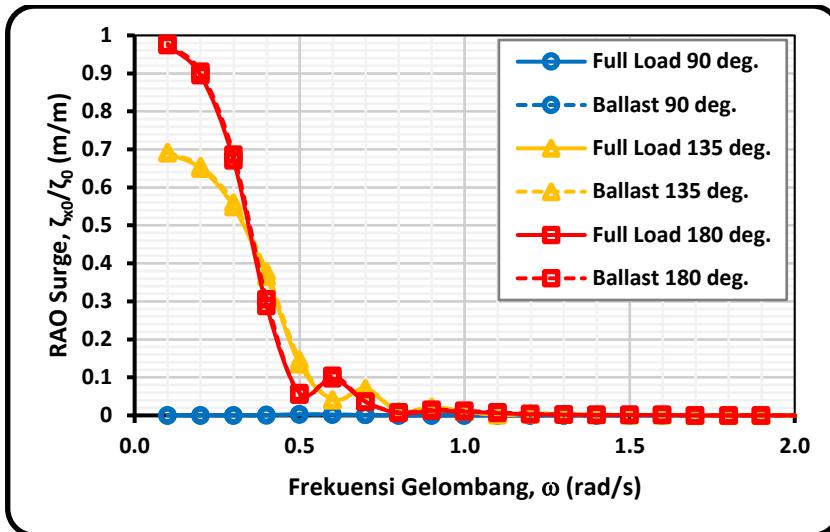
4.4 ANALISIS KARAKTERISTIK GERAK STRUKTUR

4.4.1 Analisis Karakteristik Gerak Struktur pada Gelombang Reguler

Pada prinsipnya struktur bangunan yang mengapung secara bebas (*free floating*) tanpa adanya sistem penambatan menunjukkan gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch (vertical mode)* lebih dominan dibandingkan gerakan *surge*, *sway*, dan *yaw (horizontal mode)*. Hal ini disebabkan karena gerakan *vertical mode* memiliki faktor kekakuan sebagaimana telah dibahas pada sub-bab 2.2.3.1. Selain itu, faktor kekakuan tersebut berpengaruh pada faktor redamannya menjadi lebih kecil sehingga akan didapati perubahan karakteristik yang melonjak secara tajam saat gerakannya mengalami resonansi.

Adapun saat struktur bangunan yang beroperasi secara stasioner ($v = 0 \text{ m/s}^2$) dalam kondisi tertambat, gerakan *horizontal mode* memiliki peranan lebih penting sebab dengan tidak adanya faktor kekakuan kecuali sedikit akibat efek kopel dengan gerakan lainnya akan berpengaruh pada faktor redamannya menjadi lebih besar sehingga hampir tidak didapati perubahan karakteristik yang melonjak secara tajam.

4.4.1.1 Kapal FSO



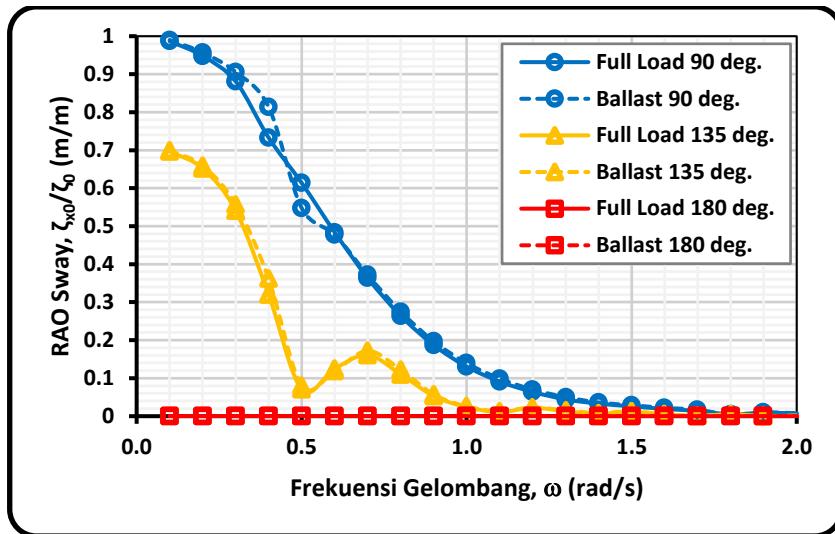
Gambar IV.6 Grafik RAO surge FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebahan

Secara umum karakteristik gerakan *surge* sebagaimana pada Gambar IV.6 menunjukkan pembebahan pada haluan (180°) memberikan pengaruh tertinggi dibandingkan dengan pengaruh pembebahan pada perempat haluan (135°) dan arah samping (90°). Hal ini tentu disebabkan karena gerakan *surge* searah dengan arah pembebahan haluan sehingga pembebahan pada samping haluan hampir dipastikan tidak memberikan efek apa pun.

Tren kurva RAO pembebahan arah haluan dan perempatnya cenderung serupa di mana nilai RAOnya dimulai sekitar 0.978 m/m (kondisi *ballast* – 180°) dan 0.693 m/m (kondisi *ballast* – 135°) pada frekuensi rendah 0.1 rad/s. Idealnya tren kurva tersebut terus menurun secara gradual dari puncaknya namun kurva beranjak naik dua kali tetapi tidak signifikan hal ini disebabkan adanya efek kopel dari gerakan lainnya.

Perbandingan karakteristik gerakan *surge* pada kondisi *ballast* dengan *full load* hampir dipastikan kurang signifikan sebab hanya sekitar 0.4% lebih besar daripada kondisi *full load*.

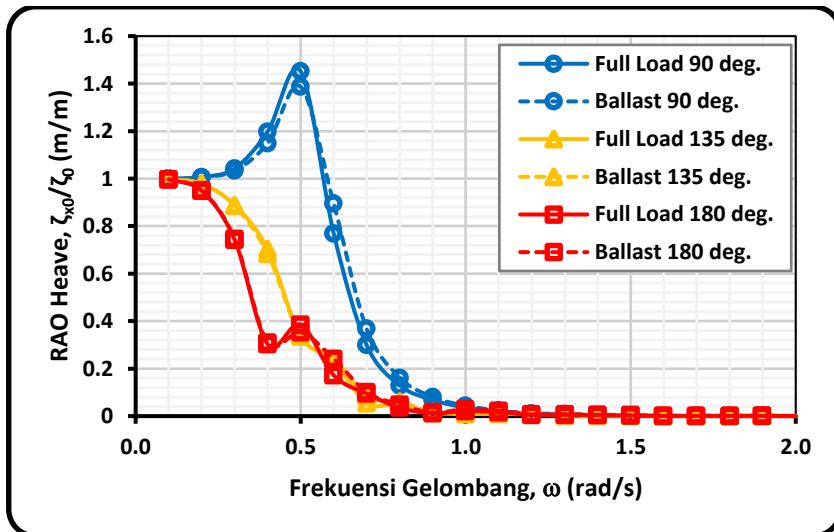
Peninjauan karakteristik gerakan *sway* pada Gambar IV.7 menggambarkan pembebahan pada samping haluan (90°) memberikan pengaruh yang signifikan dibandingkan pembebahan pada perempat haluan (135°). Hal ini tentu dikarenakan gerakan *sway* searah dengan pembebahan pada samping haluan. Sedangkan pembebahan haluan (180°) sudah dipastikan tidak memiliki pengaruh apa pun karena arahnya yang tegak lurus dengan arah gerakan *sway*.



Gambar IV.7 Grafik RAO sway FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebaan

Tren kurva RAO pembebaan arah samping haluan cenderung konsisten menurun secara gradual pada frekuensi tinggi dari rendahnya sedangkan pembebaan arah perempat haluan sempat melonjak naik secara tajam akibat efek kopel gerakan *roll* pada rentang frekuensi antara 0.4-0.8 rad/s.

Perbandingan karakteristik gerakan *sway* pada kondisi *ballast* dengan *full load* hampir dipastikan kurang signifikan sebab hanya sekitar 0.2-0.4% sedikit lebih besar daripada kondisi *full load*.

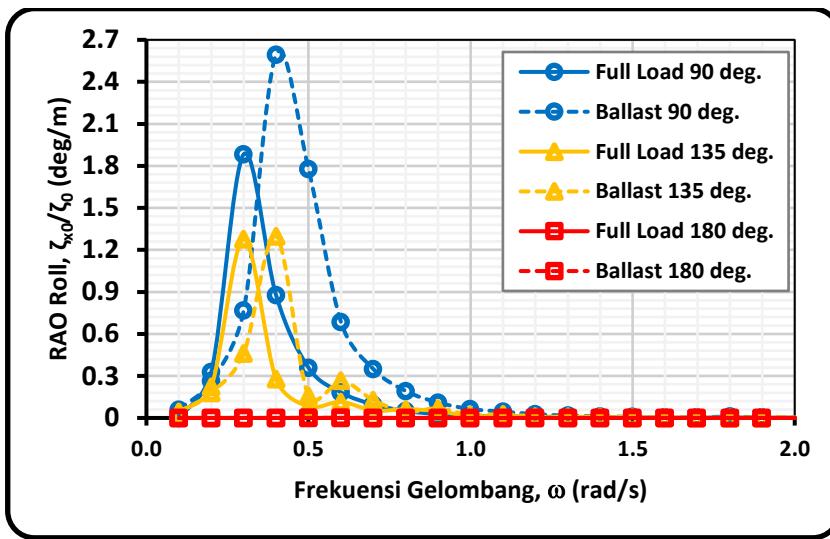


Gambar IV.8 Grafik RAO heave FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebaan

Secara umum karakteristik gerakan *heave* sebagaimana pada Gambar IV.8 menunjukkan masing-masing arah pembebanannya memiliki pengaruh tersendiri namun pembebaan pada samping haluan (90°) memberikan pengaruh yang lebih dominan dibandingkan kedua pembebaan lainnya.

Sesuai kondisi *contouring* di mana kapal FSO bergerak mengikuti kontur elevasi gelombang maka hampir semua pembebanan bermula dari harga RAO sekitar 1.00 m/m yang berarti amplitudo gerakannya kurang lebih sama dengan amplitudo gelombangnya. Pada pembebanan samping haluan, sesaat dari frekuensi rendah telah mengalami puncak resonansi yang merupakan frekuensi alami gerakan *heave* dengan nilai sekitar 1.452 m/m (kondisi *full load*) pada frekuensi 0.5 rad/s. Selanjutnya kurva tersebut menurun secara gradual pada frekuensi tinggi dari puncak resonansinya. Pada pembebanan perempat haluan, hampir dipastikan sesaat dari frekuensi rendah cenderung konsisten mengalami penurunan pada frekuensi tingginya. Sedangkan pada pembebanan haluan, sesaat dari frekuensi rendah kemudian menurun hingga adanya sedikit melonjak secara tajam sekitar 0.385 m/m pada frekuensi 0.5 rad/s lalu menurun secara gradual pada frekuensi tingginya. Hal tersebut disebabkan adanya efek kopel gerakan *pitch* saat resonansi pertamanya pada frekuensi 0.4 rad/s yang kemudian berpengaruh pada gerakan *heave* dengan adanya sedikit melonjak pada frekuensi 0.5 rad/s.

Perbandingan karakteristik gerakan *heave* pada kondisi *full load* dengan *ballast* kurang signifikan sebab hanya sekitar 6.5% sedikit lebih besar daripada kondisi *ballast*.



Gambar IV.9 Grafik RAO *roll* FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebanan

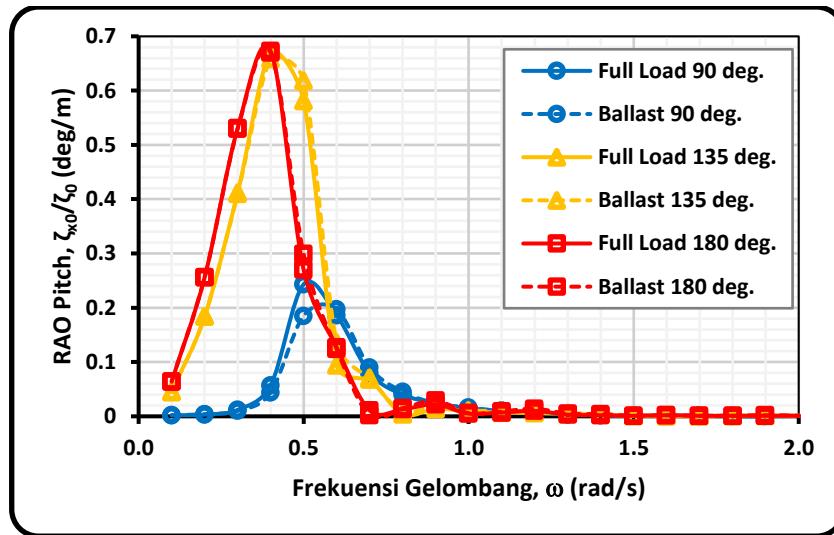
Secara umum karakteristik gerakan *roll* sebagaimana pada Gambar IV.9 menunjukkan pembebanan pada samping haluan (90°) memberikan pengaruh yang signifikan dibandingkan pembebanan pada perempat haluan (135°). Hal ini tentu disebabkan karena gerakan *roll* searah dengan pembebanan pada samping haluan.

Sedangkan pembebanan haluan (180°) sudah dipastikan tidak memiliki pengaruh apa pun karena arahnya yang tegak lurus dengan arah gerakan *roll*.

Pembebanan pada samping haluan dan perempatnya memiliki tren kurva yang sama di mana sesaat frekuensi rendahnya sekitar 0.1 rad/s kemudian beresonansi pertama dengan nilai RAOnya 2.594 deg/m (kondisi *ballast* – 90°) dan 1.299 deg/m (kondisi *ballast* – 135°) pada frekuensi 0.4 rad/s. Kemudian tren kurva tersebut sama-sama menurun secara gradual pada frekuensi tinggi.

Pembebanan pada perempat haluan sesaat setelah turun dari puncaknya mengalami sedikit resonansi untuk kedua kalinya RAOnya bernilai 0.267 deg/m (kondisi *ballast* – 135°) dan 0.144 deg/m (kondisi *full load* – 135°) pada frekuensi 0.6 rad/s. Hal ini disebabkan adanya efek kopel dari gerakan *pitch* dan *yaw* yang meskipun tidak terlalu signifikan namun patut diperhatikan.

Hal menarik yang perlu diperhatikan adalah perbandingan nilai puncak RAO pada kondisi *ballast* dengan *full load* akibat pembebanan pada samping haluan mencapai sekitar 27% lebih besar daripada kondisi *full load*.



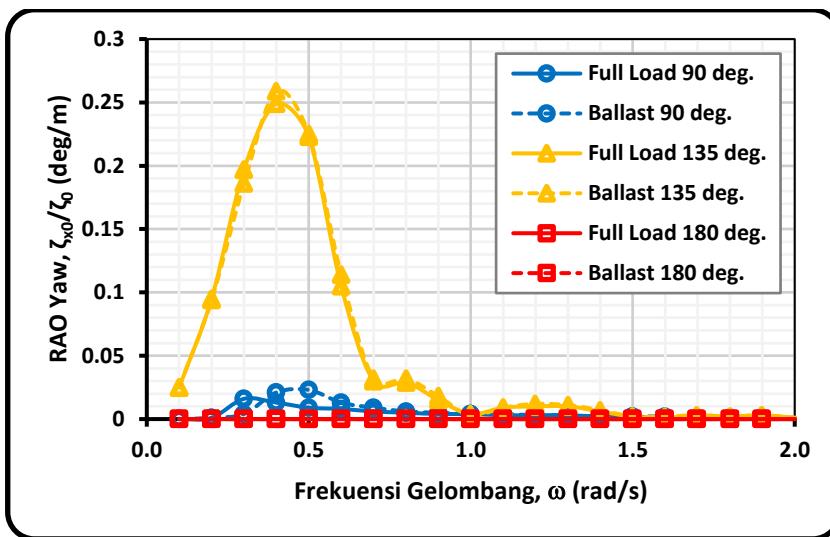
Gambar IV.10 Grafik RAO *pitch* FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebanan

Peninjauan karakteristik gerakan *pitch* pada Gambar IV.10 menunjukkan pembebanan pada haluan (180°) dan perempat haluan (135°) memberikan pengaruh tertinggi dibandingkan dengan pembebanan samping haluan (90°). Hal ini tentu disebabkan karena gerakan *pitch* cenderung searah dengan arah pembebanan haluan sehingga pembebanan pada samping haluan memberikan pengaruh yang sedikit.

Tren kurva RAO pembebanan pada haluan dan perempatnya hampir serupa di mana puncak nilai RAOnya sama-sama 0.67 deg/m dan 0.4 rad/s (kondisi *full*

load). Sedangkan pembebahan pada samping haluan memiliki puncak nilai RAOnya dengan 0.243 deg/m (kondisi *full load* – 90°) pada frekuensi 0.5 rad/s atau sedikit mengalami pergeseran frekuensi ke arah kanan dari puncak pembebahan lain sebelumnya.

Perbandingan karakteristik gerakan *pitch* pada kondisi *full load* dengan *ballast* kurang signifikan kecuali pada pembebahan samping haluan di mana terdapat perbedaan sekitar 20% lebih besar daripada kondisi *ballast* namun hakikatnya tetap tidak memberikan dampak yang signifikan karena kecilnya nilai RAO tersebut.



Gambar IV.11 Grafik RAO *yaw* FSO dengan variasi kondisi dan arah pembebahan

Secara umum karakteristik gerakan *yaw* sebagaimana pada Gambar IV.11 menunjukkan pembebahan pada perempat haluan (135°) memberikan nilai tertinggi dibandingkan dengan nilai pembebahan lainnya. Hal ini tentu disebabkan karena gerakan *yaw* didominasi akibat pembebahan perempat haluannya sedangkan pembebahan lainnya tidak signifikan.

Tren kurva tersebut menunjukkan terjadinya resonansi pertama yang signifikan namun sebenarnya tidak jika dibandingkan gerakan rotasi yang lainnya. Hal ini bisa dibandingkan besaran rentang nilai RAOnya dengan rentang nilai RAO gerakan lainnya. Nilai RAO pada puncak pertama terjadi pada frekuensi 0.4 rad/s dengan 0.259 deg/m (kondisi *ballast* – 135°) kemudian menurun secara gradual lalu melonjak untuk puncak keduanya pada frekuensi 0.8 rad/s dengan 0.032 deg/m (kondisi *ballast* – 135°) kemudian kembali menurun sesaat lalu melonjak untuk

puncak terakhirnya pada frekuensi 1.3 rad/s dengan 0.012 deg/m (kondisi *ballast* – 135°).

Perbandingan karakteristik gerakan *yaw* pada kondisi *ballast* dengan *full load* kurang signifikan kecuali pada pembebanan samping haluan di mana terdapat perbedaan sekitar 3% lebih besar daripada kondisi *full load* namun hakikatnya tidak berpengaruh sebab nilai RAOnya kurang signifikan.

Berikut ini merupakan tabel perbandingan nilai RAO maksimum kondisi mengapung bebas dengan variasi kondisi *full load* dan *ballast* pada tiap gerakan.

Tabel IV.13 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan FSO saat kondisi *full load*

Moda Gerakan	Unit	RAO MAX. FSO Full Load			MAX.
		90 deg.	135 deg.	180 deg.	
<i>Surge</i>	m/m	0.003	0.690	0.974	0.974
<i>Sway</i>	m/m	0.987	0.697	0.000	0.987
<i>Heave</i>	m/m	1.452	0.999	0.997	1.452
<i>Roll</i>	deg/m	1.883	1.278	0.000	1.883
<i>Pitch</i>	deg/m	0.243	0.670	0.673	0.673
<i>Yaw</i>	deg/m	0.016	0.249	0.000	0.249

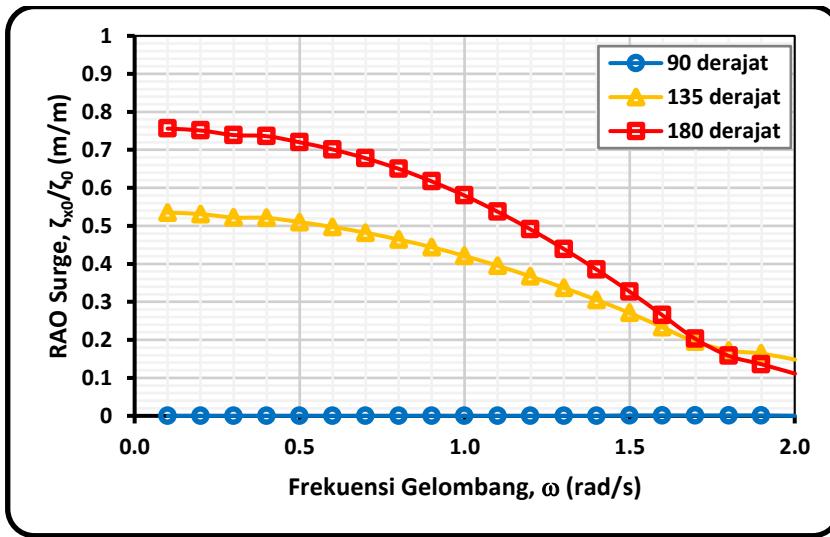
Tabel IV.14 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan FSO saat kondisi *ballast*

Moda Gerakan	Unit	RAO MAX. FSO Ballast			MAX.
		90 deg.	135 deg.	180 deg.	
<i>Surge</i>	m/m	0.002	0.693	0.978	0.978
<i>Sway</i>	m/m	0.990	0.699	0.000	0.990
<i>Heave</i>	m/m	1.387	0.999	0.997	1.387
<i>Roll</i>	deg/m	2.594	1.299	0.001	2.594
<i>Pitch</i>	deg/m	0.197	0.658	0.670	0.670
<i>Yaw</i>	deg/m	0.023	0.259	0.000	0.259

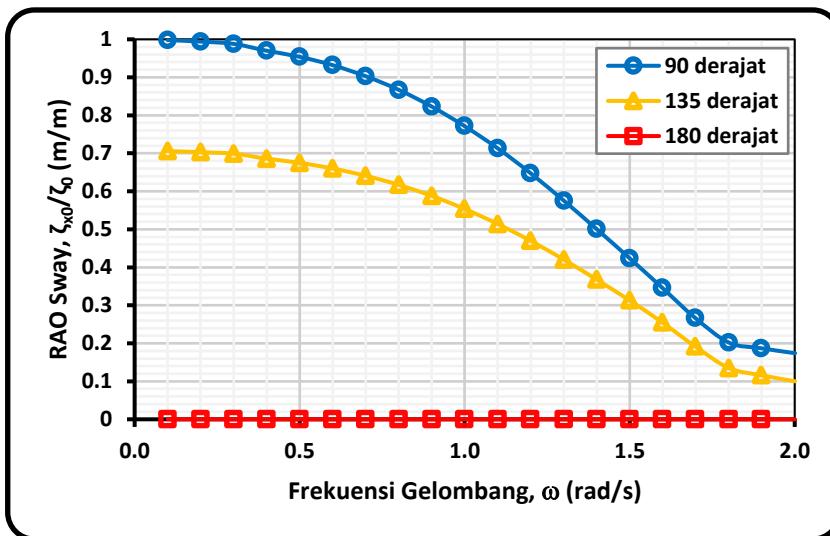
Meninjau pada semua hasil karakteristik gerakan di atas gelombang reguler dapat dikatakan bahwa kapal FSO 330 DWT memiliki karakteristik *seakeeping* normal. Hal ini berdasarkan perbandingan dengan kapal-kapal lain pada umumnya yang mana nilai RAO maksimumnya sebagaimana ditunjukkan Tabel IV.13 dan Tabel IV.14 untuk gerakan utamanya *vertical mode* yakni *heave*, *roll*, dan *pitchnya* tidak berlebihan sehingga dari aspek hidrodinamikanya menunjukkan kemampuan meredam dan kekakuan yang baik. Namun, kesimpulan akan menjadi lebih akurat apabila dilakukan analisis karakteristik gerakan pada gelombang acak atau riil dengan konsep spektrum respons sebagaimana yang dijelaskan pada sub-bab berikutnya.

4.4.1.2 Hexagonal SBM

Secara umum, tren kurva pada gerakan *surge* (Gambar IV.12) dan *sway* (Gambar IV.13) memiliki pola yang sama. Hal ini dikarenakan bentuknya *hexagonal* SBM yang sangat simetris sehingga hampir dipastikan setiap arah pembebanan dan gerakannya menunjukkan pola yang sama kecuali pada arah pembebanan yang tegak lurus dengan arah gerakannya. Sebagai contoh pembebanan pada samping haluan dipastikan tidak memberikan pengaruh gerakan *surge* dan begitu juga dengan pembebanan pada haluan untuk gerakan *sway*.



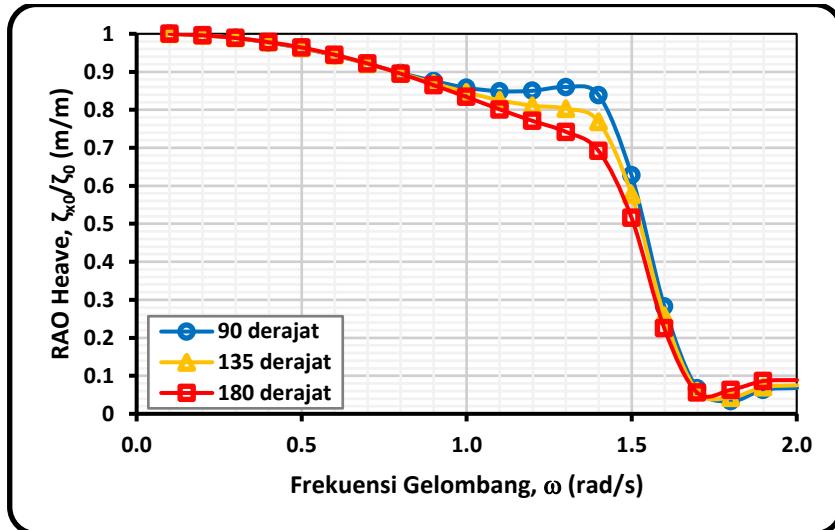
Gambar IV.12 Grafik RAO *surge* SBM dengan variasi arah pembebanan



Gambar IV.13 Grafik RAO *sway* SBM dengan variasi arah pembebanan

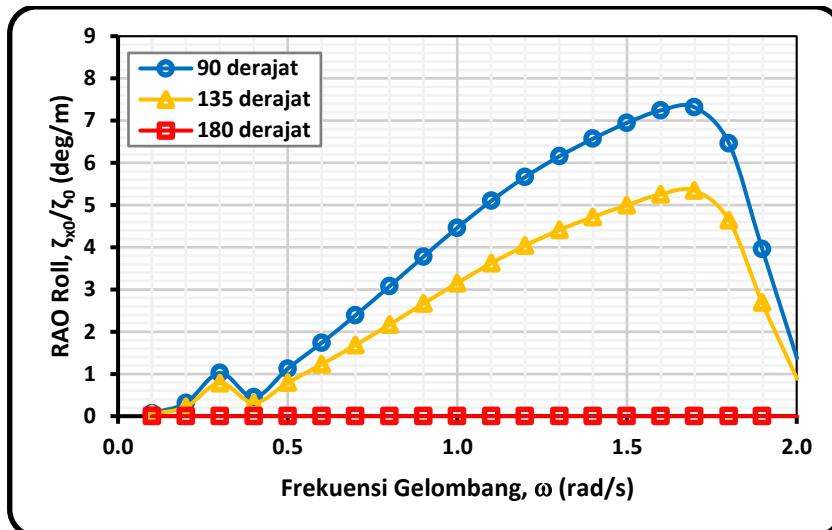
Perbandingan nilai RAO maksimum pada gerakan *surge* dan *sway* adalah 0.756 m/m untuk *surge* akibat pembebanan haluan sedangkan 0.998 m/m untuk *sway* akibat pembebanan samping haluan. Kedua gerakan tersebut juga

menunjukkan penurunan secara gradual pada frekuensi tinggi dan hampir dipastikan tidak memiliki efek kopel kecuali sedikit namun tidak sampai terbentuknya lonjakan tajam ke atas.

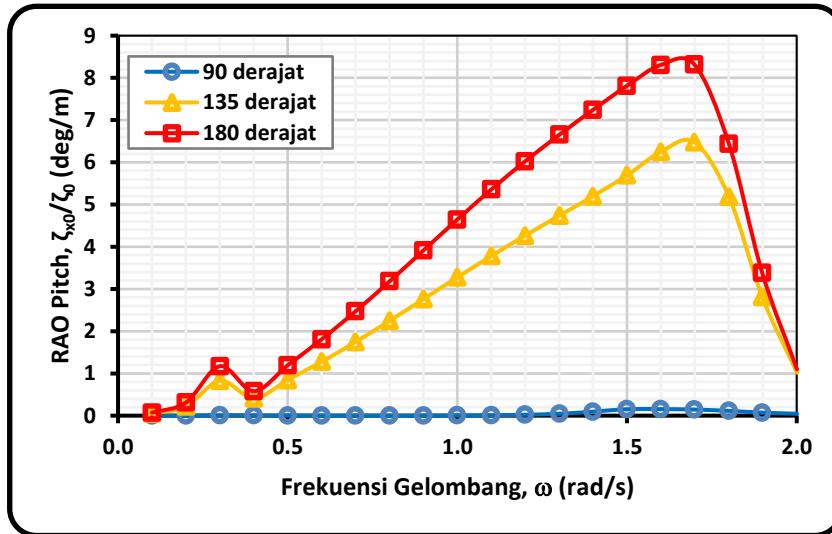


Gambar IV.14 Grafik RAO *heave* SBM dengan variasi arah pembebahan

Peninjauan karakteristik gerakan *heave* (Gambar IV.14) menggambarkan hampir dipastikan setiap arah pembebahan horizontalnya yang berbeda memiliki tren kurva yang sama akibat gerakan *heave* yang mengarah pada vertikal. Hal ini sekali lagi disebabkan karena bentuknya yang simetris sehingga menjadi masuk akal mengapa ketiga kurva tersebut saling berimpitan. Kurva dari ketiga gerakan tersebut menunjukkan sama-sama memiliki nilai RAO sebesar 1.0 m/m pada frekuensi rendah yang berarti pada awalnya *hexagonal* SBM tersebut mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga rasio amplitudo gerakan dan gelombangnya menjadi sama. Nilai *heave* pada *hexagonal* SBM menunjukkan relatif berbeda karena bentuk *buoynya* yang *hexagonal* tidak sebagaimana umumnya kebanyakan berbentuk silinder.



Gambar IV.15 Grafik RAO roll SBM dengan variasi arah pembebahan



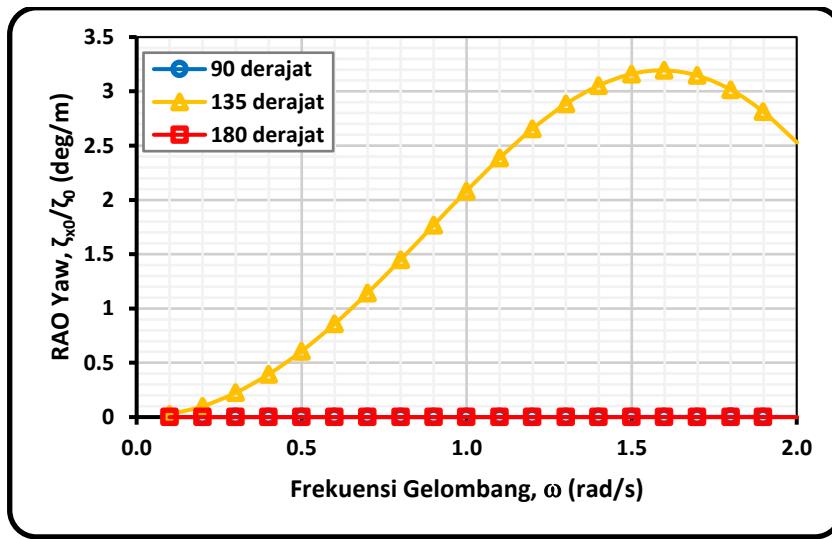
Gambar IV.16 Grafik RAO pitch SBM dengan variasi arah pembebahan

Secara umum, tren kurva pada gerakan *roll* (Gambar IV.15) dan *pitch* (Gambar IV.16) memiliki pola yang sama. Hal ini dikarenakan bentuknya *hexagonal* SBM yang sangat simetris sehingga hampir dipastikan setiap arah pembebahan dan gerakannya menunjukkan pola yang sama kecuali pada arah pembebahan yang tegak lurus dengan arah gerakannya. Sebagai contoh pembebahan pada haluan dipastikan tidak memberikan pengaruh gerakan *roll* kecuali sangat sedikit dan begitu juga dengan pembebahan pada samping haluan untuk gerakan *pitch*.

Hal yang menarik dicermati adalah bahwa besaran RAO pada kedua gerakan tersebut berada pada puncak yang jauh lebih besar bahkan dari gerakan kapal FSO. Hal ini disebabkan karena bentuknya *hexagonal* SBM jauh lebih kecil

dari kapal FSO yang notabene termasuk kategori VLCC namun secara otomatis telah diatasi dengan adanya *mooring line* sebanyak enam titik yang tertancap di *seabed* untuk meredamkan gerakan *roll* yang sangat berpengaruh dibandingkan gerakan lainnya.

Selain itu, tren kurva kedua gerakan tersebut juga terbilang unik karena hampir berbalikan dari umumnya di mana puncak resonansi keduanya justru terjadi saat mendekati frekuensi tinggi yakni 1.7 rad/s dengan nilai RAO 7.319 deg/m untuk *roll* pada pembebanan samping haluan dan 8.318 deg/m untuk *pitch* pada pembebanan haluan.



Gambar IV.17 Grafik RAO yaw SBM dengan variasi arah pembebanan

Pada umumnya kasus *buoy* untuk karakteristik gerakan *yaw* pada Gambar IV.17 hampir tidak memiliki pengaruh apa pun namun pada kasus *hexagonal* SBM terdapat sedikit lonjakan secara perlahan dari frekuensi rendah ke frekuensi 1.6 rad/s dan nilai RAO maksimumnya terbilang cukup berpengaruh yaitu 3.193 deg/m untuk pembebanan perempat haluannya.

Berikut ini tabel perbandingan RAO maksimum tiap gerakan pada *hexagonal* SBM yang menunjukkan gerakan *pitch* paling maksimum dan gerakan *surge* paling minimum.

Tabel IV.15 Perbandingan RAO maksimum tiap gerakan *hexagonal* SBM

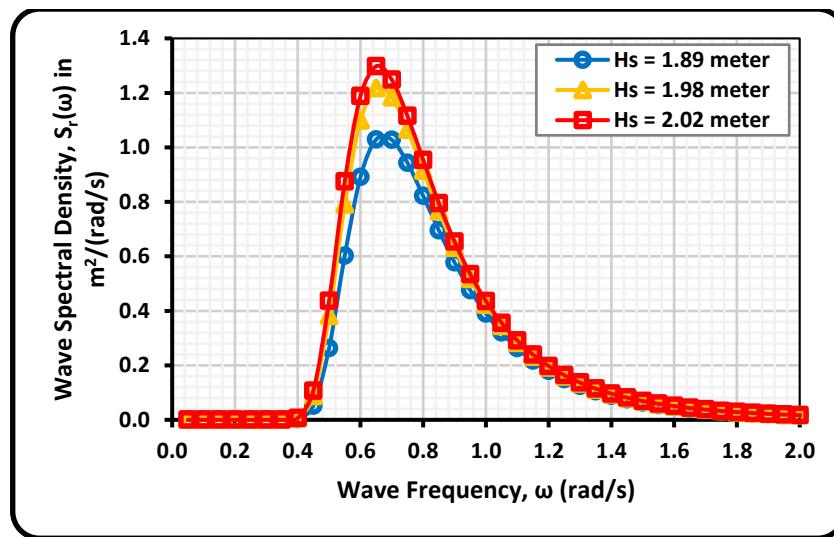
Moda Gerakan	Unit	RAO MAX. <i>Hexagonal</i> SBM			MAX.
		90 deg.	135 deg.	180 deg.	
Surge	m/m	0.001	0.535	0.756	0.756
Sway	m/m	0.998	0.706	0.000	0.998
Heave	m/m	1.000	1.000	1.000	1.000

Roll	deg/m	7.319	5.343	0.000	7.319
Pitch	deg/m	0.154	6.477	8.318	8.318
Yaw	deg/m	0.003	3.193	0.000	3.193

4.4.2 Analisis Karakteristik Gerak Struktur pada Gelombang Acak

Analisis ini bertujuan mengetahui karakteristik respons kapal FSO dan *hexagonal* SBM pada kondisi riil yakni saat mengapung bebas pada gelombang acak. Secara konsep, sederhananya dengan mengalikan kuadrat dari RAO tiap gerakan dengan spektrum gelombang (lihat persamaan 2.13.1) untuk mendapatkan spektrum respons tiap gerakannya. Jenis spektrum yang digunakan adalah JONSWAP karena memiliki kriteria yang cocok pada perairan Indonesia yang tertutup karena pulau-pulau sekitarnya.

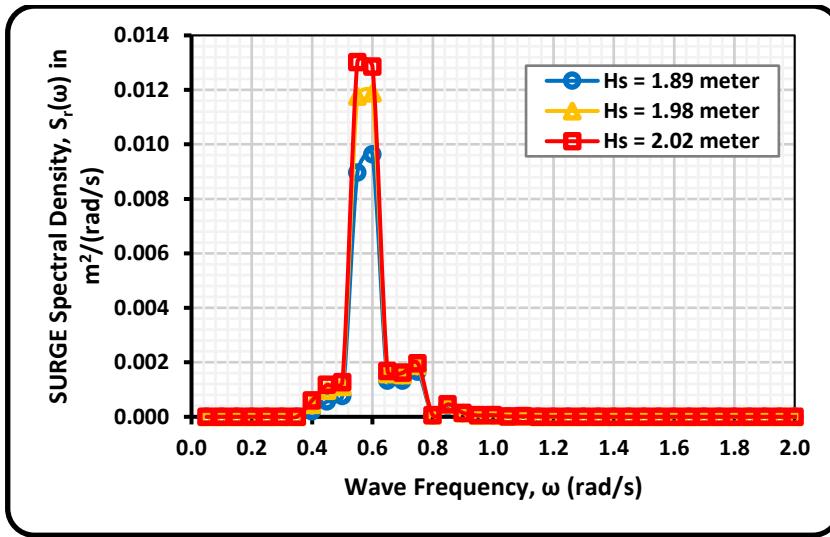
Gambar IV.18 menunjukkan spektrum JONSWAP pada tinggi gelombang signifikan yang didapatkan dari sub-bab sebelumnya untuk kurun waktu 10, 50, dan 100-tahunan.



Gambar IV.18 Perubahan tinggi gelombang signifikan spektrum gelombang JONSWAP

Skenario analisis yang diterapkan pada analisis spektrum respons tiap gerakan adalah pada kondisi *ballast*. Hal ini didasari nilai RAO maksimum pada *ballast* relatif sedikit lebih kritis dari kondisi *full load*. Sedangkan arah pembebangan tiap gerakannya didasarkan pembebangan maksimum tiap gerakan saat kondisi *ballast*. Oleh karena itu, spektrum respons pada kapal FSO dan *hexagonal* SBM adalah gerakan *surge* (180°), *sway* (90°), *heave* (90°), *roll* (90°), *pitch* (180°), dan *yaw* (135°).

4.4.2.1 Kapal FSO



Gambar IV.19 Grafik spektrum *surge* FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan

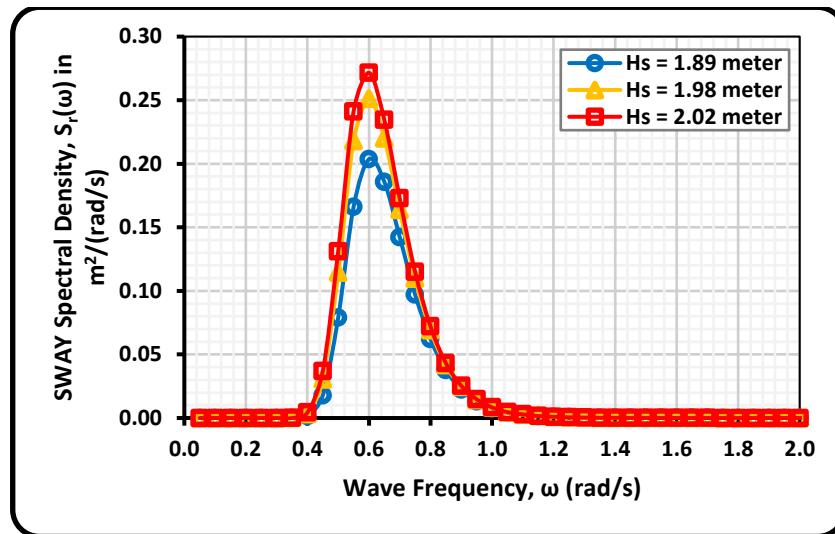
Secara umum Gambar IV.19 menunjukkan tiga kurva spektrum respons gerakan *surge* dengan perbedaan kurun waktu tahunan tinggi gelombang signifikan. Jika diperhatikan besaran rentang ordinatnya maka dapat diketahui bahwa spektrum responsnya sangat kecil seperti puncak maksimumnya untuk tinggi gelombang signifikan 1.89 m, 1.98 m, dan 2.02 m adalah $0.0098 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, $0.012 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$, dan $0.0130 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$. Puncak kurva yang terjadi lebih disebabkan karena interferensi dari puncak spektrum gelombang pada frekuensi yang sama dan beberapa lonjakan kecil sesaat sebelum naik dan setelah turun dari puncak tertingginya disebabkan pengaruh gerakan RAO *surge* itu sendiri. Tabel IV.16 menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *surge* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.16 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *surge* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>surge</i> (meter)	0.2218	0.2492	0.2607

Secara umum Gambar IV.20 pada rentang frekuensi 0.4-1.0 rad/s menunjukkan puncak pada frekuensi rendah akibat dari interferensi gelombang. Untuk tinggi gelombang signifikan sebesar 2.02 meter nilai spektrum responsnya

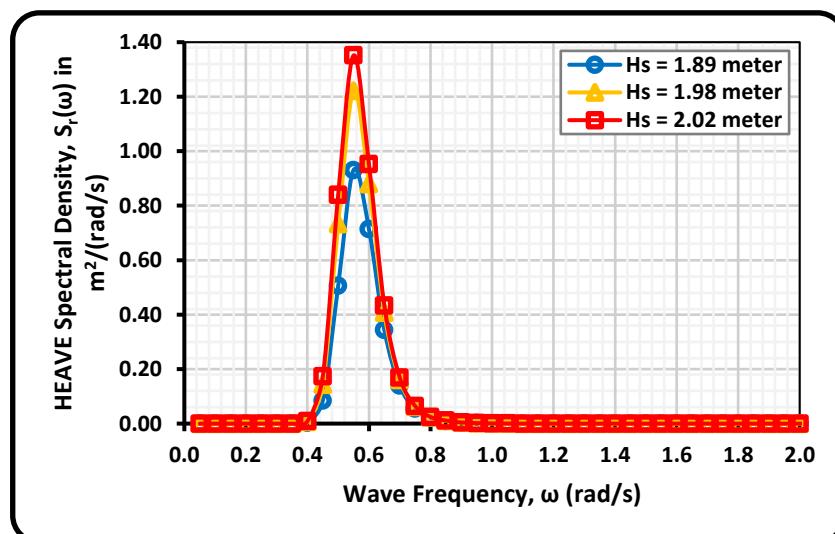
mencapai $0.27 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ sedangkan untuk tinggi gelombang signifikan sebesar 1.89 meter nilai spektrum responsnya mencapai $0.22 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$.



Gambar IV.20 Grafik spektrum *sway* FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan
Tabel IV.17 menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *sway* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.17 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *sway* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>sway</i> (meter)	1.4404	1.5920	1.6549

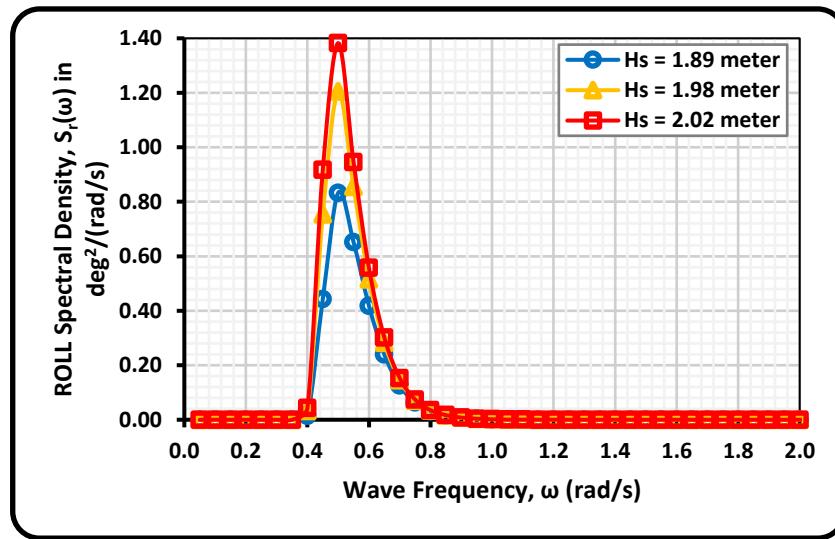


Gambar IV.21 Grafik spektrum *heave* FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan
Secara umum Gambar IV.21 pada rentang frekuensi 0.4-0.8 rad/s menunjukkan puncak pada frekuensi rendah akibat dari posisi frekuensi alami gerakan *heave* sebagaimana dapat dilihat kembali pada Gambar IV.8. Tabel IV.18

menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *heave* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.18 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *heave* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>heave</i> (meter)	2.3488	2.6775	2.8148



Gambar IV.22 Grafik spektrum *roll* FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan

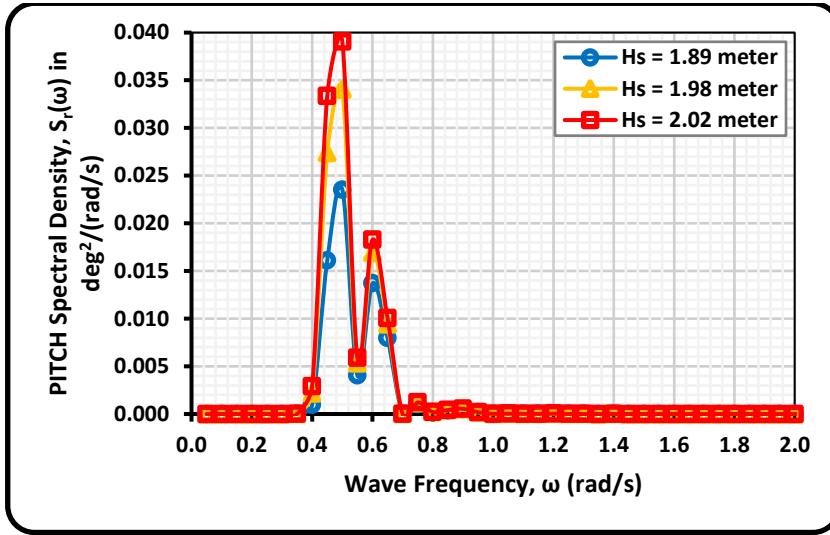
Secara umum tren kurva pada Gambar IV.22 hampir serupa dengan spektrum respons gerakan *heave* seperti pada Gambar IV.21. Hal ini disebabkan karena selain pengaruh dari interferensi gelombang yang sama juga disebabkan frekuensi alami pada gerakan *heave* dengan nilai RAOnya 1.387 m/m dan gerakan *roll* dengan nilai RAOnya 2.6 deg/m pada frekuensi yang sama yakni sekitar 0.5 rad/s. Tabel IV.19 menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *roll* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.19 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *roll* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>roll</i> (deg)	2.3676	2.7716	2.9452

Peninjauan pada Gambar IV.23 menunjukkan adanya dua kali lonjakan secara tajam pada rentang frekuensi antara 0.4 – 0.8 rad/s. Puncak pertama tertinggi bernilai 0.39 deg²/(rad/s) untuk tinggi gelombang signifikan 2.02 meter yang disebabkan resonansi pertama gerakan *pitch* pada frekuensi yang sama yakni 0.4 rad/s. Puncak kedua tertinggi bernilai 0.18 deg²/(rad/s) untuk tinggi gelombang

signifikan 2.02 meter yang disebabkan interferensi gelombang pada frekuensi yang sama yakni 0.6 rad/s.

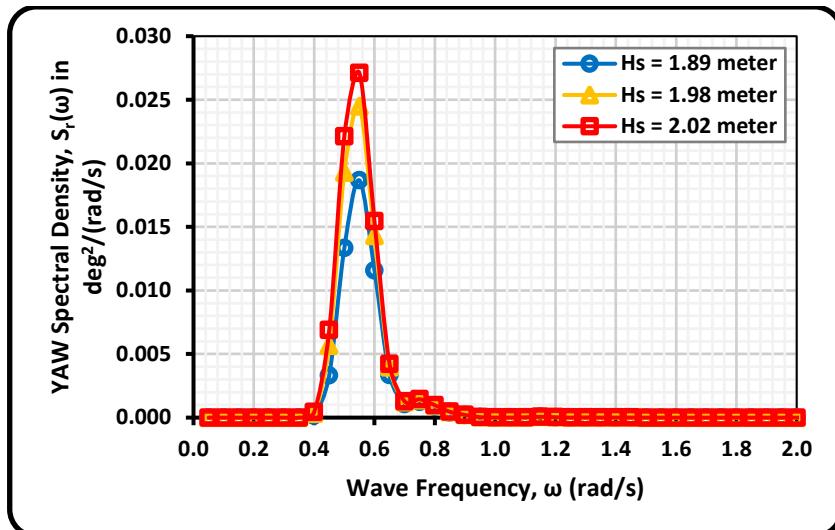


Gambar IV.23 Grafik spektrum *pitch* FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan
Tabel IV.20 menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *pitch* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.20 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *pitch* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89$ m	$H_s = 1.98$ m	$H_s = 2.02$ m
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33$ s	$T_s = 9.51$ s	$T_s = 9.58$ s
Amplitudo ekstrem gerakan <i>pitch</i> (deg)	0.3753	0.4455	0.4761

Berdasarkan Gambar IV.24 pada frekuensi 0.5 rad/s terdapat adanya sedikit bagian gemuk yang merupakan efek dari resonansi pertama gerakan *yaw* sesaat menuju puncaknya 0.027 deg²/(rad/s) pada frekuensi 0.55 rad/s yang merupakan dampak dari interferensi gelombang kemudian menurun secara gradual hingga terdapat sedikit lonjakan yang merupakan efek dari resonansi kedua gerakan *yaw*.



Gambar IV.24 Grafik spektrum yaw FSO dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Tabel IV.21 menunjukkan amplitudo ekstrem gerakan *yaw* yang terjadi tiap kurun waktu tertentu atau tinggi gelombang signifikannya.

Tabel IV.21 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *yaw* kapal FSO

Tinggi gelombang signifikan (meter)	H _s = 1.89 m	H _s = 1.98 m	H _s = 2.02 m
Puncak periode gelombang (meter)	T _s = 9.33 s	T _s = 9.51 s	T _s = 9.58 s
Amplitudo ekstrem gerakan <i>yaw</i> (deg)	0.3269	0.3774	0.3987

Berikut ini merupakan tabel perbandingan nilai amplitudo ekstrem pada tiap gerakan kapal FSO.

Tabel IV.22 Amplitudo ekstrem tiap gerakan kapal FSO

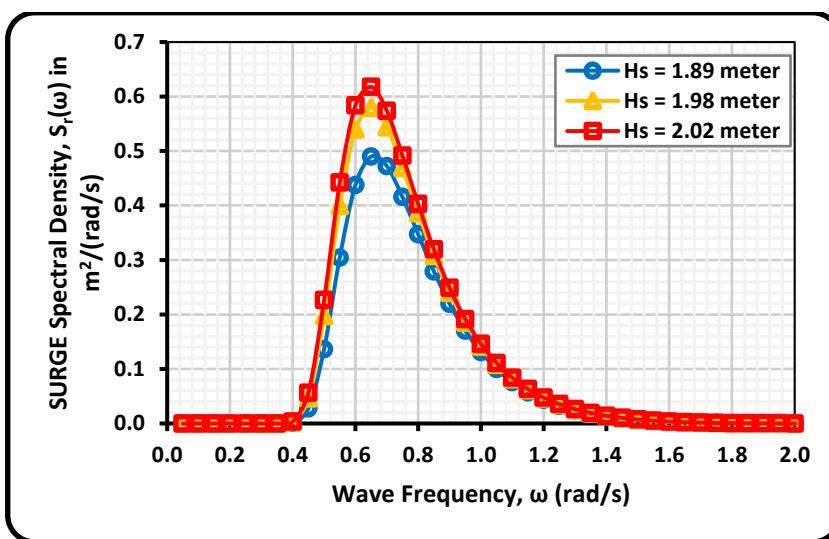
Amplitudo ekstrem gerakan 6 DoF kapal FSO	Tinggi gelombang signifikan		
	H _s = 1.89 m	H _s = 1.98 m	H _s = 2.02 m
<i>Surge</i> (m)	0.2218	0.2492	0.2607
<i>Sway</i> (m)	1.4404	1.5920	1.6549
<i>Heave</i> (m)	2.3488	2.6775	2.8148
<i>Roll</i> (deg)	2.3676	2.7716	2.9452
<i>Pitch</i> (deg)	0.3753	0.4455	0.4761
<i>Yaw</i> (deg)	0.3269	0.3774	0.3987

Amplitudo ekstrem seperti yang ditunjukkan pada Tabel IV.22 dapat dianggap sebagai dasar dalam menentukan apakah operasi sistem *offloading* dengan kapal tanker tepat di belakang kapal FSO atau di samping saat tertambat dapat dilakukan atau tidak. OCIMF (*Oil Companies International Marine Forum*) merekomendasikan mengenai area *drifting* yang diizinkan yaitu daerah yang dibutuhkan untuk mengakomodasi gerakan pengangkutan kapal dengan arah

longitudinal (*surge*) dan lateral (*sway*) harus memiliki rentang efektif ± 3.1 m. Jika gerakan kapalnya melebihi kriteria maka proses *offloading* harus dihentikan dan bila intensitas gerakan sudah di bawah rentang yang diizinkan dapat dilanjutkan kembali proses tersebut.

Dari Tabel IV.22 telah menunjukkan bahwa kriteria gerakan *surge* dan *sway* sudah memenuhi kriteria atas rekomendasi OCIMF yakni berada di bawah rentang 3.1 m dari tiap tinggi gelombang signifikan yang berbeda pada kondisi perairan yang ditinjau.

4.4.2.2 Hexagonal SBM

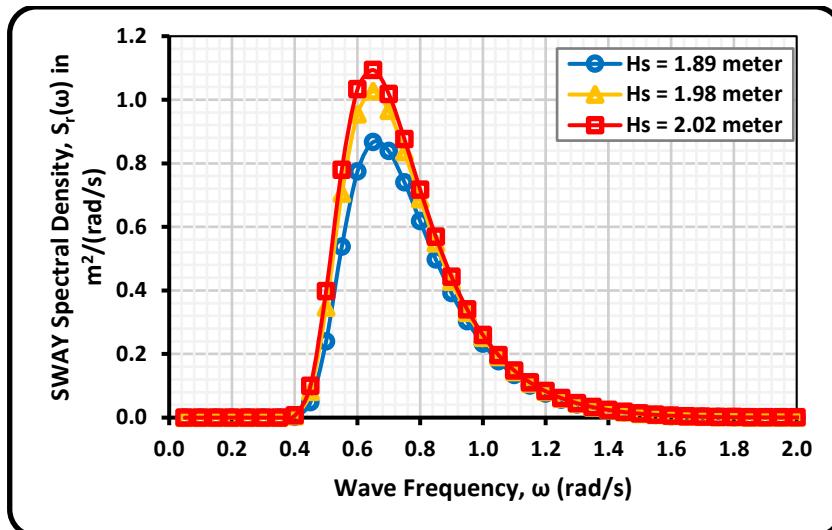


Gambar IV.25 Grafik spektrum *surge* SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Pada Gambar IV.25 jelas terlihat memiliki pola kurva yang serupa dengan kurva spektrum JONSWAP yang disebabkan interferensi gelombang namun dikarenakan adanya efek gerakan *surge* puncaknya hanya mencapai $0.617 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ pada frekuensi 0.65 rad/s untuk tinggi gelombang signifikan 2.02 meter lalu menurun secara gradual pada frekuensi tingginya.

Tabel IV.23 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *surge hexagonal SBM*

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>surge</i> (meter)	2.7672	2.9880	3.0785



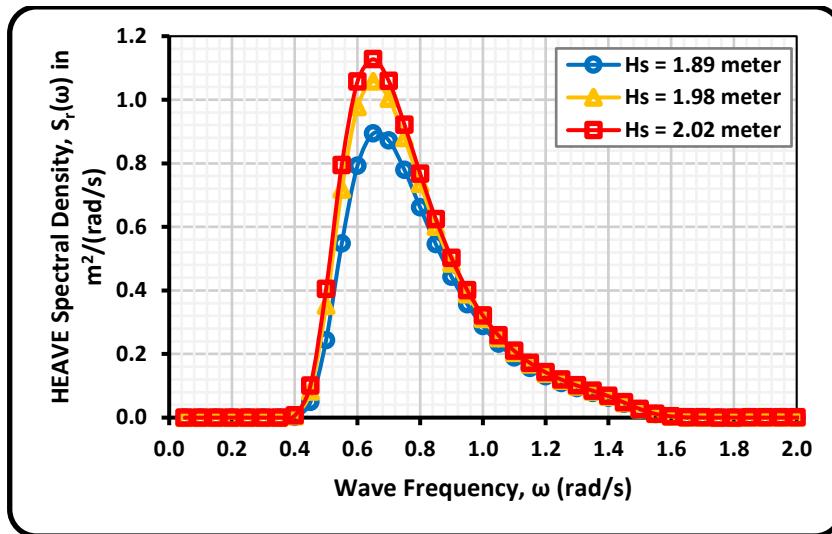
Gambar IV.26 Grafik spektrum sway SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Pada Gambar IV.26 jelas terlihat memiliki pola kurva yang mirip dengan kurva spektrum JONSWAP yang disebabkan interferensi gelombang pada frekuensi 0.6 rad/s namun dikarenakan adanya efek gerakan *sway* puncaknya mencapai $1.094 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$ pada frekuensi 0.65 rad/s lalu menurun secara gradual pada frekuensi tingginya.

Tabel IV.24 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *sway hexagonal* SBM

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>sway</i> (meter)	3.6815	3.9750	4.0952

Gambar IV.27 menunjukkan bahwa pola kurva spektrum respons gerakan *heavenya* hampir serupa dari kedua gerakan sebelumnya namun nilai puncak yang berbeda dan berarti memiliki sama-sama pengaruh besar dari interferensi gelombang pada frekuensi 0.6 rad/s ketimbang efek dari gerakan masing-masing.

