



TUGAS AKHIR – MO 184804

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH GELOMBANG TERHADAP RESPONS
SPAR DENGAN DAN TANPA *HEAVE PLATE* PADA KONDISI SISTEM
TAMBAT *INTACT* DAN *DAMAGED***

Gilrandi Adi Negoro

NRP. 0431154000104

Dosen Pembimbing :

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

Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

Baharuddin Ali S.T., M. Eng.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019



FINAL PROJECT – MO 184804

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF WAVES ON SPAR
RESPONSES WITH AND WITHOUT HEAVE PLATE IN INTACT AND
DAMAGED MOORING SYSTEMS**

Gilrandi Adi Negoro

NRP. 04311540000104

Supervisors :

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

Ir. Murdjito, M.Sc., Eng.

Baharuddin Ali S.T., M. Eng.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2019

**Studi Eksperimen Pengaruh Gelombang Terhadap Respons
SPAR Dengan dan Tanpa *Heave Plate* Pada Kondisi Sistem
Tambat *Intact* dan *Damaged***

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan

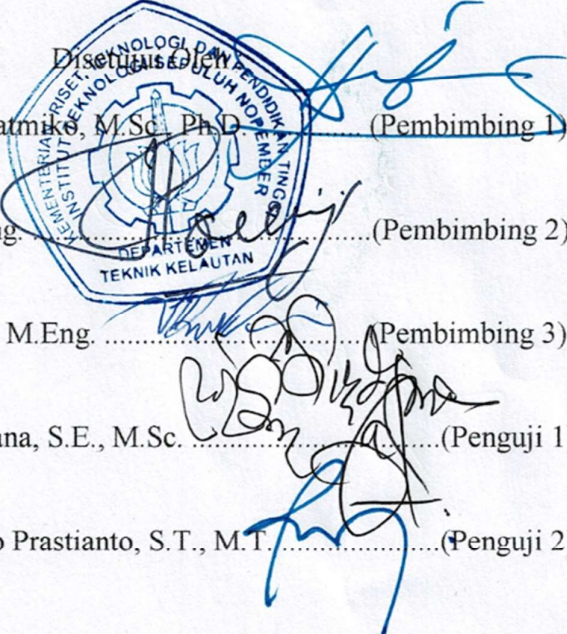
Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Gilrandi Adi Negoro

NRP. 04311540000104

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

SURABAYA, JULI 2019

Studi Eksperimen Pengaruh Gelombang Terhadap Respons SPAR Dengan dan Tanpa *Heave Plate* Pada Kondisi Sistem Tambat *Intact* dan *Damaged*

Nama : Gilrandi Adi Negoro
NRP : 04311540000104
Departemen : Teknik Kelautan FTK -ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc.Eng.
Baharuddin Ali, S.T., M. Eng.

ABSTRAK

Penelitian tugas akhir ini, membahas mengenai pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap respons dinamis SPAR akibat gelombang acak. Studi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode eksperimen dan metode numeris. Metode eksperimen dilakukan di Kolam *Manuevering Ocean Engineering Basin*, Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT. Model SPAR yang dibuat mengikuti *prototype Classic SPAR* dengan skala 1:125, yang menggunakan sistem tambat tipe *taut* dengan empat tali tambat identik. Studi eksperimen dan numeris dilakukan menggunakan metode *time domain*, dengan variasi penambahan *heave plate* pada bagian *keel* SPAR. Rasio *heave plate* yang digunakan adalah 1.5 kali diameter luar SPAR. Tiap analisis dilakukan saat sistem tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged*. Respons dinamis SPAR yang diteliti yaitu: *surge*, *heave*, *pitch*, dan *offset* maksimum. Hasil analisis eksperimen dan numeris lalu dibandingkan kesesuaiannya. Hasil akhir dari penelitian tugas akhir ini menunjukkan bahwa penggunaan *heave plate* tidak terlalu mempengaruhi respon gerak *surge*, dan *pitch*. Sedangkan pada respon gerak *heave*, penggunaan *heave plate* menunjukkan reduksi yang konsisten dan signifikan pada setiap kondisi, baik pada metode numeris dan eksperimen. Reduksi respon *heave* terbesar terjadi pada kondisi SPAR dalam keadaan sistem tambat *damaged*, yaitu sebesar 33.29% pada metode eksperimen, dan sebesar 27.84% pada metode numeris. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan *heave plate* dapat mereduksi *offset* maksimum SPAR hingga 31.69% pada metode eksperimen, dan 11.22% pada metode numeris.

Kata Kunci: SPAR, *heave plate*, *irregular waves*, *offset*, *Dynamic responses*

Experimental Study of the Effect of Wave on SPAR Responses with and without Heave Plate in Intact and Damaged Mooring Systems

Name : Gilrandi Adi Negoro
NRP : 04311540000104
Department : Ocean Engineering FTK -ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.
Ir. Murdjito, M.Sc.Eng.
Baharuddin Ali, S.T., M. Eng

ABSTRACT

This undergraduate thesis discusses the effects of heave plate utilization against dynamic responses of SPAR due to random waves. The analysis has been done by numerical and experimental methods. The experimental method was held in Maneuvering Ocean Engineering Basin of Balai Teknologi Hidrodinamia (BTH), BPPT. The model scale of SPAR was constructed based on the classic SPAR prototype with taut mooring systems using four identical moorings in a 1:125 scale factor. Both experimental and numerical studies were conducted in time domain analysis with heave plate utilization in the keel of SPAR as the main variable. The diameter of the heave plate has a 1.5 ratio to the outer diameter of SPAR. Each analysis was conducted in intact and damaged mooring systems. The analyzed variables of dynamic responses are the surge, heave, pitch, and maximum offset of the SPAR. Results of both the experimental and numerical studies were then compared, showing that the heave plate does not affect surge and pitch responses significantly. On the other hand, it impactfully and consistently reduces the SPAR heave responses in every condition of analysis in both the numerical and experimental methods. The most significant reduction of SPAR heave response occurred when the mooring systems were in damaged condition, i.e., 33.29% and 27.84% heave reduction in the experimental and numerical method, respectively. The study also shows that the heave plate reduces SPAR maximum offset up to 31.69% in experimental analysis and 11.22% in numerical analysis.

Keywords: SPAR, *heave plate, irregular waves, offset, dynamic responses*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT, Yang Maha Esa, karena atas ridho dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Studi Eksperimen Pengaruh Gelombang Terhadap Respons SPAR Dengan dan Tanpa *Heave Plate* Pada Kondisi Sistem Tambat *Intact* dan *Damaged*”.

Tugas akhir ini, merupakan salah satu syarat utama dalam menyelesaikan studi perkuliahan dan memperoleh gelar sarjana (S-1) dari Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis berharap, penelitian tugas akhir ini kedepannya dapat membawa kebermanfaatan bagi pembaca, maupun peneliti yang meneliti hal berkaitan. Penulis juga berharap penelitian tugas akhir ini dapat membantu mahasiswa-mahasiswa yang akan meneliti tema sejenis ke depannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat dalam penelitian tugas akhir ini, karena itu kritik dan saran yang membangun akan sangat dibutuhkan dan diterima dengan terbuka. Dengan harapan, dapat lebih menyempurnakan penelitian tugas akhir ini, dan mengkoreksi kesalahan yang ada.

Surabaya

Juli 2018

Gilrandi Adi Negoro

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung dan membantu penyelesaian penelitian tugas akhir ini secara langsung, maupun tidak langsung. Tanpa dukungan dan pertolongan dari mereka, penulis mungkin akan sangat kesulitan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini. Karena itu, ungkapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis, yang tiada hentinya memberikan do'a, dukungan, dan kepercayaan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. dan Bapak Ir. Murdjito, M.Sc.Eng selaku dosen pembimbing penulis, yang telah memberikan penulis kesempatan untuk mengambil tema eksperimen SPAR, dan dengan sabar mengajarkan berbagai ilmu, memberi banyak masukan dalam penelitian ini, dan membimbing penulis selama pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Baharuddin Ali, S.T., M.Eng. selaku pembimbing penulis dari Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT yang sejak awal pengerjaan penelitian dengan sabar mengajarkan berbagai aspek eksperimen, memberi banyak masukan dalam penelitian ini, dan membantu mencari solusi dari berbagai masalah yang dihadapi penulis.
4. Para dosen penguji yang telah dengan sabar menguji dan mengevaluasi penulis selama jenjang persidangan.
5. Brian, Fikri, dan Hanif selaku teman seperjuangan penulis dalam penelitian tugas akhir eksperimen SPAR tahun ini. Tanpa mereka, akan terasa sangat berat menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
6. Teman-teman pengurus Laboratorium Hidrodinamika – FTK ITS dan teman-teman seangkatan yang selalu menemani dan mendukung penulis.
7. Dan berbagai pihak lainnya, yang tidak mampu penulis sebutkan satu-persatu. Baik yang secara langsung maupun tidak, memberikan motivasi bagi penulis untuk terus bersemangat dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Penelitian	6
1.5 Manfaat	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	9
2.1 Tinjauan Pustaka	9
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Teori Gerak Bangunan Apung	10
2.2.2 Gaya Eksitasi	11
2.2.3 Gaya reaksi	12
2.2.4 Persamaan gerak bangunan apung	15
2.2.5 Energi Spektrum Gelombang	18
2.2.6 Spektrum Gelombang JONSWAP	20
2.2.7 Respons Bangunan Laut di Gelombang Acak	21
2.2.8 Teori Analisis Dinamis	23
2.2.9 <i>Fast Fourier Transform</i>	24
2.2.10 Spar (<i>Single Point Anchor Reservoir</i>)	25
2.2.11 SPAR Platform dengan Heave Plate	29
2.2.12 Sistem Tambat (<i>Mooring System</i>) pada SPAR	30
2.2.13 <i>Excursion</i> atau <i>Offset</i>	32
2.2.14 Teori Pemodelan	34

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	39
3.2 Prosedur Penelitian.....	42
3.2.1 Studi Literatur.....	42
3.2.2 Pemodelan.....	43
3.2.3 Perancangan Model.....	45
3.2.4 Validasi Model.....	48
3.2.5 Persiapan Instrumen Percobaan.....	48
3.2.6 Percobaan.....	49
3.2.7 Persiapan Pengolahan Data.....	49
3.2.9 Analisis Data.....	49
3.2.10 Evaluasi dan Kesimpulan.....	50
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Pemodelan Eksperimen.....	51
4.1.1. Pemodelan Struktur dan Komponennya.....	51
4.1.2 Pemodelan Tali Tambat.....	58
4.1.3 Data dan Properti SPAR Keseluruhan.....	64
4.1.4 Instrumen Pengukuran.....	66
4.2 Pemodelan Numeris.....	73
4.2.2 Pemodelan Struktur SPAR.....	73
4.2.3 Pemodelan Sistem Tambat dalam Orcaflex 9.2a.....	76
4.2.4 Validasi Model Numeris.....	79
4.3 Analisis Metode Ekperimen.....	81
4.4 Analisis Metode Numeris.....	85
4.4.1 Analisis dalam MOSES.....	85
4.4.2 Analisis dalam Orcaflex 9.2a.....	88
4.5 Pengolahan Hasil Analisis dan Pembahasan.....	92
4.5.1 Respon Gerak <i>Surge</i>	96
4.5.2 Respon Gerak <i>Heave</i>	102
4.5.3 Respon Gerak <i>Pitch</i>	111
4.5.4 <i>Offset</i> Maksimum SPAR.....	118
BAB V KESIMPULAN.....	123
5.1 Kesimpulan.....	123
5.2 Saran.....	124

DAFTAR PUSTAKA	125
----------------------	-----

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1: SPAR <i>Floating Platform</i> (Marineinsight, 2016)	2
Gambar 1. 2: Konfigurasi Tali Tambat SPAR Tampak Samping	5
Gambar 1. 3: Konfigurasi Tali Tambat Tampak Atas	5
Gambar 2. 1: 6 Derajat Kebebasan Bangunan Apung (Journee, et al., 2001)	11
Gambar 2. 2: Persamaan Massa Tambah Untuk Bentuk Silinder (Sarpkaya, 2010)	13
Gambar 2. 3: Gelombang acak yang terbentuk dari superposisi gelombang reguler berjumlah tak hingga (Djarmiko, 2012)	19
Gambar 2. 4: Definisi spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012)	20
Gambar 2. 5: Spectral Analysis, transformasi spektrum gelombang menjadi respon spektrum (Djarmiko, 2012)	22
Gambar 2. 6: Skema proses transformasi time history gelombang menjadi spektrum gelombang (Djarmiko, 2012)	24
Gambar 2. 7: Original SPAR (Rigzone, 1999)	26
Gambar 2. 8: Truss SPAR (Marinetalk, 2002)	27
Gambar 2. 9: Cell SPAR (Rigzone, 1999).....	28
Gambar 2. 10: Classic SPAR with Heave Damping Plate (Shudakar, 2011).....	29
Gambar 2. 11: Sistem Tambat tipe Catenary (Rigzone, 1999).....	31
Gambar 2. 12: Sistem Tambat tipe Taut (Rigzone, 1999).....	31
Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian.....	39
Gambar 3. 2: Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)	40
Gambar 3. 3: Diagram Alir Penelitian (lanjutan)	41
Gambar 3. 4: Rancang Bangun Model Mini SPAR.....	45
Gambar 3. 5: Konfigurasi sistem tambat model SPAR tampak atas	46
Gambar 4. 1: Hasil akhir model dengan dan tanpa heave plate.....	52
Gambar 4. 2: Topside dan fairlead SPAR	53
Gambar 4. 3: Heave plate SPAR	53
Gambar 4. 4: Silinder besi dan ulir untuk memodelkan ballast.....	54
Gambar 4. 5: Konfigurasi Ballast	55
Gambar 4. 6: Perhitungan Massa Model	56
Gambar 4. 7: Proses kalibrasi KG	57
Gambar 4. 8: Proses Kalibrasi Jari-jari girasi.....	58
Gambar 4. 9: Steel wire sling	59
Gambar 4. 10: Konfigurasi rangkaian model tali tambat	59
Gambar 4. 11: Kalibrasi kekakuan tali tambat	61
Gambar 4. 12: Kalibrasi Qualysis menggunakan Calibration Kit	67
Gambar 4. 13: Qualysis Motion Capture Camera	68
Gambar 4. 14: Qualysis Motion Capture Camera yang sudah dipasang	68
Gambar 4. 15: Passive Marker (Sumber: www.qualysis.com).....	69
Gambar 4. 16: Qualysis Calibration Kit.....	69
Gambar 4. 17: Wave Probe	70
Gambar 4. 18: Perbandingan spektrum gelombang dari kalibrasi gelombang uji.....	72
Gambar 4. 19: Model SPAR tanpa heave plate tampak isometri dalam MOSES	74

Gambar 4. 20: Model SPAR dengan heave plate tampak isometri dalam MOSES	75
Gambar 4. 21: Model SPAR tanpa heave plate dalam Orcaflex 9.2a.....	76
Gambar 4. 22: Model SPAR dengan heave plate dalam Orcaflex 9.2a.....	76
Gambar 4. 23: Model tertambat SPAR tanpa heave plate dalam Orcaflex 9.2a	79
Gambar 4. 24: Model tertambat SPAR dengan heave plate dalam Orcaflex 9.2a.....	79
Gambar 4. 25: Konfigurasi instalasi SPAR	82
Gambar 4. 26: SPAR yang sudah dikonfigurasi di kolam uji	82
Gambar 4. 27: Konfigurasi tali tambat kondisi intact tampak atas.....	83
Gambar 4. 28: Konfigurasi tali tambat damaged tampak atas.....	84
Gambar 4. 29: Keadaan saat pengujian berlangsung.....	84
Gambar 4. 30: Contoh time history hasil rekaman Qualysis motion camera	85
Gambar 4. 31: Contoh output added mass dan damping matrix dari MOSES untuk output Orcaflex 9.2a	87
Gambar 4. 32: Komponen diagonal utama added mass matrix dan damping matrix	88
Gambar 4. 33: Konfigurasi sistem tambat SPAR kondisi intact dalam Orcaflex 9.2a	89
Gambar 4. 34: Konfigurasi sistem tambat SPAR kondisi damaged dalam Orcaflex 9.2a	89
Gambar 4. 35: Arah beban lingkungan Orcaflex 9.2a	90
Gambar 4. 36: Added mass matrix yang sudah di-import ke dalam Orcaflex 9.2a.....	91
Gambar 4. 37: Damping matrix yang sudah di-import ke dalam Orcaflex 9.2a	91
Gambar 4. 38: Wave load RAO yang sudah di-input ke dalam Orcaflex 9.2a.....	92
Gambar 4. 39: Contoh time history hasil FFT.....	93
Gambar 4. 40: Grafik perbandingan kurva spektrum surge SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat intact	97
Gambar 4. 41: Grafik perbandingan kurva spektrum surge SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat damaged	97
Gambar 4. 42: Surge signifikan metode eksperimen dan numeris	100
Gambar 4. 43: Grafik perbandingan kurva spektrum heave SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat intact	102
Gambar 4. 44: Grafik perbandingan kurva spektrum heave SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat damaged	103
Gambar 4. 45: heave signifikan metode eksperimen dan numeris	105
Gambar 4. 46: Grafik perbandingan kurva RAO heave SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat intact.....	108
Gambar 4. 47: Grafik perbandingan kurva RAO heave SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat damaged	109
Gambar 4. 48: Grafik perbandingan kurva spektrum pitch SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat intact	111
Gambar 4. 49: Grafik perbandingan kurva spektrum pitch SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat damaged	112
Gambar 4. 50: Pitch signifikan metode eksperimen dan numeris	114
Gambar 4. 51: Grafik perbandingan kurva RAO pitch SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat intact	116
Gambar 4. 52: Grafik perbandingan kurva RAO pitch SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat damaged.....	116
Gambar 4. 53: Offset maksimum SPAR metode eksperimen dan numeris.....	119
Gambar 4. 54: Grafik offset maksimum SPAR metode eksperimen - Kondisi sistem tambat intact.....	120

Gambar 4. 55: Grafik offset maksimum SPAR metode eksperimen - Kondisi sistem tambat damaged	120
Gambar 4. 56: Grafik offset maksimum SPAR metode numeris - Kondisi sistem tambat intact	121
Gambar 4. 57: Grafik offset maksimum SPAR metode numeris - Kondisi sistem tambat damaged	122

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Rekomendasi batas flex joints dari API RP 16Q.....	34
Tabel 2. 2. Model to Prototype Multiplier for the Variables Commonly used in Mechanics under Froude Scaling (Chakrabarti, 1994).....	37
Tabel 3. 1: Data Scale Model SPAR yang digunakan dalam penelitian	42
Tabel 3. 2: Data Kolam MOB BTH - BPPT (Sumber: bth.bppt.go.id).....	43
Tabel 4. 1: Hasil Penskalaan menggunakan aturan Froude.....	51
Tabel 4. 2: Spesifikasi komponen ballast	54
Tabel 4. 3: Perhitungan massa total model.....	56
Tabel 4. 4: Jari-jari girasi model	58
Tabel 4. 5: Properti tali tambat eksperimen.....	60
Tabel 4. 6: Hasil kalibrasi kekakuan model tali tambat	62
Tabel 4. 7: Penskalaan axial stiffness tali tambat ke skala sesungguhnya	63
Tabel 4. 8: Data Properti SPAR keseluruhan dan komponennya	65
Tabel 4. 9: Karakteristik gelombang uji yang digunakan dalam eksperimen	70
Tabel 4. 10: Hasil validasi kalibrasi gelombang	73
Tabel 4. 11: Properti tali tambat terpilih untuk analisis numeris (dalam skala full scale)	78
Tabel 4. 12: Validasi parameter model numeris dengan eksperimen	80
Tabel 4. 13: Urutan dan Kode Uji Eksperimen	83
Tabel 4. 14: Kondisi analisis domain frekuensi dalam MOSES	86
Tabel 4. 15: Parameter stokastik gelombang uji	95
Tabel 4. 16: Parameter stokastik respon surge SPAR metode eksperimen	98
Tabel 4. 17: Parameter stokastik respon surge SPAR metode numeris.....	99
Tabel 4. 18: Respon surge signifikan SPAR	100
Tabel 4. 19: Parameter stokastik respon heave SPAR metode eksperimen	104
Tabel 4. 20: Parameter stokastik respon heave SPAR metode numeris	104
Tabel 4. 21: Respon heave signifikan SPAR.....	105
Tabel 4. 22: Harga puncak dan frekuensi RAO heave metode eksperimen	110
Tabel 4. 23: Harga puncak dan frekuensi RAO heave metode numeris.....	110
Tabel 4. 24: Parameter stokastik respon pitch SPAR metode eksperimen.....	113
Tabel 4. 25: Parameter stokastik respon pitch SPAR metode numeris	113
Tabel 4. 26: Pitch signifikan SPAR.....	114
Tabel 4. 27: Rasio frekuensi natural heave dan pitch SPAR metode eksperimen.....	117
Tabel 4. 28: Rasio frekuensi natural heave dan pitch SPAR metode numeris	117
Tabel 4. 29: Offset maksimum SPAR	118

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A (KALKULASI JARI-JARI GIRASI)

LAMPIRAN B (TIME HISTORY METODE EKSPERIMEN)

LAMPIRAN C (TIME HISTORY METODE NUMERIS)

LAMPIRAN D (OUTPUT MOSES)

LAMPIRAN E (KALKULASI KALIBRASI GELOMBANG)

BAB I

PENDAHULUAN

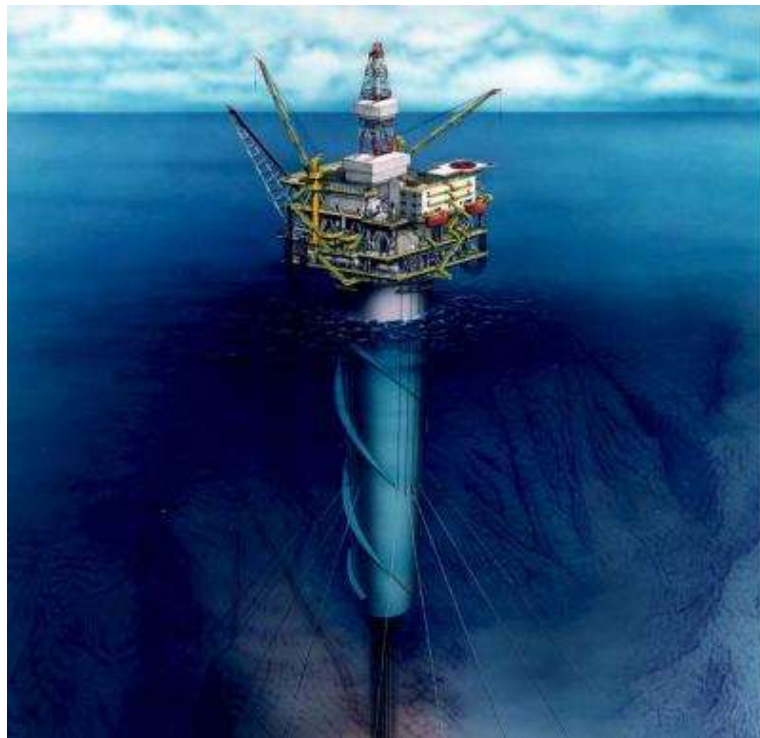
1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan kebutuhan bahan bakar hidrokarbon yang semakin meningkat, menuntut eksplorasi hidrokarbon di laut dalam menjadi alternatif yang menantang untuk memenuhi kebutuhan minyak dan gas saat ini. Oleh karena itu, tuntutan untuk mengembangkan teknologi minyak dan gas untuk eksplorasi laut dalam sudah tidak dapat dihindari. Hal ini disebabkan karena *fixed-type offshore structure* seperti *fixed-jacket platform* yang sudah banyak digunakan di industri minyak dan gas telah terbukti tidak efisien digunakan di laut dalam (Soeb et al., 2017). Beberapa pengembangan dan pendekatan telah dilakukan untuk investigasi dan eksplorasi laut dalam seperti: *tension leg platform*, *tethered buoy platform*, *articulated leg platform*, dll. Dari semua teknologi tersebut, SPAR *floating platform* adalah yang paling optimal, efisien, dan ekonomis untuk *drilling* ataupun produksi minyak dan gas di laut dalam (Glanville et al., 1991; Horton dan Halkyard, 1992).

Tidak hanya untuk *drilling* atau produksi minyak dan gas, SPAR *floating platform* akhir-akhir ini juga banyak dikembangkan sebagai *floater* untuk *floating offshore wind turbine*, karena *floating offshore wind turbine (FOWT)* menjadi pilihan pembangkit energi bayu yang ekonomis pada kedalaman diatas 50 m (Jonkman et al., 2011). *Motions* pada FOWT perlu diperhatikan dengan detail, karena hal ini akan mempengaruhi performa aerodinamis dari turbin (Borg et al., 2013). Salah satu cara untuk melawan *motion* dari FOWT adalah dengan memecah energi gelombang yang mengenai *floater* sehingga *motion* dari *platform* akan berkurang (Roddiier et al., 2010). Borg, Collu, dan Brennan pada tahun 2013 meneliti mengenai penggunaan *Wave Energy Converter (WEC)* untuk mengurangi *motion* global dari *platform* sekaligus memanen energi gelombang yang mengenai *platform*. Muliawan, dkk. Pada tahun 2013 juga meneliti mengenai kombinasi dari FOWT dan WEC yang berbentuk Torus (silinder melingkar) dengan SPAR *platform* sebagai *floater* dari struktur terapung tersebut.

Karena draftnya yang sangat dalam, *motion response* dari SPAR *floating structure* juga sangat rendah sehingga memungkinkan untuk menjamin keamanan instalasi *rigid risers* untuk produksi di laut dalam (Tao et al., 2004). SPAR *floating platform* juga lebih mudah untuk dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya, dan tidak terpengaruh oleh kedalaman laut ataupun gempa bumi (Soeb et al., 2017). Beberapa keunggulan lain dari SPAR *floating platform* yaitu:

- Dapat dioperasikan hingga kedalaman 3000 m untuk *drilling* ataupun produksi.
- Memiliki stabilitas yang absolut, karena *centre of buoyancy* SPAR selalu berada di atas *centre of gravity*.
- Dapat digunakan sebagai *mobile drilling rig*.
- Memiliki karakteristik-karakteristik *sea keeping* yang lebih baik jika dibandingkan dengan *mobile drilling unit* lainnya.
- Instalasi dan pengoperasian *mooring and cable system* lebih mudah.
- *Drilling unit* terlindungi di dalam struktur SPAR *platform*.



Gambar 1. 1: SPAR *Floating Platform* (Marineinsight, 2016)

Keunggulan-keunggulan tersebut yang menjadikan SPAR *floating platform* menjadi alternatif yang banyak dipilih untuk pengembangan teknologi laut dalam, baik untuk *drilling* atau produksi minyak dan gas, maupun sebagai *floater offshore wind turbine* (Jain dan Agarwal, 2003).

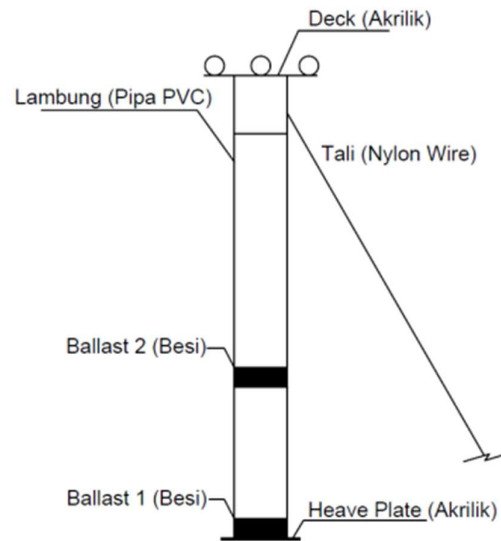
Secara umum, struktur dari SPAR *platform* terdiri dari *hull* berbentuk silinder yang mengapung vertikal di dalam air untuk menopang *topside facilities* di atasnya. *Hull* silinder dari SPAR memiliki *draft* yang sangat dalam sehingga beban dari gaya gelombang di permukaan dapat dikurangi oleh efek dari *damping* struktur karena *displacement* dari struktur yang besar (Jain dan Agarwal, 2003). SPAR *platform* juga membutuhkan sistem tambat untuk memastikan posisinya tetap (*station-keeping*). Respon gerak dari SPAR akan sangat mempengaruhi tegangan pada tali sistem tambat, dan sebaliknya, jenis sistem tambat juga akan mempengaruhi respon dinamik dari SPAR (Seebai et al., 2009). Beban gelombang, beban arus, dan beban angin adalah beberapa beban lingkungan yang dialami oleh SPAR *floating platform*. Di antara beban-beban tersebut, beban dinamis dari gelombang adalah beban yang paling mempengaruhi respon gerak SPAR. Hal ini dikarenakan semakin dekat periode beban terhadap periode natural struktur pada mode gerak tertentu, akan menyebabkan respon yang lebih besar dibanding dengan periode lain (Djatkiko, 2012). Karena itu sangat penting untuk memperhitungkan periode natural dari SPAR *floating platform* terhadap lingkungannya.

Beban dinamis dari gelombang yang mengenai SPAR akan menimbulkan respon dinamis pada 6 derajat kebebasan yaitu: *heave*, *sway*, *surge*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Respon gerakan ini, perlu diminimalisir karena dapat berbahaya terhadap integritas dari *riser* pada *production platform* (Tao et al., 2017). Fischer dan Gopalkrishnan pada penelitiannya di tahun 1998 mengenai pentingnya karakteristik respon *heave* dari SPAR, menemukan bahwa respon *heave* dari SPAR *platform* kecil seperti Mini SPAR *platform* memiliki potensi untuk menimbulkan masalah. Pada tahun 1999, Haslum dan Faltinsen menawarkan 3 solusi untuk mengurangi *heave* respons akibat frekuensi gelombang, yaitu: menambah *damping* dari sistem, menambah periode natural *heave* menjauhi jangkauan periode natural dari energi gelombang, dan mengurangi gaya eksitasi gelombang linier yang bekerja pada struktur. Selain penggunaan *helical strakes* untuk menambah *damping* struktur dan mengurangi

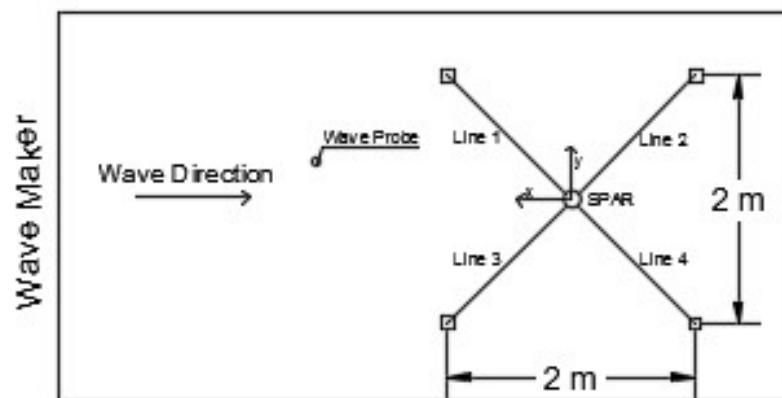
fatigue akibat *Vortex induced vibration (VIV)*, penambahan *heave plate*, yaitu piringan pada *keel* dari SPAR *platform* dapat menambah *damping* struktur dengan signifikan sehingga sangat efektif untuk mengurangi respons *heave* struktur (Tao et al, 2017). Sudhakar dan Nallayarasu pada tahun 2011, meneliti lebih jauh dengan metode numeris dan eksperimen mengenai pengaruh diameter *heave plate* terhadap penambahan massa tambah dan sejauh apa pengaruh penambahan diameter *heave plate* terhadap olah gerak SPAR. Didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Subbulakshmi et al. (2015) yang meneliti mengenai penggunaan *double heave plate* di bagian *keel* dan *hull* dari *classic* SPAR yang juga meneliti bagaimana pengaruh diameter dan jarak antar *heave plate* terhadap *viscous damping* SPAR.

Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan studi eksperimen dan numeris dari model *Classic* SPAR yang diteliti oleh Herdayanditya (2017) dalam penelitian tugas akhirnya dengan modifikasi penambahan *heave plate* di bagian *keel* SPAR. Penelitian membahas mengenai pengaruh gelombang *irregular* terhadap respons dinamis dan *offset* SPAR pada kondisi sistem tambat *intact* dan *damaged* ketika SPAR dilengkapi *heave plate* dan tidak. Studi numeris akan dilakukan menggunakan software Orcaflex 9.2a. Lalu studi eksperimen akan dilakukan menggunakan *scale model* SPAR yang memiliki skala 1:125 terhadap ukuran *full scale*. Studi eksperimen dilakukan di kolam *Maneuvering and Ocean Engineering Basin (MOB)* Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT. Studi eksperimen dan numeris akan dilakukan pada model SPAR tanpa *heave plate* dan dengan *heave plate*, yang dilakukan pada kondisi ketika tali tambat *Intact* dan *damaged*.

Sistem tambat SPAR menggunakan konfigurasi *taut mooring* dengan 4 tali yang identik. Dengan jarak *anchor* antar tali tambat dipisah sejauh 2 m pada skala *scale model*, karena menyesuaikan dengan kondisi kolam MOB. Ilustrasi dari konfigurasi tali tambat dapat dilihat di gambar 1.1 dan gambar 1.2 berikut.



Gambar 1. 2: Konfigurasi Tali Tambat SPAR Tampak Samping



Gambar 1. 3: Konfigurasi Tali Tambat Tampak Atas

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini yaitu:

- a) Bagaimana nilai stokastik respon SPAR hasil eksperimen dengan dan tanpa *heave plate* pada sistem tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged* untuk mode gerakan *surge*, *heave*, dan *pitch*?

- b) Sejauh mana perbedaan *offset* atau ekskursi SPAR dengan dan tanpa *heave plate* saat sistem tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged*?
- c) Bagaimana perbandingan nilai stokastik respon SPAR dengan dan tanpa *heave plate* hasil eksperimen dibandingkan dengan metode numeris?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai penulis pada penelitian ini yaitu:

- a) Mengetahui bagaimana nilai stokastik respon SPAR hasil eksperimen dengan dan tanpa *heave plate* pada sistem tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged* dalam mode gerak *surge*, *heave* dan *pitch*.
- b) Mengetahui sejauh mana perbedaan *Offset* atau ekskursi SPAR dengan dan tanpa *heave plate* ketika sistem tambat dalam keadaan *Intact* dan *Damaged*.
- c) Mengetahui bagaimana perbandingan nilai stokastik respon SPAR dengan dan tanpa *heave plate* hasil eksperimen numeris.

1.4 Batasan Penelitian

Karena banyak aspek yang tidak dapat diteliti pada penelitian ini, maka untuk memperjelas lingkup penelitian diperlukan batasan-batasan dan asumsi sebagai berikut:

- a) Studi eksperimen dilakukan pada model Mini SPAR yang disesuaikan dengan kondisi kolam *Maneuvering and Ocean Engineering Basin* (MOB) Laboratorium Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) - BPPT.
- b) Studi numeris dilakukan menggunakan software Orcaflex 9.2a dan MOSES, dengan parameter-parameter yang disesuaikan dengan studi eksperimen. Sedangkan studi numeris hanya dijadikan sebagai pembanding hasil metode eksperimen.
- c) Studi numeris dan eksperimen hanya mempertimbangkan satu arah *heading* gelombang yaitu pada 0° .
- d) Studi numeris dan eksperimen hanya dilakukan menggunakan satu karakteristik gelombang yang dibahas lebih lanjut dalam bab analisis dan pembahasan.

- e) Analisis olah gerak SPAR hanya dilakukan pada 3 derajat kebebasan karena bentuk SPAR yang simetris (*Surge, Heave, dan Pitch*).
- f) Dalam menganalisis respons gerak *surge, heave, dan pitch* komponen gelombang frekuensi rendah tidak dipertimbangkan.
- g) Tegangan tali tambat tidak dipertimbangkan pada penelitian ini.
- h) Acuan tali tambat yang digunakan hanya *Axial stiffness*
- i) Beban yang diperhitungkan hanya beban gelombang.
- j) Interaksi sistem tambat dengan *seabed* diabaikan.
- k) Biaya struktur tidak dipertimbangkan.
- l) Konfigurasi *mooring lines* yang digunakan adalah *taut mooring* dengan 4 *mooring lines* identik.
- m) Properti tali tambat yang digunakan dalam penelitian menyesuaikan dengan yang digunakan saat eksperimen, dimana tali tambat yang digunakan dalam eksperimen menyesuaikan dengan yang ada di pasaran.

1.5 Manfaat

Adapun luaran dan manfaat yang diharapkan penulis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Dapat dijadikan referensi dalam penelitian mengenai pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap respons SPAR.
- b) Dapat dijadikan referensi untuk penelitian mengenai pengaruh *heave plate* terhadap *offset SPAR platform* akibat beban gelombang ketika sistem tambat dalam kondisi *intact* dan *damaged*.
- c) Dapat digunakan sebagai acuan dan pertimbangan dalam menganalisis pengaruh penggunaan *heave plate* pada SPAR baik secara numeris ataupun eksperimen.

1.6 Sistematika Penulisan

Susunan dan sistematikan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) BAB I : Pendahuluan, di dalamnya dijelaskan mengenai latar belakang dari diadakannya penelitian ini, rumusan masalah apa yang ingin dikaji dan dijawab pada penelitian, tujuan ingin dicapai pada penelitian ini, dan luaran yang

diharapkan dari penelitian ini. Di bab ini juga dijelaskan mengenai batasan-batasan dari penelitian dan sistematika laporan penelitian.

- b) BAB II : Tinjauan pustaka dan dasar teori, menjelaskan secara singkat teori-teori yang dijadikan acuan dan dasaran dari penelitian ini, juga persamaan-persamaan yang digunakan.
- c) BAB III : Metodologi Penelitian, berisi alur analisis, validasi, dan pola penyelesaian penelitian. Di dalamnya juga dibahas mengenai data yang digunakan.
- d) BAB IV : Analisis dan pembahasan, berisi hasil analisis dari penelitian dan pembahasan mendalam dari hasil analisis yang telah dilakukan. Dari cara mendapatkan data, mengolah data, studi numeris, studi eksperimen, proses validasi, dll.
- e) BAB V : Kesimpulan dan saran, berisi kesimpulan yang didapat dari hasil analisa penelitian tugas akhir, dan saran-saran dari penulis sebagai pertimbangan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

SPAR *platform* sejauh ini merupakan jenis bangunan apung yang terbukti paling optimal untuk aktivitas *drilling* dan produksi di lautan dalam (*Deep water*) atau yang sangat dalam (*Ultra Deep Water*). Karena lingkungan kerja yang ekstrim, banyak penelitian dilakukan untuk meneliti berbagai aspek dari SPAR. Soeb, et al. (2017) melakukan penelitian mengenai respons non-linear SPAR *platform* terhadap gelombang dan arus pada kedalaman laut yang sangat dalam (*Ultra Deep Water*), pengaruh kedalaman terhadap respons SPAR yang terkena gelombang dan arus juga diteliti lebih detail. Chitrapu, et al. (1998) juga meneliti mengenai respons non-linear dari SPAR pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda menggunakan *time domain simulation*. Jain dan Agarwal (2003) juga melakukan analisa dinamis SPAR *platform* dengan menggunakan metode *time domain simulation*. Melihat fungsinya yang banyak digunakan sebagai *production facility* dan *drilling facility*, respon SPAR terhadap gelombang dan arus sangat perlu untuk dibatasi. Tao, et al. (2004) pada penelitiannya, meneliti mengenai respons *heave* dari *classic* SPAR dan apa kaitannya dengan parameter *viscous damping* dari SPAR. Fischer and Gopalkrishnan (1998) juga melakukan penelitian eksperimen dan numeris terkait karakteristik respons *heave* dari SPAR, dan merepresentasikan pentingnya mempertimbangkan karakteristik respons *heave* SPAR. Haslum dan Faltinsen (1999) memberikan beberapa solusi untuk mengurangi respons *heave* dari SPAR, yaitu:

- Menambah total damping dari sistem
- Menambah frekuensi natural respon *heave* menjauh dari jangkauan energi gelombang.
- Mengurangi gaya eksitasi gelombang linier secara signifikan

Tao, et al. (2004) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa respons *heave* dari SPAR *platform* dapat dikurangi dengan cara memasang *disk* di sekitar badan platform sehingga sistem *damping* dari struktur bertambah. Namun meskipun begitu, Haslum dan Faltinsen (1999) juga menyebutkan pada penelitiannya bahwa meskipun setelah ditambah *heave plate*, respon *heave* masih dalam tingkat *critical*. Selain

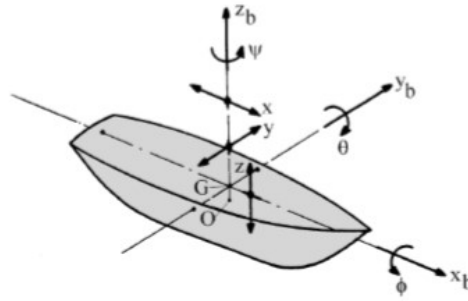
menggunakan *heave plate*, penambahan sistem *damping* struktur juga dapat diraih dengan cara memasang *helical strakes* atau menambah *draft* struktur. Sudhakar, et al. dan Nallayarasu pada tahun 2011 meneliti lebih jauh pengaruh dari penggunaan *heave plate* dan besar diameternya terhadap respons hidrodinamisnya dan menemukan besar perbandingan diameter *heave plate* terhadap diameter SPAR yang optimal. Subbulakshmi, et al. (2015) juga meneliti eksperimen dan numeris mengenai pengaruh penggunaan *heave plate* untuk mengurangi respon *heave* dari SPAR. Model SPAR yang digunakan memiliki 2 *heave plate* yang terpasang. Dari penelitian subbulakshmi, et al. (2015) juga didapatkan rasio perbandingan diameter struktur dan diameter *heave plate* yang paling optimal.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Teori Gerak Bangunan Apung

Menurut Journee, et al. (2001), gerakan bangunan apung dapat dibagi menjadi 6 derajat kebebasan yang dapat dibagi menjadi dua moda menurut sifat gerakannya, yaitu gerak translasi dan gerak rotasi. Gerak translasi merupakan gerakan bangunan apung yang sifatnya berpindah atau bergeser terhadap sumbu tertentu, seperti bergeser ke depan atau ke samping. Sedangkan gerak rotasi merupakan gerak bangunan apung yang bersifat memutar terhadap sumbu tertentu sebagai porosnya dan jari-jari girasi sebagai titik putarnya. Lebih detilnya, keenam gerakan tersebut memiliki nama sebagai berikut:

1. Mode gerak translasi
 - a. *Surging*, gerakan translasi arah sumbu x.
 - b. *Swaying*, gerakan translasi arah sumbu y.
 - c. *Heaving*, gerakan translasi arah sumbu z.
2. Mode gerak rotasi
 - a. *Rolling*, gerakan rotasi di sumbu x.
 - b. *Pitching*, gerakan rotasi di sumbu y.
 - c. *Yawing*, gerakan rotasi di sumbu z.



Gambar 2. 1: 6 Derajat Kebebasan Bangunan Apung (Journee, et al., 2001)

2.2.2 Gaya Eksitasi

Distribusi tekanan dari gelombang yang bekerja tidak merata pada struktur, menyebabkan terjadinya gaya eksitasi. Dampak dari tekanan yang tidak merata ini disebut juga gaya Froude-Krylof (Faltinsen, 1990). Selain itu perubahan distribusi tekanan juga dapat disebabkan oleh dimensi struktur yang cukup besar (Journee et al., 2001). Dimensi struktur yang besar yang menimbulkan perubahan distribusi tekanan menimbulkan efek yang disebut dengan gaya difraksi.

Persamaan (2.1) berikut ini dapat merepresentasikan gaya Froude-krylof, dengan variabel p merupakan distribusi tekanan, variabel n merupakan unit vector dan dA merupakan luasan kecil dari suatu benda.

$$F_{FKi} = \int p n_i dA \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) menjelaskan hubungan antara distribusi tekanan akibat dari medan gelombang dengan luas permukaan struktur yang terkena gelombang. Persamaan Bernoulli dapat diturunkan dengan persamaan potensial gelombang untuk mendapatkan distribusi tekanan gelombang di laut dalam, sehingga dapat dihasilkan persamaan (2.2). Sedangkan pada bangunan terapung, gaya difraksi yang terjadi memerlukan perhitungan yang kompleks dan pengamatan syarat batas untuk setiap kasusnya (Faltinsen, 1990).

$$p = \rho g \zeta_0 e^{kz} \sin(\omega t - kx) \quad (2.2)$$

Dengan,

ρ = Massa jenis air sekitar struktur (ton/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

ζ_0 = Amplitudo gelombang (m)

k = Angka gelombang (rad/m)

z = Posisi di sumbu vertikal, dengan nilai 0 di permukaan air (m)

ω = Frekuensi gelombang (rad/s)

t = Waktu (s)

x = Posisi di sumbu horizontal, searah dengan arah gelombang (m)

2.2.3 Gaya reaksi

Herdayanditya (2017) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa ketika dikenai gaya luar, bangunan apung akan mengalami gaya reaksi yang akan menentukan sifat olah geraknya. Gaya reaksi ini secara umum dipengaruhi oleh 3 aspek, yaitu massa tambah (*added mass*), redaman (*damping*) dan kekakuan (*stiffness*). Berikut penjabaran lebih detil mengenai masing-masing aspek tersebut.

1. Massa Tambah (*Added Mass*)

Bessel pada tahun 1828 melakukan eksperimen osilasi dalam bentuk pendulum di air dan di udara. Dari hasil penelitiannya, ia berhasil membuktikan bahwa walaupun pendulum yang diuji memiliki massa yang sama, pendulum yang berosilasi di dalam air memiliki massa lebih besar ketimbang yang berosilasi di udara. Bessel menginterpretasikan hal ini sebagai masa tambah (*added mass*) (Sarpkaya, 2010). Pada kenyataannya, tidak ada penambahan massa ke dalam sistem saat eksperimen, massa ini timbul akibat ikut Bergeraknya fluida di sekitar pendulum ketika pendulum berosilasi, sehingga timbullah penambahan energi kinetik sistem yang menghasilkan komponen massa tambahan akibat bertambahnya gaya eksternal yang diperlukan. Penambahan massa inilah yang dianggap sebagai massa tambah oleh Bessel (Sarpkaya, 2010). Massa tambah bergantung terhadap geometri atau bentuk dari benda serta mode gerak. Persamaan (2.3)

merupakan formula dari gaya masa tambah. Sarpkaya (2010) berhasil memodelkan persamaan untuk menentukan besar massa tambah beberapa bentuk sederhana. Untuk gerak silinder, dengan orientasi *surge* dan *heave* dapat dilihat pada Gambar 2.2.

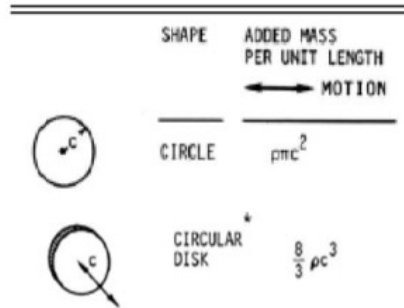
$$F a = a i \xi \dot{i} \quad (2.3)$$

Dengan,

i = mode gerak struktur dengan 1 (*surge*), 2 (*sway*), 3 (*heave*), 4 (*roll*), 5 (*pitch*) dan 6 (*yaw*)

a = massa tambah (kg)

ξ = respon percepatan gerak struktur (m/s^2)



Gambar 2. 2: Persamaan Massa Tambah Untuk Bentuk Silinder (Sarpkaya, 2010)

2. Redaman (*damping*)

Redaman merupakan dampak yang didapat akibat adanya disipasi energi dari struktur (Newman dalam penelitian Herdayanditya, 2017). Redaman secara periodik akan membuat bangunan apung kehilangan energi kinetiknya. Saat bangunan apung bergetar akibat dikenai gaya, maka struktur akan bergetar. Namun, lama kelamaan struktur dengan sendirinya akan menjadi lebih tenang, hal inilah yang disebut sebagai redaman. Sama halnya seperti massa tambah, besarnya redaman dari suatu sistem bergantung pada bentuk benda dan moda gerakannya. Persamaan (2.4) dapat merepresentasikan redaman sebagai gaya reaksi. Nilai koefisien redaman dapat dicari dengan menggunakan analisa numeris (Chakrabarti, 1994)

$$Fb = bi\xi_i \quad (2.4)$$

dengan,

- i = mode gerak struktur dengan 1 (*surge*), 2 (*sway*), 3 (*heave*), 4 (*roll*), 5 (*pitch*) dan 6 (*yaw*)
- b = redaman sistem (N s/m)
- ξ = respon kecepatan gerak struktur (m/s)

3. Kekakuan (*stiffness*)

Pada permukaan air yang tenang (tanpa ada gelombang), bangunan apung memiliki kecenderungan untuk kembali ke posisi awal yang disebut kekakuan (*stiffness*). Kekakuan dari bangunan apung hanya akan terjadi pada 3 moda gerak, yaitu: gerak *heave* (ξ_3), *pitch* (ξ_4) dan *roll* (ξ_5) (Djatkiko, 2012). Gaya yang mengembalikan posisi bangunan apung sebagai wujud dari reaksi bangunan apung disebut sebagai gaya pengembali (*restoring force*), yang sangat dipengaruhi oleh karakter hidrostatis dari struktur. Gaya tersebut dapat direpresentasikan oleh persamaan (2.5) berikut.

$$Fc = ci\xi_i \quad (2.5)$$

Dengan,

- i = mode gerak struktur dengan 1 (*surge*), 2 (*sway*), 3 (*heave*), 4 (*roll*), 5 (*pitch*) dan 6 (*yaw*)
- c = kekakuan struktur (N/m)
- ξ = respon gerak struktur (m)

Sedangkan untuk nilai c dari *heave*, *roll* dan *pitch* dapat dicari menggunakan:

$$c_3 = \rho g A_{wp} \quad (2.6)$$

$$c_4 = \rho g V_{GMT} \quad (2.7)$$

$$c_5 = \rho g V_{GML} \quad (2.8)$$

Dengan,

- ρ = massa jenis air sekitar struktur (kg/m³)
- g = percepatan gravitasi struktur (m/s²)

- A_{wp} = luas permukaan di garis air (m^2)
- V = volume displacement struktur (m^3)
- GMT^{\equiv} = panjang metacentre melintang (m)
- GML^{\equiv} = panjang metacentre memanjang (m)

2.2.4 Persamaan gerak bangunan apung

Respon gerak bangunan apung akibat dikenai gaya dapat direpresentasikan dengan hukum II Newton seperti pada persamaan berikut:

$$\sum F = m i \ddot{\xi}_i \quad (2.9)$$

Dengan,

- i = mode gerak struktur dengan 1 (*surge*), 2 (*sway*), 3 (*heave*), 4 (*roll*), 5 (*pitch*) dan 6 (*yaw*)
- $\sum F$ = resultan gaya (N)
- m = massa struktur (kg)
- $\ddot{\xi}$ = percepatan struktur (m/s^2)

Persamaan di atas memperjelas hubungan antara gaya aksi (eksitasi) dan gaya reaksi pada struktur bangunan apung. Karena sifatnya yang saling melawan, maka resultan gaya untuk benda terapung merupakan pengurangan gaya aksi oleh reaksi. Lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\sum F = F_{eksitasi} - F_{reaksi} \quad (2.10)$$

Sesuai dengan definisi gaya reaksi yang terdiri dari 3 komponen pembentuk sesuai dengan penjelasan sebelumnya, maka persamaan (2.9) saat struktur terkena gelombang dapat dikembangkan menjadi persamaan (2.10).

$$\sum F = F_{eksitasi} - (F_a + F_b + F_c) \quad (2.11)$$

Dengan,

- $\sum F$ = resultan gaya (N)
- F_a = gaya inersia (N)
- F_b = gaya redaman (N)
- F_c = gaya pengembali (N)

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3), (2.4), dan (2.5) ke persamaan (2.9) dan (2.11) maka didapat persamaan (2.12) dan (2.13):

$$m_i \ddot{\xi}_i = F_{eks} - (a_i \dot{\xi}_i + b_i \xi_i + c_i \xi_i) \quad (2.12)$$

$$(m_i + a_i) \ddot{\xi}_i + b_i \dot{\xi}_i + c_i \xi_i = F_{eks} \quad (2.13)$$

Dengan,

- i = mode gerak struktur dengan 1 (*surge*), 2 (*sway*), 3 (*heave*), 4 (*roll*), 5 (*pitch*) dan 6 (*yaw*)
- F_{eks} = gaya eksitasi gelombang (N)
- m = massa struktur (kg)
- a = massa tambah (kg)
- $\ddot{\xi}$ = respon percepatan gerak struktur (m/s²)
- b = nilai redaman sistem (N s/m)
- $\dot{\xi}$ = respon kecepatan gerak struktur (m/s)
- c = kekakuan struktur (N/m)
- ξ = respon posisi gerak struktur (m)

Persamaan (2.12) merupakan persamaan yang mempresentasikan gerak respon bangunan apung, namun belum mempertimbangkan aspek gerak kopel bangunan. Sehingga, dalam persamaan (2.12) setiap mode gerak dianggap tidak mempengaruhi mode gerak benda yang lain. Di sisi lain, secara riil setiap mode gerak akan saling mempengaruhi, gerak kopel adalah persamaan gerak yang setiap geraknya bisa saling mempengaruhi gerak yang lainnya. Menurut Djatmiko (1992), persamaan gerak kopel untuk kondisi terapung dapat direpresentasikan dalam persamaan dengan komponen pembentuk berupa matriks, gerak kopel dapat direpresentasikan dengan persamaan (2.14).

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\xi}_k + B_{jk} \dot{\xi}_k + C_{jk} \xi_k] = F_j e^{i\omega t}, j = 1 \quad (2.14)$$

Dengan,

- M_{jk} = matriks massa bangunan apung

A_{jk} = matriks massa tambah bangunan apung
 B_{jk} = matriks redaman bangunan apung
 C_{jk} = matriks kekakuan bangunan apung
 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*.

Pada saat bangunan apung dalam kondisi tertambat, persamaan gerak (2.14) dapat diubah menjadi persamaan (2.15) (Chen dalam penelitian Herdayanditya, 2017).

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^6 [-\omega^2(\delta_{nm}M_{jk}^{nm} + A_{jk}^{nm}) - i\omega B_{jk}^{nm} + \delta_{nm}C_{jk}^{nm} + C_{jk}^{*nm}] \zeta_j = F_j^n \quad (2.15)$$

Dengan,

n = 1, 2, 3...M menunjukkan jumlah n^{th} struktur,

δ_{nm} = simbol Kronecker delta, mempunyai nilai 0 jika $n \neq m$ dan 1 jika $n = m$, sehingga M_{jk}^{mm} dan C_{jk}^{mm} adalah matriks inersia dan hidrostatis dari bangunan m^{th} .

A_{jk}^{nm} = matriks massa tambah untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks massa tambah bangunan m^{th} akibat bangunan n^{th} ($n \neq m$),

B_{jk}^{nm} = matriks redaman hidrodinamika untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks redaman hidrodinamika m^{th} akibat bangunan n^{th} saat ($n \neq m$),

C_{jk}^{*nm} = matrik kekakuan untuk bangunan m^{th} akibat gerak bangunan sendiri ($n = m$), dan matriks kekakuan m^{th} akibat bangunan n^{th} saat ($n \neq m$)

F_j^n = matriks gaya eksitasi pada bangunan n^{th} .

Van Malree dan Van Boom (1991) yang dikutip oleh Herdayanditya (2017) dalam penelitiannya, menyatakan bahwa komponen pembentuk eksitasi gelombang terdiri dari gaya gelombang orde 1 ($F_{j-wv}^{n(1)}$), gaya gelombang orde 2 ($F_{j-wv}^{n(2)}$), arus (F_{j-c}^n), angin (F_{j-w}^n), mesin pendorong (F_{j-th}^n) dan sistem control lainnya (F_{j-ct}^n) seperti sirip penstabil (*stabilizing fins*). Matriks gaya eksitasi dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut.

$$F_j^n = F_{j-wv}^{n(1)} + F_{j-wv}^{n(2)} + F_{j-c}^n + F_{j-w}^n + F_{j-th}^n + F_{j-ct}^n \quad (2.16)$$

2.2.5 Energi Spektrum Gelombang

Djarmiko (2012) dalam bukunya yang berjudul “Perilaku dan operabilitas bangunan apung di atas gelombang acak” menjelaskan bahwa setiap gelombang reguler memiliki muatan energi pada setiap satuan luas permukaannya, yang ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya. Energi yang diakibatkan oleh komponen gelombang reguler ke- n dapat direpresentasikan dalam persamaan berikut.

$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 \quad (2.17)$$

Dimana,

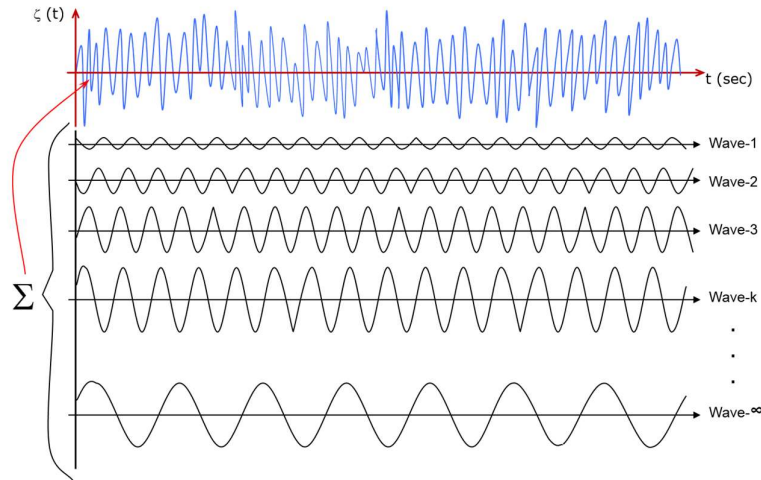
E_n = Energi gelombang reguler ke – n (KN/m)

ρ = Massa jenis air laut, 1.025 (ton/m³)

g = Percepatan gravitasi, 9.81 (m/s²)

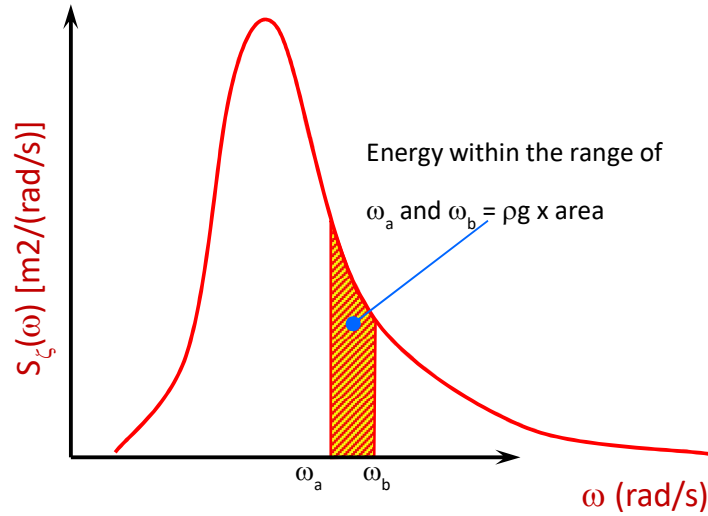
ζ_{n0} = Amplitudo gelombang reguler ke – n (m)

Dalam gelombang acak, komponen gelombang reguler yang berjumlah tak hingga akan saling bersuperposisi, sehingga energi dari seluruh komponen gelombang reguler akan saling berkontribusi. Secara visual, fenomena ini dapat digambarkan sebagaimana berikut.



Gambar 2. 3: Gelombang acak yang terbentuk dari superposisi gelombang reguler berjumlah tak hingga (Djatkiko, 2012)

Penjumlahan dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas dalam gelombang acak dapat direpresentasikan menggunakan kepadatan spektrum energi gelombang. Dimana energi tiap komponen gelombang reguler merupakan besar ordinat dari frekuensi masing-masing komponen gelombang reguler yang dapat dilihat dalam gambat berikut.



Gambar 2. 4: Definisi spektrum energi gelombang (Djatkiko, 2012)

Mengacu pada gambar di atas, dan persamaan 2.17, maka energi yang diakibatkan oleh komponen gelombang reguler ke n yang memiliki frekuensi tertentu dapat direpresentasikan dengan persamaan berikut.

$$\rho g S_{\zeta}(\omega) d\omega = \frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 \quad (2.18)$$

Sehingga, besar ordinat kurva spektrum energi gelombang dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$S_{\zeta}(\omega) d\omega = \zeta_{n0}^2 / 2 \delta\omega \quad (2.19)$$

Dimana,

$S_{\zeta}(\omega)$ = Besar ordinat spektrum energi gelombang ($m^2/(\text{rad/s})$)

$\delta\omega$ = Rentang kenaikan frekuensi (rad/s)

ζ_{n0} = Amplitudo gelombang (m)

2.2.6 Spektrum Gelombang JONSWAP

JONSWAP merupakan singkatan dari *Joint North Sea Wave Project*, yaitu proyek yang dilakukan bersama-sama oleh sejumlah negara untuk meneliti gelombang di perairan laut utara. Menurut Hasselman, dkk (1973, 1978) yang

dikutip oleh Djatmiko (2012) dalam bukunya, formulasi spektra JONSWAP adalah modifikasi dari spektra Pierson – Moskowitz (P-M) dengan menambahkan beberapa parameter yang dapat mengakomodasi karakteristik gelombang perairan tertutup atau kepulauan. Adapun persamaan dari spektra JONSWAP adalah sebagai berikut.

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}] \gamma^{\exp\left\{\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\tau\omega_0^2}\right\}} \quad (2.20)$$

Dimana,

$$\alpha = 0.076 (X_0)^{-0.22} \text{ atau } 0.0081 \text{ jika } X \text{ tidak diketahui}$$

$$X_0 = gX/U_w^2$$

$$X = \text{Panjang fetch}$$

$$g = \text{Gravity (m/s}^2\text{)}$$

$$U_w = \text{Kecepatan angin (m/s)}$$

$\gamma = \text{Peakedness parameter}$. Harganya bervariasi antara 1 sampai dengan 7. Untuk laut utara mempunyai harga 3.3, sedangkan perairan Indonesia antara 2 – 2.5

$$\tau = \text{Shape parameter, } 0.07 \text{ jika } \omega \leq \omega_0 \text{ dan } \omega > \omega_0$$

$$\omega_0 = 2\pi(g/U_w)(X_0)^{-0.33} \text{ merupakan frekuensi puncak spektra}$$

2.2.7 Respons Bangunan Laut di Gelombang Acak

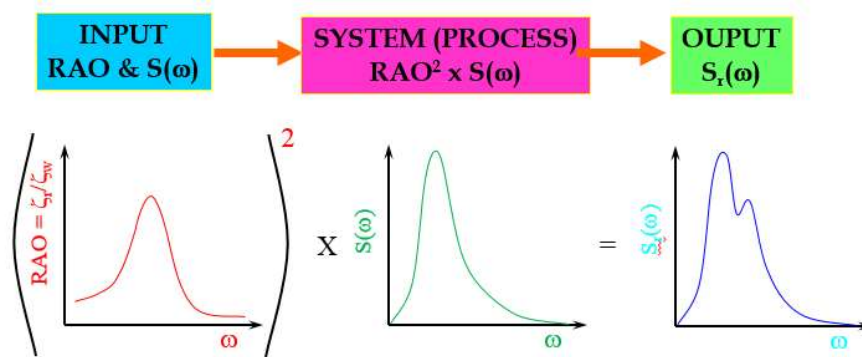
Dalam kondisi ideal, gerakan bangunan apung dapat dihitung sebagai reaksi dari adanya eksitasi gelombang sinusoidal, dengan karakteristik amplitudo dan frekuensi tertentu. Perubahan respon akan linear apabila amplitudo konstan dan frekuensi tetap, namun perubahan respon menjadi tidak linear apabila frekuensi divariasikan pada amplitudo yang tetap. Fenomena ini ditunjukkan oleh fluktuasi *RAO* seperti yang dijelaskan oleh Djatmiko (2012) dalam bukunya.