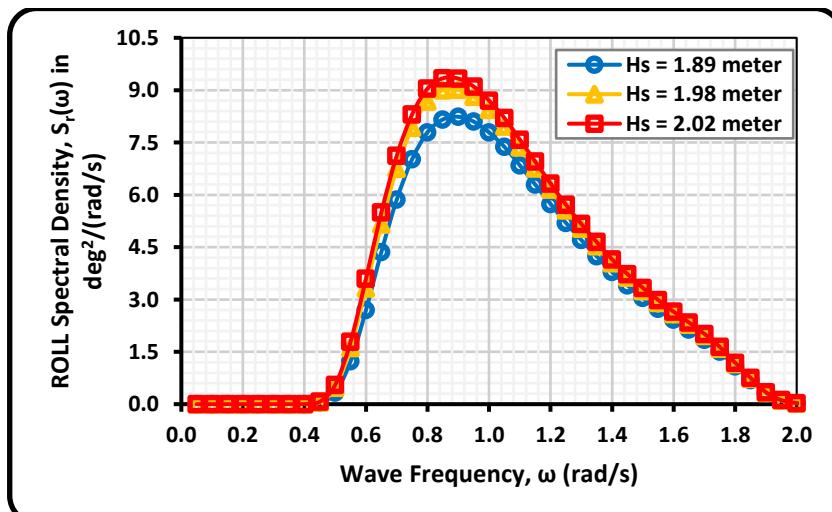


Gambar IV.27 Grafik spektrum *heave* SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Tabel IV.25 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *heave hexagonal* SBM

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89$ m	$H_s = 1.98$ m	$H_s = 2.02$ m
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33$ s	$T_s = 9.51$ s	$T_s = 9.58$ s
Amplitudo ekstrem gerakan <i>heave</i> (meter)	3.9041	4.2018	4.3237

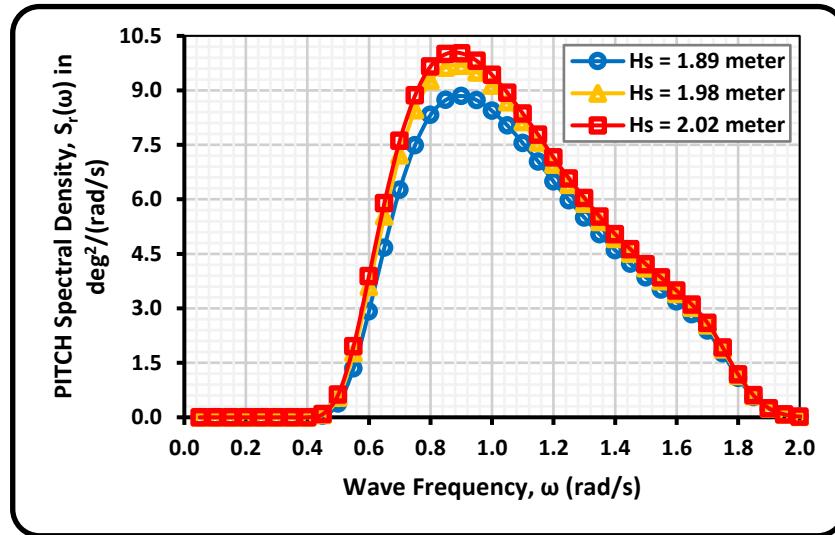
Pada Gambar IV.28 dan Gambar IV.29 menunjukkan pola kurva yang sama bahkan nilai puncak spektrum responsnya kurang lebih sama yang disebabkan pengaruh interferensi gelombang dan kurva RAO gerakan keduanya yang polanya juga hampir serupa. Selain itu, besaran spektrum responsnya jauh lebih besar dibandingkan gerakan lainnya di mana besarnya mendekati rentang antara 9.0 – 10.5 $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$ pada frekuensi 0.9 rad/s untuk tinggi gelombang signifikan 2.02 meter.



Gambar IV.28 Grafik spektrum *roll* SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Tabel IV.26 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *roll hexagonal* SBM

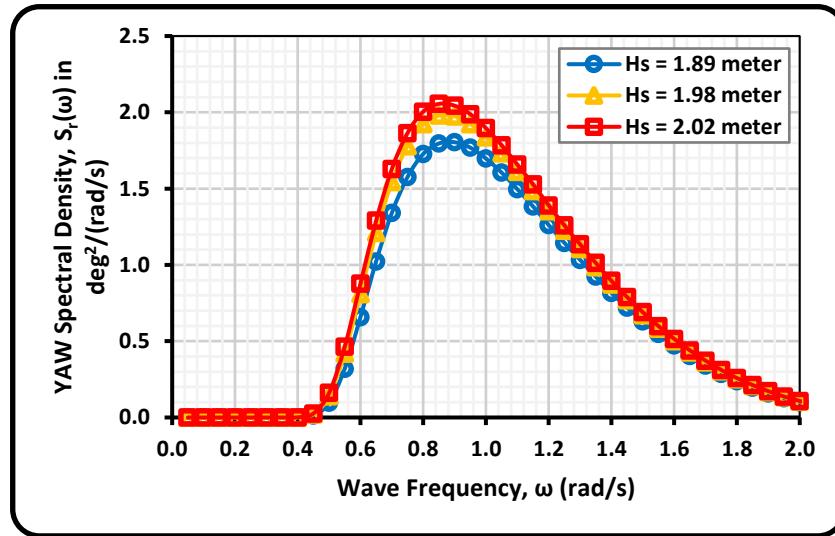
Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>roll</i> (deg)	15.9576	16.7130	17.0149



Gambar IV.29 Grafik spektrum *pitch* SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Tabel IV.27 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *pitch hexagonal* SBM

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>pitch</i> (deg)	16.8930	17.6839	18.0001



Gambar IV.30 Grafik spektrum *yaw* SBM dengan variasi tinggi gelombang signifikan

Puncak yang ada pada Gambar IV.30 disebabkan karena interferensi gelombang sesaat dari frekuensi 0.6 rad/s kemudian nilai tertinggi spektrum respons yawnya $2.055 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$ pada frekuensi 0.9 rad/s untuk tinggi gelombang signifikan 2.02 meter. Besaran spektrum responsnya dan pola kurvanya

menunjukkan relatif sama pada spektrum respons gerakan *sway* dan *heave* namun menurun sedikit melambat secara gradual pada frekuensi tinggi akibat gerakan *yawnya* yang memuncak justru terjadi pada 1.8 rad/s.

Tabel IV.28 Tabulasi harga amplitudo ekstrem gerakan *yaw hexagonal* SBM

Tinggi gelombang signifikan (meter)	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
Puncak periode gelombang (meter)	$T_s = 9.33 \text{ s}$	$T_s = 9.51 \text{ s}$	$T_s = 9.58 \text{ s}$
Amplitudo ekstrem gerakan <i>yaw</i> (deg)	7.5142	7.8752	8.0197

Berikut ini merupakan tabel perbandingan nilai amplitudo ekstrem pada tiap gerakan *hexagonal* SBM.

Tabel IV.29 Amplitudo ekstrem tiap gerakan *hexagonal* SBM

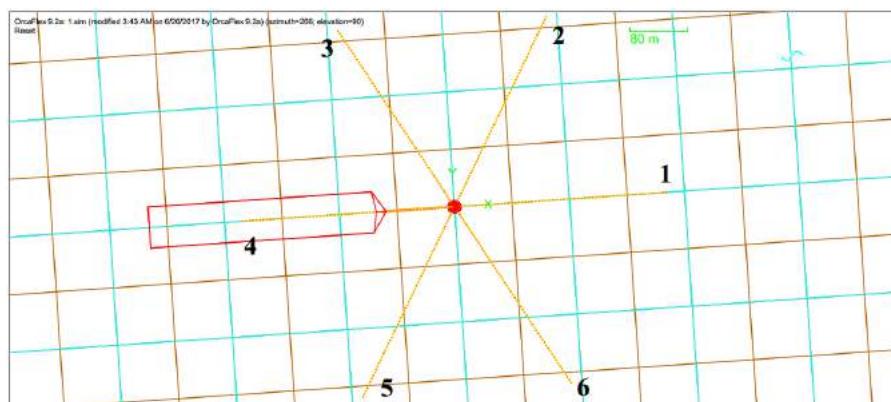
Amplitudo ekstrem gerakan 6 DoF <i>hexagonal</i> SBM	Tinggi gelombang signifikan		
	$H_s = 1.89 \text{ m}$	$H_s = 1.98 \text{ m}$	$H_s = 2.02 \text{ m}$
<i>Surge</i> (m)	2.7672	2.9880	3.0785
<i>Sway</i> (m)	3.6815	3.9750	4.0952
<i>Heave</i> (m)	3.9041	4.2018	4.3237
<i>Roll</i> (deg)	15.9576	16.7130	17.0149
<i>Pitch</i> (deg)	16.8930	17.6839	18.0001
<i>Yaw</i> (deg)	7.5142	7.8752	8.0197

4.5 PERMODELAN SISTEM TAMBAT KAPAL DAN SBM

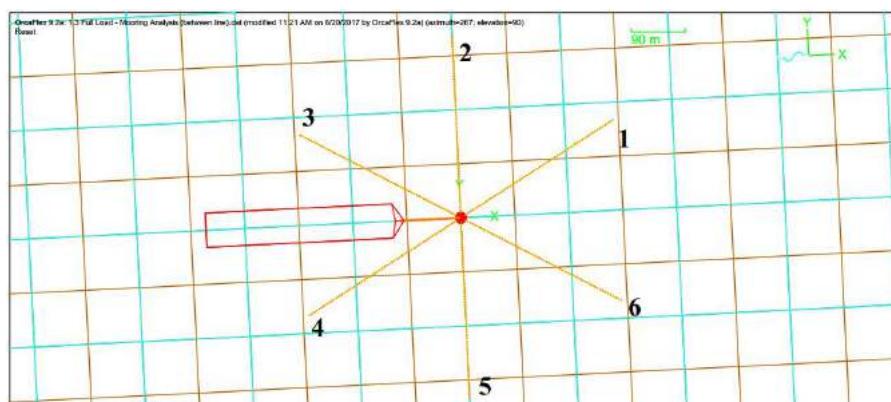
Permodelan kapal FSO pada Orcaflex 9.2 didasarkan pada penentuan koordinat titik dari geometrinya yang kemudian titik-titik tersebut akan saling berhubung membentuk garis menjadi *surface* kapal yang utuh. Model kapal FSO yang dibuat sangat sederhana dan tidak mesti berbentuk kapal yang seharusnya sebagaimana pada permodelan MAXSURF dan MOSES sebelumnya sebab bukan bentuk *surfacenya* yang mempengaruhi hal yang ingin dianalisis melainkan *input* dari berbagai *output* dari hasil analisis *seakeeping* sebelumnya dengan MOSES berupa *displacement* RAOs, *load* RAOs, *stiffness*, *added mass*, *damping*, *hydrodynamic drag*, *wind drag* dan *wave drift*. Selain itu, *input* untuk informasi data lingkungan juga diberikan seperti kedalaman laut, spektrum gelombang, kecepatan arus, kecepatan angin, dan arah *headingnya*. Sedangkan permodelan pada *hexagonal* SBM juga didasarkan pada koordinat titik sebagaimana pada kapal FSO dengan tipe *spar buoy* untuk kemudahan desain geometri dan analisisnya. Properti SBM yang dinilai berupa inersia, *draft*, *drag*, *added mass* dan *damping*

untuk pendefinisian modelnya. Terdapat dua tali *hawser* sebagai penghubung antara SBM dengan kapal FSO. Selanjutnya, permodelan *mooring line* didesain dengan sistem *catenary* dan ditancapkan (*anchored*) pada *seabed* dengan kedalaman 40 m serta berjumlah enam dengan konfigurasi simetris 60° dengan properti berdasarkan data pada Tabel III.4.

Sistem tambat yang dianalisis bersifat *weathervaning* yang berarti kapal FSO dapat mengelilingi 360° mengikuti arah pembebanan gelombang sehingga konfigurasi *mooring line* pada kapal FSO dalam bentuk *in line* dan *between line* agar hasil analisisnya dapat mewakili posisi kapal FSOnya terhadap konfigurasi *mooring linenya*. Hal ini bisa diperhatikan dari hasil *layout* Orcaflex 9.2 pada Gambar IV.31 dan Gambar IV.32.



Gambar IV.31 Konfigurasi *mooring line* pada kapal FSO dalam bentuk *in line*



Gambar IV.32 Konfigurasi *mooring line* pada kapal FSO dalam bentuk *between line*

4.6 ANALISIS TEGANGAN PADA MOORING LINE

Tujuan dari analisis tegangan pada *mooring line* yang tertambat dengan kapal FSO saat kondisi *full load* dan *ballast* adalah untuk mengetahui besaran tegangan maksimum (*effective tension*) dari salah satu *mooring line* dan

memastikan telah atau belum memenuhi kriteria secara desain berdasarkan ABS – *Single Point Mooring* 2014 sebagaimana pada Tabel IV.30 dan acuan ASTM A148 pada Tabel IV.31 untuk analisis tegangan pada *chain stopper*. Pengecekan *safety factor* dari pemilihan desain *mooring line* dari data awal dengan cara membagi MBL (lihat persamaan 2.16.3) berdasarkan data pada Tabel III.4 dengan tegangan *mooring line* yang didapat dari hasil simulasi oleh Orcaflex 9.2.

Tabel IV.30 Kriteria faktor keamanan tegangan *mooring line* dari ABS 2014

SAFETY FACTORS (ABS)			
Kondisi	Axial Stress	Shear Stress	Von Mises
Operating	1.67	2.5	1.67
Storm	1.25	1.88	1.25

Tabel IV.31 Kriteria tegangan yang diizinkan untuk ASTM A148 (585 MPa yield stress)

ALLOWABLE STRESS (MPa)			
Kondisi	Axial Stress	Shear Stress	Von Mises
Operating	350	234	350
Storm	468	311	468

Keterangan (ABS, 2004):

- **Kondisi lingkungan operasi (*operating*) untuk SBM**

Keadaan laut maksimum di mana kapal diizinkan untuk tetap ditambatkan ke SBM tanpa melebihi beban dan tekanan yang diizinkan yang diperlukan pada *Part 3: Mooring System Design* dan *Part 4: Equipment and Systems* dari aturan ABS 2014. Angin, gelombang, dan arus terkait yang digunakan dalam perancangan harus didasarkan pada data spesifik lokasi, seperti yang ditentukan oleh konsultan meteorologi dan oseanografi yang diakui.

- **Kondisi lingkungan desain (*environmental/survival/storm*) untuk SBM**

Keadaan lingkungan maksimum berupa angin, gelombang, dan arus berdasarkan interval perulangan 100 tahunan. Pada kondisi ini, tidak ada kapal yang tertambat pada sistem SBM, kecuali sistem SBM dirancang khusus untuk situasi ini.

Sebagaimana yang telah dijelaskan pada sub-bab 2.2.7 tentang Analisis Dinamis pada Bab II sebelumnya, metode analisis simulasi domain pada penelitian ini menggunakan *Time Domain Analysis* dengan minimal simulasi durasi waktunya

selama 10800 s (3 jam) atas rekomendasi DNV OS E301. Empat skenario analisis tegangan pada *mooring line* dilakukan untuk kondisi lingkungan operasi dan badai (*Storm*) dengan arah pembebahan gelombang 180° terhadap *heading* kapal FSO sebagaimana berikut:

- 1) SBM konfigurasi *in line* – FSO kondisi *full load*
- 2) SBM konfigurasi *between line* – FSO kondisi *full load*
- 3) SBM konfigurasi *in line* – FSO kondisi *ballast*
- 4) SBM konfigurasi *between line* – FSO kondisi *ballast*

Tabel IV.32 – Tabel IV.39 menunjukkan hasil simulasi dengan *software* Orcaflex 9.2 selama 10800 detik untuk mengetahui *output* berupa tegangan maksimum tiap enam *mooring line* dan tali *hawser*.

Tabel IV.32 Tension maksimum *hawser* dan *mooring line* kondisi 1 – OPERASI

<i>Condition</i>	<i>Line</i>	<i>Tension</i>	<i>Time</i>	<i>MBL</i>	<i>S. F.</i>	<i>S. F.</i>	<i>Status</i>	
		(kN)	(s)	(kN)		(ABS)		
<i>Full Load</i>	<i>In Line</i>	H1	168.74	10022.40	4002.13	23.72	2.50	OK!
		H2	180.28	10022.50	4002.13	22.20	2.50	OK!
		ML1	1003.49	4729.70	3380.732	3.37	1.67	OK!
		ML2	589.29	10080.70	3380.732	5.74	1.67	OK!
		ML3	475.45	10762.20	3380.732	7.11	1.67	OK!
		ML4	575.12	6561.60	3380.732	5.88	1.67	OK!
		ML5	497.78	8542.90	3380.732	6.79	1.67	OK!
		ML6	534.59	4728.70	3380.732	6.32	1.67	OK!

Tabel IV.33 Tension maksimum *hawser* dan *mooring line* kondisi 1 – BADAII

<i>Condition</i>	<i>Line</i>	<i>Tension</i>	<i>Time</i>	<i>MBL</i>	<i>S. F.</i>	<i>S. F.</i>	<i>Status</i>	
		(kN)	(s)	(kN)		(ABS)		
<i>Full Load</i>	<i>In Line</i>	H1	329.61	9635.80	4002.13	12.14	2.50	OK!
		H2	396.05	9635.80	4002.13	10.11	2.50	OK!
		ML1	1021.98	9629.70	3380.732	3.31	1.67	OK!
		ML2	763.65	9612.40	3380.732	4.43	1.67	OK!
		ML3	528.70	10740.80	3380.732	6.39	1.67	OK!
		ML4	631.13	10740.80	3380.732	5.36	1.67	OK!
		ML5	490.23	10740.90	3380.732	6.90	1.67	OK!
		ML6	536.66	8305.10	3380.732	6.30	1.67	OK!

Tabel IV.34 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 2 – OPERASI

<u>Condition</u>	<u>Line</u>	<u>Tension</u>	<u>Time</u>	<u>MBL</u>	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u>	<u>Status</u>	
		(kN)	(s)	(kN)		(ABS)		
<i>Full Load</i>	<i>Between Line</i>	H1	195.41	9411.30	4002.13	20.48	2.50	OK!
		H2	208.33	9423.20	4002.13	19.21	2.50	OK!
		ML1	1157.31	9525.40	3380.732	2.92	1.67	OK!
		ML2	644.02	9523.90	3380.732	5.25	1.67	OK!
		ML3	686.29	3905.60	3380.732	4.93	1.67	OK!
		ML4	675.70	3905.70	3380.732	5.00	1.67	OK!
		ML5	603.92	382.60	3380.732	5.60	1.67	OK!
		ML6	1147.08	259.70	3380.732	2.95	1.67	OK!

Tabel IV.35 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 2 – BADAII

<u>Condition</u>	<u>Line</u>	<u>Tension</u>	<u>Time</u>	<u>MBL</u>	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u>	<u>Status</u>	
		(kN)	(s)	(kN)		(ABS)		
<i>Full Load</i>	<i>Between Line</i>	H1	223.96	9184.00	4002.13	17.87	2.50	OK!
		H2	238.69	9183.90	4002.13	16.77	2.50	OK!
		ML1	1183.10	10497.80	3380.732	2.86	1.67	OK!
		ML2	632.97	9167.00	3380.732	5.34	1.67	OK!
		ML3	715.10	9815.50	3380.732	4.73	1.67	OK!
		ML4	678.79	3411.10	3380.732	4.98	1.67	OK!
		ML5	603.71	382.50	3380.732	5.60	1.67	OK!
		ML6	1164.82	10497.80	3380.732	2.90	1.67	OK!

Tabel IV.36 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 3 – OPERASI

<u>Condition</u>	<u>Line</u>	<u>Tension</u>	<u>Time</u>	<u>MBL</u>	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u>	<u>Status</u>	
		(kN)	(s)	(kN)		(ABS)		
<i>Ballast</i>	<i>In Line</i>	H1	288.76	7845.70	4002.13	13.86	2.50	OK!
		H2	309.18	7845.60	4002.13	12.94	2.50	OK!
		ML1	1011.86	4729.60	3380.732	3.34	1.67	OK!
		ML2	747.68	7838.60	3380.732	4.52	1.67	OK!
		ML3	501.88	8542.90	3380.732	6.74	1.67	OK!
		ML4	577.89	9852.40	3380.732	5.85	1.67	OK!
		ML5	488.73	6624.50	3380.732	6.92	1.67	OK!
		ML6	668.80	9348.60	3380.732	5.05	1.67	OK!

Tabel IV.37 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 3 – BADAII

<u>Condition</u>		<u>Line</u>	<u>Tension</u> (kN)	<u>Time</u> (s)	<u>MBL</u> (kN)	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u> (ABS)	<u>Status</u>
<i>Ballast</i>	<i>In Line</i>	H1	323.73	9184.10	4002.13	12.36	2.50	OK!
		H2	307.11	9183.90	4002.13	13.03	2.50	OK!
		ML1	1662.27	10498.10	3380.732	2.03	1.67	OK!
		ML2	849.55	10497.50	3380.732	3.98	1.67	OK!
		ML3	516.55	10740.80	3380.732	6.54	1.67	OK!
		ML4	611.04	9815.80	3380.732	5.53	1.67	OK!
		ML5	484.34	9815.70	3380.732	6.98	1.67	OK!
		ML6	771.64	9238.10	3380.732	4.38	1.67	OK!

Tabel IV.38 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 4 – OPERASI

<u>Condition</u>		<u>Line</u>	<u>Tension</u> (kN)	<u>Time</u> (s)	<u>MBL</u> (kN)	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u> (ABS)	<u>Status</u>
<i>Ballast</i>	<i>Between Line</i>	H1	292.61	7906.40	4002.13	13.68	2.50	OK!
		H2	310.30	7906.30	4002.13	12.90	2.50	OK!
		ML1	1178.73	7899.90	3380.732	2.87	1.67	OK!
		ML2	671.32	7898.30	3380.732	5.04	1.67	OK!
		ML3	681.55	3905.60	3380.732	4.96	1.67	OK!
		ML4	669.86	3905.70	3380.732	5.05	1.67	OK!
		ML5	632.63	6432.00	3380.732	5.34	1.67	OK!
		ML6	1152.06	259.70	3380.732	2.93	1.67	OK!

Tabel IV.39 Tension maksimum hawser dan mooring line kondisi 4 – BADAII

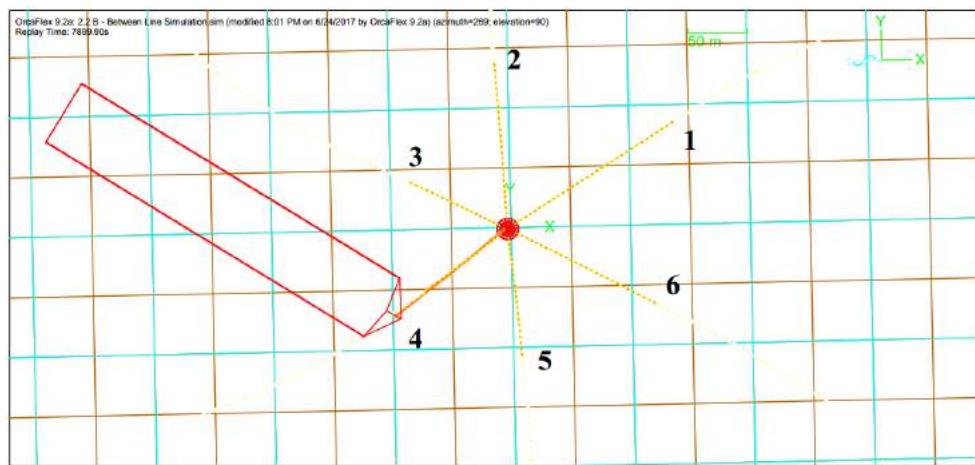
<u>Condition</u>		<u>Line</u>	<u>Tension</u> (kN)	<u>Time</u> (s)	<u>MBL</u> (kN)	<u>S. F.</u>	<u>S. F.</u> (ABS)	<u>Status</u>
<i>Ballast</i>	<i>Between Line</i>	H1	293.71	10389.80	4002.13	13.63	2.50	OK!
		H2	312.37	10390.20	4002.13	12.81	2.50	OK!
		ML1	1512.99	10497.80	3380.732	2.23	1.67	OK!
		ML2	655.81	10380.10	3380.732	5.16	1.67	OK!
		ML3	700.25	9815.50	3380.732	4.83	1.67	OK!
		ML4	686.45	9815.50	3380.732	4.92	1.67	OK!
		ML5	633.16	8913.40	3380.732	5.34	1.67	OK!
		ML6	1272.77	10497.90	3380.732	2.66	1.67	OK!

Tabel IV.40 dan Tabel IV.41 adalah rangkuman dari hasil tegangan maksimum mooring line tiap empat kondisi. Besaran tegangan maksimum dengan 1178.73 kN terjadi pada kondisi 4 saat operasi dan 1662.27 kN terjadi pada kondisi

3 saat badaai menjadi acuan untuk analisis lebih lanjut mengenai tegangan lokal maksimum pada *chain stopper hexagonal* SBM.

Tabel IV.40 Tension maksimum mooring line dari empat kondisi - OPERASI

<u>Condition</u>		<u>Line</u>	<u>Tension</u> (kN)	<u>Time</u> (s)	<u>MBL</u> (kN)	<u>S. F.</u> (ABS)	<u>S. F.</u>	<u>Status</u>
FL	B L	ML1	1003.49	4729.70	3380.732		1.67	
FL	B L	ML1	1157.31	9525.40	3380.732	2.92	1.67	OK!
B	I L	ML1	1011.86	4729.60	3380.732	3.34	1.67	OK!
B	B L	ML1	1178.73	7899.90	3380.732	2.87	1.67	OK!



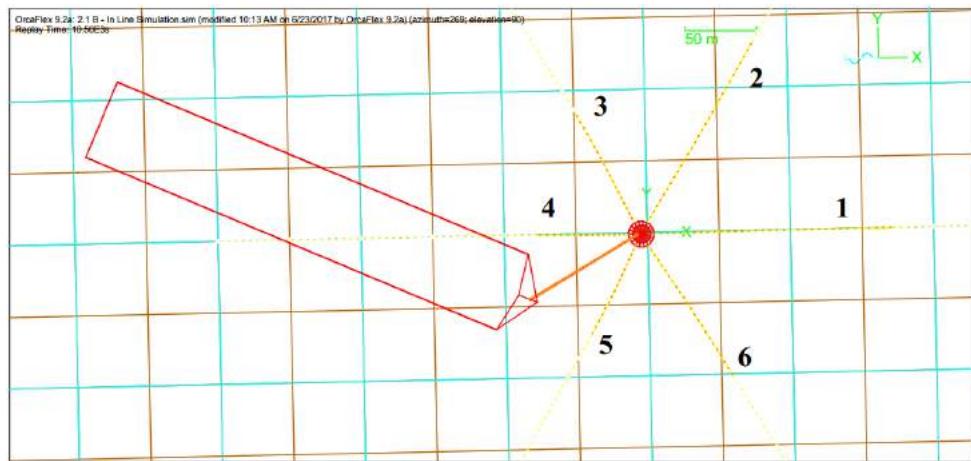
Gambar IV.33 Tampak atas simulasi Orcaflex 9.2 kondisi 4 – OPERASI (7899.90 s)

Gambar IV.33 adalah tampak atas dari hasil simulasai Orcaflex 9.2 pada detik 7899.90 dari total simulasai selama 10800 detik. Pada detik 7899.90 menunjukkan bahwa pada kondisi kapal saat *ballast* (B) dengan konfigurasi sistem tambatnya *between line* (BL) menimbulkan tegangan maksimum yang tertinggi pada *mooring line* ke-1 (ML1) dibandingkan tiga kondisi atau hasil skenario lain untuk saat kondisi operasi. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa kapal FSO saat di tengah kondisi operasi mengalami sedikit ketidaksejajaran yang semula kapalnya searah dengan 180° arah datangnya dominan pembebahan lingkungan. Hal ini tentu disebabkan karena kombinasi pembebahan yang ada sehingga dalam rentang waktu tertentu kapal mengalami *weathervaning* yang cukup ekstrem terhadap *hexagonal* SBM.

Tabel IV.41 Tension maksimum mooring line dari empat kondisi - BADAII

<u>Condition</u>		<u>Line</u>	<u>Tension</u> (kN)	<u>Time</u> (s)	<u>MBL</u> (kN)	<u>S. F.</u> (ABS)	<u>S. F.</u>	<u>Status</u>
FL	B L	ML1	1021.98	9629.70	3380.732		1.67	
								OK!

FL	B L	ML1	1183.10	10497.80	3380.732	2.86	1.67	OK!
B	I L	ML1	1662.27	10498.10	3380.732	2.03	1.67	OK!
B	B L	ML1	1512.99	10497.80	3380.732	2.23	1.67	OK!



Gambar IV.34 Tampak atas simulasi Orcaflex 9.2 kondisi 3 – BADA (10498.10 s)

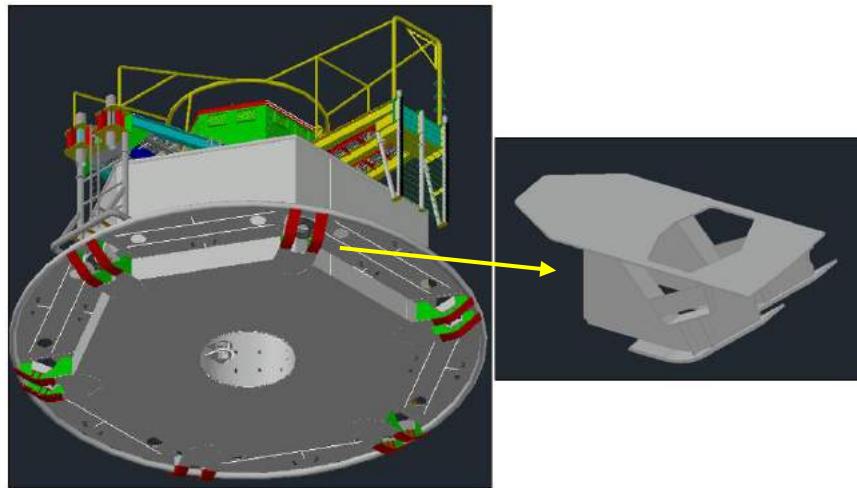
Gambar IV.34 adalah tampak atas dari hasil simulasi Orcaflex 9.2 pada detik 10498.10 dari total simulasi selama 10800 detik. Pada detik 10498.10 menunjukkan bahwa pada kondisi kapal saat *ballast* (B) dengan konfigurasi sistem tambatnya *in line* (IL) menimbulkan tegangan maksimum yang tertinggi pada *mooring line* ke-1 (ML1) dibandingkan tiga kondisi atau hasil skenario lain untuk saat kondisi badai. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa kapal FSO saat di tengah kondisi badai mengalami sedikit ketidaksejajaran yang semula kapalnya searah dengan 180° arah datangnya dominan pembebahan lingkungan dan *mooring line* ke-1. Hal ini tentu disebabkan karena kombinasi pembebahan yang ada sehingga dalam rentang waktu tertentu kapal mengalami *weathervaning* yang cukup ekstrem terhadap *hexagonal* SBM.

4.7 ANALISIS TEGANGAN PADA STRUKTUR *CHAIN STOPPER*

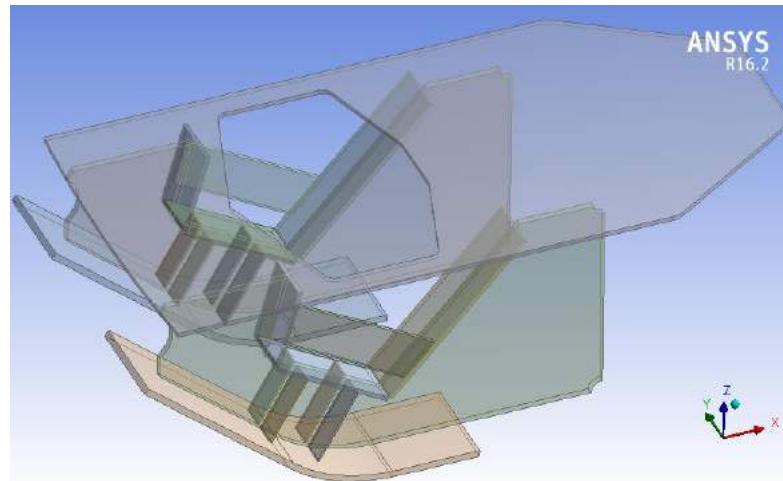
4.7.1 Pengonversian Data Model Struktur *Chain Stopper*

Permodelan struktur *chain stopper* dalam bentuk *file* DWG (AutoCAD 3D) telah dibuat oleh PT. Adidaya Energi Mandiri berdasarkan dimensi dari data ukuran asli *general arrangement hexagonal single buoy mooring*. Karena hal tersebut maka diperlukan pengonversian format *file* DWG model *chain stopper* yang telah ada ke *file* IGES sebagai *input geometry* untuk ANSYS Mechanical 16.2 (*Static*

*Structural). Screenshot struktur *chain stopper* sebelum dan sesudah pengonversian format filenya ditunjukkan pada Gambar IV.35 dan Gambar IV.36.*



Gambar IV.35 Model struktur *chain stopper* dari AutoCAD 2017 (.dwg)



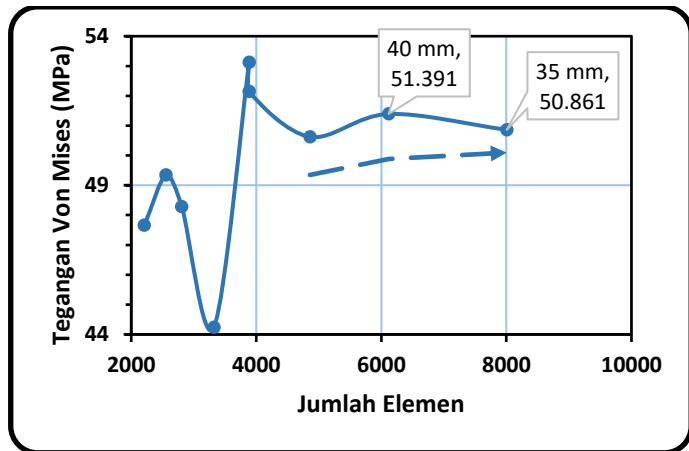
Gambar IV.36 Model struktur *chain stopper* dari ANSYS Mechanical 16.2 (.iges)

Tabel IV.42 Properti geometri struktur *chain stopper* dari ANSYS Mechanical 16.2

<u>Geometric Properties</u>	
Volume	0.21689 m ³
Mass	1702.5 kg

4.7.2 Analisis Sensitivitas *Meshing*

Sebelum dilakukan analisis tegangan lokal maksimum struktur *chain stopper*, terlebih dahulu dilakukan analisis sensitivitas *meshing* yang bertujuan untuk mengetahui ukuran yang optimum atau konsistensi – keakuratan hasil dari jumlah elemen yang digunakan. Perubahan ukuran *meshing* dilakukan dengan metode iterasi hingga hasilnya menjadi konvergen pada ukuran tertentu atau tidak adanya perubahan yang signifikan dari hasil sebelumnya.

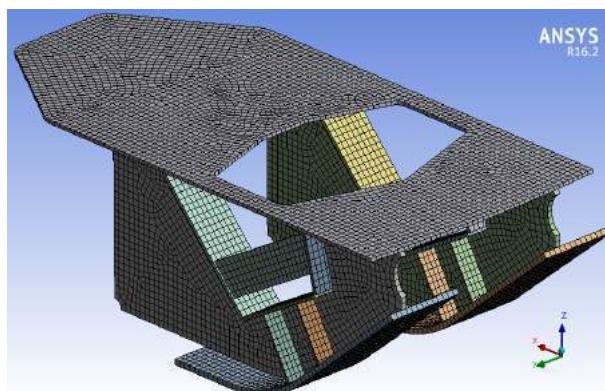


Gambar IV.37 Grafik uji sensitivitas *meshing*

Tabel IV.43 Hasil dari uji sensitivitas *meshing* terhadap perubahan ukuran *meshing*

Ukuran Maksimum (mm)	Jumlah Elemen	Von Mises (MPa)	Error
75	2210	47.659	-
70	2558	49.350	3.55%
65	2809	48.281	2.17%
60	3322	44.238	8.37%
55	3886	53.129	20.10%
50	3886	52.146	1.85%
45	4858	50.625	2.92%
40	6117	51.391	1.51%
35	8006	50.861	1.03%

Dari Gambar IV.37 dan Tabel IV.43 menunjukkan bahwa konvergensi dimulai pada saat ukuran elemen 45 mm hingga 35 mm. Ukuran *meshing* yang optimum sebaiknya memiliki nilai *absolute error* di bawah 2% sehingga hal tersebut terjadi pada ukuran *meshing* pada nilai 35 mm dengan jumlah elemen (nodes 60202). Bentuk *meshing*nya dengan ukuran tersebut dapat diperhatikan secara seksama pada Gambar IV.38.

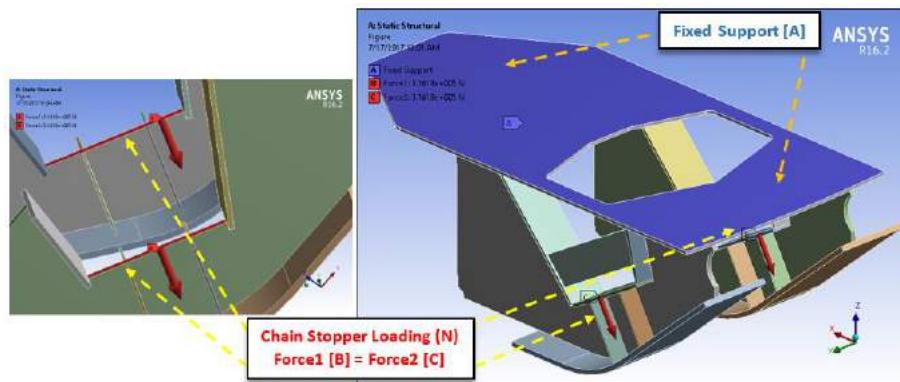


Gambar IV.38 Hasil *running meshing* tipe quadrilateral terhadap *chain stopper*

4.7.3 Pembebaan pada Struktur *Chain Stopper*

Selanjutnya dilakukan pemberian beban (*loading*) pada *chain stopper* dari hasil analisis tegangan maksimum *mooring line* dengan Orcaflex 9.2 sebelumnya. Dua skenario analisis dilakukan berdasarkan pemberian beban tegangan maksimum *mooring line* untuk kondisi operasi dan badai sebagaimana berikut:

- 1) Tegangan maksimum *mooring line* (*operation*) : 1178732.18 N (Tabel IV.40)
- 2) Tegangan maksimum *mooring line* (*storm*) : 1662274.90 N (Tabel IV.41)



Gambar IV.39 Pemberian area *fixed support* dan gaya pada *chain stopper* (N)

Jenis material struktur *hexagonal SBM – chain stopper* yang digunakan adalah ASTM A148 *Grade 105-85* dengan *yield stress* sebesar 585 MPa sehingga hasil tegangan dari dua skenario analisis harus lebih kecil dari tegangan izinnya sebagaimana pada Tabel IV.31.

Tabel IV.44 menunjukkan hasil *running* (*Solve*) ANSYS *Mechanical – Static Structural* untuk tegangan Von Mises (*Equivalent Stress*) dari pembebaan yang diberikan saat kondisi operasi dan badai pada *chain stopper*.

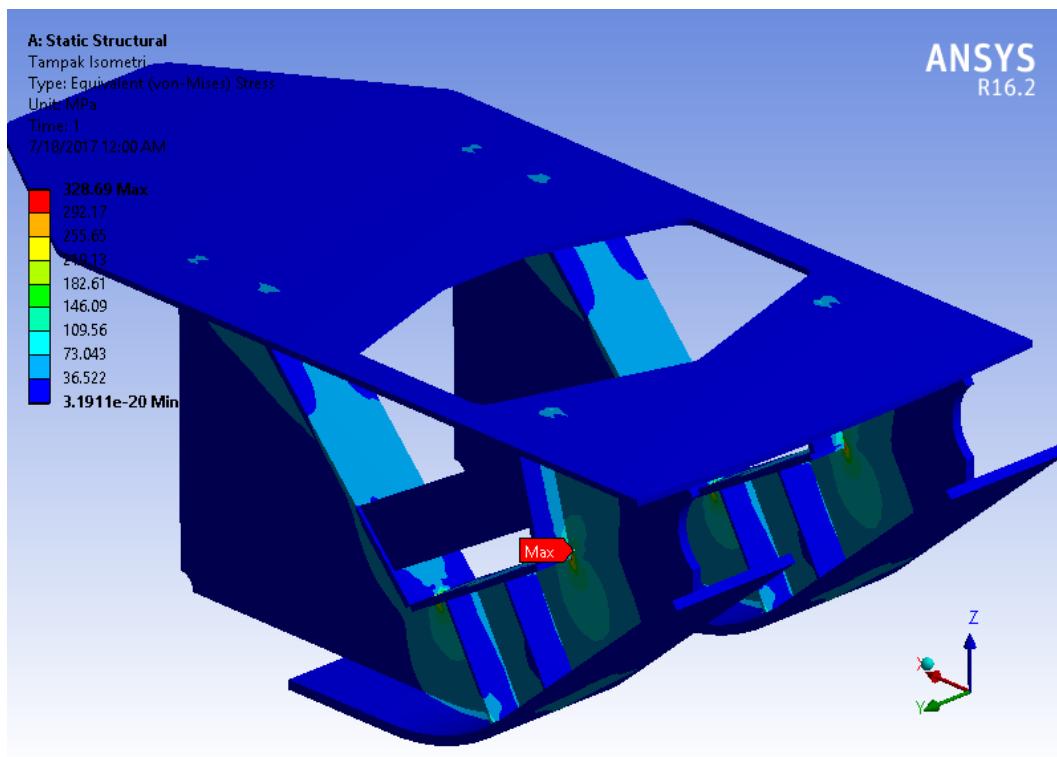
Tabel IV.44 Hasil analisis statis pada struktur *chain stopper*

<u>Parameter</u>	<u>Operation</u>	<u>Storm</u>
Von Mises Stress (MPa)	328.69	463.53
Allow. Von Mises Stress (MPa)	350	468
Stress Ratio	0.94	0.99

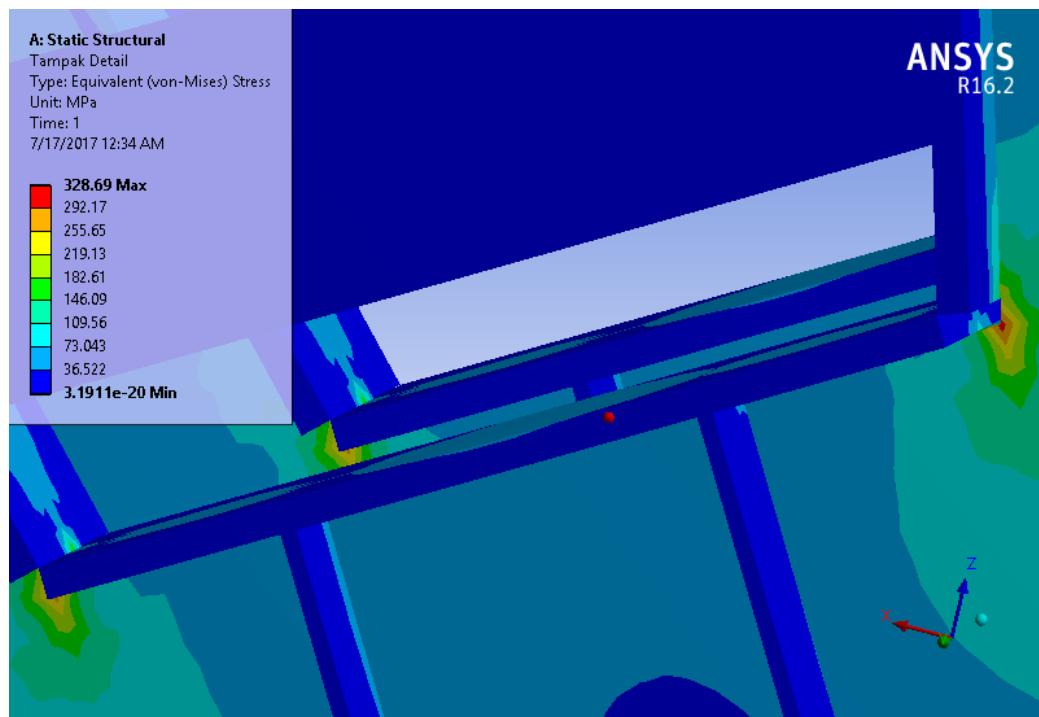
Dari Tabel IV.44 menunjukkan bahwa properti desain *chain stopper* pada *hexagonal SBM* yang telah ada memenuhi kriteria keamanan struktur untuk dapat beroperasi di titik perairan Kepulauan Seribu, baik saat kondisi operasi maupun badai. Hal ini dapat diperhatikan bahwa ketika terjadinya pembebaan maksimum *mooring line* pada *chain stopper* saat operasi memiliki nilai rasio tegangan sebesar

0.94 (328.69 MPa) dan saat badai memiliki nilai rasio tegangan sebesar 0.99 (463.54 MPa).

Gambar IV.40 dan Gambar IV.41 adalah model hasil *running* ANSYS Mechanical 16.2 untuk mengetahui tegangan Von Mises (Pa) pada kondisi operasi.

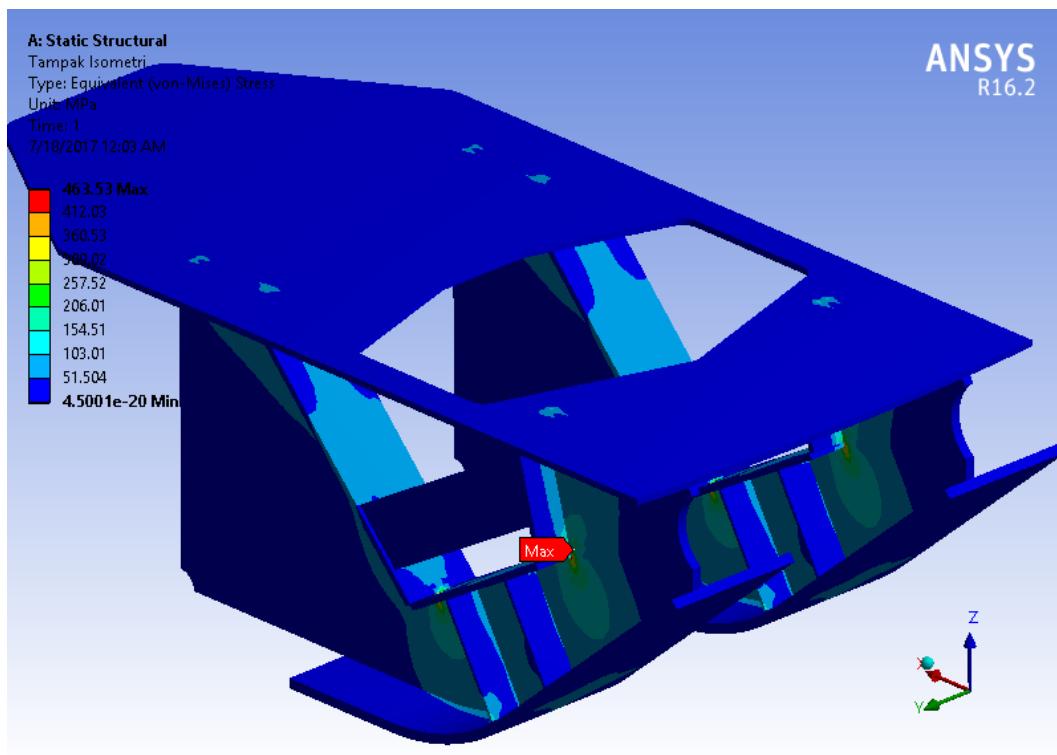


Gambar IV.40 Hasil *running* tegangan Von Mises (MPa) tampak iso - OPERASI

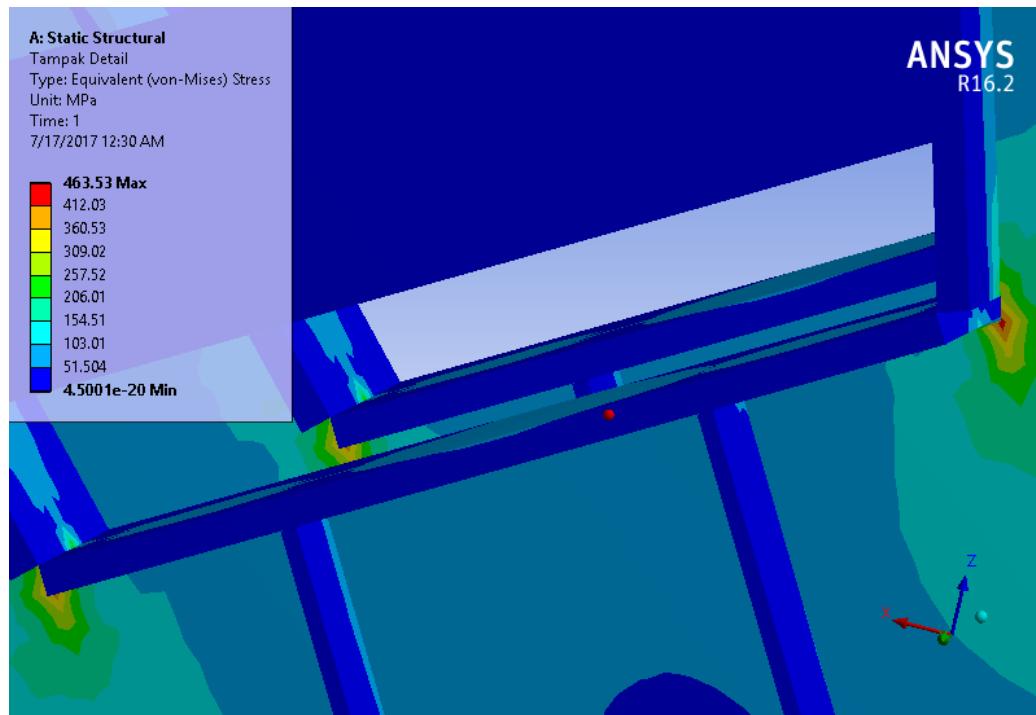


Gambar IV.41 Hasil *running* tegangan Von Mises (MPa) tampak detail - OPERASI

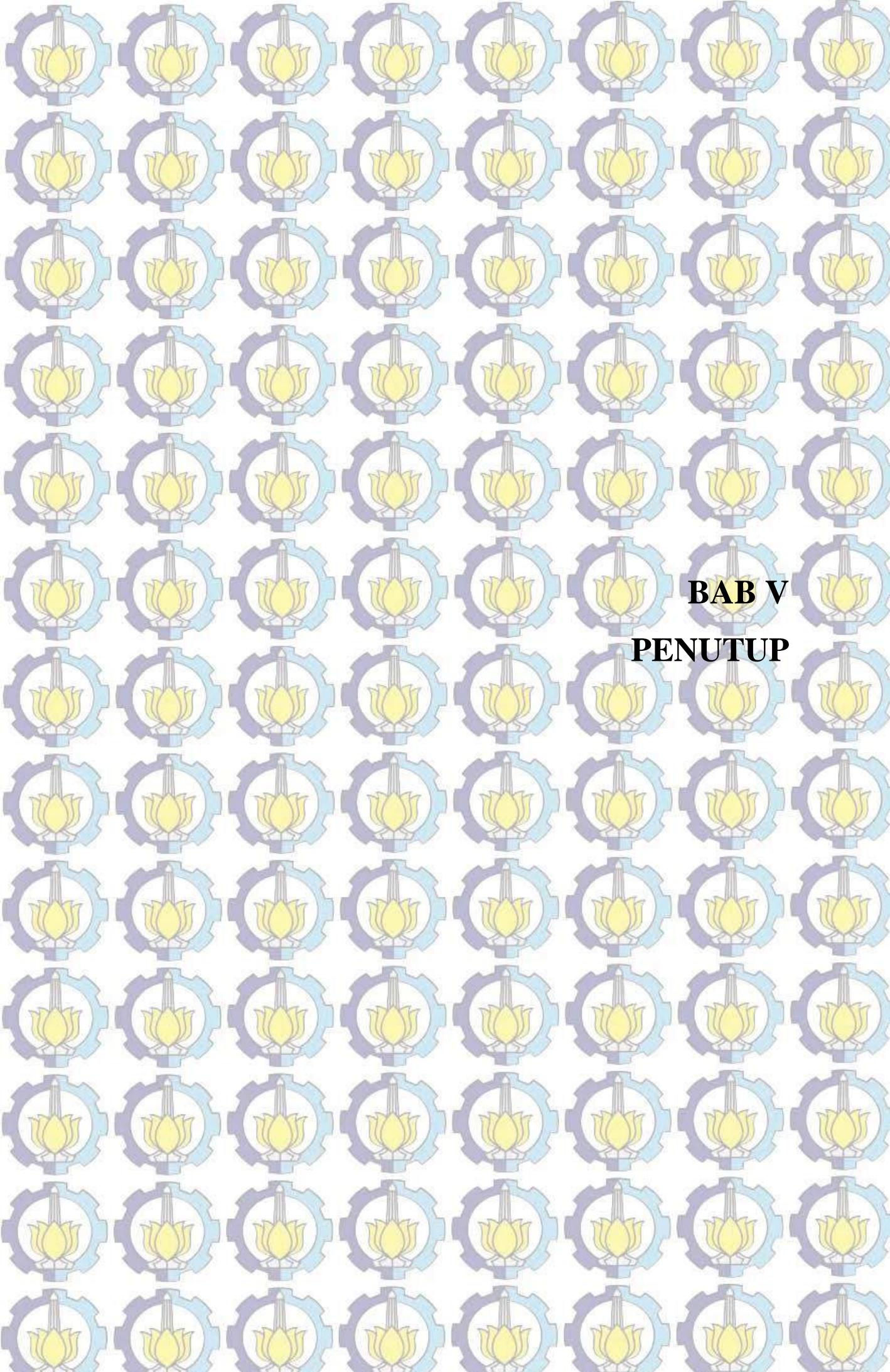
Gambar IV.42 dan Gambar IV.43 adalah model hasil *running* ANSYS Mechanical 16.2 untuk mengetahui tegangan Von Mises (Pa) pada kondisi badai.



Gambar IV.42 Hasil *running* tegangan Von Mises (MPa) tampak iso – BADAII



Gambar IV.43 Hasil *running* tegangan Von Mises (MPa) tampak detail – BADAII



BAB V

PENUTUP

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan mengenai perilaku respons kapal FSO dan *hexagonal* SBM saat *free floating* dengan pembebangan gelombang reguler dan acak – JONSWAP, tegangan tali tambat saat masa operasi dan badai, serta tegangan lokal maksimum struktur *chain stopper* didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Respons struktur (6 DoF) kapal FSO dan *hexagonal* SBM ketika dibebani gelombang reguler saat *free floating* adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai RAO maksimum kapal FSO: *surge* pada kondisi *ballast* dengan $0.978 \text{ m/m} - 0.1 \text{ rad/s}$ (180°), *sway* pada kondisi *ballast* dengan $0.990 \text{ m/m} - 0.1 \text{ rad/s}$ (90°), *heave* pada kondisi *full load* dengan $1.452 \text{ m/m} - 0.6 \text{ rad/s}$ (90°), *roll* pada kondisi *ballast* dengan $2.594 \text{ deg./m} - 0.4 \text{ rad/s}$ (90°), *pitch* pada kondisi *full load* dengan $0.673 \text{ deg./m} - 0.4 \text{ rad/s}$ (180°), dan *yaw* pada kondisi *ballast* dengan RAO $0.259 \text{ deg./m} - 0.4 \text{ rad/s}$ (180°).
 - b. Nilai RAO maksimum *hexagonal* SBM: *surge* dengan $0.756 \text{ m/m} - 0.1 \text{ rad/s}$ (180°), *sway* dengan $0.998 \text{ m/m} - 0.1 \text{ rad/s}$ (90°), *heave* dengan $1.000 \text{ m/m} - 0.1 \text{ rad/s}$ ($90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$), *roll* dengan $7.319 \text{ deg./m} - 1.7 \text{ rad/s}$ (90°), *pitch* dengan $8.318 \text{ deg./m} - 1.7 \text{ rad/s}$ (180°), dan *yaw* dengan $3.193 \text{ deg./m} - 1.6 \text{ rad/s}$ (135°).
2. Respons struktur kapal FSO dan *hexagonal* SBM ketika dibebani gelombang acak (JONSWAP – $H_s = 2.02 \text{ m}$ & $T_s = 9.58 \text{ s}$) adalah sebagai berikut:
 - a. Spektrum gelombang JONSWAP – *wave spectral density* [$S_r(\omega)$] maksimum terjadi pada frekuensi 0.65 rad/s dengan nilai $1.3 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$.
 - b. Nilai amplitudo ekstrem kapal FSO kondisi *ballast*: *surge* dengan 0.2607 m dan $0.0130 \text{ m}^2/(\text{rad/s}) - 0.55 \text{ rad/s}$ (180°), *sway* dengan 1.6549 m dan $0.27 \text{ m}^2/(\text{rad/s}) - 0.6 \text{ rad/s}$ (180°), *heave* dengan 2.8148 m dan $1.351 \text{ m}^2/(\text{rad/s}) - 0.55 \text{ rad/s}$ (90°), *roll* dengan 2.9452 deg dan $1.382 \text{ deg}^2/(\text{rad/s}) - 0.50 \text{ rad/s}$ (90°), *pitch* dengan 0.4761 deg dan $0.039 \text{ deg}^2/(\text{rad/s}) - 0.50 \text{ rad/s}$ (180°), dan *yaw* dengan 0.3987 deg dan $0.027 \text{ deg}^2/(\text{rad/s}) - 0.55 \text{ rad/s}$ (135°).