Selain itu, gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen gelombang sinusoidal yang masing-masing komponen memiliki

tingkat energi tertentu. Tingkat energi tersebut diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang. Maka untuk mengetahui karakteristik bangunan apung terhadap gelombang acak, pertama-tama gelombang acak tersebut harus didekomposisi menjadi komponen-komponen gelombang regular, kemudian komponen tersebut digunakan untuk menghasilkan eksitasi terhadap gelombang laut. Hasil eksitasi berupa respon sinusoidal, dan keseluruhan respon sinusoidal disuperposisikan kembali menjadi respon acak bangunan laut.

Maka dari itu, respon bangunan apung pada gelombang acak dapat didapat dengan mengalikan nilai spektrum gelombang S_{ζ} dengan RAO^2 . Proses ini adalah mengubah spectrum gelombang menjadi spectrum respon.

$$S_{\zeta r}(\omega) = RAO^2 \cdot S_{\zeta}(\omega) \quad (2.21)$$



Gambar 2. 5: *Spectral Analysis*, transformasi spektrum gelombang menjadi respon spektrum (Djatkiko, 2012)

Luasan di bawah respon spektrum merupakan nilai varians (m_0), nilai tersebut dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$m_0 = \int_0^{\infty} S_{\zeta r}(\omega) d\omega \quad (2.22)$$

Beberapa parameter-parameter statistik lainnya adalah tinggi rata-rata dari respon (S_{avg}), tinggi maksimum respon (S_{max}), tinggi *root mean square* (S_{rms}), tinggi signifikan respon (S_s). Persamaan parameter-parameter tersebut diberikan sebagaimana berikut:

$$S_{avg} = 2.5\sqrt{m_0} \quad (2.23)$$

$$S_{max} = 7.44\sqrt{m_0} \quad (2.24)$$

$$S_{\text{rms}} = 2\sqrt{2}m_0 \quad (2.25)$$

$$S_s = 4\sqrt{m_0} \quad (2.26)$$

2.2.8 Teori Analisis Dinamis

DNV OS E301 (2008) menyatakan bahwa metode analisa simulasi dinamis pada bangunan lepas pantai terapung dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Analisa domain frekuensi (*Frequency domain*)

Merupakan analisa dengan simulasi berbasis kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. Metode ini dapat digunakan untuk memprediksi respon bangunan terapung terhadap gelombang acak, seperti gerakan dan percepatan bangunan apung, gaya tendon, dan sudut kemiringan bangunan apung. Keuntungan dari analisa menggunakan analisa domain frekuensi yaitu tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungannya. Namun, kekurangannya semua persamaan *non-linear* harus diubah menjadi *linier*.

2. Analisa domain waktu (*Time domain*)

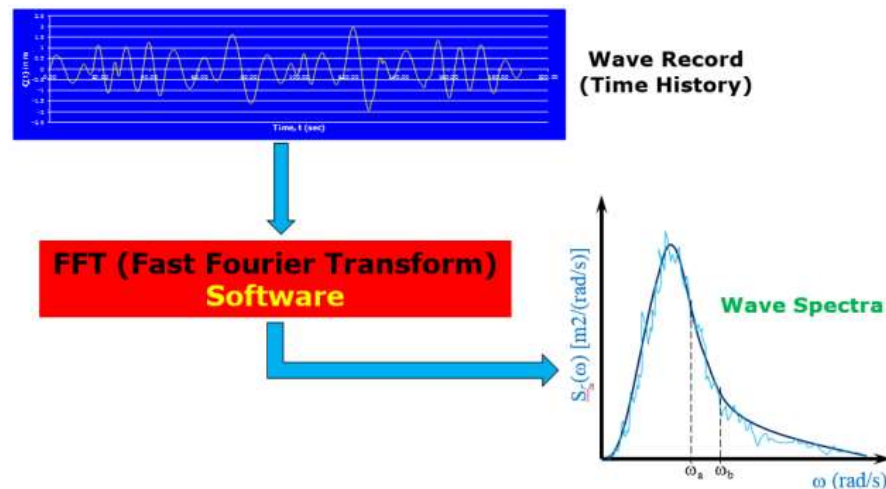
Merupakan analisa yang digunakan untuk memprediksi gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Metode ini menggunakan pendekatan prosedur integrasi waktu yang menghasilkan respon *time history* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$. Metode analisa domain waktu banyak digunakan *software* dalam menganalisa respon gerak bangunan apung dan interaksinya dengan tali tambat di bawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Periode awal harus dimaksimalkan agar efek *transient* menjadi minimal. Namun, metode ini membutuhkan proses lebih lama dan perhitungannya lebih kompleks karena dibutuhkan waktu untuk simulasi *time history*. *Time history* sendiri memberikan berbagai macam informasi seperti *tension maksimum*, *offset*, beban jangkar, dll. Durasi minimum simulasi yang biasa digunakan yaitu 3 jam untuk merepresentasikan durasi terbentuknya badai (*storm condition*), dan mendapatkan puncak nilai statistik respon yang stabil (API RP 2 SK, 2005).

2.2.9 Fast Fourier Transform

Djarmiko (2012) dalam bukunya yang berjudul “Perilaku dan operabilitas bangunan apung di atas gelombang acak” menjelaskan bahwa *Fast fourier transform* (FFT) merupakan metode yang diterapkan untuk menganalisis rekaman gelombang atau respon gerak struktur yang didapatkan dari analisis domain waktu yang berupa *time history*, menjadi spektrum energi gelombang atau respons.

Metode ini, diadaptasi dari bidang disiplin ilmu lain, khususnya elektronika dan mekanika getaran. Pada prinsipnya, metode ini digunakan untuk mentransformasi data rekaman acak dari gelombang ataupun respon gerak struktur yang berupa rekaman domain waktu, menjadi domain frekuensi untuk kemudian diolah menjadi kurva energi spektrum gelombang atau respons dengan menggunakan algoritma matematika deret *fourier* yang telah dikembangkan untuk mengefisienkan proses numerik yang berlangsung. Perangkat lunak yang memiliki fitur untuk menggunakan FFT saat ini sangat mudah didapatkan di pasaran.

Secara umum, proses transformasi *time history* menjadi kurva energi spektrum gelombang atau respons dapat dilihat pada skema berikut.



Gambar 2. 6: Skema proses transformasi *time history* gelombang menjadi spektrum gelombang (Djarmiko, 2012)

Data *time history* gelombang acak maupun respon struktur pertama-tama harus dipersiapkan terlebih dahulu dengan membagi satu rekaman gelombang

menjadi segmen-segmen, lalu dalam setiap segmennya ditentukan sejumlah titik data dengan jumlah yang sama dan sesuai dengan interval pengukuran. Setelah itu ditentukan frekuensi inkremental yang biasa dikenal sebagai *Nyquist frequency* yang nantinya akan digunakan sebagai kenaikan frekuensi dalam grafik rekaman domain frekuensi. Setelah data disiapkan, proses FFT secara numerik dilakukan, lalu hasilnya yang berupa amplitudo gelombang atau respons setiap frekuensi, diolah menjadi spektrum menggunakan persamaan yang telah dibahas dalam sub-bab energi spektrum sebelumnya.

2.2.10 Spar (*Single Point Anchor Reservoir*)

Merupakan *floating offshore platform* yang dapat mendukung kegiatan *drilling*, *produksi*, dan *storage operations*. SPAR terdiri dari sebuah silinder berukuran masif yang terapung dengan *topside* beserta *equipments* di atasnya. Konsepnya mirip seperti bongkahan es raksasa (*Iceberg*), mayoritas dari bagian SPAR mengapung di bawah permukaan air, sehingga stabilitas struktur meningkat.

Pada awalnya, SPAR didesain sebagai buoy terapung untuk mengambil informasi oseanografis. Komponen utama dari SPAR adalah kamar terapung bersarat tinggi (*Deep-draft floating chamber*) atau biasa disebut dengan lambung silinder berongga (*Hollow cylindrical hull*). Hull dari SPAR memiliki karakteristik tersendiri, yaitu dikelilingi spiral berulir untuk menambah stabilitas. Sebagai tambahan, di bagian dasar silinder terdapat bagian *ballast* yang terbentuk dari material yang lebih berat daripada air laut, bagian *ballast* ini untuk memastikan *Center of gravity* dari SPAR selalu berada di bawah *Center of Buoyancy*.

Desain sarat air yang dalam membuat pengaruh angin, arus, dan gelombang terhadap SPAR berkurang, yang hasilnya membuat SPAR dapat mendukung kegiatan *subsea* dan *dry tree development*. Silinder tertutup pada SPAR juga berfungsi sebagai pelindung untuk *risers & equipments*. Menggunakan SPAR merupakan pilihan yang paling ideal yang dapat menghemat biaya produksi untuk *deep water* dan *ultra deep water*. Bagian *hull* dapat berperan sebagai *storage* untuk minyak dan gas.

Diatas *hull* SPAR terdapat topside yang dapat difasilitasi dengan *drilling equipments, production facilities* dan *living quarters*. *Drilling* dilakukan dari topside melewati *hollow cylindrical hull*; lalu *risers* untuk *drilling, import/export*, dan produksi memanjang melewati *hull* tertutup (*enclosed hull*). SPAR menggunakan *mooring* yang ditambatkan ke *seafloor*. *Mooring lines* yang biasa digunakan untuk SPAR merupakan kombinasi dari *Spiral Strand Wire* dan rantai. Karena karakteristik gerakan SPAR yang kecil, SPAR dapat menggunakan *Taut mooring system* yang cakupannya lebih pendek dengan biaya yang lebih ekonomis ketimbang menggunakan *full catenary system*. Setiap *mooring line* ditambatkan ke *seafloor* dengan menggunakan *driven* atau *suction pile*.

Meskipun *hull* dikencangkan ke dasar laut menggunakan berbagai macam teknik *mooring*, *SPAR platform* tidak membutuhkan *mooring* untuk tetap mengapung dengan posisi sempurna. Desain unik dari SPAR membuat struktur ini tidak akan terguling meskipun *mooring* tidak tertambat, hal ini disebabkan oleh *Center of gravity* dari SPAR yang selalu berada di bawah *Center of Buoyancy*.

JENIS-JENIS SPAR

Terdapat tiga tipe SPAR yang sejauh ini dikembangkan, yaitu:

- ***Original SPAR design***



Gambar 2. 7: *Original SPAR* (Rigzone, 1999)

Terdiri dari satu *hull* silinder. Desain pertama kali dari SPAR jenis ini dibuat pada pertengahan tahun 1990 untuk *Neptune field* di *Gulf of Mexico*. Contoh dari SPAR jenis ini yaitu *Genesis SPAR*. Komponen utama dari *original SPAR* yaitu:

- a. *Upper Section*: Dibagi menjadi beberapa kompartemen yang diisi oleh udara untuk memberikan *buoyancy*.
- b. *Centerwell*: Diisi dengan air laut.
- c. *Keel Section (Soft Tank)*: Dibagi menjadi beberapa kompartemen untuk memudahkan proses instalasi. Pada bagian ini terdapat *ballast*.

- ***Truss SPAR***

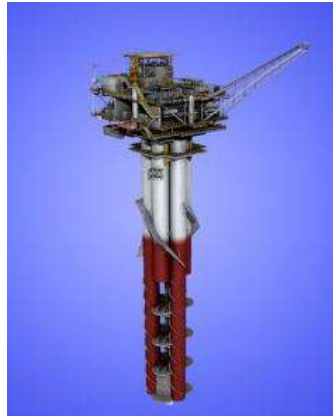


Gambar 2. 8: *Truss SPAR (Marinetalk, 2002)*

Generasi selanjutnya yaitu *Truss SPAR*, memiliki desain yang mirip dengan *original SPAR*, namun *hull* silinder *truss SPAR* lebih pendek dan memiliki tiang penopang (*Truss*) di bawahnya. Tiang penopang ini biasanya memiliki sebuah plat horizontal sebagai pemberat untuk mengurangi pergerakan vertikal. *Truss SPAR* lebih menguntungkan karena memiliki berat yang lebih ringan ketimbang *original SPAR*, karena menggunakan baja yang lebih sedikit dan tentu lebih murah. Contoh dari SPAR jenis ini yaitu PERDIDO SPAR milik Shell. Komponen utama dari *truss SPAR* yaitu:

- a. *Hard Tank*: Sumber *buoyancy* utama dari SPAR.

- b. *Truss Section*: Mendukung pelat *heave* di bagian bawah silinder dan memisahkan *Hard Tank* dengan *Keel Tank*. Membantu meningkatkan stabilitas dengan mengurangi *heave* dari SPAR.
 - c. *Keel Tank (Soft Tank)*: Terdapat *ballast* permanen yang membantu keseimbangan SPAR dan menjadi tempat menggantungnya *pipelines* dan *flowlines*.
- **Cell SPAR**

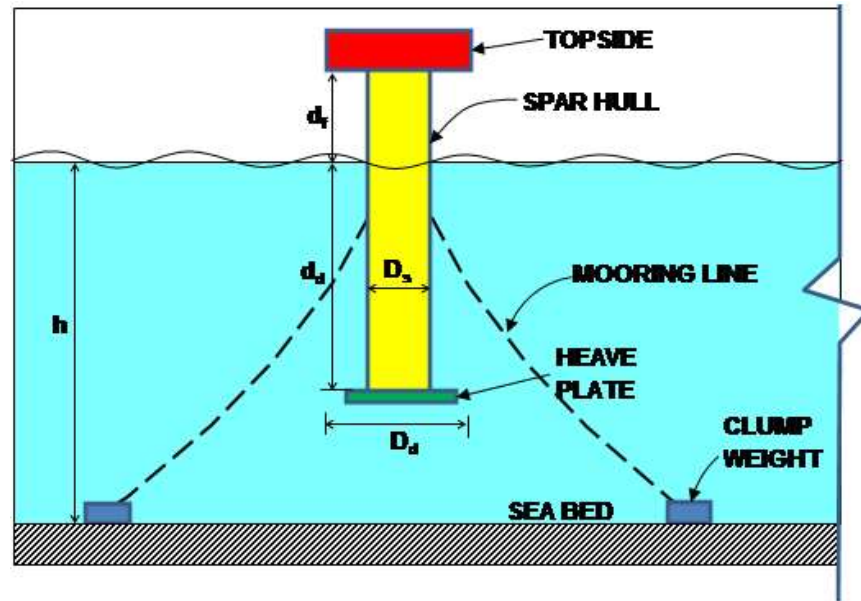


Gambar 2. 9: *Cell SPAR (Rigzone, 1999)*

Merupakan variasi SPAR yang paling baru, yang merupakan pengembangan dari desain *original SPAR*. Terdiri dari enam *vessel* bertekanan (*pressured vessel*) yang melingkari satu *vessel* di bagian tengahnya. *Vessel-vessel* bertekanan ini jauh lebih ekonomis dan lebih mudah dalam menghasilkan massa. *Vessel-vessel* ini disatukan dengan baja terstruktur, yang memberikan *buoyancy* untuk keseluruhan struktur. Baja terstruktur ini memanjang ke bawah di sepanjang *vessel* dan mempertahankan kedalaman sarat (*draft*) desain dengan menyediakan stabilitas untuk struktur. Saat ini hanya ada satu jenis SPAR jenis ini yaitu Red Hawk SPAR. Komponen utama dari SPAR jenis ini kurang lebih sama dengan yang lain, dengan enam *vessel* silinder yang melingkari satu *vessel* silinder sebagai *Hard Tank*, *Middle Hull* yang merupakan perpanjangan dari *vessel-vessel* silinder, dan *Lower Section* atau *Keel* yang memiliki *ballast* permanen.

2.2.11 SPAR Platform dengan Heave Plate

Rho, dkk yang dikutip dalam penelitian zaman (2015) mengenalkan konsep penggunaan *heave plate* pada anjungan SPAR. SPAR semula hanya berbentuk silinder vertikal polos yang dimodifikasi dengan menambahkan plat silinder di bagian *keel*. *Heave plate* sendiri merupakan komponen tambahan yang dapat menambah *viscous damping* dari struktur. Dengan penambahan plat tersebut, *viscous damping* dari struktur akan bertambah akibat bertambahnya massa tambah struktur pada arah *heave* sehingga akan mengurangi gerakan *heave* SPAR dengan signifikan. Hal ini juga didukung dengan hasil penelitian lebih dalam oleh Sudhakar (2011) dan subbulakhsmi (2015) mengenai penggunaan *heave plate* pada SPAR.



Gambar 2. 10: *Classic SPAR with Heave Damping Plate* (Shudakar, 2011)

Sudhakar (2011) dalam penelitiannya berhasil membuktikan bahwa penambahan ukuran diameter *heave plate* sangat mempengaruhi reduksi gerak SPAR pada arah *heave*, *surge*, dan *pitch*. Hasil penelitiannya menunjukkan reduksi signifikan terjadi pada arah *heave*, dan semakin besar diameter *heave plate* reduksi *motion* SPAR juga semakin besar. Sedangkan Subbulakhsmi (2015) dalam penelitiannya menggunakan *double heave plate* yang terletak di bagian *keel* dan tengah *hull* SPAR dengan beberapa variasi jarak antar *heave plate*. Dari hasil

penelitiannya, dapat dibuktikan bahwa jarak antar *heave plate* juga mempengaruhi reduksi respon gerakan SPAR.

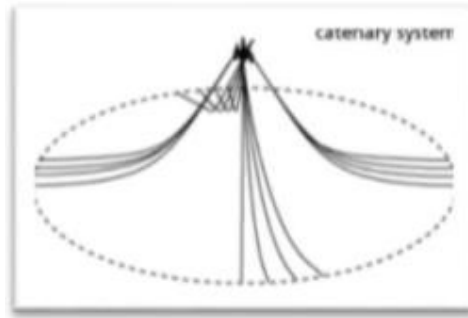
2.2.12 Sistem Tambat (*Mooring System*) pada SPAR

Herdayanditya (2017) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa sistem tambat (*mooring system*) pada struktur terapung lepas pantai seperti SPAR, TLP, Kapal dan lain-lain memiliki fungsi krusial untuk menjaga posisi struktur agar tetap berada pada posisinya dan tidak berpindah terlalu jauh dari posisinya awalnya ketika dikenai gaya-gaya yang bekerja seperti angin, arus dan gelombang ketika beroperasi. Pada umumnya, SPAR *floating structure* menggunakan konfigurasi sistem tambat menyebar (*spread mooring*) yang terdiri dari *catenary mooring* atau *taut mooring*. Tali tambat terdiri dari sejumlah *lines* yang terbuat dari *chain*, kabel (*wire*), atau tali sintetik (*synthetic rope*). Bagian atas tali tambat ditautkan dengan struktur pada *fairlead* dan bagian bawahnya ditautkan dengan *anchor* yang akan ditancapkan ke *seabed*. Tali tambat akan mengalami gaya tegangan yang bergantung pada besar bangunan apung yang ditambatkan dan spesifikasi tali tambat seperti berat, kekakuan, dll.

Ada dua tipe konfigurasi *mooring* yang umum digunakan pada SPAR, yaitu:

1. *Catenary Line Mooring*

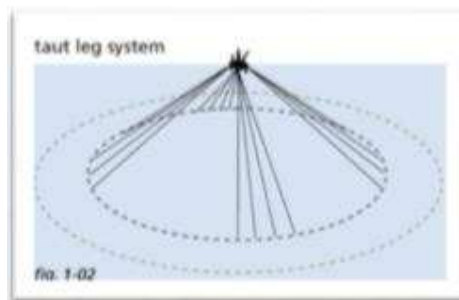
Merupakan konfigurasi sistem tambat yang paling umum digunakan. Pada konfigurasi ini, digunakan tali tambat yang sangat panjang sehingga sebagian besar tali tambat akan tergeletak di *seabed*. Karena itu, *anchor* di ujung tali tambat hanya akan mengalami beban horizontal, dan gaya pengembali yang dihasilkan dari konfigurasi ini hanya dihasilkan oleh berat tali tambat yang digunakan dan gaya geseknya terhadap *seabed*.



Gambar 2. 11: Sistem Tambat tipe Catenary (Rigzone, 1999)

2. Taut Mooring System

Perbedaan utama konfigurasi *Taut mooring system* dengan *catenary* terletak pada gaya yang dialami *anchor* di ujung bawah tali tambat yang menancap pada *seabed*. Pada konfigurasi ini, tali tambat dibuat tegang seakan menarik struktur ke bawah, sehingga *anchor* pada ujung bawah tali tambat akan mengalami beban vertikal dan horizontal akibat dari posisi tali tambat yang dalam keadaan tegang bersudut terhadap *seabed*. Gaya pengembali pada konfigurasi ini bergantung pada berat tali tambat dan kekuatan *anchor* yang harus mampu menahan beban vertikal dan horizontal yang terjadi. Konfigurasi ini lebih ekonomis dari konfigurasi *catenary* karena tali tambat yang dibutuhkan lebih pendek.



Gambar 2. 12: Sistem Tambat tipe Taut (Rigzone, 1999)

Wichers & Huijsmans (1984), Wichers (1986; 1987; 1988a; 1988b) dan API (2001) memodelkan persamaan yang dapat memenuhi kaidah persamaan gerak dan gaya eksitasi akibat gelombang, arus, dan angin terhadap bangunan apung. Persamaan adalah sebagai berikut.

$$M(\ddot{x} + D\dot{x}) = X_H + X_w + X_M + X^{(2)} \quad (2.27)$$

Dengan,

$$X = (x_1, x_2, x_6)^T$$

$$M = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\dot{x}_2 \\ 0 & 0 & \dot{x}_6 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

X^H = vektor gaya hidrodinamika dan gaya arus,

X^W = vektor gaya angin,

X^M = vektor gaya tali tambat

$X^{(2)}$ = vektor gaya orde-2 gelombang

2.2.13 *Excursion* atau *Offset*

Arianti (2009) dalam penelitian tugas akhirnya menjelaskan bahwa *excursion* atau *offset* merupakan perpindahan posisi bangunan apung dengan jarak tertentu setelah terkena gelombang dan merupakan salah satu bentuk respon dari bangunan apung setelah terkena beban lingkungan. *Offset* dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok sebagaimana berikut:

1. *Mean offset*

Perpindahan dari bangunan apung karena kombinasi dari pengaruh beban arus, *wave drift* rata-rata, dan angin.

2. *Maximum offset*

Merupakan *mean offset* yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency motion*.

Menurut aturan pada API RP 2SK (2005), *offset* maksimum ditentukan dengan 2 prosedur di bawah ini:

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{lfmax} + S_{wfsig} \quad (2.28)$$

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

$$S_{max} = S_{mean} + S_{wfmax} + S_{lfsig} \quad (2.29)$$

Dengan,

S_{mean} = Mean vessel offset (m)

S_{max} = Maximum wave frequency motion (m)

S_{lfmax} = Maximum low-frequency motion (m)

S_{lfsig} = Significant low-frequency motion (m)

S_{wfmax} = Maximum wave frequency motion (m)

S_{wfsig} = Significant wave frequency motion (m)

Dapat juga digunakan alternatif lain dalam menganalisanya menggunakan *time domain*, *frequency domain*, kombinasi keduanya, atau dengan menggunakan *model testing*. *Mean offset* yang diizinkan adalah 2% hingga 4% dari kedalaman perairan. Sedangkan untuk *Maximum offset* batas izinnnya dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kedalaman perairan, lingkungan, dan sistem *riser* yang ada pada struktur. Tetapi pada umumnya diambil rentang 8% hingga 12% dari kedalaman perairan (API RP 2P, 2001).

Menurut DNV OS E301 (2008), batas izin *offset* horizontal juga ditentukan dengan jarak antar bangunan laut, dengan jarak antar bangunan yang diizinkan minimal 10 m. *Offset* horizontal maksimum juga dibatasi oleh sudut maksimum antara *riser* dengan sendi fleksibel (*flex joints*) pada BOP. Untuk itu, dalam menjamin keamanan margin *offset* maksimum sebesar 2,5% dari kedalaman harus digunakan. Kondisi lingkungan maksimum untuk operasi pengeboran menganggap kapasitas kompensasi *heave* menjadi pertimbangan.

API RP 16Q (1993) merekomendasikan batas rotasi *flex joints* atas dan bawah seperti pada tabel berikut.

Tabel 2. 1. Rekomendasi batas *flex joints* dari API RP 16Q

<i>Flex Joints</i>	Data	Dihubungkan dengan <i>Riser (degree)</i>		Tidak dihubungkan dengan <i>Riser</i> <i>(degree)</i>
		<i>Drilling</i>	<i>Non-Drilling</i>	
Bawah	Sudut rata-rata	2.0	-	-
	Sudut maksimum	4.0	9.0	-
Atas	Sudut rata-rata	2.0	-	-
	Sudut maksimum	4.0	13.5	13.5

Berdasarkan aturan-aturan yang dijelaskan di atas, *offset* maksimum dari SPAR yang akan diteliti tidak boleh melebihi $\tan(13.5^\circ)$ dikali jarak vertikal *flex joint* atas terhadap titik berat struktur selama kondisi ULS (*Ultimate Limit State*) dan harus dalam margin 2.5% dari kedalaman laut.

2.2.14 Teori Pemodelan

Munson, et al. yang dikutip dalam penelitian Herdayanditya (2017) menjelaskan bahwa dalam memodelkan sebuah struktur riil atau purwarupa untuk eksperimen, ada beberapa aspek yang harus diperhatikan agar model dapat merepresentasikan purwarupa atau struktur riil yang akan diteliti. Aspek-aspek tersebut yaitu kesamaan geometri, kesamaan kinematika fluida, kesamaan dinamika ketika struktur bersinggungan dengan fluida di sekitarnya, dan hukum pemodelan froude. Penjelasan lebih detail dari ketiga aspek tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kesamaan geometri

Sesuai namanya, dalam kesamaan geometri model dan struktur ataupun purwarupa yang dimodelkan harus sama secara geometri meskipun memiliki dimensi yang berbeda. Hal ini penting dilakukan agar model dapat merepresentasikan benda acuan yang sebenarnya (Herdayanditya, 2017).

Untuk mendapatkan rasio skala geometris dapat digunakan persamaan berikut ini.

$$\frac{l_p}{l_m} = \lambda \quad (2.30)$$

Dimana,

l_p = Dimensi prototype (benda acuan)

l_m = Dimensi model eksperimen

λ = Rasio skala

Untuk mendapatkan kesamaan geometris secara sempurna, persamaan tersebut diaplikasikan untuk seluruh ukuran-ukuran dimensi (diameter, panjang, lebar, dll). Hasil perbandingan dari dimensi-dimensi tersebut disebut dengan rasio skala model.

2. Kesamaan kinematik

Aspek-aspek kinematik dari model ataupun yang bekerja pada model harus mewakili kondisi riil dari acuan, aspek-aspek kinematik tersebut dapat berupa kecepatan fluida di sekitar, kecepatan angin, percepatan, dan sebagainya. Sama seperti sebelumnya, aspek-aspek ini harus dijaga agar memiliki rasio skala yang konstan dan sesuai dengan benda riil yang dijadikan acuan agar respon dan perilaku model dapat mewakili benda riil. Rasio kesamaan kinematik harus disesuaikan dengan rasio kesamaan geometris (Herdayanditya, 2017).

3. Kesamaan hidrodinamik

Skala kesamaan hidrodinamik ditentukan oleh gaya yang bekerja pada struktur. Interaksi antara fluida dan struktur akan mempengaruhi olah gerak dan respon struktur, sehingga penting untuk menjaga rasio kesamaan hidrodinamik dari model agar tetap mewakili benda riilnya. Untuk itu,

diperlukan pemahaman dari proses fisik yang dialami oleh struktur (Herdayanditya, 2017).

4. Hukum model Froude

Bilangan Froude merupakan perbandingan antara gaya inersia dan gaya gravitasi yang dihasilkan oleh benda pada medium tertentu, dimana dalam kasus penelitian ini mediumnya berupa fluida. Bilangan Froude dapat didefinisikan dengan persamaan berikut ini.

$$Fr = \frac{u^2}{(gD)} \quad (2.31)$$

Pemodelan Froude harus memenuhi hubungan berikut agar model dapat dikatakan mewakili kondisi riilnya.

$$\frac{u^2}{(gD)} = \frac{u_m^2}{(gD_m)} \quad (2.32)$$

Dengan mengacu pada rasio skala kesamaan geometri (λ), hubungan kesamaan berbagai macam parameter antara model dengan benda acuan atau purwarupa dapat diperoleh (Herdayanditya, 2017). Tabel berikut menjelaskan lebih detil faktor skala dari berbagai variabel yang secara umum digunakan untuk memenuhi persyaratan pemodelan Froude.