- c. Nilai amplitudo ekstrem *hexagonal* SBM: *surge* dengan 3.0785 m dan 0.617 $m^2/(rad/s)$ – 0.65 rad/s (180°), *sway* dengan 4.0952 m dan 1.09 $m^2/(rad/s)$ – 0.65 rad/s (180°), *heave* dengan 4.3237 m dan 1.127 $m^2/(rad/s)$ – 0.65 rad/s (90°), *roll* dengan 17.0149 deg dan 9.332 deg²/(rad/s) – 0.90 rad/s (90°), *pitch* dengan 18.0001 deg dan 10.2 deg²/(rad/s) – 0.9 rad/s (180°), dan *yaw* dengan 8.0197 deg dan 2.055 deg²/(rad/s) – 0.85 rad/s (135°).
3. Tegangan maksimum yang terjadi pada sistem tambat antara SBM dan kapal FSO yang disebabkan beban lingkungan adalah sebagai berikut:
- a. Tegangan maksimum saat masa operasi terjadi pada kondisi 4 – kapal FSO saat *ballast* & konfigurasi sistem tambat *between line* dengan *mooring line* ke-1 dan *safety factor* sebesar 2.87 (1178.73 kN).
 - b. Tegangan maksimum saat masa badai (*storm*) terjadi pada kondisi 3 – kapal FSO saat *ballast* & konfigurasi sistem tambat *in line* dengan *mooring line* ke-1 dan *safety factor* sebesar 2.03 (1662.27 kN).
 - c. Hasil seluruh skenario analisis yang dilakukan telah menunjukkan bahwa properti *mooring line* yang dipilih telah aman digunakan karena tiap *mooring line* dengan tegangan maksimumnya telah memenuhi ketentuan ABS 2014 yakni harus berada di atas *safety factor* 1.67.
4. Tegangan Von Mises maksimum struktur *chain stopper* pada *hexagonal* SBM terhadap FSO adalah sebagai berikut:
- a. Hasil analisis statis pada struktur *chain stopper* saat masa operasi berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi sebesar 328.69 MPa dengan rasio terhadap tegangan yang diizinkan berdasarkan jenis material ASTM A148 *Grade 105-85* sebesar 0.94.
 - b. Hasil analisis statis pada struktur *chain stopper* saat masa badai (*storm*) berupa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi sebesar 463.53 MPa dengan rasio terhadap tegangan yang diizinkan berdasarkan jenis material ASTM A148 *Grade 105-85* sebesar 0.99.
 - c. Hasil seluruh skenario analisis yang dilakukan telah menunjukkan bahwa properti *chain stopper – hexagonal* SBM yang dipilih telah aman digunakan karena tegangan ekivalen Von Mises maksimumnya telah memenuhi ketentuan pada jenis material ASTM A148 yakni harus berada di bawah

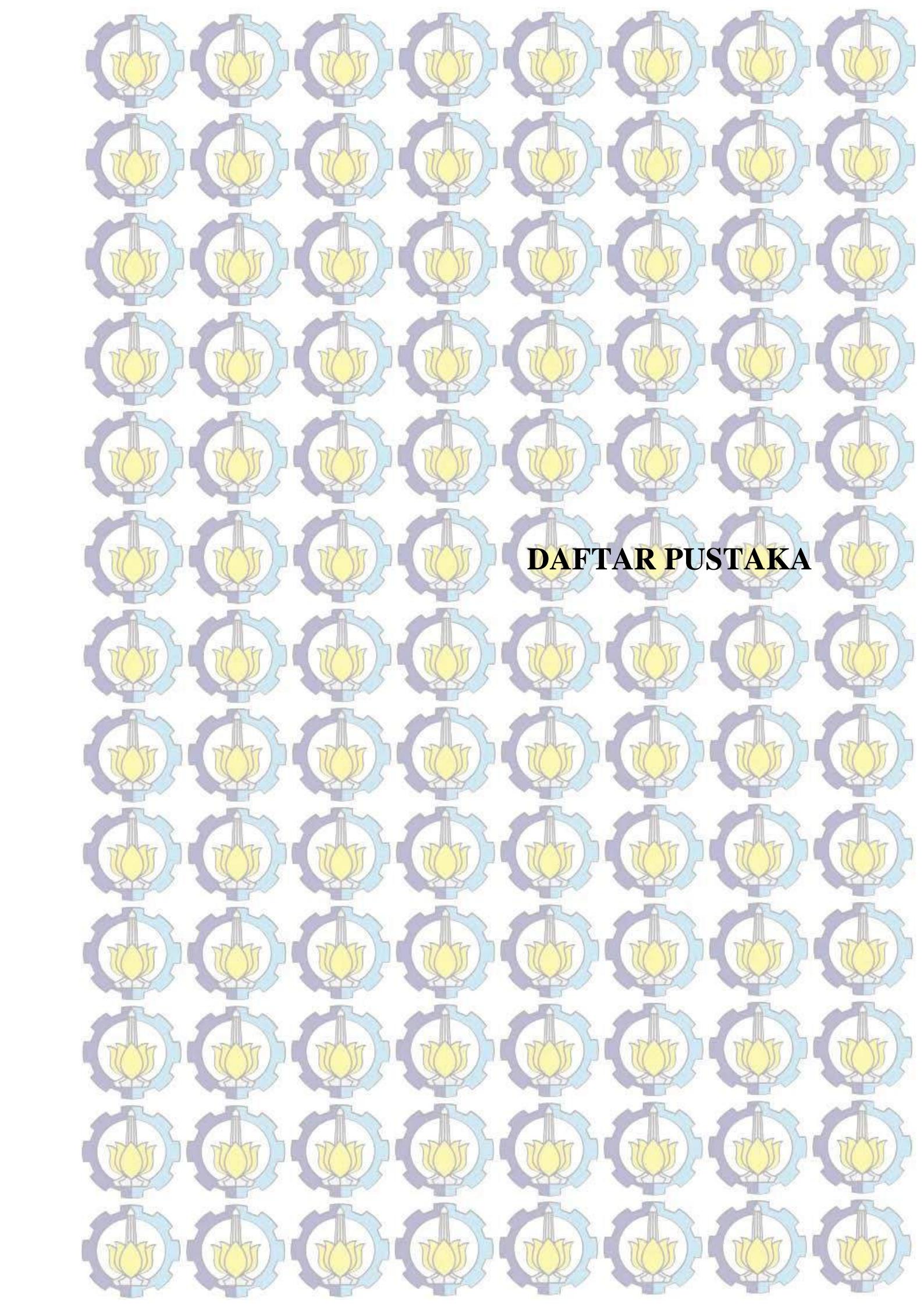
tegangan izin 350 MPa untuk kondisi operasi dan 468 MPa untuk kondisi badi.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk analisis lebih lanjut mengenai topik penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis kelelahan dan keandalan dengan pertimbangan faktor korosi pada struktur yang terkait dengan *hexagonal* SBM untuk mendapatkan tingkat keamanan yang tinggi.
2. Analisis kekuatan *chain (mooring line)* yang bervariasi dengan diameter atau jenisnya dan kekuatan *hexagonal* SBM dengan kapasitas *buoynya* yang bervariasi pula.
3. Analisis respons gerak kapal FSO dan *hexagonal* SBM pada kondisi tertambat dengan *software ANSYS Aqwa*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- ABS. (2004). *Guide for Building and Classing: Floating Production Installations*. Houston, Texas USA: American Bureau of Shipping.
- API Recommended Practice 2SK. (1997). *Recommended Practice for Design and Analysis of Stationkeeping Systems for Floating Structures*. Washington D.C.: American Petroleum Institute.
- Ardhiansyah, F. (2011, 08 Senin). Diambil kembali dari Fahmy is Here: <http://jagunglimabelas.blogspot.co.id/2011/08/jari-jari-girasi.html>
- Azkia, N. N. (2016). *Analisis Tegangan Lokal Maksimum Konstruksi Panama Chock Pada Sistem Tandem Offloading FSO Arco Ardjuna, Tugas Akhir*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Bhattacharyya, R. (1978). *Dynamics of Marine Vehicles*. Annapolis: John Wiley & Sons Inc.
- Djatmiko, B. E. (2014). *Hidrodinamika I - Teori Gelombang Airy (PowerPoint)*. ITS Surabaya.
- Djatmiko, E. B. (2012). *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV. (2004). *DNV OS E301 - Position Mooring*. Norway: Det Norske Veritas.
- DNV. (2010). *DNV RP C205 - Environmental Conditions and Environmental Loads*. Norway: Det Norske Veritas.
- Faltinsen, O. M. (1990). *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Ferdinand P. Beer, E. R. (2012). *Mechanics of Materials sixth edition*. New York America: McGraw-Hill.
- Jamhari H. B. M., F. N. (2015). *Hydrodynamic II Class Homework Report: Barge Laydown Responses Analysis*. Surabaya: Teknik Kelautan ITS.
- Journée, J., & Massie., W. (2001). *Offshore Hydromechanics (First Edition)*. Delft: Delft University of Technology.
- Lewis, W. E. (1989). *Principles of Naval Architecture (Second Revision), Volume III - Motions in Waves and Controllability*. Jersey City, NJ: Society of Naval Architects and Marine Engineers.

- Murtedjo, M. (2004). *Perancangan Lines Plan Bangunan Laut Terapung*. Surabaya: ITS Press.
- Mustofa, J. H. (2016). *Mengulas Ulang (Resume) Mengenai Konsep Tegangan sebagai Pengantar Kuliah Teori Pelat dan Cangkang*. Surabaya: Teknik Kelautan ITS Surabaya.
- Nallayarasu. (2015). *Offshore Structures Analysis and Design*. Chennai: Department of Ocean Engineering, IIT Madras India.
- OCIMF. (2009). *Tandem Mooring and Offloading Guidelines for Conventional Tankers at F(P)SO Facilities*. Seamanship International.
- Oguz Yilmaz, A. I. (1994). Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms. *Elsevier*.
- Petropedia Inc. (2017, Februari 22). *Mobile Offshore Production Unit (MOPU)*. Diambil kembali dari Petropedia: <https://www.petropedia.com/definition/7707/mobile-offshore-production-unit-mopu>
- PT. Adidaya Energi Mandiri. (2015). *BANNER HEX BUOY 01 GLOBAL STRUCTURE ANALYSIS*. Jakarta.
- Soedjono, J. J. (1998). *Diktat Mata Kuliah Konstruksi Bangunan Laut II*. Surabaya: Jurusan Teknik Kelautan ITS.
- Wikipedia. (2017, Februari 15). *Floating Production Storage and Offloading*. Diambil kembali dari Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Floating_production_storage_and_offloading
- Wikipedia. (2017, Februari 19). *Single Buoy Mooring*. Diambil kembali dari Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Single_buoy_mooring

LAMPIRAN A

**Perhitungan Data Sebaran Kecepatan Angin
dan Arus pada Perairan Kepulauan Seribu**

2004-2014

DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

SEBARAN ARAH ANGIN - KECEPATAN ANGIN

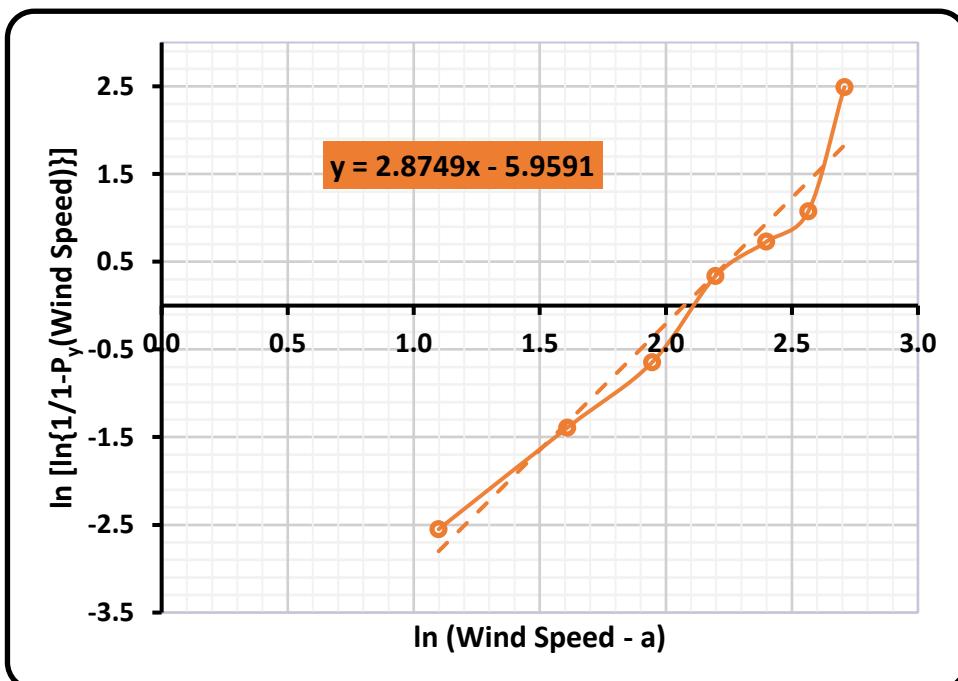
Frequency Count	Wind Direction (deg.)	Wind Speed (knots)							TOTAL
		1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	>=13	
	348.75-11.25	233	232	181	57	29	1	0	733
	11.25-33.75	203	174	71	12	2	0	0	462
	33.75-56.25	275	336	144	26	1	0	0	782
	56.25-78.75	415	577	512	343	96	22	3	1968
	78.75-101.25	604	1449	2812	2738	2047	1270	531	11451
	101.25-123.75	659	1636	3406	3792	3288	2126	1412	16319
	123.75-146.25	619	1354	1567	769	403	118	48	4878
	146.25-168.75	471	1010	506	64	17	7	0	2075
	168.75-191.25	434	707	357	130	33	1	0	1662
	191.25-213.75	426	687	552	391	191	74	70	2391
	213.75-236.25	369	763	1204	960	890	573	799	5558
	236.25-258.75	364	809	1267	1308	916	569	313	5546
	258.75-281.25	350	802	1216	16654	688	234	90	20034
	281.25-303.75	330	745	984	962	736	428	365	4550
	303.75-326.25	348	599	702	667	609	546	816	4287
	326.25-348.75	229	339	340	257	152	138	96	1551
	Total	6329	12219	15821	29130	10098	6107	4543	84247
	Cumulative	6329	18548	34369	63499	73597	79704	84247	

note : Untuk perhitungan P(Wind Sp.) berikut jumlah kecepatan angin total diambil sebesar $84247 + 0.5 = 84247.5$ kecepatan angin.
Nilai 0.5 jumlah kecepatan angin adalah untuk mengantisipasi ketaktentuan karena kemungkinan adanya arah angin dengan intensitas di atas Wind Speed = 13 knots.

DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

Wind Sp. (knots)	P(Wind Sp.)	In (Wind Sp. - a)	In [ln{1/1-P _y (Wind Sp.)}]
(1)	(2)	(3)	(4)
3	0.07512	1.0986	-2.5498
5	0.22016	1.6094	-1.3916
7	0.40795	1.9459	-0.6459
9	0.75372	2.1972	0.3374
11	0.87358	2.3979	0.7267
13	0.94607	2.5649	1.0716
15	0.99999	2.7081	2.4878

Grafik korelasi antara kecepatan angin dan distribusi kumulatif



DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

Kurun Waktu Tahun	P_y (Wind Sp.)	$\ln [\ln\{1/1-P_y\}(Wind Sp.)]]$	$\ln (Wind Sp. - a)$	Wind Sp. (knots)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	0.99997	2.3304	2.8834	17.87
50	0.99999	2.4758	2.9340	18.80
100	1.00000	2.5325	2.9537	19.18

$y = 2.8749x - 5.9591$	
$\ln [\ln\{1/1-P_y(T_p)\}]$	$\ln (T_p - a)$
2.3304	2.883400258
2.4758	2.933984572
2.5325	2.953691127

Kecepatan angin untuk kurun **10-tahunan** adalah **17.87 knots**

Kecepatan angin untuk kurun **50-tahunan** adalah **18.80 knots**

Kecepatan angin untuk kurun **100-tahunan** adalah **19.18 knots**

DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

SEBARAN ARAH ARUS - KECEPATAN ARUS

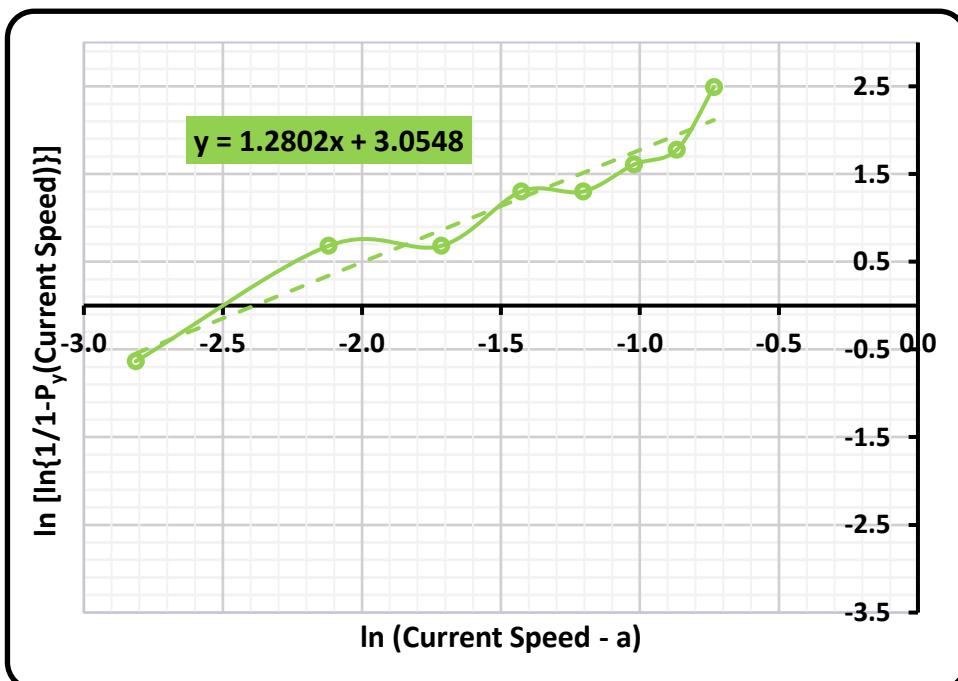
Frequency Count	Wind Direction (deg.)	Current Speed (m/s)								TOTAL
		0-0.06	0.06-0.12	0.12-0.18	0.18-0.24	0.24-0.3	0.3-0.36	0.36-0.42		
	348.75-11.25	1849	5631	0	2218	0	134	21	30	9883
	11.25-33.75	1724	3062	0	557	0	32	16	18	5409
	33.75-56.25	1150	1752	0	209	0	10	9	6	3136
	56.25-78.75	984	1070	0	206	0	6	6	11	2283
	78.75-101.25	1065	980	0	136	0	19	11	0	2211
	101.25-123.75	1330	1101	0	97	0	18	3	6	2555
	123.75-146.25	1535	1554	0	229	0	52	27	6	3403
	146.25-168.75	1647	1654	0	204	0	47	23	3	3578
	168.75-191.25	1655	1323	0	287	0	34	37	14	3350
	191.25-213.75	1442	1522	0	320	0	111	7	0	3402
	213.75-236.25	1366	1629	0	489	0	127	27	24	3662
	236.25-258.75	1195	1001	0	186	0	57	19	16	2474
	258.75-281.25	1288	703	0	114	0	27	33	21	2186
	281.25-303.75	1478	1194	0	137	0	35	17	24	2885
	303.75-326.25	11366	7829	0	565	0	82	9	4	19855
	326.25-348.75	3885	6295	0	3681	0	791	84	47	14783
	Total	34959	38300	0	9635	0	1582	349	230	85055
	Cumulative	34959	73259	73259	82894	82894	84476	84825	85055	

note : Untuk perhitungan P(Curr. Sp.) berikut jumlah kecepatan arus total diambil sebesar $85055 + 0.5 = 85055.5$ kecepatan arus. Nilai 0.5 jumlah kecepatan arus adalah untuk mengantisipasi ketaktentuan karena kemungkinan adanya arah arus dengan intensitas di atas Current Speed = 0.42 m/s.

DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

Curr. Sp. (knots)	P(Curr. Sp.)	ln (Curr. Sp. - a)	ln [ln{1/1-P _y (Curr. Sp.)}]
(1)	(2)	(3)	(4)
0.06	0.41101	-2.8134	-0.6361
0.12	0.86131	-2.1203	0.6808
0.18	0.86131	-1.7148	0.6808
0.24	0.97459	-1.4271	1.3009
0.30	0.97459	-1.2040	1.3009
0.36	0.99319	-1.0217	1.6072
0.42	0.99729	-0.8675	1.7768
0.48	0.99999	-0.733969	2.4886

Grafik korelasi antara kecepatan arus dan distribusi kumulatif



DATA LINGKUNGAN PERAIRAN TANJUNG PRIOK (2004-2014)

Kurun Waktu Tahun	P_y (Curr. Sp.)	$\ln [\ln\{1/1-P_y\}(\text{Curr. Sp.})]]$	$\ln (\text{Curr. Sp.} - a)$	Curr Sp. (m/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	0.99997	2.3304	-0.5659	0.57
50	0.99999	2.4758	-0.4523	0.64
100	1.00000	2.5325	-0.4080	0.66

$y = 1.2802x + 3.0548$	
$\ln [\ln\{1/1-P_y(T_p)\}]$	$\ln (T_p - a)$
2.3304	-0.565858928
2.4758	-0.452263517
2.5325	-0.408009202

Kecepatan arus untuk kurun **10-tahunan** adalah **0.57 m/s**

Kecepatan arus untuk kurun **50-tahunan** adalah **0.64 m/s**

Kecepatan arus untuk kurun **100-tahunan** adalah **0.66 m/s**

LAMPIRAN B-1

**Perhitungan Titik Berat Kapal FSO kondisi
*Full Load dan Ballast***

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

PRINCIPLE DIMENSION OF 330 M FSO VESSEL 308625 DWT

<i>Displacement</i>	Δ	=	308625	t
<i>Volume (displaced)</i>	∇	=	301097.591	m^3
<i>Draft amidships</i>	T	=	20.422	m
<i>Immersed depth</i>		=	20.422	m
<i>Waterline length</i>	L_{wl}	=	330.366	m
<i>Beam max extents on WL</i>		=	54.252	m
<i>Wetted Area</i>	S_w	=	27025.599	m^2
<i>Max sect. area</i>		=	1103.764	m^2
<i>Waterpl. Area</i>	A_{wl}	=	16055.723	m^2
<i>Prismatic coeffisien</i>	C_p	=	0.826	
<i>Block coeffisien</i>	C_b	=	0.823	
<i>Max. sect. area coeff.</i>	C_m	=	0.996	
<i>Waterpl. Area coeff.</i>	C_{wp}	=	0.896	
<i>Longitudinal Centre of Buoyancy</i>	LCB	=	-152.876	frm zero pt. (+ve fwd) m
	LCB %	=	-160.427	frm zero pt. (+ve fwd) m
<i>Longitudinal Centre of Flotation</i>	LCF	=	-46.275	frm zero pt. (+ve fwd)% L_{wl}
	LCF %	=	-48.56	frm zero pt. (+ve fwd)% L_{wl}
<i>Height above the keel</i>	KB	=	10.594	m
<i>Keel to Centre of Buoyancy (fluid)</i>	KG	=	0	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Buoyancy</i>	BMt	=	11.909	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Buoyancy</i>	BML	=	401.568	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Gravity</i>	GMr	=	22.503	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Gravity</i>	GML	=	412.162	m
<i>Transverse Metacentric Radius of Keel</i>	KMt	=	22.503	m
<i>Longitudinal Metacentric Radius of Keel</i>	KML	=	412.162	m
<i>Tonnes per Centimetre Immersion</i>	TPc	=	164.571	tonne/cm
<i>Moment to Trim per cm</i>	MTc	=	3850.454	tonne.m

VLBC (250000 - 330000 DWT)

Length pp	= 271.49 + 0.0001594 · DWT
Breadth	= 57.5
Depth	= 30
Draught	= 8.32 + 0.00004424 · DWT
Lightweight/Lpp/B/D	= 0.068

**APPENDIX B - Equations
for Tankers Found by
Analysis of HIS Fairplay
Data (Page 14/15
Kristensen)**

Very Large Bulk Carrier (25000 - 330000 DWT)

Deadweight	DWT	=	308625	
Length pp	L_{pp}	=	320.684825	m = 1052.115601 ft
Breadth	B	=	57.5	m = 188.6483 ft
Depth	D	=	30	m = 98.4252 ft
Draught	T	=	21.97357	m = 72.0917674 ft
Lightweight/Lpp/B/D		=	0.068	

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

PRINCIPLE DIMENSION OF VLBC 330 M - 300k DWT

Deadweight	DWT	=	300000	ton	=		
Length between AP & FP	L _{pp}	=	319	m	=	1046.58796	ft
Breadth	B	=	57	m	=	187.00788	ft
Depth	D	=	30	m	=	98.4252	ft
Draught	T	=	21	m	=	68.89764	ft
Lightweight/Lpp/B/D			0.068				

	DATA		VALUE		SCALE
1	DATA I				
		L _{pp}	= 319	m	1.488
2	DATA I				
		B	= 57	m	1.452
3	DATA I				
		D	= 30	m	1.354
4	DATA I				
		T	= 21	m	1.369
	DATA II				
			= 214.44	m	
			= 39.2431	m	
			= 22.1647	m	
			= 15.3448	m	

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

<u>BASIC SHIP CALCULATION</u>			
1. Lightweight	LWT	=	$0.103 \times L_{pp} \times B \times D$ = 37093.32 ton
2. Panjang Garis Air Muat	L_{wl}	=	$L_{pp} + (2\% \times L_{pp})$ = 325.38 m
3. Panjang Displacement	$L_{disp.}$	=	$0.5 \times (L_{wl} + L_{pp})$ = 322.19 m
4. Volume Displacement	∇	=	$L_{wl} \times B \times T \times C_b$ = 317161.24 m ³ 0.00
5. Displacement	Δ	=	$L_{wl} \times B \times T \times C_b \times \rho$ = 325090.27 ton

"These methods are generally based in statistical regressions
with data compiled from existing ships." -Prof. Manuel Ventura, Ship Design I, M.Sc. in Marine
Engineering and Naval Architecture

<u>HULL FORM COEFFICIENTS</u>			
1. <u>Kerlen (1970)</u>	$C_B = 1.179 - 2.026 \cdot Fn$	$p / C_B > 0.78$	<ul style="list-style-type: none"> • Applicable to ships with $0.16 \leq F_n \leq 0.32$
Koefisien Block		$C_b = 0.81432$	
2. <u>Kerlen (1970)</u>	$C_M = 1.006 - 0.0056 \cdot C_B^{-3.56}$		
Koefisien Midship		$C_m = 0.994365239$	
3. <u>Parson (2003)</u>	$C_{WL} = \frac{C_B}{0.471 + 0.551 \cdot C_B}$		
Koefisien Garis Air		$C_{wp} = 0.885428478$	
4. <u>KB = T(0.9 - 0.3 · C_M - 0.1 · C_B)</u> Schneekluth			
Jarak Keel ke Titik Apung	KB	= 10.92542699	m
5. <u>$lcb = (8.80 - 38.9 \cdot F_n) / 100$ [% Lpp AV MS]</u>			
Jarak Titik Apung Longitudinal	LCB	= 0.000475	m
		= 0.151525	m
		= 0.48336475	m (dari Midship)
		= 159.9833648	m (dari AP)

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

6a.

The Transverse Metacentric Radius is defined by

$$BMT = \frac{I_{xx}}{\nabla}$$

The transverse moment of inertia of the waterplane (I_{xx}) can be approximated by the expression:

$$I_{xx} = k_r \cdot B^3 \cdot L$$

In which the values of the factor k_r are obtained from the following Table:

	C_{wl}	K_r	C_{wl}	K_r	C_{wl}	K_r
M.Ventura	0.68	0.0411	0.78	0.0529	0.88	0.0662
	0.70	0.0433	0.80	0.0555	0.90	0.0690
	0.72	0.0456	0.82	0.0580	0.92	0.0718
	0.74	0.0480	0.84	0.0607	0.94	0.0746
	0.76	0.0504	0.86	0.0634	0.96	0.07740

$$C_{wl} = 0.885428478$$

$$K_r = 0.06$$

$$\text{Transverse Momen of Inertia} \quad I_{xx} = 3666821.4 \quad \text{m}^4$$

$$\text{Transverse Metacentric Radius} \quad BMT = 11.56 \quad \text{m}$$

6b.

The Longitudinal Metacentric Radius is defined by

$$BML = \frac{I_{yy}}{\nabla}$$

The longitudinal moment of inertia of the waterplane (I_{yy}) can be obtained approximately by the expression:

$$I_{yy} = k_R \cdot B \cdot L^3$$

In which the values of the factor k_R are obtained from the following Table:

	C_{wl}	K_r	C_{wl}	K_r	C_{wl}	K_r
M.Ventura	0.68	0.0332	0.78	0.0450	0.88	0.0588
	0.70	0.0350	0.80	0.0475	0.90	0.0616
	0.72	0.0375	0.82	0.0503	0.92	0.0645
	0.74	0.0400	0.84	0.0532	0.94	0.0675
	0.76	0.0425	0.86	0.0560	0.96	0.0710

$$C_{wl} = 0.885428478$$

$$K_r = 0.0619$$

$$\text{Longitudinal Momen of Inertia} \quad I_{yy} = 121545271.80 \quad \text{m}^4$$

$$\text{Longitudinal Metacentric Radius} \quad BML = 383.23 \quad \text{m}$$

7.

$$KM = B \cdot \left(\frac{0.08}{\sqrt{C_M}} \cdot \frac{B}{T} \cdot C + \frac{0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B}{B/T} \right) \quad \text{Schneekluth}$$

$$\text{Jarak Keel ke Metacentrus} \quad KM = 23.33758904 \quad \text{m}$$

8.

Denny

$$S_w = 1.7 \cdot L_{pp} \cdot T + \frac{\nabla}{T}$$

em que:
 S_w : wetted surface [ft²]
 L_{pp} : length bet. perpendiculars [ft]
 T : draught [ft]
 ∇ : displacement volume [ft³]

$$\text{Wetted Surface Area} \quad S_w = 26491.21617 \quad \text{m}^2$$

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

TONNAGE

9. The Gross Tonnage can be estimated as a function of the Cubic Number ($CN = L_{pp} \times B \times D$), by the following expression:

$$GT = k \cdot CN$$

Type of Ship	K
Tanker, Bulk Carrier	0.26 - 0.30
Product Tanker, Chemical Tanker	0.25 - 0.35
Multi-Purpose	0.25 - 0.40
Fast Container Carrier	0.25 - 0.33

Tonase kotor

$$GT = 152737.2 \text{ ton}$$

LIGHT SHIP WEIGHT (LWT)

- 10a. **Cudina et al (2010)**

(Tankers and Bulk-Carriers)

$$W_H = \left(1 - \frac{f_1}{100}\right) \left\{ 0.0282 [L_{pp} \cdot (B + 0.85D + 0.15T)]^{26} \left\{ 1 + 0.5 \left[(C_s - 0.7) + (1 - C_s) \frac{0.8D - T}{3} \right] \right\} + 450 \right\}$$

f_1 - reduction of the hull weight due to the use of high-tensile steel

Cudina, P.; Zanic, V. and Preberg, P. (2010), "Multiattribute Decision Making Methodology in the Concept Design of Tankers and Bulk-Carriers", 11th Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, PRADS.

Berat Badan Kapal

$$W_H = 64453.12 \text{ ton}$$

- 10b. **Steel (Kupras)**

$$KG_{s1} = 0.01D \left[46.6 + 0.135(0.81 - C_b)(L/D)^2 \right] + 0.008D(L/B - 6.5) \quad L \geq 120 \text{ m}$$

$$KG_{s2} = KG_{s1} + 0.001D \left[1 - (L - 60)/60 \right] \quad L < 120 \text{ m}$$

Ordinate of the Centers of Gravity $KG_{s1} = 13.74 \text{ m}$ (dari keel)

- 10c.

$$LCG_{hull} = -0.15 + LCB$$

Longitudinal Centre of Gravity $LCG_{hull} = 160.13 \text{ m}$ (dari AP)

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

- 11.
- Can be obtained as a function of the hull weight (P_c) and the type of ship:
 - Cargo liners - $W_{sps} = 10 \sim 12 \% P_c$
 - Tankers - $W_{sps} = 6 \sim 8 \% P_c$
 - Bulk carriers - $W_{sps} = 6 \sim 7 \% P_c$

Berat Superstructure W_{sps} = 4511.71853 ton

Oordinate of the Centers of Gravity	KG_{sps}	=	50.55	m (dari keel)
Jarak longi. COG superstructure	LCG_{spsAP}	=	33.05	m (dari AP)
Jarak longi. COG superstructure	LCG_{spsFP}	=	273.17	m (dari FP)

- 12a. From statistical analysis regression (d'Almeida, 2009):

$$W_M = k1 \cdot P_{MCR}^{k2}$$

P_{MCR} : Propulsive power [bhp]

The coefficients $k1$ and $k2$ are characteristic of the type of propulsive plant:

	$k1$	$k2$
Diesel (2 stroke)	2.41	0.62
Diesel (4 stroke)	1.88	0.60
2 x Diesel (2 stroke)	2.35	0.60
Steam Turbine	5.00	0.54

Propulsive Power P_{MCR} = 11832 BHP (asumsi)

Coefficient type of propulsive plant $k1$ = 2.41

Coefficient type of propulsive plant $k2$ = 0.62

Berat Permesinan W_M = 807.8172121 ton

- 12b. Machinery (Watson and Gilfillan)

$$KG_M = h_{DB} + 0.35(D - h_{DB}) \quad \text{in which}$$

h_{DB} - height of double-bottom

For DNV the minimum height is:

$$H_{DB} = 250 + 20 \cdot B + 50 \cdot T \quad [\text{mm}]$$

with:

H_{DB} - height of double-bottom [mm]
 B - breadth, molded [mm]
 T - draught [mm]

Tinggi Double Bottom dari Keel H_{DB} = 2440 mm
 $=$ 2.44 m

Oordinate of the Centers of Gravity KG_M = 12.086 m

Jarak longi. COG permesinan kpl	LCG_{MAP}	=	33	m (dari AP)
Jarak longi. COG permesinan kpl	LCG_{MFP}	=	273.22	m (dari FP)

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

13a.

$$W_E = \left(0.28 - \frac{Lpp}{1620} \right) \cdot Lpp \cdot B \quad (\text{Tankers and Bulk-Carriers})$$

Berat Equipment W_E = 1510.76037 ton

13b.

Equipment (Kupras)

$$KG_E = D + 1.25 \quad p/ \quad L \leq 125 \text{ m}$$

$$KG_E = D + 1.25 + 0.01(L - 125) \quad p/ \quad 125 \leq L < 250 \text{ m}$$

$$KG_E = D + 2.50 \quad p/ \quad L \geq 250 \text{ m}$$

Ordinate of the Centers of Gravity KG_E = 32.5 m

13c.

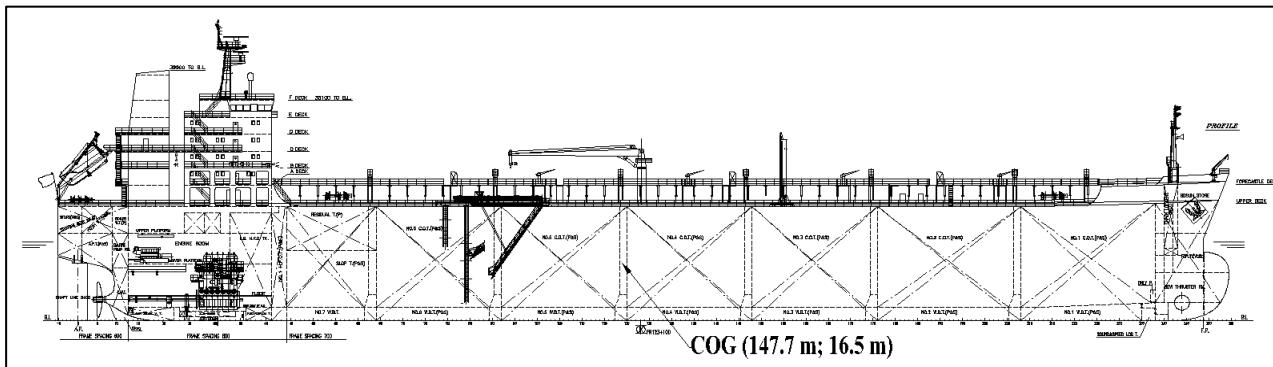
$$LCG_o = (25\% W_o \text{ at } LCG_M, 37.5\% \text{ at } LCG_{dh}, \text{ and } 37.5\% \text{ at amidships})$$

LCG_o = 20.68334099 m

BASIC SHIP CALCULATION - STATISTICAL REGRESSION METHOD

MOMENT

COMPONENT	LCG (-AP)	KG (-keel)	WEIGHT(ton)	MOMENT X	MOMENT Z
Hull Structure	160.13	13.74	64453.12	10321095.27	885803.46
Superstructure	33.05	50.55	4511.72	149112.30	228067.37
Machinery	33.00	12.09	807.82	26657.97	9763.28
Equipment	20.68	32.50	1510.76	31247.57	49099.71
TOTAL	246.87	108.88	71283.42	10528113.11	1172733.82
COG					
x (m)			z (m)		
147.7			16.5		



SHIP FULL LOAD CONDITION CALCULATION

TANK DIMENSION - FULL LOAD CONDITION

Crude Oil Specific Weight **0.915** **ton/m³**

Dimensi Tangki Minyak No. 1 (dari GA)		
Jumlah Tangki	=	2 buah
Luas Alas	=	680.9022 m ²
Tinggi	=	31.6512 m
Faktor Bentuk	=	0.7
Volume	=	15085.96 m ³
Massa Jenis Minyak	=	0.915 ton/m ³
Faktor Kondisi	=	1
Massa	=	13803.65 ton

Dimensi Tangki Minyak No. 2 (dari GA)		
Jumlah Tangki	=	2 buah
Luas Alas	=	995.4678 m ²
Tinggi	=	31.6512 m
Faktor Bentuk	=	0.9
Volume	=	28356.98 m ³
Massa Jenis Minyak	=	0.915 ton/m ³
Faktor Kondisi	=	1
Massa	=	25946.63 ton

Dimensi Tangki Minyak No. 3, 4, 5, dan 6 (dari GA)		
Jumlah Tangki	=	8 buah
Luas Alas	=	886.2386 m ²
Tinggi	=	31.6512 m
Faktor Bentuk	=	1
Volume	=	28050.52 m ³
Massa Jenis Minyak	=	0.915 ton/m ³
Faktor Kondisi	=	1
Massa	=	25666.22 ton

Dimensi Tangki Minyak No. 7 (dari GA)		
Jumlah Tangki	=	2 buah
Luas Alas	=	596.8952 m ²
Tinggi	=	31.6512 m
Faktor Bentuk	=	0.8
Volume	=	15113.96 m ³
Massa Jenis Minyak	=	0.915 ton/m ³
Faktor Kondisi	=	1
Massa	=	13829.27 ton

SHIP FULL LOAD CONDITION CALCULATION

Water Ballast Specific Weight	1.025	ton/m³
--------------------------------------	--------------	--------------------------

Dimensi Tangki Air No. 1 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 2	buah
Luas alas 'bottom'	= 705.1057	m ²
Tinggi 'bottom'	= 3.7236	m
Luas alas 'side'	= 367.8162	m ²
Tinggi 'side'	= 28.8072	m
Faktor Bentuk	= 0.7	
Volume	= 9254.9	m ³
Massa Jenis Air	= 1.025	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 948.6273	ton

Dimensi Tangki Air No. 2 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 2	buah
Luas alas 'bottom'	= 1064.657	m ²
Tinggi 'bottom'	= 3.7236	m
Luas alas 'side'	= 211.1795	m ²
Tinggi 'side'	= 28.8072	m
Faktor Bentuk	= 0.9	
Volume	= 9043.062	m ³
Massa Jenis Air	= 1.025	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 926.9138	ton

Dimensi Tangki Air No. 3, 4, 5, dan 6 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 8	buah
Luas alas 'bottom'	= 955.2949	m ²
Tinggi 'bottom'	= 3.7236	m
Luas alas 'side'	= 101.1817	m ²
Tinggi 'side'	= 28.8072	m
Faktor Bentuk	= 1	
Volume	= 6471.898	m ³
Massa Jenis Air	= 1.025	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 663.3695	ton

Dimensi Tangki Air No. 7 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 1	buah
Luas alas 'bottom'	= 1292.677	m ²
Tinggi 'bottom'	= 3.7236	m
Luas alas 'side'	= 281.8635	m ²
Tinggi 'side'	= 28.8072	m
Faktor bentuk	= 0.8	
Volume	= 10346.49	m ³
Massa Jenis Air	= 1.025	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 1060.515	ton

SHIP FULL LOAD CONDITION CALCULATION

COG CALCULATION

No.	Crude Oil Tank	FULL LOAD						Moment (ton.m)		
		LCG (- AP)	TCG (-CL)	KG (-keel)	Vol. (m ³)	W (ton)	x	y	z	
1	COT (P)	280.96	-12.27	18.13	15085.96	13803.65	3878213.77	-169310.09	250222.97	
1	COT (S)	280.96	12.27	18.13	15085.96	13803.65	3878213.77	169310.09	250222.97	
2	COT (P)	236.39	-12.27	18.13	28356.98	25946.63	6133623.05	-318251.02	470342.39	
2	COT (S)	236.39	12.27	18.13	28356.98	25946.63	6133623.05	318251.02	470342.39	
3	COT (P)	198.73	-12.27	18.13	28050.52	25666.22	5100586.58	-314811.61	465259.29	
3	COT (S)	198.73	12.27	18.13	28050.52	25666.22	5100586.58	314811.61	465259.29	
4	COT (P)	164.63	-12.27	18.13	28050.52	25666.22	4225394.09	-314811.61	465259.29	
4	COT (S)	164.63	12.27	18.13	28050.52	25666.22	4225394.09	314811.61	465259.29	
5	COT (P)	130.53	-12.27	18.13	28050.52	25666.22	3350304.28	-314811.61	465259.29	
5	COT (S)	130.53	12.27	18.13	28050.52	25666.22	3350304.28	314811.61	465259.29	
6	COT (P)	96.42	-12.27	18.13	28050.52	25666.22	2474634.40	-314811.61	465259.29	
6	COT (S)	96.42	12.27	18.13	28050.52	25666.22	2474634.40	314811.61	465259.29	
7	COT (P)	67.92	-12.27	18.13	15113.96	13829.27	939242.73	-169624.33	250687.38	
7	COT (S)	67.92	12.27	18.13	15113.96	13829.27	939242.73	169624.33	250687.38	
				TOT_{COT}	312488.89	52203997.80	0.00	5664579.84		

SHIP FULL LOAD CONDITION CALCULATION

(lanjutan...)

No.	Water Ballast Tank	LCG (- AP)	TCG (-CL)	KG (-keel)	Vol. (m ³)	W (ton)	Moment (ton.m)		
							x	y	z
1	WBT (P)	280.49	-35.70	9.85	9254.90	948.63	266076.11	-33868.53	9346.17
1	WBT (S)	280.49	35.70	9.85	9254.90	948.63	266076.11	33868.53	9346.17
2	WBT (P)	237.89	-35.70	9.85	9043.06	926.91	220507.70	-33093.30	9132.24
2	WBT (S)	237.89	35.70	9.85	9043.06	926.91	220507.70	33093.30	9132.24
3	WBT (P)	200.44	-35.70	9.85	6471.90	663.37	132968.24	-23684.06	6535.72
3	WBT (S)	200.44	35.70	9.85	6471.90	663.37	132968.24	23684.06	6535.72
4	WBT (P)	166.35	-35.70	9.85	6471.90	663.37	110349.92	-23684.06	6535.72
4	WBT (S)	166.35	35.70	9.85	6471.90	663.37	110349.92	23684.06	6535.72
5	WBT (P)	132.24	-35.70	9.85	6471.90	663.37	87724.85	-23684.06	6535.72
5	WBT (S)	132.24	35.70	9.85	6471.90	663.37	87724.85	23684.06	6535.72
6	WBT (P)	97.89	-35.70	9.85	6471.90	663.37	64933.92	-23684.06	6535.72
6	WBT (S)	97.89	35.70	9.85	6471.90	663.37	64933.92	23684.06	6535.72
7	WBT	63.02	0.00	9.85	10346.49	1060.51	66833.65	0.00	10448.52
							TOT_{WBT}	10118.55	1831955.12
							TOTAL_{COT+WBT}	322607.44	54035952.93
							COG*		
							x (m)	y (m)	z (m)
							163.91	0.00	17.61
							DWT_{fullload}	393890.86	ton
							T_{fullload}	20.67	m

SHIP BALLAST CONDITION CALCULATION

TANK DIMENSION - BALLAST CONDITION

Crude Oil Specific Weight	0.915	ton/m³
----------------------------------	--------------	--------------------------

Dimensi Tangki Minyak No. 1 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 2	buaH
Luas Alas	= 680.9022	m ²
Tinggi	= 31.6512	m
Faktor Bentuk	= 0.7	
Volume	= 15085.96	m ³
Massa Jenis Minyak	= 0.915	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 1380.365	ton

Dimensi Tangki Minyak No. 2 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 2	buaH
Luas Alas	= 995.4678	m ²
Tinggi	= 31.6512	m
Faktor Bentuk	= 0.9	
Volume	= 28356.98	m ³
Massa Jenis Minyak	= 0.915	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.5	
Massa	= 12973.32	ton

Dimensi Tangki Minyak No. 3, 4, 5, dan 6 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 8	buaH
Luas Alas	= 886.2386	m ²
Tinggi	= 31.6512	m
Faktor Bentuk	= 1	
Volume	= 28050.52	m ³
Massa Jenis Minyak	= 0.915	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 2566.622	ton

Dimensi Tangki Minyak No. 7 (dari GA)		
Jumlah Tangki	= 2	buaH
Luas Alas	= 596.8952	m ²
Tinggi	= 31.6512	m
Faktor Bentuk	= 0.8	
Volume	= 15113.96	m ³
Massa Jenis Minyak	= 0.915	ton/m ³
Faktor Kondisi	= 0.1	
Massa	= 1382.927	ton

SHIP BALLAST CONDITION CALCULATION

Water Ballast Specific Weight			1.025	ton/m ³							
Dimensi Tangki Air No. 1 (dari GA)			Dimensi Tangki Air No. 2 (dari GA)		Dimensi Tangki Air No. 3, 4, 5, dan 6 (dari GA)						
Jumlah Tangki	=	2	buah	Jumlah Tangki	=	2	buah	Jumlah Tangki	=	8	buah
Luas alas 'bottom'	=	705.1057	m ²	Luas alas 'bottom'	=	1064.657	m ²	Luas alas 'bottom'	=	955.2949	m ²
Tinggi 'bottom'	=	3.7236	m	Tinggi 'bottom'	=	2.6076	m	Tinggi 'bottom'	=	2.6076	m
Luas alas 'side'	=	367.8162	m ²	Luas alas 'side'	=	211.1795	m ²	Luas alas 'side'	=	101.1817	m ²
Tinggi 'side'	=	28.8072	m	Tinggi 'side'	=	28.8072	m	Tinggi 'side'	=	28.8072	m
Faktor Bentuk	=	0.7		Faktor Bentuk	=	0.9		Faktor Bentuk	=	1	
Volume	=	9254.9	m ³	Volume	=	7973.72	m ³	Volume	=	5405.788	m ³
Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³	Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³	Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³
Faktor Kondisi	=	1		Faktor Kondisi	=	1		Faktor Kondisi	=	1	
Massa	=	9486.273	ton	Massa	=	8173.063	ton	Massa	=	5540.933	ton
Dimensi Tangki Air No. 7 (dari GA)											
Jumlah Tangki	=	1	buah	Luas alas 'bottom'	=	1292.677	m ²	Tinggi 'bottom'	=	2.6076	m
Luas alas 'bottom'	=	1292.677	m ²	Luas alas 'side'	=	281.8635	m ²	Luas alas 'side'	=	281.8635	m ²
Tinggi 'bottom'	=	2.6076	m	Tinggi 'side'	=	28.8072	m	Tinggi 'side'	=	28.8072	m
Luas alas 'side'	=	281.8635	m ²	Faktor bentuk	=	0.8		Faktor bentuk	=	0.8	
Tinggi 'side'	=	28.8072	m	Volume	=	9192.386	m ³	Volume	=	9192.386	m ³
Faktor bentuk	=	0.8		Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³	Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³
Volume	=	9192.386	m ³	Faktor Kondisi	=	1		Faktor Kondisi	=	1	
Massa Jenis Air	=	1.025	ton/m ³	Massa	=	9422.195	ton	Massa	=	9422.195	ton

SHIP BALLAST CONDITION CALCULATION

COG CALCULATION

No.	Crude Oil Tank	FULL LOAD						Moment (ton.m)		
		LCG (- AP)	TCG (-CL)	KG (-keel)	Vol. (m ³)	W (ton)	x	y	z	
1	COT (P)	280.96	-12.27	18.13	15085.96	1380.37	387821.38	-16931.01	25022.30	
1	COT (S)	280.96	12.27	18.13	15085.96	1380.37	387821.38	16931.01	25022.30	
2	COT (P)	236.39	-12.27	18.13	28356.98	12973.32	3066811.52	-159125.51	235171.20	
2	COT (S)	236.39	12.27	18.13	28356.98	12973.32	3066811.52	159125.51	235171.20	
3	COT (P)	198.73	-12.27	18.13	28050.52	2566.62	510058.66	-31481.16	46525.93	
3	COT (S)	198.73	12.27	18.13	28050.52	2566.62	510058.66	31481.16	46525.93	
4	COT (P)	164.63	-12.27	18.13	28050.52	2566.62	422539.41	-31481.16	46525.93	
4	COT (S)	164.63	12.27	18.13	28050.52	2566.62	422539.41	31481.16	46525.93	
5	COT (P)	130.53	-12.27	18.13	28050.52	2566.62	335030.43	-31481.16	46525.93	
5	COT (S)	130.53	12.27	18.13	28050.52	2566.62	335030.43	31481.16	46525.93	
6	COT (P)	96.42	-12.27	18.13	28050.52	2566.62	247463.44	-31481.16	46525.93	
6	COT (S)	96.42	12.27	18.13	28050.52	2566.62	247463.44	31481.16	46525.93	
7	COT (P)	67.92	-12.27	18.13	15113.96	1382.93	93924.27	-16962.43	25068.74	
7	COT (S)	67.92	12.27	18.13	15113.96	1382.93	93924.27	16962.43	25068.74	
					TOT_{cot}	52006.19	10127298.22	0.00	942731.90	

SHIP BALLAST CONDITION CALCULATION

(lanjutan...)

No.	Water Ballast Tank	LCG (- AP)	TCG (-CL)	KG (-keel)	Vol. (m ³)	W (ton)	Moment (ton.m)		
							x	y	z
1	WBT (P)	280.49	-35.70	9.85	9254.90	9486.27	2660761.08	-338685.29	93461.70
1	WBT (S)	280.49	35.70	9.85	9254.90	9486.27	2660761.08	338685.29	93461.70
2	WBT (P)	237.89	-35.70	9.85	7973.72	8173.06	1944326.80	-291800.20	80523.55
2	WBT (S)	237.89	35.70	9.85	7973.72	8173.06	1944326.80	291800.20	80523.55
3	WBT (P)	200.44	-35.70	9.85	5405.79	5540.93	1110645.14	-197826.12	54590.99
3	WBT (S)	200.44	35.70	9.85	5405.79	5540.93	1110645.14	197826.12	54590.99
4	WBT (P)	166.35	-35.70	9.85	5405.79	5540.93	921720.93	-197826.12	54590.99
4	WBT (S)	166.35	35.70	9.85	5405.79	5540.93	921720.93	197826.12	54590.99
5	WBT (P)	132.24	-35.70	9.85	5405.79	5540.93	732740.20	-197826.12	54590.99
5	WBT (S)	132.24	35.70	9.85	5405.79	5540.93	732740.20	197826.12	54590.99
6	WBT (P)	97.89	-35.70	9.85	5405.79	5540.93	542374.24	-197826.12	54590.99
6	WBT (S)	97.89	35.70	9.85	5405.79	5540.93	542374.24	197826.12	54590.99
7	WBT	63.02	0.00	9.85	9192.39	9422.20	593786.76	0.00	92830.38
							TOT_{WBT}	89068.33	16418923.55
							TOTAL_{COT+WBT}	141074.53	26546221.77
							COG		
							x (m)	y (m)	z (m)
							174.58	0.00	14.09
							DWT_{ballast}	212357.95	ton
							T_{ballast}	18.323	m

LAMPIRAN B-2

**Tabel RAO Kapal FSO kondisi *Full Load* dan
*Ballast***

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

FULL LOAD CONDITION - TABLE

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 152.0, Y = 0.0, Z = 17.6						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0	0.987	1		0.002	0
0.200	0	0.948	1.006	0.328	0.003	0.001
0.300	0	0.881	1.043	1.883	0.012	0.016
0.400	0.001	0.733	1.198	0.877	0.057	0.013
0.500	0.003	0.614	1.452	0.359	0.243	0.009
0.600	0.002	0.484	0.769	0.183	0.186	0.008
0.700	0.001	0.364	0.3	0.096	0.08	0.006
0.800	0	0.264	0.129	0.05	0.04	0.005
0.900	0	0.187	0.068	0.027	0.024	0.004
0.999	0	0.131	0.036	0.015	0.015	0.004
1.100	0	0.091	0.02	0.012	0.01	0.003
1.199	0	0.064	0.01	0.009	0.006	0.003
1.301	0	0.044	0.008	0.007	0.004	0.003
1.399	0	0.033	0.003	0.005	0.002	0.002
1.500	0	0.026	0.002	0.003	0.001	0.002
1.599	0	0.019	0.001	0.002	0.001	0.001
1.698	0	0.014	0.001	0.001	0.001	0.001
1.800	0	0.005	0	0.003	0	0.001
1.898	0	0.009	0	0.001	0	0.001
2.001	0	0.007	0.001	0.002	0.001	0.001
Draft	= 20.7 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 6.5 meters
Roll Gy Rad.	= 22.8 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 90 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 152.0, Y = 0.0, Z = 17.6						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.69	0.697	0.999	0.044	0.045	0.025
0.200	0.65	0.652	0.978	0.224	0.184	0.095
0.300	0.549	0.541	0.888	1.278	0.412	0.197
0.400	0.365	0.32	0.703	0.278	0.67	0.249
0.500	0.135	0.071	0.337	0.083	0.581	0.223
0.600	0.042	0.125	0.233	0.114	0.094	0.105
0.700	0.066	0.161	0.055	0.053	0.068	0.03
0.800	0.011	0.11	0.05	0.062	0.004	0.029
0.900	0.019	0.053	0.015	0.049	0.014	0.015
0.999	0.011	0.024	0.009	0.013	0.009	0.004
1.100	0.001	0.011	0.01	0.016	0.007	0.009
1.199	0.004	0.022	0.007	0.005	0.006	0.01
1.301	0.003	0.013	0.002	0.008	0.005	0.01
1.399	0.002	0.007	0.003	0.006	0.003	0.006
1.500	0.001	0.011	0.002	0.003	0.001	0.002
1.599	0.001	0.005	0.001	0.003	0.001	0.001
1.698	0	0.001	0	0.001	0	0.003
1.800	0	0.005	0.001	0.001	0.001	0.002
1.898	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003
2.001	0	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
Draft	= 20.7 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 6.5 meters
Roll Gy Rad.	= 22.8 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 135 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 152.0, Y = 0.0, Z = 17.6						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.974	0	0.997	0	0.064	0
0.200	0.895	0	0.949	0	0.256	0
0.300	0.671	0	0.742	0	0.531	0
0.400	0.288	0	0.303	0	0.673	0
0.500	0.059	0	0.385	0	0.27	0
0.600	0.097	0	0.172	0	0.127	0
0.700	0.036	0	0.095	0	0.011	0
0.800	0.006	0	0.035	0	0.013	0
0.900	0.012	0	0.012	0	0.022	0
0.999	0.01	0	0.021	0	0.005	0
1.100	0.006	0	0.016	0	0.007	0
1.199	0.003	0	0.005	0	0.01	0
1.301	0.002	0	0.005	0	0.003	0
1.399	0.001	0	0.004	0	0.002	0
1.500	0.001	0	0.002	0	0.001	0
1.599	0.001	0	0.001	0	0.002	0
1.698	0	0	0.001	0	0.001	0
1.800	0	0	0.001	0	0.001	0
1.898	0	0	0.001	0	0.001	0
2.001	0	0	0	0	0.001	0
Draft	= 20.7 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 6.5 meters
Roll Gy Rad.	= 22.8 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 180 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

BALLAST CONDITION - TABLE

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 150.5, Y = 0.0, Z = 14.1						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0	0.99	1	0.06	0.002	0
0.200	0	0.957	1.005	0.264	0.004	0.001
0.300	0	0.906	1.034	0.767	0.01	0.004
0.400	0	0.814	1.149	2.594	0.044	0.021
0.500	0.002	0.548	1.387	1.779	0.185	0.023
0.600	0.002	0.478	0.895	0.685	0.197	0.013
0.700	0.001	0.372	0.368	0.35	0.09	0.009
0.800	0	0.275	0.161	0.192	0.045	0.006
0.900	0	0.197	0.08	0.11	0.024	0.005
0.999	0	0.14	0.044	0.064	0.016	0.004
1.100	0	0.099	0.023	0.045	0.01	0.004
1.199	0	0.07	0.012	0.027	0.007	0.003
1.301	0	0.05	0.009	0.017	0.003	0.003
1.399	0	0.036	0.003	0.011	0.002	0.002
1.500	0	0.029	0.002	0.008	0.001	0.002
1.599	0	0.022	0.001	0.005	0.001	0.002
1.698	0	0.017	0.002	0.004	0.001	0.001
1.800	0	0.004	0.001	0.01	0.001	0.001
1.898	0	0.01	0.001	0.004	0.001	0.001
2.001	0	0.008	0.001	0.003	0.001	0.001
Draft	= 18.3 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 10.28 meters
Roll Gy Rad.	= 20.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 90 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 150.5, Y = 0.0, Z = 14.1						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.693	0.699	0.999	0.042	0.045	0.025
0.200	0.656	0.659	0.978	0.181	0.184	0.094
0.300	0.56	0.557	0.886	0.462	0.41	0.186
0.400	0.379	0.362	0.684	1.299	0.658	0.259
0.500	0.146	0.08	0.336	0.157	0.618	0.225
0.600	0.04	0.119	0.243	0.267	0.136	0.114
0.700	0.071	0.172	0.083	0.127	0.071	0.032
0.800	0.011	0.122	0.061	0.045	0.008	0.032
0.900	0.022	0.057	0.017	0.069	0.021	0.018
0.999	0.011	0.026	0.013	0.021	0.011	0.003
1.100	0.001	0.013	0.012	0.027	0.01	0.009
1.199	0.005	0.023	0.009	0.011	0.008	0.012
1.301	0.004	0.015	0.003	0.009	0.006	0.011
1.399	0.002	0.008	0.002	0.009	0.004	0.007
1.500	0.001	0.013	0.002	0.005	0.001	0.002
1.599	0.001	0.005	0.001	0.004	0	0.002
1.698	0	0.001	0	0.001	0	0.003
1.800	0	0.005	0	0.002	0.001	0.002
1.898	0	0	0.002	0.003	0.002	0.003
2.001	0	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
Draft	= 18.3 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 10.28 meters
Roll Gy Rad.	= 20.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 135 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body FSO_300K at X = 150.5, Y = 0.0, Z = 14.1						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.978	0	0.997	0	0.064	0
0.200	0.904	0	0.95	0	0.256	0
0.300	0.686	0	0.746	0	0.53	0
0.400	0.305	0	0.309	0	0.67	0
0.500	0.054	0	0.353	0.001	0.299	0
0.600	0.104	0	0.241	0.001	0.124	0
0.700	0.036	0	0.101	0	0.002	0
0.800	0.008	0	0.048	0	0.015	0
0.900	0.015	0	0.015	0	0.029	0
0.999	0.012	0	0.029	0	0.006	0
1.100	0.008	0	0.022	0	0.009	0
1.199	0.004	0	0.007	0	0.014	0
1.301	0.002	0	0.008	0	0.005	0
1.399	0.001	0	0.005	0	0.004	0
1.500	0.001	0	0.004	0	0.001	0
1.599	0.001	0	0.001	0	0.002	0
1.698	0	0	0.001	0	0.001	0
1.800	0	0	0.001	0	0.001	0
1.898	0	0	0.002	0	0.002	0
2.001	0	0	0	0	0.001	0
Draft	= 18.3 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 10.28 meters
Roll Gy Rad.	= 20.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 93.9 m	Yaw Gy. Radius	= 93.9 m
Heading	= 180 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