Tabel 2. 2. *Model to Prototype Multiplier for the Variables Commonly used in Mechanics under Froude Scaling (Chakrabarti, 1994)*

VARIABLES	UNITS	SCALE FACTORS	REMARKS
<i>GEOMETRY</i>			
<i>Length</i>	<i>L</i>	λ	<i>Any dimension characteristics of the object</i>
<i>Volume</i>	L^3	λ^3	<i>For any portion of the object</i>
<i>Angle</i>	<i>None</i>	<i>1</i>	<i>e.g., between members or solid angle</i>
<i>Radius of gyration</i>	<i>L</i>	λ	<i>Measured from the fixed point</i>
<i>Moment inertia of mass</i>	ML^2	λ^5	<i>Taken about fixed point</i>
<i>Center of gravity</i>	<i>L</i>	λ	<i>Measured from reference point</i>
<i>Natural period</i>	<i>T</i>	$\lambda^{1/2}$	<i>Period at which inertia force equal to restoring force</i>
<i>WAVE MECHANICS</i>			
<i>Wave height</i>	<i>L</i>	λ	<i>Consecutive crest to through distance</i>
<i>Wave period</i>	<i>T</i>	$\sqrt{\lambda}$	<i>Time between two successive crests at passing point</i>

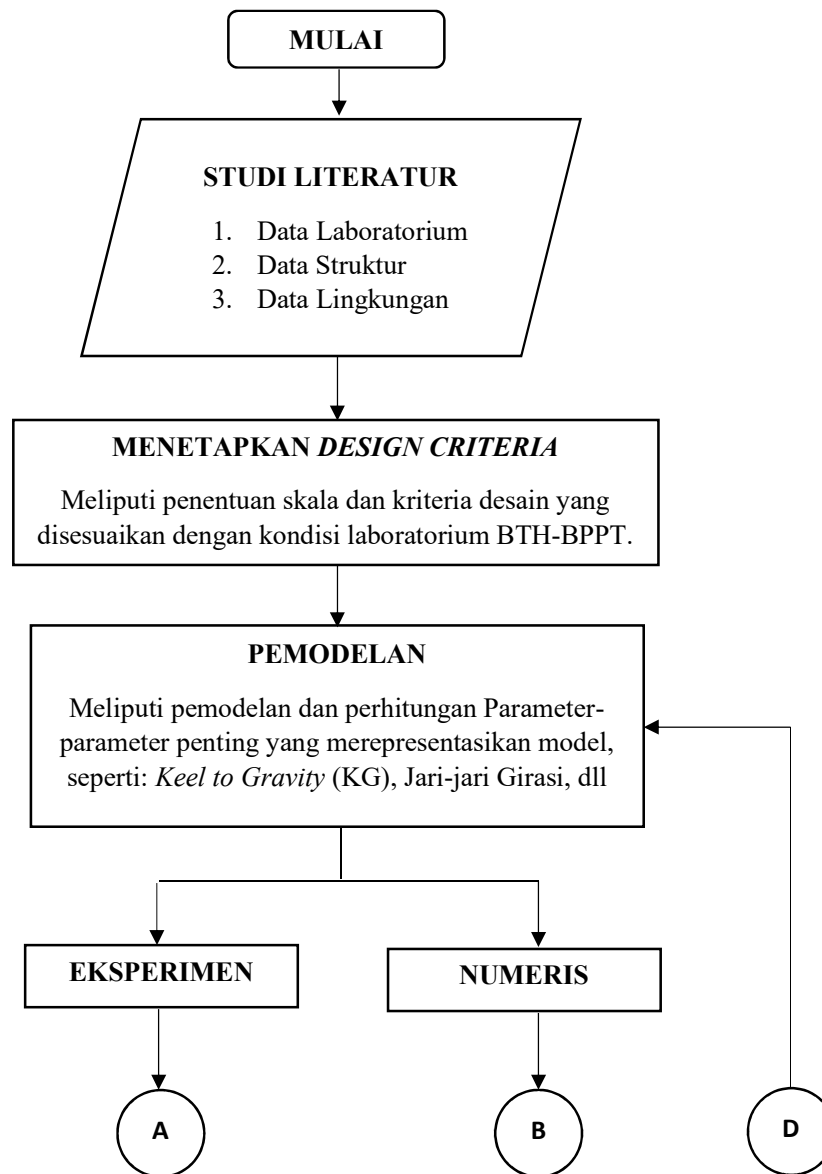
Tabel 2.2. *Model to Prototype Multiplier for the Variables Commonly used in Mechanics under Froude Scaling (Chakrabarti, 1994) (Lanjutan)*

VARIABLES	UNITS	SCALE FACTORS	REMARKS
<i>Wave length</i>	<i>L</i>	λ	<i>Distance between two successive crests at a given time</i>
<i>Wave elevation</i>	<i>L</i>	λ	<i>Form of wave (distance from still waterline)</i>
<i>KINEMATICS & DYNAMICS</i>			
<i>Time</i>	<i>T</i>	$\lambda^{1/2}$	<i>Same reference point (e.g., starting time) is considered as zero time</i>
<i>Displacement</i>	<i>L</i>	λ	<i>Position at rest is considered as zero</i>
<i>Spring constant (Linear)</i>	MT^{-2}	λ^2	<i>Force per unit length of extension</i>
<i>Damping factor</i>	<i>None</i>	<i>1</i>	<i>Ratio of damping and critical damping coefficient</i>

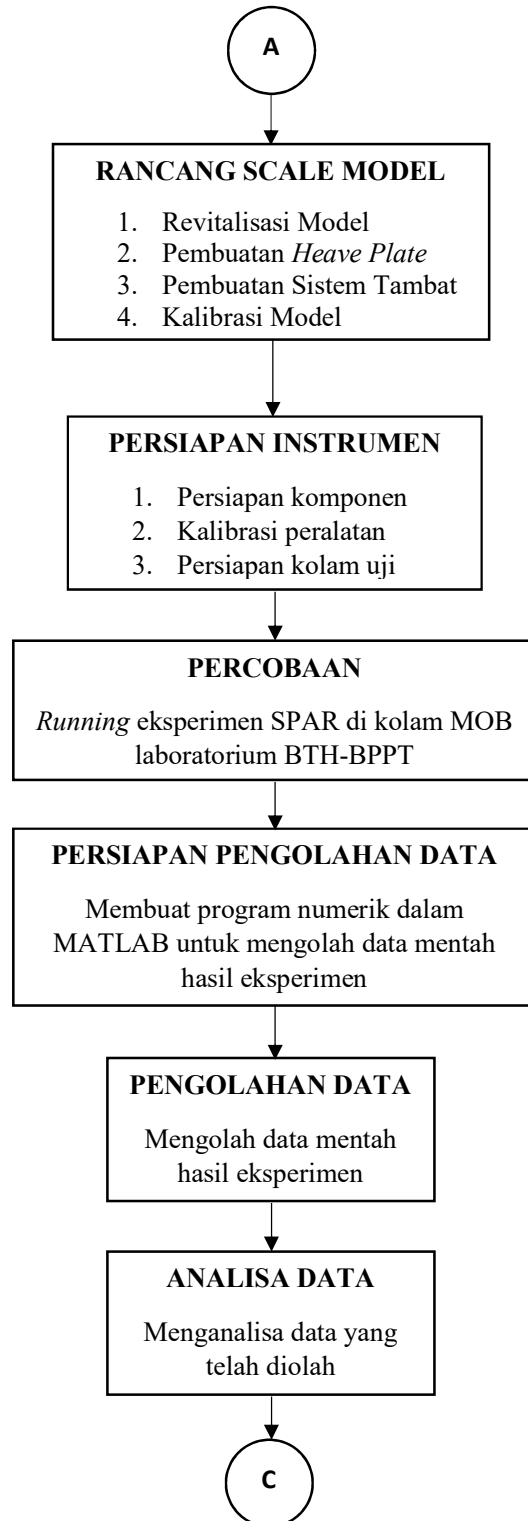
BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

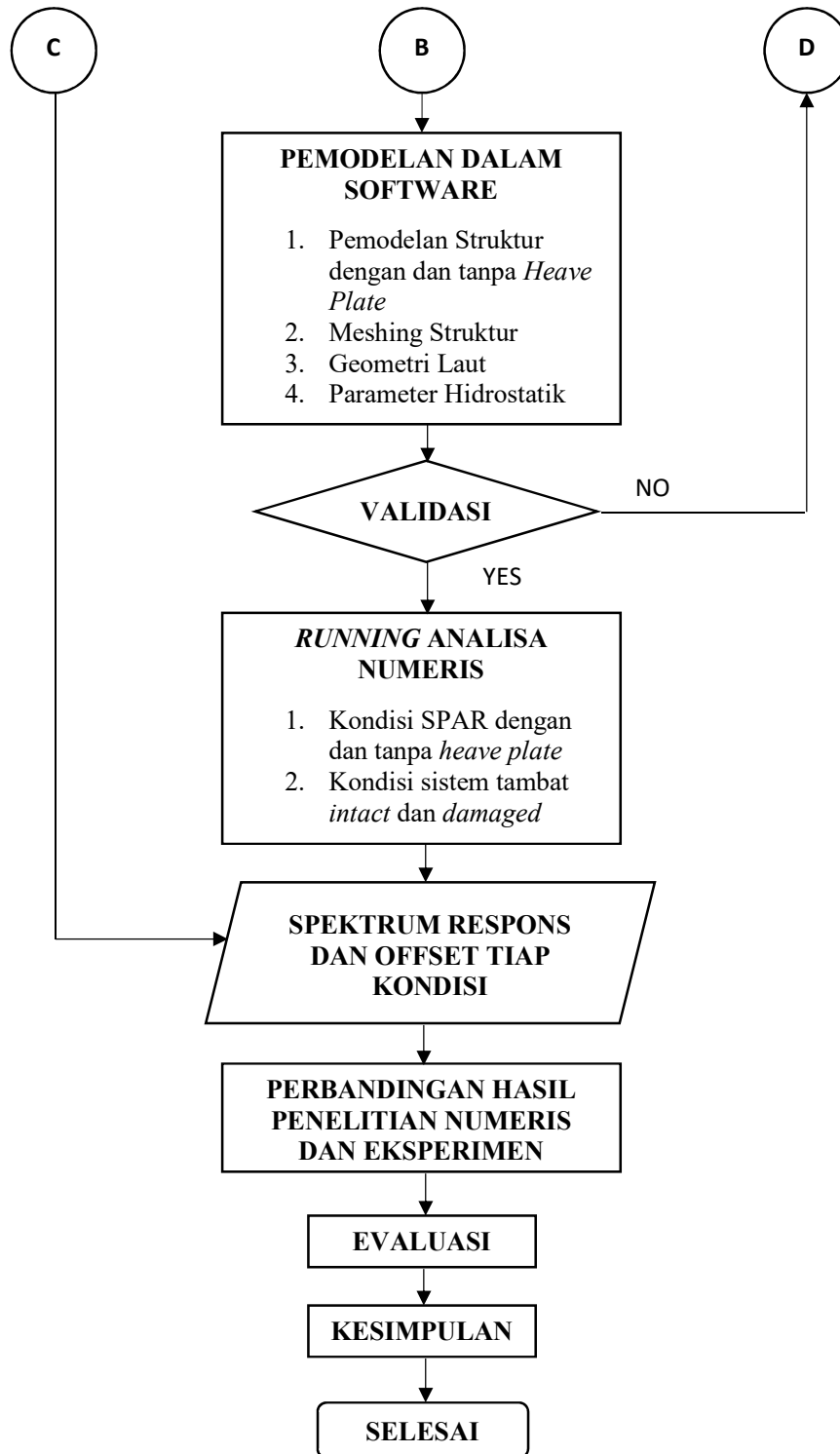
Metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini dapat direpresentasikan melalui diagram alir pada gambar 3.1 dan 3.2 di bawah ini.



Gambar 3. 1: Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2: Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)



Gambar 3. 3: Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dari berbagai literasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini. Literatur yang dipelajari merupakan literatur yang berhubungan dengan penelitian tentang SPAR *floating structure* baik dalam lingkup pemodelan numeris ataupun eksperimen, literatur mengenai gelombang, respon bangunan apung terhadap gelombang, *Offset* bangunan apung akibat gelombang, sistem tambat, pengaruh sistem tambat terhadap struktur, dll. Pada tahap ini juga dilakukan pengumpulan data-data SPAR yang digunakan sebagai acuan yang diperlukan untuk penelitian. Pada penelitian ini, digunakan *scale model* struktur SPAR yang diteliti oleh Herdayanditya pada tahun 2017.

Tabel 3.1 berikut ini menunjukkan data *full scale* dari *scale model* SPAR yang digunakan dalam penelitian. Adapun skala yang digunakan adalah 1:125. Data dimensi ini akan dimodelkan dan dianalisa secara numeris dan eksperimen dengan menyesuaikan kondisi kolam *Maneuvering and Ocean Engineering Basin* (MOB) Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT. Massa dan distribusi massa yang mencerminkan karakteristik SPAR akan dianalisis lebih lanjut dalam analisis eksperimen.

Tabel 3. 1: Data *Scale Model* SPAR yang digunakan dalam penelitian

SPAR Properties		
Deskripsi	Besaran	Satuan
Diameter	17.50	m
Draft	129.25	m
Tinggi SPAR	154.25	m
Tinggi <i>Fairlead</i> dari <i>keel</i> SPAR	146.25	m

Adapun, kolam MOB BTH – BPPT yang akan digunakan sebagai tempat pengujian model dan penelitian memiliki data dan dimensi sebagaimana tercantum pada berikut ini.

Tabel 3. 2: Data Kolam MOB BTH - BPPT (Sumber: bth.bppt.go.id)

DATA KOLAM MOB BTH – BPPT		
Parameter	Kuantitas	Satuan
Panjang	60	m
Lebar	35	m
Kedalaman (penuh)	2.5	m
Kedalaman (operasi)	2.5	m
<i>Maximum Waves Period</i>	0.5 - 3	S
<i>Waves Direction</i>	0° - 90°	<i>Degree</i>
Hs	0 – 0.3	m

3.2.2 Pemodelan

Pada tahap ini, data yang telah terkumpul seperti properti SPAR, dimensi SPAR, dll. Akan dianalisis lebih lanjut, dan dibuat modelnya menyesuaikan dengan kondisi kolam MOB BTH – BPPT. Pada penelitian ini, pemodelan dibagi menjadi dua proses, yaitu pemodelan numeris dan eksperimen.

- Pemodelan Numeris

Pemodelan numeris dilakukan menggunakan software Orcaflex 9.2a. Menggunakan fitur-fitur di dalamnya, model numeris dapat dibuat dengan cara memasukkan parameter-parameter dimensi *Hull* dan *Deck* dari SPAR seperti diameter, tinggi, lebar, panjang, dll dan parameter-parameter distribusi massa seperti *Keel to Gravity* (KG), Jari-jari Girasi, dll. Pemodelan pada software dilakukan dua kali, yaitu ketika SPAR menggunakan *heave plate* dan tidak. Setelah dimodelkan, model divalidasi ulang dimensi-dimensi utamanya untuk memastikan bahwa model numeris sudah merepresentasikan struktur sebenarnya yang diskala dari *scale model*.

Setelah dimodelkan dan melalui tahap validasi, model dianalisis secara numeris untuk mendapatkan bagaimana nilai stokastik dari respon dinamis SPAR dan sejauh apa *offset* SPAR maksimum saat menggunakan *heave plate* dan tidak. SPAR dianalisis pada saat sistem

tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged* dengan kondisi lingkungan yang menyesuaikan dengan uji eksperimen di kolam uji *Maneuvering and Ocean Engineering Basin* (MOB) BTH-BPPT. Hasilnya nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengujian model eksperimen.

- Pemodelan Eksperimen

Pemodelan eksperimen dilakukan dengan cara memastikan ulang parameter dimensi dan merevitalisasi *scale model* yang digunakan oleh Herdayanditya dalam penelitiannya mengenai SPAR pada tahun 2017. Skala model menggunakan skala yang digunakan dalam penelitian Herdayanditya pada tahun 2017 karena skala tersebut masih relevan untuk digunakan setelah mempertimbangkan kondisi kolam uji. Sehingga, skala yang digunakan adalah 1:125 terhadap ukuran *full scale* dengan tetap mempertimbangkan aspek kesamaan geometris, kinematis, dan dinamis dalam penelitiannya. Ketersediaan material di pasar dan kondisi kolam MOB BTH – BPPT juga menjadi pertimbangan dalam menentukan skala model. Froude sistem digunakan pada tahap kesamaan dinamis.

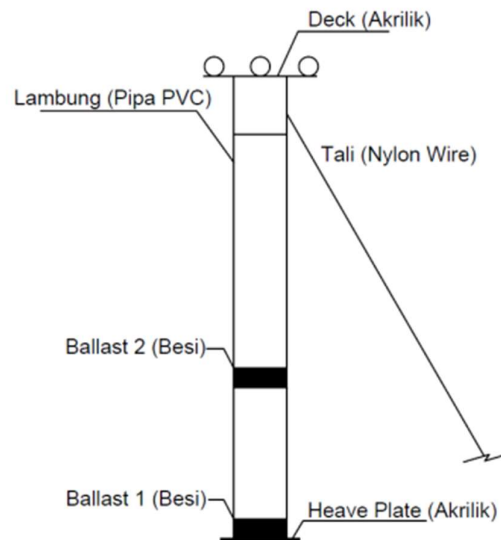
Pemodelan *heave plate* SPAR mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan Subbulakshmi, dkk. Pada tahun 2015 yang berjudul “*Effect of Viscous Damping on Hydrodynamics Response of SPAR with Heave Plate*” dan penelitian Sudhakar pada tahun 2011 yang berjudul “*Influence of Heave Plate on Hydrodynamic Response of SPAR*”. Pada kedua penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa semakin besar dimensi *heave plate* yang digunakan, maka terjadi pengurangan *motion* yang semakin besar juga. Pada diameter *heave plate* 1.3 kali diameter SPAR, terjadi pengurangan *motion* SPAR yang signifikan. Namun, pada penelitian ini digunakan diameter *heave plate* 1.5 kali diameter SPAR.

3.2.3 Perancangan Model

Pada tahap ini dilakukan perancangan *scale model* untuk diuji di kolam MOB BTH – BPPT. Langkah-langkah dalam perancangan model dapat dibagi menjadi beberapa tahap sebagai berikut.

3.2.3.1 Perancangan *Scale Model* dari Mini SPAR

Perancangan *Scale Model* meliputi revitalisasi model, kalibrasi model, dan pemodelan sistem tambat. Dalam merancang model, digunakan bahan-bahan yang ada di pasaran. Bagian *Hull* dimodelkan dengan pipa paralon PVC yang bagian dasarnya dilem permanen dengan tutup pipa, sedangkan bagian atasnya ditutup oleh *Topside* yang terbuat dari *plywood*. Di dalam *Hull* terdapat besi ulir dengan pemberat yang dapat diatur ketinggiannya, yang berfungsi sebagai *ballasting* dan dapat diatur untuk menentukan titik KG dan jari-jari Girasi agar sesuai skala. Skala yang digunakan adalah 1:125 dengan mempertimbangkan berbagai hal seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Gambar rancang bangun *Scale Model* dari Mini SPAR dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.



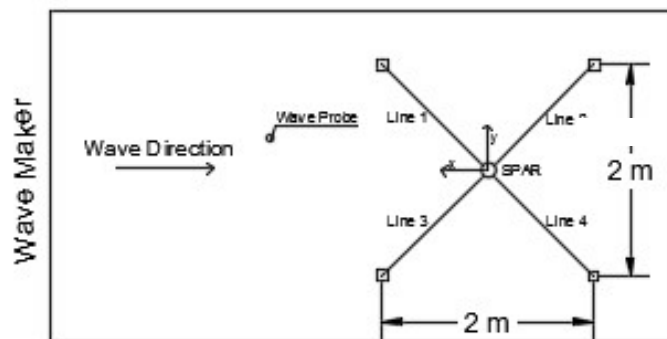
Gambar 3. 4: Rancang Bangun Model Mini SPAR

3.2.3.2 Perancangan *Heave Plate*

Pada tahap perancangan *Heave Plate* ditentukan material yang akan digunakan untuk membuat model *Heave Plate*. Agar tidak terlalu merubah parameter distribusi massa (*Keel to Gravity* (KG), dan Jari-jari Girasi) digunakan material yang ringan, yaitu akrilik. *Heave Plate* terletak pada *keel*. Besar dimensi *Heave Plate* yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Subbulakshmi, dkk (2015) dan penelitian Sudhakar dan Nallayarasu (2011), sehingga digunakan *Heave Plate* dengan diameter sebesar 1.5 kali lebih besar dari diameter SPAR. Ketebalan dari *Heave Plate* tidak diatur, sehingga pada penelitian ini ketebalannya akan menyesuaikan dengan barang yang ada di pasar. Pada penelitian ini digunakan diameter *Heave Plate* sebesar 21 cm dan ketebalan 0,5 cm.

3.2.3.3 Pemodelan Sistem Tambat

Pertama-tama menentukan konfigurasi sistem tambat yang ingin digunakan. Pada penelitian ini, digunakan konfigurasi sistem tambat 4 x 1 yang disambungkan secara *Taut* dari *Fairlead* ke *Seabed* atau dasar kolam. Tali tambat menggunakan kombinasi antara karet pegas dan senar nylon yang disambungkan ke karabiner lalu dikaitkan ke *Fairlead*. Di dasar kolam, masing-masing tali tambat dikaitkan ke pemberat seberat 50 Kg yang ditenggelamkan di dasar kolam. Konfigurasi tali tambat pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 5: Konfigurasi sistem tambat model SPAR tampak atas

3.2.3.4 Parameter Sistem Tambat

Pada penelitian tugas akhir ini, parameter sistem tambat yang digunakan disesuaikan dengan model yang disesuaikan dengan kondisi kolam MOB BTH – BPPT. Kekakuan dari tali tambat model akan dikalibrasi, lalu akan disesuaikan dengan yang ada di pasaran (menurut katalog *mooring lines properties*) setelah itu, properti tali tambat dari katalog yang sesuai akan digunakan sebagai acuan. Kekakuan sistem tambat, posisi *fairlead*, jenis sistem tambat yang digunakan, dan sudut tali tambat dengan model pada *fairlead* merupakan parameter-parameter yang perlu diperhatikan. Berikut penjelasan lebih mendetail terkait parameter-parameter tersebut.

- Kekakuan Tali Tambat

Untuk penelitian, pemodelan dari tali tambat menggunakan senar nylon yang dihubungkan dengan karet dan karabiner. Senar digunakan untuk mendapatkan panjang tali tambat yang sesuai, sedangkan karet digunakan untuk memodelkan kekakuan tali tambat dan perlu dikalibrasi terlebih dahulu.

- Posisi *fairlead*

Posisi *fairlead* diletakkan diatas muka air, agar sudut yang terbentuk antara tali tambat dan struktur menjadi lebih kecil. Posisi *fairlead* harus berada di atas titik pusat massa total model (*center of gravity (COG)*).

- Sudut tali tambat dengan model pada *fairlead*

Tidak ada data mengenai sudut tali tambat pada data acuan yang digunakan, sehingga pada tugas akhir ini akan diambil sudut tali tambat dengan *fairlead* yang terkecil, dengan menyesuaikan kedalaman kolam MOB BTH – BPPT hingga tali tambat menegang, dengan jarak antar dasar tali tambat 2 meter.

- Konfigurasi sistem tambat

Konfigurasi sistem tambat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah *taut mooring*.

3.2.3.5 Kalibrasi Model

Kalibrasi model dan komponennya dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter tali tambat dan distribusi massa model yang sesuai untuk diuji di kolam MOB BTH – PPT. Distribusi massa, parameter tali tambat, *Center of Gravity* dan Jari-jari Girasi menjadi parameter yang perlu dikalibrasi. Beban di dalam *Hull* diatur ulang sedemikian rupa hingga kalibrasi distribusi massa tercapai pada konfigurasi tertentu. Untuk parameter tali tambat, kekakuan karet yang digunakan dalam eksperimen perlu dikalibrasi agar dapat diketahui berapa kekakuannya. Kekakuan tali tambat erat kaitannya dengan *pre-tension*. Data yang didapat dari proses kalibrasi model ini akan dijadikan acuan untuk analisis numeris.

3.2.4 Validasi Model

Saat melakukan pemodelan numeris harus divalidasi dengan data dari pemodelan eksperimen. Angka kesalahan (*Error*) haruslah di bawah 5% agar pemodelan numeris dapat dikatakan dapat merepresentasikan *scale model* yang diuji di kolam MOB BTH – BPPT dalam skala *full scale*.

3.2.5 Persiapan Instrumen Percobaan

Pada tahap ini dilakukan persiapan instrumen-instrumen yang akan digunakan pada saat pengujian dalam kolam MOB BTH – BPPT. Pada tahap ini seluruh komponen dan model dirakit di dalam kolam MOB, mulai dari model, sistem tambat, instrumen perekam, dan sebagainya. Sensor perekam gerak terapung yang digunakan adalah perangkat *Qualysis* yang terdiri dari alat kalibrasi, kamera perekam gerak, dan marker. Kamera *qualysis* akan dipasang di jembatan bergerak yang melintang di atas kolam MOB. Kamera ini nantinya akan membaca perpindahan *marker* yang terpasang pada *topside* model SPAR sehingga sensor dapat merekam olah gerak model SPAR selama pengujian.

Selain itu, untuk mengukur tinggi gelombang yang dibangkitkan selama pengujian, digunakan *wave probe* yang diletakkan di depan SPAR. Posisi dari *wave probe* didekatkan dengan muka air.

3.2.6 Percobaan

Pada tahap ini percobaan model dilakukan. Percobaan akan dilakukan di kolam MOB BTH – BPPT. Dalam eksperimen, pengujian akan dilakukan pada dua kondisi yaitu pada saat model SPAR tidak menggunakan *heave plate*, dan saat model SPAR menggunakan *heave plate*. Dimana masing-masing kondisi ini akan dianalisa pada saat sistem tambat dalam kondisi *Intact* lalu setelah itu pada kondisi *Damaged* (dengan satu tali tambat putus). Percobaan hanya akan dilakukan pada satu arah datang gelombang, yaitu pada 0° . Tiap-tiap kombinasi kondisi ini nantinya akan diolah data mentahnya menggunakan software hasil pemrograman MATLAB, lalu hasilnya akan dianalisa untuk menjawab rumusan-rumusan yang telah disebutkan di awal.

3.2.7 Persiapan Pengolahan Data

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan program dengan menggunakan *software* MATLAB untuk mengolah data mentah (*raw data*) yang didapat dari uji coba model. Data mentah yang diperoleh dari eksperimen seperti *Time History* harus diolah terlebih dahulu menjadi spektra respon struktur dan grafik ekskursi struktur agar dapat dianalisa dan disimpulkan hasilnya.

3.2.8 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Dari hasil olahan ini akan didapatkan parameter-parameter respon SPAR terhadap gelombang yang dapat dianalisa seperti Spektra respon SPAR, *Offset*, dan sebagainya.

3.2.9 Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan analisis dari hasil olahan data yang didapat dari analisis eksperimen dan numeris. Analisis yang dilakukan meliputi hal-hal yang menjadi rumusan masalah pada penelitian ini. Data hasil analisis eksperimen dan numeris akan dibandingkan dan dilihat kesesuaiannya.

3.2.10 Evaluasi dan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan dan pengumpulan evaluasi dari penelitian.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Eksperimen

4.1.1. Pemodelan Struktur dan Komponennya

Dalam eksperimen, digunakan *scale model* yang diteliti oleh Herdayanditya (2017) pada penelitian tugas akhirnya yang memiliki skala 1:125 terhadap ukuran *full scale*. Bagian *hull* SPAR dimodelkan menggunakan pipa PVC berdiameter 14 cm dengan *fairlead* berupa kait besi, sedangkan untuk memodelkan bagian *topside* digunakan *plywood* yang memiliki tebal 1.8 cm. Bagian bawah pipa ditutup dengan tutup pipa yang direkatkan dengan lem untuk mencegah kebocoran. Untuk bagian *heave plate*, digunakan *heave plate* dengan material akrilik berdiameter 21 cm yang memiliki ketebalan 0.5 cm. Ukuran-ukuran utama dari *scale model* yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1: Hasil Penskalaan menggunakan aturan *Froude*

SPAR PROPERTIES (SKALA 1:125)				
Parameter		Dimensi Scale Model	Faktor Skala	Dimensi Full Scale
<i>Hull diameter</i> (m)		0.140	λ	17.5
<i>Keel diameter</i> (m)		0.150	λ	18.750
<i>Draft without heave plate</i> (m)	<i>Free floating</i>	1.029	λ	128.681
	<i>Moored</i>	1.111	λ	138.896
<i>Draft with heave plate</i> (m)	<i>Free floating</i>	1.034	λ	129.305
	<i>Moored</i>	1.116	λ	139.520
<i>Hull height</i> (m)		1.234	λ	154.25
<i>Keel cylinder height</i> (m)		0.053	λ	6.625
<i>Fairlead height of SPAR without from keel</i> (m)		1.165	λ	145.625

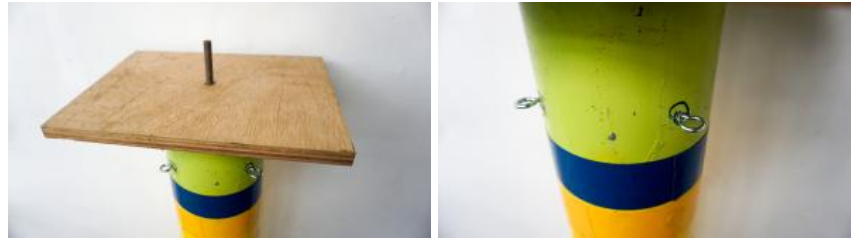
Tabel 4.1: Hasil Penskalaan menggunakan aturan *Froude* (lanjutan)

SPAR PROPERTIES (SKALA 1:125)			
Parameter	Dimensi <i>Scale Model</i>	Faktor Skala	Dimensi <i>Full Scale</i>
<i>Fairlead height with heave plate from keel (m)</i>	1.170	λ	146.25
HEAVE PLATE PROPERTIES (SKALA 1:125)			
Parameter	Dimensi <i>Scale Model</i>	Faktor Skala	Dimensi <i>Full Scale</i>
<i>Heave plate diameter (m)</i>	0.210	λ	26.250
<i>Heave plate thickness (m)</i>	0.005	λ	0.625

Scale model dari SPAR direvitalisasi dan dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Lalu. Komponen tambahan seperti sistem tambat, dan *heave plate* juga dimodelkan kembali. Hasil akhir dari revitalisasi dan modifikasi SPAR dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 1: Hasil akhir model dengan dan tanpa *heave plate*



Gambar 4. 2: *Topside dan fairlead SPAR*



Gambar 4. 3: *Heave plate SPAR*

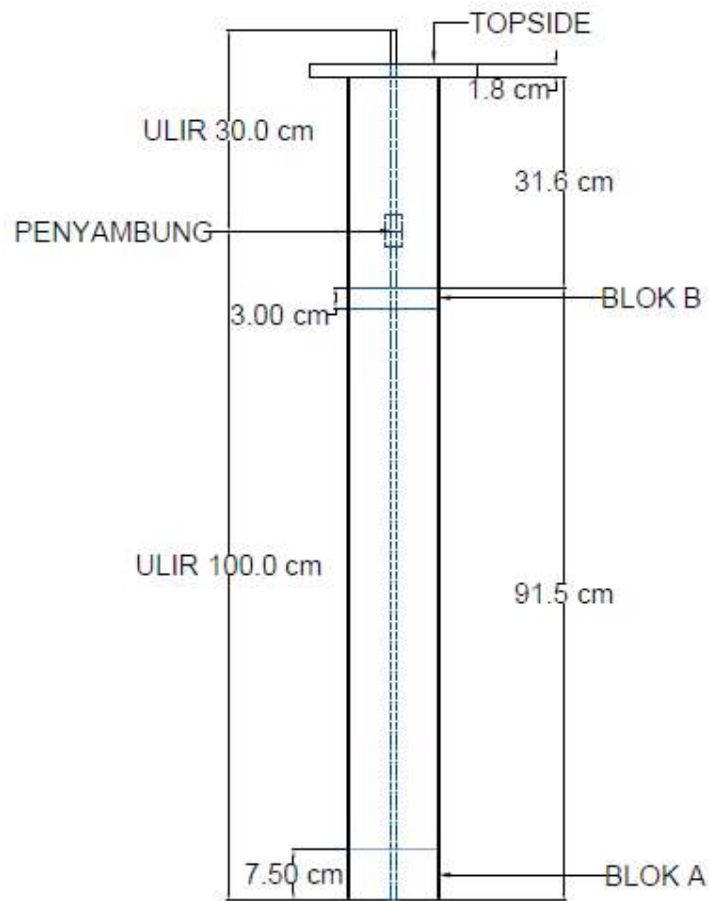
Selain dimensi-dimensi utama dari struktur, *Keel to Gravity* (KG) dan jari-jari girasi juga perlu dikalibrasi untuk mendapatkan karakteristik distribusi massa struktur. Distribusi massa dimodelkan dengan menggunakan *ballast* berupa silinder besi yang dirangkai menggunakan ulir besi panjang. *Ballast* besi ini, kemudian diatur ketinggiannya hingga keseimbangan SPAR di dalam air sesuai dengan yang diharapkan. Untuk digunakan dalam analisis numeris, KG dan jari-jari girasi struktur yang sudah terkonfigurasi dengan baik, dikalibrasi menggunakan meja osilator untuk mendapatkan nilainya. *Ballast* kemudian ditanam di dalam pipa PVC lalu setelah itu *fairlead* dipasang. Silinder besi yang digunakan sebagai *ballast* dapat dilihat pada gambar 4.4, dengan spesifikasi tiap silindernya pada tabel 4.2 dan konfigurasi pada gambar 4.5.



Gambar 4. 4: Silinder besi dan ulir untuk memodelkan *ballast*

Tabel 4. 2: Spesifikasi komponen *ballast*

Komponen		Tebal (cm)	Jumlah	Massa Total (Kg)
Blok A	<i>Ballast 1</i>	2	1	10.941
	<i>Ballast 2</i>	2	1	
	<i>Ballast 3</i>	2.5	1	
	<i>Ballast 4</i>	1	1	
Blok B	<i>Ballast 5</i>	2.5	1	
	<i>Ballast 6</i>	0.5	1	
Rangka	Ulir (130 cm)	-	1	



Gambar 4. 5: Konfigurasi *Ballast*

Prosedur untuk mendapatkan distribusi massa dari SPAR adalah sebagai berikut:

1. Menghitung massa total model eksperimen

Untuk mendapatkan massa total dari model eksperimen, masing-masing komponen dari model eksperimen ditimbang lalu dijumlahkan. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4. 6: Perhitungan Massa Model

Tabel 4. 3: Perhitungan massa total model

Komponen	Massa (Kg)
Silinder besi + ulir (<i>ballast</i>)	10.941
Pipa PVC (<i>Hull SPAR</i>)	4.81
Topside (<i>Plywood</i>)	0.607
<i>Heave Plate</i>	0.145
Total	16.503

2. Kalibrasi KG

Untuk mendapatkan besar *Keel to Gravity* (KG) dari *scale model*, setelah model dirangkai bersama dengan *ballastnya*, model diletakkan di atas meja osilator. Meja osilator merupakan alat yang digunakan oleh laboratorium Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT untuk mencari distribusi massa dari model uji seperti KG dan jari-jari girasi. Alat ini berupa meja yang dapat berosilasi dengan titik tengah meja sebagai poros osilasinya.