LAMPIRAN B-3

**Tabel Perhitungan Spektrum JONSWAP
Kapal FSO**

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - SURGE

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - SURGE (180°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ² /(rad/s))]	RAO (m/m)	RAO ² (m ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(m ² /(rad/s))]	S _r (ω)xSM [(m ² /(rad/s))]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [m ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9890	9.8E-01	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9780	9.6E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	1.29E-217	0.9540	9.1E-01	2	1.174E-217	2.347E-217	3.521E-218	5.281E-219	1.188E-220
0.2	2.31E-67	0.9040	8.2E-01	4	1.885E-67	7.540E-67	1.508E-67	3.016E-68	1.206E-69
0.25	1.28E-26	0.8180	6.7E-01	2	8.596E-27	1.719E-26	4.298E-27	1.075E-27	6.716E-29
0.3	3.33E-12	0.6860	4.7E-01	4	1.568E-12	6.272E-12	1.881E-12	5.644E-13	5.080E-14
0.35	3.44E-06	0.5100	2.6E-01	2	8.946E-07	1.789E-06	6.262E-07	2.192E-07	2.685E-08
0.4	2.13E-03	0.3050	9.3E-02	4	1.979E-04	7.915E-04	3.166E-04	1.266E-04	2.026E-05
0.45	5.15E-02	0.1050	1.1E-02	2	5.679E-04	1.136E-03	5.111E-04	2.300E-04	4.657E-05
0.5	2.63E-01	0.0540	2.9E-03	4	7.672E-04	3.069E-03	1.534E-03	7.672E-04	1.918E-04
0.55	6.02E-01	0.1220	1.5E-02	2	8.966E-03	1.793E-02	9.863E-03	5.424E-03	1.641E-03
0.6	8.91E-01	0.1040	1.1E-02	4	9.636E-03	3.855E-02	2.313E-02	1.388E-02	4.996E-03
0.65	1.03E+00	0.0360	1.3E-03	2	1.333E-03	2.666E-03	1.733E-03	1.126E-03	4.759E-04
0.7	1.03E+00	0.0360	1.3E-03	4	1.332E-03	5.328E-03	3.730E-03	2.611E-03	1.279E-03
0.75	9.43E-01	0.0420	1.8E-03	2	1.663E-03	3.325E-03	2.494E-03	1.871E-03	1.052E-03
0.8	8.21E-01	0.0080	6.4E-05	4	5.257E-05	2.103E-04	1.682E-04	1.346E-04	8.612E-05
0.85	6.94E-01	0.0240	5.8E-04	2	4.000E-04	8.000E-04	6.800E-04	5.780E-04	4.176E-04
0.9	5.77E-01	0.0150	2.3E-04	4	1.298E-04	5.194E-04	4.674E-04	4.207E-04	3.408E-04
0.95	4.75E-01	0.0100	1.0E-04	2	4.753E-05	9.506E-05	9.031E-05	8.579E-05	7.743E-05
1	3.90E-01	0.0120	1.4E-04	4	5.616E-05	2.246E-04	2.246E-04	2.246E-04	2.246E-04
1.05	3.20E-01	0.0060	3.6E-05	2	1.151E-05	2.303E-05	2.418E-05	2.539E-05	2.799E-05
1.1	2.63E-01	0.0080	6.4E-05	4	1.681E-05	6.725E-05	7.398E-05	8.138E-05	9.847E-05
1.15	2.16E-01	0.0050	2.5E-05	2	5.412E-06	1.082E-05	1.245E-05	1.431E-05	1.893E-05
1.2	1.79E-01	0.0040	1.6E-05	4	2.865E-06	1.146E-05	1.375E-05	1.650E-05	2.376E-05
1.25	1.49E-01	0.0030	9.0E-06	2	1.339E-06	2.677E-06	3.347E-06	4.184E-06	6.537E-06
1.3	1.24E-01	0.0020	4.0E-06	4	4.966E-07	1.986E-06	2.582E-06	3.357E-06	5.673E-06
1.35	1.04E-01	0.0020	4.0E-06	2	4.164E-07	8.328E-07	1.124E-06	1.518E-06	2.766E-06
1.4	8.77E-02	0.0010	1.0E-06	4	8.771E-08	3.508E-07	4.912E-07	6.876E-07	1.348E-06
1.45	7.42E-02	0.0010	1.0E-06	2	7.424E-08	1.485E-07	2.153E-07	3.122E-07	6.564E-07
1.5	6.31E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.313E-08	2.525E-07	3.788E-07	5.682E-07	1.278E-06
1.55	5.39E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.392E-08	1.078E-07	1.672E-07	2.591E-07	6.225E-07
1.6	4.63E-02	0.0010	1.0E-06	4	4.625E-08	1.850E-07	2.960E-07	4.736E-07	1.212E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	3.98E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.984E-08	7.967E-08	1.315E-07	2.169E-07	5.905E-07
1.7	3.44E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.75	2.99E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.8	2.60E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.85	2.28E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.9	2.00E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.95	1.76E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	1.55E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2.05	1.37E-02	0.0000	0.0E+00	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
					7.48E-02	4.51E-02	2.76E-02	1.10E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00124607 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.00075122 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00046043 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00018398 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 10.4221 \quad s$$

$$T_p = 9.9397 \quad s$$

$$T_z = 10.3364 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.6029 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.6321 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.6079 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.0706 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.0441 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.0897 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.2218 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - SURGE (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9890	9.8E-01	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9780	9.6E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	4.73E-201	0.9540	9.1E-01	2	4.309E-201	8.617E-201	1.293E-201	1.939E-202	4.362E-204
0.2	4.19E-62	0.9040	8.2E-01	4	3.425E-62	1.370E-61	2.740E-62	5.479E-63	2.192E-64
0.25	1.90E-24	0.8180	6.7E-01	2	1.271E-24	2.542E-24	6.354E-25	1.589E-25	9.929E-27
0.3	3.83E-11	0.6860	4.7E-01	4	1.800E-11	7.202E-11	2.161E-11	6.482E-12	5.833E-13
0.35	1.32E-05	0.5100	2.6E-01	2	3.436E-06	6.871E-06	2.405E-06	8.417E-07	1.031E-07
0.4	4.80E-03	0.3050	9.3E-02	4	4.466E-04	1.786E-03	7.145E-04	2.858E-04	4.573E-05
0.45	8.76E-02	0.1050	1.1E-02	2	9.657E-04	1.931E-03	8.691E-04	3.911E-04	7.920E-05
0.5	3.81E-01	0.0540	2.9E-03	4	1.110E-03	4.440E-03	2.220E-03	1.110E-03	2.775E-04
0.55	7.90E-01	0.1220	1.5E-02	2	1.176E-02	2.353E-02	1.294E-02	7.117E-03	2.153E-03
0.6	1.10E+00	0.1040	1.1E-02	4	1.188E-02	4.753E-02	2.852E-02	1.711E-02	6.160E-03
0.65	1.22E+00	0.0360	1.3E-03	2	1.578E-03	3.157E-03	2.052E-03	1.334E-03	5.635E-04
0.7	1.18E+00	0.0360	1.3E-03	4	1.534E-03	6.136E-03	4.295E-03	3.006E-03	1.473E-03
0.75	1.06E+00	0.0420	1.8E-03	2	1.878E-03	3.756E-03	2.817E-03	2.113E-03	1.188E-03
0.8	9.15E-01	0.0080	6.4E-05	4	5.855E-05	2.342E-04	1.874E-04	1.499E-04	9.594E-05
0.85	7.66E-01	0.0240	5.8E-04	2	4.411E-04	8.821E-04	7.498E-04	6.373E-04	4.605E-04
0.9	6.32E-01	0.0150	2.3E-04	4	1.421E-04	5.684E-04	5.116E-04	4.604E-04	3.729E-04
0.95	5.17E-01	0.0100	1.0E-04	2	5.172E-05	1.034E-04	9.827E-05	9.336E-05	8.425E-05
1	4.22E-01	0.0120	1.4E-04	4	6.084E-05	2.434E-04	2.434E-04	2.434E-04	2.434E-04
1.05	3.45E-01	0.0060	3.6E-05	2	1.243E-05	2.486E-05	2.610E-05	2.741E-05	3.022E-05
1.1	2.83E-01	0.0080	6.4E-05	4	1.811E-05	7.242E-05	7.966E-05	8.763E-05	1.060E-04
1.15	2.33E-01	0.0050	2.5E-05	2	5.815E-06	1.163E-05	1.337E-05	1.538E-05	2.034E-05
1.2	1.92E-01	0.0040	1.6E-05	4	3.073E-06	1.229E-05	1.475E-05	1.770E-05	2.549E-05
1.25	1.59E-01	0.0030	9.0E-06	2	1.434E-06	2.868E-06	3.585E-06	4.481E-06	7.002E-06
1.3	1.33E-01	0.0020	4.0E-06	4	5.313E-07	2.125E-06	2.763E-06	3.592E-06	6.070E-06
1.35	1.11E-01	0.0020	4.0E-06	2	4.451E-07	8.902E-07	1.202E-06	1.622E-06	2.957E-06
1.4	9.37E-02	0.0010	1.0E-06	4	9.368E-08	3.747E-07	5.246E-07	7.344E-07	1.439E-06
1.45	7.92E-02	0.0010	1.0E-06	2	7.924E-08	1.585E-07	2.298E-07	3.332E-07	7.006E-07
1.5	6.73E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.735E-08	2.694E-07	4.041E-07	6.061E-07	1.364E-06
1.55	5.75E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.749E-08	1.150E-07	1.782E-07	2.763E-07	6.637E-07
1.6	4.93E-02	0.0010	1.0E-06	4	4.930E-08	1.972E-07	3.155E-07	5.048E-07	1.292E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.24E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.244E-08	8.489E-08	1.401E-07	2.311E-07	6.292E-07	
1.7	3.67E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.75	3.18E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.8	2.77E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.85	2.42E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.9	2.13E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.95	1.87E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
2	1.65E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
2.05	1.46E-02	0.0000	0.0E+00	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
						9.44E-02	5.64E-02	3.42E-02	1.34E-02	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00157386 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.00093938 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00057023 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00022336 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 10.5271 \quad s$$

$$T_p = 10.0392 \quad s$$

$$T_z = 10.4385 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.5969 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.6259 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.6019 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.0793 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.0496 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1008 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.2492 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

**Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - SURGE (180°)**

$$\begin{aligned}
 H_s &= 2.02 \quad \text{m} \\
 T_p &= 9.58 \quad \text{s} \\
 \omega_p &= 0.6556 \quad \text{rad/s} \\
 \varphi &= 6.7408 \\
 \Upsilon &= 1 \\
 \alpha &= 0.0057
 \end{aligned}$$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9890	9.8E-01	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9780	9.6E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	0.9540	9.1E-01	2	5.584E-195	1.117E-194	1.675E-195	2.513E-196	5.653E-198
0.2	3.66E-60	0.9040	8.2E-01	4	2.990E-60	1.196E-59	2.392E-60	4.784E-61	1.914E-62
0.25	1.20E-23	0.8180	6.7E-01	2	8.040E-24	1.608E-23	4.020E-24	1.005E-24	6.281E-26
0.3	9.43E-11	0.6860	4.7E-01	4	4.437E-11	1.775E-10	5.324E-11	1.597E-11	1.438E-12
0.35	2.17E-05	0.5100	2.6E-01	2	5.651E-06	1.130E-05	3.956E-06	1.385E-06	1.696E-07
0.4	6.49E-03	0.3050	9.3E-02	4	6.037E-04	2.415E-03	9.660E-04	3.864E-04	6.182E-05
0.45	1.07E-01	0.1050	1.1E-02	2	1.176E-03	2.352E-03	1.059E-03	4.763E-04	9.646E-05
0.5	4.37E-01	0.0540	2.9E-03	4	1.274E-03	5.094E-03	2.547E-03	1.274E-03	3.184E-04
0.55	8.75E-01	0.1220	1.5E-02	2	1.302E-02	2.604E-02	1.432E-02	7.876E-03	2.383E-03
0.6	1.19E+00	0.1040	1.1E-02	4	1.285E-02	5.142E-02	3.085E-02	1.851E-02	6.664E-03
0.65	1.30E+00	0.0360	1.3E-03	2	1.682E-03	3.364E-03	2.186E-03	1.421E-03	6.004E-04
0.7	1.25E+00	0.0360	1.3E-03	4	1.618E-03	6.472E-03	4.530E-03	3.171E-03	1.554E-03
0.75	1.11E+00	0.0420	1.8E-03	2	1.967E-03	3.934E-03	2.950E-03	2.213E-03	1.245E-03
0.8	9.53E-01	0.0080	6.4E-05	4	6.101E-05	2.440E-04	1.952E-04	1.562E-04	9.996E-05
0.85	7.95E-01	0.0240	5.8E-04	2	4.578E-04	9.157E-04	7.783E-04	6.616E-04	4.780E-04
0.9	6.54E-01	0.0150	2.3E-04	4	1.471E-04	5.884E-04	5.296E-04	4.766E-04	3.860E-04
0.95	5.34E-01	0.0100	1.0E-04	2	5.343E-05	1.069E-04	1.015E-04	9.643E-05	8.703E-05
1	4.36E-01	0.0120	1.4E-04	4	6.274E-05	2.510E-04	2.510E-04	2.510E-04	2.510E-04
1.05	3.56E-01	0.0060	3.6E-05	2	1.280E-05	2.561E-05	2.689E-05	2.823E-05	3.113E-05
1.1	2.91E-01	0.0080	6.4E-05	4	1.863E-05	7.452E-05	8.197E-05	9.017E-05	1.091E-04
1.15	2.39E-01	0.0050	2.5E-05	2	5.979E-06	1.196E-05	1.375E-05	1.581E-05	2.091E-05
1.2	1.97E-01	0.0040	1.6E-05	4	3.157E-06	1.263E-05	1.516E-05	1.819E-05	2.619E-05
1.25	1.64E-01	0.0030	9.0E-06	2	1.473E-06	2.945E-06	3.682E-06	4.602E-06	7.191E-06
1.3	1.36E-01	0.0020	4.0E-06	4	5.454E-07	2.182E-06	2.836E-06	3.687E-06	6.231E-06
1.35	1.14E-01	0.0020	4.0E-06	2	4.567E-07	9.135E-07	1.233E-06	1.665E-06	3.034E-06
1.4	9.61E-02	0.0010	1.0E-06	4	9.610E-08	3.844E-07	5.382E-07	7.534E-07	1.477E-06
1.45	8.13E-02	0.0010	1.0E-06	2	8.127E-08	1.625E-07	2.357E-07	3.418E-07	7.185E-07
1.5	6.91E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.906E-08	2.762E-07	4.143E-07	6.215E-07	1.398E-06
1.55	5.89E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.894E-08	1.179E-07	1.827E-07	2.832E-07	6.805E-07
1.6	5.05E-02	0.0010	1.0E-06	4	5.053E-08	2.021E-07	3.234E-07	5.175E-07	1.325E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.350E-08	8.701E-08	1.436E-07	2.369E-07	6.449E-07	
1.7	3.76E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.75	3.26E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.8	2.84E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.85	2.48E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.9	2.18E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
1.95	1.92E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
2	1.69E-02	0.0000	0.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
2.05	1.50E-02	0.0000	0.0E+00	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	
						1.03E-01	6.14E-02	3.71E-02	1.44E-02	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00172228 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.00102363 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00061895 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00024057 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 10.5716 \quad s$$

$$T_p = 10.0782 \quad s$$

$$T_z = 10.4811 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.5943 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.6234 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5995 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.0830 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.0519 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1054 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.2607 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - SWAY

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - SWAY (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ² /(rad/s))]	RAO (m/m)	RAO ² (m ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(m ² /(rad/s))]	S _r (ω)xSM [(m ² /(rad/s))]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [m ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9900	9.8E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	1.29E-217	0.9760	9.5E-01	2	1.228E-217	2.457E-217	3.685E-218	5.528E-219	1.244E-220
0.2	2.31E-67	0.9570	9.2E-01	4	2.113E-67	8.450E-67	1.690E-67	3.380E-68	1.352E-69
0.25	1.28E-26	0.9330	8.7E-01	2	1.118E-26	2.237E-26	5.592E-27	1.398E-27	8.737E-29
0.3	3.33E-12	0.9060	8.2E-01	4	2.735E-12	1.094E-11	3.282E-12	9.845E-13	8.861E-14
0.35	3.44E-06	0.8830	7.8E-01	2	2.682E-06	5.364E-06	1.877E-06	6.570E-07	8.049E-08
0.4	2.13E-03	0.8140	6.6E-01	4	1.409E-03	5.638E-03	2.255E-03	9.020E-04	1.443E-04
0.45	5.15E-02	0.5890	3.5E-01	2	1.787E-02	3.574E-02	1.608E-02	7.237E-03	1.465E-03
0.5	2.63E-01	0.5480	3.0E-01	4	7.901E-02	3.161E-01	1.580E-01	7.901E-02	1.975E-02
0.55	6.02E-01	0.5250	2.8E-01	2	1.660E-01	3.321E-01	1.826E-01	1.005E-01	3.039E-02
0.6	8.91E-01	0.4780	2.3E-01	4	2.036E-01	8.143E-01	4.886E-01	2.931E-01	1.055E-01
0.65	1.03E+00	0.4250	1.8E-01	2	1.858E-01	3.716E-01	2.415E-01	1.570E-01	6.633E-02
0.7	1.03E+00	0.3720	1.4E-01	4	1.422E-01	5.689E-01	3.982E-01	2.788E-01	1.366E-01
0.75	9.43E-01	0.3210	1.0E-01	2	9.712E-02	1.942E-01	1.457E-01	1.093E-01	6.146E-02
0.8	8.21E-01	0.2750	7.6E-02	4	6.211E-02	2.485E-01	1.988E-01	1.590E-01	1.018E-01
0.85	6.94E-01	0.2330	5.4E-02	2	3.770E-02	7.540E-02	6.409E-02	5.448E-02	3.936E-02
0.9	5.77E-01	0.1970	3.9E-02	4	2.240E-02	8.959E-02	8.063E-02	7.256E-02	5.878E-02
0.95	4.75E-01	0.1660	2.8E-02	2	1.310E-02	2.619E-02	2.488E-02	2.364E-02	2.134E-02
1	3.90E-01	0.1390	1.9E-02	4	7.535E-03	3.014E-02	3.014E-02	3.014E-02	3.014E-02
1.05	3.20E-01	0.1140	1.3E-02	2	4.156E-03	8.313E-03	8.728E-03	9.165E-03	1.010E-02
1.1	2.63E-01	0.0990	9.8E-03	4	2.575E-03	1.030E-02	1.133E-02	1.246E-02	1.508E-02
1.15	2.16E-01	0.0810	6.6E-03	2	1.420E-03	2.840E-03	3.267E-03	3.757E-03	4.968E-03
1.2	1.79E-01	0.0700	4.9E-03	4	8.773E-04	3.509E-03	4.211E-03	5.053E-03	7.277E-03
1.25	1.49E-01	0.0590	3.5E-03	2	5.178E-04	1.036E-03	1.294E-03	1.618E-03	2.528E-03
1.3	1.24E-01	0.0500	2.5E-03	4	3.104E-04	1.241E-03	1.614E-03	2.098E-03	3.546E-03
1.35	1.04E-01	0.0420	1.8E-03	2	1.836E-04	3.673E-04	4.958E-04	6.693E-04	1.220E-03
1.4	8.77E-02	0.0360	1.3E-03	4	1.137E-04	4.547E-04	6.365E-04	8.912E-04	1.747E-03
1.45	7.42E-02	0.0300	9.0E-04	2	6.682E-05	1.336E-04	1.938E-04	2.810E-04	5.907E-04
1.5	6.31E-02	0.0290	8.4E-04	4	5.309E-05	2.124E-04	3.186E-04	4.778E-04	1.075E-03
1.55	5.39E-02	0.0240	5.8E-04	2	3.106E-05	6.212E-05	9.628E-05	1.492E-04	3.585E-04
1.6	4.63E-02	0.0220	4.8E-04	4	2.239E-05	8.954E-05	1.433E-04	2.292E-04	5.868E-04

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	3.98E-02	0.0190	3.6E-04	2	1.438E-05	2.876E-05	4.746E-05	7.830E-05	2.132E-04	
1.7	3.44E-02	0.0170	2.9E-04	4	9.955E-06	3.982E-05	6.769E-05	1.151E-04	3.326E-04	
1.75	2.99E-02	0.0140	2.0E-04	2	5.860E-06	1.172E-05	2.051E-05	3.589E-05	1.099E-04	
1.8	2.60E-02	0.0040	1.6E-05	4	4.168E-07	1.667E-06	3.001E-06	5.401E-06	1.750E-05	
1.85	2.28E-02	0.0130	1.7E-04	2	3.848E-06	7.696E-06	1.424E-05	2.634E-05	9.015E-05	
1.9	2.00E-02	0.0100	1.0E-04	4	1.997E-06	7.989E-06	1.518E-05	2.884E-05	1.041E-04	
1.95	1.76E-02	0.0100	1.0E-04	2	1.757E-06	3.515E-06	6.854E-06	1.336E-05	5.082E-05	
2	1.55E-02	0.0080	6.4E-05	4	9.927E-07	3.971E-06	7.941E-06	1.588E-05	6.353E-05	
2.05	1.37E-02	0.0060	3.6E-05	1	4.943E-07	4.943E-07	1.013E-06	2.077E-06	8.729E-06	
						3.14E+00	2.06E+00	1.40E+00	7.23E-01	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.05228286 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.03440077 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.02337960 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.01205195 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 9.5493 & s \\
 T_p &= 8.7512 & s \\
 T_z &= 9.3960 & s \\
 \omega_0 &= 0.6580 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.7180 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.6687 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 0.4573 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.2858 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 0.5808 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 1.4404 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - SWAY (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9900	9.8E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	4.73E-201	0.9760	9.5E-01	2	4.510E-201	9.019E-201	1.353E-201	2.029E-202	4.566E-204
0.2	4.19E-62	0.9570	9.2E-01	4	3.838E-62	1.535E-61	3.070E-62	6.141E-63	2.456E-64
0.25	1.90E-24	0.9330	8.7E-01	2	1.653E-24	3.307E-24	8.267E-25	2.067E-25	1.292E-26
0.3	3.83E-11	0.9060	8.2E-01	4	3.140E-11	1.256E-10	3.769E-11	1.131E-11	1.017E-12
0.35	1.32E-05	0.8830	7.8E-01	2	1.030E-05	2.060E-05	7.209E-06	2.523E-06	3.091E-07
0.4	4.80E-03	0.8140	6.6E-01	4	3.181E-03	1.272E-02	5.089E-03	2.036E-03	3.257E-04
0.45	8.76E-02	0.5890	3.5E-01	2	3.039E-02	6.077E-02	2.735E-02	1.231E-02	2.492E-03
0.5	3.81E-01	0.5480	3.0E-01	4	1.143E-01	4.572E-01	2.286E-01	1.143E-01	2.858E-02
0.55	7.90E-01	0.5250	2.8E-01	2	2.178E-01	4.357E-01	2.396E-01	1.318E-01	3.987E-02
0.6	1.10E+00	0.4780	2.3E-01	4	2.510E-01	1.004E+00	6.025E-01	3.615E-01	1.301E-01
0.65	1.22E+00	0.4250	1.8E-01	2	2.200E-01	4.399E-01	2.860E-01	1.859E-01	7.853E-02
0.7	1.18E+00	0.3720	1.4E-01	4	1.638E-01	6.551E-01	4.586E-01	3.210E-01	1.573E-01
0.75	1.06E+00	0.3210	1.0E-01	2	1.097E-01	2.194E-01	1.646E-01	1.234E-01	6.942E-02
0.8	9.15E-01	0.2750	7.6E-02	4	6.919E-02	2.768E-01	2.214E-01	1.771E-01	1.134E-01
0.85	7.66E-01	0.2330	5.4E-02	2	4.157E-02	8.314E-02	7.067E-02	6.007E-02	4.340E-02
0.9	6.32E-01	0.1970	3.9E-02	4	2.451E-02	9.804E-02	8.824E-02	7.942E-02	6.433E-02
0.95	5.17E-01	0.1660	2.8E-02	2	1.425E-02	2.850E-02	2.708E-02	2.572E-02	2.322E-02
1	4.22E-01	0.1390	1.9E-02	4	8.163E-03	3.265E-02	3.265E-02	3.265E-02	3.265E-02
1.05	3.45E-01	0.1140	1.3E-02	2	4.488E-03	8.975E-03	9.424E-03	9.895E-03	1.091E-02
1.1	2.83E-01	0.0990	9.8E-03	4	2.773E-03	1.109E-02	1.220E-02	1.342E-02	1.624E-02
1.15	2.33E-01	0.0810	6.6E-03	2	1.526E-03	3.052E-03	3.510E-03	4.036E-03	5.338E-03
1.2	1.92E-01	0.0700	4.9E-03	4	9.411E-04	3.764E-03	4.517E-03	5.421E-03	7.806E-03
1.25	1.59E-01	0.0590	3.5E-03	2	5.546E-04	1.109E-03	1.387E-03	1.733E-03	2.708E-03
1.3	1.33E-01	0.0500	2.5E-03	4	3.321E-04	1.328E-03	1.727E-03	2.245E-03	3.794E-03
1.35	1.11E-01	0.0420	1.8E-03	2	1.963E-04	3.926E-04	5.300E-04	7.155E-04	1.304E-03
1.4	9.37E-02	0.0360	1.3E-03	4	1.214E-04	4.856E-04	6.799E-04	9.518E-04	1.866E-03
1.45	7.92E-02	0.0300	9.0E-04	2	7.132E-05	1.426E-04	2.068E-04	2.999E-04	6.305E-04
1.5	6.73E-02	0.0290	8.4E-04	4	5.664E-05	2.266E-04	3.398E-04	5.097E-04	1.147E-03
1.55	5.75E-02	0.0240	5.8E-04	2	3.312E-05	6.623E-05	1.027E-04	1.591E-04	3.823E-04
1.6	4.93E-02	0.0220	4.8E-04	4	2.386E-05	9.544E-05	1.527E-04	2.443E-04	6.255E-04

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

FSO VLCC									
1.65	4.24E-02	0.0190	3.6E-04	2	1.532E-05	3.064E-05	5.056E-05	8.343E-05	2.271E-04
1.7	3.67E-02	0.0170	2.9E-04	4	1.060E-05	4.242E-05	7.211E-05	1.226E-04	3.543E-04
1.75	3.18E-02	0.0140	2.0E-04	2	6.241E-06	1.248E-05	2.184E-05	3.822E-05	1.171E-04
1.8	2.77E-02	0.0040	1.6E-05	4	4.437E-07	1.775E-06	3.195E-06	5.750E-06	1.863E-05
1.85	2.42E-02	0.0130	1.7E-04	2	4.096E-06	8.192E-06	1.516E-05	2.804E-05	9.596E-05
1.9	2.13E-02	0.0100	1.0E-04	4	2.126E-06	8.502E-06	1.615E-05	3.069E-05	1.108E-04
1.95	1.87E-02	0.0100	1.0E-04	2	1.870E-06	3.740E-06	7.293E-06	1.422E-05	5.408E-05
2	1.65E-02	0.0080	6.4E-05	4	1.056E-06	4.225E-06	8.450E-06	1.690E-05	6.760E-05
2.05	1.46E-02	0.0060	3.6E-05	1	5.259E-07	5.259E-07	1.078E-06	2.210E-06	9.287E-06
					3.83E+00	2.49E+00	1.67E+00	8.37E-01	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.06391616 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.04145475 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.02778659 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.01395678 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 9.6876 \quad s$$

$$T_p = 8.8655 \quad s$$

$$T_z = 9.5294 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.6486 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.7087 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.6593 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.5056 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.3160 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.6422 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 1.5920 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

**Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - SWAY (180°)**

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9900	9.8E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	0.9760	9.5E-01	2	5.844E-195	1.169E-194	1.753E-195	2.630E-196	5.917E-198
0.2	3.66E-60	0.9570	9.2E-01	4	3.351E-60	1.340E-59	2.681E-60	5.362E-61	2.145E-62
0.25	1.20E-23	0.9330	8.7E-01	2	1.046E-23	2.092E-23	5.230E-24	1.307E-24	8.171E-26
0.3	9.43E-11	0.9060	8.2E-01	4	7.739E-11	3.096E-10	9.287E-11	2.786E-11	2.507E-12
0.35	2.17E-05	0.8830	7.8E-01	2	1.694E-05	3.388E-05	1.186E-05	4.151E-06	5.084E-07
0.4	6.49E-03	0.8140	6.6E-01	4	4.300E-03	1.720E-02	6.880E-03	2.752E-03	4.403E-04
0.45	1.07E-01	0.5890	3.5E-01	2	3.701E-02	7.402E-02	3.331E-02	1.499E-02	3.035E-03
0.5	4.37E-01	0.5480	3.0E-01	4	1.312E-01	5.246E-01	2.623E-01	1.312E-01	3.279E-02
0.55	8.75E-01	0.5250	2.8E-01	2	2.411E-01	4.822E-01	2.652E-01	1.459E-01	4.412E-02
0.6	1.19E+00	0.4780	2.3E-01	4	2.716E-01	1.086E+00	6.517E-01	3.910E-01	1.408E-01
0.65	1.30E+00	0.4250	1.8E-01	2	2.344E-01	4.688E-01	3.047E-01	1.981E-01	8.368E-02
0.7	1.25E+00	0.3720	1.4E-01	4	1.728E-01	6.910E-01	4.837E-01	3.386E-01	1.659E-01
0.75	1.11E+00	0.3210	1.0E-01	2	1.149E-01	2.298E-01	1.723E-01	1.292E-01	7.270E-02
0.8	9.53E-01	0.2750	7.6E-02	4	7.209E-02	2.884E-01	2.307E-01	1.846E-01	1.181E-01
0.85	7.95E-01	0.2330	5.4E-02	2	4.315E-02	8.630E-02	7.336E-02	6.235E-02	4.505E-02
0.9	6.54E-01	0.1970	3.9E-02	4	2.537E-02	1.015E-01	9.134E-02	8.221E-02	6.659E-02
0.95	5.34E-01	0.1660	2.8E-02	2	1.472E-02	2.944E-02	2.797E-02	2.657E-02	2.398E-02
1	4.36E-01	0.1390	1.9E-02	4	8.418E-03	3.367E-02	3.367E-02	3.367E-02	3.367E-02
1.05	3.56E-01	0.1140	1.3E-02	2	4.622E-03	9.244E-03	9.706E-03	1.019E-02	1.124E-02
1.1	2.91E-01	0.0990	9.8E-03	4	2.853E-03	1.141E-02	1.255E-02	1.381E-02	1.671E-02
1.15	2.39E-01	0.0810	6.6E-03	2	1.569E-03	3.138E-03	3.609E-03	4.150E-03	5.488E-03
1.2	1.97E-01	0.0700	4.9E-03	4	9.670E-04	3.868E-03	4.641E-03	5.570E-03	8.020E-03
1.25	1.64E-01	0.0590	3.5E-03	2	5.696E-04	1.139E-03	1.424E-03	1.780E-03	2.781E-03
1.3	1.36E-01	0.0500	2.5E-03	4	3.409E-04	1.363E-03	1.773E-03	2.304E-03	3.894E-03
1.35	1.14E-01	0.0420	1.8E-03	2	2.014E-04	4.029E-04	5.438E-04	7.342E-04	1.338E-03
1.4	9.61E-02	0.0360	1.3E-03	4	1.245E-04	4.982E-04	6.975E-04	9.765E-04	1.914E-03
1.45	8.13E-02	0.0300	9.0E-04	2	7.315E-05	1.463E-04	2.121E-04	3.076E-04	6.467E-04
1.5	6.91E-02	0.0290	8.4E-04	4	5.808E-05	2.323E-04	3.485E-04	5.227E-04	1.176E-03
1.55	5.89E-02	0.0240	5.8E-04	2	3.395E-05	6.790E-05	1.053E-04	1.631E-04	3.919E-04
1.6	5.05E-02	0.0220	4.8E-04	4	2.446E-05	9.783E-05	1.565E-04	2.504E-04	6.411E-04

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0190	3.6E-04	2	1.570E-05	3.141E-05	5.183E-05	8.551E-05	2.328E-04	
1.7	3.76E-02	0.0170	2.9E-04	4	1.087E-05	4.347E-05	7.390E-05	1.256E-04	3.631E-04	
1.75	3.26E-02	0.0140	2.0E-04	2	6.395E-06	1.279E-05	2.238E-05	3.917E-05	1.200E-04	
1.8	2.84E-02	0.0040	1.6E-05	4	4.547E-07	1.819E-06	3.273E-06	5.892E-06	1.909E-05	
1.85	2.48E-02	0.0130	1.7E-04	2	4.197E-06	8.394E-06	1.553E-05	2.873E-05	9.832E-05	
1.9	2.18E-02	0.0100	1.0E-04	4	2.178E-06	8.711E-06	1.655E-05	3.145E-05	1.135E-04	
1.95	1.92E-02	0.0100	1.0E-04	2	1.916E-06	3.832E-06	7.472E-06	1.457E-05	5.540E-05	
2	1.69E-02	0.0080	6.4E-05	4	1.082E-06	4.328E-06	8.656E-06	1.731E-05	6.925E-05	
2.05	1.50E-02	0.0060	3.6E-05	1	5.387E-07	5.387E-07	1.104E-06	2.264E-06	9.514E-06	
						4.14E+00	2.67E+00	1.78E+00	8.86E-01	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.06908140 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.04455365 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.02970312 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.01476978 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 9.7422 \quad s$$

$$T_p = 8.9103 \quad s$$

$$T_z = 9.5821 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.6449 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.7052 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.6557 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.5257 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.3285 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.6676 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 1.6549 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - HEAVE

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - HEAVE (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ²)/(rad/s)]	RAO (m/m)	RAO ² (m ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(m ²)/(rad/s)]	S _r (ω)xSM [(m ²)/(rad/s)]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [m ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	1.0010	1.0E+00	2	1.292E-217	2.584E-217	3.876E-218	5.814E-219	1.308E-220
0.2	2.31E-67	1.0050	1.0E+00	4	2.330E-67	9.319E-67	1.864E-67	3.728E-68	1.491E-69
0.25	1.28E-26	1.0140	1.0E+00	2	1.321E-26	2.642E-26	6.605E-27	1.651E-27	1.032E-28
0.3	3.33E-12	1.0340	1.1E+00	4	3.562E-12	1.425E-11	4.275E-12	1.282E-12	1.154E-13
0.35	3.44E-06	1.0740	1.2E+00	2	3.967E-06	7.935E-06	2.777E-06	9.720E-07	1.191E-07
0.4	2.13E-03	1.1490	1.3E+00	4	2.808E-03	1.123E-02	4.493E-03	1.797E-03	2.876E-04
0.45	5.15E-02	1.2760	1.6E+00	2	8.386E-02	1.677E-01	7.548E-02	3.396E-02	6.878E-03
0.5	2.63E-01	1.3870	1.9E+00	4	5.062E-01	2.025E+00	1.012E+00	5.062E-01	1.265E-01
0.55	6.02E-01	1.2430	1.5E+00	2	9.307E-01	1.861E+00	1.024E+00	5.631E-01	1.703E-01
0.6	8.91E-01	0.8950	8.0E-01	4	7.137E-01	2.855E+00	1.713E+00	1.028E+00	3.700E-01
0.65	1.03E+00	0.5780	3.3E-01	2	3.436E-01	6.873E-01	4.467E-01	2.904E-01	1.227E-01
0.7	1.03E+00	0.3680	1.4E-01	4	1.392E-01	5.567E-01	3.897E-01	2.728E-01	1.337E-01
0.75	9.43E-01	0.2410	5.8E-02	2	5.475E-02	1.095E-01	8.212E-02	6.159E-02	3.464E-02
0.8	8.21E-01	0.1610	2.6E-02	4	2.129E-02	8.516E-02	6.813E-02	5.450E-02	3.488E-02
0.85	6.94E-01	0.1180	1.4E-02	2	9.669E-03	1.934E-02	1.644E-02	1.397E-02	1.009E-02
0.9	5.77E-01	0.0800	6.4E-03	4	3.693E-03	1.477E-02	1.330E-02	1.197E-02	9.693E-03
0.95	4.75E-01	0.0590	3.5E-03	2	1.655E-03	3.309E-03	3.144E-03	2.986E-03	2.695E-03
1	3.90E-01	0.0430	1.8E-03	4	7.211E-04	2.884E-03	2.884E-03	2.884E-03	2.884E-03
1.05	3.20E-01	0.0320	1.0E-03	2	3.275E-04	6.550E-04	6.877E-04	7.221E-04	7.961E-04
1.1	2.63E-01	0.0230	5.3E-04	4	1.390E-04	5.559E-04	6.115E-04	6.726E-04	8.139E-04
1.15	2.16E-01	0.0170	2.9E-04	2	6.256E-05	1.251E-04	1.439E-04	1.655E-04	2.188E-04
1.2	1.79E-01	0.0120	1.4E-04	4	2.578E-05	1.031E-04	1.238E-04	1.485E-04	2.139E-04
1.25	1.49E-01	0.0080	6.4E-05	2	9.520E-06	1.904E-05	2.380E-05	2.975E-05	4.648E-05
1.3	1.24E-01	0.0090	8.1E-05	4	1.006E-05	4.022E-05	5.229E-05	6.798E-05	1.149E-04
1.35	1.04E-01	0.0060	3.6E-05	2	3.748E-06	7.495E-06	1.012E-05	1.366E-05	2.490E-05
1.4	8.77E-02	0.0030	9.0E-06	4	7.894E-07	3.157E-06	4.420E-06	6.189E-06	1.213E-05
1.45	7.42E-02	0.0030	9.0E-06	2	6.682E-07	1.336E-06	1.938E-06	2.810E-06	5.907E-06
1.5	6.31E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.525E-07	1.010E-06	1.515E-06	2.273E-06	5.114E-06
1.55	5.39E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.392E-08	1.078E-07	1.672E-07	2.591E-07	6.225E-07
1.6	4.63E-02	0.0010	1.0E-06	4	4.625E-08	1.850E-07	2.960E-07	4.736E-07	1.212E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	3.98E-02	0.0100	1.0E-04	2	3.984E-06	7.967E-06	1.315E-05	2.169E-05	5.905E-05	
1.7	3.44E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.378E-07	5.511E-07	9.369E-07	1.593E-06	4.603E-06	
1.75	2.99E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.990E-08	5.980E-08	1.046E-07	1.831E-07	5.608E-07	
1.8	2.60E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.605E-08	1.042E-07	1.875E-07	3.376E-07	1.094E-06	
1.85	2.28E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.277E-08	4.554E-08	8.425E-08	1.559E-07	5.334E-07	
1.9	2.00E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.997E-08	7.989E-08	1.518E-07	2.884E-07	1.041E-06	
1.95	1.76E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.582E-07	3.163E-07	6.168E-07	1.203E-06	4.574E-06	
2	1.55E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.551E-08	6.204E-08	1.241E-07	2.482E-07	9.927E-07	
2.05	1.37E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.373E-08	1.373E-08	2.815E-08	5.770E-08	2.425E-07	
						8.40E+00	4.85E+00	2.85E+00	1.03E+00	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.14000553 \quad m^2 \\
 m_{r1} &= 0.08088477 \quad m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.04742770 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.01712653 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 10.8757 \quad s \\
 T_p &= 10.4559 \quad s \\
 T_z &= 10.7953 \quad s \\
 \omega_0 &= 0.5777 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.6009 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.5820 \quad \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 0.7483 \quad m \\
 \zeta_{zav} &= 0.4677 \quad m \\
 \zeta_{z1/10} &= 0.9504 \quad m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 2.3488 \quad m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - HEAVE (90°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	4.73E-201	1.0010	1.0E+00	2	4.743E-201	9.487E-201	1.423E-201	2.135E-202	4.803E-204
0.2	4.19E-62	1.0050	1.0E+00	4	4.232E-62	1.693E-61	3.386E-62	6.772E-63	2.709E-64
0.25	1.90E-24	1.0140	1.0E+00	2	1.953E-24	3.906E-24	9.764E-25	2.441E-25	1.526E-26
0.3	3.83E-11	1.0340	1.1E+00	4	4.090E-11	1.636E-10	4.909E-11	1.473E-11	1.325E-12
0.35	1.32E-05	1.0740	1.2E+00	2	1.524E-05	3.047E-05	1.067E-05	3.733E-06	4.573E-07
0.4	4.80E-03	1.1490	1.3E+00	4	6.337E-03	2.535E-02	1.014E-02	4.056E-03	6.490E-04
0.45	8.76E-02	1.2760	1.6E+00	2	1.426E-01	2.852E-01	1.284E-01	5.776E-02	1.170E-02
0.5	3.81E-01	1.3870	1.9E+00	4	7.323E-01	2.929E+00	1.465E+00	7.323E-01	1.831E-01
0.55	7.90E-01	1.2430	1.5E+00	2	1.221E+00	2.442E+00	1.343E+00	7.387E-01	2.235E-01
0.6	1.10E+00	0.8950	8.0E-01	4	8.801E-01	3.520E+00	2.112E+00	1.267E+00	4.562E-01
0.65	1.22E+00	0.5780	3.3E-01	2	4.068E-01	8.137E-01	5.289E-01	3.438E-01	1.452E-01
0.7	1.18E+00	0.3680	1.4E-01	4	1.603E-01	6.411E-01	4.488E-01	3.142E-01	1.539E-01
0.75	1.06E+00	0.2410	5.8E-02	2	6.183E-02	1.237E-01	9.275E-02	6.956E-02	3.913E-02
0.8	9.15E-01	0.1610	2.6E-02	4	2.372E-02	9.486E-02	7.589E-02	6.071E-02	3.886E-02
0.85	7.66E-01	0.1180	1.4E-02	2	1.066E-02	2.132E-02	1.813E-02	1.541E-02	1.113E-02
0.9	6.32E-01	0.0800	6.4E-03	4	4.042E-03	1.617E-02	1.455E-02	1.310E-02	1.061E-02
0.95	5.17E-01	0.0590	3.5E-03	2	1.800E-03	3.601E-03	3.421E-03	3.250E-03	2.933E-03
1	4.22E-01	0.0430	1.8E-03	4	7.812E-04	3.125E-03	3.125E-03	3.125E-03	3.125E-03
1.05	3.45E-01	0.0320	1.0E-03	2	3.536E-04	7.072E-04	7.425E-04	7.797E-04	8.596E-04
1.1	2.83E-01	0.0230	5.3E-04	4	1.496E-04	5.986E-04	6.585E-04	7.243E-04	8.764E-04
1.15	2.33E-01	0.0170	2.9E-04	2	6.722E-05	1.344E-04	1.546E-04	1.778E-04	2.351E-04
1.2	1.92E-01	0.0120	1.4E-04	4	2.766E-05	1.106E-04	1.327E-04	1.593E-04	2.294E-04
1.25	1.59E-01	0.0080	6.4E-05	2	1.020E-05	2.039E-05	2.549E-05	3.187E-05	4.979E-05
1.3	1.33E-01	0.0090	8.1E-05	4	1.076E-05	4.303E-05	5.595E-05	7.273E-05	1.229E-04
1.35	1.11E-01	0.0060	3.6E-05	2	4.006E-06	8.012E-06	1.082E-05	1.460E-05	2.661E-05
1.4	9.37E-02	0.0030	9.0E-06	4	8.431E-07	3.372E-06	4.721E-06	6.610E-06	1.296E-05
1.45	7.92E-02	0.0030	9.0E-06	2	7.132E-07	1.426E-06	2.068E-06	2.999E-06	6.305E-06
1.5	6.73E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.694E-07	1.078E-06	1.616E-06	2.424E-06	5.455E-06
1.55	5.75E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.749E-08	1.150E-07	1.782E-07	2.763E-07	6.637E-07
1.6	4.93E-02	0.0010	1.0E-06	4	4.930E-08	1.972E-07	3.155E-07	5.048E-07	1.292E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.24E-02	0.0100	1.0E-04	2	4.244E-06	8.489E-06	1.401E-05	2.311E-05	6.292E-05	
1.7	3.67E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.468E-07	5.871E-07	9.980E-07	1.697E-06	4.903E-06	
1.75	3.18E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.184E-08	6.368E-08	1.114E-07	1.950E-07	5.972E-07	
1.8	2.77E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.773E-08	1.109E-07	1.997E-07	3.594E-07	1.164E-06	
1.85	2.42E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.424E-08	4.848E-08	8.968E-08	1.659E-07	5.678E-07	
1.9	2.13E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.126E-08	8.502E-08	1.615E-07	3.069E-07	1.108E-06	
1.95	1.87E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.683E-07	3.366E-07	6.564E-07	1.280E-06	4.867E-06	
2	1.65E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.650E-08	6.601E-08	1.320E-07	2.641E-07	1.056E-06	
2.05	1.46E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.461E-08	1.461E-08	2.994E-08	6.139E-08	2.580E-07	
						1.09E+01	6.25E+00	3.63E+00	1.28E+00	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.18202321 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.10409648 \quad m^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.06042083 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.02137649 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 10.9868 \quad s$$

$$T_p = 10.5634 \quad s$$

$$T_z = 10.9056 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.5719 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5948 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5761 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.8533 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.5333 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 1.0837 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 2.6775 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - HEAVE (90°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	1.0010	1.0E+00	2	6.147E-195	1.229E-194	1.844E-195	2.766E-196	6.224E-198
0.2	3.66E-60	1.0050	1.0E+00	4	3.696E-60	1.478E-59	2.957E-60	5.913E-61	2.365E-62
0.25	1.20E-23	1.0140	1.0E+00	2	1.235E-23	2.471E-23	6.177E-24	1.544E-24	9.652E-26
0.3	9.43E-11	1.0340	1.1E+00	4	1.008E-10	4.032E-10	1.210E-10	3.629E-11	3.266E-12
0.35	2.17E-05	1.0740	1.2E+00	2	2.506E-05	5.012E-05	1.754E-05	6.140E-06	7.522E-07
0.4	6.49E-03	1.1490	1.3E+00	4	8.568E-03	3.427E-02	1.371E-02	5.484E-03	8.774E-04
0.45	1.07E-01	1.2760	1.6E+00	2	1.737E-01	3.474E-01	1.563E-01	7.035E-02	1.425E-02
0.5	4.37E-01	1.3870	1.9E+00	4	8.402E-01	3.361E+00	1.680E+00	8.402E-01	2.101E-01
0.55	8.75E-01	1.2430	1.5E+00	2	1.351E+00	2.703E+00	1.487E+00	8.176E-01	2.473E-01
0.6	1.19E+00	0.8950	8.0E-01	4	9.520E-01	3.808E+00	2.285E+00	1.371E+00	4.935E-01
0.65	1.30E+00	0.5780	3.3E-01	2	4.335E-01	8.671E-01	5.636E-01	3.663E-01	1.548E-01
0.7	1.25E+00	0.3680	1.4E-01	4	1.691E-01	6.763E-01	4.734E-01	3.314E-01	1.624E-01
0.75	1.11E+00	0.2410	5.8E-02	2	6.476E-02	1.295E-01	9.714E-02	7.285E-02	4.098E-02
0.8	9.53E-01	0.1610	2.6E-02	4	2.471E-02	9.884E-02	7.907E-02	6.326E-02	4.048E-02
0.85	7.95E-01	0.1180	1.4E-02	2	1.107E-02	2.214E-02	1.881E-02	1.599E-02	1.155E-02
0.9	6.54E-01	0.0800	6.4E-03	4	4.184E-03	1.674E-02	1.506E-02	1.356E-02	1.098E-02
0.95	5.34E-01	0.0590	3.5E-03	2	1.860E-03	3.719E-03	3.533E-03	3.357E-03	3.030E-03
1	4.36E-01	0.0430	1.8E-03	4	8.056E-04	3.223E-03	3.223E-03	3.223E-03	3.223E-03
1.05	3.56E-01	0.0320	1.0E-03	2	3.642E-04	7.284E-04	7.648E-04	8.030E-04	8.854E-04
1.1	2.91E-01	0.0230	5.3E-04	4	1.540E-04	6.159E-04	6.775E-04	7.453E-04	9.018E-04
1.15	2.39E-01	0.0170	2.9E-04	2	6.911E-05	1.382E-04	1.590E-04	1.828E-04	2.418E-04
1.2	1.97E-01	0.0120	1.4E-04	4	2.842E-05	1.137E-04	1.364E-04	1.637E-04	2.357E-04
1.25	1.64E-01	0.0080	6.4E-05	2	1.047E-05	2.094E-05	2.618E-05	3.273E-05	5.113E-05
1.3	1.36E-01	0.0090	8.1E-05	4	1.104E-05	4.418E-05	5.743E-05	7.466E-05	1.262E-04
1.35	1.14E-01	0.0060	3.6E-05	2	4.111E-06	8.221E-06	1.110E-05	1.498E-05	2.731E-05
1.4	9.61E-02	0.0030	9.0E-06	4	8.649E-07	3.460E-06	4.844E-06	6.781E-06	1.329E-05
1.45	8.13E-02	0.0030	9.0E-06	2	7.315E-07	1.463E-06	2.121E-06	3.076E-06	6.467E-06
1.5	6.91E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.762E-07	1.105E-06	1.657E-06	2.486E-06	5.594E-06
1.55	5.89E-02	0.0010	1.0E-06	2	5.894E-08	1.179E-07	1.827E-07	2.832E-07	6.805E-07
1.6	5.05E-02	0.0010	1.0E-06	4	5.053E-08	2.021E-07	3.234E-07	5.175E-07	1.325E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0100	1.0E-04	2	4.350E-06	8.701E-06	1.436E-05	2.369E-05	6.449E-05	
1.7	3.76E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.504E-07	6.016E-07	1.023E-06	1.739E-06	5.025E-06	
1.75	3.26E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.263E-08	6.526E-08	1.142E-07	1.998E-07	6.120E-07	
1.8	2.84E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.842E-08	1.137E-07	2.046E-07	3.683E-07	1.193E-06	
1.85	2.48E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.483E-08	4.967E-08	9.189E-08	1.700E-07	5.818E-07	
1.9	2.18E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.178E-08	8.711E-08	1.655E-07	3.145E-07	1.135E-06	
1.95	1.92E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.724E-07	3.449E-07	6.725E-07	1.311E-06	4.986E-06	
2	1.69E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.691E-08	6.763E-08	1.353E-07	2.705E-07	1.082E-06	
2.05	1.50E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.496E-08	1.496E-08	3.067E-08	6.288E-08	2.643E-07	
						1.21E+01	6.88E+00	3.98E+00	1.40E+00	
						Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$m_{r0} = 0.20121301 \quad m^2$$

$$m_{r1} = 0.11462704 \quad m^2(\text{rad}/\text{s})$$

$$m_{r2} = 0.06627662 \quad m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.02326688 \quad m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.0293 \quad s$$

$$T_p = 10.6045 \quad s$$

$$T_z = 10.9478 \quad s$$

$$\omega_0 = 0.5697 \quad \text{rad}/\text{s}$$

$$\omega_p = 0.5925 \quad \text{rad}/\text{s}$$

$$\omega_z = 0.5739 \quad \text{rad}/\text{s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.8971 \quad m$$

$$\zeta_{zav} = 0.5607 \quad m$$

$$\zeta_{z1/10} = 1.1394 \quad m$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 2.8148 \quad m$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - ROLL

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - ROLL (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ² /(rad/s))]	RAO (deg/m)	RAO ² (deg ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(dg ² /(rad/s))]	S _r (ω)xSM [(dg ² /(rad/s))]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [deg ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0150	2.3E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0600	3.6E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.1400	2.0E-02	2	2.527E-219	5.055E-219	7.582E-220	1.137E-220	2.559E-222
0.2	2.31E-67	0.2640	7.0E-02	4	1.608E-68	6.431E-68	1.286E-68	2.572E-69	1.029E-70
0.25	1.28E-26	0.4540	2.1E-01	2	2.648E-27	5.296E-27	1.324E-27	3.310E-28	2.069E-29
0.3	3.33E-12	0.7670	5.9E-01	4	1.960E-12	7.840E-12	2.352E-12	7.056E-13	6.350E-14
0.35	3.44E-06	1.3960	1.9E+00	2	6.703E-06	1.341E-05	4.692E-06	1.642E-06	2.012E-07
0.4	2.13E-03	2.5940	6.7E+00	4	1.431E-02	5.725E-02	2.290E-02	9.161E-03	1.466E-03
0.45	5.15E-02	2.9330	8.6E+00	2	4.431E-01	8.862E-01	3.988E-01	1.794E-01	3.634E-02
0.5	2.63E-01	1.7790	3.2E+00	4	8.327E-01	3.331E+00	1.665E+00	8.327E-01	2.082E-01
0.55	6.02E-01	1.0400	1.1E+00	2	6.516E-01	1.303E+00	7.167E-01	3.942E-01	1.192E-01
0.6	8.91E-01	0.6850	4.7E-01	4	4.181E-01	1.672E+00	1.003E+00	6.020E-01	2.167E-01
0.65	1.03E+00	0.4820	2.3E-01	2	2.390E-01	4.779E-01	3.107E-01	2.019E-01	8.532E-02
0.7	1.03E+00	0.3500	1.2E-01	4	1.259E-01	5.036E-01	3.525E-01	2.468E-01	1.209E-01
0.75	9.43E-01	0.2580	6.7E-02	2	6.274E-02	1.255E-01	9.411E-02	7.058E-02	3.970E-02
0.8	8.21E-01	0.1920	3.7E-02	4	3.028E-02	1.211E-01	9.689E-02	7.751E-02	4.961E-02
0.85	6.94E-01	0.1460	2.1E-02	2	1.480E-02	2.960E-02	2.516E-02	2.139E-02	1.545E-02
0.9	5.77E-01	0.1100	1.2E-02	4	6.983E-03	2.793E-02	2.514E-02	2.262E-02	1.833E-02
0.95	4.75E-01	0.0840	7.1E-03	2	3.354E-03	6.707E-03	6.372E-03	6.053E-03	5.463E-03
1	3.90E-01	0.0630	4.0E-03	4	1.548E-03	6.191E-03	6.191E-03	6.191E-03	6.191E-03
1.05	3.20E-01	0.0370	1.4E-03	2	4.378E-04	8.756E-04	9.194E-04	9.654E-04	1.064E-03
1.1	2.63E-01	0.0450	2.0E-03	4	5.320E-04	2.128E-03	2.341E-03	2.575E-03	3.116E-03
1.15	2.16E-01	0.0300	9.0E-04	2	1.948E-04	3.896E-04	4.481E-04	5.153E-04	6.815E-04
1.2	1.79E-01	0.0270	7.3E-04	4	1.305E-04	5.221E-04	6.265E-04	7.518E-04	1.083E-03
1.25	1.49E-01	0.0220	4.8E-04	2	7.199E-05	1.440E-04	1.800E-04	2.250E-04	3.515E-04
1.3	1.24E-01	0.0170	2.9E-04	4	3.588E-05	1.435E-04	1.866E-04	2.425E-04	4.099E-04
1.35	1.04E-01	0.0140	2.0E-04	2	2.040E-05	4.081E-05	5.509E-05	7.437E-05	1.355E-04
1.4	8.77E-02	0.0110	1.2E-04	4	1.061E-05	4.245E-05	5.943E-05	8.320E-05	1.631E-04
1.45	7.42E-02	0.0080	6.4E-05	2	4.751E-06	9.503E-06	1.378E-05	1.998E-05	4.201E-05
1.5	6.31E-02	0.0080	6.4E-05	4	4.040E-06	1.616E-05	2.424E-05	3.636E-05	8.182E-05
1.55	5.39E-02	0.0060	3.6E-05	2	1.941E-06	3.882E-06	6.017E-06	9.327E-06	2.241E-05
1.6	4.63E-02	0.0050	2.5E-05	4	1.156E-06	4.625E-06	7.400E-06	1.184E-05	3.031E-05

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	3.98E-02	0.0040	1.6E-05	2	6.374E-07	1.275E-06	2.103E-06	3.470E-06	9.448E-06
1.7	3.44E-02	0.0040	1.6E-05	4	5.511E-07	2.205E-06	3.748E-06	6.371E-06	1.841E-05
1.75	2.99E-02	0.0040	1.6E-05	2	4.784E-07	9.568E-07	1.674E-06	2.930E-06	8.974E-06
1.8	2.60E-02	0.0100	1.0E-04	4	2.605E-06	1.042E-05	1.875E-05	3.376E-05	1.094E-04
1.85	2.28E-02	0.0040	1.6E-05	2	3.643E-07	7.286E-07	1.348E-06	2.494E-06	8.535E-06
1.9	2.00E-02	0.0040	1.6E-05	4	3.196E-07	1.278E-06	2.429E-06	4.614E-06	1.666E-05
1.95	1.76E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.582E-07	3.163E-07	6.168E-07	1.203E-06	4.574E-06
2	1.55E-02	0.0030	9.0E-06	4	1.396E-07	5.584E-07	1.117E-06	2.234E-06	8.934E-06
2.05	1.37E-02	0.0030	9.0E-06	1	1.236E-07	1.236E-07	2.533E-07	5.193E-07	2.182E-06
					8.55E+00	4.73E+00	2.68E+00	9.30E-01	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$m_{r0} = 0.14254300 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.07881881 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.04460246 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.01550490 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.3631 \text{ s}$$

$$T_p = 10.6568 \text{ s}$$

$$T_z = 11.2324 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5529 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5896 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5594 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.7551 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.4719 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.9590 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 2.3676 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - ROLL (90°)

$$\begin{aligned}
 H_s &= 1.98 \quad \text{m} \\
 T_p &= 9.51 \quad \text{s} \\
 \omega_p &= 0.6606 \quad \text{rad/s} \\
 \varphi &= 6.7552 \\
 \Upsilon &= 1 \\
 \alpha &= 0.0056
 \end{aligned}$$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ² /(rad/s))]	RAO (deg/m)	RAO ² (deg ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(dg ² /(rad/s))]	S _r (ω)xSM [(dg ² /(rad/s))]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [deg ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0150	2.3E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0600	3.6E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.1400	2.0E-02	2	9.279E-203	1.856E-202	2.784E-203	4.175E-204	9.395E-206
0.2	4.19E-62	0.2640	7.0E-02	4	2.921E-63	1.168E-62	2.336E-63	4.673E-64	1.869E-65
0.25	1.90E-24	0.4540	2.1E-01	2	3.915E-25	7.830E-25	1.957E-25	4.893E-26	3.058E-27
0.3	3.83E-11	0.7670	5.9E-01	4	2.251E-11	9.003E-11	2.701E-11	8.103E-12	7.292E-13
0.35	1.32E-05	1.3960	1.9E+00	2	2.574E-05	5.148E-05	1.802E-05	6.307E-06	7.726E-07
0.4	4.80E-03	2.5940	6.7E+00	4	3.230E-02	1.292E-01	5.168E-02	2.067E-02	3.308E-03
0.45	8.76E-02	2.9330	8.6E+00	2	7.535E-01	1.507E+00	6.782E-01	3.052E-01	6.180E-02
0.5	3.81E-01	1.7790	3.2E+00	4	1.205E+00	4.819E+00	2.409E+00	1.205E+00	3.012E-01
0.55	7.90E-01	1.0400	1.1E+00	2	8.548E-01	1.710E+00	9.403E-01	5.172E-01	1.564E-01
0.6	1.10E+00	0.6850	4.7E-01	4	5.155E-01	2.062E+00	1.237E+00	7.424E-01	2.673E-01
0.65	1.22E+00	0.4820	2.3E-01	2	2.829E-01	5.658E-01	3.678E-01	2.391E-01	1.010E-01
0.7	1.18E+00	0.3500	1.2E-01	4	1.450E-01	5.799E-01	4.060E-01	2.842E-01	1.392E-01
0.75	1.06E+00	0.2580	6.7E-02	2	7.087E-02	1.417E-01	1.063E-01	7.972E-02	4.484E-02
0.8	9.15E-01	0.1920	3.7E-02	4	3.373E-02	1.349E-01	1.079E-01	8.634E-02	5.526E-02
0.85	7.66E-01	0.1460	2.1E-02	2	1.632E-02	3.264E-02	2.775E-02	2.359E-02	1.704E-02
0.9	6.32E-01	0.1100	1.2E-02	4	7.642E-03	3.057E-02	2.751E-02	2.476E-02	2.006E-02
0.95	5.17E-01	0.0840	7.1E-03	2	3.649E-03	7.299E-03	6.934E-03	6.587E-03	5.945E-03
1	4.22E-01	0.0630	4.0E-03	4	1.677E-03	6.708E-03	6.708E-03	6.708E-03	6.708E-03
1.05	3.45E-01	0.0370	1.4E-03	2	4.727E-04	9.454E-04	9.927E-04	1.042E-03	1.149E-03
1.1	2.83E-01	0.0450	2.0E-03	4	5.729E-04	2.291E-03	2.521E-03	2.773E-03	3.355E-03
1.15	2.33E-01	0.0300	9.0E-04	2	2.093E-04	4.187E-04	4.815E-04	5.537E-04	7.322E-04
1.2	1.92E-01	0.0270	7.3E-04	4	1.400E-04	5.600E-04	6.720E-04	8.065E-04	1.161E-03
1.25	1.59E-01	0.0220	4.8E-04	2	7.712E-05	1.542E-04	1.928E-04	2.410E-04	3.765E-04
1.3	1.33E-01	0.0170	2.9E-04	4	3.839E-05	1.535E-04	1.996E-04	2.595E-04	4.385E-04
1.35	1.11E-01	0.0140	2.0E-04	2	2.181E-05	4.362E-05	5.889E-05	7.950E-05	1.449E-04
1.4	9.37E-02	0.0110	1.2E-04	4	1.133E-05	4.534E-05	6.348E-05	8.887E-05	1.742E-04
1.45	7.92E-02	0.0080	6.4E-05	2	5.072E-06	1.014E-05	1.471E-05	2.133E-05	4.484E-05
1.5	6.73E-02	0.0080	6.4E-05	4	4.310E-06	1.724E-05	2.586E-05	3.879E-05	8.728E-05
1.55	5.75E-02	0.0060	3.6E-05	2	2.070E-06	4.140E-06	6.416E-06	9.945E-06	2.389E-05
1.6	4.93E-02	0.0050	2.5E-05	4	1.232E-06	4.930E-06	7.887E-06	1.262E-05	3.231E-05

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.24E-02	0.0040	1.6E-05	2	6.791E-07	1.358E-06	2.241E-06	3.698E-06	1.007E-05	
1.7	3.67E-02	0.0040	1.6E-05	4	5.871E-07	2.348E-06	3.992E-06	6.786E-06	1.961E-05	
1.75	3.18E-02	0.0040	1.6E-05	2	5.094E-07	1.019E-06	1.783E-06	3.120E-06	9.556E-06	
1.8	2.77E-02	0.0100	1.0E-04	4	2.773E-06	1.109E-05	1.997E-05	3.594E-05	1.164E-04	
1.85	2.42E-02	0.0040	1.6E-05	2	3.878E-07	7.756E-07	1.435E-06	2.655E-06	9.085E-06	
1.9	2.13E-02	0.0040	1.6E-05	4	3.401E-07	1.360E-06	2.585E-06	4.911E-06	1.773E-05	
1.95	1.87E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.683E-07	3.366E-07	6.564E-07	1.280E-06	4.867E-06	
2	1.65E-02	0.0030	9.0E-06	4	1.485E-07	5.941E-07	1.188E-06	2.376E-06	9.506E-06	
2.05	1.46E-02	0.0030	9.0E-06	1	1.315E-07	1.315E-07	2.695E-07	5.525E-07	2.322E-06	
						1.17E+01	6.38E+00	3.55E+00	1.19E+00	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.19551834 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.10631608 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.05911674 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.01979991 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.5550 \text{ s}$$

$$T_p = 10.8568 \text{ s}$$

$$T_z = 11.4266 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5438 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5787 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5499 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.8843 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.5527 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 1.1231 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 2.7716 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - ROLL (90°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0150	2.3E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0600	3.6E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.1400	2.0E-02	2	1.202E-196	2.405E-196	3.607E-197	5.411E-198	1.217E-199
0.2	3.66E-60	0.2640	7.0E-02	4	2.550E-61	1.020E-60	2.040E-61	4.080E-62	1.632E-63
0.25	1.20E-23	0.4540	2.1E-01	2	2.477E-24	4.953E-24	1.238E-24	3.096E-25	1.935E-26
0.3	9.43E-11	0.7670	5.9E-01	4	5.546E-11	2.219E-10	6.656E-11	1.997E-11	1.797E-12
0.35	2.17E-05	1.3960	1.9E+00	2	4.234E-05	8.469E-05	2.964E-05	1.037E-05	1.271E-06
0.4	6.49E-03	2.5940	6.7E+00	4	4.367E-02	1.747E-01	6.987E-02	2.795E-02	4.472E-03
0.45	1.07E-01	2.9330	8.6E+00	2	9.177E-01	1.835E+00	8.260E-01	3.717E-01	7.526E-02
0.5	4.37E-01	1.7790	3.2E+00	4	1.382E+00	5.529E+00	2.765E+00	1.382E+00	3.456E-01
0.55	8.75E-01	1.0400	1.1E+00	2	9.461E-01	1.892E+00	1.041E+00	5.724E-01	1.731E-01
0.6	1.19E+00	0.6850	4.7E-01	4	5.577E-01	2.231E+00	1.338E+00	8.031E-01	2.891E-01
0.65	1.30E+00	0.4820	2.3E-01	2	3.015E-01	6.030E-01	3.919E-01	2.548E-01	1.076E-01
0.7	1.25E+00	0.3500	1.2E-01	4	1.529E-01	6.117E-01	4.282E-01	2.997E-01	1.469E-01
0.75	1.11E+00	0.2580	6.7E-02	2	7.422E-02	1.484E-01	1.113E-01	8.349E-02	4.696E-02
0.8	9.53E-01	0.1920	3.7E-02	4	3.514E-02	1.406E-01	1.125E-01	8.996E-02	5.758E-02
0.85	7.95E-01	0.1460	2.1E-02	2	1.694E-02	3.389E-02	2.880E-02	2.448E-02	1.769E-02
0.9	6.54E-01	0.1100	1.2E-02	4	7.911E-03	3.164E-02	2.848E-02	2.563E-02	2.076E-02
0.95	5.34E-01	0.0840	7.1E-03	2	3.770E-03	7.539E-03	7.162E-03	6.804E-03	6.141E-03
1	4.36E-01	0.0630	4.0E-03	4	1.729E-03	6.917E-03	6.917E-03	6.917E-03	6.917E-03
1.05	3.56E-01	0.0370	1.4E-03	2	4.869E-04	9.738E-04	1.022E-03	1.074E-03	1.184E-03
1.1	2.91E-01	0.0450	2.0E-03	4	5.895E-04	2.358E-03	2.594E-03	2.853E-03	3.452E-03
1.15	2.39E-01	0.0300	9.0E-04	2	2.152E-04	4.305E-04	4.950E-04	5.693E-04	7.529E-04
1.2	1.97E-01	0.0270	7.3E-04	4	1.439E-04	5.754E-04	6.905E-04	8.286E-04	1.193E-03
1.25	1.64E-01	0.0220	4.8E-04	2	7.919E-05	1.584E-04	1.980E-04	2.475E-04	3.867E-04
1.3	1.36E-01	0.0170	2.9E-04	4	3.940E-05	1.576E-04	2.049E-04	2.664E-04	4.502E-04
1.35	1.14E-01	0.0140	2.0E-04	2	2.238E-05	4.476E-05	6.043E-05	8.158E-05	1.487E-04
1.4	9.61E-02	0.0110	1.2E-04	4	1.163E-05	4.651E-05	6.512E-05	9.117E-05	1.787E-04
1.45	8.13E-02	0.0080	6.4E-05	2	5.202E-06	1.040E-05	1.508E-05	2.187E-05	4.599E-05
1.5	6.91E-02	0.0080	6.4E-05	4	4.420E-06	1.768E-05	2.652E-05	3.978E-05	8.950E-05
1.55	5.89E-02	0.0060	3.6E-05	2	2.122E-06	4.244E-06	6.578E-06	1.020E-05	2.450E-05
1.6	5.05E-02	0.0050	2.5E-05	4	1.263E-06	5.053E-06	8.085E-06	1.294E-05	3.312E-05

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0040	1.6E-05	2	6.961E-07	1.392E-06	2.297E-06	3.790E-06	1.032E-05	
1.7	3.76E-02	0.0040	1.6E-05	4	6.016E-07	2.407E-06	4.091E-06	6.955E-06	2.010E-05	
1.75	3.26E-02	0.0040	1.6E-05	2	5.221E-07	1.044E-06	1.827E-06	3.198E-06	9.793E-06	
1.8	2.84E-02	0.0100	1.0E-04	4	2.842E-06	1.137E-05	2.046E-05	3.683E-05	1.193E-04	
1.85	2.48E-02	0.0040	1.6E-05	2	3.974E-07	7.947E-07	1.470E-06	2.720E-06	9.309E-06	
1.9	2.18E-02	0.0040	1.6E-05	4	3.484E-07	1.394E-06	2.648E-06	5.032E-06	1.816E-05	
1.95	1.92E-02	0.0030	9.0E-06	2	1.724E-07	3.449E-07	6.725E-07	1.311E-06	4.986E-06	
2	1.69E-02	0.0030	9.0E-06	4	1.522E-07	6.086E-07	1.217E-06	2.435E-06	9.738E-06	
2.05	1.50E-02	0.0030	9.0E-06	1	1.347E-07	1.347E-07	2.761E-07	5.659E-07	2.378E-06	
						1.33E+01	7.16E+00	3.96E+00	1.31E+00	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.22084438 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.11933682 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.06592149 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.02177080 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.6276 \text{ s}$$

$$T_p = 10.9334 \text{ s}$$

$$T_z = 11.5003 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5404 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5747 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5463 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.9399 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.5874 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 1.1936 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 2.9452 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - PITCH

Calculation for H significant 1.89 m (10 year period) - PITCH (180°)					$H_s = 1.89 \text{ m}$ $T_p = 9.33 \text{ s}$ $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$ $\varphi = 6.7923$ $\Upsilon = 1$ $\alpha = 0.0052$				
①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0160	2.6E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0640	4.1E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.1450	2.1E-02	2	2.711E-219	5.422E-219	8.133E-220	1.220E-220	2.745E-222
0.2	2.31E-67	0.2560	6.6E-02	4	1.512E-68	6.047E-68	1.209E-68	2.419E-69	9.675E-71
0.25	1.28E-26	0.3910	1.5E-01	2	1.964E-27	3.928E-27	9.820E-28	2.455E-28	1.534E-29
0.3	3.33E-12	0.5300	2.8E-01	4	9.359E-13	3.743E-12	1.123E-12	3.369E-13	3.032E-14
0.35	3.44E-06	0.6400	4.1E-01	2	1.409E-06	2.818E-06	9.862E-07	3.452E-07	4.228E-08
0.4	2.13E-03	0.6700	4.5E-01	4	9.549E-04	3.820E-03	1.528E-03	6.111E-04	9.778E-05
0.45	5.15E-02	0.5590	3.1E-01	2	1.609E-02	3.219E-02	1.449E-02	6.518E-03	1.320E-03
0.5	2.63E-01	0.2990	8.9E-02	4	2.352E-02	9.409E-02	4.705E-02	2.352E-02	5.881E-03
0.55	6.02E-01	0.0820	6.7E-03	2	4.051E-03	8.101E-03	4.456E-03	2.451E-03	7.413E-04
0.6	8.91E-01	0.1240	1.5E-02	4	1.370E-02	5.480E-02	3.288E-02	1.973E-02	7.102E-03
0.65	1.03E+00	0.0880	7.7E-03	2	7.966E-03	1.593E-02	1.036E-02	6.731E-03	2.844E-03
0.7	1.03E+00	0.0020	4.0E-06	4	4.111E-06	1.644E-05	1.151E-05	8.058E-06	3.948E-06
0.75	9.43E-01	0.0330	1.1E-03	2	1.026E-03	2.053E-03	1.540E-03	1.155E-03	6.496E-04
0.8	8.21E-01	0.0150	2.3E-04	4	1.848E-04	7.392E-04	5.914E-04	4.731E-04	3.028E-04
0.85	6.94E-01	0.0230	5.3E-04	2	3.673E-04	7.347E-04	6.245E-04	5.308E-04	3.835E-04
0.9	5.77E-01	0.0290	8.4E-04	4	4.853E-04	1.941E-03	1.747E-03	1.572E-03	1.274E-03
0.95	4.75E-01	0.0190	3.6E-04	2	1.716E-04	3.432E-04	3.260E-04	3.097E-04	2.795E-04
1	3.90E-01	0.0060	3.6E-05	4	1.404E-05	5.616E-05	5.616E-05	5.616E-05	5.616E-05
1.05	3.20E-01	0.0110	1.2E-04	2	3.870E-05	7.739E-05	8.126E-05	8.533E-05	9.407E-05
1.1	2.63E-01	0.0090	8.1E-05	4	2.128E-05	8.512E-05	9.363E-05	1.030E-04	1.246E-04
1.15	2.16E-01	0.0080	6.4E-05	2	1.385E-05	2.771E-05	3.186E-05	3.664E-05	4.846E-05
1.2	1.79E-01	0.0140	2.0E-04	4	3.509E-05	1.404E-04	1.684E-04	2.021E-04	2.911E-04
1.25	1.49E-01	0.0070	4.9E-05	2	7.289E-06	1.458E-05	1.822E-05	2.278E-05	3.559E-05
1.3	1.24E-01	0.0050	2.5E-05	4	3.104E-06	1.241E-05	1.614E-05	2.098E-05	3.546E-05
1.35	1.04E-01	0.0010	1.0E-06	2	1.041E-07	2.082E-07	2.811E-07	3.794E-07	6.915E-07
1.4	8.77E-02	0.0040	1.6E-05	4	1.403E-06	5.613E-06	7.859E-06	1.100E-05	2.156E-05
1.45	7.42E-02	0.0030	9.0E-06	2	6.682E-07	1.336E-06	1.938E-06	2.810E-06	5.907E-06
1.5	6.31E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.313E-08	2.525E-07	3.788E-07	5.682E-07	1.278E-06
1.55	5.39E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.6	4.63E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.850E-07	7.400E-07	1.184E-06	1.894E-06	4.850E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	3.98E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.984E-08	7.967E-08	1.315E-07	2.169E-07	5.905E-07
1.7	3.44E-02	0.0010	1.0E-06	4	3.445E-08	1.378E-07	2.342E-07	3.982E-07	1.151E-06
1.75	2.99E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.990E-08	5.980E-08	1.046E-07	1.831E-07	5.608E-07
1.8	2.60E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.605E-08	1.042E-07	1.875E-07	3.376E-07	1.094E-06
1.85	2.28E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.277E-08	4.554E-08	8.425E-08	1.559E-07	5.334E-07
1.9	2.00E-02	0.0020	4.0E-06	4	7.989E-08	3.196E-07	6.072E-07	1.154E-06	4.164E-06
1.95	1.76E-02	0.0010	1.0E-06	2	1.757E-08	3.515E-08	6.854E-08	1.336E-07	5.082E-07
2	1.55E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.551E-08	6.204E-08	1.241E-07	2.482E-07	9.927E-07
2.05	1.37E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.373E-08	1.373E-08	2.815E-08	5.770E-08	2.425E-07
					2.15E-01	1.16E-01	6.42E-02	2.16E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00358639 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00193447 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00106928 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00036013 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.6486 \quad \text{s}$$

$$T_p = 10.8267 \quad \text{s}$$

$$T_z = 11.5070 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 0.5394 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5803 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5460 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1198 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0749 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1521 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.3753 \quad \text{deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - PITCH (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0160	2.6E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0640	4.1E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.1450	2.1E-02	2	9.953E-203	1.991E-202	2.986E-203	4.479E-204	1.008E-205
0.2	4.19E-62	0.2560	6.6E-02	4	2.746E-63	1.099E-62	2.197E-63	4.394E-64	1.758E-65
0.25	1.90E-24	0.3910	1.5E-01	2	2.904E-25	5.807E-25	1.452E-25	3.630E-26	2.269E-27
0.3	3.83E-11	0.5300	2.8E-01	4	1.075E-11	4.299E-11	1.290E-11	3.869E-12	3.482E-13
0.35	1.32E-05	0.6400	4.1E-01	2	5.410E-06	1.082E-05	3.787E-06	1.326E-06	1.624E-07
0.4	4.80E-03	0.6700	4.5E-01	4	2.155E-03	8.619E-03	3.448E-03	1.379E-03	2.207E-04
0.45	8.76E-02	0.5590	3.1E-01	2	2.737E-02	5.474E-02	2.463E-02	1.109E-02	2.245E-03
0.5	3.81E-01	0.2990	8.9E-02	4	3.403E-02	1.361E-01	6.806E-02	3.403E-02	8.508E-03
0.55	7.90E-01	0.0820	6.7E-03	2	5.314E-03	1.063E-02	5.845E-03	3.215E-03	9.725E-04
0.6	1.10E+00	0.1240	1.5E-02	4	1.689E-02	6.757E-02	4.054E-02	2.433E-02	8.758E-03
0.65	1.22E+00	0.0880	7.7E-03	2	9.431E-03	1.886E-02	1.226E-02	7.969E-03	3.367E-03
0.7	1.18E+00	0.0020	4.0E-06	4	4.734E-06	1.894E-05	1.326E-05	9.279E-06	4.547E-06
0.75	1.06E+00	0.0330	1.1E-03	2	1.159E-03	2.319E-03	1.739E-03	1.304E-03	7.337E-04
0.8	9.15E-01	0.0150	2.3E-04	4	2.059E-04	8.234E-04	6.587E-04	5.270E-04	3.373E-04
0.85	7.66E-01	0.0230	5.3E-04	2	4.051E-04	8.101E-04	6.886E-04	5.853E-04	4.229E-04
0.9	6.32E-01	0.0290	8.4E-04	4	5.312E-04	2.125E-03	1.912E-03	1.721E-03	1.394E-03
0.95	5.17E-01	0.0190	3.6E-04	2	1.867E-04	3.734E-04	3.548E-04	3.370E-04	3.042E-04
1	4.22E-01	0.0060	3.6E-05	4	1.521E-05	6.084E-05	6.084E-05	6.084E-05	6.084E-05
1.05	3.45E-01	0.0110	1.2E-04	2	4.178E-05	8.356E-05	8.774E-05	9.213E-05	1.016E-04
1.1	2.83E-01	0.0090	8.1E-05	4	2.291E-05	9.166E-05	1.008E-04	1.109E-04	1.342E-04
1.15	2.33E-01	0.0080	6.4E-05	2	1.489E-05	2.977E-05	3.424E-05	3.937E-05	5.207E-05
1.2	1.92E-01	0.0140	2.0E-04	4	3.764E-05	1.506E-04	1.807E-04	2.168E-04	3.122E-04
1.25	1.59E-01	0.0070	4.9E-05	2	7.807E-06	1.561E-05	1.952E-05	2.440E-05	3.812E-05
1.3	1.33E-01	0.0050	2.5E-05	4	3.321E-06	1.328E-05	1.727E-05	2.245E-05	3.794E-05
1.35	1.11E-01	0.0010	1.0E-06	2	1.113E-07	2.225E-07	3.004E-07	4.056E-07	7.392E-07
1.4	9.37E-02	0.0040	1.6E-05	4	1.499E-06	5.995E-06	8.394E-06	1.175E-05	2.303E-05
1.45	7.92E-02	0.0030	9.0E-06	2	7.132E-07	1.426E-06	2.068E-06	2.999E-06	6.305E-06
1.5	6.73E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.735E-08	2.694E-07	4.041E-07	6.061E-07	1.364E-06
1.55	5.75E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.6	4.93E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.972E-07	7.887E-07	1.262E-06	2.019E-06	5.169E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.24E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.244E-08	8.489E-08	1.401E-07	2.311E-07	6.292E-07
1.7	3.67E-02	0.0010	1.0E-06	4	3.669E-08	1.468E-07	2.495E-07	4.242E-07	1.226E-06
1.75	3.18E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.184E-08	6.368E-08	1.114E-07	1.950E-07	5.972E-07
1.8	2.77E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.773E-08	1.109E-07	1.997E-07	3.594E-07	1.164E-06
1.85	2.42E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.424E-08	4.848E-08	8.968E-08	1.659E-07	5.678E-07
1.9	2.13E-02	0.0020	4.0E-06	4	8.502E-08	3.401E-07	6.462E-07	1.228E-06	4.432E-06
1.95	1.87E-02	0.0010	1.0E-06	2	1.870E-08	3.740E-08	7.293E-08	1.422E-07	5.408E-07
2	1.65E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.650E-08	6.601E-08	1.320E-07	2.641E-07	1.056E-06
2.05	1.46E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.461E-08	1.461E-08	2.994E-08	6.139E-08	2.580E-07
					3.03E-01	1.61E-01	8.71E-02	2.81E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00505801 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00267796 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00145130 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00046751 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.8674 \text{ s}$$

$$T_p = 11.0704 \text{ s}$$

$$T_z = 11.7298 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5294 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5676 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5357 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1422 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0889 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1806 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.4455 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - PITCH (180°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0160	2.6E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0640	4.1E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.1450	2.1E-02	2	1.290E-196	2.580E-196	3.870E-197	5.804E-198	1.306E-199
0.2	3.66E-60	0.2560	6.6E-02	4	2.398E-61	9.592E-61	1.918E-61	3.837E-62	1.535E-63
0.25	1.20E-23	0.3910	1.5E-01	2	1.837E-24	3.674E-24	9.185E-25	2.296E-25	1.435E-26
0.3	9.43E-11	0.5300	2.8E-01	4	2.648E-11	1.059E-10	3.178E-11	9.534E-12	8.581E-13
0.35	2.17E-05	0.6400	4.1E-01	2	8.900E-06	1.780E-05	6.230E-06	2.180E-06	2.671E-07
0.4	6.49E-03	0.6700	4.5E-01	4	2.913E-03	1.165E-02	4.661E-03	1.865E-03	2.983E-04
0.45	1.07E-01	0.5590	3.1E-01	2	3.334E-02	6.667E-02	3.000E-02	1.350E-02	2.734E-03
0.5	4.37E-01	0.2990	8.9E-02	4	3.905E-02	1.562E-01	7.809E-02	3.905E-02	9.762E-03
0.55	8.75E-01	0.0820	6.7E-03	2	5.881E-03	1.176E-02	6.469E-03	3.558E-03	1.076E-03
0.6	1.19E+00	0.1240	1.5E-02	4	1.827E-02	7.310E-02	4.386E-02	2.632E-02	9.474E-03
0.65	1.30E+00	0.0880	7.7E-03	2	1.005E-02	2.010E-02	1.306E-02	8.492E-03	3.588E-03
0.7	1.25E+00	0.0020	4.0E-06	4	4.994E-06	1.997E-05	1.398E-05	9.787E-06	4.796E-06
0.75	1.11E+00	0.0330	1.1E-03	2	1.214E-03	2.428E-03	1.821E-03	1.366E-03	7.683E-04
0.8	9.53E-01	0.0150	2.3E-04	4	2.145E-04	8.579E-04	6.864E-04	5.491E-04	3.514E-04
0.85	7.95E-01	0.0230	5.3E-04	2	4.205E-04	8.410E-04	7.148E-04	6.076E-04	4.390E-04
0.9	6.54E-01	0.0290	8.4E-04	4	5.498E-04	2.199E-03	1.979E-03	1.781E-03	1.443E-03
0.95	5.34E-01	0.0190	3.6E-04	2	1.929E-04	3.857E-04	3.664E-04	3.481E-04	3.142E-04
1	4.36E-01	0.0060	3.6E-05	4	1.569E-05	6.274E-05	6.274E-05	6.274E-05	6.274E-05
1.05	3.56E-01	0.0110	1.2E-04	2	4.303E-05	8.607E-05	9.037E-05	9.489E-05	1.046E-04
1.1	2.91E-01	0.0090	8.1E-05	4	2.358E-05	9.431E-05	1.037E-04	1.141E-04	1.381E-04
1.15	2.39E-01	0.0080	6.4E-05	2	1.530E-05	3.061E-05	3.520E-05	4.048E-05	5.354E-05
1.2	1.97E-01	0.0140	2.0E-04	4	3.868E-05	1.547E-04	1.857E-04	2.228E-04	3.208E-04
1.25	1.64E-01	0.0070	4.9E-05	2	8.018E-06	1.604E-05	2.004E-05	2.506E-05	3.915E-05
1.3	1.36E-01	0.0050	2.5E-05	4	3.409E-06	1.363E-05	1.773E-05	2.304E-05	3.894E-05
1.35	1.14E-01	0.0010	1.0E-06	2	1.142E-07	2.284E-07	3.083E-07	4.162E-07	7.585E-07
1.4	9.61E-02	0.0040	1.6E-05	4	1.538E-06	6.151E-06	8.611E-06	1.206E-05	2.363E-05
1.45	8.13E-02	0.0030	9.0E-06	2	7.315E-07	1.463E-06	2.121E-06	3.076E-06	6.467E-06
1.5	6.91E-02	0.0010	1.0E-06	4	6.906E-08	2.762E-07	4.143E-07	6.215E-07	1.398E-06
1.55	5.89E-02	0.0000	0.0E+00	2	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
1.6	5.05E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.021E-07	8.085E-07	1.294E-06	2.070E-06	5.299E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.350E-08	8.701E-08	1.436E-07	2.369E-07	6.449E-07	
1.7	3.76E-02	0.0010	1.0E-06	4	3.760E-08	1.504E-07	2.557E-07	4.347E-07	1.256E-06	
1.75	3.26E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.263E-08	6.526E-08	1.142E-07	1.998E-07	6.120E-07	
1.8	2.84E-02	0.0010	1.0E-06	4	2.842E-08	1.137E-07	2.046E-07	3.683E-07	1.193E-06	
1.85	2.48E-02	0.0010	1.0E-06	2	2.483E-08	4.967E-08	9.189E-08	1.700E-07	5.818E-07	
1.9	2.18E-02	0.0020	4.0E-06	4	8.711E-08	3.484E-07	6.620E-07	1.258E-06	4.541E-06	
1.95	1.92E-02	0.0010	1.0E-06	2	1.916E-08	3.832E-08	7.472E-08	1.457E-07	5.540E-07	
2	1.69E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.691E-08	6.763E-08	1.353E-07	2.705E-07	1.082E-06	
2.05	1.50E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.496E-08	1.496E-08	3.067E-08	6.288E-08	2.643E-07	
						3.47E-01	1.82E-01	9.80E-02	3.11E-02	
						$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00577819 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00303781 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00163411 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00051765 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.9512 \quad \text{s}$$

$$T_p = 11.1636 \quad \text{s}$$

$$T_z = 11.8150 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 0.5257 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5628 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5318 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1520 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0950 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1931 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.4761 \quad \text{deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - [YAW](#)

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - YAW (135°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.006	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.025	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.054	2.9E-03	2	3.760E-220	7.520E-220	1.128E-220	1.692E-221	3.807E-223
0.2	2.31E-67	0.094	8.8E-03	4	2.038E-69	8.153E-69	1.631E-69	3.261E-70	1.304E-71
0.25	1.28E-26	0.139	1.9E-02	2	2.482E-28	4.964E-28	1.241E-28	3.103E-29	1.939E-30
0.3	3.33E-12	0.186	3.5E-02	4	1.153E-13	4.611E-13	1.383E-13	4.149E-14	3.735E-15
0.35	3.44E-06	0.227	5.2E-02	2	1.772E-07	3.545E-07	1.241E-07	4.342E-08	5.319E-09
0.4	2.13E-03	0.259	6.7E-02	4	1.427E-04	5.708E-04	2.283E-04	9.132E-05	1.461E-05
0.45	5.15E-02	0.254	6.5E-02	2	3.323E-03	6.646E-03	2.991E-03	1.346E-03	2.725E-04
0.5	2.63E-01	0.225	5.1E-02	4	1.332E-02	5.328E-02	2.664E-02	1.332E-02	3.330E-03
0.55	6.02E-01	0.176	3.1E-02	2	1.866E-02	3.732E-02	2.053E-02	1.129E-02	3.415E-03
0.6	8.91E-01	0.114	1.3E-02	4	1.158E-02	4.632E-02	2.779E-02	1.667E-02	6.002E-03
0.65	1.03E+00	0.057	3.2E-03	2	3.342E-03	6.684E-03	4.345E-03	2.824E-03	1.193E-03
0.7	1.03E+00	0.032	1.0E-03	4	1.052E-03	4.210E-03	2.947E-03	2.063E-03	1.011E-03
0.75	9.43E-01	0.036	1.3E-03	2	1.222E-03	2.443E-03	1.832E-03	1.374E-03	7.730E-04
0.8	8.21E-01	0.032	1.0E-03	4	8.411E-04	3.364E-03	2.691E-03	2.153E-03	1.378E-03
0.85	6.94E-01	0.024	5.8E-04	2	4.000E-04	8.000E-04	6.800E-04	5.780E-04	4.176E-04
0.9	5.77E-01	0.018	3.2E-04	4	1.870E-04	7.479E-04	6.731E-04	6.058E-04	4.907E-04
0.95	4.75E-01	0.008	6.4E-05	2	3.042E-05	6.084E-05	5.780E-05	5.491E-05	4.955E-05
1	3.90E-01	0.003	9.0E-06	4	3.510E-06	1.404E-05	1.404E-05	1.404E-05	1.404E-05
1.05	3.20E-01	0.003	9.0E-06	2	2.878E-06	5.757E-06	6.044E-06	6.347E-06	6.997E-06
1.1	2.63E-01	0.009	8.1E-05	4	2.128E-05	8.512E-05	9.363E-05	1.030E-04	1.246E-04
1.15	2.16E-01	0.016	2.6E-04	2	5.542E-05	1.108E-04	1.275E-04	1.466E-04	1.938E-04
1.2	1.79E-01	0.012	1.4E-04	4	2.578E-05	1.031E-04	1.238E-04	1.485E-04	2.139E-04
1.25	1.49E-01	0.003	9.0E-06	2	1.339E-06	2.677E-06	3.347E-06	4.184E-06	6.537E-06
1.3	1.24E-01	0.011	1.2E-04	4	1.502E-05	6.009E-05	7.811E-05	1.015E-04	1.716E-04
1.35	1.04E-01	0.005	2.5E-05	2	2.603E-06	5.205E-06	7.027E-06	9.486E-06	1.729E-05
1.4	8.77E-02	0.007	4.9E-05	4	4.298E-06	1.719E-05	2.407E-05	3.369E-05	6.604E-05
1.45	7.42E-02	0.008	6.4E-05	2	4.751E-06	9.503E-06	1.378E-05	1.998E-05	4.201E-05
1.5	6.31E-02	0.002	4.0E-06	4	2.525E-07	1.010E-06	1.515E-06	2.273E-06	5.114E-06
1.55	5.39E-02	0.003	9.0E-06	2	4.853E-07	9.706E-07	1.504E-06	2.332E-06	5.602E-06
1.6	4.63E-02	0.002	4.0E-06	4	1.850E-07	7.400E-07	1.184E-06	1.894E-06	4.850E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

FSO VLCC									
1.65	3.98E-02	0.001	1.0E-06	2	3.984E-08	7.967E-08	1.315E-07	2.169E-07	5.905E-07
1.7	3.44E-02	0.003	9.0E-06	4	3.100E-07	1.240E-06	2.108E-06	3.584E-06	1.036E-05
1.75	2.99E-02	0.001	1.0E-06	2	2.990E-08	5.980E-08	1.046E-07	1.831E-07	5.608E-07
1.8	2.60E-02	0.002	4.0E-06	4	1.042E-07	4.168E-07	7.502E-07	1.350E-06	4.375E-06
1.85	2.28E-02	0.002	4.0E-06	2	9.108E-08	1.822E-07	3.370E-07	6.234E-07	2.134E-06
1.9	2.00E-02	0.003	9.0E-06	4	1.797E-07	7.190E-07	1.366E-06	2.596E-06	9.370E-06
1.95	1.76E-02	0.001	1.0E-06	2	1.757E-08	3.515E-08	6.854E-08	1.336E-07	5.082E-07
2	1.55E-02	0.001	1.0E-06	4	1.551E-08	6.204E-08	1.241E-07	2.482E-07	9.927E-07
2.05	1.37E-02	0.001	1.0E-06	1	1.373E-08	1.373E-08	2.815E-08	5.770E-08	2.425E-07
					1.63E-01	9.19E-02	5.30E-02	1.92E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00271437 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00153168 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00088293 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00032082 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.1347 \quad \text{s}$$

$$T_p = 10.4235 \quad \text{s}$$

$$T_z = 11.0167 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 0.5643 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 0.6028 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5703 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1042 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0651 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1323 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.3269 \quad \text{deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - YAW (135°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0060	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0250	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.0540	2.9E-03	2	1.380E-203	2.761E-203	4.141E-204	6.212E-205	1.398E-206
0.2	4.19E-62	0.0940	8.8E-03	4	3.703E-64	1.481E-63	2.962E-64	5.924E-65	2.370E-66
0.25	1.90E-24	0.1390	1.9E-02	2	3.670E-26	7.339E-26	1.835E-26	4.587E-27	2.867E-28
0.3	3.83E-11	0.1860	3.5E-02	4	1.324E-12	5.294E-12	1.588E-12	4.765E-13	4.288E-14
0.35	1.32E-05	0.2270	5.2E-02	2	6.806E-07	1.361E-06	4.764E-07	1.668E-07	2.043E-08
0.4	4.80E-03	0.2590	6.7E-02	4	3.220E-04	1.288E-03	5.152E-04	2.061E-04	3.297E-05
0.45	8.76E-02	0.2540	6.5E-02	2	5.651E-03	1.130E-02	5.086E-03	2.289E-03	4.635E-04
0.5	3.81E-01	0.2250	5.1E-02	4	1.927E-02	7.708E-02	3.854E-02	1.927E-02	4.818E-03
0.55	7.90E-01	0.1760	3.1E-02	2	2.448E-02	4.896E-02	2.693E-02	1.481E-02	4.480E-03
0.6	1.10E+00	0.1140	1.3E-02	4	1.428E-02	5.711E-02	3.427E-02	2.056E-02	7.402E-03
0.65	1.22E+00	0.0570	3.2E-03	2	3.957E-03	7.913E-03	5.144E-03	3.343E-03	1.413E-03
0.7	1.18E+00	0.0320	1.0E-03	4	1.212E-03	4.848E-03	3.394E-03	2.375E-03	1.164E-03
0.75	1.06E+00	0.0360	1.3E-03	2	1.380E-03	2.760E-03	2.070E-03	1.552E-03	8.731E-04
0.8	9.15E-01	0.0320	1.0E-03	4	9.369E-04	3.748E-03	2.998E-03	2.398E-03	1.535E-03
0.85	7.66E-01	0.0240	5.8E-04	2	4.411E-04	8.821E-04	7.498E-04	6.373E-04	4.605E-04
0.9	6.32E-01	0.0180	3.2E-04	4	2.046E-04	8.185E-04	7.367E-04	6.630E-04	5.370E-04
0.95	5.17E-01	0.0080	6.4E-05	2	3.310E-05	6.620E-05	6.289E-05	5.975E-05	5.392E-05
1	4.22E-01	0.0030	9.0E-06	4	3.802E-06	1.521E-05	1.521E-05	1.521E-05	1.521E-05
1.05	3.45E-01	0.0030	9.0E-06	2	3.108E-06	6.215E-06	6.526E-06	6.853E-06	7.555E-06
1.1	2.83E-01	0.0090	8.1E-05	4	2.291E-05	9.166E-05	1.008E-04	1.109E-04	1.342E-04
1.15	2.33E-01	0.0160	2.6E-04	2	5.954E-05	1.191E-04	1.370E-04	1.575E-04	2.083E-04
1.2	1.92E-01	0.0120	1.4E-04	4	2.766E-05	1.106E-04	1.327E-04	1.593E-04	2.294E-04
1.25	1.59E-01	0.0030	9.0E-06	2	1.434E-06	2.868E-06	3.585E-06	4.481E-06	7.002E-06
1.3	1.33E-01	0.0110	1.2E-04	4	1.607E-05	6.429E-05	8.357E-05	1.086E-04	1.836E-04
1.35	1.11E-01	0.0050	2.5E-05	2	2.782E-06	5.564E-06	7.511E-06	1.014E-05	1.848E-05
1.4	9.37E-02	0.0070	4.9E-05	4	4.590E-06	1.836E-05	2.571E-05	3.599E-05	7.053E-05
1.45	7.92E-02	0.0080	6.4E-05	2	5.072E-06	1.014E-05	1.471E-05	2.133E-05	4.484E-05
1.5	6.73E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.694E-07	1.078E-06	1.616E-06	2.424E-06	5.455E-06
1.55	5.75E-02	0.0030	9.0E-06	2	5.174E-07	1.035E-06	1.604E-06	2.486E-06	5.973E-06
1.6	4.93E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.972E-07	7.887E-07	1.262E-06	2.019E-06	5.169E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.24E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.244E-08	8.489E-08	1.401E-07	2.311E-07	6.292E-07
1.7	3.67E-02	0.0030	9.0E-06	4	3.302E-07	1.321E-06	2.246E-06	3.817E-06	1.103E-05
1.75	3.18E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.184E-08	6.368E-08	1.114E-07	1.950E-07	5.972E-07
1.8	2.77E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.109E-07	4.437E-07	7.987E-07	1.438E-06	4.658E-06
1.85	2.42E-02	0.0020	4.0E-06	2	9.695E-08	1.939E-07	3.587E-07	6.636E-07	2.271E-06
1.9	2.13E-02	0.0030	9.0E-06	4	1.913E-07	7.652E-07	1.454E-06	2.762E-06	9.972E-06
1.95	1.87E-02	0.0010	1.0E-06	2	1.870E-08	3.740E-08	7.293E-08	1.422E-07	5.408E-07
2	1.65E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.650E-08	6.601E-08	1.320E-07	2.641E-07	1.056E-06
2.05	1.46E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.461E-08	1.461E-08	2.994E-08	6.139E-08	2.580E-07
					2.17E-01	1.21E-01	6.88E-02	2.42E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00362056 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00201718 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00114689 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00040332 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.2774 \text{ s}$$

$$T_p = 10.5954 \text{ s}$$

$$T_z = 11.1636 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5571 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5930 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5628 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1203 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0752 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1528 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.3774 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
FSO VLCC

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - YAW (135°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0060	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0250	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.0540	2.9E-03	2	1.789E-197	3.578E-197	5.367E-198	8.050E-199	1.811E-200
0.2	3.66E-60	0.0940	8.8E-03	4	3.233E-62	1.293E-61	2.586E-62	5.173E-63	2.069E-64
0.25	1.20E-23	0.1390	1.9E-02	2	2.322E-25	4.643E-25	1.161E-25	2.902E-26	1.814E-27
0.3	9.43E-11	0.1860	3.5E-02	4	3.262E-12	1.305E-11	3.914E-12	1.174E-12	1.057E-13
0.35	2.17E-05	0.2270	5.2E-02	2	1.120E-06	2.239E-06	7.837E-07	2.743E-07	3.360E-08
0.4	6.49E-03	0.2590	6.7E-02	4	4.353E-04	1.741E-03	6.966E-04	2.786E-04	4.458E-05
0.45	1.07E-01	0.2540	6.5E-02	2	6.883E-03	1.377E-02	6.194E-03	2.787E-03	5.645E-04
0.5	4.37E-01	0.2250	5.1E-02	4	2.211E-02	8.844E-02	4.422E-02	2.211E-02	5.528E-03
0.55	8.75E-01	0.1760	3.1E-02	2	2.709E-02	5.419E-02	2.980E-02	1.639E-02	4.959E-03
0.6	1.19E+00	0.1140	1.3E-02	4	1.545E-02	6.178E-02	3.707E-02	2.224E-02	8.007E-03
0.65	1.30E+00	0.0570	3.2E-03	2	4.216E-03	8.432E-03	5.481E-03	3.563E-03	1.505E-03
0.7	1.25E+00	0.0320	1.0E-03	4	1.278E-03	5.113E-03	3.579E-03	2.506E-03	1.228E-03
0.75	1.11E+00	0.0360	1.3E-03	2	1.445E-03	2.890E-03	2.167E-03	1.626E-03	9.144E-04
0.8	9.53E-01	0.0320	1.0E-03	4	9.761E-04	3.905E-03	3.124E-03	2.499E-03	1.599E-03
0.85	7.95E-01	0.0240	5.8E-04	2	4.578E-04	9.157E-04	7.783E-04	6.616E-04	4.780E-04
0.9	6.54E-01	0.0180	3.2E-04	4	2.118E-04	8.473E-04	7.626E-04	6.863E-04	5.559E-04
0.95	5.34E-01	0.0080	6.4E-05	2	3.419E-05	6.838E-05	6.497E-05	6.172E-05	5.570E-05
1	4.36E-01	0.0030	9.0E-06	4	3.921E-06	1.569E-05	1.569E-05	1.569E-05	1.569E-05
1.05	3.56E-01	0.0030	9.0E-06	2	3.201E-06	6.402E-06	6.722E-06	7.058E-06	7.781E-06
1.1	2.91E-01	0.0090	8.1E-05	4	2.358E-05	9.431E-05	1.037E-04	1.141E-04	1.381E-04
1.15	2.39E-01	0.0160	2.6E-04	2	6.122E-05	1.224E-04	1.408E-04	1.619E-04	2.141E-04
1.2	1.97E-01	0.0120	1.4E-04	4	2.842E-05	1.137E-04	1.364E-04	1.637E-04	2.357E-04
1.25	1.64E-01	0.0030	9.0E-06	2	1.473E-06	2.945E-06	3.682E-06	4.602E-06	7.191E-06
1.3	1.36E-01	0.0110	1.2E-04	4	1.650E-05	6.599E-05	8.579E-05	1.115E-04	1.885E-04
1.35	1.14E-01	0.0050	2.5E-05	2	2.855E-06	5.709E-06	7.708E-06	1.041E-05	1.896E-05
1.4	9.61E-02	0.0070	4.9E-05	4	4.709E-06	1.884E-05	2.637E-05	3.692E-05	7.236E-05
1.45	8.13E-02	0.0080	6.4E-05	2	5.202E-06	1.040E-05	1.508E-05	2.187E-05	4.599E-05
1.5	6.91E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.762E-07	1.105E-06	1.657E-06	2.486E-06	5.594E-06
1.55	5.89E-02	0.0030	9.0E-06	2	5.305E-07	1.061E-06	1.645E-06	2.549E-06	6.124E-06
1.6	5.05E-02	0.0020	4.0E-06	4	2.021E-07	8.085E-07	1.294E-06	2.070E-06	5.299E-06

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

FSO VLCC

1.65	4.35E-02	0.0010	1.0E-06	2	4.350E-08	8.701E-08	1.436E-07	2.369E-07	6.449E-07
1.7	3.76E-02	0.0030	9.0E-06	4	3.384E-07	1.354E-06	2.301E-06	3.912E-06	1.131E-05
1.75	3.26E-02	0.0010	1.0E-06	2	3.263E-08	6.526E-08	1.142E-07	1.998E-07	6.120E-07
1.8	2.84E-02	0.0020	4.0E-06	4	1.137E-07	4.547E-07	8.184E-07	1.473E-06	4.773E-06
1.85	2.48E-02	0.0020	4.0E-06	2	9.934E-08	1.987E-07	3.676E-07	6.800E-07	2.327E-06
1.9	2.18E-02	0.0030	9.0E-06	4	1.960E-07	7.840E-07	1.490E-06	2.830E-06	1.022E-05
1.95	1.92E-02	0.0010	1.0E-06	2	1.916E-08	3.832E-08	7.472E-08	1.457E-07	5.540E-07
2	1.69E-02	0.0010	1.0E-06	4	1.691E-08	6.763E-08	1.353E-07	2.705E-07	1.082E-06
2.05	1.50E-02	0.0010	1.0E-06	1	1.496E-08	1.496E-08	3.067E-08	6.288E-08	2.643E-07
					2.43E-01	1.34E-01	7.61E-02	2.64E-02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 0.00404266 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 0.00224162 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 0.00126798 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 0.00044053 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 11.3314 \text{ s}$$

$$T_p = 10.6597 \text{ s}$$

$$T_z = 11.2191 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 0.5545 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 0.5894 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 0.5600 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 0.1272 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 0.0795 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 0.1615 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 0.3987 \text{ deg}$$

LAMPIRAN C-1

Tabel RAO *Hexagonal SBM*

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

RAO SBM - TABLE

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body SBM_408M at X = 0, Y = 0.0, Z = 1.8						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0	0.998	1	0.072	0	0
0.200	0	0.994	0.996	0.313	0.001	0
0.300	0	0.988	0.989	1.024	0.009	0
0.400	0	0.97	0.977	0.446	0.005	0
0.500	0	0.954	0.962	1.124	0.003	0
0.600	0	0.932	0.943	1.739	0.002	0
0.700	0	0.903	0.921	2.388	0.001	0
0.800	0	0.867	0.897	3.08	0	0
0.900	0	0.823	0.876	3.778	0.001	0
0.999	0	0.772	0.858	4.458	0.005	0
1.100	0	0.713	0.849	5.104	0.01	0
1.199	0	0.648	0.85	5.661	0.021	0
1.301	0	0.575	0.86	6.156	0.045	0.001
1.399	0	0.501	0.839	6.571	0.094	0.001
1.500	0.001	0.424	0.628	6.947	0.152	0.001
1.599	0.001	0.346	0.283	7.241	0.154	0.002
1.698	0.001	0.267	0.067	7.319	0.144	0.002
1.800	0.001	0.202	0.033	6.462	0.113	0.003
1.898	0.001	0.187	0.063	3.961	0.071	0.002
2.001	0	0.174	0.068	1.372	0.045	0.001
Draft	= 1.6 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 3.48 meters
Roll Gy Rad.	= 3.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 3.6 m	Yaw Gy. Radius	= 3.6 m
Heading	= 90 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body SBM_408M at X = 0, Y = 0.0, Z = 1.8						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.535	0.706	1	0.051	0.05	0.025
0.200	0.531	0.703	0.996	0.222	0.218	0.1
0.300	0.522	0.699	0.989	0.785	0.827	0.224
0.400	0.521	0.686	0.978	0.314	0.412	0.394
0.500	0.51	0.675	0.963	0.793	0.845	0.607
0.600	0.497	0.66	0.944	1.226	1.279	0.859
0.700	0.482	0.641	0.921	1.684	1.745	1.142
0.800	0.464	0.617	0.896	2.171	2.247	1.45
0.900	0.444	0.588	0.87	2.666	2.762	1.768
0.999	0.421	0.554	0.846	3.15	3.272	2.081
1.100	0.395	0.514	0.825	3.626	3.783	2.386
1.199	0.367	0.47	0.811	4.038	4.262	2.654
1.301	0.337	0.42	0.803	4.411	4.739	2.885
1.399	0.305	0.368	0.769	4.719	5.197	3.052
1.500	0.271	0.313	0.577	5	5.691	3.16
1.599	0.233	0.255	0.258	5.256	6.245	3.193
1.698	0.195	0.192	0.06	5.343	6.477	3.146
1.800	0.172	0.135	0.043	4.64	5.183	3.015
1.898	0.164	0.116	0.07	2.69	2.813	2.813
2.001	0.148	0.1	0.075	0.886	1.015	2.529
Draft	= 1.6 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 3.48 meters
Roll Gy Rad.	= 3.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 3.6 m	Yaw Gy. Radius	= 3.6 m
Heading	= 135 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

SHIP FULL LOAD BALLAST CONDITION MOTION ANALYSIS

MOTION RESPONSE OPERATORS						
Of Point On Body SBM_408M at X = 0, Y = 0.0, Z = 1.8						
Freq. (rad/s)	Surge (m/m)	Sway (m/m)	Heave (m/m)	Roll (deg/m)	Pitch (deg/m)	Yaw (deg/m)
	Amplitudo					
0.100	0.756	0	1	0	0.071	0
0.200	0.751	0	0.996	0	0.308	0
0.300	0.739	0	0.989	0	1.171	0
0.400	0.736	0	0.978	0	0.58	0
0.500	0.72	0	0.964	0	1.193	0
0.600	0.701	0	0.945	0	1.808	0
0.700	0.678	0	0.922	0	2.469	0
0.800	0.65	0	0.895	0	3.183	0
0.900	0.617	0	0.865	0	3.915	0
0.999	0.58	0	0.834	0	4.639	0
1.100	0.537	0	0.801	0	5.36	0
1.199	0.491	0	0.771	0	6.02	0
1.301	0.439	0	0.742	0	6.655	0
1.399	0.385	0	0.692	0	7.241	0
1.500	0.327	0	0.516	0	7.811	0
1.599	0.265	0	0.225	0	8.304	0
1.698	0.203	0	0.056	0	8.318	0
1.800	0.158	0	0.063	0	6.435	0
1.898	0.136	0	0.086	0	3.385	0
2.001	0.111	0	0.089	0	1.095	0
Draft	= 1.6 meters	Trim Angle		= 0.0 Degree	GMT	= 3.48 meters
Roll Gy Rad.	= 3.6 meters	Pitch Gy. Radius		= 3.6 m	Yaw Gy. Radius	= 3.6 m
Heading	= 180 degrees	Forward Speed		= 0 knots	Linear.	1/20

LAMPIRAN C-2

Tabel Perhitungan Spektrum JONSWAP

Hexagonal SBM

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - SURGE

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - SURGE (180°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.7570	5.7E-01	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.7560	5.7E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	1.29E-217	0.7540	5.7E-01	2	7.331E-218	1.466E-217	2.199E-218	3.299E-219	7.423E-221
0.2	2.31E-67	0.7510	5.6E-01	4	1.301E-67	5.204E-67	1.041E-67	2.082E-68	8.326E-70
0.25	1.28E-26	0.7470	5.6E-01	2	7.169E-27	1.434E-26	3.584E-27	8.961E-28	5.601E-29
0.3	3.33E-12	0.7390	5.5E-01	4	1.820E-12	7.278E-12	2.183E-12	6.550E-13	5.895E-14
0.35	3.44E-06	0.7440	5.5E-01	2	1.904E-06	3.808E-06	1.333E-06	4.665E-07	5.714E-08
0.4	2.13E-03	0.7360	5.4E-01	4	1.152E-03	4.609E-03	1.844E-03	7.375E-04	1.180E-04
0.45	5.15E-02	0.7280	5.3E-01	2	2.730E-02	5.460E-02	2.457E-02	1.106E-02	2.239E-03
0.5	2.63E-01	0.7200	5.2E-01	4	1.364E-01	5.456E-01	2.728E-01	1.364E-01	3.410E-02
0.55	6.02E-01	0.7110	5.1E-01	2	3.045E-01	6.090E-01	3.350E-01	1.842E-01	5.573E-02
0.6	8.91E-01	0.7010	4.9E-01	4	4.378E-01	1.751E+00	1.051E+00	6.305E-01	2.270E-01
0.65	1.03E+00	0.6900	4.8E-01	2	4.897E-01	9.794E-01	6.366E-01	4.138E-01	1.748E-01
0.7	1.03E+00	0.6780	4.6E-01	4	4.725E-01	1.890E+00	1.323E+00	9.260E-01	4.537E-01
0.75	9.43E-01	0.6640	4.4E-01	2	4.156E-01	8.312E-01	6.234E-01	4.675E-01	2.630E-01
0.8	8.21E-01	0.6500	4.2E-01	4	3.470E-01	1.388E+00	1.110E+00	8.884E-01	5.686E-01
0.85	6.94E-01	0.6340	4.0E-01	2	2.791E-01	5.582E-01	4.745E-01	4.033E-01	2.914E-01
0.9	5.77E-01	0.6170	3.8E-01	4	2.197E-01	8.788E-01	7.909E-01	7.118E-01	5.766E-01
0.95	4.75E-01	0.5990	3.6E-01	2	1.705E-01	3.411E-01	3.240E-01	3.078E-01	2.778E-01
1	3.90E-01	0.5790	3.4E-01	4	1.307E-01	5.229E-01	5.229E-01	5.229E-01	5.229E-01
1.05	3.20E-01	0.5590	3.1E-01	2	9.993E-02	1.999E-01	2.099E-01	2.204E-01	2.429E-01
1.1	2.63E-01	0.5370	2.9E-01	4	7.576E-02	3.030E-01	3.333E-01	3.667E-01	4.437E-01
1.15	2.16E-01	0.5140	2.6E-01	2	5.719E-02	1.144E-01	1.315E-01	1.513E-01	2.000E-01
1.2	1.79E-01	0.4910	2.4E-01	4	4.317E-02	1.727E-01	2.072E-01	2.486E-01	3.580E-01
1.25	1.49E-01	0.4660	2.2E-01	2	3.230E-02	6.460E-02	8.075E-02	1.009E-01	1.577E-01
1.3	1.24E-01	0.4390	1.9E-01	4	2.393E-02	9.570E-02	1.244E-01	1.617E-01	2.733E-01
1.35	1.04E-01	0.4120	1.7E-01	2	1.767E-02	3.534E-02	4.771E-02	6.441E-02	1.174E-01
1.4	8.77E-02	0.3850	1.5E-01	4	1.300E-02	5.200E-02	7.280E-02	1.019E-01	1.998E-01
1.45	7.42E-02	0.3550	1.3E-01	2	9.356E-03	1.871E-02	2.713E-02	3.934E-02	8.272E-02
1.5	6.31E-02	0.3270	1.1E-01	4	6.750E-03	2.700E-02	4.050E-02	6.075E-02	1.367E-01
1.55	5.39E-02	0.2950	8.7E-02	2	4.692E-03	9.385E-03	1.455E-02	2.255E-02	5.417E-02
1.6	4.63E-02	0.2650	7.0E-02	4	3.248E-03	1.299E-02	2.079E-02	3.326E-02	8.514E-02

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	0.2330	5.4E-02	2	2.163E-03	4.325E-03	7.137E-03	1.178E-02	3.206E-02
1.7	3.44E-02	0.2030	4.1E-02	4	1.419E-03	5.678E-03	9.653E-03	1.641E-02	4.742E-02
1.75	2.99E-02	0.1760	3.1E-02	2	9.262E-04	1.852E-03	3.242E-03	5.673E-03	1.737E-02
1.8	2.60E-02	0.1580	2.5E-02	4	6.502E-04	2.601E-03	4.682E-03	8.427E-03	2.730E-02
1.85	2.28E-02	0.1470	2.2E-02	2	4.920E-04	9.841E-04	1.821E-03	3.368E-03	1.153E-02
1.9	2.00E-02	0.1360	1.8E-02	4	3.694E-04	1.478E-03	2.807E-03	5.334E-03	1.926E-02
1.95	1.76E-02	0.1230	1.5E-02	2	2.659E-04	5.317E-04	1.037E-03	2.022E-03	7.689E-03
2	1.55E-02	0.1110	1.2E-02	4	1.911E-04	7.644E-04	1.529E-03	3.058E-03	1.223E-02
2.05	1.37E-02	0.0980	9.6E-03	1	1.319E-04	1.319E-04	2.703E-04	5.542E-04	2.329E-03
					1.15E+01	8.83E+00	7.23E+00	5.98E+00	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.1913113 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.1472234 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.1205494 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.0996136 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.1648 & s \\
 T_p &= 6.9120 & s \\
 T_z &= 7.9153 & s \\
 \omega_0 &= 0.7695 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.9090 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7938 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 0.8748 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.5467 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.1110 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 2.7672 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - SURGE (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.7570	5.7E-01	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.7560	5.7E-01	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.7540	5.7E-01	2	2.691E-201	5.383E-201	8.074E-202	1.211E-202	2.725E-204
0.2	4.19E-62	0.7510	5.6E-01	4	2.363E-62	9.454E-62	1.891E-62	3.781E-63	1.513E-64
0.25	1.90E-24	0.7470	5.6E-01	2	1.060E-24	2.120E-24	5.299E-25	1.325E-25	8.280E-27
0.3	3.83E-11	0.7390	5.5E-01	4	2.089E-11	8.358E-11	2.507E-11	7.522E-12	6.770E-13
0.35	1.32E-05	0.7440	5.5E-01	2	7.311E-06	1.462E-05	5.118E-06	1.791E-06	2.194E-07
0.4	4.80E-03	0.7360	5.4E-01	4	2.600E-03	1.040E-02	4.161E-03	1.664E-03	2.663E-04
0.45	8.76E-02	0.7280	5.3E-01	2	4.642E-02	9.284E-02	4.178E-02	1.880E-02	3.807E-03
0.5	3.81E-01	0.7200	5.2E-01	4	1.973E-01	7.893E-01	3.947E-01	1.973E-01	4.933E-02
0.55	7.90E-01	0.7110	5.1E-01	2	3.995E-01	7.990E-01	4.395E-01	2.417E-01	7.312E-02
0.6	1.10E+00	0.7010	4.9E-01	4	5.399E-01	2.160E+00	1.296E+00	7.774E-01	2.799E-01
0.65	1.22E+00	0.6900	4.8E-01	2	5.798E-01	1.160E+00	7.537E-01	4.899E-01	2.070E-01
0.7	1.18E+00	0.6780	4.6E-01	4	5.441E-01	2.176E+00	1.523E+00	1.066E+00	5.225E-01
0.75	1.06E+00	0.6640	4.4E-01	2	4.694E-01	9.388E-01	7.041E-01	5.281E-01	2.970E-01
0.8	9.15E-01	0.6500	4.2E-01	4	3.866E-01	1.546E+00	1.237E+00	9.896E-01	6.333E-01
0.85	7.66E-01	0.6340	4.0E-01	2	3.078E-01	6.156E-01	5.232E-01	4.448E-01	3.213E-01
0.9	6.32E-01	0.6170	3.8E-01	4	2.404E-01	9.617E-01	8.656E-01	7.790E-01	6.310E-01
0.95	5.17E-01	0.5990	3.6E-01	2	1.856E-01	3.711E-01	3.526E-01	3.350E-01	3.023E-01
1	4.22E-01	0.5790	3.4E-01	4	1.416E-01	5.665E-01	5.665E-01	5.665E-01	5.665E-01
1.05	3.45E-01	0.5590	3.1E-01	2	1.079E-01	2.158E-01	2.266E-01	2.379E-01	2.623E-01
1.1	2.83E-01	0.5370	2.9E-01	4	8.158E-02	3.263E-01	3.589E-01	3.948E-01	4.777E-01
1.15	2.33E-01	0.5140	2.6E-01	2	6.145E-02	1.229E-01	1.413E-01	1.625E-01	2.150E-01
1.2	1.92E-01	0.4910	2.4E-01	4	4.630E-02	1.852E-01	2.222E-01	2.667E-01	3.840E-01
1.25	1.59E-01	0.4660	2.2E-01	2	3.460E-02	6.920E-02	8.650E-02	1.081E-01	1.689E-01
1.3	1.33E-01	0.4390	1.9E-01	4	2.560E-02	1.024E-01	1.331E-01	1.730E-01	2.924E-01
1.35	1.11E-01	0.4120	1.7E-01	2	1.889E-02	3.778E-02	5.100E-02	6.885E-02	1.255E-01
1.4	9.37E-02	0.3850	1.5E-01	4	1.389E-02	5.554E-02	7.776E-02	1.089E-01	2.134E-01
1.45	7.92E-02	0.3550	1.3E-01	2	9.987E-03	1.997E-02	2.896E-02	4.199E-02	8.829E-02
1.5	6.73E-02	0.3270	1.1E-01	4	7.201E-03	2.880E-02	4.321E-02	6.481E-02	1.458E-01
1.55	5.75E-02	0.2950	8.7E-02	2	5.003E-03	1.001E-02	1.551E-02	2.404E-02	5.776E-02
1.6	4.93E-02	0.2650	7.0E-02	4	3.462E-03	1.385E-02	2.216E-02	3.545E-02	9.075E-02

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	0.2330	5.4E-02	2	2.304E-03	4.608E-03	7.604E-03	1.255E-02	3.416E-02
1.7	3.67E-02	0.2030	4.1E-02	4	1.512E-03	6.048E-03	1.028E-02	1.748E-02	5.051E-02
1.75	3.18E-02	0.1760	3.1E-02	2	9.863E-04	1.973E-03	3.452E-03	6.041E-03	1.850E-02
1.8	2.77E-02	0.1580	2.5E-02	4	6.923E-04	2.769E-03	4.984E-03	8.972E-03	2.907E-02
1.85	2.42E-02	0.1470	2.2E-02	2	5.238E-04	1.048E-03	1.938E-03	3.585E-03	1.227E-02
1.9	2.13E-02	0.1360	1.8E-02	4	3.932E-04	1.573E-03	2.988E-03	5.677E-03	2.049E-02
1.95	1.87E-02	0.1230	1.5E-02	2	2.829E-04	5.658E-04	1.103E-03	2.152E-03	8.182E-03
2	1.65E-02	0.1110	1.2E-02	4	2.033E-04	8.134E-04	1.627E-03	3.253E-03	1.301E-02
2.05	1.46E-02	0.0980	9.6E-03	1	1.403E-04	1.403E-04	2.876E-04	5.895E-04	2.478E-03
					1.34E+01	1.01E+01	8.18E+00	6.60E+00	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.2232391 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.1690586 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.1363935 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.1099674 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.2968 & s \\
 T_p &= 6.9975 & s \\
 T_z &= 8.0384 & s \\
 \omega_0 &= 0.7573 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.8979 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7816 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 0.9450 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.5906 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.2001 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 2.9880 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

**Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - SURGE (180°)**

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.7570	5.7E-01	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.7560	5.7E-01	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	0.7540	5.7E-01	2	3.488E-195	6.976E-195	1.046E-195	1.570E-196	3.531E-198
0.2	3.66E-60	0.7510	5.6E-01	4	2.064E-60	8.255E-60	1.651E-60	3.302E-61	1.321E-62
0.25	1.20E-23	0.7470	5.6E-01	2	6.705E-24	1.341E-23	3.352E-24	8.381E-25	5.238E-26
0.3	9.43E-11	0.7390	5.5E-01	4	5.149E-11	2.060E-10	6.179E-11	1.854E-11	1.668E-12
0.35	2.17E-05	0.7440	5.5E-01	2	1.203E-05	2.405E-05	8.419E-06	2.947E-06	3.610E-07
0.4	6.49E-03	0.7360	5.4E-01	4	3.516E-03	1.406E-02	5.625E-03	2.250E-03	3.600E-04
0.45	1.07E-01	0.7280	5.3E-01	2	5.654E-02	1.131E-01	5.089E-02	2.290E-02	4.637E-03
0.5	4.37E-01	0.7200	5.2E-01	4	2.264E-01	9.057E-01	4.528E-01	2.264E-01	5.660E-02
0.55	8.75E-01	0.7110	5.1E-01	2	4.422E-01	8.843E-01	4.864E-01	2.675E-01	8.092E-02
0.6	1.19E+00	0.7010	4.9E-01	4	5.840E-01	2.336E+00	1.402E+00	8.410E-01	3.028E-01
0.65	1.30E+00	0.6900	4.8E-01	2	6.178E-01	1.236E+00	8.032E-01	5.221E-01	2.206E-01
0.7	1.25E+00	0.6780	4.6E-01	4	5.739E-01	2.295E+00	1.607E+00	1.125E+00	5.511E-01
0.75	1.11E+00	0.6640	4.4E-01	2	4.916E-01	9.832E-01	7.374E-01	5.530E-01	3.111E-01
0.8	9.53E-01	0.6500	4.2E-01	4	4.028E-01	1.611E+00	1.289E+00	1.031E+00	6.599E-01
0.85	7.95E-01	0.6340	4.0E-01	2	3.195E-01	6.390E-01	5.431E-01	4.617E-01	3.336E-01
0.9	6.54E-01	0.6170	3.8E-01	4	2.489E-01	9.955E-01	8.960E-01	8.064E-01	6.532E-01
0.95	5.34E-01	0.5990	3.6E-01	2	1.917E-01	3.834E-01	3.642E-01	3.460E-01	3.123E-01
1	4.36E-01	0.5790	3.4E-01	4	1.461E-01	5.843E-01	5.843E-01	5.843E-01	5.843E-01
1.05	3.56E-01	0.5590	3.1E-01	2	1.111E-01	2.223E-01	2.334E-01	2.451E-01	2.702E-01
1.1	2.91E-01	0.5370	2.9E-01	4	8.394E-02	3.358E-01	3.693E-01	4.063E-01	4.916E-01
1.15	2.39E-01	0.5140	2.6E-01	2	6.318E-02	1.264E-01	1.453E-01	1.671E-01	2.210E-01
1.2	1.97E-01	0.4910	2.4E-01	4	4.757E-02	1.903E-01	2.284E-01	2.740E-01	3.946E-01
1.25	1.64E-01	0.4660	2.2E-01	2	3.553E-02	7.106E-02	8.883E-02	1.110E-01	1.735E-01
1.3	1.36E-01	0.4390	1.9E-01	4	2.628E-02	1.051E-01	1.366E-01	1.776E-01	3.002E-01
1.35	1.14E-01	0.4120	1.7E-01	2	1.938E-02	3.877E-02	5.233E-02	7.065E-02	1.288E-01
1.4	9.61E-02	0.3850	1.5E-01	4	1.424E-02	5.698E-02	7.977E-02	1.117E-01	2.189E-01
1.45	8.13E-02	0.3550	1.3E-01	2	1.024E-02	2.049E-02	2.970E-02	4.307E-02	9.055E-02
1.5	6.91E-02	0.3270	1.1E-01	4	7.384E-03	2.954E-02	4.431E-02	6.646E-02	1.495E-01
1.55	5.89E-02	0.2950	8.7E-02	2	5.130E-03	1.026E-02	1.590E-02	2.465E-02	5.922E-02
1.6	5.05E-02	0.2650	7.0E-02	4	3.549E-03	1.419E-02	2.271E-02	3.634E-02	9.303E-02