Dalam proses kalibrasi, digunakan *waterpass* yang diletakkan di permukaan meja osilator. Peletakan SPAR dirubah berulang kali hingga *waterpass* seimbang, yang artinya meja osilator juga seimbang. Lalu jarak antara titik rotasi meja osilator dan *keel* dari SPAR diukur untuk mendapatkan KG dari SPAR. Dari kalibrasi didapatkan KG model sebesar **45.7 cm dari keel**. Sedangkan untuk mengetahui KG model dengan *heave plate* dilakukan perhitungan secara analitis menggunakan KG model SPAR tanpa *heave plate*, dari hasil perhitungan analitis didapatkan KG SPAR dengan *heave plate* sebesar **45.2 cm dari keel**. Proses kalibrasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 7: Proses kalibrasi KG

3. Kalibrasi jari-jari girasi

Setelah kalibrasi KG dilakukan, tahap berikutnya yaitu kalibrasi jari-jari girasi untuk mendapatkan besar jari-jari girasi dari *scale model*. Karena bentuk struktur silinder, maka jari-jari girasi yang diukur hanya jari-jari girasi *roll* (R_{xx}), dan jari-jari girasi *pitch* (R_{yy}). Dimana keduanya memiliki besar yang sama karena bentuk SPAR simetris.

Alat yang digunakan dalam kalibrasi jari-jari girasi adalah *stopwatch* dan meja osilator. Pertama-tama periode natural meja osilator diukur menggunakan *stopwatch* tanpa ada model di atasnya, lalu setelah meja osilator dikalibrasi, kalibrasi KG model dilakukan dengan meletakkan *scale model* di atas meja osilator. Meja osilator digerakkan agar berosilasi tanpa merubah

posisi model dari titik setimbang (pada KG). Lalu menggunakan *stopwatch*, periode natural dari meja dan model diukur berdasarkan lama osilasi tiap satu getarannya. Sehingga, dari rangkaian prosedur kalibrasi didapatkan inersia dari meja osilator tanpa model di atasnya, dan inersia dari meja osilator dengan model di atasnya. Selisih inersia dari keduanya merupakan inersia model. Dari didapaknya inersia model, maka jari-jari girasi dari model dapat dikalkulasi seperti yang tertera pada **lampiran A**. Hasil dari kalibrasi jari-jari girasi model dapat dilihat pada tabel 4.4, sedangkan proses kalibrasi jari-jari girasi dapat dilihat pada gambar 4.8.

Tabel 4. 4: Jari-jari girasi model

Rxx (m)	Ryy (m)
0.55	0.55



Gambar 4. 8: Proses Kalibrasi Jari-jari girasi

4.1.2 Pemodelan Tali Tambat

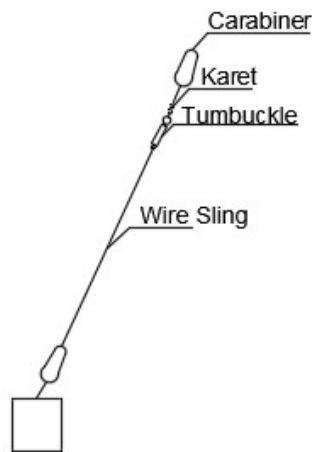
Dalam memodelkan tali tambat, pada penelitian eksperimen digunakan karet pipih persegi panjang, dan 4 tali yang diperkirakan mampu menahan beban struktur saat uji coba dan sering digunakan oleh laboratorium Balai Teknologi

Hidrodinamika (BTH) – BPPT dalam uji coba tali tambat, yaitu tali *steel wire sling* seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 9: *Steel wire sling*

Tali tambat dimodelkan dengan merangkai karet pipih, *steel wire*, dan beberapa komponen lain. Karet diletakkan di bagian pertama yang terkait pada *fairlead*. Di bagian dasar kolam, rangkaian tali tambat ini dikaitkan dengan pemberat beton seberat 50 kg, sedangkan di ujung yang lain dikaitkan ke *fairlead*. Konfigurasi rangkaian model tali tambat dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 10: Konfigurasi rangkaian model tali tambat

Properti dari karet yang digunakan dalam model tali tambat didapatkan dari pengukuran, sedangkan properti *steel wire sling* memiliki spesifikasi tersendiri, dengan modulus young (E) material *carbon steel* yang mengacu pada

website Engineering Toolbox, (2003). Sehingga, properti dari karet dan *steel wire sling* model eksperimen adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 5: Properti tali tambat eksperimen

PROPERTI TALI TAMBAT EKSPERIMEN	
Parameter	Harga
<i>Karet</i>	
Panjang (m)	0.2
Lebar (m)	0.014
Tebal (m)	0.001
<i>Steel wire sling</i>	
Material	<i>Stainless steel</i>
Modulus young, E (N/m ²)	200 x 10 ⁹
Diameter (mm)	0.15
Luas penampang, A (mm ²)	0.0177
Panjang (m)	2.04

Penggunaan karet, dimaksudkan untuk mencegah terjadinya *slack* (bertambahnya panjang tali tambat akibat beban yang melebihi kapasitas plastisnya) selama eksperimen berlangsung. Sehingga, digunakan 4 karet identik yang dipasang di masing-masing rangkaian tali tambat. Karet identik ini kemudian dikalibrasi kekakuannya dengan menggunakan neraca gantung, lalu karet diberi penambahan beban secara konstan. Kalibrasi dilakukan dua kali, yang pertama yaitu penambahan secara konstan, lalu yang kedua yaitu pengurangan beban secara konstan. Kegiatan kalibrasi dapat dilihat seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. 11: Kalibrasi kekakuan tali tambat

Dari proses kalibrasi didapatkan data penambahan panjang karet akibat beban yang digantung di bawahnya, sehingga kekakuan karet dapat dihitung menggunakan hukum *Hooke*, dengan persamaan sebagai berikut.

$$F = EA/l \, dx = Kdx \quad (4.1)$$

$$K = F/dx \quad (4.2)$$

Dimana,

F = Gaya beban (N)

E = Modulus young (kg/ms^2)

dx = Penambahan panjang tali (m)

K = Kekakuan (N/m)

l = Panjang tali (m)

A = Luas penampang tali (m^2)

Data penambahan panjang dan kalkulasi kekakuan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 6: Hasil kalibrasi kekakuan model tali tambat

Beban (Kg)	F (N)	Uji Coba	Uji	dx (m)	K (N/m)
		1	Coba 2		
		x (cm)	x (cm)		
0.02	0.1962	20	20	0.000	98.1
0.04	0.3924	20.2	20.2	0.002	98.1
0.06	0.5886	20.4	20.4	0.004	98.1
0.08	0.7848	20.6	20.6	0.006	98.1
0.1	0.9810	20.8	20.8	0.008	98.1
Average Stiffness (K_{avg})					98.1

Dari kalibrasi tersebut didapatkan kekakuan karet model adalah sebesar **98.1 N/m**.

Karena software Orcaflex 9.2a yang akan digunakan dalam analisis numeris menggunakan *axial stiffness (EA)* dalam pemodelan tali tambatnya, maka kekakuan karet di atas harus dikonversi terlebih dahulu menjadi EA dengan cara mengkalinya dengan panjang mula-mula seperti pada persamaan 4.1. sehingga, didapatkan *axial stiffness (EA)* karet adalah sebesar **19.620 N**.

Sedangkan, untuk menghitung *axial stiffness* dari *steel wire sling*, digunakan perhitungan analitis dengan cara mengalikan langsung modulus young dengan luasan penampang *steel wire*, yang propertinya dapat dilihat pada tabel 4.5. Sehingga, didapatkan *axial stiffness (EA)* dari *steel wire sling* yang digunakan dalam model tali tambat eksperimen adalah **3534.292 N**.

Karena dalam eksperimen, kolam menggunakan air tawar yang memiliki massa jenis yang berbeda dari air laut, maka penskalaan *axial stiffness* ke dalam skala *full scale* menggunakan hukum *Froude*, harus dikalikan dengan rasio massa jenis air laut dan air tawar (Bhattacharya, 1978). Sehingga formulasinya menjadi sebagai berikut.

$$\varepsilon = \rho_{sea} / \rho_{water} \quad (4.3)$$

$$EA_{full\ scale} = EA_{model} \lambda^3 \varepsilon \quad (4.4)$$

Hasil dari penskalaan ke ukuran *full scale* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 7: Penskalaan *axial stiffness* tali tambat ke skala sesungguhnya

PENSKALAN TALI TAMBAT			
EA Model (N)	EA Model (MN)	Skala	EA <i>Full Scale in sea</i> ($\lambda^3 \epsilon$)(MN)
<i>Karet</i>			
19.620	0.000019620	1:125	39.278
<i>Steel wire</i>			
3180.863	0.0003180863	1:125	7075.486

Axial stiffness (EA) tali tambat model yang diskalakan ke dalam skala *full scale* ini akan digunakan sebagai acuan dalam memodelkan tali tambat yang digunakan dalam *software* Orcaflex 9.2a. Adapun parameter properti tali tambat lainnya akan dicari menggunakan pendekatan yang digunakan oleh Orcaflex 9.2a yang akan dibahas lebih lanjut dalam sub-bab penelitian numeris.

Pada kondisi konfigurasi taut, tali memiliki *pre-tension* yang menyebabkan tali tambat menegang dalam ketegangan tertentu. *Pre-tension* yang digunakan dalam eksperimen menyesuaikan kondisi kolam MOB BTH – BPPT, lalu dicari melalui penambahan *displacement* SPAR setelah sistem tambat dikonfigurasi. Setelah merangkai model SPAR di kolam uji, dilakukan pengukuran penambahan *draft* struktur dari sebelum dan setelah tertambat. Karena keempat tali tambat identik dan dirangkai dengan posisi yang simetris, perhitungan *pre-tension* dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$F = (\rho_{sea} \pi D^2 \Delta T) / (16 \cos(\theta)) \quad (4.5)$$

$$T = mg \quad (4.6)$$

Dimana,

F = *Pre-tension* (Ton)

ρ_{sea} = Massa jenis air laut (Ton/m³)

ΔT = Selisih draft struktur (m), dari pengukuran didapatkan sebesar 0.08 m

D = *Outer diameter* SPAR (m)

T = *Pre-tension* (KN)

m = Massa (Ton)

g = *Gravity* (m/s²)

θ = sudut antara tali tambat dan struktur. Dengan konfigurasi pada gambar 3.5 dan kedalaman kolam 2.5 m, **didapatkan sudut θ sebesar 27.806°**.

Sehingga, *pre-tension* dari tali tambat model eksperimen adalah sebagai berikut.

$$F = \frac{1.025 \pi 0.14^2 0.08}{16 \cos(27.806)}$$

$$F = 0.0003568 \text{ Ton}$$

Pada skala sebenarnya, menggunakan hukum *Froude* didapatkan besar *pre-tension* pada dimensi sesungguhnya sebagai berikut.

$$F = 0.0003568 \text{ Ton} \cdot \lambda^3$$

$$F = 696.815 \text{ Ton}$$

$$T = 6835.759 \text{ KN}$$

Sehingga didapatkan *pre-tension* tali tambat dalam skala *full scale* adalah **6835.759 KN**. Data *pre-tension* ini akan digunakan lebih lanjut dalam analisis numeris.

4.1.3 Data dan Properti SPAR Keseluruhan

Pada tahap ini telah didapatkan keseluruhan data dari model SPAR yang digunakan dalam eksperimen. Secara keseluruhan, data dari struktur SPAR yang diuji secara eksperimen dalam skala model dan *full scale* dapat dilihat pada berikut.

Tabel 4. 8: Data Properti SPAR keseluruhan dan komponennya

SPAR PROPERTIES (SKALA 1:125)			
Parameter	Dimensi Scale Model	Faktor Skala	Dimensi Full Scale
<i>Hull diameter (m)</i>	0.140	λ	17.5
<i>Keel diameter (m)</i>	0.150	λ	18.750
<i>Draft without heave plate (m)</i>	<i>Free floating</i>	1.029	λ
	<i>Moored</i>	1.111	λ
<i>Draft with heave plate (m)</i>	<i>Free floating</i>	1.034	λ
	<i>Moored</i>	1.116	λ
<i>Hull height (m)</i>	1.245	λ	155.625
<i>Keel cylinder height (m)</i>	0.053	λ	6.625
<i>Fairlead height of SPAR without from keel (m)</i>	1.165	λ	145.625
<i>Fairlead height with heave plate from keel (m)</i>	1.170	λ	146.25
<i>Mass of SPAR without heave plate (ton)</i>	0.016	λ^3	31949.219
<i>Mass of SPAR with heave plate (ton)</i>	0.017	λ^3	32295.918
<i>Keel to Gravity of SPAR without heave plate, KG (m)</i>	0.457	λ	57.125
<i>Keel to Gravity of SPAR with heave plate, KG (m)</i>	0.452	λ	56.508
<i>Roll radius of gyration, Rxx (m)</i>	0.550	λ	68.750
<i>Pitch radius of gyration, Ryy (m)</i>	0.550	λ	68.750

Tabel 4.8: Data Properti SPAR keseluruhan dan komponennya (lanjutan)

HEAVE PLATE PROPERTIES (SKALA 1:125)			
Parameter	Dimensi Scale Model	Faktor Skala	Dimensi Full Scale
<i>Heave plate diameter</i> (m)	0.210	λ	26.250
<i>Heave plate thickness</i> (m)	0.005	λ	0.625
<i>Mass of heave plate</i> (ton)	0.00015	λ^3	283.203
SELECTED MOORING LINES PROPERTIES (SKALA 1:125)			
Parameter	Dimensi Scale Model	Faktor Skala	Dimensi Full Scale
<i>Pre-tension</i> (KN)	0.003	$\lambda^3 \varepsilon$	6835.771
Karet			
<i>Axial stiffness, EA</i> (MN)	0.0000196	$\lambda^3 \varepsilon$	39.278
<i>Length</i> (m)	0.2	λ	25
Steel wire sling			
<i>Axial stiffness, EA</i> (MN)	0.00353	$\lambda^3 \varepsilon$	7075.487
<i>Length</i> (m)	2.04	λ	255

4.1.4 Instrumen Pengukuran

Dalam uji eksperimen, terdapat tiga instrumen utama yang digunakan. Untuk mengukur respons gerakan struktur, digunakan perangkat instrumen *Qualysis*. Sedangkan untuk mengukur tinggi gelombang uji digunakan *Wave probe*, dengan *wave generator* yang merupakan pembangkit gelombang dalam kolam uji. Ketiga alat ini perlu dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan.

4.1.4.1 Kalibrasi Perangkat *Qualysis*

Untuk mengukur gerakan respons SPAR saat eksperimen, diperlukan instrumen khusus yang dapat merekam perpindahan posisi dari SPAR ketika terkena gelombang. Pada eksperimen ini digunakan perangkat alat rekam

Qualysis yang dapat merekam gerakan respons SPAR pada arah x, y, dan z, dengan cara merekam perpindahan dari bola berwarna yang diletakkan diatas *topside* SPAR. Alat ini perlu dikalibrasi terlebih dahulu sebelum digunakan, dengan cara merekam posisi awal SPAR sehingga *Qualysis* dapat mengetahui titik nol dari bola-bola yang dipasang di atas *Topside* SPAR agar dapat merekam jarak perpindahan bola dengan presisi. Hasil dari rekaman perpindahan bola-bola ini kemudian dikelompokkan berdasarkan enam arah derajat kebebasan, lalu dibuat *time history* pada masing-masing gerakan untuk kemudian dianalisa lebih lanjut.



Gambar 4. 12: Kalibrasi *Qualysis* menggunakan *Calibration Kit*

Perangkat *Qualysis* terdiri dari komponen-komponen berikut:

1. *Motion Capture Camera*

Merupakan kamera khusus dengan ketelitian tinggi, yang memiliki *frame rate* sekitar 180 – 1750 fps. Kamera ini berfungsi untuk merekam koordinat perpindahan posisi dari *passive marker* yang dipasang di *topside*.



Gambar 4. 13: *Qualysis Motion Capture Camera*



Gambar 4. 14: *Qualysis Motion Capture Camera* yang sudah dipasang

2. *Passive Marker*

Marker khusus berbentuk bola abu-abu yang digunakan sebagai penanda koordinat SPAR. Selama eksperimen berlangsung, *Qualysis motion capture camera* akan merekam perpindahan posisi dari *passive marker* dalam menentukan gerakan dinamis SPAR selama terkena gelombang.



Gambar 4. 15: *Passive Marker* (Sumber: www.qualysis.com)

3. *Calibration Kit*

Alat ini digunakan untuk menentukan arah sumbu Cartesian agar tidak terjadi kesalahan merekam gerakan SPAR. Kalibrasi ini juga penting dilakukan untuk menentukan titik nol koordinat SPAR.



Gambar 4. 16: *Qualysis Calibration Kit*

4.1.4.2 Kalibrasi *Wave Probe* dan *Wave Generator*

Untuk memastikan bahwa tinggi gelombang yang dibangkitkan saat uji eksperimen sesuai dan masih dapat merepresentasikan input gelombang yang diinginkan, maka perlu dilakukan kalibrasi gelombang sebelum pengujian dilakukan. Alat yang digunakan untuk merekam tinggi gelombang pada kalibrasi dan selama eksperimen berlangsung adalah *wave probe*. *Wave probe* terus dipasang ketika pengujian dilakukan untuk merekam tinggi gelombang yang dibangkitkan.



Gambar 4. 17: *Wave Probe*

Pada saat dilakukan kalibrasi gelombang, dilakukan simulasi pembangkitan gelombang dengan *input* parameter gelombang sesuai dengan gelombang uji. Dimana karakteristik dari gelombang uji adalah sebagai berikut.

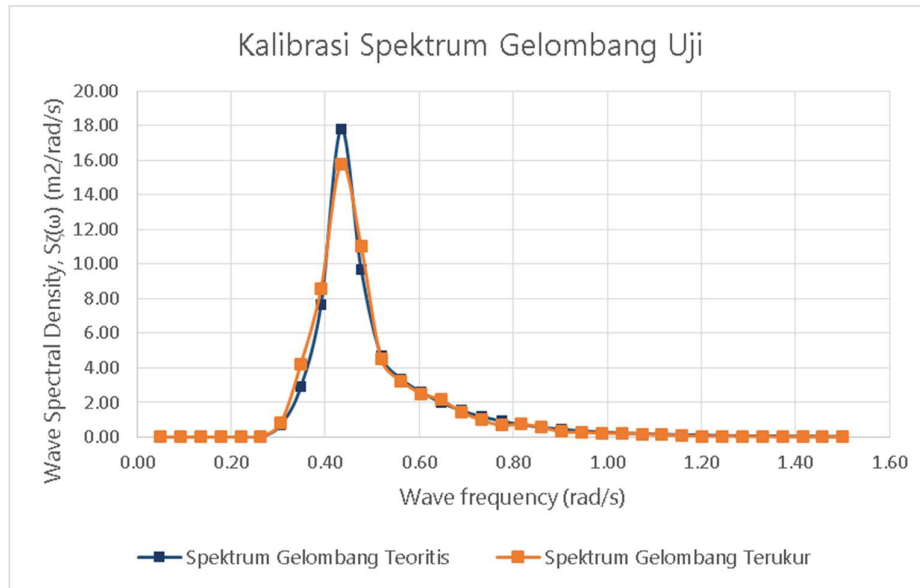
Tabel 4. 9: Karakteristik gelombang uji yang digunakan dalam eksperimen

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Full Scale</i>		
Teori Spektrum Gelombang	JONSWAP	-
Hs	6.35	m
Tp	14.5	s
γ	3.3	-
<i>Heading Gelombang</i>	0	Degree
Model (skala 1:125)		
Teori Spektrum Gelombang	JONSWAP	-
Hs	0.0508	m
Tp	1.297	s
γ	3.3	-
<i>Heading gelombang</i>	0	Degree

Wave probe merekam tinggi gelombang yang dibangkitkan oleh *wave maker*, sehingga didapatkan *time history* gelombang. *Time history* hasil perekaman *wave probe* ini kemudian dikonversi menjadi spektrum gelombang.

Spektrum gelombang dalam gelombang acak, merupakan kurva yang merepresentasikan resultan dari energi gelombang-gelombang regular yang bersuperposisi membentuk karakteristik dari gelombang acak, dimana energi-energi gelombang yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya adalah ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko, 2012). Dalam membuat spektrum gelombang, pertama-tama data rekaman elevasi gelombang (*time history*) yang menggunakan domain waktu (*time domain*) harus ditransformasi menjadi domain frekuensi (*frequency domain*) menggunakan metode *fast fourier transform (FFT)* yang dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan MATLAB karena sudah ada fungsi FFT di dalamnya. Setelah rekaman *time history* gelombang ditransformasi ke dalam domain frekuensi, kurva spektrum gelombang dapat dibentuk dengan mengplot besar ordinat spektrum gelombang dengan frekuensi gelombang sebagai absis. Besar ordinat spektrum dapat dikalkulasi menggunakan **persamaan 2.19**.

Dalam kalibrasi, spektrum gelombang uji yang dihasilkan oleh *wave generator* divalidasi dengan spektrum gelombang secara teoritis. Perbandingan spektrum *density* gelombang adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 18: Perbandingan spektrum gelombang dari kalibrasi gelombang uji

Dari grafik kalibrasi gelombang uji, dapat dilihat bahwa kurva kepadatan spektrum gelombang uji hasil pengukuran dan teoritis berhimpit dan menunjukkan kemiripan yang dekat jika dilihat dari bentuk dan puncak spektrumnya. Hasil perhitungan harga stokastiknya pun tidak berbeda jauh, sehingga dapat disimpulkan bahwa *wave maker* dapat membangkitkan gelombang yang dapat merepresentasikan parameter gelombang sesuai dengan *input* yang diinginkan. Adapun, parameter stokastik yang dibandingkan dalam kalibrasi adalah tinggi gelombang signifikan (H_s) digunakan persamaan berikut.

$$H_s = 4.00\sqrt{m_0} \quad (4.7)$$

Dimana,

H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)

m_0 = Luasan di bawah kurva spektrum gelombang, yang ekuivalen dengan varian elevasi permukaan gelombang (m^2)

Berikut hasil validasi dari proses kalibrasi gelombang. Adapun, perhitungan lebih detailnya dapat dilihat pada **lampiran E**.

Tabel 4. 10: Hasil validasi kalibrasi gelombang

VALIDASI KALIBRASI GELOMBANG			
Parameter	Gelombang Teoritis	Gelombang Terukur	Error
Tinggi gelombang signifikan, Hs (m)	6.35	6.39	0.63%

Karena standar yang digunakan laboratorium Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT untuk validasi harus di bawah 5%, maka hasil kalibrasi *wave probe* dan alat pembangkit gelombang dianggap berhasil dan gelombang dapat merepresentasikan input yang diberikan.

4.2 Pemodelan Numeris

4.2.2 Pemodelan Struktur SPAR

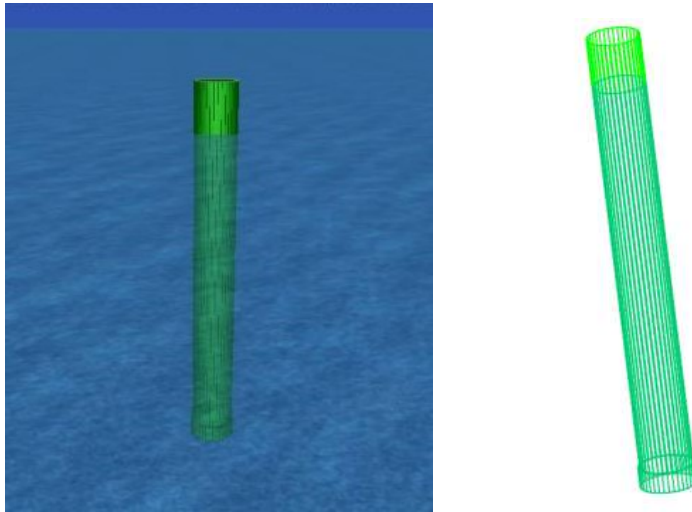
Dalam analisis numeris, digunakan *software* MOSES dan Orcaflex 9.2a. Dalam model numeris, SPAR beserta seluruh komponennya dimodelkan dalam skala *full scale* (ukuran sebenarnya), dengan skala *full scale* 1:125 dari skala model. Secara garis besar, pemodelan numeris dapat dibagi menjadi pemodelan struktur dalam MOSES dan Orcaflex 9.2a, dan pemodelan sistem tambat. Pembahasan lebih detail dari tahapannya adalah sebagai berikut.

4.2.2.1 Pemodelan dalam MOSES

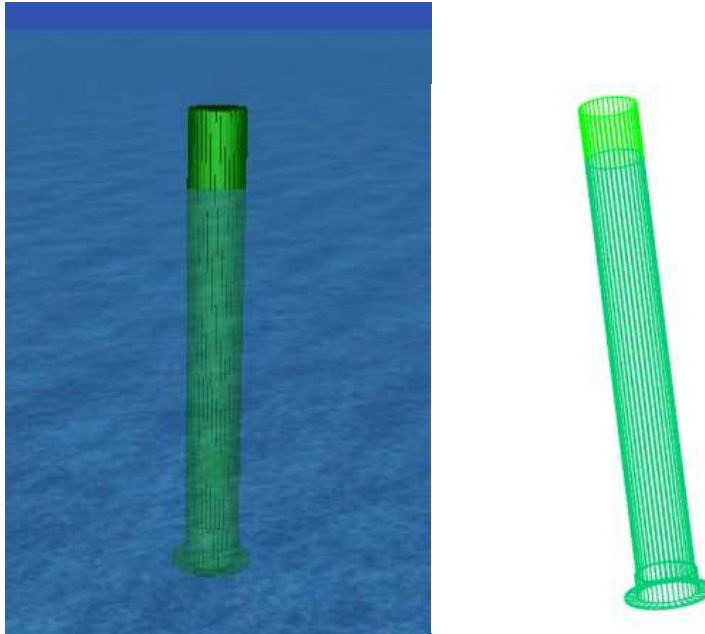
Pemodelan numeris SPAR dalam MOSES perlu dilakukan untuk mendapatkan parameter hidrostatis dan hidrodinamis dari SPAR ketika menggunakan *heave plate* dan tidak. Parameter-parameter ini diperlukan untuk di-*inputkan* ke dalam Orcaflex 9.2a.

Pemodelan dalam MOSES dilakukan dengan cara memberikan perintah dalam *file* yang memiliki ekstensi *.dat* untuk membentuk SPAR sesuai dengan data pada tabel 4.8 dalam skala *full scale*. Setelah struktur dimodelkan dengan baik melalui perintah-perintah dalam ekstensi *.dat*, kemudian struktur dianalisis dengan menggunakan teori 3D *diffraction*. Teori ini merupakan metode untuk menghitung aliran (*potential*) di sekitar lambung struktur, yang didasarkan pada teorema integral *Green* (Journee & Massie, 2001). Teorema ini memungkinkan kita untuk mentransformasikan persamaan Laplace 3-

dimensional menjadi persamaan *surface integral*, yang biasa disebut dengan identitas Green. Untuk menyelesaikan persamaan ini, permukaan *body* dari SPAR dibagi kedalam panel-panel yang kecil atau biasa disebut *meshing*. struktur di-*meshing* dengan ukuran panel maksimal sebesar 3.5 m. Perintah untuk melakukan *meshing* ini dimasukkan ke dalam *file .cif*, dimana dalam *file* ini juga dimasukkan parameter-parameter lain seperti *keel to gravity (KG)*, jari-jari girasi, *draft*, dan perintah-perintah lain untuk menganalisis model yang sudah dibuat dalam *file* dengan ekstensi *.dat*. *Output* dari MOSES dapat dilihat pada **lampiran D**. Model numeris dari SPAR yang sudah di-*meshing* dapat dilihat pada gambar-gambar berikut.



Gambar 4. 19: Model SPAR tanpa *heave plate* tampak isometri dalam MOSES

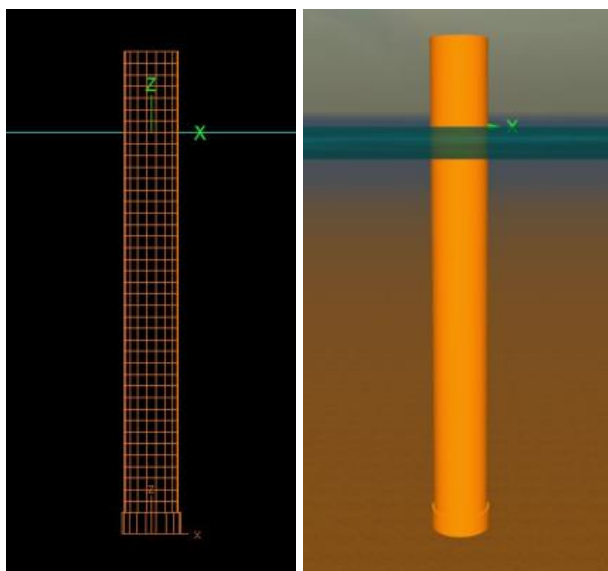


Gambar 4. 20: Model SPAR dengan *heave plate* tampak isometri dalam MOSES

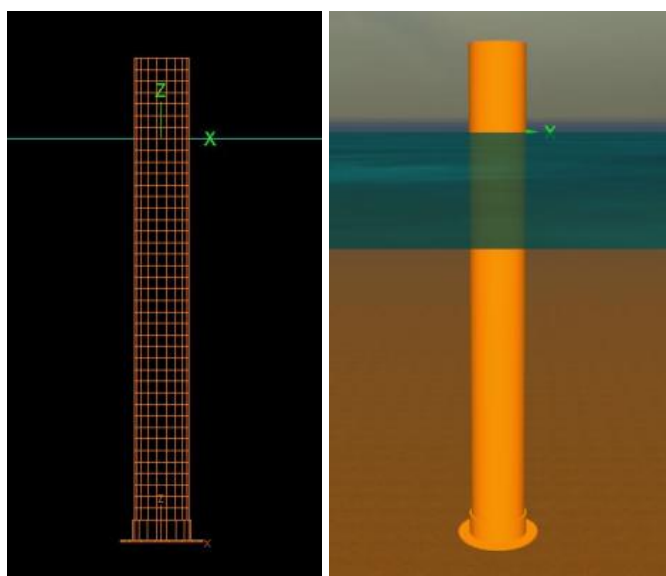
Pada gambar isometri di atas, bagian SPAR yang berwarna hijau muda merupakan bagian yang berada di atas permukaan air. Sedangkan yang berwarna hijau tua, merupakan bagian SPAR yang berada di bawah permukaan air. Analisis kedua model dalam MOSES akan dibahas lebih lanjut pada sub-bab selanjutnya.

4.2.2.2 Pemodelan dalam Orcaflex 9.2a

Struktur SPAR dalam Orcaflex dimodelkan menggunakan *tool 6D SPAR Buoy*, karena bentuk SPAR yang silinder sederhana. Titik *origin* SPAR diatur pada draft mula-mula di titik (x, y) pada koordinat (0,0). Setelah dimensi struktur dimodelkan sesuai dengan dimensi SPAR pada skala *full scale* seperti pada tabel 4.8 dan juga sesuai dengan model dalam *software* MOSES, massa dan *keel to gravity (KG)* dari SPAR yang didapat dari eksperimen juga dimasukkan. Hasil dari pemodelan numeris untuk SPAR ketika tidak menggunakan *heave plate* dan ketika menggunakan *heave plate* pada saat kondisi *free floating* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 21: Model SPAR tanpa *heave plate* dalam Orcaflex 9.2a



Gambar 4. 22: Model SPAR dengan *heave plate* dalam Orcaflex 9.2a

Selain struktur SPAR, kedalaman laut dalam *software* Orcaflex 9.2a juga disesuaikan dengan kedalaman kolam uji MOB – BTH BPPT yang diubah ke dalam skala *full scale*, yaitu 312.5 m.