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	0.2330	5.4E-02	2	2.362E-03	4.724E-03	7.794E-03	1.286E-02	3.501E-02
1.7	3.76E-02	0.2030	4.1E-02	4	1.550E-03	6.198E-03	1.054E-02	1.791E-02	5.177E-02
1.75	3.26E-02	0.1760	3.1E-02	2	1.011E-03	2.021E-03	3.537E-03	6.190E-03	1.896E-02
1.8	2.84E-02	0.1580	2.5E-02	4	7.094E-04	2.837E-03	5.107E-03	9.193E-03	2.979E-02
1.85	2.48E-02	0.1470	2.2E-02	2	5.366E-04	1.073E-03	1.986E-03	3.673E-03	1.257E-02
1.9	2.18E-02	0.1360	1.8E-02	4	4.028E-04	1.611E-03	3.061E-03	5.816E-03	2.100E-02
1.95	1.92E-02	0.1230	1.5E-02	2	2.899E-04	5.797E-04	1.130E-03	2.204E-03	8.382E-03
2	1.69E-02	0.1110	1.2E-02	4	2.083E-04	8.332E-04	1.666E-03	3.333E-03	1.333E-02
2.05	1.50E-02	0.0980	9.6E-03	1	1.437E-04	1.437E-04	2.946E-04	6.039E-04	2.538E-03
					1.42E+01	1.07E+01	8.59E+00	6.86E+00	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.2370320 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.1783823 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.1430854 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.1142603 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.3490 & s \\
 T_p &= 7.0312 & s \\
 T_z &= 8.0870 & s \\
 \omega_0 &= 0.7526 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.8936 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7770 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 0.9737 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.6086 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.2366 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 3.0785 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - SWAY

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - SWAY (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9990	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	1.29E-217	0.9970	9.9E-01	2	1.282E-217	2.564E-217	3.845E-218	5.768E-219	1.298E-220
0.2	2.31E-67	0.9940	9.9E-01	4	2.279E-67	9.116E-67	1.823E-67	3.647E-68	1.459E-69
0.25	1.28E-26	0.9910	9.8E-01	2	1.262E-26	2.523E-26	6.308E-27	1.577E-27	9.857E-29
0.3	3.33E-12	0.9880	9.8E-01	4	3.252E-12	1.301E-11	3.903E-12	1.171E-12	1.054E-13
0.35	3.44E-06	0.9700	9.4E-01	2	3.236E-06	6.473E-06	2.265E-06	7.929E-07	9.713E-08
0.4	2.13E-03	0.9700	9.4E-01	4	2.001E-03	8.006E-03	3.202E-03	1.281E-03	2.049E-04
0.45	5.15E-02	0.9630	9.3E-01	2	4.777E-02	9.553E-02	4.299E-02	1.935E-02	3.917E-03
0.5	2.63E-01	0.9540	9.1E-01	4	2.395E-01	9.579E-01	4.789E-01	2.395E-01	5.987E-02
0.55	6.02E-01	0.9440	8.9E-01	2	5.368E-01	1.074E+00	5.905E-01	3.248E-01	9.824E-02
0.6	8.91E-01	0.9320	8.7E-01	4	7.739E-01	3.096E+00	1.857E+00	1.114E+00	4.012E-01
0.65	1.03E+00	0.9180	8.4E-01	2	8.668E-01	1.734E+00	1.127E+00	7.325E-01	3.095E-01
0.7	1.03E+00	0.9030	8.2E-01	4	8.381E-01	3.352E+00	2.347E+00	1.643E+00	8.049E-01
0.75	9.43E-01	0.8860	7.8E-01	2	7.399E-01	1.480E+00	1.110E+00	8.324E-01	4.682E-01
0.8	8.21E-01	0.8670	7.5E-01	4	6.174E-01	2.470E+00	1.976E+00	1.581E+00	1.012E+00
0.85	6.94E-01	0.8460	7.2E-01	2	4.970E-01	9.940E-01	8.449E-01	7.182E-01	5.189E-01
0.9	5.77E-01	0.8230	6.8E-01	4	3.909E-01	1.564E+00	1.407E+00	1.266E+00	1.026E+00
0.95	4.75E-01	0.7980	6.4E-01	2	3.027E-01	6.053E-01	5.751E-01	5.463E-01	4.931E-01
1	3.90E-01	0.7720	6.0E-01	4	2.324E-01	9.297E-01	9.297E-01	9.297E-01	9.297E-01
1.05	3.20E-01	0.7430	5.5E-01	2	1.766E-01	3.531E-01	3.708E-01	3.893E-01	4.292E-01
1.1	2.63E-01	0.7130	5.1E-01	4	1.336E-01	5.342E-01	5.876E-01	6.464E-01	7.822E-01
1.15	2.16E-01	0.6800	4.6E-01	2	1.001E-01	2.002E-01	2.302E-01	2.647E-01	3.501E-01
1.2	1.79E-01	0.6480	4.2E-01	4	7.518E-02	3.007E-01	3.609E-01	4.331E-01	6.236E-01
1.25	1.49E-01	0.6120	3.7E-01	2	5.571E-02	1.114E-01	1.393E-01	1.741E-01	2.720E-01
1.3	1.24E-01	0.5750	3.3E-01	4	4.105E-02	1.642E-01	2.134E-01	2.775E-01	4.689E-01
1.35	1.04E-01	0.5380	2.9E-01	2	3.013E-02	6.026E-02	8.135E-02	1.098E-01	2.002E-01
1.4	8.77E-02	0.5010	2.5E-01	4	2.201E-02	8.806E-02	1.233E-01	1.726E-01	3.383E-01
1.45	7.42E-02	0.4620	2.1E-01	2	1.585E-02	3.169E-02	4.595E-02	6.663E-02	1.401E-01
1.5	6.31E-02	0.4240	1.8E-01	4	1.135E-02	4.540E-02	6.810E-02	1.021E-01	2.298E-01
1.55	5.39E-02	0.3840	1.5E-01	2	7.951E-03	1.590E-02	2.465E-02	3.820E-02	9.178E-02
1.6	4.63E-02	0.3460	1.2E-01	4	5.537E-03	2.215E-02	3.544E-02	5.670E-02	1.451E-01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	0.3060	9.4E-02	2	3.730E-03	7.460E-03	1.231E-02	2.031E-02	5.529E-02
1.7	3.44E-02	0.2670	7.1E-02	4	2.456E-03	9.823E-03	1.670E-02	2.839E-02	8.204E-02
1.75	2.99E-02	0.2290	5.2E-02	2	1.568E-03	3.136E-03	5.488E-03	9.604E-03	2.941E-02
1.8	2.60E-02	0.2020	4.1E-02	4	1.063E-03	4.251E-03	7.652E-03	1.377E-02	4.463E-02
1.85	2.28E-02	0.1890	3.6E-02	2	8.134E-04	1.627E-03	3.009E-03	5.568E-03	1.905E-02
1.9	2.00E-02	0.1870	3.5E-02	4	6.984E-04	2.794E-03	5.308E-03	1.008E-02	3.641E-02
1.95	1.76E-02	0.1830	3.3E-02	2	5.885E-04	1.177E-03	2.295E-03	4.476E-03	1.702E-02
2	1.55E-02	0.1740	3.0E-02	4	4.696E-04	1.878E-03	3.757E-03	7.514E-03	3.005E-02
2.05	1.37E-02	0.1600	2.6E-02	1	3.515E-04	3.515E-04	7.205E-04	1.477E-03	6.208E-03
					2.03E+01	1.56E+01	1.28E+01	1.05E+01	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.3386394 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.2604510 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.2130052 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.1752739 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.1694 & s \\
 T_p &= 6.9265 & s \\
 T_z &= 7.9223 & s \\
 \omega_0 &= 0.7691 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.9071 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7931 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.1639 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.7274 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.4781 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 3.6815 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - SWAY (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9990	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	4.73E-201	0.9970	9.9E-01	2	4.706E-201	9.411E-201	1.412E-201	2.118E-202	4.764E-204
0.2	4.19E-62	0.9940	9.9E-01	4	4.140E-62	1.656E-61	3.312E-62	6.625E-63	2.650E-64
0.25	1.90E-24	0.9910	9.8E-01	2	1.865E-24	3.731E-24	9.326E-25	2.332E-25	1.457E-26
0.3	3.83E-11	0.9880	9.8E-01	4	3.735E-11	1.494E-10	4.482E-11	1.344E-11	1.210E-12
0.35	1.32E-05	0.9700	9.4E-01	2	1.243E-05	2.486E-05	8.700E-06	3.045E-06	3.730E-07
0.4	4.80E-03	0.9700	9.4E-01	4	4.517E-03	1.807E-02	7.227E-03	2.891E-03	4.625E-04
0.45	8.76E-02	0.9630	9.3E-01	2	8.123E-02	1.625E-01	7.311E-02	3.290E-02	6.662E-03
0.5	3.81E-01	0.9540	9.1E-01	4	3.464E-01	1.386E+00	6.929E-01	3.464E-01	8.661E-02
0.55	7.90E-01	0.9440	8.9E-01	2	7.043E-01	1.409E+00	7.747E-01	4.261E-01	1.289E-01
0.6	1.10E+00	0.9320	8.7E-01	4	9.543E-01	3.817E+00	2.290E+00	1.374E+00	4.947E-01
0.65	1.22E+00	0.9180	8.4E-01	2	1.026E+00	2.053E+00	1.334E+00	8.672E-01	3.664E-01
0.7	1.18E+00	0.9030	8.2E-01	4	9.651E-01	3.860E+00	2.702E+00	1.892E+00	9.269E-01
0.75	1.06E+00	0.8860	7.8E-01	2	8.357E-01	1.671E+00	1.254E+00	9.402E-01	5.289E-01
0.8	9.15E-01	0.8670	7.5E-01	4	6.877E-01	2.751E+00	2.201E+00	1.761E+00	1.127E+00
0.85	7.66E-01	0.8460	7.2E-01	2	5.480E-01	1.096E+00	9.317E-01	7.919E-01	5.722E-01
0.9	6.32E-01	0.8230	6.8E-01	4	4.278E-01	1.711E+00	1.540E+00	1.386E+00	1.123E+00
0.95	5.17E-01	0.7980	6.4E-01	2	3.294E-01	6.587E-01	6.258E-01	5.945E-01	5.365E-01
1	4.22E-01	0.7720	6.0E-01	4	2.518E-01	1.007E+00	1.007E+00	1.007E+00	1.007E+00
1.05	3.45E-01	0.7430	5.5E-01	2	1.906E-01	3.812E-01	4.003E-01	4.203E-01	4.634E-01
1.1	2.83E-01	0.7130	5.1E-01	4	1.438E-01	5.753E-01	6.328E-01	6.961E-01	8.422E-01
1.15	2.33E-01	0.6800	4.6E-01	2	1.076E-01	2.151E-01	2.474E-01	2.845E-01	3.762E-01
1.2	1.92E-01	0.6480	4.2E-01	4	8.065E-02	3.226E-01	3.871E-01	4.645E-01	6.689E-01
1.25	1.59E-01	0.6120	3.7E-01	2	5.968E-02	1.194E-01	1.492E-01	1.865E-01	2.914E-01
1.3	1.33E-01	0.5750	3.3E-01	4	4.391E-02	1.757E-01	2.284E-01	2.969E-01	5.017E-01
1.35	1.11E-01	0.5380	2.9E-01	2	3.221E-02	6.442E-02	8.696E-02	1.174E-01	2.140E-01
1.4	9.37E-02	0.5010	2.5E-01	4	2.351E-02	9.405E-02	1.317E-01	1.843E-01	3.613E-01
1.45	7.92E-02	0.4620	2.1E-01	2	1.691E-02	3.383E-02	4.905E-02	7.112E-02	1.495E-01
1.5	6.73E-02	0.4240	1.8E-01	4	1.211E-02	4.843E-02	7.264E-02	1.090E-01	2.452E-01
1.55	5.75E-02	0.3840	1.5E-01	2	8.478E-03	1.696E-02	2.628E-02	4.074E-02	9.787E-02
1.6	4.93E-02	0.3460	1.2E-01	4	5.902E-03	2.361E-02	3.777E-02	6.043E-02	1.547E-01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	0.3060	9.4E-02	2	3.974E-03	7.949E-03	1.312E-02	2.164E-02	5.892E-02
1.7	3.67E-02	0.2670	7.1E-02	4	2.616E-03	1.046E-02	1.779E-02	3.024E-02	8.739E-02
1.75	3.18E-02	0.2290	5.2E-02	2	1.670E-03	3.339E-03	5.844E-03	1.023E-02	3.132E-02
1.8	2.77E-02	0.2020	4.1E-02	4	1.132E-03	4.526E-03	8.147E-03	1.466E-02	4.751E-02
1.85	2.42E-02	0.1890	3.6E-02	2	8.658E-04	1.732E-03	3.204E-03	5.926E-03	2.028E-02
1.9	2.13E-02	0.1870	3.5E-02	4	7.433E-04	2.973E-03	5.649E-03	1.073E-02	3.875E-02
1.95	1.87E-02	0.1830	3.3E-02	2	6.263E-04	1.253E-03	2.442E-03	4.763E-03	1.811E-02
2	1.65E-02	0.1740	3.0E-02	4	4.997E-04	1.999E-03	3.997E-03	7.994E-03	3.198E-02
2.05	1.46E-02	0.1600	2.6E-02	1	3.739E-04	3.739E-04	7.666E-04	1.571E-03	6.604E-03
					2.37E+01	1.79E+01	1.45E+01	1.16E+01	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.3950958 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.2990701 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.2410209 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.1935348 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.3006 & s \\
 T_p &= 7.0118 & s \\
 T_z &= 8.0446 & s \\
 \omega_0 &= 0.7570 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.8961 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7810 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.2571 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.7857 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.5966 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 3.9750 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

**Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - SWAY (180°)**

$$\begin{aligned}
 H_s &= 2.02 \quad \text{m} \\
 T_p &= 9.58 \quad \text{s} \\
 \omega_p &= 0.6556 \quad \text{rad/s} \\
 \varphi &= 6.7408 \\
 \Upsilon &= 1 \\
 \alpha &= 0.0057
 \end{aligned}$$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO ² (m ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(m ²)/(rad/s)]	S _r (ω)xSM [(m ²)/(rad/s)]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [m ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.9990	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	0.9980	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	0.9970	9.9E-01	2	6.098E-195	1.220E-194	1.829E-195	2.744E-196	6.174E-198
0.2	3.66E-60	0.9940	9.9E-01	4	3.615E-60	1.446E-59	2.892E-60	5.784E-61	2.314E-62
0.25	1.20E-23	0.9910	9.8E-01	2	1.180E-23	2.360E-23	5.900E-24	1.475E-24	9.219E-26
0.3	9.43E-11	0.9880	9.8E-01	4	9.203E-11	3.681E-10	1.104E-10	3.313E-11	2.982E-12
0.35	2.17E-05	0.9700	9.4E-01	2	2.044E-05	4.089E-05	1.431E-05	5.009E-06	6.136E-07
0.4	6.49E-03	0.9700	9.4E-01	4	6.106E-03	2.443E-02	9.770E-03	3.908E-03	6.253E-04
0.45	1.07E-01	0.9630	9.3E-01	2	9.893E-02	1.979E-01	8.904E-02	4.007E-02	8.114E-03
0.5	4.37E-01	0.9540	9.1E-01	4	3.975E-01	1.590E+00	7.950E-01	3.975E-01	9.938E-02
0.55	8.75E-01	0.9440	8.9E-01	2	7.795E-01	1.559E+00	8.574E-01	4.716E-01	1.427E-01
0.6	1.19E+00	0.9320	8.7E-01	4	1.032E+00	4.129E+00	2.478E+00	1.487E+00	5.352E-01
0.65	1.30E+00	0.9180	8.4E-01	2	1.094E+00	2.187E+00	1.422E+00	9.241E-01	3.904E-01
0.7	1.25E+00	0.9030	8.2E-01	4	1.018E+00	4.072E+00	2.850E+00	1.995E+00	9.776E-01
0.75	1.11E+00	0.8860	7.8E-01	2	8.752E-01	1.750E+00	1.313E+00	9.846E-01	5.539E-01
0.8	9.53E-01	0.8670	7.5E-01	4	7.166E-01	2.866E+00	2.293E+00	1.834E+00	1.174E+00
0.85	7.95E-01	0.8460	7.2E-01	2	5.689E-01	1.138E+00	9.671E-01	8.220E-01	5.939E-01
0.9	6.54E-01	0.8230	6.8E-01	4	4.428E-01	1.771E+00	1.594E+00	1.435E+00	1.162E+00
0.95	5.34E-01	0.7980	6.4E-01	2	3.402E-01	6.804E-01	6.464E-01	6.141E-01	5.542E-01
1	4.36E-01	0.7720	6.0E-01	4	2.597E-01	1.039E+00	1.039E+00	1.039E+00	1.039E+00
1.05	3.56E-01	0.7430	5.5E-01	2	1.963E-01	3.927E-01	4.123E-01	4.329E-01	4.773E-01
1.1	2.91E-01	0.7130	5.1E-01	4	1.480E-01	5.919E-01	6.511E-01	7.162E-01	8.666E-01
1.15	2.39E-01	0.6800	4.6E-01	2	1.106E-01	2.212E-01	2.543E-01	2.925E-01	3.868E-01
1.2	1.97E-01	0.6480	4.2E-01	4	8.286E-02	3.315E-01	3.977E-01	4.773E-01	6.873E-01
1.25	1.64E-01	0.6120	3.7E-01	2	6.129E-02	1.226E-01	1.532E-01	1.915E-01	2.992E-01
1.3	1.36E-01	0.5750	3.3E-01	4	4.508E-02	1.803E-01	2.344E-01	3.047E-01	5.150E-01
1.35	1.14E-01	0.5380	2.9E-01	2	3.305E-02	6.610E-02	8.924E-02	1.205E-01	2.196E-01
1.4	9.61E-02	0.5010	2.5E-01	4	2.412E-02	9.649E-02	1.351E-01	1.891E-01	3.707E-01
1.45	8.13E-02	0.4620	2.1E-01	2	1.735E-02	3.469E-02	5.031E-02	7.295E-02	1.534E-01
1.5	6.91E-02	0.4240	1.8E-01	4	1.241E-02	4.966E-02	7.449E-02	1.117E-01	2.514E-01
1.55	5.89E-02	0.3840	1.5E-01	2	8.692E-03	1.738E-02	2.694E-02	4.176E-02	1.003E-01
1.6	5.05E-02	0.3460	1.2E-01	4	6.050E-03	2.420E-02	3.872E-02	6.195E-02	1.586E-01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	0.3060	9.4E-02	2	4.074E-03	8.147E-03	1.344E-02	2.218E-02	6.039E-02
1.7	3.76E-02	0.2670	7.1E-02	4	2.681E-03	1.072E-02	1.823E-02	3.099E-02	8.956E-02
1.75	3.26E-02	0.2290	5.2E-02	2	1.711E-03	3.422E-03	5.989E-03	1.048E-02	3.210E-02
1.8	2.84E-02	0.2020	4.1E-02	4	1.159E-03	4.638E-03	8.348E-03	1.503E-02	4.869E-02
1.85	2.48E-02	0.1890	3.6E-02	2	8.871E-04	1.774E-03	3.282E-03	6.072E-03	2.078E-02
1.9	2.18E-02	0.1870	3.5E-02	4	7.615E-04	3.046E-03	5.788E-03	1.100E-02	3.970E-02
1.95	1.92E-02	0.1830	3.3E-02	2	6.416E-04	1.283E-03	2.502E-03	4.879E-03	1.855E-02
2	1.69E-02	0.1740	3.0E-02	4	5.119E-04	2.047E-03	4.095E-03	8.190E-03	3.276E-02
2.05	1.50E-02	0.1600	2.6E-02	1	3.831E-04	3.831E-04	7.853E-04	1.610E-03	6.765E-03
					2.52E+01	1.89E+01	1.52E+01	1.21E+01	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.4194790 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.3155576 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.2528523 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.2011062 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.3524 & s \\
 T_p &= 7.0453 & s \\
 T_z &= 8.0929 & s \\
 \omega_0 &= 0.7523 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.8918 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.7764 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.2953 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.8096 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.6451 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 4.0952 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - HEAVE

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - HEAVE (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	1.29E-217	0.9980	1.0E+00	2	1.284E-217	2.569E-217	3.853E-218	5.780E-219	1.300E-220
0.2	2.31E-67	0.9960	9.9E-01	4	2.288E-67	9.153E-67	1.831E-67	3.661E-68	1.465E-69
0.25	1.28E-26	0.9930	9.9E-01	2	1.267E-26	2.534E-26	6.334E-27	1.583E-27	9.897E-29
0.3	3.33E-12	0.9890	9.8E-01	4	3.259E-12	1.304E-11	3.911E-12	1.173E-12	1.056E-13
0.35	3.44E-06	0.9840	9.7E-01	2	3.330E-06	6.661E-06	2.331E-06	8.159E-07	9.995E-08
0.4	2.13E-03	0.9770	9.5E-01	4	2.030E-03	8.122E-03	3.249E-03	1.299E-03	2.079E-04
0.45	5.15E-02	0.9700	9.4E-01	2	4.846E-02	9.693E-02	4.362E-02	1.963E-02	3.975E-03
0.5	2.63E-01	0.9620	9.3E-01	4	2.435E-01	9.740E-01	4.870E-01	2.435E-01	6.087E-02
0.55	6.02E-01	0.9530	9.1E-01	2	5.471E-01	1.094E+00	6.018E-01	3.310E-01	1.001E-01
0.6	8.91E-01	0.9430	8.9E-01	4	7.923E-01	3.169E+00	1.901E+00	1.141E+00	4.107E-01
0.65	1.03E+00	0.9320	8.7E-01	2	8.935E-01	1.787E+00	1.162E+00	7.550E-01	3.190E-01
0.7	1.03E+00	0.9210	8.5E-01	4	8.718E-01	3.487E+00	2.441E+00	1.709E+00	8.373E-01
0.75	9.43E-01	0.9090	8.3E-01	2	7.788E-01	1.558E+00	1.168E+00	8.762E-01	4.929E-01
0.8	8.21E-01	0.8970	8.0E-01	4	6.609E-01	2.643E+00	2.115E+00	1.692E+00	1.083E+00
0.85	6.94E-01	0.8860	7.8E-01	2	5.451E-01	1.090E+00	9.267E-01	7.877E-01	5.691E-01
0.9	5.77E-01	0.8760	7.7E-01	4	4.429E-01	1.771E+00	1.594E+00	1.435E+00	1.162E+00
0.95	4.75E-01	0.8660	7.5E-01	2	3.565E-01	7.129E-01	6.773E-01	6.434E-01	5.807E-01
1	3.90E-01	0.8580	7.4E-01	4	2.871E-01	1.148E+00	1.148E+00	1.148E+00	1.148E+00
1.05	3.20E-01	0.8520	7.3E-01	2	2.322E-01	4.643E-01	4.875E-01	5.119E-01	5.644E-01
1.1	2.63E-01	0.8490	7.2E-01	4	1.894E-01	7.575E-01	8.332E-01	9.165E-01	1.109E+00
1.15	2.16E-01	0.8480	7.2E-01	2	1.557E-01	3.113E-01	3.580E-01	4.117E-01	5.445E-01
1.2	1.79E-01	0.8500	7.2E-01	4	1.294E-01	5.175E-01	6.209E-01	7.451E-01	1.073E+00
1.25	1.49E-01	0.8550	7.3E-01	2	1.087E-01	2.175E-01	2.718E-01	3.398E-01	5.309E-01
1.3	1.24E-01	0.8600	7.4E-01	4	9.182E-02	3.673E-01	4.774E-01	6.207E-01	1.049E+00
1.35	1.04E-01	0.8600	7.4E-01	2	7.699E-02	1.540E-01	2.079E-01	2.806E-01	5.115E-01
1.4	8.77E-02	0.8390	7.0E-01	4	6.174E-02	2.470E-01	3.457E-01	4.840E-01	9.487E-01
1.45	7.42E-02	0.7640	5.8E-01	2	4.333E-02	8.667E-02	1.257E-01	1.822E-01	3.831E-01
1.5	6.31E-02	0.6280	3.9E-01	4	2.490E-02	9.959E-02	1.494E-01	2.241E-01	5.042E-01
1.55	5.39E-02	0.4420	2.0E-01	2	1.053E-02	2.107E-02	3.266E-02	5.062E-02	1.216E-01
1.6	4.63E-02	0.2830	8.0E-02	4	3.704E-03	1.482E-02	2.371E-02	3.793E-02	9.710E-02

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	0.1530	2.3E-02	2	9.325E-04	1.865E-03	3.077E-03	5.078E-03	1.382E-02
1.7	3.44E-02	0.0670	4.5E-03	4	1.546E-04	6.185E-04	1.051E-03	1.788E-03	5.166E-03
1.75	2.99E-02	0.0160	2.6E-04	2	7.654E-06	1.531E-05	2.679E-05	4.688E-05	1.436E-04
1.8	2.60E-02	0.0330	1.1E-03	4	2.837E-05	1.135E-04	2.042E-04	3.676E-04	1.191E-03
1.85	2.28E-02	0.0520	2.7E-03	2	6.157E-05	1.231E-04	2.278E-04	4.215E-04	1.442E-03
1.9	2.00E-02	0.0630	4.0E-03	4	7.927E-05	3.171E-04	6.024E-04	1.145E-03	4.132E-03
1.95	1.76E-02	0.0670	4.5E-03	2	7.889E-05	1.578E-04	3.077E-04	5.999E-04	2.281E-03
2	1.55E-02	0.0680	4.6E-03	4	7.172E-05	2.869E-04	5.738E-04	1.148E-03	4.590E-03
2.05	1.37E-02	0.0640	4.1E-03	1	5.624E-05	5.624E-05	1.153E-04	2.363E-04	9.932E-04
					2.28E+01	1.82E+01	1.56E+01	1.42E+01	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.3800409 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.3034914 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.2599733 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.2373133 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 7.8680 & s \\
 T_p &= 6.5763 & s \\
 T_z &= 7.5968 & s \\
 \omega_0 &= 0.7986 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.9554 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.8271 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.2329 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.7706 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.5658 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 3.9041 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - HEAVE (90°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	4.73E-201	0.9980	1.0E+00	2	4.715E-201	9.430E-201	1.415E-201	2.122E-202	4.774E-204
0.2	4.19E-62	0.9960	9.9E-01	4	4.157E-62	1.663E-61	3.326E-62	6.651E-63	2.660E-64
0.25	1.90E-24	0.9930	9.9E-01	2	1.873E-24	3.746E-24	9.364E-25	2.341E-25	1.463E-26
0.3	3.83E-11	0.9890	9.8E-01	4	3.742E-11	1.497E-10	4.491E-11	1.347E-11	1.212E-12
0.35	1.32E-05	0.9840	9.7E-01	2	1.279E-05	2.558E-05	8.953E-06	3.133E-06	3.838E-07
0.4	4.80E-03	0.9770	9.5E-01	4	4.582E-03	1.833E-02	7.331E-03	2.933E-03	4.692E-04
0.45	8.76E-02	0.9700	9.4E-01	2	8.241E-02	1.648E-01	7.417E-02	3.338E-02	6.759E-03
0.5	3.81E-01	0.9620	9.3E-01	4	3.523E-01	1.409E+00	7.045E-01	3.523E-01	8.807E-02
0.55	7.90E-01	0.9530	9.1E-01	2	7.178E-01	1.436E+00	7.895E-01	4.342E-01	1.314E-01
0.6	1.10E+00	0.9430	8.9E-01	4	9.770E-01	3.908E+00	2.345E+00	1.407E+00	5.065E-01
0.65	1.22E+00	0.9320	8.7E-01	2	1.058E+00	2.116E+00	1.375E+00	8.938E-01	3.776E-01
0.7	1.18E+00	0.9210	8.5E-01	4	1.004E+00	4.016E+00	2.811E+00	1.968E+00	9.642E-01
0.75	1.06E+00	0.9090	8.3E-01	2	8.797E-01	1.759E+00	1.320E+00	9.896E-01	5.567E-01
0.8	9.15E-01	0.8970	8.0E-01	4	7.362E-01	2.945E+00	2.356E+00	1.885E+00	1.206E+00
0.85	7.66E-01	0.8860	7.8E-01	2	6.011E-01	1.202E+00	1.022E+00	8.686E-01	6.276E-01
0.9	6.32E-01	0.8760	7.7E-01	4	4.847E-01	1.939E+00	1.745E+00	1.570E+00	1.272E+00
0.95	5.17E-01	0.8660	7.5E-01	2	3.879E-01	7.758E-01	7.370E-01	7.001E-01	6.319E-01
1	4.22E-01	0.8580	7.4E-01	4	3.110E-01	1.244E+00	1.244E+00	1.244E+00	1.244E+00
1.05	3.45E-01	0.8520	7.3E-01	2	2.507E-01	5.013E-01	5.264E-01	5.527E-01	6.093E-01
1.1	2.83E-01	0.8490	7.2E-01	4	2.039E-01	8.156E-01	8.972E-01	9.869E-01	1.194E+00
1.15	2.33E-01	0.8480	7.2E-01	2	1.673E-01	3.345E-01	3.847E-01	4.424E-01	5.851E-01
1.2	1.92E-01	0.8500	7.2E-01	4	1.388E-01	5.550E-01	6.661E-01	7.993E-01	1.151E+00
1.25	1.59E-01	0.8550	7.3E-01	2	1.165E-01	2.329E-01	2.912E-01	3.640E-01	5.687E-01
1.3	1.33E-01	0.8600	7.4E-01	4	9.824E-02	3.929E-01	5.108E-01	6.641E-01	1.122E+00
1.35	1.11E-01	0.8600	7.4E-01	2	8.230E-02	1.646E-01	2.222E-01	3.000E-01	5.467E-01
1.4	9.37E-02	0.8390	7.0E-01	4	6.594E-02	2.638E-01	3.693E-01	5.170E-01	1.013E+00
1.45	7.92E-02	0.7640	5.8E-01	2	4.625E-02	9.251E-02	1.341E-01	1.945E-01	4.089E-01
1.5	6.73E-02	0.6280	3.9E-01	4	2.656E-02	1.062E-01	1.594E-01	2.390E-01	5.378E-01
1.55	5.75E-02	0.4420	2.0E-01	2	1.123E-02	2.246E-02	3.482E-02	5.397E-02	1.297E-01
1.6	4.93E-02	0.2830	8.0E-02	4	3.948E-03	1.579E-02	2.527E-02	4.043E-02	1.035E-01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	0.1530	2.3E-02	2	9.936E-04	1.987E-03	3.279E-03	5.410E-03	1.473E-02
1.7	3.67E-02	0.0670	4.5E-03	4	1.647E-04	6.588E-04	1.120E-03	1.904E-03	5.503E-03
1.75	3.18E-02	0.0160	2.6E-04	2	8.151E-06	1.630E-05	2.853E-05	4.992E-05	1.529E-04
1.8	2.77E-02	0.0330	1.1E-03	4	3.020E-05	1.208E-04	2.174E-04	3.914E-04	1.268E-03
1.85	2.42E-02	0.0520	2.7E-03	2	6.554E-05	1.311E-04	2.425E-04	4.486E-04	1.535E-03
1.9	2.13E-02	0.0630	4.0E-03	4	8.437E-05	3.375E-04	6.412E-04	1.218E-03	4.398E-03
1.95	1.87E-02	0.0670	4.5E-03	2	8.395E-05	1.679E-04	3.274E-04	6.384E-04	2.428E-03
2	1.65E-02	0.0680	4.6E-03	4	7.631E-05	3.052E-04	6.105E-04	1.221E-03	4.884E-03
2.05	1.46E-02	0.0640	4.1E-03	1	5.983E-05	5.983E-05	1.227E-04	2.514E-04	1.057E-03
					2.64E+01	2.08E+01	1.75E+01	1.56E+01	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.4405573 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.3459586 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.2919060 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.2603272 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.0013 & s \\
 T_p &= 6.6534 & s \\
 T_z &= 7.7190 & s \\
 \omega_0 &= 0.7853 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.9444 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.8140 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.3275 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.8297 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.6859 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 4.2018 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - HEAVE (90°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (m ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(m ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [m ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	1	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.1	0.000E+00	1.0000	1.0E+00	4	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00
0.15	6.13E-195	0.9980	1.0E+00	2	6.110E-195	1.222E-194	1.833E-195	2.750E-196	6.187E-198
0.2	3.66E-60	0.9960	9.9E-01	4	3.630E-60	1.452E-59	2.904E-60	5.808E-61	2.323E-62
0.25	1.20E-23	0.9930	9.9E-01	2	1.185E-23	2.370E-23	5.924E-24	1.481E-24	9.256E-26
0.3	9.43E-11	0.9890	9.8E-01	4	9.222E-11	3.689E-10	1.107E-10	3.320E-11	2.988E-12
0.35	2.17E-05	0.9840	9.7E-01	2	2.104E-05	4.208E-05	1.473E-05	5.154E-06	6.314E-07
0.4	6.49E-03	0.9770	9.5E-01	4	6.195E-03	2.478E-02	9.912E-03	3.965E-03	6.343E-04
0.45	1.07E-01	0.9700	9.4E-01	2	1.004E-01	2.008E-01	9.034E-02	4.065E-02	8.232E-03
0.5	4.37E-01	0.9620	9.3E-01	4	4.042E-01	1.617E+00	8.084E-01	4.042E-01	1.011E-01
0.55	8.75E-01	0.9530	9.1E-01	2	7.944E-01	1.589E+00	8.738E-01	4.806E-01	1.454E-01
0.6	1.19E+00	0.9430	8.9E-01	4	1.057E+00	4.228E+00	2.537E+00	1.522E+00	5.479E-01
0.65	1.30E+00	0.9320	8.7E-01	2	1.127E+00	2.254E+00	1.465E+00	9.525E-01	4.024E-01
0.7	1.25E+00	0.9210	8.5E-01	4	1.059E+00	4.236E+00	2.965E+00	2.076E+00	1.017E+00
0.75	1.11E+00	0.9090	8.3E-01	2	9.213E-01	1.843E+00	1.382E+00	1.036E+00	5.830E-01
0.8	9.53E-01	0.8970	8.0E-01	4	7.670E-01	3.068E+00	2.454E+00	1.964E+00	1.257E+00
0.85	7.95E-01	0.8860	7.8E-01	2	6.240E-01	1.248E+00	1.061E+00	9.016E-01	6.514E-01
0.9	6.54E-01	0.8760	7.7E-01	4	5.017E-01	2.007E+00	1.806E+00	1.625E+00	1.317E+00
0.95	5.34E-01	0.8660	7.5E-01	2	4.007E-01	8.013E-01	7.613E-01	7.232E-01	6.527E-01
1	4.36E-01	0.8580	7.4E-01	4	3.208E-01	1.283E+00	1.283E+00	1.283E+00	1.283E+00
1.05	3.56E-01	0.8520	7.3E-01	2	2.582E-01	5.163E-01	5.422E-01	5.693E-01	6.276E-01
1.1	2.91E-01	0.8490	7.2E-01	4	2.098E-01	8.393E-01	9.232E-01	1.016E+00	1.229E+00
1.15	2.39E-01	0.8480	7.2E-01	2	1.720E-01	3.439E-01	3.955E-01	4.549E-01	6.015E-01
1.2	1.97E-01	0.8500	7.2E-01	4	1.426E-01	5.703E-01	6.844E-01	8.212E-01	1.183E+00
1.25	1.64E-01	0.8550	7.3E-01	2	1.196E-01	2.392E-01	2.990E-01	3.738E-01	5.841E-01
1.3	1.36E-01	0.8600	7.4E-01	4	1.008E-01	4.034E-01	5.244E-01	6.817E-01	1.152E+00
1.35	1.14E-01	0.8600	7.4E-01	2	8.445E-02	1.689E-01	2.280E-01	3.078E-01	5.610E-01
1.4	9.61E-02	0.8390	7.0E-01	4	6.765E-02	2.706E-01	3.788E-01	5.304E-01	1.040E+00
1.45	8.13E-02	0.7640	5.8E-01	2	4.744E-02	9.488E-02	1.376E-01	1.995E-01	4.194E-01
1.5	6.91E-02	0.6280	3.9E-01	4	2.724E-02	1.089E-01	1.634E-01	2.451E-01	5.515E-01
1.55	5.89E-02	0.4420	2.0E-01	2	1.152E-02	2.303E-02	3.570E-02	5.533E-02	1.329E-01
1.6	5.05E-02	0.2830	8.0E-02	4	4.047E-03	1.619E-02	2.590E-02	4.144E-02	1.061E-01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	0.1530	2.3E-02	2	1.018E-03	2.037E-03	3.361E-03	5.545E-03	1.510E-02
1.7	3.76E-02	0.0670	4.5E-03	4	1.688E-04	6.752E-04	1.148E-03	1.951E-03	5.639E-03
1.75	3.26E-02	0.0160	2.6E-04	2	8.353E-06	1.671E-05	2.923E-05	5.116E-05	1.567E-04
1.8	2.84E-02	0.0330	1.1E-03	4	3.094E-05	1.238E-04	2.228E-04	4.010E-04	1.299E-03
1.85	2.48E-02	0.0520	2.7E-03	2	6.715E-05	1.343E-04	2.485E-04	4.597E-04	1.573E-03
1.9	2.18E-02	0.0630	4.0E-03	4	8.644E-05	3.457E-04	6.569E-04	1.248E-03	4.506E-03
1.95	1.92E-02	0.0670	4.5E-03	2	8.600E-05	1.720E-04	3.354E-04	6.541E-04	2.487E-03
2	1.69E-02	0.0680	4.6E-03	4	7.818E-05	3.127E-04	6.254E-04	1.251E-03	5.003E-03
2.05	1.50E-02	0.0640	4.1E-03	1	6.129E-05	6.129E-05	1.256E-04	2.576E-04	1.082E-03
					2.80E+01	2.18E+01	1.83E+01	1.62E+01	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 0.4666219 & m^2 \\
 m_{r1} &= 0.3640282 & m^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 0.3053398 & m^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 0.2698336 & m^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 8.0540 & s \\
 T_p &= 6.6838 & s \\
 T_z &= 7.7673 & s \\
 \omega_0 &= 0.7801 & \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 0.9401 & \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 0.8089 & \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 1.3662 & m \\
 \zeta_{zav} &= 0.8539 & m \\
 \zeta_{z1/10} &= 1.7351 & m \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 4.3237 & m
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - ROLL

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - ROLL (90°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ²)/(rad/s)]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ²)/(rad/s)]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0720	5.2E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.1670	2.8E-02	2	3.596E-219	7.193E-219	1.079E-219	1.618E-220	3.641E-222
0.2	2.31E-67	0.3130	9.8E-02	4	2.260E-68	9.039E-68	1.808E-68	3.616E-69	1.446E-70
0.25	1.28E-26	0.5510	3.0E-01	2	3.900E-27	7.801E-27	1.950E-27	4.875E-28	3.047E-29
0.3	3.33E-12	1.0240	1.0E+00	4	3.494E-12	1.397E-11	4.192E-12	1.258E-12	1.132E-13
0.35	3.44E-06	0.5830	3.4E-01	2	1.169E-06	2.338E-06	8.183E-07	2.864E-07	3.509E-08
0.4	2.13E-03	0.4460	2.0E-01	4	4.231E-04	1.693E-03	6.770E-04	2.708E-04	4.333E-05
0.45	5.15E-02	0.8160	6.7E-01	2	3.430E-02	6.859E-02	3.087E-02	1.389E-02	2.813E-03
0.5	2.63E-01	1.1240	1.3E+00	4	3.324E-01	1.330E+00	6.648E-01	3.324E-01	8.310E-02
0.55	6.02E-01	1.4290	2.0E+00	2	1.230E+00	2.460E+00	1.353E+00	7.442E-01	2.251E-01
0.6	8.91E-01	1.7390	3.0E+00	4	2.694E+00	1.078E+01	6.466E+00	3.880E+00	1.397E+00
0.65	1.03E+00	2.0580	4.2E+00	2	4.357E+00	8.713E+00	5.664E+00	3.681E+00	1.555E+00
0.7	1.03E+00	2.3880	5.7E+00	4	5.861E+00	2.344E+01	1.641E+01	1.149E+01	5.629E+00
0.75	9.43E-01	2.7290	7.4E+00	2	7.020E+00	1.404E+01	1.053E+01	7.897E+00	4.442E+00
0.8	8.21E-01	3.0800	9.5E+00	4	7.792E+00	3.117E+01	2.493E+01	1.995E+01	1.277E+01
0.85	6.94E-01	3.4280	1.2E+01	2	8.160E+00	1.632E+01	1.387E+01	1.179E+01	8.519E+00
0.9	5.77E-01	3.7780	1.4E+01	4	8.237E+00	3.295E+01	2.965E+01	2.669E+01	2.162E+01
0.95	4.75E-01	4.1280	1.7E+01	2	8.099E+00	1.620E+01	1.539E+01	1.462E+01	1.319E+01
1	3.90E-01	4.4690	2.0E+01	4	7.788E+00	3.115E+01	3.115E+01	3.115E+01	3.115E+01
1.05	3.20E-01	4.8020	2.3E+01	2	7.375E+00	1.475E+01	1.549E+01	1.626E+01	1.793E+01
1.1	2.63E-01	5.1040	2.6E+01	4	6.844E+00	2.738E+01	3.011E+01	3.312E+01	4.008E+01
1.15	2.16E-01	5.3930	2.9E+01	2	6.296E+00	1.259E+01	1.448E+01	1.665E+01	2.202E+01
1.2	1.79E-01	5.6610	3.2E+01	4	5.738E+00	2.295E+01	2.754E+01	3.305E+01	4.759E+01
1.25	1.49E-01	5.9090	3.5E+01	2	5.194E+00	1.039E+01	1.298E+01	1.623E+01	2.536E+01
1.3	1.24E-01	6.1560	3.8E+01	4	4.705E+00	1.882E+01	2.446E+01	3.180E+01	5.375E+01
1.35	1.04E-01	6.3800	4.1E+01	2	4.237E+00	8.475E+00	1.144E+01	1.545E+01	2.815E+01
1.4	8.77E-02	6.5710	4.3E+01	4	3.787E+00	1.515E+01	2.121E+01	2.969E+01	5.819E+01
1.45	7.42E-02	6.7730	4.6E+01	2	3.406E+00	6.811E+00	9.877E+00	1.432E+01	3.011E+01
1.5	6.31E-02	6.9470	4.8E+01	4	3.047E+00	1.219E+01	1.828E+01	2.742E+01	6.170E+01
1.55	5.39E-02	7.1170	5.1E+01	2	2.731E+00	5.462E+00	8.466E+00	1.312E+01	3.153E+01
1.6	4.63E-02	7.2410	5.2E+01	4	2.425E+00	9.700E+00	1.552E+01	2.483E+01	6.357E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	7.3320	5.4E+01	2	2.141E+00	4.283E+00	7.067E+00	1.166E+01	3.175E+01
1.7	3.44E-02	7.3190	5.4E+01	4	1.845E+00	7.381E+00	1.255E+01	2.133E+01	6.165E+01
1.75	2.99E-02	7.0900	5.0E+01	2	1.503E+00	3.006E+00	5.260E+00	9.206E+00	2.819E+01
1.8	2.60E-02	6.4620	4.2E+01	4	1.088E+00	4.351E+00	7.831E+00	1.410E+01	4.567E+01
1.85	2.28E-02	5.5140	3.0E+01	2	6.923E-01	1.385E+00	2.562E+00	4.739E+00	1.622E+01
1.9	2.00E-02	3.9610	1.6E+01	4	3.134E-01	1.253E+00	2.381E+00	4.525E+00	1.633E+01
1.95	1.76E-02	2.4640	6.1E+00	2	1.067E-01	2.134E-01	4.161E-01	8.114E-01	3.085E+00
2	1.55E-02	1.3720	1.9E+00	4	2.920E-02	1.168E-01	2.336E-01	4.672E-01	1.869E+00
2.05	1.37E-02	0.5600	3.1E-01	1	4.306E-03	4.306E-03	8.827E-03	1.809E-02	7.604E-02
					3.75E+02	4.04E+02	4.71E+02	7.85E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 6.2545374 \quad \text{deg}^2 \\
 m_{r1} &= 6.7381863 \quad \text{m}^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 7.8507234 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 13.0900067 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 5.8322 \quad \text{s} \\
 T_p &= 4.8659 \quad \text{s} \\
 T_z &= 5.6082 \quad \text{s} \\
 \omega_0 &= 1.0773 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 1.2913 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 1.1204 \quad \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 5.0018 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{zav} &= 3.1261 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{z1/10} &= 6.3523 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 15.9576 \quad \text{deg}
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - ROLL (90°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0720	5.2E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.1670	2.8E-02	2	1.320E-202	2.641E-202	3.961E-203	5.941E-204	1.337E-205
0.2	4.19E-62	0.3130	9.8E-02	4	4.105E-63	1.642E-62	3.284E-63	6.569E-64	2.627E-65
0.25	1.90E-24	0.5510	3.0E-01	2	5.766E-25	1.153E-24	2.883E-25	7.208E-26	4.505E-27
0.3	3.83E-11	1.0240	1.0E+00	4	4.012E-11	1.605E-10	4.814E-11	1.444E-11	1.300E-12
0.35	1.32E-05	0.5830	3.4E-01	2	4.489E-06	8.979E-06	3.143E-06	1.100E-06	1.347E-07
0.4	4.80E-03	0.4460	2.0E-01	4	9.549E-04	3.819E-03	1.528E-03	6.111E-04	9.778E-05
0.45	8.76E-02	0.8160	6.7E-01	2	5.832E-02	1.166E-01	5.249E-02	2.362E-02	4.783E-03
0.5	3.81E-01	1.1240	1.3E+00	4	4.809E-01	1.924E+00	9.618E-01	4.809E-01	1.202E-01
0.55	7.90E-01	1.4290	2.0E+00	2	1.614E+00	3.228E+00	1.775E+00	9.764E-01	2.954E-01
0.6	1.10E+00	1.7390	3.0E+00	4	3.323E+00	1.329E+01	7.974E+00	4.784E+00	1.722E+00
0.65	1.22E+00	2.0580	4.2E+00	2	5.158E+00	1.032E+01	6.705E+00	4.358E+00	1.841E+00
0.7	1.18E+00	2.3880	5.7E+00	4	6.749E+00	2.700E+01	1.890E+01	1.323E+01	6.482E+00
0.75	1.06E+00	2.7290	7.4E+00	2	7.929E+00	1.586E+01	1.189E+01	8.920E+00	5.017E+00
0.8	9.15E-01	3.0800	9.5E+00	4	8.679E+00	3.472E+01	2.777E+01	2.222E+01	1.422E+01
0.85	7.66E-01	3.4280	1.2E+01	2	8.998E+00	1.800E+01	1.530E+01	1.300E+01	9.394E+00
0.9	6.32E-01	3.7780	1.4E+01	4	9.015E+00	3.606E+01	3.245E+01	2.921E+01	2.366E+01
0.95	5.17E-01	4.1280	1.7E+01	2	8.813E+00	1.763E+01	1.675E+01	1.591E+01	1.436E+01
1	4.22E-01	4.4690	2.0E+01	4	8.438E+00	3.375E+01	3.375E+01	3.375E+01	3.375E+01
1.05	3.45E-01	4.8020	2.3E+01	2	7.962E+00	1.592E+01	1.672E+01	1.756E+01	1.936E+01
1.1	2.83E-01	5.1040	2.6E+01	4	7.370E+00	2.948E+01	3.243E+01	3.567E+01	4.316E+01
1.15	2.33E-01	5.3930	2.9E+01	2	6.765E+00	1.353E+01	1.556E+01	1.789E+01	2.366E+01
1.2	1.92E-01	5.6610	3.2E+01	4	6.155E+00	2.462E+01	2.954E+01	3.545E+01	5.105E+01
1.25	1.59E-01	5.9090	3.5E+01	2	5.563E+00	1.113E+01	1.391E+01	1.738E+01	2.716E+01
1.3	1.33E-01	6.1560	3.8E+01	4	5.034E+00	2.013E+01	2.617E+01	3.403E+01	5.751E+01
1.35	1.11E-01	6.3800	4.1E+01	2	4.529E+00	9.059E+00	1.223E+01	1.651E+01	3.009E+01
1.4	9.37E-02	6.5710	4.3E+01	4	4.045E+00	1.618E+01	2.265E+01	3.171E+01	6.215E+01
1.45	7.92E-02	6.7730	4.6E+01	2	3.635E+00	7.270E+00	1.054E+01	1.529E+01	3.214E+01
1.5	6.73E-02	6.9470	4.8E+01	4	3.250E+00	1.300E+01	1.950E+01	2.925E+01	6.582E+01
1.55	5.75E-02	7.1170	5.1E+01	2	2.912E+00	5.824E+00	9.028E+00	1.399E+01	3.362E+01
1.6	4.93E-02	7.2410	5.2E+01	4	2.585E+00	1.034E+01	1.654E+01	2.647E+01	6.776E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	7.3320	5.4E+01	2	2.282E+00	4.563E+00	7.530E+00	1.242E+01	3.382E+01
1.7	3.67E-02	7.3190	5.4E+01	4	1.965E+00	7.862E+00	1.337E+01	2.272E+01	6.566E+01
1.75	3.18E-02	7.0900	5.0E+01	2	1.601E+00	3.201E+00	5.602E+00	9.803E+00	3.002E+01
1.8	2.77E-02	6.4620	4.2E+01	4	1.158E+00	4.632E+00	8.338E+00	1.501E+01	4.862E+01
1.85	2.42E-02	5.5140	3.0E+01	2	7.369E-01	1.474E+00	2.727E+00	5.044E+00	1.726E+01
1.9	2.13E-02	3.9610	1.6E+01	4	3.335E-01	1.334E+00	2.535E+00	4.816E+00	1.738E+01
1.95	1.87E-02	2.4640	6.1E+00	2	1.135E-01	2.271E-01	4.428E-01	8.635E-01	3.283E+00
2	1.65E-02	1.3720	1.9E+00	4	3.107E-02	1.243E-01	2.485E-01	4.971E-01	1.988E+00
2.05	1.46E-02	0.5600	3.1E-01	1	4.581E-03	4.581E-03	9.391E-03	1.925E-02	8.090E-02
					4.12E+02	4.40E+02	5.09E+02	8.42E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$\begin{aligned}
 m_{r0} &= 6.8631713 \quad \text{deg}^2 \\
 m_{r1} &= 7.3317228 \quad \text{m}^2(\text{rad/s}) \\
 m_{r2} &= 8.4876291 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2) \\
 m_{r4} &= 14.0411783 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 5.8816 \quad \text{s} \\
 T_p &= 4.8851 \quad \text{s} \\
 T_z &= 5.6500 \quad \text{s} \\
 \omega_0 &= 1.0683 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_p &= 1.2862 \quad \text{rad/s} \\
 \omega_z &= 1.1121 \quad \text{rad/s} \\
 \zeta_{zs} &= 5.2395 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{zav} &= 3.2747 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{z1/10} &= 6.6542 \quad \text{deg} \\
 \zeta_{zext(\alpha=0.01)} &= 16.7130 \quad \text{deg}
 \end{aligned}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - ROLL (90°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0720	5.2E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.1670	2.8E-02	2	1.711E-196	3.422E-196	5.133E-197	7.699E-198	1.732E-199
0.2	3.66E-60	0.3130	9.8E-02	4	3.585E-61	1.434E-60	2.868E-61	5.735E-62	2.294E-63
0.25	1.20E-23	0.5510	3.0E-01	2	3.648E-24	7.296E-24	1.824E-24	4.560E-25	2.850E-26
0.3	9.43E-11	1.0240	1.0E+00	4	9.886E-11	3.954E-10	1.186E-10	3.559E-11	3.203E-12
0.35	2.17E-05	0.5830	3.4E-01	2	7.385E-06	1.477E-05	5.170E-06	1.809E-06	2.216E-07
0.4	6.49E-03	0.4460	2.0E-01	4	1.291E-03	5.164E-03	2.066E-03	8.262E-04	1.322E-04
0.45	1.07E-01	0.8160	6.7E-01	2	7.103E-02	1.421E-01	6.393E-02	2.877E-02	5.826E-03
0.5	4.37E-01	1.1240	1.3E+00	4	5.518E-01	2.207E+00	1.104E+00	5.518E-01	1.379E-01
0.55	8.75E-01	1.4290	2.0E+00	2	1.786E+00	3.572E+00	1.965E+00	1.081E+00	3.269E-01
0.6	1.19E+00	1.7390	3.0E+00	4	3.594E+00	1.438E+01	8.626E+00	5.176E+00	1.863E+00
0.65	1.30E+00	2.0580	4.2E+00	2	5.496E+00	1.099E+01	7.145E+00	4.644E+00	1.962E+00
0.7	1.25E+00	2.3880	5.7E+00	4	7.119E+00	2.848E+01	1.993E+01	1.395E+01	6.837E+00
0.75	1.11E+00	2.7290	7.4E+00	2	8.303E+00	1.661E+01	1.246E+01	9.341E+00	5.255E+00
0.8	9.53E-01	3.0800	9.5E+00	4	9.043E+00	3.617E+01	2.894E+01	2.315E+01	1.482E+01
0.85	7.95E-01	3.4280	1.2E+01	2	9.340E+00	1.868E+01	1.588E+01	1.350E+01	9.752E+00
0.9	6.54E-01	3.7780	1.4E+01	4	9.332E+00	3.733E+01	3.359E+01	3.023E+01	2.449E+01
0.95	5.34E-01	4.1280	1.7E+01	2	9.104E+00	1.821E+01	1.730E+01	1.643E+01	1.483E+01
1	4.36E-01	4.4690	2.0E+01	4	8.702E+00	3.481E+01	3.481E+01	3.481E+01	3.481E+01
1.05	3.56E-01	4.8020	2.3E+01	2	8.201E+00	1.640E+01	1.722E+01	1.808E+01	1.994E+01
1.1	2.91E-01	5.1040	2.6E+01	4	7.583E+00	3.033E+01	3.337E+01	3.670E+01	4.441E+01
1.15	2.39E-01	5.3930	2.9E+01	2	6.955E+00	1.391E+01	1.600E+01	1.840E+01	2.433E+01
1.2	1.97E-01	5.6610	3.2E+01	4	6.324E+00	2.530E+01	3.036E+01	3.643E+01	5.245E+01
1.25	1.64E-01	5.9090	3.5E+01	2	5.713E+00	1.143E+01	1.428E+01	1.785E+01	2.790E+01
1.3	1.36E-01	6.1560	3.8E+01	4	5.167E+00	2.067E+01	2.687E+01	3.493E+01	5.903E+01
1.35	1.14E-01	6.3800	4.1E+01	2	4.648E+00	9.296E+00	1.255E+01	1.694E+01	3.088E+01
1.4	9.61E-02	6.5710	4.3E+01	4	4.149E+00	1.660E+01	2.324E+01	3.253E+01	6.376E+01
1.45	8.13E-02	6.7730	4.6E+01	2	3.728E+00	7.457E+00	1.081E+01	1.568E+01	3.296E+01
1.5	6.91E-02	6.9470	4.8E+01	4	3.333E+00	1.333E+01	2.000E+01	2.999E+01	6.749E+01
1.55	5.89E-02	7.1170	5.1E+01	2	2.986E+00	5.971E+00	9.255E+00	1.435E+01	3.447E+01
1.6	5.05E-02	7.2410	5.2E+01	4	2.650E+00	1.060E+01	1.696E+01	2.713E+01	6.946E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	7.3320	5.4E+01	2	2.339E+00	4.677E+00	7.718E+00	1.273E+01	3.467E+01
1.7	3.76E-02	7.3190	5.4E+01	4	2.014E+00	8.057E+00	1.370E+01	2.329E+01	6.730E+01
1.75	3.26E-02	7.0900	5.0E+01	2	1.640E+00	3.280E+00	5.741E+00	1.005E+01	3.077E+01
1.8	2.84E-02	6.4620	4.2E+01	4	1.187E+00	4.746E+00	8.543E+00	1.538E+01	4.982E+01
1.85	2.48E-02	5.5140	3.0E+01	2	7.551E-01	1.510E+00	2.794E+00	5.168E+00	1.769E+01
1.9	2.18E-02	3.9610	1.6E+01	4	3.417E-01	1.367E+00	2.597E+00	4.934E+00	1.781E+01
1.95	1.92E-02	2.4640	6.1E+00	2	1.163E-01	2.326E-01	4.536E-01	8.846E-01	3.364E+00
2	1.69E-02	1.3720	1.9E+00	4	3.182E-02	1.273E-01	2.546E-01	5.092E-01	2.037E+00
2.05	1.50E-02	0.5600	3.1E-01	1	4.692E-03	4.692E-03	9.620E-03	1.972E-02	8.287E-02
					4.27E+02	4.55E+02	5.25E+02	8.66E+02	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$m_{r0} = 7.1144038 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 7.5752886 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 8.7478990 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 14.4281952 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.9009 \text{ s}$$

$$T_p = 4.8924 \text{ s}$$

$$T_z = 5.6663 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 1.0648 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 1.2843 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1089 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 5.3346 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 3.3341 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 6.7749 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 17.0149 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - PITCH

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - PITCH (180°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	S(ω) [(m ² /(rad/s))]	RAO	RAO ² (deg ² /m ²)	SM	S _r (ω) [(dg ² /(rad/s))]	S _r (ω)xSM [(dg ² /(rad/s))]	ωxS _r (ω)xSM (m ²)	ω ² xS _r (ω)xSM [deg ² (rad/s)]	ω ⁴ xS _r (ω)xSM [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0710	5.0E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.1650	2.7E-02	2	3.511E-219	7.021E-219	1.053E-219	1.580E-220	3.555E-222
0.2	2.31E-67	0.3080	9.5E-02	4	2.188E-68	8.753E-68	1.751E-68	3.501E-69	1.400E-70
0.25	1.28E-26	0.5430	2.9E-01	2	3.788E-27	7.576E-27	1.894E-27	4.735E-28	2.959E-29
0.3	3.33E-12	1.1710	1.4E+00	4	4.569E-12	1.827E-11	5.482E-12	1.645E-12	1.480E-13
0.35	3.44E-06	0.3190	1.0E-01	2	3.500E-07	7.000E-07	2.450E-07	8.575E-08	1.050E-08
0.4	2.13E-03	0.5800	3.4E-01	4	7.156E-04	2.862E-03	1.145E-03	4.580E-04	7.328E-05
0.45	5.15E-02	0.8990	8.1E-01	2	4.163E-02	8.326E-02	3.746E-02	1.686E-02	3.414E-03
0.5	2.63E-01	1.1930	1.4E+00	4	3.745E-01	1.498E+00	7.490E-01	3.745E-01	9.362E-02
0.55	6.02E-01	1.4960	2.2E+00	2	1.348E+00	2.696E+00	1.483E+00	8.156E-01	2.467E-01
0.6	8.91E-01	1.8080	3.3E+00	4	2.912E+00	1.165E+01	6.990E+00	4.194E+00	1.510E+00
0.65	1.03E+00	2.1310	4.5E+00	2	4.671E+00	9.342E+00	6.072E+00	3.947E+00	1.668E+00
0.7	1.03E+00	2.4690	6.1E+00	4	6.265E+00	2.506E+01	1.754E+01	1.228E+01	6.017E+00
0.75	9.43E-01	2.8190	7.9E+00	2	7.490E+00	1.498E+01	1.124E+01	8.427E+00	4.740E+00
0.8	8.21E-01	3.1830	1.0E+01	4	8.321E+00	3.329E+01	2.663E+01	2.130E+01	1.363E+01
0.85	6.94E-01	3.5470	1.3E+01	2	8.737E+00	1.747E+01	1.485E+01	1.262E+01	9.121E+00
0.9	5.77E-01	3.9150	1.5E+01	4	8.845E+00	3.538E+01	3.184E+01	2.866E+01	2.321E+01
0.95	4.75E-01	4.2860	1.8E+01	2	8.731E+00	1.746E+01	1.659E+01	1.576E+01	1.422E+01
1	3.90E-01	4.6510	2.2E+01	4	8.436E+00	3.374E+01	3.374E+01	3.374E+01	3.374E+01
1.05	3.20E-01	5.0120	2.5E+01	2	8.034E+00	1.607E+01	1.687E+01	1.771E+01	1.953E+01
1.1	2.63E-01	5.3600	2.9E+01	4	7.548E+00	3.019E+01	3.321E+01	3.653E+01	4.420E+01
1.15	2.16E-01	5.7030	3.3E+01	2	7.040E+00	1.408E+01	1.619E+01	1.862E+01	2.463E+01
1.2	1.79E-01	6.0200	3.6E+01	4	6.489E+00	2.596E+01	3.115E+01	3.738E+01	5.382E+01
1.25	1.49E-01	6.3380	4.0E+01	2	5.975E+00	1.195E+01	1.494E+01	1.867E+01	2.918E+01
1.3	1.24E-01	6.6550	4.4E+01	4	5.498E+00	2.199E+01	2.859E+01	3.717E+01	6.281E+01
1.35	1.04E-01	6.9550	4.8E+01	2	5.036E+00	1.007E+01	1.360E+01	1.835E+01	3.345E+01
1.4	8.77E-02	7.2410	5.2E+01	4	4.599E+00	1.839E+01	2.575E+01	3.605E+01	7.067E+01
1.45	7.42E-02	7.5460	5.7E+01	2	4.227E+00	8.455E+00	1.226E+01	1.778E+01	3.738E+01
1.5	6.31E-02	7.8110	6.1E+01	4	3.852E+00	1.541E+01	2.311E+01	3.467E+01	7.800E+01
1.55	5.39E-02	8.0780	6.5E+01	2	3.518E+00	7.037E+00	1.091E+01	1.691E+01	4.062E+01
1.6	4.63E-02	8.3040	6.9E+01	4	3.189E+00	1.276E+01	2.041E+01	3.266E+01	8.360E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	8.4410	7.1E+01	2	2.838E+00	5.677E+00	9.366E+00	1.545E+01	4.207E+01
1.7	3.44E-02	8.3180	6.9E+01	4	2.383E+00	9.533E+00	1.621E+01	2.755E+01	7.962E+01
1.75	2.99E-02	7.6700	5.9E+01	2	1.759E+00	3.518E+00	6.156E+00	1.077E+01	3.299E+01
1.8	2.60E-02	6.4350	4.1E+01	4	1.079E+00	4.314E+00	7.766E+00	1.398E+01	4.529E+01
1.85	2.28E-02	4.9330	2.4E+01	2	5.541E-01	1.108E+00	2.050E+00	3.793E+00	1.298E+01
1.9	2.00E-02	3.3850	1.1E+01	4	2.288E-01	9.154E-01	1.739E+00	3.305E+00	1.193E+01
1.95	1.76E-02	2.0400	4.2E+00	2	7.313E-02	1.463E-01	2.852E-01	5.562E-01	2.115E+00
2	1.55E-02	1.0950	1.2E+00	4	1.860E-02	7.439E-02	1.488E-01	2.976E-01	1.190E+00
2.05	1.37E-02	0.4070	1.7E-01	1	2.274E-03	2.274E-03	4.662E-03	9.558E-03	4.017E-02
					4.20E+02	4.58E+02	5.40E+02	9.14E+02	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$m_{r0} = 7.0051237 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 7.6412678 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 9.0059933 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 15.2388535 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.7601 \text{ s}$$

$$T_p = 4.8302 \text{ s}$$

$$T_z = 5.5414 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 1.0908 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 1.3008 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1339 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 5.2934 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 3.3084 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 6.7227 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 16.8930 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - PITCH (180°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0710	5.0E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.1650	2.7E-02	2	1.289E-202	2.578E-202	3.867E-203	5.800E-204	1.305E-205
0.2	4.19E-62	0.3080	9.5E-02	4	3.975E-63	1.590E-62	3.180E-63	6.360E-64	2.544E-65
0.25	1.90E-24	0.5430	2.9E-01	2	5.600E-25	1.120E-24	2.800E-25	7.000E-26	4.375E-27
0.3	3.83E-11	1.1710	1.4E+00	4	5.246E-11	2.098E-10	6.295E-11	1.889E-11	1.700E-12
0.35	1.32E-05	0.3190	1.0E-01	2	1.344E-06	2.688E-06	9.409E-07	3.293E-07	4.034E-08
0.4	4.80E-03	0.5800	3.4E-01	4	1.615E-03	6.459E-03	2.584E-03	1.033E-03	1.654E-04
0.45	8.76E-02	0.8990	8.1E-01	2	7.079E-02	1.416E-01	6.371E-02	2.867E-02	5.806E-03
0.5	3.81E-01	1.1930	1.4E+00	4	5.418E-01	2.167E+00	1.084E+00	5.418E-01	1.354E-01
0.55	7.90E-01	1.4960	2.2E+00	2	1.769E+00	3.537E+00	1.946E+00	1.070E+00	3.237E-01
0.6	1.10E+00	1.8080	3.3E+00	4	3.591E+00	1.437E+01	8.619E+00	5.172E+00	1.862E+00
0.65	1.22E+00	2.1310	4.5E+00	2	5.530E+00	1.106E+01	7.189E+00	4.673E+00	1.974E+00
0.7	1.18E+00	2.4690	6.1E+00	4	7.215E+00	2.886E+01	2.020E+01	1.414E+01	6.929E+00
0.75	1.06E+00	2.8190	7.9E+00	2	8.460E+00	1.692E+01	1.269E+01	9.518E+00	5.354E+00
0.8	9.15E-01	3.1830	1.0E+01	4	9.269E+00	3.708E+01	2.966E+01	2.373E+01	1.519E+01
0.85	7.66E-01	3.5470	1.3E+01	2	9.634E+00	1.927E+01	1.638E+01	1.392E+01	1.006E+01
0.9	6.32E-01	3.9150	1.5E+01	4	9.680E+00	3.872E+01	3.485E+01	3.136E+01	2.541E+01
0.95	5.17E-01	4.2860	1.8E+01	2	9.501E+00	1.900E+01	1.805E+01	1.715E+01	1.548E+01
1	4.22E-01	4.6510	2.2E+01	4	9.139E+00	3.656E+01	3.656E+01	3.656E+01	3.656E+01
1.05	3.45E-01	5.0120	2.5E+01	2	8.674E+00	1.735E+01	1.822E+01	1.913E+01	2.109E+01
1.1	2.83E-01	5.3600	2.9E+01	4	8.127E+00	3.251E+01	3.576E+01	3.934E+01	4.760E+01
1.15	2.33E-01	5.7030	3.3E+01	2	7.565E+00	1.513E+01	1.740E+01	2.001E+01	2.646E+01
1.2	1.92E-01	6.0200	3.6E+01	4	6.960E+00	2.784E+01	3.341E+01	4.009E+01	5.773E+01
1.25	1.59E-01	6.3380	4.0E+01	2	6.400E+00	1.280E+01	1.600E+01	2.000E+01	3.125E+01
1.3	1.33E-01	6.6550	4.4E+01	4	5.883E+00	2.353E+01	3.059E+01	3.977E+01	6.721E+01
1.35	1.11E-01	6.9550	4.8E+01	2	5.383E+00	1.077E+01	1.453E+01	1.962E+01	3.576E+01
1.4	9.37E-02	7.2410	5.2E+01	4	4.912E+00	1.965E+01	2.751E+01	3.851E+01	7.548E+01
1.45	7.92E-02	7.5460	5.7E+01	2	4.512E+00	9.025E+00	1.309E+01	1.897E+01	3.989E+01
1.5	6.73E-02	7.8110	6.1E+01	4	4.109E+00	1.644E+01	2.465E+01	3.698E+01	8.320E+01
1.55	5.75E-02	8.0780	6.5E+01	2	3.752E+00	7.503E+00	1.163E+01	1.803E+01	4.331E+01
1.6	4.93E-02	8.3040	6.9E+01	4	3.399E+00	1.360E+01	2.176E+01	3.481E+01	8.911E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	8.4410	7.1E+01	2	3.024E+00	6.048E+00	9.980E+00	1.647E+01	4.483E+01
1.7	3.67E-02	8.3180	6.9E+01	4	2.539E+00	1.015E+01	1.726E+01	2.935E+01	8.481E+01
1.75	3.18E-02	7.6700	5.9E+01	2	1.873E+00	3.746E+00	6.556E+00	1.147E+01	3.514E+01
1.8	2.77E-02	6.4350	4.1E+01	4	1.148E+00	4.593E+00	8.268E+00	1.488E+01	4.822E+01
1.85	2.42E-02	4.9330	2.4E+01	2	5.898E-01	1.180E+00	2.182E+00	4.037E+00	1.382E+01
1.9	2.13E-02	3.3850	1.1E+01	4	2.436E-01	9.742E-01	1.851E+00	3.517E+00	1.270E+01
1.95	1.87E-02	2.0400	4.2E+00	2	7.783E-02	1.557E-01	3.035E-01	5.919E-01	2.251E+00
2	1.65E-02	1.0950	1.2E+00	4	1.979E-02	7.915E-02	1.583E-01	3.166E-01	1.266E+00
2.05	1.46E-02	0.4070	1.7E-01	1	2.420E-03	2.420E-03	4.960E-03	1.017E-02	4.273E-02
					4.61E+02	4.98E+02	5.84E+02	9.80E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 7.6791767 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 8.3066423 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 9.7292476 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 16.3403477 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.8086 \text{ s}$$

$$T_p = 4.8483 \text{ s}$$

$$T_z = 5.5821 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 1.0817 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 1.2960 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1256 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 5.5423 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 3.4639 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 7.0387 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 17.6839 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 2.02 m
(100 year period) - PITCH (180°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.000E+00	0.0180	3.2E-04	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.000E+00	0.0710	5.0E-03	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.1650	2.7E-02	2	1.670E-196	3.340E-196	5.011E-197	7.516E-198	1.691E-199
0.2	3.66E-60	0.3080	9.5E-02	4	3.471E-61	1.388E-60	2.777E-61	5.554E-62	2.221E-63
0.25	1.20E-23	0.5430	2.9E-01	2	3.543E-24	7.086E-24	1.771E-24	4.428E-25	2.768E-26
0.3	9.43E-11	1.1710	1.4E+00	4	1.293E-10	5.171E-10	1.551E-10	4.654E-11	4.189E-12
0.35	2.17E-05	0.3190	1.0E-01	2	2.211E-06	4.422E-06	1.548E-06	5.417E-07	6.636E-08
0.4	6.49E-03	0.5800	3.4E-01	4	2.183E-03	8.733E-03	3.493E-03	1.397E-03	2.236E-04
0.45	1.07E-01	0.8990	8.1E-01	2	8.622E-02	1.724E-01	7.760E-02	3.492E-02	7.071E-03
0.5	4.37E-01	1.1930	1.4E+00	4	6.216E-01	2.486E+00	1.243E+00	6.216E-01	1.554E-01
0.55	8.75E-01	1.4960	2.2E+00	2	1.958E+00	3.915E+00	2.153E+00	1.184E+00	3.583E-01
0.6	1.19E+00	1.8080	3.3E+00	4	3.885E+00	1.554E+01	9.324E+00	5.595E+00	2.014E+00
0.65	1.30E+00	2.1310	4.5E+00	2	5.893E+00	1.179E+01	7.661E+00	4.980E+00	2.104E+00
0.7	1.25E+00	2.4690	6.1E+00	4	7.610E+00	3.044E+01	2.131E+01	1.492E+01	7.309E+00
0.75	1.11E+00	2.8190	7.9E+00	2	8.860E+00	1.772E+01	1.329E+01	9.968E+00	5.607E+00
0.8	9.53E-01	3.1830	1.0E+01	4	9.658E+00	3.863E+01	3.091E+01	2.472E+01	1.582E+01
0.85	7.95E-01	3.5470	1.3E+01	2	1.000E+01	2.000E+01	1.700E+01	1.445E+01	1.044E+01
0.9	6.54E-01	3.9150	1.5E+01	4	1.002E+01	4.008E+01	3.607E+01	3.247E+01	2.630E+01
0.95	5.34E-01	4.2860	1.8E+01	2	9.814E+00	1.963E+01	1.865E+01	1.771E+01	1.599E+01
1	4.36E-01	4.6510	2.2E+01	4	9.425E+00	3.770E+01	3.770E+01	3.770E+01	3.770E+01
1.05	3.56E-01	5.0120	2.5E+01	2	8.934E+00	1.787E+01	1.876E+01	1.970E+01	2.172E+01
1.1	2.91E-01	5.3600	2.9E+01	4	8.363E+00	3.345E+01	3.680E+01	4.048E+01	4.898E+01
1.15	2.39E-01	5.7030	3.3E+01	2	7.778E+00	1.556E+01	1.789E+01	2.057E+01	2.721E+01
1.2	1.97E-01	6.0200	3.6E+01	4	7.152E+00	2.861E+01	3.433E+01	4.119E+01	5.932E+01
1.25	1.64E-01	6.3380	4.0E+01	2	6.573E+00	1.315E+01	1.643E+01	2.054E+01	3.209E+01
1.3	1.36E-01	6.6550	4.4E+01	4	6.039E+00	2.415E+01	3.140E+01	4.082E+01	6.899E+01
1.35	1.14E-01	6.9550	4.8E+01	2	5.523E+00	1.105E+01	1.491E+01	2.013E+01	3.669E+01
1.4	9.61E-02	7.2410	5.2E+01	4	5.039E+00	2.016E+01	2.822E+01	3.950E+01	7.743E+01
1.45	8.13E-02	7.5460	5.7E+01	2	4.628E+00	9.256E+00	1.342E+01	1.946E+01	4.092E+01
1.5	6.91E-02	7.8110	6.1E+01	4	4.213E+00	1.685E+01	2.528E+01	3.792E+01	8.532E+01
1.55	5.89E-02	8.0780	6.5E+01	2	3.846E+00	7.693E+00	1.192E+01	1.848E+01	4.440E+01
1.6	5.05E-02	8.3040	6.9E+01	4	3.485E+00	1.394E+01	2.230E+01	3.568E+01	9.135E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	8.4410	7.1E+01	2	3.100E+00	6.199E+00	1.023E+01	1.688E+01	4.595E+01
1.7	3.76E-02	8.3180	6.9E+01	4	2.602E+00	1.041E+01	1.769E+01	3.008E+01	8.692E+01
1.75	3.26E-02	7.6700	5.9E+01	2	1.919E+00	3.839E+00	6.718E+00	1.176E+01	3.601E+01
1.8	2.84E-02	6.4350	4.1E+01	4	1.177E+00	4.707E+00	8.472E+00	1.525E+01	4.941E+01
1.85	2.48E-02	4.9330	2.4E+01	2	6.043E-01	1.209E+00	2.236E+00	4.137E+00	1.416E+01
1.9	2.18E-02	3.3850	1.1E+01	4	2.495E-01	9.981E-01	1.896E+00	3.603E+00	1.301E+01
1.95	1.92E-02	2.0400	4.2E+00	2	7.973E-02	1.595E-01	3.110E-01	6.064E-01	2.306E+00
2	1.69E-02	1.0950	1.2E+00	4	2.027E-02	8.109E-02	1.622E-01	3.243E-01	1.297E+00
2.05	1.50E-02	0.4070	1.7E-01	1	2.479E-03	2.479E-03	5.081E-03	1.042E-02	4.378E-02
					4.77E+02	5.15E+02	6.01E+02	1.01E+03	
					Σ0	Σ1	Σ2	Σ4	

$$m_{r0} = 7.9573461 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 8.5796025 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 10.0247202 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 16.7884704 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.8275 \quad \text{s}$$

$$T_p = 4.8552 \quad \text{s}$$

$$T_z = 5.5979 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 1.0782 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 1.2941 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1224 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 5.6418 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 3.5261 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 7.1650 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 18.0001 \quad \text{deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

WAVE SPECTRUM OF JONSWAP CALCULATION AND THE MOMENTS - YAW

**Calculation for H significant 1.89 m
(10 year period) - YAW (135°)**

$H_s = 1.89 \text{ m}$
 $T_p = 9.33 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6736 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7923$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0052$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.006	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.025	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	1.29E-217	0.056	3.1E-03	2	4.044E-220	8.088E-220	1.213E-220	1.820E-221	4.094E-223
0.2	2.31E-67	0.1	1.0E-02	4	2.307E-69	9.227E-69	1.845E-69	3.691E-70	1.476E-71
0.25	1.28E-26	0.156	2.4E-02	2	3.126E-28	6.253E-28	1.563E-28	3.908E-29	2.443E-30
0.3	3.33E-12	0.224	5.0E-02	4	1.672E-13	6.687E-13	2.006E-13	6.018E-14	5.416E-15
0.35	3.44E-06	0.303	9.2E-02	2	3.158E-07	6.316E-07	2.210E-07	7.737E-08	9.477E-09
0.4	2.13E-03	0.394	1.6E-01	4	3.302E-04	1.321E-03	5.283E-04	2.113E-04	3.381E-05
0.45	5.15E-02	0.495	2.5E-01	2	1.262E-02	2.524E-02	1.136E-02	5.111E-03	1.035E-03
0.5	2.63E-01	0.607	3.7E-01	4	9.695E-02	3.878E-01	1.939E-01	9.695E-02	2.424E-02
0.55	6.02E-01	0.729	5.3E-01	2	3.201E-01	6.403E-01	3.522E-01	1.937E-01	5.859E-02
0.6	8.91E-01	0.859	7.4E-01	4	6.574E-01	2.630E+00	1.578E+00	9.467E-01	3.408E-01
0.65	1.03E+00	0.997	9.9E-01	2	1.022E+00	2.045E+00	1.329E+00	8.640E-01	3.650E-01
0.7	1.03E+00	1.142	1.3E+00	4	1.340E+00	5.362E+00	3.753E+00	2.627E+00	1.287E+00
0.75	9.43E-01	1.293	1.7E+00	2	1.576E+00	3.152E+00	2.364E+00	1.773E+00	9.972E-01
0.8	8.21E-01	1.45	2.1E+00	4	1.727E+00	6.907E+00	5.526E+00	4.421E+00	2.829E+00
0.85	6.94E-01	1.608	2.6E+00	2	1.796E+00	3.591E+00	3.052E+00	2.595E+00	1.875E+00
0.9	5.77E-01	1.768	3.1E+00	4	1.804E+00	7.216E+00	6.494E+00	5.845E+00	4.734E+00
0.95	4.75E-01	1.929	3.7E+00	2	1.769E+00	3.537E+00	3.360E+00	3.192E+00	2.881E+00
1	3.90E-01	2.086	4.4E+00	4	1.697E+00	6.788E+00	6.788E+00	6.788E+00	6.788E+00
1.05	3.20E-01	2.24	5.0E+00	2	1.605E+00	3.209E+00	3.370E+00	3.538E+00	3.901E+00
1.1	2.63E-01	2.386	5.7E+00	4	1.496E+00	5.983E+00	6.581E+00	7.239E+00	8.759E+00
1.15	2.16E-01	2.528	6.4E+00	2	1.383E+00	2.767E+00	3.182E+00	3.659E+00	4.839E+00
1.2	1.79E-01	2.654	7.0E+00	4	1.261E+00	5.045E+00	6.054E+00	7.264E+00	1.046E+01
1.25	1.49E-01	2.774	7.7E+00	2	1.145E+00	2.289E+00	2.862E+00	3.577E+00	5.589E+00
1.3	1.24E-01	2.885	8.3E+00	4	1.033E+00	4.133E+00	5.373E+00	6.985E+00	1.180E+01
1.35	1.04E-01	2.978	8.9E+00	2	9.232E-01	1.846E+00	2.493E+00	3.365E+00	6.133E+00
1.4	8.77E-02	3.052	9.3E+00	4	8.170E-01	3.268E+00	4.575E+00	6.405E+00	1.255E+01
1.45	7.42E-02	3.116	9.7E+00	2	7.208E-01	1.442E+00	2.090E+00	3.031E+00	6.373E+00
1.5	6.31E-02	3.16	1.0E+01	4	6.304E-01	2.522E+00	3.782E+00	5.674E+00	1.277E+01
1.55	5.39E-02	3.187	1.0E+01	2	5.477E-01	1.095E+00	1.698E+00	2.632E+00	6.322E+00
1.6	4.63E-02	3.193	1.0E+01	4	4.715E-01	1.886E+00	3.018E+00	4.829E+00	1.236E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	3.98E-02	3.179	1.0E+01	2	4.026E-01	8.052E-01	1.329E+00	2.192E+00	5.968E+00
1.7	3.44E-02	3.146	9.9E+00	4	3.409E-01	1.364E+00	2.318E+00	3.941E+00	1.139E+01
1.75	2.99E-02	3.09	9.5E+00	2	2.855E-01	5.710E-01	9.992E-01	1.749E+00	5.355E+00
1.8	2.60E-02	3.015	9.1E+00	4	2.368E-01	9.471E-01	1.705E+00	3.069E+00	9.942E+00
1.85	2.28E-02	2.925	8.6E+00	2	1.948E-01	3.896E-01	7.208E-01	1.333E+00	4.564E+00
1.9	2.00E-02	2.813	7.9E+00	4	1.580E-01	6.322E-01	1.201E+00	2.282E+00	8.238E+00
1.95	1.76E-02	2.675	7.2E+00	2	1.258E-01	2.515E-01	4.904E-01	9.563E-01	3.636E+00
2	1.55E-02	2.529	6.4E+00	4	9.920E-02	3.968E-01	7.936E-01	1.587E+00	6.349E+00
2.05	1.37E-02	2.36	5.6E+00	1	7.647E-02	7.647E-02	1.568E-01	3.214E-01	1.351E+00
					8.32E+01	8.96E+01	1.05E+02	1.81E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 1.3866625 \text{ deg}^2$$

$$m_{r1} = 1.4932080 \text{ m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 1.7495804 \text{ deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 3.0139331 \text{ deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.8349 \text{ s}$$

$$T_p = 4.7872 \text{ s}$$

$$T_z = 5.5937 \text{ s}$$

$$\omega_0 = 1.0768 \text{ rad/s}$$

$$\omega_p = 1.3125 \text{ rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1233 \text{ rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 2.3551 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zav} = 1.4720 \text{ deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 2.9910 \text{ deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 7.5142 \text{ deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 1.98 m
(50 year period) - YAW (135°)

$H_s = 1.98 \text{ m}$
 $T_p = 9.51 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6606 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7552$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0056$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0060	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0250	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	4.73E-201	0.0560	3.1E-03	2	1.485E-203	2.969E-203	4.454E-204	6.681E-205	1.503E-206
0.2	4.19E-62	0.1000	1.0E-02	4	4.190E-64	1.676E-63	3.352E-64	6.705E-65	2.682E-66
0.25	1.90E-24	0.1560	2.4E-02	2	4.622E-26	9.244E-26	2.311E-26	5.778E-27	3.611E-28
0.3	3.83E-11	0.2240	5.0E-02	4	1.920E-12	7.679E-12	2.304E-12	6.911E-13	6.220E-14
0.35	1.32E-05	0.3030	9.2E-02	2	1.213E-06	2.425E-06	8.489E-07	2.971E-07	3.640E-08
0.4	4.80E-03	0.3940	1.6E-01	4	7.452E-04	2.981E-03	1.192E-03	4.769E-04	7.631E-05
0.45	8.76E-02	0.4950	2.5E-01	2	2.146E-02	4.292E-02	1.932E-02	8.692E-03	1.760E-03
0.5	3.81E-01	0.6070	3.7E-01	4	1.403E-01	5.610E-01	2.805E-01	1.403E-01	3.506E-02
0.55	7.90E-01	0.7290	5.3E-01	2	4.200E-01	8.400E-01	4.620E-01	2.541E-01	7.687E-02
0.6	1.10E+00	0.8590	7.4E-01	4	8.107E-01	3.243E+00	1.946E+00	1.167E+00	4.203E-01
0.65	1.22E+00	0.9970	9.9E-01	2	1.210E+00	2.421E+00	1.574E+00	1.023E+00	4.322E-01
0.7	1.18E+00	1.1420	1.3E+00	4	1.544E+00	6.174E+00	4.322E+00	3.025E+00	1.482E+00
0.75	1.06E+00	1.2930	1.7E+00	2	1.780E+00	3.560E+00	2.670E+00	2.002E+00	1.126E+00
0.8	9.15E-01	1.4500	2.1E+00	4	1.924E+00	7.694E+00	6.156E+00	4.924E+00	3.152E+00
0.85	7.66E-01	1.6080	2.6E+00	2	1.980E+00	3.960E+00	3.366E+00	2.861E+00	2.067E+00
0.9	6.32E-01	1.7680	3.1E+00	4	1.974E+00	7.897E+00	7.107E+00	6.396E+00	5.181E+00
0.95	5.17E-01	1.9290	3.7E+00	2	1.925E+00	3.849E+00	3.657E+00	3.474E+00	3.135E+00
1	4.22E-01	2.0860	4.4E+00	4	1.838E+00	7.354E+00	7.354E+00	7.354E+00	7.354E+00
1.05	3.45E-01	2.2400	5.0E+00	2	1.733E+00	3.465E+00	3.638E+00	3.820E+00	4.212E+00
1.1	2.83E-01	2.3860	5.7E+00	4	1.611E+00	6.442E+00	7.086E+00	7.795E+00	9.432E+00
1.15	2.33E-01	2.5280	6.4E+00	2	1.486E+00	2.973E+00	3.419E+00	3.932E+00	5.200E+00
1.2	1.92E-01	2.6540	7.0E+00	4	1.353E+00	5.411E+00	6.493E+00	7.792E+00	1.122E+01
1.25	1.59E-01	2.7740	7.7E+00	2	1.226E+00	2.452E+00	3.065E+00	3.831E+00	5.987E+00
1.3	1.33E-01	2.8850	8.3E+00	4	1.106E+00	4.422E+00	5.749E+00	7.473E+00	1.263E+01
1.35	1.11E-01	2.9780	8.9E+00	2	9.868E-01	1.974E+00	2.664E+00	3.597E+00	6.556E+00
1.4	9.37E-02	3.0520	9.3E+00	4	8.726E-01	3.490E+00	4.886E+00	6.841E+00	1.341E+01
1.45	7.92E-02	3.1160	9.7E+00	2	7.694E-01	1.539E+00	2.231E+00	3.235E+00	6.802E+00
1.5	6.73E-02	3.1600	1.0E+01	4	6.725E-01	2.690E+00	4.035E+00	6.052E+00	1.362E+01
1.55	5.75E-02	3.1870	1.0E+01	2	5.840E-01	1.168E+00	1.810E+00	2.806E+00	6.741E+00
1.6	4.93E-02	3.1930	1.0E+01	4	5.026E-01	2.010E+00	3.217E+00	5.146E+00	1.317E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.24E-02	3.1790	1.0E+01	2	4.289E-01	8.579E-01	1.416E+00	2.336E+00	6.359E+00
1.7	3.67E-02	3.1460	9.9E+00	4	3.631E-01	1.453E+00	2.469E+00	4.198E+00	1.213E+01
1.75	3.18E-02	3.0900	9.5E+00	2	3.040E-01	6.080E-01	1.064E+00	1.862E+00	5.703E+00
1.8	2.77E-02	3.0150	9.1E+00	4	2.521E-01	1.008E+00	1.815E+00	3.267E+00	1.059E+01
1.85	2.42E-02	2.9250	8.6E+00	2	2.074E-01	4.147E-01	7.673E-01	1.419E+00	4.858E+00
1.9	2.13E-02	2.8130	7.9E+00	4	1.682E-01	6.728E-01	1.278E+00	2.429E+00	8.768E+00
1.95	1.87E-02	2.6750	7.2E+00	2	1.338E-01	2.676E-01	5.219E-01	1.018E+00	3.870E+00
2	1.65E-02	2.5290	6.4E+00	4	1.056E-01	4.222E-01	8.444E-01	1.689E+00	6.755E+00
2.05	1.46E-02	2.3600	5.6E+00	1	8.136E-02	8.136E-02	1.668E-01	3.419E-01	1.437E+00
					9.14E+01	9.76E+01	1.14E+02	1.94E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 1.5236785 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 1.6258389 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 1.8918676 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 3.2318445 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.8884 \quad \text{s}$$

$$T_p = 4.8073 \quad \text{s}$$

$$T_z = 5.6387 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 1.0670 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 1.3070 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1143 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 2.4687 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 1.5430 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 3.1353 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 7.8752 \quad \text{deg}$$

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS
HEXAGONAL SBM

Calculation for H significant 2.02 m
(50 year period) - YAW (135°)

$H_s = 2.02 \text{ m}$
 $T_p = 9.58 \text{ s}$
 $\omega_p = 0.6556 \text{ rad/s}$
 $\varphi = 6.7408$
 $\Upsilon = 1$
 $\alpha = 0.0057$

①	②	③	④	⑤	② x ④	⑤ x ⑥	① x ⑦	① ² x ⑦	① ⁴ x ⑦
					⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
ω (rad/s)	$S(\omega)$ [(m ²)/(rad/s)]	RAO	RAO^2 (deg ² /m ²)	SM	$S_r(\omega)$ [(dg ² /(rad/s))]	$S_r(\omega)xSM$ [(dg ² /(rad/s))]	$\omega x S_r(\omega)xSM$ (m ²)	$\omega^2 x S_r(\omega)xSM$ [deg ² (rad/s)]	$\omega^4 x S_r(\omega)xSM$ [dg ² (rad ³ /s ³)]
0.05	0.00E+00	0.0060	3.6E-05	1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.1	0.00E+00	0.0250	6.3E-04	4	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
0.15	6.13E-195	0.0560	3.1E-03	2	1.924E-197	3.848E-197	5.772E-198	8.658E-199	1.948E-200
0.2	3.66E-60	0.1000	1.0E-02	4	3.659E-62	1.464E-61	2.927E-62	5.854E-63	2.342E-64
0.25	1.20E-23	0.1560	2.4E-02	2	2.924E-25	5.848E-25	1.462E-25	3.655E-26	2.284E-27
0.3	9.43E-11	0.2240	5.0E-02	4	4.731E-12	1.892E-11	5.677E-12	1.703E-12	1.533E-13
0.35	2.17E-05	0.3030	9.2E-02	2	1.995E-06	3.990E-06	1.396E-06	4.887E-07	5.987E-08
0.4	6.49E-03	0.3940	1.6E-01	4	1.007E-03	4.030E-03	1.612E-03	6.448E-04	1.032E-04
0.45	1.07E-01	0.4950	2.5E-01	2	2.614E-02	5.228E-02	2.353E-02	1.059E-02	2.144E-03
0.5	4.37E-01	0.6070	3.7E-01	4	1.609E-01	6.437E-01	3.219E-01	1.609E-01	4.023E-02
0.55	8.75E-01	0.7290	5.3E-01	2	4.648E-01	9.297E-01	5.113E-01	2.812E-01	8.507E-02
0.6	1.19E+00	0.8590	7.4E-01	4	8.770E-01	3.508E+00	2.105E+00	1.263E+00	4.546E-01
0.65	1.30E+00	0.9970	9.9E-01	2	1.290E+00	2.580E+00	1.677E+00	1.090E+00	4.605E-01
0.7	1.25E+00	1.1420	1.3E+00	4	1.628E+00	6.512E+00	4.559E+00	3.191E+00	1.564E+00
0.75	1.11E+00	1.2930	1.7E+00	2	1.864E+00	3.728E+00	2.796E+00	2.097E+00	1.180E+00
0.8	9.53E-01	1.4500	2.1E+00	4	2.004E+00	8.017E+00	6.414E+00	5.131E+00	3.284E+00
0.85	7.95E-01	1.6080	2.6E+00	2	2.055E+00	4.110E+00	3.494E+00	2.970E+00	2.146E+00
0.9	6.54E-01	1.7680	3.1E+00	4	2.044E+00	8.174E+00	7.357E+00	6.621E+00	5.363E+00
0.95	5.34E-01	1.9290	3.7E+00	2	1.988E+00	3.976E+00	3.777E+00	3.588E+00	3.238E+00
1	4.36E-01	2.0860	4.4E+00	4	1.896E+00	7.584E+00	7.584E+00	7.584E+00	7.584E+00
1.05	3.56E-01	2.2400	5.0E+00	2	1.785E+00	3.569E+00	3.748E+00	3.935E+00	4.338E+00
1.1	2.91E-01	2.3860	5.7E+00	4	1.657E+00	6.629E+00	7.291E+00	8.021E+00	9.705E+00
1.15	2.39E-01	2.5280	6.4E+00	2	1.528E+00	3.057E+00	3.515E+00	4.042E+00	5.346E+00
1.2	1.97E-01	2.6540	7.0E+00	4	1.390E+00	5.560E+00	6.672E+00	8.006E+00	1.153E+01
1.25	1.64E-01	2.7740	7.7E+00	2	1.259E+00	2.518E+00	3.148E+00	3.935E+00	6.148E+00
1.3	1.36E-01	2.8850	8.3E+00	4	1.135E+00	4.539E+00	5.901E+00	7.672E+00	1.297E+01
1.35	1.14E-01	2.9780	8.9E+00	2	1.013E+00	2.025E+00	2.734E+00	3.691E+00	6.727E+00
1.4	9.61E-02	3.0520	9.3E+00	4	8.952E-01	3.581E+00	5.013E+00	7.018E+00	1.376E+01
1.45	8.13E-02	3.1160	9.7E+00	2	7.891E-01	1.578E+00	2.288E+00	3.318E+00	6.977E+00
1.5	6.91E-02	3.1600	1.0E+01	4	6.896E-01	2.758E+00	4.137E+00	6.206E+00	1.396E+01
1.55	5.89E-02	3.1870	1.0E+01	2	5.987E-01	1.197E+00	1.856E+00	2.877E+00	6.911E+00
1.6	5.05E-02	3.1930	1.0E+01	4	5.152E-01	2.061E+00	3.297E+00	5.276E+00	1.351E+01

SPECTRAL CALCULATION AND ANALYSIS

HEXAGONAL SBM

1.65	4.35E-02	3.1790	1.0E+01	2	4.397E-01	8.793E-01	1.451E+00	2.394E+00	6.517E+00
1.7	3.76E-02	3.1460	9.9E+00	4	3.722E-01	1.489E+00	2.531E+00	4.302E+00	1.243E+01
1.75	3.26E-02	3.0900	9.5E+00	2	3.115E-01	6.231E-01	1.090E+00	1.908E+00	5.844E+00
1.8	2.84E-02	3.0150	9.1E+00	4	2.583E-01	1.033E+00	1.860E+00	3.348E+00	1.085E+01
1.85	2.48E-02	2.9250	8.6E+00	2	2.125E-01	4.249E-01	7.862E-01	1.454E+00	4.978E+00
1.9	2.18E-02	2.8130	7.9E+00	4	1.723E-01	6.893E-01	1.310E+00	2.488E+00	8.983E+00
1.95	1.92E-02	2.6750	7.2E+00	2	1.371E-01	2.742E-01	5.347E-01	1.043E+00	3.964E+00
2	1.69E-02	2.5290	6.4E+00	4	1.081E-01	4.325E-01	8.651E-01	1.730E+00	6.920E+00
2.05	1.50E-02	2.3600	5.6E+00	1	8.334E-02	8.334E-02	1.708E-01	3.502E-01	1.472E+00
					9.48E+01	1.01E+02	1.17E+02	1.99E+02	
					$\Sigma 0$	$\Sigma 1$	$\Sigma 2$	$\Sigma 4$	

$$m_{r0} = 1.5803461 \quad \text{deg}^2$$

$$m_{r1} = 1.6803275 \quad \text{m}^2(\text{rad/s})$$

$$m_{r2} = 1.9500462 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^2/\text{s}^2)$$

$$m_{r4} = 3.3205165 \quad \text{deg}^2(\text{rad}^4/\text{s}^4)$$

$$T_0 = 5.9093 \quad \text{s}$$

$$T_p = 4.8150 \quad \text{s}$$

$$T_z = 5.6563 \quad \text{s}$$

$$\omega_0 = 1.0633 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_p = 1.3049 \quad \text{rad/s}$$

$$\omega_z = 1.1108 \quad \text{rad/s}$$

$$\zeta_{zs} = 2.5142 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zav} = 1.5714 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{z1/10} = 3.1931 \quad \text{deg}$$

$$\zeta_{zext(\alpha=0.01)} = 8.0197 \quad \text{deg}$$

LAMPIRAN D
MOSES 7.0 Syntax (.CIF & .DAT) – FSO dan
SBM

```
1 $=====
2 $ -PROJECT : TUGAS AKHIR 2017 $
3 $ ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSUMUM STRUKTUR $
4 $ CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING $
5 $ TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING $
6 $ -AUTHOR : JAMHARI H.B.M. (4313100149) $
7 $ -SUPERVISORS: -Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. $
8 $ -Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. $
9 $=====
10 $DIMENSIONS*****$
```

11 &DIMEN -REMEMBER -DIMEN METERS M-TONS
12 &DEVICE -OECHO NO -PRIMARY DEVICE -AUXIN FSO_300K_DWT.dat
13 &TITLE MODELLING & RAO ANALYSIS OF FSO 300000 DWT (ballast)
14 &SUBTITLE OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT - TUGAS AKHIR 2017

15 \$MOSES MODEL*****\$

16 INMODEL

17 &INSTATE FSO_300K_DWT -CONDITION 18.32

18 &PLTMODEL

19 PIC ISO

20 PIC SIDE

21 PIC TOP

22 PIC BOW

23 PIC STERN

24 END

25 \$DEFINE WEIGHT & STATUS OF THE SYSTEM*****\$

26 &WEIGHT -COMPUTE FSO_300K_DWT 14.09 20.57 93.93 93.93

27 &EQUI -iter 50

28 &STATUS B_W

29 \$THE HYDROSTATIC MENU & STABILITY TRANS*****\$

30 HYDRODYNAMICS

31

32 &PARAMETER -M_DISTANCE 2

33 G_PRESSURE -HEADING 0 45 90 135 180 \
34 -PERIOD 62.83 31.42 20.94 15.71 12.57 10.47 \
35 8.98 7.85 6.98 6.29 5.71 5.24 4.83 \
36 4.49 4.19 3.93 3.70 3.49 3.31 3.14

37 &ENV SEA

38 &STATUS FORCE

39 HYDR_SUM

40 V_MDRIFT

41 REPORT

42 END

43 END

44 HSTATIC

45 CFORM 0 0 0 -DRAFT 0.5 49

46 REPORT

47 END

48 END

49 \$FREQUENCY RESPONSE*****\$

50 FREQ_RESP

51 RAO -SPEED 0

52 FP_STD &BODY (CG FSO_300K_DWT)

53 EQU_SUM

54 MATRICES -FILE YES

55 REPORT

56 END

57 &FINISH

```
1  $======$
2  $ -PROJECT      : TUGAS AKHIR 2017      $
3  $          ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSUMUM STRUKTUR      $
4  $          CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING      $
5  $          TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING      $
6  $ -AUTHOR       : JAMHARI H.B.M. (4313100149)      $
7  $ -SUPERVISORS: -Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D.      $
8  $          -Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D.      $
9  $======$
10 $DIMENSIONS*****$
```

11 &DIMEN -REMEMBER -DIMEN METERS M-TONS
12 &DEVICE -OECHO NO -PRIMARY DEVICE -AUXIN FSO_300K_DWT.dat
13 &TITLE MODELLING & RAO ANALYSIS OF FSO 300000 DWT (full load)
14 &SUBTITLE OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT - TUGAS AKHIR 2017

15 \$MOSES MODEL*****\$

16 INMODEL
17 &INSTATE FSO_300K_DWT -CONDITION 20.67
18 &PLTMODEL
19 PIC ISO
20 PIC SIDE
21 PIC TOP
22 PIC BOW
23 PIC STERN
24 END
25 \$DEFINE WEIGHT & STATUS OF THE SYSTEM*****\$

26 &WEIGHT -COMPUTE FSO_300K_DWT 17.61 22.84 93.93 93.93
27 &EQUI -iter 50
28 &STATUS B_W
29 \$THE HYDROSTATIC MENU & STABILITY TRANS*****\$

30 HYDRODYNAMICS
31
32 &PARAMETER -M_DISTANCE 2

33 G_PRESSURE -HEADING 0 45 90 135 180 \
34 -PERIOD 62.83 31.42 20.94 15.71 12.57 10.47 \
35 8.98 7.85 6.98 6.29 5.71 5.24 4.83 \
36 4.49 4.19 3.93 3.70 3.49 3.31 3.14

37 &ENV SEA
38 &STATUS FORCE
39 HYDR_SUM
40 V_MDRIFT
41 REPORT
42 END

43 END
44 HSTATIC
45 CFORM 0 0 0 -DRAFT 0.5 49
46 REPORT
47 END
48 END
49 \$FREQUENCY RESPONSE*****\$

50 FREQ_RESP

51 RAO -SPEED 0
52 FP_STD &BODY (CG FSO_300K_DWT)
53 EQU_SUM
54 MATRICES -FILE YES
55 REPORT
56 END

57 &FINISH

```
1 $======$
2 $ -PROJECT : TUGAS AKHIR 2017 $ 
3 $ ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSUMUM STRUKTUR $ 
4 $ CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING $ 
5 $ TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING $ 
6 $ -AUTHOR : JAMHARI H.B.M. (4313100149) $ 
7 $ -SUPERVISORS: -Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. $ 
8 $ -Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. $ 
9 $======$
10 $DIMENSIONS*****$ 
11 &DIMEN -DIMEN METERS M-TONS -SAVE $ 
12 $BODIES & PARTS-----$ 
13 &DESCRIBE BODY FSO_300K_DWT $ 
14 pgen A -perm 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip $ 
15 PLANE 0.075 -CART 0 5.52 \ 
16 0 5.789 $ 
17 PLANE 0.5 -CART 0 3.702 \ 
18 0 6 \ 
19 0 7.748 $ 
20 PLANE 1 -CART 0 2.738 \ 
21 0 6 \ 
22 0 8.86 $ 
23 PLANE 1.5 -CART 0 2.042 \ 
24 0 2.5 \ 
25 0 2.718 \ 
26 0.303 6 \ 
27 0.429 9.754 $ 
28 PLANE 2 -CART 0 1.529 \ 
29 0 2 \ 
30 0 2.5 \ 
31 0.406 2.718 \ 
32 0.732 6 \ 
33 0.852 10.599 $ 
34 PLANE 2.5 -CART 0 1.131 \ 
35 0 1.5 \ 
36 0 2 \ 
37 0.405 2.5 \ 
38 0.814 2.718 \ 
39 1.116 6 \ 
40 1.227 11.458 $ 
41 PLANE 3 -CART 0 0.807 \ 
42 0 1 \ 
43 0 1.5 \ 
44 0.059 2 \ 
45 0.268 2.5 \ 
46 0.4 2.718 \ 
47 0.46 6 \ 
48 0.788 11.939 \ 
49 1.164 12 \ 
50 1.445 12.497 $ 
51 PLANE 3.5 -CART 0 0.565 \ 
52 0 1 \ 
53 0 1.5 \ 
54 0.633 2 \ 
55 0.998 2.5 \ 
56 1.052 2.718 \ 
57 1.109 6 \ 
58 1.463 11.934 \ 
59 1.737 12 \ 
60 1.842 13.686 $ 
61 PLANE 4 -CART 0 0.389 \ 
62 0 0.5 \ 
63 0 1 \ 
64 0.295 1.5 \ 
65 0.931 2 \ 
66 1.385 2.5 \ 
67 1.492 2.718 \ 
68 1.543 6 \ 
69 1.731 11.927 \ 
70 2.009 12 \ 
```

```
71      2.118  15.095
72  PLANE   4.5    -CART   0     0.259  \
73      0       0.5    \
74      0       1      \
75      0.612   1.5    \
76      0.926   2      \
77      1.186   2.5    \
78      1.636   2.718  \
79      1.932   6      \
80      1.981   11.919 \
81      1.987   12     \
82      2.276   17.248 \
83  PLANE   4.6    -CART   0     0.238  \
84      0       0.5    \
85      0       1      \
86      0       1.5   \
87      0       2      \
88      0.015   2.5    \
89      0.665   2.718  \
90      1.191   6      \
91      1.235   11.917 \
92      1.685   12     \
93      2.017   18     \
94      2.038   18.319 \
95      2.065   18.32  \
96      2.329   18.821 \
97      2.443   18.822 \
98  END PGEN
99  pgen B -perm 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip
100 PLANE   0      -CART   0     29.99
101 PLANE   0.075  -CART   0     29.843 \
102      1.384   29.989
103 PLANE   0.5    -CART   0.347  29.01  \
104      3.493   29.98
105 PLANE   1      -CART   0.77   28.027 \
106      3.218   29     \
107      4.912   29.965
108 PLANE   1.5   -CART   1.179  27.039 \
109      4.622   29     \
110      6.028   29.947
111 PLANE   2      -CART   1.564  26.041 \
112      5.747   29     \
113      6.999   29.926
114 PLANE   2.5   -CART   1.923  25.029 \
115      6.741   29     \
116      7.88    29.904
117 PLANE   3      -CART   1.551  23.987 \
118      2.263   24     \
119      7.651   29     \
120      8.699   29.88
121 PLANE   3.5   -CART   2.136  22.888 \
122      2.592   24     \
123      8.501   29     \
124      9.473   29.854
125 PLANE   4      -CART   2.919  21.643 \
126      3.318   24     \
127      9.306   29     \
128      10.213  29.827
129 PLANE   4.5   -CART   2.389  19.808 \
130      3.247   21     \
131      4.361   24     \
132      10.077  29     \
133      10.926  29.799
134 PLANE   4.6   -CART   2.443  18.822 \
135      3.313   21     \
136      4.563   24     \
137      10.228  29     \
138      11.066  29.793
139 PLANE   4.61  -CART   0     0.235  \
140      0.024   0.5    \
```

141	0.67	1	\			
142	1.216	1.5	\			
143	1.239	2	\			
144	1.69	2.5	\			
145	2.025	2.718	\			
146	2.043	4	\			
147	2.073	5	\			
148	2.334	6	\			
149	2.449	11.917	\			
150	2.979	12	\			
151	3.216	18	\			
152	3.319	21	\			
153	4.583	24	\			
154	10.243	29	\			
155	11.08	29.792				
156	PLANE	6	-CART	0	0.037	\
157	1.265	0.5	\			
158	1.876	1	\			
159	1.881	1.5	\			
160	2.36	2	\			
161	2.755	2.5	\			
162	3.089	2.718	\			
163	3.184	6	\			
164	3.22	11.894	\			
165	3.225	12	\			
166	4.131	18	\			
167	4.261	21	\			
168	7.138	24	\			
169	12.245	29	\			
170	12.947	29.708				
171	PLANE	8	-CART	0	0.004	\
172	0.259	0.004	\			
173	0.259	0	\			
174	0.684	0	\			
175	0.711	0	\			
176	2.126	0.5	\			
177	2.838	1	\			
178	3.412	1.5	\			
179	3.891	2	\			
180	4.294	2.5	\			
181	4.449	2.718	\			
182	5.014	6	\			
183	5.04	11.87	\			
184	5.368	12	\			
185	5.724	18	\			
186	7.568	21	\			
187	10.221	24	\			
188	14.85	29	\			
189	15.38	29.582				
190	PLANE	10	-CART	0	0.002	\
191	0.616	0.002	\			
192	0.616	0	\			
193	1.296	0	\			
194	1.308	0	\			
195	3.104	0.5	\			
196	3.958	1	\			
197	4.651	1.5	\			
198	5.209	2	\			
199	5.659	2.5	\			
200	5.83	2.718	\			
201	7.114	6	\			
202	7.122	11.861	\			
203	7.293	12	\			
204	8.355	18	\			
205	10.47	21	\			
206	12.893	24	\			
207	17.12	29	\			
208	17.5	29.458				
209	PLANE	20	-CART	0	0	\
210	5.036	0	\			

211	8.866	0.5	\			
212	10.165	1	\			
213	11.167	1.5	\			
214	12.021	2	\			
215	12.726	2.5	\			
216	12.985	2.718	\			
217	15.117	6	\			
218	16.769	11.856	\			
219	16.789	12	\			
220	18.492	18	\			
221	19.94	21	\			
222	21.538	24	\			
223	24.237	28.912				
224	PLANE	30	-CART	0	0	\
225	9.875	0	\			
226	14.474	0.5	\			
227	16.055	1	\			
228	17.224	1.5	\			
229	18.155	2	\			
230	18.899	2.5	\			
231	19.18	2.718	\			
232	21.614	6	\			
233	23.189	11.833	\			
234	23.219	12	\			
235	24.375	18	\			
236	25.067	21	\			
237	25.858	24	\			
238	27.074	28.412				
239	PLANE	40	-CART	0	0	\
240	14.945	0	\			
241	19.348	0.5	\			
242	20.988	1	\			
243	22.089	1.5	\			
244	22.904	2	\			
245	23.526	2.5	\			
246	23.754	2.718	\			
247	25.405	6	\			
248	26.358	11.831	\			
249	26.382	12	\			
250	27.139	18	\			
251	27.501	21	\			
252	27.832	24	\			
253	28.193	28.065				
254	PLANE	50	-CART	0	0	\
255	19.146	0	\			
256	23.113	0.5	\			
257	24.454	1	\			
258	25.293	1.5	\			
259	25.878	2	\			
260	26.294	2.5	\			
261	26.439	2.718	\			
262	27.48	6	\			
263	27.989	11.817	\			
264	28.001	12	\			
265	28.32	18	\			
266	28.412	21	\			
267	28.458	24	\			
268	28.494	27.989				
269	PLANE	52.4	-CART	0	0	\
270	19.987	0	\			
271	23.816	0.5	\			
272	25.037	1	\			
273	25.805	1.5	\			
274	26.332	2	\			
275	26.702	2.5	\			
276	26.832	2.718	\			
277	27.77	6	\			
278	28.207	11.789	\			
279	28.218	12	\			
280	28.438	18	\			

```
281      28.477  21      \
282      28.493  24      \
283      28.5    27.923  \
284      28.5    27.989
285  PLANE   55      -CART   0        0      \
286      20.841  0        \
287      24.495  0.5     \
288      25.597  1        \
289      26.284  1.5     \
290      26.742  2        \
291      27.069  2.5     \
292      27.186  2.718   \
293      28.007  6        \
294      28.368  11.742  \
295      28.378  12       \
296      28.499  18       \
297      28.5    18.284  \
298      28.5    21       \
299      28.5    24       \
300      28.5    27.989
301  PLANE   60      -CART   0        0      \
302      22.324  0        \
303      25.613  0.5     \
304      26.477  1        \
305      26.993  1.5     \
306      27.35   2        \
307      27.614  2.5     \
308      27.704  2.718   \
309      28.32   6        \
310      28.5    10.538  \
311      28.5    12       \
312      28.5    18       \
313      28.5    21       \
314      28.5    24       \
315      28.5    27.989
316  PLANE   65      -CART   0        0      \
317      23.476  0        \
318      26.321  0.5     \
319      27.022  1        \
320      27.461  1.5     \
321      27.774  2        \
322      27.994  2.5     \
323      28.071  2.718   \
324      28.492  6        \
325      28.5    6.241   \
326      28.5    12       \
327      28.5    18       \
328      28.5    21       \
329      28.5    24       \
330      28.5    27.989
331  PLANE   70      -CART   0        0      \
332      24.298  0        \
333      26.711  0.5     \
334      27.371  1        \
335      27.79   1.5     \
336      28.085  2        \
337      28.273  2.5     \
338      28.331  2.718   \
339      28.5    4.089   \
340      28.5    6        \
341      28.5    12       \
342      28.5    18       \
343      28.5    21       \
344      28.5    24       \
345      28.5    27.989
346  PLANE   75      -CART   0        0      \
347      24.913  0        \
348      26.949  0.5     \
349      27.595  1        \
350      28.012  1.5     \
```

351	28.268	2	\				
352	28.415	2.5	\				
353	28.453	2.718	\				
354	28.5	3.188	\				
355	28.5	6	\				
356	28.5	12	\				
357	28.5	18	\				
358	28.5	21	\				
359	28.5	24	\				
360	28.5	27.989					
361	PLANE	83	-CART	0	0	\	
362	25.222	0	\				
363	27.131	0.5	\				
364	27.775	1	\				
365	28.163	1.5	\				
366	28.395	2	\				
367	28.488	2.5	\				
368	28.5	2.716	\				
369	28.5	2.718	\				
370	28.5	6	\				
371	28.5	12	\				
372	28.5	18	\				
373	28.5	21	\				
374	28.5	24	\				
375	28.5	27.989					
376	PLANE	188	636	-CART	0	0	\
377	25.222	0	\				
378	27.131	0.5	\				
379	27.774	1	\				
380	28.163	1.5	\				
381	28.395	2	\				
382	28.488	2.5	\				
383	28.5	2.716	\				
384	28.5	2.718	\				
385	28.5	6	\				
386	28.5	12	\				
387	28.5	18	\				
388	28.5	21	\				
389	28.5	24	\				
390	28.5	27.989					
391	PLANE	195	-CART	0	0	\	
392	24.877	0	\				
393	26.75	0.5	\				
394	27.473	1	\				
395	27.923	1.5	\				
396	28.228	2	\				
397	28.427	2.5	\				
398	28.478	2.718	\				
399	28.5	2.84	\				
400	28.5	6	\				
401	28.5	12	\				
402	28.5	18	\				
403	28.5	21	\				
404	28.5	24	\				
405	28.5	27.989					
406	PLANE	200	-CART	0	0	\	
407	24.318	0	\				
408	26.325	0.5	\				
409	27.138	1	\				
410	27.655	1.5	\				
411	28.009	2	\				
412	28.272	2.5	\				
413	28.361	2.718	\				
414	28.5	3.19	\				
415	28.5	6	\				
416	28.5	12	\				
417	28.5	18	\				
418	28.5	21	\				
419	28.5	24	\				
420	28.5	27.989					

```
421 PLANE 210 -CART 0 0 \
422 22.711 0 \
423 24.899 0.5 \
424 25.954 1 \
425 26.655 1.5 \
426 27.202 2 \
427 27.618 2.5 \
428 27.759 2.718 \
429 28.5 4.543 \
430 28.5 6 \
431 28.5 12 \
432 28.5 18 \
433 28.5 21 \
434 28.5 24 \
435 28.5 27.989 \
436 PLANE 220 -CART 0 0 \
437 20.584 0 \
438 22.912 0.5 \
439 23.987 1 \
440 24.784 1.5 \
441 25.461 2 \
442 26.008 2.5 \
443 26.214 2.718 \
444 28.344 6 \
445 28.5 6.633 \
446 28.5 12 \
447 28.5 18 \
448 28.5 21 \
449 28.5 24 \
450 28.5 27.989 \
451 PLANE 230 -CART 0 0 \
452 18.122 0 \
453 20.605 0.5 \
454 21.831 1 \
455 22.717 1.5 \
456 23.439 2 \
457 24.068 2.5 \
458 24.32 2.718 \
459 27.012 6 \
460 28.5 9.77 \
461 28.5 12 \
462 28.5 18 \
463 28.5 21 \
464 28.5 24 \
465 28.5 27.989 \
466 PLANE 240 -CART 0 0 \
467 15.294 0 \
468 18.125 0.5 \
469 19.372 1 \
470 20.267 1.5 \
471 21.064 2 \
472 21.765 2.5 \
473 22.041 2.718 \
474 25.033 6 \
475 28.078 12 \
476 28.5 13.669 \
477 28.5 18 \
478 28.5 21 \
479 28.5 24 \
480 28.5 27.989 \
481 PLANE 250 -CART 0 0 \
482 12.18 0 \
483 15.176 0.5 \
484 16.411 1 \
485 17.262 1.5 \
486 18.106 2 \
487 18.891 2.5 \
488 19.199 2.718 \
489 22.44 6 \
490 26.35 12 \
```

```
491      27.686  15.152  \
492      28.433  18       \
493      28.5     18.576  \
494      28.5     21       \
495      28.5     24       \
496      28.5     27.989  \
497  PLANE    260      -CART   0          0      \
498      8.833    0        \
499     12.031   0.5       \
500     13.248   1        \
501     14.126   1.5       \
502     14.905   2        \
503     15.571   2.5       \
504     15.832   2.718     \
505     19.166   6        \
506     23.816   12       \
507     25.243   14.258     \
508     27.186   18       \
509     28.134   21       \
510     28.491   24       \
511     28.5     24.171     \
512     28.5     27.989  \
513  PLANE    266.46     -CART   0          0      \
514     6.575    0        \
515     9.975   0.5       \
516     11.205   1        \
517     12.089   1.5       \
518     12.782   2        \
519     13.344   2.5       \
520     13.563   2.718     \
521     16.553   6        \
522     21.932   12       \
523     23.144   13.65     \
524     25.991   18       \
525     27.34    21       \
526     28.116   24       \
527     28.5     27.986     \
528     28.5     27.989  \
529  PLANE    303.63     -CART   0          0      \
530     0.007   0.006     \
531     0.528   0.5       \
532     0.909   1        \
533     1.22    1.5       \
534     1.488   2        \
535     1.741   2.5       \
536     1.843   2.718     \
537     2.341   6        \
538     3.604   9.786     \
539     6.837   12       \
540     16.358   18       \
541     18.871   21       \
542     20.853   24       \
543     23.017   27.989  \
544  PLANE    305      -CART   0          0.114   \
545     0.328   0.5       \
546     0.652   1        \
547     0.945   1.5       \
548     1.051   1.7       \
549     1.205   2        \
550     1.461   2.5       \
551     1.566   2.718     \
552     2.012   6        \
553     2.795   9.623     \
554     6.087   12       \
555     15.849   18       \
556     18.37    21       \
557     20.363   24       \
558     22.531   27.989  \
559  PLANE    307      -CART   0          0.523   \
560     0.261   1        \
```

561	0.511	1.5	\			
562	0.773	2	\			
563	1.042	2.5	\			
564	1.159	2.718	\			
565	1.556	4.418	\			
566	1.667	6	\			
567	1.772	9.377	\			
568	4.972	12	\			
569	15.07	18	\			
570	17.605	21	\			
571	19.614	24	\			
572	21.791	27.989				
573	PLANE	309	-CART	0	1.364	\
574	0.067	1.5	\			
575	0.277	2	\			
576	0.5	2.5	\			
577	0.608	2.718	\			
578	0.609	6	\			
579	0.69	7.243	\			
580	1.169	9.12	\			
581	3.835	12	\			
582	14.254	18	\			
583	16.803	21	\			
584	18.833	24	\			
585	21.021	27.989				
586	PLANE	309.61	-CART	0.135	2	\
587	0.299	2.5	\			
588	0.306	6	\			
589	0.342	7	\			
590	0.587	8.108	\			
591	0.816	9.04	\			
592	1.047	10	\			
593	3.486	12	\			
594	14	18	\			
595	16.553	21	\			
596	18.59	24	\			
597	20.781	27.989				
598	PLANE	310	-CART	0	1.954	\
599	0.03	2	\			
600	0.1	2.5	\			
601	0.105	2.718	\			
602	0.108	4	\			
603	0.246	5	\			
604	0.338	6	\			
605	0.464	7	\			
606	0.619	8.658	\			
607	0.958	8.987	\			
608	1.03	9	\			
609	1.303	10	\			
610	3.261	12	\			
611	13.835	18	\			
612	16.391	21	\			
613	18.433	24	\			
614	20.626	27.989				
615	PLANE	310.214	-CART	0.907	8.959	\
616	0.964	9	\			
617	1.263	10	\			
618	3.138	12	\			
619	13.744	18	\			
620	16.302	21	\			
621	18.346	24	\			
622	20.541	27.989				
623	PLANE	310.25	-CART	0.953	9.187	\
624	1.256	10	\			
625	3.111	12	\			
626	13.727	18	\			
627	16.287	21	\			
628	18.331	24	\			
629	20.526	27.989				
630	PLANE	310.5	-CART	1.209	10.067	\