4.2.3 Pemodelan Sistem Tambat dalam Orcaflex 9.2a

Dalam memodelkan sistem tambat dalam Orcaflex 9.2a digunakan *line tool* yang dapat memodelkan sistem tambat dengan cara menentukan panjang tali

tambat, pembagian *segment* dan *section* tali tambat, juga koordinat masing-masing ujung tali tambat dengan acuan koordinat lokal dari objek yang dikaitkannya. *Segment* merupakan segmentasi jenis tali tambat yang membentuk satu kesatuan tali tambat, dan *section* merupakan pembagian *section* dalam satu *segment* untuk keperluan kalkulasi lebih lanjut. Dalam tugas akhir ini, tali tambat diasumsikan menggunakan dua *segment* yang menggunakan jenis tali tambat berbeda untuk merepresentasikan karet dan *steel wire* yang digunakan pada eksperimen. Panjang tiap *section* tali tambat yang digunakan adalah 10 m.

Panjang tali tambat pertama-tama diinput sesuai dengan panjang tali tambat eksperimen yang diskalakan ke skala *full scale*, lalu panjang tali tambat yang telah di-input akan disesuaikan kembali dengan *pre-tension* dan dikalkulasi ulang menggunakan fitur *calculate line length* yang dapat mengkalkulasi panjang tali tambat berdasarkan kedalaman, properti tali tambat, *pre-tension*, dan berbagai parameter lainnya. Fitur ini digunakan agar *pre-tension* tali tambat dapat disesuaikan dengan *pre-tension* yang digunakan dalam eksperimen saat tali tambat dalam kondisi *taut*. Dari proses ini didapatkan panjang tali tambat yang dibutuhkan sistem.

Menggunakan fitur *line wizard tool*, Orcaflex 9.2a sudah memiliki perhitungan pendekatan tersendiri untuk mengkalkulasi properti tali tambat, yang kalkulasinya berpatokan pada diameter tali tambat. Perhitungan properti tali tambat ini berdasarkan pada katalog yang dipublikasikan oleh Marlow Ropes Ltd (1995). Sehingga, dalam memodelkan tali tambat hanya perlu memasukkan nominal diameter dari tali tambat, lalu Orcaflex 9.2a dapat mengkalkulasi parameter lainnya. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *Axial stiffness* menjadi parameter utama yang harus digunakan sebagai acuan.

Menyesuaikan dengan tali tambat yang digunakan dalam eksperimen, pemodelan tali tambat dalam Orcaflex 9.2a menggunakan dua properti tali tambat berbeda, yang dalam ukuran *full scale*-nya dianggap dapat merepresentasikan bagian karet dan *steel wire* yang digunakan dalam eksperimen.

Yang pertama, yaitu properti tali tambat yang merepresentasikan karet. Jenis tali tambat dipilih dengan berpatokan pada *axial stiffness* yang didapatkan dari hasil penskalaan kekakuan (*axial stiffness*) dari tali tambat model eksperimen

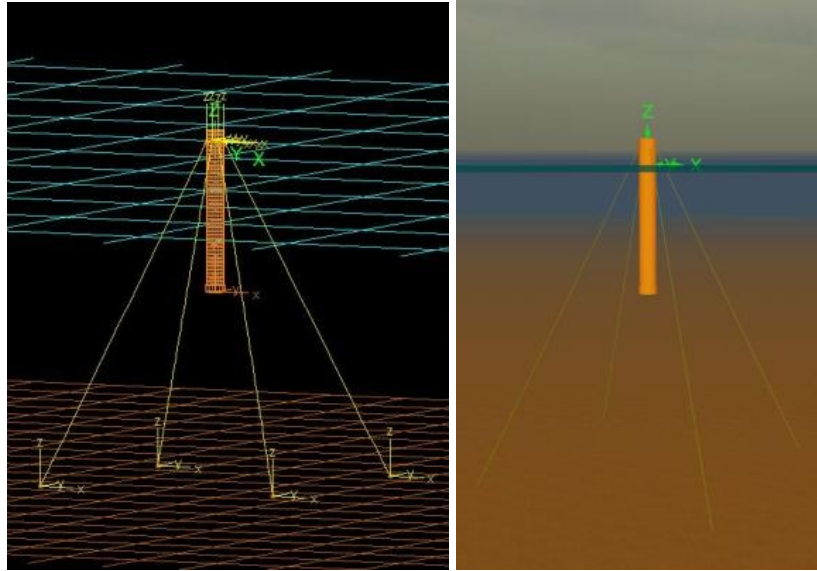
ke ukuran *full scale* seperti yang sudah dijelaskan pada sub-bab pemodelan **tali tambat eksperimen (4.1.2)**. Dengan mempertimbangkan faktor elastisitas, maka dipilih jenis tali tambat *polyester*.

Yang kedua, yaitu tali tambat yang dapat merepresentasikan bagian *steel wire*. Jenis tali tambat dipilih dengan berpatokan pada *axial stiffness* dari *steel wire* yang diskalakan ke dalam skala *full scale* seperti yang sudah dijelaskan pada sub-bab pemodelan **tali tambat eksperimen (4.1.2)**. karena *steel wire* jauh lebih tidak elastis dari karet, maka dipilih jenis tali tambat *wire with fibre core*. Berikut adalah properti tali tambat terpilih yang digunakan dalam analisis numeris.

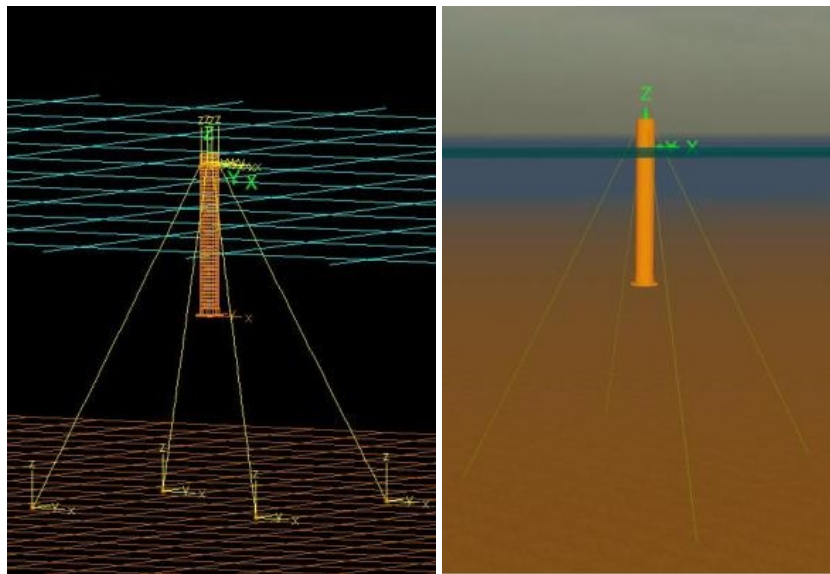
Tabel 4. 11: Properti tali tambat terpilih untuk analisis numeris (dalam skala *full scale*)

Tali Tambat Representasi Karet dalam <i>Orcaflex 9.2a</i>		
Jenis tali tambat	<i>Polyester (8-Strand Multiplait)</i>	
<i>Nominal diameter</i>	0.190	Mm
<i>Axial stiffness</i>	39.278	MN
<i>Weight in air</i>	0.029	Ton/m
<i>Weight in water</i>	0.021	Ton/m
Tali Tambat Representasi <i>Steel wire</i> dalam <i>Orcaflex 9.2a</i>		
Jenis tali tambat	<i>6 x 19 Wire with Fibre Core</i>	
<i>Nominal diameter</i>	0.439	mm
<i>Axial stiffness</i>	7075.487	MN
<i>Weight in air</i>	0.696	Ton/m
<i>Weight in water</i>	0.104	Ton/m

Model ditambahkan dengan konfigurasi yang sesuai dengan eksperimen, begitu juga dengan *draft* setelah tertambat yang disesuaikan dengan *draft* tertambat seperti pada tabel 4.1. Model yang sudah tertambat dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. 23: Model tertambat SPAR tanpa *heave plate* dalam Orcaflex 9.2a



Gambar 4. 24: Model tertambat SPAR dengan *heave plate* dalam Orcaflex 9.2a

4.2.4 Validasi Model Numeris

Sebelum analisis dilakukan, model numeris yang sudah dibuat dalam MOSES dan Orcaflex 9.2a divalidasi parameter-parameternya dengan model eksperimen. Validasi ini diperlukan untuk menunjukkan kesesuaian model numeris yang telah dibuat dengan model eksperimen pada ukuran *full scale*. Adapun parameter yang divalidasi adalah parameter dimensi dan distribusi massa model SPAR. Hasil validasi dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 12: Validasi parameter model numeris dengan eksperimen

VALIDASI MODEL SPAR (SKALA <i>FULL SCALE</i>)						
Parameter		Eksperimen	MOSES	Error	Orcaflex 9.2a	Error
<i>Hull diameter (m)</i>		17.5	17.5	0%	17.5	0%
<i>Keel diameter (m)</i>		18.750	18.750	0%	18.750	0%
<i>Draft without heave plate (m)</i>	<i>Free floating</i>	128.681	128.681	0%	128.681	0%
	<i>Moored</i>	138.896	138.896	0%	138.896	0%
<i>Draft with heave plate (m)</i>	<i>Free floating</i>	129.305	129.305	0%	129.305	0%
	<i>Moored</i>	139.520	139.520	0%	139.520	0%
<i>Hull height (m)</i>		155.625	155.625	0%	155.625	0%
<i>Keel cylinder height (m)</i>		6.625	6.625	0%	6.625	0%
<i>Fairlead height from keel (m)</i>		146.25	146.250	0%	146.25	0%
<i>Displacement of SPAR without heave plate (ton)</i>		31949.219	31967.04	0.056%	31949.219	0%
<i>Displacement of SPAR with heave plate (ton)</i>		32295.918	32314.75	0.058%	32295.918	0%
<i>Keel to Gravity without heave plate, KG (m)</i>		57.125	57.125	0%	57.125	0%
<i>Keel to Gravity of SPAR with heave plate, KG (m)</i>		56.508	56.508	0%	56.508	0%

Tabel 4.12: Validasi parameter model numeris dengan eksperimen (lanjutan)

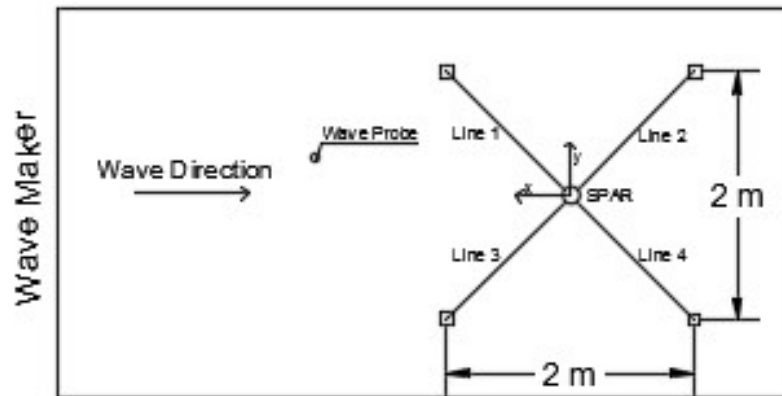
VALIDASI MODEL SPAR (SKALA <i>FULL SCALE</i>)					
Parameter	Eksperimen	MOSES	Error	Orcaflex 9.2a	Error
<i>Roll radius of gyration, K_{xx} (m)</i>	68.750	68.750	0%	68.750	0%
<i>Pitch radius of gyration, K_{yy} (m)</i>	68.75	68.75	0%	68.75	0%
<i>Heave plate diameter (m)</i>	26.250	26.250	0%	26.250	0%
<i>Heave plate thickness (m)</i>	0.625	0.625	0%	0.625	0%

Batas *error* maksimum yang digunakan adalah 5%, mengacu pada batas *error* yang digunakan oleh laboratorium Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT. Dari tabel dapat dilihat bahwa perbedaan harga dimensi dan distribusi massa antara model eksperimen dan model numeris tidak lebih dari 5%, sehingga dapat dikatakan bahwa model numeris dapat merepresentasikan model eksperimen dalam skala *full scale*.

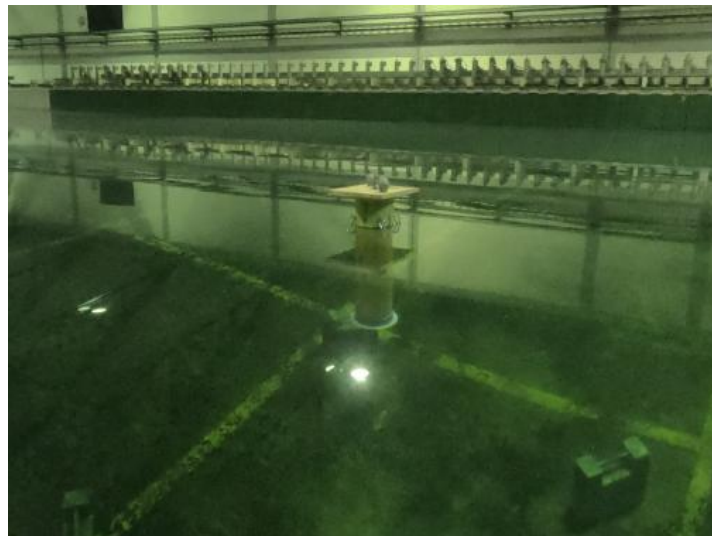
4.3 Analisis Metode Ekperimen

Percobaan eksperimen dilakukan di kolam *Maneuvering and Ocean Engineering Basin* (MOB) Balai Teknologi Hidrodinamika (BTH) – BPPT. Adapun dimensi dari kolam MOB BTH – BPPT dapat dilihat pada tabel 3.3.

SPAR dan sistem tambatnya dirangkai di kolam uji menyesuaikan dengan kondisi kolam MOB BTH – BPPT. Konfigurasi instalasi SPAR dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 25: Konfigurasi instalasi SPAR



Gambar 4. 26: SPAR yang sudah dikonfigurasi di kolam uji

Pengujian eksperimen dilakukan pada 4 kondisi yaitu:

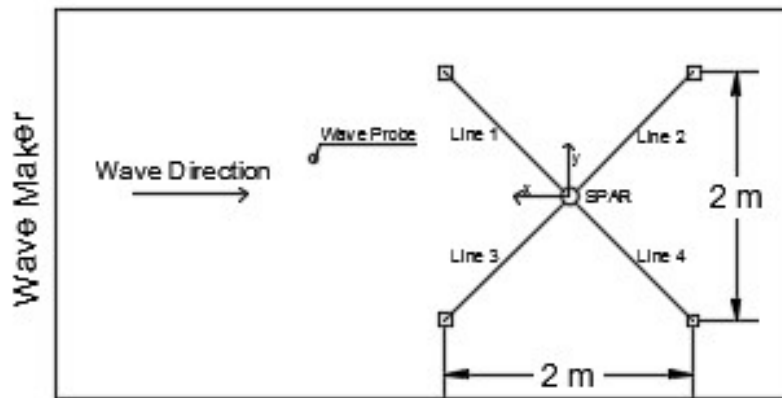
1. SPAR **tanpa heave plate** pada kondisi tali tambat keadaan ***Intact***.
2. SPAR **dengan heave plate** pada kondisi tali tambat keadaan ***Intact***.
3. SPAR **tanpa heave plate** dengan kondisi tali tambat keadaan ***Damaged***.
4. SPAR **dengan heave plate** dengan kondisi tali tambat keadaan ***Damaged***.

Setiap uji eksperimen pada empat kondisi diatas, dilakukan berurutan dengan kode angka sebagai identitas, kode dan urutan dari eksperimen dapat dilihat pada tabel 4.13. Adapun konfigurasi uji eksperimen pada kondisi *intact* dan *damaged* dapat

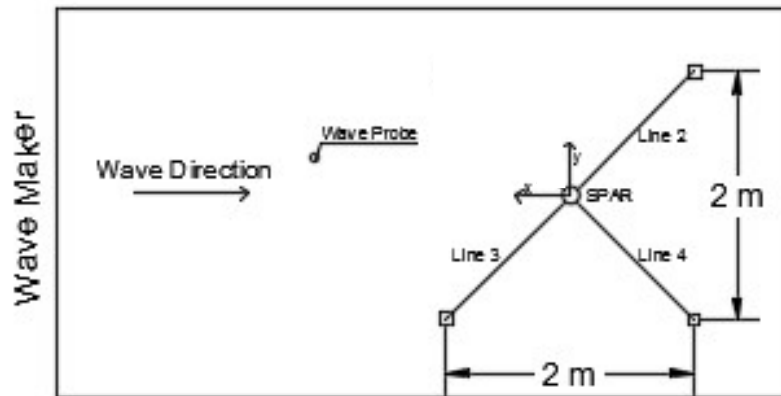
dilihat pada gambar 4.27 dan 4.28. Sedangkan contoh keadaan saat eksperimen berlangsung dapat dilihat pada gambar 4.29.

Tabel 4. 13: Urutan dan Kode Uji Eksperimen

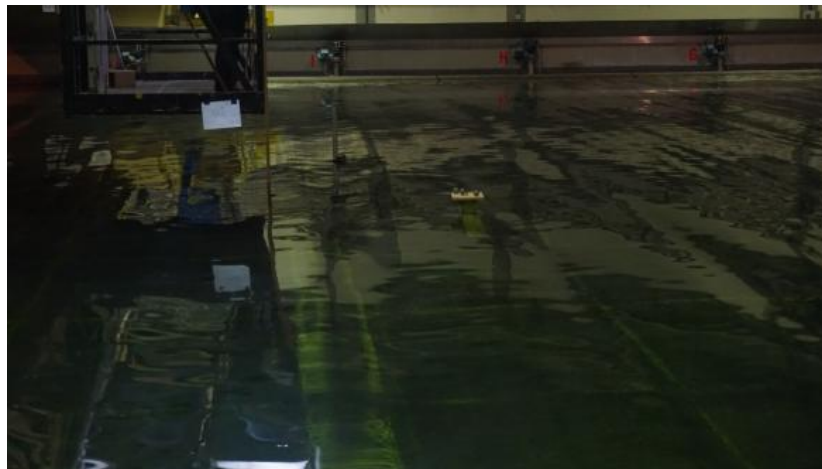
Kondisi	Kode Uji dan urutan	Durasi Uji Eksperimen	Durasi dalam skala <i>Full Scale</i>
SPAR tanpa <i>heave plate (intact)</i>	01	6 menit	67 menit
SPAR tanpa <i>heave plate (damaged)</i>	02	6 menit	67 menit
SPAR dengan <i>heave plate (intact)</i>	03	6 menit	67 menit
SPAR tanpa <i>heave plate (damaged)</i>	04	6 menit	67 menit



Gambar 4. 27: Konfigurasi tali tambat kondisi *intact* tampak atas



Gambar 4. 28: Konfigurasi tali tambat *damaged* tampak atas

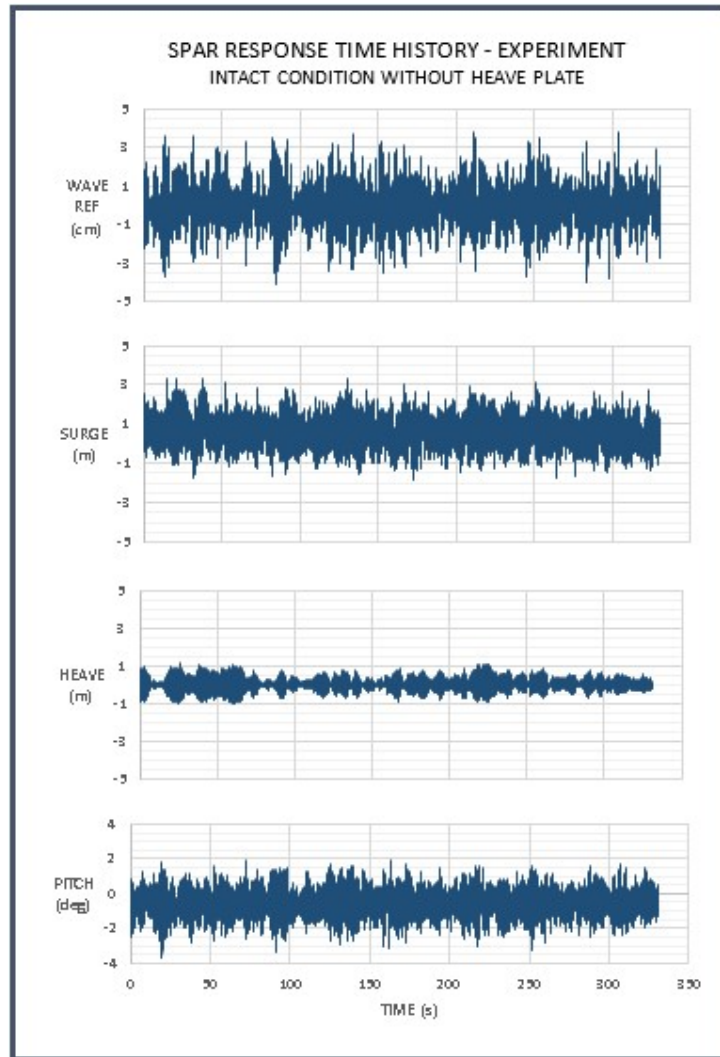


Gambar 4. 29: Keadaan saat pengujian berlangsung

Karakteristik gelombang yang digunakan dalam uji eksperimen, disesuaikan dengan respon model dan kemampuan alat pembangkit gelombang (*wave maker*). Karakteristik gelombang terpilih dianggap dapat menimbulkan respon SPAR yang cukup untuk terekam oleh *Qualysis*. Karakteristik gelombang terpilih dapat dilihat pada tabel 4.9 yang dibahas bagian kalibrasi gelombang.

Respon dari SPAR akibat terkena gelombang kemudian akan direkam oleh *Qualysis*, kemudian akan diplot dalam bentuk *time history* pada setiap arah gerakan. Karena bentuk SPAR yang simetris, pada penelitian ini analisis lebih lanjut hanya akan dilakukan pada 3 derajat kebebasan yaitu: *surge*, *heave*, dan *pitch*. Berikut

adalah contoh *time history heave* hasil perekaman instrumen *Qualysis* selama pengujian berlangsung.



Gambar 4. 30: Contoh time history hasil rekaman *Qualysis motion camera*

Untuk lebih detailnya, *time history* pada arah gerakan *surge*, *heave*, dan *pitch* hasil pengujian pada setiap kondisi dapat dilihat pada **lampiran B dan C**.

4.4 Analisis Metode Numeris

4.4.1 Analisis dalam MOSES

Analisis dalam MOSES dilakukan pada SPAR dengan keadaan tidak tertambat (*free floating*), namun pada *draft* operasi ketika SPAR dalam keadaan tertambat. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data hidrostatik dan hidrodinamis

dari SPAR ketika berada pada *draft* operasi, untuk kemudian di-*inputkan* ke dalam Orcaflex 9.2a, dan dianalisis lebih lanjut dalam keadaan tertambat. Satuan MOSES diatur menjadi Kilo Newton (KN) untuk satuan gayanya, dan meter (m) untuk satuan panjangnya. Analisis dalam MOSES dilakukan pada empat kondisi, seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 14: Kondisi analisis domain frekuensi dalam MOSES

Kondisi	Kode analisis	<i>Draft Operasi</i>
Tanpa <i>heave plate</i>	1	<i>Intact</i> , 138.896 m
	2	<i>Damaged</i> , 136.845 m (menyesuaikan dengan analisis statis Orcaflex 9.2a)
Dengan <i>heave plate</i>	3	<i>Intact</i> , 138.896 m
	4	<i>Damaged</i> , 137.473 m (menyesuaikan dengan analisis statis Orcaflex 9.2a)

Orcaflex 9.2a membutuhkan 3 *input* utama untuk dimasukkan ke dalam model *6D buoy*, yaitu: *Wave load RAO*, *Damping matrix*, dan *Added mass matrix*. Ketiga parameter tersebut didapatkan dari analisis domain frekuensi menggunakan MOSES. Perlu diperhatikan bahwa variasi frekuensi gelombang yang digunakan dalam analisis harus mencakup frekuensi gelombang yang mungkin terjadi dalam analisis domain waktu dalam Orcaflex 9.2a. Hal ini disebabkan karena *wave load RAO* yang diinput harus dapat mencakup gaya gelombang yang sekiranya mengenai SPAR ketika analisis domain waktu dalam Orcaflex 9.2a dijalankan, atau minimal cukup untuk Orcaflex dapat memprediksi respon akibat gaya gelombang yang terjadi melalui *wave load RAO* yang di-*input* dengan metode interpolasi maupun ekstrapolasi. *Output wave load RAO* yang digunakan dapat dilihat pada **lampiran D**.

Frekuensi rata-rata puncak gelombang (*mean peak frequency*, ω_p), juga sangat direkomendasikan untuk dimasukkan ke dalam variasi frekuensi. Hal ini diperlukan karena besar komponen *damping matrix* dan *added mass matrix* hasil *output* MOSES bergantung pada *encounter period* dari gelombang yang mengenai

struktur. *Tool 6D Buoy Orcaflex 9.2a* hanya memerlukan satu rangkaian komponen *damping & Added mass matrix* yang paling mendekati atau sama dengan *mean peak period* (T_p) dari gelombang acak. Perlu diketahui bahwa setiap ada perubahan bentuk struktur, dan *draft*, maka matriks massa tambah dan matriks redaman juga akan berubah. Karena itu, masing-masing kondisi SPAR yang diteliti memerlukan matriks damping dan matriks redaman tersendiri, sehingga diperlukan empat komponen matriks redaman dan massa tambah (untuk kondisi dengan dan tanpa *heave plate*, keduanya dianalisis pada saat tali tambat dalam keadaan *intact* dan *damaged*). Contoh *damping matrix* dan *Added mass matrix* pada salah satu kondisi yang di-*input* ke dalam Orcaflex 9.2a dapat dilihat pada gambar berikut. Adapun, komponen matriks redaman dan massa tambah yang digunakan dalam setiap kondisi dapat dilihat pada **lampiran D**.

Frequency	0.4333	Period	14.5000		
Added Mass					
9.31915E-01	9.66206E-07	6.84346E-06	2.95069E-05	1.44938E+01	5.70575E-06
2.67073E-07	9.31913E-01	-6.90055E-06	-1.44939E+01	-4.61327E-06	-1.17411E-05
1.51259E-07	5.09733E-08	6.21030E-02	-2.97294E-04	-3.29015E-04	4.10285E-07
2.95069E-05	-1.44939E+01	-2.97294E-04	1.75351E+03	2.13387E-03	2.54365E-04
1.44938E+01	-4.61327E-06	-3.29015E-04	-5.10879E-03	1.75351E+03	4.55037E-05
5.70575E-06	-1.17411E-05	4.10285E-07	2.54577E-04	4.55128E-05	9.20472E-10
Damping					
6.98886E-02	3.16148E-09	2.00204E-08	-1.80278E-07	-2.74285E+00	3.40257E-07
-7.85949E-09	6.93239E-02	-1.52490E-08	2.71059E+00	8.82583E-07	-7.18046E-07
3.72078E-09	3.12629E-10	1.13268E-03	5.90860E-07	2.43340E-07	-3.94797E-09
-1.80278E-07	2.71059E+00	5.90860E-07	5.00871E+02	1.18727E-04	-2.36801E-05
-2.74285E+00	8.82583E-07	2.43340E-07	-3.71746E-05	5.05549E+02	-1.27253E-05
3.40257E-07	-7.18046E-07	-3.94797E-09	-2.36899E-05	-1.26772E-05	3.65103E-09

Gambar 4. 31: Contoh *output added mass* dan *damping matrix* dari MOSES untuk output Orcaflex 9.2a

Dalam kedua matriks di atas, komponen diagonal utama matriks merupakan komponen respon gerak *uncoupled*. Sedangkan komponen yang lainnya merupakan komponen respon gerak *coupled*. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut.

Added Mass					
4.94978E-01	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.00000E+00	1.46139E+00	7.13633E-08	-2.73906E+00	-1.98871E-07	1.32581E-07
0.00000E+00	9.17528E-08	1.28719E+00	-8.12056E-07	3.31452E-07	0.00000E+00
0.00000E+00	-2.73906E+00	-8.12056E-07	1.78157E+01	-2.15523E-07	6.46569E-07
0.00000E+00	-1.98871E-07	3.31452E-07	-2.15523E-07	1.28719E+02	-5.60360E-06
0.00000E+00	1.32581E-07	0.00000E+00	0.00000E+00	4.31046E-07	1.46139E+02
Damping					
2.35790E-02	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
0.00000E+00	6.77325E-02	-6.37172E-09	-8.42559E-02	6.62903E-08	-1.65726E-08
0.00000E+00	-3.82303E-08	4.43728E-01	5.90398E-08	1.49153E-07	2.07157E-09
0.00000E+00	-8.42559E-02	5.90398E-08	2.16112E+00	0.00000E+00	-2.02053E-08
0.00000E+00	6.62903E-08	1.49153E-07	1.07761E-07	4.04173E+01	-4.31046E-06
0.00000E+00	-1.65726E-08	2.07157E-09	0.00000E+00	-8.08211E-07	3.41445E+00

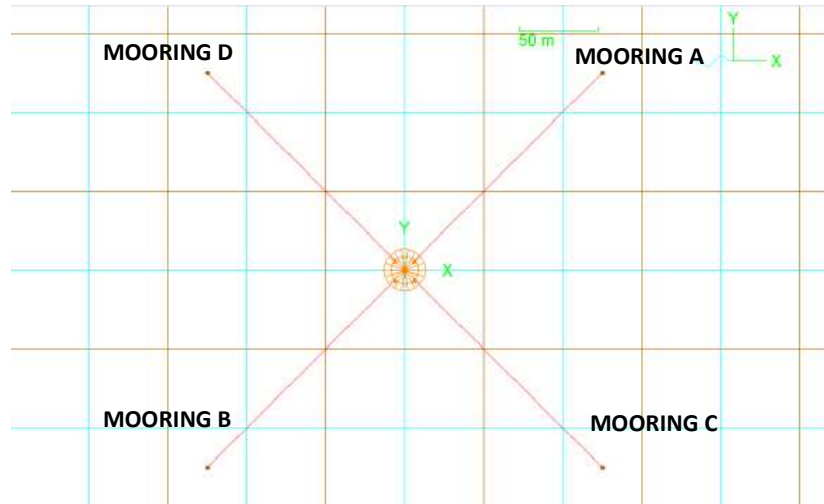
Gambar 4. 32: Komponen diagonal utama *added mass matrix* dan *damping matrix*

Added mass matrix dalam *output* MOSES yang digunakan merupakan koefisien massa tambah tanpa satuan, dengan komponen A11, A22, dan A33 merupakan koefisien massa tambah translasional *uncoupled*, sedangkan komponen A44, A55, dan A66 merupakan massa tambah gerak rotasional *uncoupled*. Sedangkan *Damping matrix* dalam *output* MOSES merupakan koefisien redaman yang didapatkan dengan membagi besar *damping* yang terjadi pada struktur, yang memiliki satuan KN/(m/s), dengan *displacement* struktur. Komponen matriks B11, B22, dan B33 merupakan koefisien redaman gerak translasional *uncoupled* yang memiliki satuan 1/s. Sedangkan komponen B44, B55, dan B66 merupakan koefisien redaman gerak rotasional *uncoupled* yang memiliki m²/s. Kedua matriks ini nantinya akan dikonversi oleh Orcaflex 9.2a menjadi matriks yang memiliki konvensi sesuai dengan kebutuhan Orcaflex 9.2a.