631	2.921	12	\			
632	13.61	18	\			
633	16.179	21	\			
634	18.226	24	\			
635	20.423	27.989				
636	PLANE	310.716	-CART	1.168	10.492	\
637	2.743	12	\			
638	13.508	18	\			
639	16.086	21	\			
640	18.136	24	\			
641	20.334	27.989				
642	PLANE	311	-CART	1.113	10.874	\
643	2.488	12	\			
644	13.373	18	\			
645	15.964	21	\			
646	18.017	24	\			
647	20.217	27.989				
648	PLANE	311.216	-CART	1.07	11.09	\
649	2.275	12	\			
650	13.27	18	\			
651	15.872	21	\			
652	17.926	24	\			
653	20.127	27.989				
654	PLANE	311.5	-CART	1.013	11.313	\
655	1.971	12	\			
656	13.135	18	\			
657	15.75	21	\			
658	17.807	24	\			
659	20.01	27.989				
660	PLANE	311.731	-CART	0.965	11.458	\
661	1.706	12	\			
662	13.025	18	\			
663	15.65	21	\			
664	17.71	24	\			
665	19.913	27.989				
666	PLANE	312	-CART	0.907	11.6	\
667	1.383	12	\			
668	12.896	18	\			
669	15.535	21	\			
670	17.597	24	\			
671	19.801	27.989				
672	PLANE	312.163	-CART	0.87	11.674	\
673	1.183	12	\			
674	12.818	18	\			
675	15.465	21	\			
676	17.528	24	\			
677	19.732	27.989				
678	PLANE	312.35	-CART	0.824	11.752	\
679	0.95	12	\			
680	12.729	18	\			
681	15.385	21	\			
682	17.449	24	\			
683	19.653	27.989				
684	PLANE	312.36	-CART	0.822	11.756	\
685	0.937	12	\			
686	12.725	18	\			
687	15.381	21	\			
688	17.445	24	\			
689	19.649	27.989				
690	PLANE	315	-CART	0	12.549	\
691	11.491	18	\			
692	14.248	21	\			
693	16.309	24	\			
694	18.487	27.989				
695	PLANE	322	-CART	0	14.455	\
696	7.851	18	\			
697	10.83	21	\			
698	12.88	24	\			
699	15.067	27.989				
700	PLANE	330	-CART	0	16.491	\

```
701      3.065   18      \
702      6.294   21      \
703      8.357   24      \
704      10.596  27.989
705      END  PGEN
706      pgen C -perm 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip
707      PLANE 310.214 -CART 0      2.104  \
708      0      2.5      \
709      0      2.718      \
710      0.009   4      \
711      0.191   5      \
712      0.283   6      \
713      0.39    7      \
714      0.511   8.958
715      PLANE 310.25 -CART 0      2.13      \
716      0      2.5      \
717      0      2.718      \
718      0.182   4      \
719      0.274   5      \
720      0.377   6      \
721      0.466   7      \
722      0.898   8.547
723      PLANE 310.5 -CART 0      2.323      \
724      0      2.5      \
725      0      2.718      \
726      0.106   4      \
727      0.206   5      \
728      0.28    6      \
729      0.837   7      \
730      0.874   7.743
731      PLANE 310.716 -CART 0      2.504  \
732      0      2.718      \
733      0      4      \
734      0.136   5      \
735      0.183   6      \
736      0.782   7      \
737      0.805   7.381
738      PLANE 311 -CART 0      2.767  \
739      0      4      \
740      0      5      \
741      0.021   6      \
742      0.709   7      \
743      0.711   7.033
744      PLANE 311.216 -CART 0      2.988  \
745      0      4      \
746      0      5      \
747      0.635   6      \
748      0.651   6.814
749      PLANE 311.5 -CART 0      3.306  \
750      0      4      \
751      0      5      \
752      0.525   6      \
753      0.568   6.562
754      PLANE 311.731 -CART 0      3.591  \
755      0      4      \
756      0      5      \
757      0.418   6      \
758      0.488   6.379
759      PLANE 312 -CART 0      3.952  \
760      0      4      \
761      0      5      \
762      0.162   6      \
763      0.351   6.176
764      PLANE 312.163 -CART 0      4.187  \
765      0      5      \
766      0      6      \
767      0.185   6.054
768      PLANE 312.35 -CART 0      4.472  \
769      0      5      \
770      0      5.913
```

```
771  PLANE   312.36  -CART    0      4.487  \
772      0       5        \
773      0      5.905
774      END  PGEN
```

```
1 $=====
2 $ -PROJECT : TUGAS AKHIR 2017 $
3 $ ANALISIS TEGANAN LOKAL MAKSUMUM STRUKTUR $
4 $ CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING $
5 $ TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING $
6 $ -AUTHOR : JAMHARI H.B.M. (4313100149) $
7 $ -SUPERVISORS: -Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. $
8 $ -Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. $
9 $=====
10 $DIMENSIONS*****$
```

11 &DIMEN -REMEMBER -DIMEN METERS M-TONS
12 &DEVICE -OECHO NO -PRIMARY DEVICE -AUXIN SBM_408MT_DWT.dat
13 &TITLE MODELLING & RAO ANALYSIS OF HEXAGONAL SBM 408MT DWT
14 &SUBTITLE OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT - TUGAS AKHIR 2017

15 \$MOSES MODEL*****\$

16 INMODEL

17 &INSTATE SBM_408MT_DWT -CONDITION 2.6

18 &PLTMODEL

19 PIC ISO

20 PIC SIDE

21 PIC TOP

22 PIC BOW

23 PIC STERN

24 END

25 \$DEFINE WEIGHT & STATUS OF THE SYSTEM*****\$

26 &WEIGHT -COMPUTE SBM_408MT_DWT 1.75 3.61 3.61 3.61

27 &EQUI -iter 50

28 &STATUS B_W

29 \$THE HYDROSTATIC MENU & STABILITY TRANS*****\$

30 HYDRODYNAMICS

31

32 &PARAMETER -M_DISTANCE 2

33 G_PRESSURE -HEADING 0 45 90 135 180 \
34 -PERIOD 62.83 31.42 20.94 15.71 12.57 10.47 \
35 8.98 7.85 6.98 6.29 5.71 5.24 4.83 \
36 4.49 4.19 3.93 3.70 3.49 3.31 3.14

37 &ENV SEA

38 &STATUS FORCE

39 HYDR_SUM

40 V_MDRIFT

41 REPORT

42 END

43 END

44 HSTATIC

45 CFORM 0 0 0 -DRAFT 0.1 49

46 REPORT

47 END

48 END

49 \$FREQUENCY RESPONSE*****\$

50 FREQ_RESP

51 RAO -SPEED 0

52 FP_STD &BODY (CG SBM_408MT_DWT)

53 EQU_SUM

54 MATRICES -FILE YES

55 REPORT

56 END

57 &FINISH

```
1 $======$
2 $ -PROJECT : TUGAS AKHIR 2017 $ 
3 $ ANALISIS TEGANGAN LOKAL MAKSUMUM STRUKTUR $ 
4 $ CHAIN STOPPER PADA HEXAGONAL SINGLE BUOY MOORING $ 
5 $ TERHADAP FSO SAAT SISTEM OFFLOADING $ 
6 $ -AUTHOR : JAMHARI H.B.M. (4313100149) $ 
7 $ -SUPERVISORS: -Yoyok Setyo Hadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D. $ 
8 $ -Suntoyo, S.T., M.Eng., Ph.D. $ 
9 $======$
10 $DIMENSIONS*****$ 
11 &DIMEN -DIMEN METERS M-TONS -SAVE $ 
12 $BODIES & PARTS-----$ 
13 &DESCRIBE BODY SBM_408MT_DWT 
14 
15 pgen A -perm 1.0 -LOC 0 0 0 0 -90 0 -DIFTYPE 3ddiff 
16 plane 0.731 1.014 -circ 0 0 8.944 0 10 18 
17 END PGEN 
18 pgen B -perm 1.0 -LOC 0 0 0 -DIFTYPE strip 
19 PLANE -6.02 -CART 3.4755 0 \ 
20 3.4755 5.514 
21 PLANE 0 -CART 6.951 0 \ 
22 6.951 5.514 
23 PLANE 6.02 -CART 3.4755 0 \ 
24 3.4755 5.514 
25 END PGEN
```

LAMPIRAN E

**Data *Input* Properti Model Geometri pada
Orcaflex 9.2**

INPUT ORCAFLEX 9.2 FROM OUTPUT SEAKEEPING ANALYSIS - FULL LOAD

b	a	L				
L_{OA}	L_{BP}	B_M	D_M			wind
(m)	(m)	(m)	(m)			SOUNDING
330.00	319.00	57.00	30.00	Tinggi Freeboard	9.33	4.67

DRAFT	MASS	COG			COB			Mass MOMENT of INERTIA		
		X	Y	Z	X	Y	Z	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
		(m)	(Te)	(m)	(m)	(m)	(m)	(T.m ²)	(T.m ²)	(T.m ²)
20.67	312552	-163.91	0.00	17.61	-152.02	0.00	10.81	163047627	2757597819	2757597819
Yaw Rate C_d		HYDRODYNAMIC DRAG			DRAG ORIGIN			DRAG Due to YAW Rate		
5		Surge Area	Sway Area	Yaw Moment	X	Y	Z	Surge Force	Sway Force	Yaw Moment
		(m ²)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)	(m ⁴)	(m ⁵)
		1178.190	6593.7300	2103400	-152.02	0.00	10.81	0.00	0.00	33444386589.2
		WIND DRAG			DRAG ORIGIN			DRAG Due to YAW Rate		
		Surge Area A_T	Sway Area A_L	Yaw Moment $A_L \cdot L_B$	X	Y	Z	Surge Force	Sway Force	Yaw Moment
		(m ²)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ²)	(m ³)
		531.81	2976.27	949430	-152.02	0.00	14.00			

	SURGE		Cen	z				
a1	48.00	6.49	6.49					
a2	0.00	0.00						
	48.00							
	SWAY		Cen	x		SWAY		
a1	480.00	60.00			Average Z	480000000.00	a1	415.10
a2	101.00	105.75	51.54		6.49	101003251.96	a2	0.00
a3	522.11	41.63				522112500.00	a3	0.00
a4	102.60	9.00				102600000.00		415.10
	1205.72							
Distance From Bow to Frame 0			40.07					

INPUT ORCAFLEX 9.2 FROM OUTPUT SEAKEEPING ANALYSIS - BALLAST

	b	a	L				
L_{OA}	L_{BP}	B_M	D_M			wind	
(m)	(m)	(m)	(m)			SOUNDING	
330.00	319.00	57.00	30.00	Tinggi Freeboard	11.68	5.84	

DRAFT	MASS	COG			COB			Mass MOMENT of INERTIA		
		X	Y	Z	X	Y	Z	I_{xx}	I_{yy}	I_{zz}
		(m)	(Te)	(m)	(m)	(m)	(m)	(T.m ²)	(T.m ²)	(T.m ²)
18.32	272911	-174.58	0.00	14.09	-150.45	0.00	9.44	115475440	2407851425	2407851425
Yaw Rate C_d		HYDRODYNAMIC DRAG			DRAG ORIGIN			DRAG Due to YAW Rate		
5		Surge Area	Sway Area	Yaw Moment	X	Y	Z	Surge Force	Sway Force	Yaw Moment
		(m ²)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴)	(m ⁴)	(m ⁵)
		1044.240	5844.0800	1864262	-150.45	0.00	9.44	0.00	0.00	29642049458.9
		WIND DRAG			DRAG ORIGIN			DRAG Due to YAW Rate		
		Surge Area A_T	Sway Area A_L	Yaw Moment $A_L \cdot L_B$	X	Y	Z	Surge Force	Sway Force	Yaw Moment
		(m ²)	(m ²)	(m ³)	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ²)	(m ³)
		665.76	3725.92	1188568	-150.45	0.00	17.52			

	SURGE		Cen	z				
a1	48.00	6.49	6.49					
a2	0.00	0.00						
		48.00						
	SWAY		Cen	x		SWAY		
a1	480.00	60.00			Average Z	480000000.00	a1	415.10
a2	101.00	105.75	51.54		6.49	101003251.96	a2	0.00
a3	522.11	41.63				522112500.00	a3	0.00
a4	102.60	9.00				102600000.00		415.10
		1205.72						
Distance From Bow to Frame 0		40.07						

HYDRODYNAMIC DRAG - FULL LOAD

Areas and area moment :

Surge area (m ²)	Sway area (m ²)	Yaw area moment (m ³)
1178.19	6593.73	2103399.87

Direction	Surge	Sway	Yaw
0	0.03973	0.00000	0.00000
10	0.03665	0.13966	-0.05143
20	0.03390	0.29906	-0.09260
30	0.02189	0.46433	-0.11889
40	0.00000	0.61328	-0.13117
50	-0.01121	0.73936	-0.13040
60	-0.01121	0.84011	-0.11581
70	-0.00585	0.92232	-0.09261
80	0.00646	0.97174	-0.06109
90	0.03359	0.99757	-0.02574
100	0.05458	0.96661	0.01311
110	0.05678	0.89844	0.04379
120	0.04285	0.79677	0.06968
130	0.01800	0.67132	0.08527
140	-0.00645	0.52949	0.08868
150	-0.02287	0.38798	0.07922
160	-0.02985	0.25632	0.05913
170	-0.03178	0.12411	0.03313
180	-0.03234	0.00000	0.00000

HYDRODYNAMIC DRAG - FULL LOAD

Hydrodynamic drag origin (m) :

x	y	z
-152.019	0.000	10.812

WD = 40 m (water depth)

T = 20.67 m (saturation air)

L = 319.00 m

B = 57.00 m

C_d = 1

WD/T = 1.94

Drag due to yaw rate :

Surge force factor (m^4)	Sway force factor (m^4)	Yaw moment factor (m^5)
0.00	0.00	3.34E+10

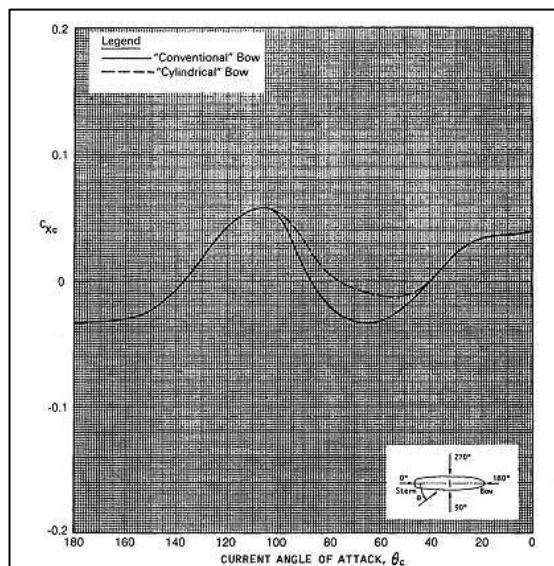


FIGURE 8 LONGITUDINAL CURRENT FORCE COEFFICIENT-LOADED TANKER ($WD/T=3.0$)

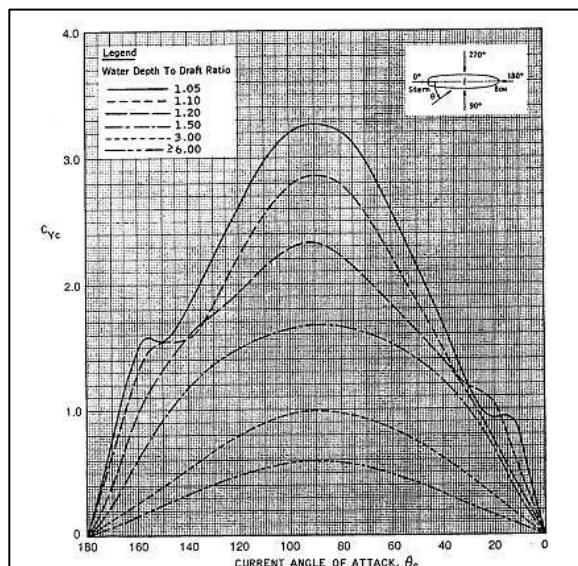


FIGURE 10 LATERAL CURRENT FORCE COEFFICIENT-LOADED TANKER

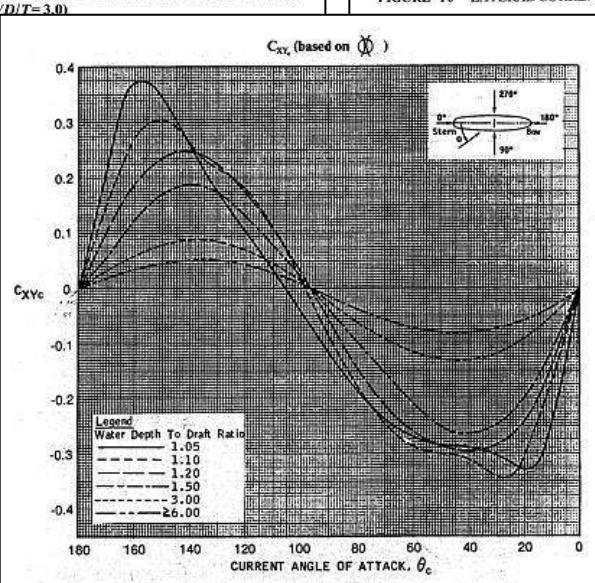


FIGURE 11 CURRENT YAW MOMENT COEFFICIENT-LOADED TANKER

HYDRODYNAMIC DRAG - FULL LOAD

Areas and area moment :

Surge area (m ²)	Sway area (m ²)	Yaw area moment (m ³)
1044.24	5844.08	1864261.52

Direction	Surge	Sway	Yaw
0	0.03973	0.00000	0.00000
10	0.03665	0.13966	-0.05143
20	0.03390	0.29906	-0.09260
30	0.02189	0.46433	-0.11889
40	0.00000	0.61328	-0.13117
50	-0.01121	0.73936	-0.13040
60	-0.01121	0.84011	-0.11581
70	-0.00585	0.92232	-0.09261
80	0.00646	0.97174	-0.06109
90	0.03359	0.99757	-0.02574
100	0.05458	0.96661	0.01311
110	0.05678	0.89844	0.04379
120	0.04285	0.79677	0.06968
130	0.01800	0.67132	0.08527
140	-0.00645	0.52949	0.08868
150	-0.02287	0.38798	0.07922
160	-0.02985	0.25632	0.05913
170	-0.03178	0.12411	0.03313
180	-0.03234	0.00000	0.00000

HYDRODYNAMIC DRAG - FULL LOAD

Hydrodynamic drag origin (m) :

x	y	z
-150.446	0.000	9.441

WD	=	40	m (water depth)
T	=	18.32	m (sarat air)
L	=	319.00	m
B	=	57.00	m

$$C_d = 1$$

$$WD/T = 2.18$$

Drag due to yaw rate :

Surge force factor (m^4)	Sway force factor (m^4)	Yaw moment factor (m^5)
0.00	0.00	2.96E+10

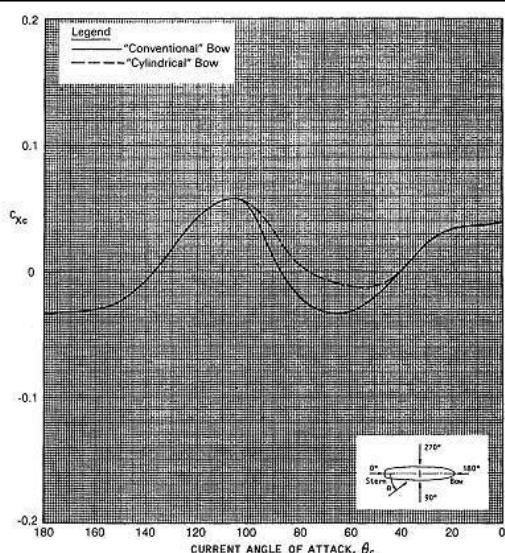


FIGURE 8 LONGITUDINAL CURRENT FORCE COEFFICIENT-LOADED TANKER
($WD/T=3.0$)

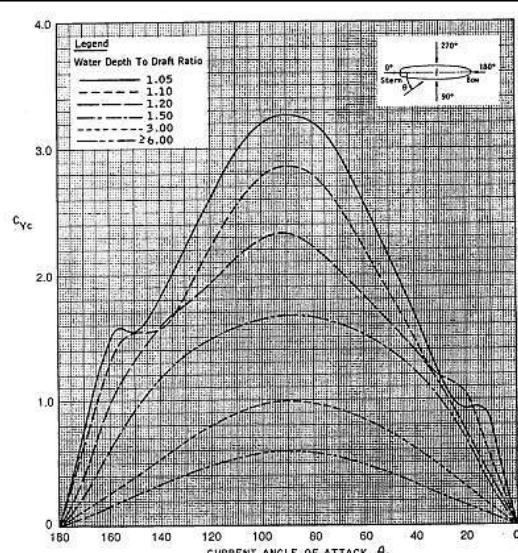


FIGURE 10 LATERAL CURRENT FORCE COEFFICIENT-LOADED TANKER

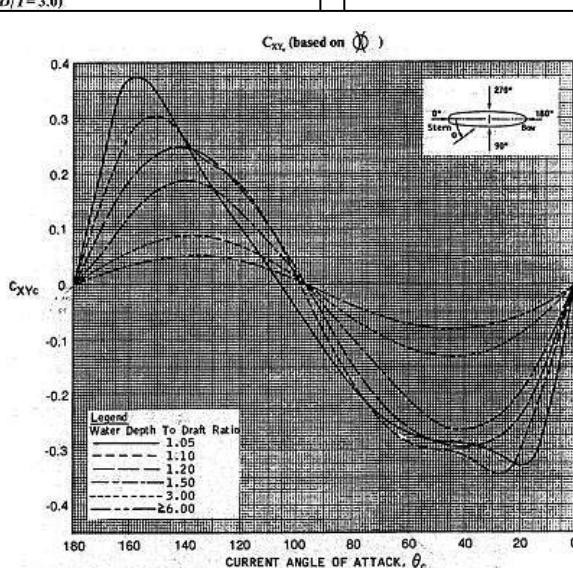


FIGURE 11 CURRENT YAW MOMENT COEFFICIENT-LOADED TANKER

WIND DRAG - FULL LOAD

Areas and area moment :

Surge area (m ²)	Sway area (m ²)	Yaw area moment (m ³)
532	2976	949430.13

Direction	Surge	Sway	Yaw
0	0.75000	0.00000	0.00000
10	0.77000	0.12500	-0.05300
20	0.74000	0.28000	-0.10600
30	0.65000	0.43000	-0.14400
40	0.51000	0.55000	-0.16200
50	0.39000	0.63000	-0.16700
60	0.28000	0.68000	-0.16300
70	0.21000	0.71000	-0.14800
80	0.14500	0.72000	-0.12700
90	0.04000	0.72000	-0.11300
100	-0.07000	0.71000	-0.10400
110	-0.19000	0.68000	-0.09300
120	-0.34000	0.64000	-0.08000
130	-0.48000	0.56000	-0.06600
140	-0.61000	0.43000	-0.05000
150	-0.73000	0.31500	-0.03300
160	-0.82300	0.20000	-0.01800
170	-0.90000	0.09000	-0.00800
180	-0.95000	0.00000	0.00000

WIND DRAG - FULL LOAD

Hydrodynamic drag origin (m) :

x	y	z
159.5	0	14.00

Freeboard	=	9.33	m	(tinggi tidak tercelup)
L	=	319.00	m	
B	=	57.00	m	
A_{sway}	=	2976.27	m^2	
A_{surge}	=	531.81	m^2	
A_{yaw}	=	949430.13	m^3	

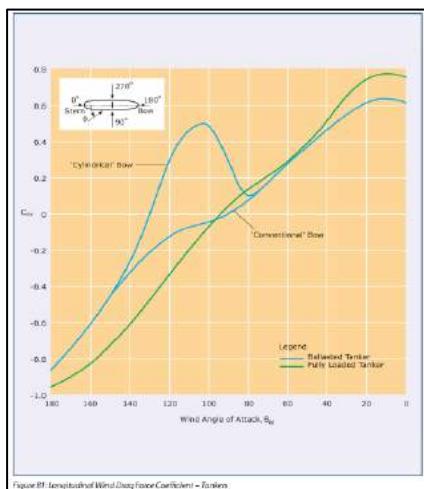


Figure 2: Description of Wind Drag Force Coefficient - Tankers

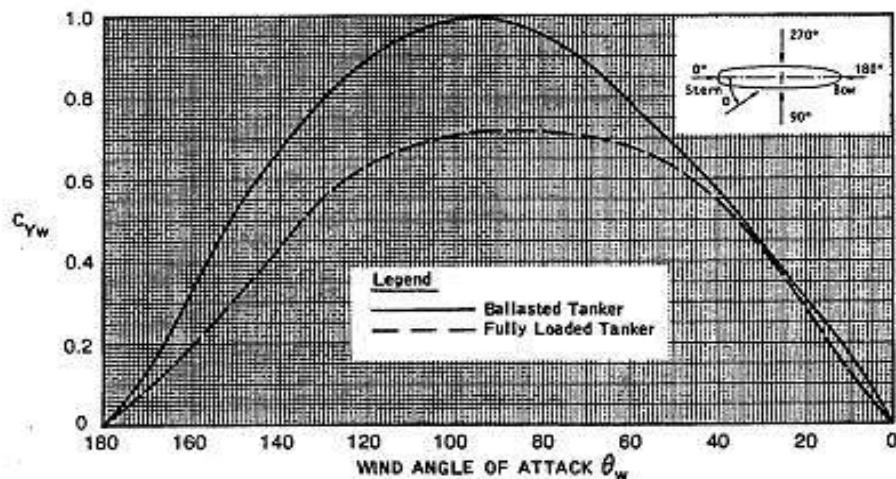


FIGURE 3 LATERAL WIND FORCE COEFFICIENT

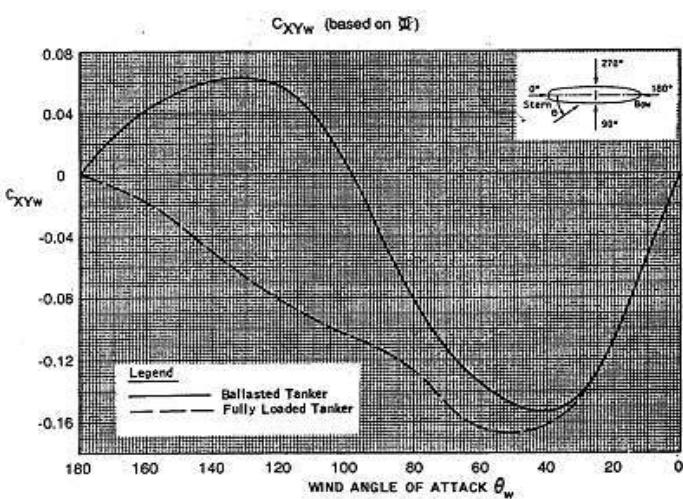


FIGURE 4 WIND YAW MOMENT COEFFICIENT

WIND DRAG - BALLAST

Areas and area moment :

Surge area (m ²)	Sway area (m ²)	Yaw area moment (m ³)
666	3726	1188568.48

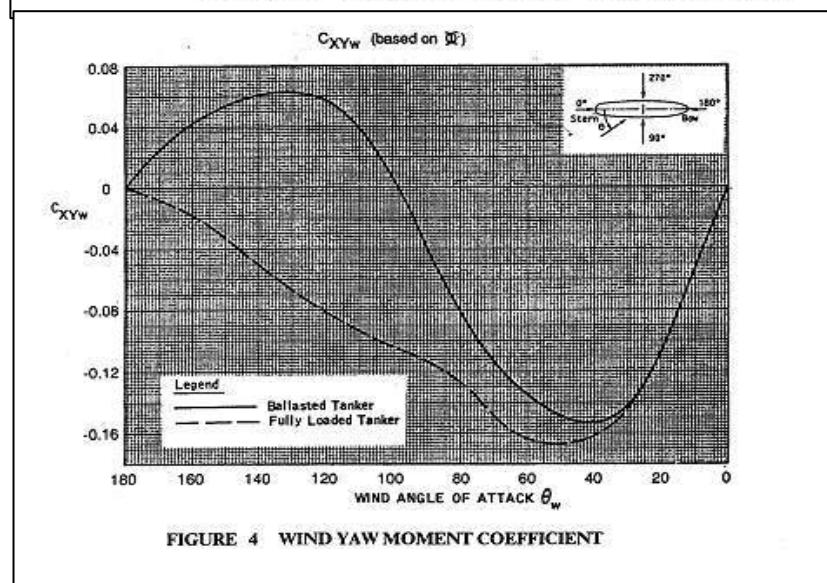
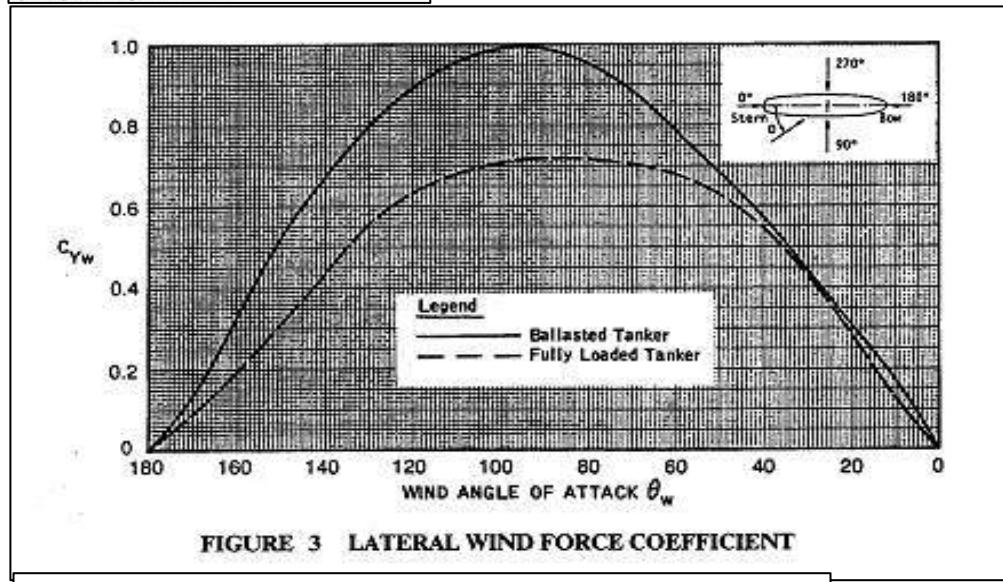
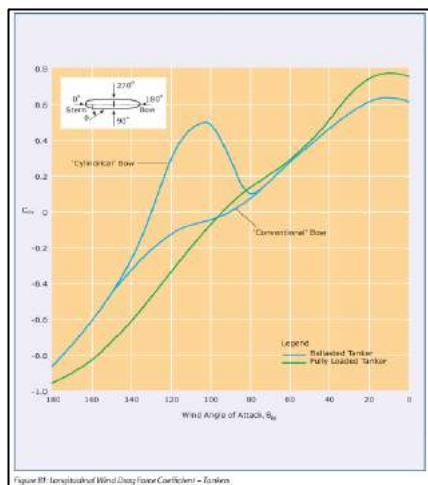
Direction	Surge	Sway	Yaw
0	0.75000	0.00000	0.00000
10	0.77000	0.12500	-0.05300
20	0.74000	0.28000	-0.10600
30	0.65000	0.43000	-0.14400
40	0.51000	0.55000	-0.16200
50	0.39000	0.63000	-0.16700
60	0.28000	0.68000	-0.16300
70	0.21000	0.71000	-0.14800
80	0.14500	0.72000	-0.12700
90	0.04000	0.72000	-0.11300
100	-0.07000	0.71000	-0.10400
110	-0.19000	0.68000	-0.09300
120	-0.34000	0.64000	-0.08000
130	-0.48000	0.56000	-0.06600
140	-0.61000	0.43000	-0.05000
150	-0.73000	0.31500	-0.03300
160	-0.82300	0.20000	-0.01800
170	-0.90000	0.09000	-0.00800
180	-0.95000	0.00000	0.00000

WIND DRAG - BALLAST

Hydrodynamic drag origin (m) :

x	y	z
159.5	0	17.52

Freeboard	=	11.68	m	(tinggi tidak tercelup)
L	=	319.00	m	
B	=	57.00	m	
A_{sway}	=	3725.92	m^2	
A_{surge}	=	665.76	m^2	
A_{yaw}	=	1188568.48	m^3	



WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

translation = 3207.625
 rotation = 1023232

Input wave drift orcaflex

$$QTF_{translation} = \frac{\text{wave drift force}}{\rho g l}$$

$$QTF_{rotation} = \frac{\text{wave drift force}}{\rho g l^2}$$

Heading 0		Period	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000		
31.416	31.416	-0.001	0.000	-0.008	0.000	0.004	0.000		
20.944	20.944	-0.004	0.000	-0.014	0.000	0.007	0.000		
15.708	15.708	-0.007	0.000	-0.017	0.000	0.009	0.000		
12.566	12.566	-0.008	0.000	-0.016	0.000	0.009	0.000		
10.472	10.472	-0.008	0.000	-0.011	0.000	0.007	0.000		
8.976	8.976	-0.008	0.000	-0.006	0.000	0.005	0.000		
7.854	7.854	-0.007	0.000	-0.003	0.000	0.003	0.000		
6.981	6.981	-0.008	0.000	-0.001	0.000	0.002	0.000		
6.283	6.283	-0.008	0.000	-0.001	0.000	0.002	0.000		
5.712	5.712	-0.008	0.000	-0.002	0.000	0.002	0.000		
5.236	5.236	-0.007	0.000	-0.004	0.000	0.003	0.000		
4.833	4.833	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
4.488	4.488	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
4.189	4.189	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
3.927	3.927	-0.006	0.000	-0.006	0.000	0.004	0.000		
3.696	3.696	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
3.491	3.491	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.002	0.000		
3.307	3.307	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
3.142	3.142	-0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 45		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	-0.001	-0.001	-0.008	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	-0.004	-0.004	-0.012	0.000	0.006	-0.002
15.708	15.708	-0.009	-0.009	-0.013	0.000	0.007	-0.005
12.566	12.566	-0.015	-0.015	-0.012	0.001	0.007	-0.007
10.472	10.472	-0.019	-0.019	-0.009	0.001	0.006	-0.010
8.976	8.976	-0.021	-0.021	-0.006	0.001	0.004	-0.011
7.854	7.854	-0.022	-0.022	-0.004	0.001	0.003	-0.012
6.981	6.981	-0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.002	-0.013
6.283	6.283	-0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.001	-0.013
5.712	5.712	-0.021	-0.021	-0.002	0.001	0.001	-0.013
5.236	5.236	-0.021	-0.021	-0.003	0.001	0.001	-0.013
4.833	4.833	-0.021	-0.021	-0.003	0.001	0.001	-0.013
4.488	4.488	-0.020	-0.020	-0.003	0.001	0.001	-0.013
4.189	4.189	-0.020	-0.020	-0.003	0.001	0.001	-0.014
3.927	3.927	-0.019	-0.019	-0.004	0.001	0.002	-0.013
3.696	3.696	-0.019	-0.019	-0.002	0.001	0.000	-0.013
3.491	3.491	-0.011	-0.011	-0.003	0.001	0.001	-0.009
3.307	3.307	-0.018	-0.018	-0.003	0.001	0.001	-0.012
3.142	3.142	-0.019	-0.019	-0.002	0.001	0.001	-0.013

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 90							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.000	-0.002	-0.007	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	0.000	-0.007	-0.010	0.000	0.005	-0.003
15.708	15.708	0.000	-0.019	-0.009	0.001	0.005	-0.009
12.566	12.566	0.000	-0.033	-0.008	0.001	0.005	-0.016
10.472	10.472	0.000	-0.043	-0.007	0.002	0.005	-0.022
8.976	8.976	0.000	-0.049	-0.005	0.002	0.004	-0.025
7.854	7.854	0.000	-0.051	-0.003	0.002	0.002	-0.026
6.981	6.981	0.000	-0.052	-0.001	0.002	0.001	-0.027
6.283	6.283	0.000	-0.052	-0.001	0.003	0.001	-0.027
5.712	5.712	0.000	-0.051	0.001	0.003	0.000	-0.027
5.236	5.236	0.000	-0.051	0.000	0.003	0.000	-0.027
4.833	4.833	0.000	-0.051	0.001	0.003	-0.001	-0.027
4.488	4.488	0.000	-0.050	0.000	0.003	0.000	-0.026
4.189	4.189	0.000	-0.050	0.003	0.003	-0.001	-0.026
3.927	3.927	0.000	-0.049	-0.002	0.003	0.001	-0.026
3.696	3.696	0.000	-0.048	0.001	0.003	-0.001	-0.025
3.491	3.491	0.000	-0.021	-0.001	0.001	0.001	-0.013
3.307	3.307	0.000	-0.045	-0.001	0.003	0.000	-0.024
3.142	3.142	0.000	-0.045	0.002	0.003	-0.001	-0.024

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 135							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	-0.001	-0.008	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	0.004	-0.004	-0.012	0.000	0.006	-0.002
15.708	15.708	0.009	-0.009	-0.013	0.000	0.007	-0.005
12.566	12.566	0.015	-0.015	-0.012	0.001	0.007	-0.008
10.472	10.472	0.019	-0.019	-0.009	0.001	0.007	-0.010
8.976	8.976	0.021	-0.021	-0.006	0.001	0.006	-0.011
7.854	7.854	0.022	-0.022	-0.004	0.001	0.005	-0.011
6.981	6.981	0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.004	-0.012
6.283	6.283	0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.003	-0.011
5.712	5.712	0.021	-0.021	-0.002	0.001	0.003	-0.011
5.236	5.236	0.021	-0.021	-0.003	0.001	0.003	-0.011
4.833	4.833	0.021	-0.021	-0.003	0.001	0.003	-0.010
4.488	4.488	0.020	-0.020	-0.003	0.001	0.003	-0.010
4.189	4.189	0.020	-0.020	-0.003	0.001	0.003	-0.010
3.927	3.927	0.019	-0.019	-0.004	0.001	0.004	-0.009
3.696	3.696	0.019	-0.019	-0.002	0.001	0.002	-0.009
3.491	3.491	0.011	-0.011	-0.003	0.001	0.003	-0.006
3.307	3.307	0.018	-0.018	-0.003	0.001	0.003	-0.009
3.142	3.142	0.019	-0.019	-0.002	0.001	0.003	-0.009

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 180							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	0.000	-0.008	0.000	0.004	0.000
20.944	20.944	0.004	0.000	-0.014	0.000	0.007	0.000
15.708	15.708	0.007	0.000	-0.017	0.000	0.009	0.000
12.566	12.566	0.008	0.000	-0.016	0.000	0.009	0.000
10.472	10.472	0.008	0.000	-0.011	0.000	0.008	0.000
8.976	8.976	0.008	0.000	-0.006	0.000	0.005	0.000
7.854	7.854	0.007	0.000	-0.003	0.000	0.004	0.000
6.981	6.981	0.008	0.000	-0.001	0.000	0.003	0.000
6.283	6.283	0.008	0.000	-0.001	0.000	0.003	0.000
5.712	5.712	0.008	0.000	-0.002	0.000	0.003	0.000
5.236	5.236	0.007	0.000	-0.004	0.000	0.004	0.000
4.833	4.833	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.004	0.000
4.488	4.488	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.004	0.000
4.189	4.189	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000
3.927	3.927	0.006	0.000	-0.006	0.000	0.005	0.000
3.696	3.696	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000
3.491	3.491	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000
3.307	3.307	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000
3.142	3.142	0.007	0.000	-0.005	0.000	0.004	0.000

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 225		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	0.001	-0.008	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	0.004	0.004	-0.012	0.000	0.006	0.002
15.708	15.708	0.009	0.009	-0.013	0.000	0.007	0.005
12.566	12.566	0.015	0.015	-0.012	-0.001	0.007	0.008
10.472	10.472	0.019	0.019	-0.009	-0.001	0.007	0.010
8.976	8.976	0.021	0.021	-0.006	-0.001	0.006	0.011
7.854	7.854	0.022	0.022	-0.004	-0.001	0.005	0.011
6.981	6.981	0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.004	0.012
6.283	6.283	0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.003	0.011
5.712	5.712	0.021	0.021	-0.002	-0.001	0.003	0.011
5.236	5.236	0.021	0.021	-0.003	-0.001	0.003	0.011
4.833	4.833	0.021	0.021	-0.003	-0.001	0.003	0.010
4.488	4.488	0.020	0.020	-0.003	-0.001	0.003	0.010
4.189	4.189	0.020	0.020	-0.003	-0.001	0.003	0.010
3.927	3.927	0.019	0.019	-0.004	-0.001	0.004	0.009
3.696	3.696	0.019	0.019	-0.002	-0.001	0.002	0.009
3.491	3.491	0.011	0.011	-0.003	-0.001	0.003	0.006
3.307	3.307	0.018	0.018	-0.003	-0.001	0.003	0.009
3.142	3.142	0.019	0.019	-0.002	-0.001	0.003	0.009

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 270		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.000	0.002	-0.007	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	0.000	0.007	-0.010	0.000	0.005	0.003
15.708	15.708	0.000	0.019	-0.009	-0.001	0.005	0.009
12.566	12.566	0.000	0.033	-0.008	-0.001	0.005	0.016
10.472	10.472	0.000	0.043	-0.007	-0.002	0.005	0.022
8.976	8.976	0.000	0.049	-0.005	-0.002	0.004	0.025
7.854	7.854	0.000	0.051	-0.003	-0.002	0.002	0.026
6.981	6.981	0.000	0.052	-0.001	-0.002	0.001	0.027
6.283	6.283	0.000	0.052	-0.001	-0.003	0.001	0.027
5.712	5.712	0.000	0.051	0.001	-0.003	0.000	0.027
5.236	5.236	0.000	0.051	0.000	-0.003	0.000	0.027
4.833	4.833	0.000	0.051	0.001	-0.003	-0.001	0.027
4.488	4.488	0.000	0.050	0.000	-0.003	0.000	0.026
4.189	4.189	0.000	0.050	0.003	-0.003	-0.001	0.026
3.927	3.927	0.000	0.049	-0.002	-0.003	0.001	0.026
3.696	3.696	0.000	0.048	0.001	-0.003	-0.001	0.025
3.491	3.491	0.000	0.021	-0.001	-0.001	0.001	0.013
3.307	3.307	0.000	0.045	-0.001	-0.003	0.000	0.024
3.142	3.142	0.000	0.045	0.002	-0.003	-0.001	0.024

WAVE DRIFT FORCE - FULL LOAD

Heading 315							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	-0.001	0.001	-0.008	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	-0.004	0.004	-0.012	0.000	0.006	0.002
15.708	15.708	-0.009	0.009	-0.013	0.000	0.007	0.005
12.566	12.566	-0.015	0.015	-0.012	-0.001	0.007	0.007
10.472	10.472	-0.019	0.019	-0.009	-0.001	0.006	0.010
8.976	8.976	-0.021	0.021	-0.006	-0.001	0.004	0.011
7.854	7.854	-0.022	0.022	-0.004	-0.001	0.003	0.012
6.981	6.981	-0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.002	0.013
6.283	6.283	-0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.001	0.013
5.712	5.712	-0.021	0.021	-0.002	-0.001	0.001	0.013
5.236	5.236	-0.021	0.021	-0.003	-0.001	0.001	0.013
4.833	4.833	-0.021	0.021	-0.003	-0.001	0.001	0.013
4.488	4.488	-0.020	0.020	-0.003	-0.001	0.001	0.013
4.189	4.189	-0.020	0.020	-0.003	-0.001	0.001	0.014
3.927	3.927	-0.019	0.019	-0.004	-0.001	0.002	0.013
3.696	3.696	-0.019	0.019	-0.002	-0.001	0.000	0.013
3.491	3.491	-0.011	0.011	-0.003	-0.001	0.001	0.009
3.307	3.307	-0.018	0.018	-0.003	-0.001	0.001	0.012
3.142	3.142	-0.019	0.019	-0.002	-0.001	0.001	0.013

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

translation = 3207.625
 rotation = 1023232

Input wave drift orcaflex

$$QTF_{translation} = \frac{\text{wave drift force}}{\rho gl}$$

$$QTF_{rotation} = \frac{\text{wave drift force}}{\rho gl^2}$$

Heading 0		Period	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000		
31.416	31.416	-0.001	0.000	-0.008	0.000	0.004	0.000		
20.944	20.944	-0.004	0.000	-0.014	0.000	0.007	0.000		
15.708	15.708	-0.008	0.000	-0.018	0.000	0.009	0.000		
12.566	12.566	-0.010	0.000	-0.017	0.000	0.010	0.000		
10.472	10.472	-0.010	0.000	-0.013	0.000	0.008	0.000		
8.976	8.976	-0.009	0.000	-0.007	0.000	0.005	0.000		
7.854	7.854	-0.009	0.000	-0.002	0.000	0.003	0.000		
6.981	6.981	-0.008	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000		
6.283	6.283	-0.009	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000		
5.712	5.712	-0.009	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000		
5.236	5.236	-0.010	0.000	-0.002	0.000	0.002	0.000		
4.833	4.833	-0.010	0.000	-0.003	0.000	0.002	0.000		
4.488	4.488	-0.009	0.000	-0.006	0.000	0.004	0.000		
4.189	4.189	-0.010	0.000	-0.004	0.000	0.002	0.000		
3.927	3.927	-0.010	0.000	-0.003	0.000	0.002	0.000		
3.696	3.696	-0.011	0.000	-0.003	0.000	0.001	0.000		
3.491	3.491	-0.010	0.000	-0.002	0.000	0.000	0.000		
3.307	3.307	-0.012	0.000	-0.005	0.000	0.003	0.000		
3.142	3.142	-0.009	0.000	-0.003	0.000	0.001	0.000		

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 45		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	-0.001	-0.001	-0.008	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	-0.004	-0.004	-0.012	0.000	0.006	-0.002
15.708	15.708	-0.009	-0.009	-0.014	0.000	0.008	-0.004
12.566	12.566	-0.015	-0.015	-0.013	0.001	0.007	-0.007
10.472	10.472	-0.019	-0.019	-0.011	0.001	0.006	-0.010
8.976	8.976	-0.021	-0.021	-0.007	0.001	0.005	-0.011
7.854	7.854	-0.022	-0.022	-0.004	0.001	0.003	-0.012
6.981	6.981	-0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.002	-0.013
6.283	6.283	-0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.002	-0.013
5.712	5.712	-0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.001	-0.014
5.236	5.236	-0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.001	-0.014
4.833	4.833	-0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.001	-0.014
4.488	4.488	-0.021	-0.021	-0.004	0.001	0.002	-0.014
4.189	4.189	-0.021	-0.021	-0.002	0.001	0.000	-0.014
3.927	3.927	-0.020	-0.020	-0.002	0.001	0.000	-0.013
3.696	3.696	-0.020	-0.020	-0.001	0.001	0.000	-0.014
3.491	3.491	-0.012	-0.012	-0.003	0.001	0.001	-0.010
3.307	3.307	-0.020	-0.020	-0.005	0.001	0.002	-0.014
3.142	3.142	-0.019	-0.019	0.000	0.001	-0.001	-0.013

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 90							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.000	-0.002	-0.007	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	0.000	-0.007	-0.011	0.000	0.006	-0.003
15.708	15.708	0.000	-0.017	-0.011	0.001	0.006	-0.008
12.566	12.566	0.000	-0.031	-0.010	0.001	0.006	-0.015
10.472	10.472	0.000	-0.042	-0.008	0.001	0.006	-0.021
8.976	8.976	0.000	-0.048	-0.006	0.002	0.004	-0.024
7.854	7.854	0.000	-0.051	-0.003	0.002	0.003	-0.026
6.981	6.981	0.000	-0.051	-0.002	0.002	0.002	-0.026
6.283	6.283	0.000	-0.052	-0.001	0.002	0.001	-0.027
5.712	5.712	0.000	-0.051	0.000	0.002	0.001	-0.027
5.236	5.236	0.000	-0.051	0.000	0.002	0.000	-0.027
4.833	4.833	0.000	-0.050	0.002	0.002	-0.001	-0.027
4.488	4.488	0.000	-0.049	-0.002	0.002	0.002	-0.026
4.189	4.189	0.000	-0.050	0.002	0.002	-0.001	-0.026
3.927	3.927	0.000	-0.049	-0.001	0.002	0.001	-0.026
3.696	3.696	0.000	-0.048	0.002	0.002	-0.001	-0.025
3.491	3.491	0.000	-0.023	-0.003	0.001	0.001	-0.014
3.307	3.307	0.000	-0.045	-0.001	0.002	0.000	-0.024
3.142	3.142	0.000	-0.045	0.003	0.002	-0.001	-0.024

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 135							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	-0.001	-0.008	0.000	0.004	-0.001
20.944	20.944	0.004	-0.004	-0.012	0.000	0.007	-0.002
15.708	15.708	0.009	-0.009	-0.014	0.000	0.008	-0.005
12.566	12.566	0.015	-0.015	-0.013	0.001	0.008	-0.008
10.472	10.472	0.019	-0.019	-0.011	0.001	0.007	-0.010
8.976	8.976	0.021	-0.021	-0.007	0.001	0.006	-0.011
7.854	7.854	0.022	-0.022	-0.004	0.001	0.005	-0.012
6.981	6.981	0.022	-0.022	-0.003	0.001	0.004	-0.012
6.283	6.283	0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.004	-0.012
5.712	5.712	0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.003	-0.012
5.236	5.236	0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.003	-0.012
4.833	4.833	0.022	-0.022	-0.002	0.001	0.003	-0.011
4.488	4.488	0.021	-0.021	-0.004	0.001	0.004	-0.011
4.189	4.189	0.021	-0.021	-0.002	0.001	0.002	-0.011
3.927	3.927	0.020	-0.020	-0.002	0.001	0.002	-0.010
3.696	3.696	0.020	-0.020	-0.001	0.001	0.002	-0.010
3.491	3.491	0.012	-0.012	-0.003	0.001	0.002	-0.006
3.307	3.307	0.020	-0.020	-0.005	0.001	0.004	-0.010
3.142	3.142	0.019	-0.019	0.000	0.001	0.001	-0.010

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 180							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	0.000	-0.008	0.000	0.004	0.000
20.944	20.944	0.004	0.000	-0.014	0.000	0.007	0.000
15.708	15.708	0.008	0.000	-0.018	0.000	0.009	0.000
12.566	12.566	0.010	0.000	-0.017	0.000	0.010	0.000
10.472	10.472	0.010	0.000	-0.013	0.000	0.008	0.000
8.976	8.976	0.009	0.000	-0.007	0.000	0.006	0.000
7.854	7.854	0.009	0.000	-0.002	0.000	0.004	0.000
6.981	6.981	0.008	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000
6.283	6.283	0.009	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000
5.712	5.712	0.009	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000
5.236	5.236	0.010	0.000	-0.002	0.000	0.003	0.000
4.833	4.833	0.010	0.000	-0.003	0.000	0.003	0.000
4.488	4.488	0.009	0.000	-0.006	0.000	0.005	0.000
4.189	4.189	0.010	0.000	-0.004	0.000	0.003	0.000
3.927	3.927	0.010	0.000	-0.003	0.000	0.003	0.000
3.696	3.696	0.011	0.000	-0.003	0.000	0.002	0.000
3.491	3.491	0.010	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
3.307	3.307	0.012	0.000	-0.005	0.000	0.004	0.000
3.142	3.142	0.009	0.000	-0.003	0.000	0.002	0.000

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

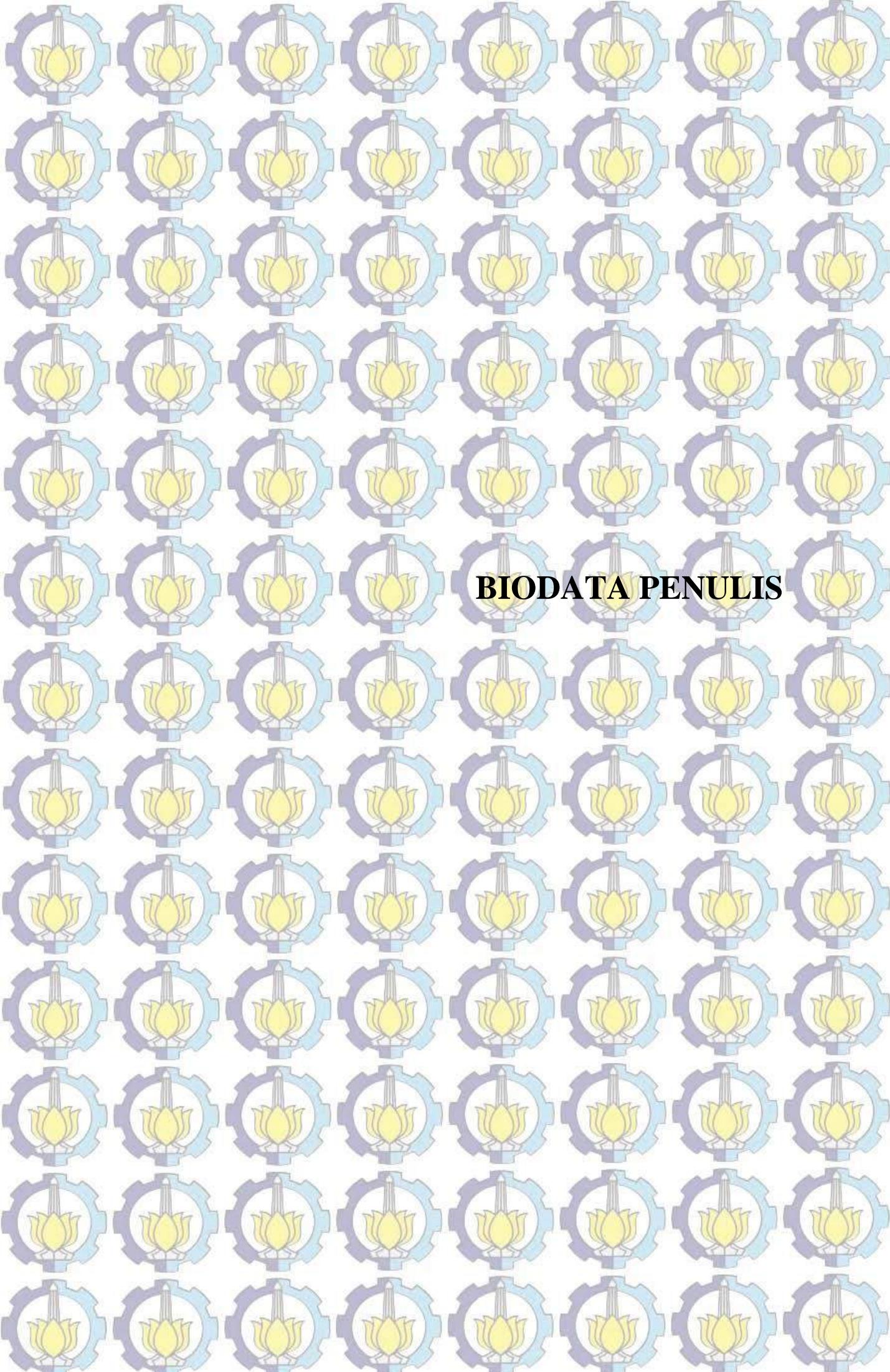
Heading 225		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.001	0.001	-0.008	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	0.004	0.004	-0.012	0.000	0.007	0.002
15.708	15.708	0.009	0.009	-0.014	0.000	0.008	0.005
12.566	12.566	0.015	0.015	-0.013	-0.001	0.008	0.008
10.472	10.472	0.019	0.019	-0.011	-0.001	0.007	0.010
8.976	8.976	0.021	0.021	-0.007	-0.001	0.006	0.011
7.854	7.854	0.022	0.022	-0.004	-0.001	0.005	0.012
6.981	6.981	0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.004	0.012
6.283	6.283	0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.004	0.012
5.712	5.712	0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.003	0.012
5.236	5.236	0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.003	0.012
4.833	4.833	0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.003	0.011
4.488	4.488	0.021	0.021	-0.004	-0.001	0.004	0.011
4.189	4.189	0.021	0.021	-0.002	-0.001	0.002	0.011
3.927	3.927	0.020	0.020	-0.002	-0.001	0.002	0.010
3.696	3.696	0.020	0.020	-0.001	-0.001	0.002	0.010
3.491	3.491	0.012	0.012	-0.003	-0.001	0.002	0.006
3.307	3.307	0.020	0.020	-0.005	-0.001	0.004	0.010
3.142	3.142	0.019	0.019	0.000	-0.001	0.001	0.010

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 270		Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Period	Period						
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	0.000	0.002	-0.007	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	0.000	0.007	-0.011	0.000	0.006	0.003
15.708	15.708	0.000	0.017	-0.011	-0.001	0.006	0.008
12.566	12.566	0.000	0.031	-0.010	-0.001	0.006	0.015
10.472	10.472	0.000	0.042	-0.008	-0.001	0.006	0.021
8.976	8.976	0.000	0.048	-0.006	-0.002	0.004	0.024
7.854	7.854	0.000	0.051	-0.003	-0.002	0.003	0.026
6.981	6.981	0.000	0.051	-0.002	-0.002	0.002	0.026
6.283	6.283	0.000	0.052	-0.001	-0.002	0.001	0.027
5.712	5.712	0.000	0.051	0.000	-0.002	0.001	0.027
5.236	5.236	0.000	0.051	0.000	-0.002	0.000	0.027
4.833	4.833	0.000	0.051	0.002	-0.002	-0.001	0.027
4.488	4.488	0.000	0.050	-0.002	-0.002	0.002	0.026
4.189	4.189	0.000	0.050	0.002	-0.002	-0.001	0.026
3.927	3.927	0.000	0.049	-0.001	-0.002	0.001	0.026
3.696	3.696	0.000	0.048	0.002	-0.002	-0.001	0.025
3.491	3.491	0.000	0.023	-0.003	-0.001	0.001	0.014
3.307	3.307	0.000	0.045	-0.001	-0.002	0.000	0.024
3.142	3.142	0.000	0.045	0.003	-0.002	-0.001	0.024

WAVE DRIFT FORCE - BALLAST

Heading 315							
Frequency	Period	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
62.832	62.832	0.000	0.000	-0.002	0.000	0.001	0.000
31.416	31.416	-0.001	0.001	-0.008	0.000	0.004	0.001
20.944	20.944	-0.004	0.004	-0.012	0.000	0.006	0.002
15.708	15.708	-0.009	0.009	-0.014	0.000	0.008	0.004
12.566	12.566	-0.015	0.015	-0.013	-0.001	0.007	0.007
10.472	10.472	-0.019	0.019	-0.011	-0.001	0.006	0.010
8.976	8.976	-0.021	0.021	-0.007	-0.001	0.005	0.011
7.854	7.854	-0.022	0.022	-0.004	-0.001	0.003	0.012
6.981	6.981	-0.022	0.022	-0.003	-0.001	0.002	0.013
6.283	6.283	-0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.002	0.013
5.712	5.712	-0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.001	0.014
5.236	5.236	-0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.001	0.014
4.833	4.833	-0.022	0.022	-0.002	-0.001	0.001	0.014
4.488	4.488	-0.021	0.021	-0.004	-0.001	0.002	0.014
4.189	4.189	-0.021	0.021	-0.002	-0.001	0.000	0.014
3.927	3.927	-0.020	0.020	-0.002	-0.001	0.000	0.013
3.696	3.696	-0.020	0.020	-0.001	-0.001	0.000	0.014
3.491	3.491	-0.012	0.012	-0.003	-0.001	0.001	0.010
3.307	3.307	-0.020	0.020	-0.005	-0.001	0.002	0.014
3.142	3.142	-0.019	0.019	0.000	-0.001	-0.001	0.013



BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Jamhari Hidayat Bin Mustofa lahir di Kota Palopo, Sulawesi Selatan pada 6 November 1994 yang merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan di Gilles Street Primary School (Australia), SDN 2 Inpres Tondo Palu, Richmond Primary School (Australia), SMPN 117 Jakarta, dan SMAN 9 Jakarta. Penulis kemudian diterima di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2013. Selama kuliah, penulis pernah menjadi staf FSLDJ JMMI 2014/2015 dan ketua umum LDJ Bahrul ‘Ilmi 2015/2016. Penulis beberapa kali aktif menjadi panitia kegiatan kampus dan juga pernah meraih beberapa prestasi seperti terpilih menjadi peserta untuk ‘Delightful Istanbul Summer School 2015’. Penulis sempat mengikuti kerja praktik di PT. Marine CadCam Indonesia dan mendapatkan berbagai dokumen bermanfaat seputar teknologi kelautan yang telah di *share* (bit.ly/referensi_ftk). Penulis memiliki minat yang dalam untuk bidang hidrodinamika dan struktur sehingga pernah menjadi anggota Lab. ‘Design and Construction of Offshore Structure (DCOS)’ dan memiliki keahlian dasar dalam mengoperasikan *software* MOSES, MAXSURF, ANSYS *Aqwa & Mechanical*, Orcaflex, dan SACS yang didapatkan baik dari pelatihan maupun belajar secara otodidak. Karena minat tersebut, penulis mengambil topik tugas akhir yang berhubungan dengan mata kuliah Hidrodinamika, Olah Gerak Bangunan Apung, Mekanika Teknik dan Dinamika Struktur.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)