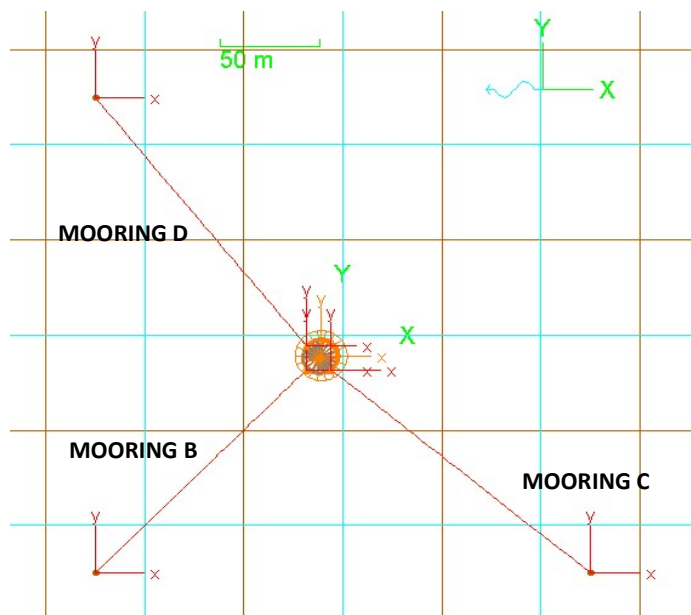
4.4.2 Analisis dalam Orcaflex 9.2a

Analisis dalam Orcaflex 9.2a dilakukan menggunakan metode domain waktu, pada kondisi sistem tambat *intact* dan *damaged* ketika menggunakan *heave plate* dan tidak seperti pada eksperimen. Analisis dipersiapkan dengan cara menentukan parameter lingkungan seperti arah datang gelombang, kedalaman, arus, angin, parameter gelombang, dan sebagainya. Karena beban arus dan angin tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini, maka parameter angin dan arus ditiadakan dalam analisis numeris. Adapun arah datang gelombang disesuaikan dengan eksperimen, yaitu pada arah *between lines*, sehingga digunakan arah

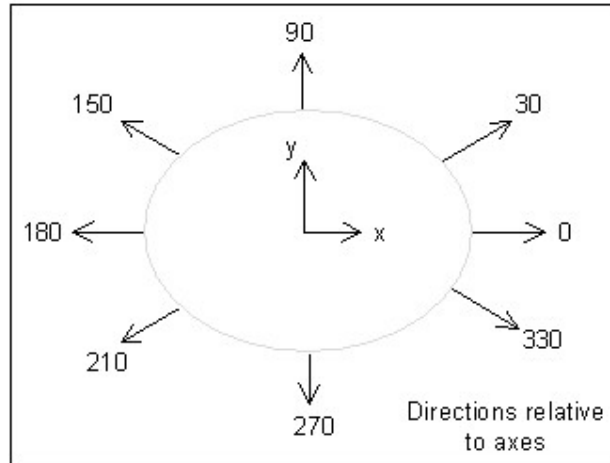
datang gelombang 180° (karena sumbu *Cartesian* eksperimen memiliki arah sumbu x positif yang terbalik). Konfigurasi SPAR dalam dan arah beban lingkungan dalam software Orcaflex 9.2a dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 33: Konfigurasi sistem tambat SPAR kondisi *intact* dalam Orcaflex 9.2a



Gambar 4. 34: Konfigurasi sistem tambat SPAR kondisi *damaged* dalam Orcaflex 9.2a



Gambar 4. 35: Arah beban lingkungan Orcaflex 9.2a

Selain parameter lingkungan, terdapat beberapa parameter penelitian lain yang harus diatur seperti *time step*, *time origin*, *simulation duration*, dll. Parameter-parameter ini perlu diatur agar sesuai dengan eksperimen dan sistem yang diinginkan. Gelombang uji yang digunakan sama dengan gelombang uji eksperimen pada tabel 4.9. Durasi simulasi yang digunakan juga disesuaikan dengan durasi uji eksperimen yang diskalakan ke skala *full scale* seperti yang terdapat pada tabel 4.11 yaitu selama **67 menit**.

Agar model memiliki karakteristik hidrodinamis dan hidrostatis yang sesuai dengan kondisi lingkungan, *Wave load RAO*, *Damping matrix*, dan *Added mass matrix* yang didapatkan dari analisis numeris menggunakan MOSES harus di-*input* pada model SPAR di dalam Orcaflex 9.2a. Konvensi matriks MOSES, harus diubah terlebih menjadi konvensi Orcaflex 9.2a dengan cara meng-*import damping matrix* juga *added mass matrix* yang sudah diatur terlebih dahulu sesuai dengan proses *import data* dalam Orcaflex 9.2a.

Adapun, konvensi yang digunakan oleh Orcaflex 9.2a untuk *damping* dan *added mass matrix* adalah sebagai berikut, dimana notasi M, L, T, rad, dan F mengindikasikan massa, panjang, waktu, radian, dan gaya.

- *Added mass matrix*: 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kiri-atas memiliki satuan **M**, 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kanan-atas dan kiri-bawah memiliki satuan **ML**,

sedangkan 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kanan-bawah memiliki satuan ML^2 .

- *Damping matrix*: 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kiri-atas memiliki satuan $F/(L/T)$, 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kanan-atas memiliki satuan $F/(rad/T)$, 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kiri-atas memiliki satuan $FL/(L/T)$, sedangkan 3x3 bagian dari komponen matriks sebelah kanan-bawah memiliki satuan $FL/(rad/T)$.

Setelah kedua matriks di-*import* dan sesuai dengan konvensinya, matriks massa tambat dan redaman baru dapat digunakan. Berikut ini contoh satu *set* matriks massa tambah dan redaman yang sudah di-*import* dan disesuaikan konvensinya.

Translation in			Rotation about		
x	y	z	x	y	z
32.30E3	0.037	0.641	0.833	534.0E3	0.025
0.037	32.30E3	0.119	-534E3	-0.278	-0.203
0.641	0.119	6375.53	4.362	-32.113	0.045
0.833	-534E3	4.362	62.10E6	70.150	5.628
534.0E3	-0.278	-32.113	70.150	62.20E6	-0.820
0.025	-0.203	0.045	5.628	-0.820	40E-6

Gambar 4. 36: *Added mass matrix* yang sudah di-*import* ke dalam Orcaflex 9.2a

Translation in			Rotation about		
x	y	z	x	y	z
2364.68	0.00034	0.0018	-0.0047	-90.1E3	-0.00062
0.00034	2343.39	0.00018	88.90E3	0.021	-0.0096
0.0018	0.00018	93.915	-0.0066	0.017	40E-6
-0.0047	88.90E3	-0.0066	16.90E6	1.010	-0.219
-90.1E3	0.021	0.017	1.010	17.10E6	0.042
-0.00062	-0.0096	40E-6	-0.219	0.042	-0.00014

Gambar 4. 37: *Damping matrix* yang sudah di-*import* ke dalam Orcaflex 9.2a

Sedangkan, untuk *wave load RAO* dapat langsung di-*input* dengan catatan analisis dalam MOSES sudah menggunakan KN sebagai satuan gayanya dan

meter sebagai satuan panjangnya. Berikut adalah contoh *wave load* RAO yang sudah di-*input* ke dalam Orcaflex 9.2a.

Frequency (rad/s)	Surge force		Heave force		Pitch moment	
	Ampl. (kN/m)	Phase (deg)	Ampl. (kN/m)	Phase (deg)	Ampl. (kN.m/m)	Phase (deg)
Infinity	0.000	0.0	0.000	0.0	0.000	0.0
2.2	444.0	57.0	0.000	0.0	60E3	57.0
2.1	584.0	67.0	0.000	0.0	78E3	67.0
2.0	362.0	-28.0	0.000	0.0	50E3	-28.0
1.8	613.0	-39.0	0.000	0.0	84E3	-39.0
1.7	788.0	-52.0	0.000	0.0	107E3	-52.0
1.7	958.0	-64.0	1.000	161.0	130E3	-64.0
1.6	1135	-74.0	0.000	0.0	154E3	-74.0
1.5	1324	-83.0	0.000	0.0	179E3	-83.0
1.4	1526	-90.0	0.000	0.0	205E3	-90.0

Gambar 4. 38: *Wave load* RAO yang sudah di-*input* ke dalam Orcaflex 9.2a

Keluaran dari analisis domain waktu menggunakan Orcaflex 9.2a sangat beragam. Untuk penelitian ini, keluaran yang dianalisis hanya rekaman gerakan struktur selama simulasi berlangsung yang berupa *response time history*. *Response time history* ini kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui harga-harga dari parameter stokastik respon SPAR untuk kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen, dan dianalisis kesesuaiannya. Berikut adalah contoh *time history heave* keluaran Orcaflex 9.2a.

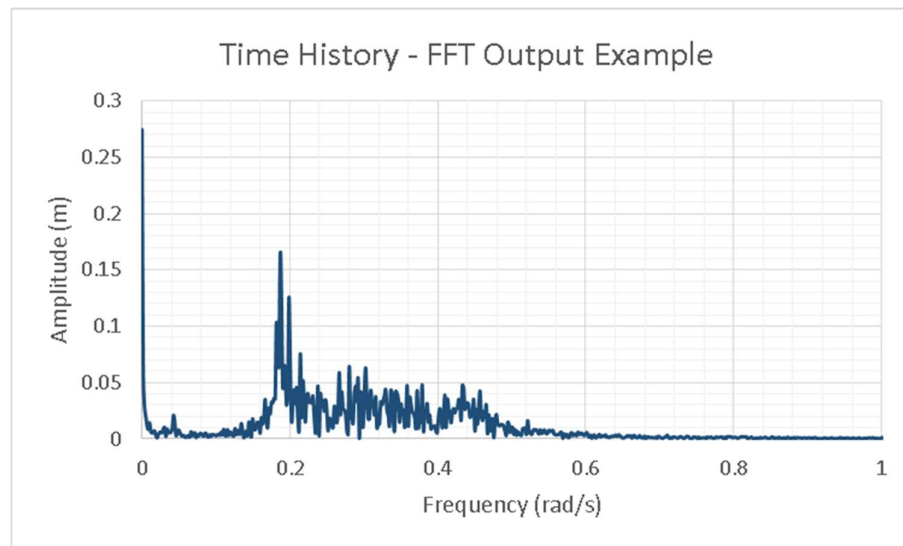
Adapun, untuk *time history response* keluaran Orcaflex 9.2a pada setiap kondisi dalam arah gerak lainnya, dapat dilihat pada **lampiran B dan C**.

4.5 Pengolahan Hasil Analisis dan Pembahasan

Time history respon struktur dalam arah gerak *surge*, *heave*, dan *pitch* yang didapatkan dari eksperimen, juga dari simulasi *time domain* menggunakan Orcaflex 9.2a, diolah menjadi spektrum respon pada tiap arah gerakan dalam skala *full scale* dengan menggunakan metode *fast fourier transform* dalam bantuan *software* MATLAB. Penulis memilih untuk menggunakan *software* MATLAB dalam mengolah hasil yang ada karena di dalamnya sudah terdapat fungsi *fast fourier*

transform (FFT). Adapun, sesuai dengan batasan penelitian yang sudah ditentukan, dalam penelitian ini *low frequency response* tidak dipertimbangkan, sehingga hanya mempertimbangkan respon akibat cakupan energi gelombang (sesuai dengan kurva spektrum energy gelombang).

Spektrum respon sendiri adalah kurva spektrum yang menunjukkan besar energi dari gerakan respon struktur yang ditimbulkan oleh energi gelombang yang mengenainya, spektrum respon juga menunjukkan karakteristik dari respon struktur ke arah gerak tertentu menggunakan berbagai perhitungan parameter stokastik. Dalam membuatnya, pertama-tama data *time history* harus dipersiapkan terlebih dahulu, lalu *time history response* ataupun gelombang dikonversi ke dalam frekuensi domain menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) seperti yang telah dijelaskan pada **sub-bab 2.2.9**. hasilnya yang berupa amplitudo gelombang atau respons setiap frekuensi, diolah menjadi besar ordinat energi spektrum menggunakan **persamaan 2.19**. Contoh *time history* hasil output FFT dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 39: Contoh *time history* hasil FFT

Setelah setiap komponen amplitudo pada setiap rekaman frekuensi dihitung besar ordinat energi spektrumnya, kemudian besar ordinat kurva energi spektrum tersebut di-plot dalam grafik kurva spektrum sebagai sumbu y dengan *Nyquist frequency* sebagai sumbu x. Kemudian, nilai-nilai stokastik dapat dihitung berdasarkan varian elevasi permukaan gelombang atau respons, yang ekuivalen dengan luasan di bawah

kurva spectra, momen ke-2 dan momen ke-4 dari luasan spektra yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Djatkiko, 2012).

$$m_n = \int_0^\infty \omega^n S_\zeta(\omega) d\omega \quad (4.8)$$

Dimana m_0 merupakan varian elevasi permukaan gelombang atau amplitude respons, m_1 , m_2 , dan m_4 merupakan momen ke-1, ke-2, dan ke-4 dari luasan di bawah kurva spektra. Dengan diketahuinya keempat parameter ini, nilai-nilai stokastik dari masing-masing respons dan gelombang dapat dicari. Sesuai dengan lingkup dan batasan penelitian yang telah disebutkan di awal, kontribusi komponen gelombang frekuensi rendah tidak dipertimbangkan, karena itu perhitungan stokastik dimulai dari frekuensi gelombang **0.26 rad/s**, yang merupakan batas frekuensi rendah pada kurva spektrum gelombang papasan.

Adapun, yang dihitung pada penelitian ini yaitu respons signifikan, respons rata-rata 1/10 respons tertinggi, respons rata-rata, respons ekstrim yang paling mungkin terjadi, dan respons ekstrim yang paling mungkin terjadi dengan tingkat keyakinan tidak terlampaui sebesar 99%. Nilai-nilai stokastik tersebut, dicari menggunakan persamaan berikut.

$$\zeta_{n_s} = 2\sqrt{m_0} \quad (4.9)$$

$$\zeta_{n_{av}} = 2.5/2 \sqrt{m_0} \quad (4.10)$$

$$\zeta_{n_{1/10}} = 5.08/2 \sqrt{m_0} \quad (4.11)$$

$$\zeta^- = \sqrt{m_0} x \sqrt{\left\{2 \ln \left(\frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right)\right\}} \quad (4.12)$$

$$\zeta_\alpha^- = \sqrt{m_0} x \sqrt{\left\{2 \ln \left(\frac{60^2 T}{2\pi\alpha} \sqrt{\frac{m_2}{m_0}} \right)\right\}} \quad (4.13)$$

Dimana,

ζ_{n_s} = Respon signifikan (m)

$\zeta_{n_{av}}$ = Respon rata-rata (m)

$\zeta_{n_{1/10}}$ = Rata-rata 1/10 respon tertinggi (m)

ζ^{\sim} = Respon ekstrim yang paling mungkin terjadi (m)

ζ_{α}^{\sim} = Respons atau tinggi gelombang ekstrim yang paling mungkin terjadi dengan tingkat keyakinan tidak terlampaui sebesar 99% (m)

T = Waktu lamanya gelombang terjadi, 3 jam (s)

α = Angka keyakinan, 0.01 untuk keyakinan tidak terlampaui 99%

Untuk mengetahui lebih detail karakteristik gelombang yang mengenai struktur, parameter stokastik gelombang uji yang digunakan dalam kedua analisis (dengan *input* seperti pada tabel 4.9) adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 15: Parameter stokastik gelombang uji

PARAMETER STOKASTIK GELOMBANG METODE EKSPERIMEN - SKALA FULL SCALE			
m0	2.55	Wave spectra	JONSWAP
m1	1.27		
m2	0.68	Gamma	3.3
m4	0.28	Significant wave height, Hs (m)	6.35
mean peak period (s)	15.18		
mean period (s)	12.67		
mean zero-upcrossing period (s)	11.81		
mean peak frequency (rad/s)	0.41		
mean frequency (rad/s)	0.50		
mean zero-upcrossing frequency (rad/s)	0.53		

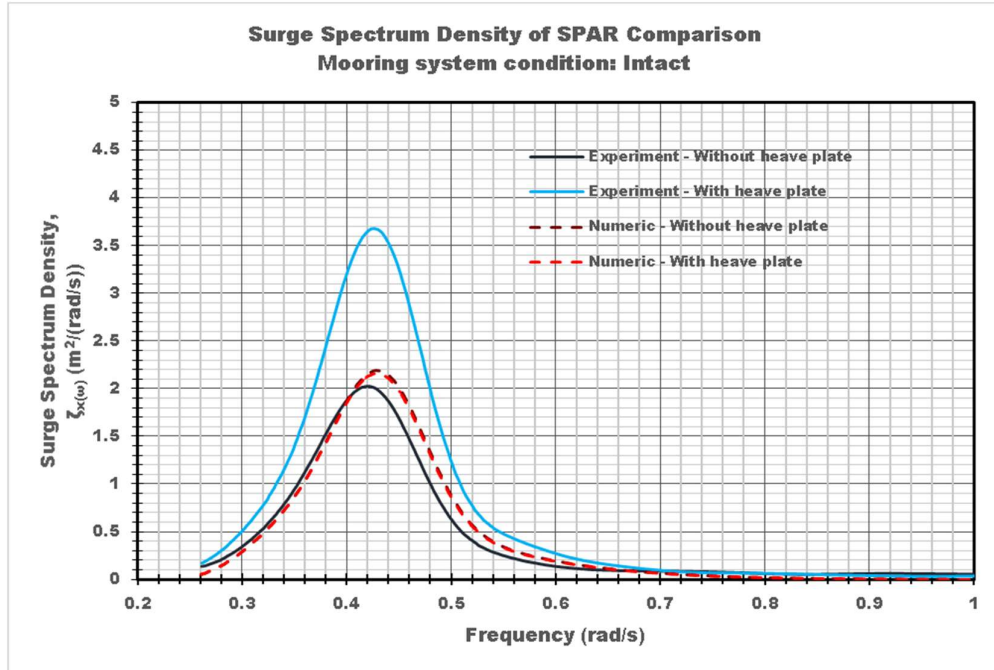
Tabel 4.15: Parameter stokastik gelombang uji (lanjutan)

PARAMETER STOKASTIK GELOMBANG METODE NUMERIS			
m0	2.52	Wave spectra	JONSWAP
m1	1.30		
m2	0.76	Gamma	3.3
m4	70.59	Significant wave height, Hs (m)	6.35
mean peak period (s)	14.57		
mean period (s)	12.16		
mean zero-upcrossing period (s)	11.33		
mean peak frequency (rad/s)	0.43		
mean frequency (rad/s)	0.52		
mean zero-upcrossing frequency (rad/s)	0.55		

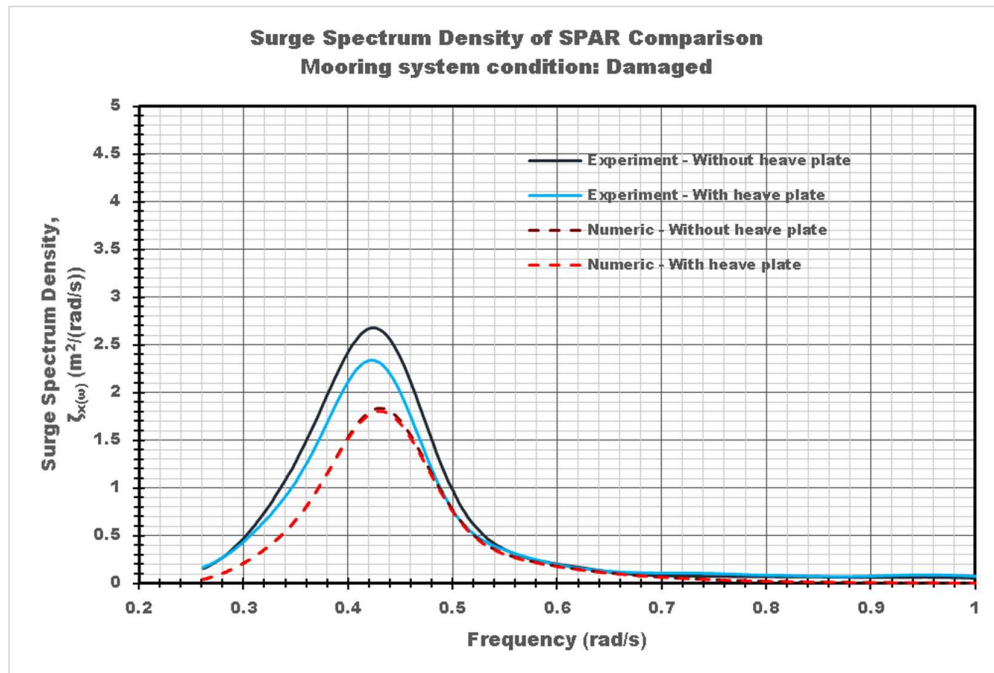
Berikut adalah hasil analisis parameter stokastik spektrum respon SPAR pada arah gerak *surge*, *heave*, dan *pitch* yang didapat dari penelitian metode eksperimen dan juga numeris.

4.5.1 Respon Gerak *Surge*

. Perubahan respon signifikan dan parameter stokastik lainnya, terjadi akibat perubahan luasan kurva spektrum yang terbentuk dari *time history*. Karena itu, perubahan kurva spektrum akibat penggunaan *heave plate* sangat berkorelasi dengan respon SPAR. Bentuk perubahan kurva spektrum akibat penggunaan *heave plate* pada setiap kondisi, dalam kedua metode analisis dapat dilihat lebih rinci pada grafik berikut.



Gambar 4. 40: Grafik perbandingan kurva spektrum *surge* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *intact*



Gambar 4. 41: Grafik perbandingan kurva spektrum *surge* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *damaged*

Kedua grafik perbandingan spektrum *surge* di atas, menunjukkan bahwa pada metode numeris, penggunaan *heave plate* tidak terlalu mempengaruhi bentuk kurva spektrum respon *surge* pada zona *mean peak frequency* (di sekitar 0.43 rad/s) gelombang, baik ketika tali tambat dalam keadaan *intact* maupun *damaged*, dimana bentuk kurva sangat berhimpit. Hal ini berimbas pada respon *surge* yang cenderung mirip.

Pada metode eksperimen, dimana konfigurasi SPAR tidak se-ideal pada metode numeris, kurva spektrum memiliki bentuk yang mirip, namun memiliki besar luasan yang sedikit berbeda. Pada kondisi sistem tambat *damaged*, penggunaan *heave plate* menunjukkan sedikit pengurangan luasan, sedangkan pada tali tambat kondisi *intact*, penggunaan *heave plate* memperbesar luasan kurva. Hal ini berimbas pada reduksi yang tidak konsisten.

Berikut ini parameter stokastik respons struktur dari penelitian eksperimen dan numeris pada arah gerak *surge* dalam setiap kondisi yang diteliti.

Tabel 4. 16: Parameter stokastik respon *surge* SPAR metode eksperimen

PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE EKSPERIMEN				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Surge Response</i>				
m0	0.67	0.76	0.84	2.80
m1	2.23	1.52	2.81	2.73
m2	17.56	10.82	22.70	20.43
m4	1897.75	1158.76	2500.73	2093.56
Significant Responses (m)	1.64	1.74	1.83	1.82
Average Responses (m)	1.02	1.09	1.15	1.14
1/10 responses (m)	2.08	2.21	2.33	2.32
the most probable extreme responses (m)	3.49	3.65	3.91	3.88
the most probable extreme responses with 0.99 confidence (m)	4.29	4.50	4.80	4.76

Tabel 4. 17: Parameter stokastik respon *surge* SPAR metode numeris

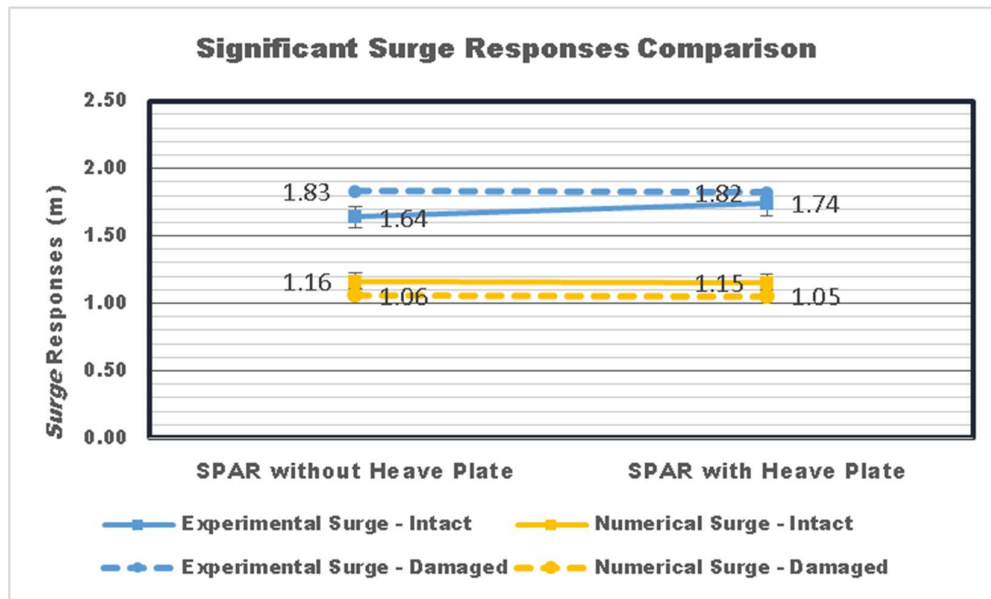
PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE NUMERIS				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Surge Response</i>				
m0	0.34	0.33	0.28	0.28
m1	0.15	0.15	0.13	0.12
m2	0.08	0.07	0.06	0.06
m4	97.94	10.48	2.02	5.04
Significant Responses (m)	1.16	1.15	1.06	1.05
Average Responses (m)	0.73	0.72	0.66	0.66
1/10 responses (m)	1.48	1.47	1.35	1.34
most probable extreme responses (m)	2.13	2.11	1.94	1.92
most probable extreme responses with 0.99 confidence (m)	2.77	2.74	2.52	2.50

Dapat dilihat pada kedua tabel di atas, bahwa semua parameter respon SPAR pada arah gerak *surge* dalam setiap kondisi secara konsisten mengalami reduksi apabila terjadi reduksi respon akibat penggunaan *heave plate*. Begitu juga sebaliknya, apabila terjadi amplifikasi respon akibat penggunaan *heave plate*, maka secara konsisten semua parameter respons *surge* SPAR mengalami kenaikan. Hal ini terjadi baik dalam metode eksperimen dan numeris.

Karena semua respon menunjukkan kenaikan dan penurunan yang konsisten, maka untuk mempermudah dalam melihat sejauh apa reduksi ataupun amplifikasi respon SPAR akibat penggunaan *heave plate*, penulis mengambil harga respon signifikan SPAR dalam setiap kondisi untuk dibandingkan. Seperti yang dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4. 18: Respon *surge* signifikan SPAR

Surge signifikan (m) – Metode eksperimen			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	1.64	1.74	-6.15%
<i>Damaged</i>	1.83	1.82	0.60%
Surge signifikan (m) – Metode numeris			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	1.16	1.15	0.84%
<i>Damaged</i>	1.06	1.05	0.86%



Gambar 4. 42: *Surge* signifikan metode eksperimen dan numeris

Tabel dan grafik di atas menunjukkan pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap respon *surge* SPAR dengan lebih detail. Respon *surge* SPAR dalam metode eksperimen secara keseluruhan lebih besar jika dibandingkan dengan respon metode numeris. Namun, pada kedua metode tidak terjadi perubahan respon *surge* yang signifikan. Sehingga, penggunaan *heave plate* **tidak secara signifikan mempengaruhi** respon *surge* pada SPAR, baik dalam sistem tambat dalam kondisi *intact* maupun *damaged*. Inkonsistensi terjadi pada analisis metode eksperimen saat sistem tambat SPAR dalam kondisi *intact*, dimana terjadi

amplifikasi respon *surge* akibat penggunaan *heave plate*. Selain itu, respon kedua metode pun menunjukkan harga yang berbeda.

Hal ini kemungkinan disebabkan oleh gerakan kopel antara *surge* dan *pitch* yang terjadi selama pengujian. Titik perekaman gerak SPAR yang diletakkan di bagian *topside*, juga kemungkinan menjadi penyebab inkonsistensi yang terjadi. Islam, dkk (2013) dalam penelitiannya mengenai perilaku gerak kopel SPAR dalam beban gelombang ekstrim, mengidentifikasi adanya perbedaan respon *surge* ketika direkam dengan titik rekam pada *deck* dan pada *center of gravity (COG)*. Hasil observasinya menunjukkan bahwa respon *surge* SPAR yang diukur dari *deck* didominasi oleh pengaruh gerakan *pitch* dan cenderung lebih besar dari respon *surge* yang direkam pada COG. Hal ini disebabkan karena gerak kopel antara respon *surge* dan *pitch* yang terekam lebih sering jika direkam dari *deck*. Dalam eksperimen pada penelitian ini, pengukuran respon gerak dilakukan pada *topside*, namun kemudian dikonversi pada *center of gravity (COG)*, sehingga kemungkinan masih dapat terjadi sedikit pergeseran respon dari kondisi riil akibat batas *error* dari pendekatan proses konversi. Dan juga ada kemungkinan hasil konversi tercampur dengan gerak *surge* akibat gerakan kopel dengan *pitch*.

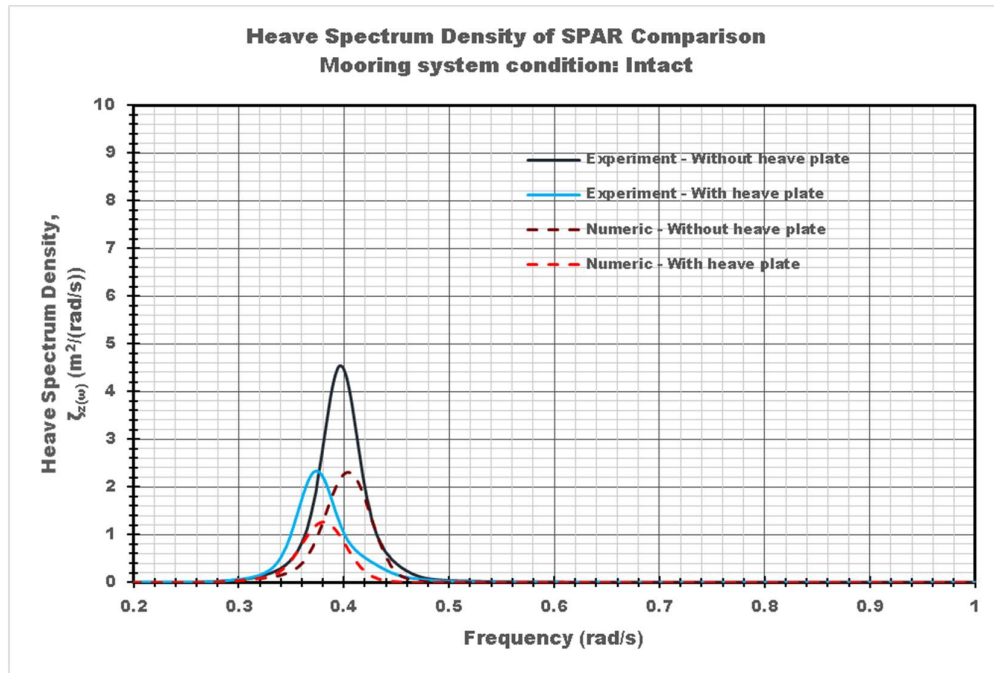
Penggunaan *heave plate* dalam eksperimen, kemungkinan juga dapat menimbulkan pergeseran frekuensi natural *surge* mendekati ke arah gelombang *low frequency* yang terjadi, sehingga responnya pun semakin membesar. Sehingga, gelombang panjang tak terlihat hasil dari pantulan kolam juga dapat menjadi salah satu penyebab fenomena ini.

Selain terjadinya inkonsistensi reduksi pada metode eksperimen, dari grafik dapat dilihat bahwa kedua metode menghasilkan respons yang cukup berbeda. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sulitnya membuat kondisi ideal dalam eksperimen, dan banyak faktor lain yang tidak bisa dimodelkan dengan baik secara numeris. Seperti salah satunya kekakuan tali tambat yang sangat sensitif terhadap jenis material yang digunakan saat eksperimen, dimana kekakuan juga menentukan frekuensi natural dan besar redaman sistem dalam arah gerak tertentu, seperti yang direpresentasikan persamaan 4.14. *Carabiner, Tumbuckle*, dan beberapa sambungan lain yang kekakuannya tidak dapat dikalibrasi juga

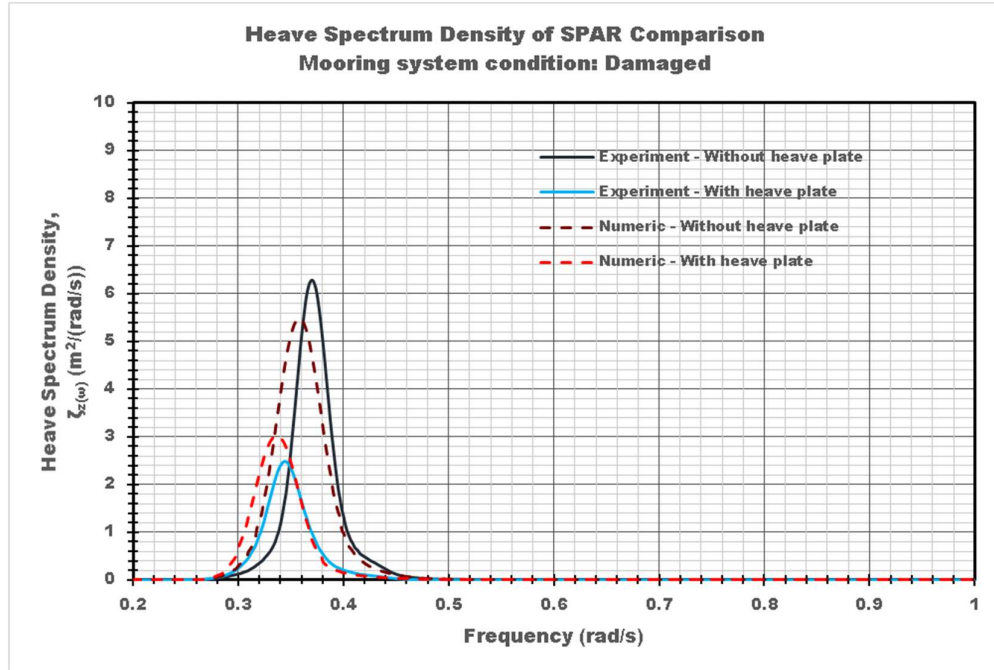
memiliki kontribusi terhadap perbedaan kekakuan sistem yang terjadi antara metode numeris dan metode eksperimen, karena komponen-komponen tersebut tidak dapat dimodelkan dalam Orcaflex 9.2a. Selain itu, *tools 6D buoy* Orcaflex 9.2a tidak memiliki kemampuan untuk menganalisis parameter non-linear seperti *wave drift* dan *quadratic damping*, dimana kedua komponen tersebut memegang peranan penting dalam mekanisme respon SPAR. *Damping* dan *added mass matrix* dari software Orcaflex 9.2a, yang dapat di-input pun jg hanya pada satu periode gelombang papasan. Sehingga kurang mampu merepresentasikan gelombang acak yang digunakan dalam simulasi sesungguhnya. Penelitian lebih lanjut mengenai kemungkinan gerak kopel dan fenomena *non-linear* yang menyebabkan terjadinya perbedaan respon SPAR perlu diteliti lebih mendalam.

4.5.2 Respon Gerak *Heave*

Bentuk perubahan kurva spektrum *heave* akibat penggunaan *heave plate* pada setiap kondisi, dalam metode eksperimen dan metode numeris dapat dilihat lebih rinci pada grafik berikut.



Gambar 4. 43: Grafik perbandingan kurva spektrum *heave* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *intact*



Gambar 4. 44: Grafik perbandingan kurva spektrum *heave* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *damaged*

Kedua grafik perbandingan spektrum *heave* di atas, menunjukkan bahwa pada kedua metode analisis, penggunaan *heave plate* sangat mempengaruhi bentuk dan luasan kurva spektrum respon *heave*. Selain berkurang luasannya, perbedaan yang unik terjadi pada puncak spektrum, dimana pada spektrum respon *heave* puncak bergeser ke sebelah kiri dari zona *mean peak frequency* (di sekitar 0.43 rad/s) gelombang, baik ketika tali tambat dalam keadaan *intact* maupun *damaged*. Fenomena ini, terjadi karena *mean peak frequency* dari gelombang, berhimpit dengan frekuensi natural struktur. Sehingga, respon *heave* akibat kedua komponen tersebut akan saling mendekat dan membuat puncak yang baru.

Berikut ini parameter stokastik respons struktur dari penelitian eksperimen dan numeris pada arah gerak *heave* dalam setiap kondisi yang diteliti.

Tabel 4. 19: Parameter stokastik respon *heave* SPAR metode eksperimen

PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE EKSPERIMEN				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Heave Response</i>				
m0	0.23	0.13	0.28	0.12
m1	0.10	0.05	0.11	0.05
m2	0.07	0.03	0.05	0.04
m4	3.21	1.01	1.17	2.22
Significant Responses (m)	0.97	0.73	1.06	0.71
Average Responses (m)	0.60	0.46	0.66	0.44
1/10 responses (m)	1.23	0.93	1.34	0.90
the most probable extreme responses (m)	1.79	1.34	1.92	1.30
the most probable extreme responses with 0.99 confidence (m)	2.31	1.74	2.50	1.69

Tabel 4. 20: Parameter stokastik respon *heave* SPAR metode numeris

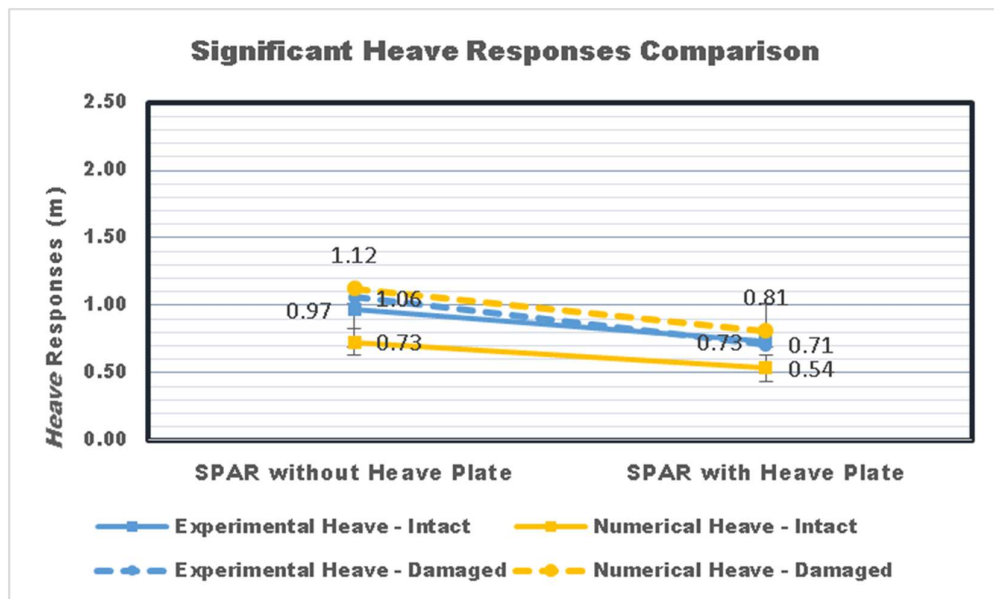
PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE NUMERIS				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Heave Response</i>				
m0	0.13	0.07	0.32	0.16
m1	0.05	0.03	0.11	0.06
m2	0.02	0.01	0.04	0.02
m4	1.81	6.57	18.90	24.38
Significant Responses (m)	0.73	0.54	1.12	0.81
Average Responses (m)	0.45	0.33	0.70	0.51
1/10 responses (m)	0.92	0.68	1.43	1.03
most probable extreme responses (m)	1.32	0.97	2.02	1.45
most probable extreme responses with 0.99 confidence (m)	1.72	1.26	2.64	1.90

Karena semua respon *heave* SPAR menunjukkan penurunan yang cukup signifikan dan konsisten, maka seperti sebelumnya, untuk mempermudah dalam melihat sejauh apa reduksi yang terjadi akibat penggunaan *heave plate*, penulis

mengambil harga respon signifikan SPAR dalam setiap kondisi untuk dibandingkan. Seperti yang dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4. 21: Respon heave signifikan SPAR

Heave signifikan (m) – Metode eksperimen			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	0.97	0.73	24.16%
<i>Damaged</i>	1.06	0.71	33.29%
Heave signifikan (m) – Metode numeris			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	0.73	0.54	26.39%
<i>Damaged</i>	1.12	0.81	27.84%



Gambar 4. 45: heave signifikan metode eksperimen dan numeris

Respon *heave* SPAR dalam metode eksperimen lebih besar dari respon metode numeris saat tali tambat dalam kondisi *intact*, dan lebih kecil dari respon metode numeris saat tali tambat dalam kondisi *damaged*. Namun, pada kedua metode **tetap terjadi reduksi** respon *heave* SPAR yang signifikan akibat penggunaan *heave plate*, baik dalam sistem tambat dalam kondisi *intact* maupun *damaged*. Selain yang telah disebutkan sebelumnya, inkonsistensi juga terjadi pada kondisi tali tambat *damaged* saat SPAR menggunakan *heave plate*, dimana

respon *heave* pada metode eksperimen lebih kecil dari saat kondisi tali tambat *intact*. Namun, pada metode numeris, yang terjadi adalah sebaliknya. Sehingga, perubahan respon *heave* saat tali tambat kondisi *intact* dan *damaged* pada metode numeris dapat dikatakan lebih konsisten dari eksperimen karena lebih ideal.

Pada tahun 2019, Ardhanutama dan Abraar, keduanya dalam penelitian tugas akhirnya meneliti pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap penambahan *viscous damping* dari SPAR. Penelitian keduanya, sangat berkaitan dan mendukung hasil penelitian tugas akhir ini. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan *heave plate* menyebabkan penambahan *viscous damping*, (baik pada komponen *linear damping* maupun *quadratic damping*) dan massa tambah yang cukup signifikan pada sistem SPAR. Sehingga, redaman komponen gerak *heave* juga semakin besar. Akibat dari bertambahnya redaman ini, maka respon *heave* akan semakin berkurang, hal ini lah yang menyebabkan terjadinya reduksi respon *heave* yang signifikan pada SPAR. Hal ini sejalan dengan dasar teori yang telah dijelaskan pada **sub-bab 2.2.3** hingga **sub-bab 2.2.4** yang membahas mengenai gaya reaksi dan bagaimana gaya reaksi mempengaruhi respon gerak bangunan apung. Hal ini, juga sejalan dengan beberapa penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti lain yang membahas mengenai penggunaan *heave plate* pada SPAR, yang sudah dijelaskan pada **sub-bab 2.1**. Philip, et al. pada tahun 2012 dalam jurnal penelitiannya menjelaskan mengenai hubungan massa tambah, kekakuan, gaya eksitasi, dan percepatan gerak respon struktur dengan besar *damping ratio* sistem, dimana *damping ratio* ini mempengaruhi *viscous damping* dengan signifikan.

$$\xi_3 = \frac{F_3(t) - (M + A_{33})\ddot{\eta}_3 - C_{33}\dot{\eta}_3}{2\eta_3\sqrt{(A_{33} + M)C_{33}}} \quad (4.14)$$

Dimana:

M = Massa Struktur (Kg)

C₃₃ = Gaya Kekakuan *Heave* (N/m)

A₃₃ = *Heave Added Mass* (Kg)

ξ_3 = *Damping ratio* (N/(m/s))

$\dot{\eta}_3$ = Percepatan respon gerak *heave* (m/s²)

Persamaan (4.14) menjelaskan bagaimana perubahan massa tambah dan kekakuan yang terjadi akibat pemasangan *heave plate* dapat mempengaruhi *damping ratio* struktur.

Tao dan Cai (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa peningkatan massa tambah, koefisien *drag*, dan *viscous damping* terjadi akibat pemisahan aliran dan perubahan perilaku pembentukan *vortex* di sekitar *keel* SPAR yang dibentuk oleh *heave plate*. Penelitiannya juga membuktikan bahwa peningkatan *drag* dan *viscous damping* merupakan faktor dominan dalam mekanisme disipasi energi gerak.

Selain menambah *viscous damping*, penggunaan *heave plate* pada SPAR juga memiliki efek komplementer yang mempengaruhi respon SPAR. Hal ini dapat diketahui dari terjadinya pergeseran puncak spektrum saat menggunakan *heave plate*. Djatmiko (2012), dalam bukunya menjelaskan bahwa frekuensi natural *heave* struktur, dipengaruhi oleh kekakuan, massa, dan massa tambah seperti yang direpresentasikan pada persamaan berikut.

$$\omega_{nz} = \sqrt{\frac{k_{33}}{m_{33} + a_{33}}} = \sqrt{\frac{\rho g A_w}{m_{33} + a_{33}}} \quad (4.15)$$

Dimana:

ω_{nz} = Frekuensi natural *heave* (rad/s)

k_{33} = Kekakuan gerakan *heave* (N/m)

a_{33} = *Heave Added Mass* (Kg)

A_w = Luas garis air (m²)

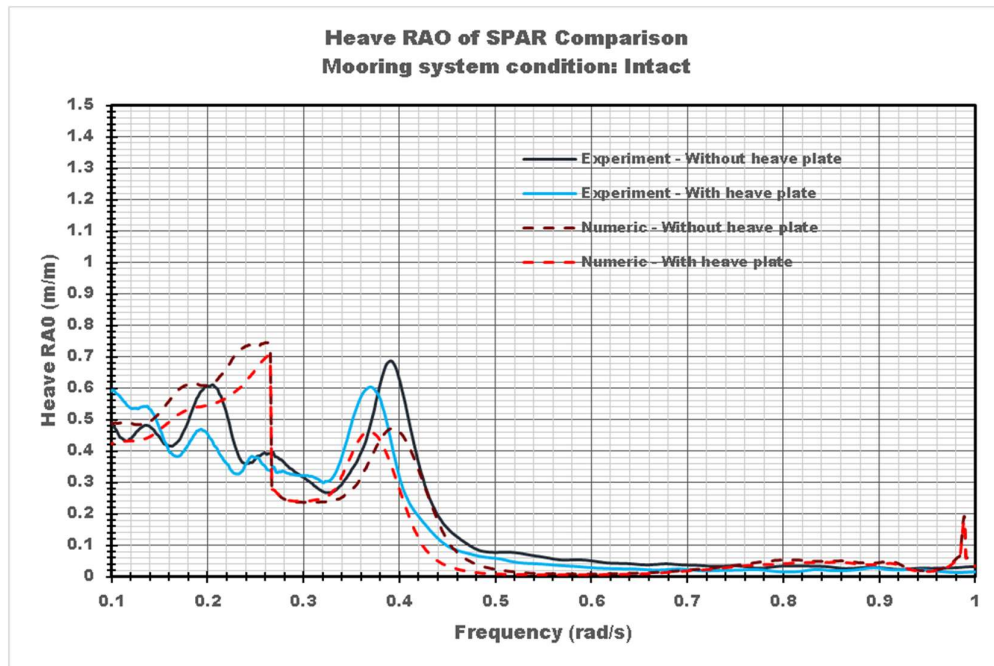
ρ = Massa jenis air laut (1.025 ton/m³)

g = Percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

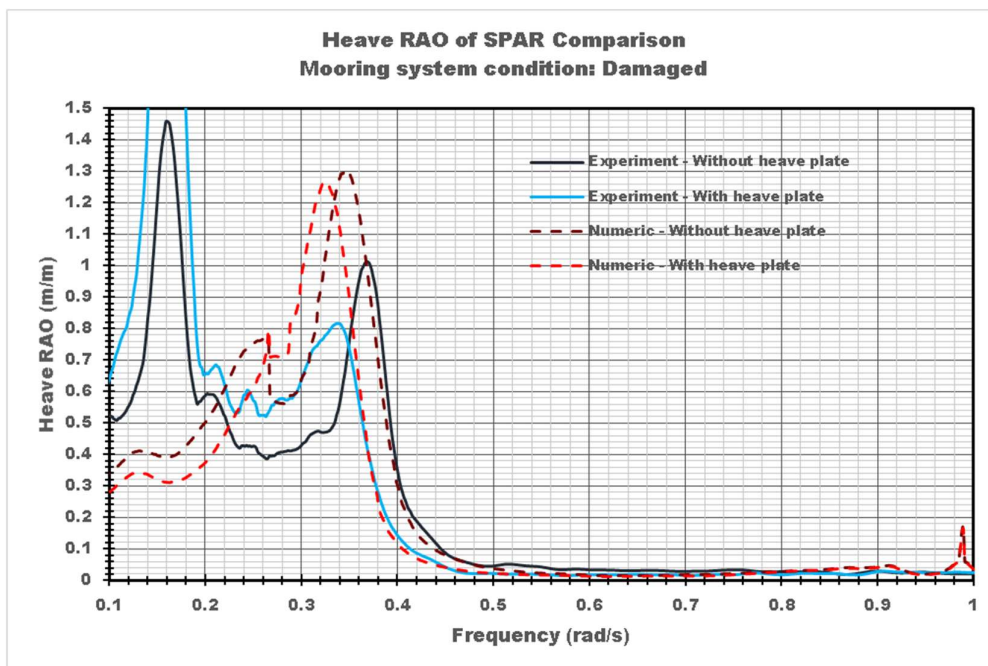
Dengan menggunakan *heave plate*, tentu massa, massa tambah gerakan *heave*, dan kekakuan SPAR pun akan bertambah. Sehingga, penggunaan *heave plate* dapat menyebabkan pergeseran frekuensi natural yang perlu

dipertimbangkan. Dimana besar pergeserannya dapat diidentifikasi dari *Response Amplitude Operator* (RAO) tertambat yang dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

Adapun, grafik RAO tertambat dari SPAR pada setiap kondisi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. 46: Grafik perbandingan kurva RAO *heave* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *intact*



Gambar 4. 47: Grafik perbandingan kurva RAO *heave* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *damaged*

Pada kedua grafik perbandingan RAO tersebut, terdapat pergeseran dan reduksi puncak RAO akibat penggunaan *heave plate*. Grafik RAO menunjukkan adanya dua puncak, dimana puncak diantara frekuensi 0.1 rad/s dan 0.3 rad/s merupakan puncak RAO *heave* akibat gerakan kopel dengan gerak *pitch*. Sedangkan puncak diantara 0.3 rad/s dan 0.4 rad/s merupakan puncak yang menunjukkan frekuensi natural gerakan *heave*. Perubahan yang terjadi pada kurva RAO sejalan dengan persamaan 4.15, karena penambahan *heave plate* mempengaruhi parameter-parameter terkait. Pergeseran periode natural *heave* juga terjadi saat SPAR dalam kondisi sistem tambat *damaged*, karena terjadi perubahan kekakuan dan massa sistem akibat hilangnya satu komponen tali tambat, yang mengakibatkan perubahan frekuensi natural, dan respon *heave* karena perubahan kekakuan dan redaman pada sistem SPAR. Pergeseran dan reduksi puncak RAO *heave* dapat dilihat lebih jelas pada tabel berikut.

Tabel 4. 22: Harga puncak dan frekuensi RAO *heave* metode eksperimen

METODE EKSPERIMEN			
Harga Puncak RAO <i>Heave</i> (m/m)			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	0.687	0.604	12.08%
<i>Damaged</i>	1.012	0.816	19.37%
Frekuensi puncak RAO <i>Heave</i> (rad/s)			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Pergeseran
<i>Intact</i>	0.391	0.371	0.020 rad/s
<i>Damaged</i>	0.365	0.341	0.024 rad/s

Tabel 4. 23: Harga puncak dan frekuensi RAO *heave* metode numeris

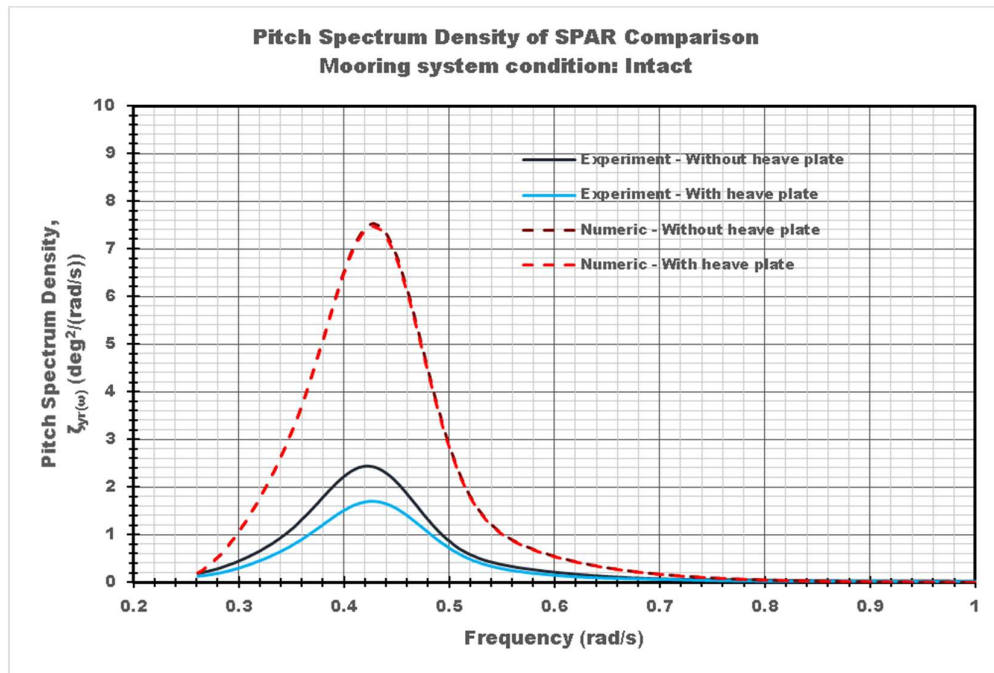
METODE NUMERIS			
Harga Puncak RAO <i>Heave</i> (m/m)			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	0.472	0.463	1.91%
<i>Damaged</i>	1.305	1.259	3.52%
Frekuensi puncak RAO <i>Heave</i> (rad/s)			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Pergeseran
<i>Intact</i>	0.393	0.369	0.024 rad/s
<i>Damaged</i>	0.348	0.322	0.026 rad/s

Semakin dekat frekuensi natural *heave* struktur dengan zona *mean peak frequency* gelombang, maka respon yang terjadi juga akan semakin besar, hal ini karena adanya resonansi antara frekuensi natural *heave* struktur dan *mean peak frequency* gelombang. Dalam penelitian ini, ketika SPAR dalam kondisi sistem tambat *damaged*, frekuensi natural *heave* justru bergeser menjauhi zona resonansi dengan gelombang, sehingga saat tali tambat putus, dalam beberapa kondisi justru mereduksi respon yang terjadi. Karena itu, efek komplementer dari penggunaan *heave plate* pada SPAR ini juga sangat penting untuk dipertimbangkan baik dalam kondisi sistem tambat *intact* dan juga *damaged*. Karena efek negatif sangat mungkin terjadi apabila penggunaan *heave plate* justru menyebabkan SPAR semakin beresonansi dengan gelombang.

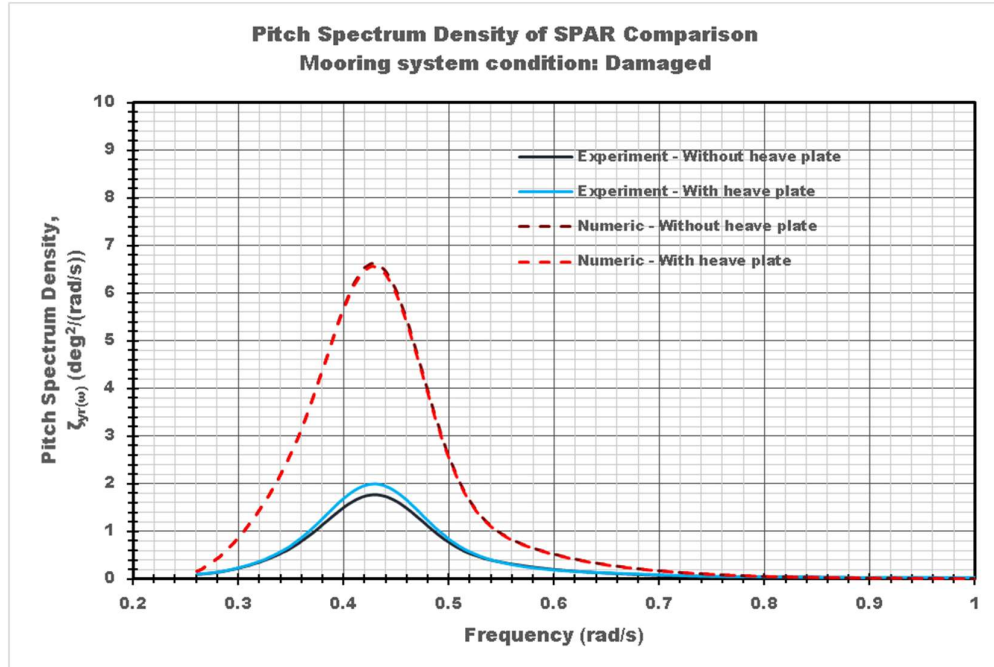
Seperti halnya pada respon gerak *surge*, perbedaan respon *heave* SPAR yang terjadi pada kedua metode kemungkinan besar juga disebabkan karena keterbatasan dalam memodelkan kekakuan tali tambat model uji dalam *software* yang merupakan kombinasi dari beberapa komponen, dan harga *damping* sistem dalam metode numeris yang berbeda dengan kondisi riil karena keterbatasan kemampuan *software*, dimana *tools 6D buoy* dalam Orcaflex 9.2a hanya mampu menghitung komponen *linear damping* dalam satu periode gelombang papasan, sehingga pengaruh *quadratic damping* tidak dipertimbangkan. Meskipun begitu, dalam arah gerak *heave*, analisis numeris dalam Orcaflex 9.2a mampu menghasilkan pendekatan yang cukup baik terhadap eksperimen.

4.5.3 Respon Gerak *Pitch*

Bentuk perubahan kurva spektrum respon *pitch* akibat penggunaan *heave plate* pada setiap kondisi, dalam kedua metode analisis dapat dilihat lebih rinci pada grafik berikut.



Gambar 4. 48: Grafik perbandingan kurva spektrum *pitch* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *intact*



Gambar 4. 49: Grafik perbandingan kurva spektrum *pitch* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *damaged*

Kedua grafik perbandingan spektrum *pitch* di atas, menunjukkan bahwa pada metode numeris, penggunaan *heave plate* tidak terlalu mempengaruhi bentuk kurva spektrum respon *surge* pada zona *mean peak frequency* (di sekitar 0.43 rad/s) gelombang, baik ketika tali tambat dalam keadaan *intact* maupun *damaged*, dimana bentuk kurva sangat berhimpit.

Pada metode eksperimen, dimana konfigurasi SPAR tidak se-ideal pada metode numeris, kurva spektrum memiliki bentuk yang mirip, namun memiliki besar luasan yang berbeda cukup jauh. Pada kondisi sistem tambat *intact*, penggunaan *heave plate* menunjukkan pengurangan luasan yang cukup besar, sedangkan pada tali tambat kondisi *damaged*, penggunaan *heave plate* justru memperbesar luasan kurva.

Berikut ini parameter stokastik respons struktur dari penelitian eksperimen dan numeris pada arah gerak *pitch* dalam setiap kondisi yang diteliti.

Tabel 4. 24: Parameter stokastik respon *pitch* SPAR metode eksperimen

PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE EKSPERIMEN				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Pitch Response</i>				
m0	0.53	0.36	0.45	0.49
m1	1.00	0.63	1.16	1.15
m2	6.96	4.25	8.99	8.06
m4	746.09	454.66	987.58	822.97
Significant Responses (deg)	1.46	1.20	1.34	1.40
Average Responses (deg)	0.91	0.75	0.84	0.88
1/10 responses (deg)	1.86	1.53	1.70	1.78
most probable extreme responses (deg)	3.05	2.51	2.84	2.95
most probable extreme responses with 0.99 confidence (deg)	3.77	3.10	3.49	3.64

Tabel 4. 25: Parameter stokastik respon *pitch* SPAR metode numeris

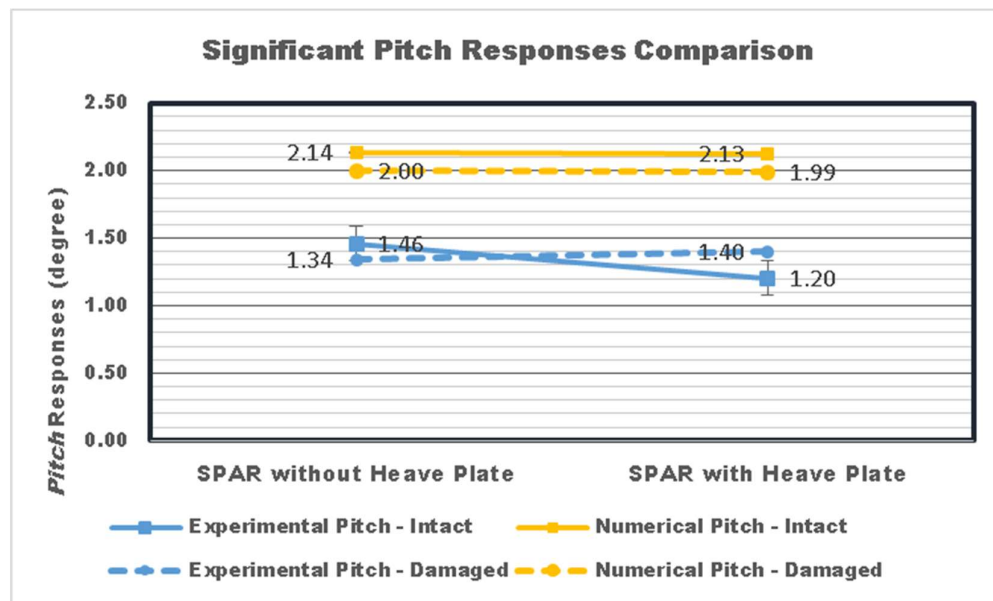
PARAMETER STOKASTIK RESPON SPAR METODE NUMERIS				
PARAMETER STOKASTIK	INTACT		DAMAGED	
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate
<i>Pitch Response</i>				
m0	1.14	1.13	1.00	0.99
m1	0.50	0.49	0.44	0.44
m2	0.23	0.23	0.20	0.20
m4	47.90	28.14	37.92	47.82
Significant Responses (deg)	2.14	2.13	2.00	1.99
Average Responses (deg)	1.34	1.33	1.25	1.24
1/10 responses (deg)	2.71	2.70	2.54	2.53
most probable extreme responses (deg)	3.90	3.88	3.65	3.63
most probable extreme responses with 0.99 confidence (deg)	5.07	5.04	4.74	4.72

Seperti halnya respon SPAR dalam arah gerak *surge*, dan *heave*, untuk mempermudah dalam melihat sejauh apa reduksi ataupun amplifikasi respon *pitch*

SPAR akibat penggunaan *heave plate*, penulis mengambil harga respon signifikan SPAR dalam setiap kondisi untuk dibandingkan. Seperti yang dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4. 26: *Pitch* signifikan SPAR

<i>Pitch</i> signifikan (m) – Metode eksperimen			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	1.46	1.20	17.65%
<i>Damaged</i>	1.34	1.40	-4.56%
<i>Pitch</i> signifikan (m) – Metode numeris			
Kondisi	Tanpa <i>heave plate</i>	Dengan <i>heave plate</i>	Reduksi
<i>Intact</i>	2.14	2.13	0.44%
<i>Damaged</i>	2.00	1.99	0.44%



Gambar 4. 50: *Pitch* signifikan metode eksperimen dan numeris

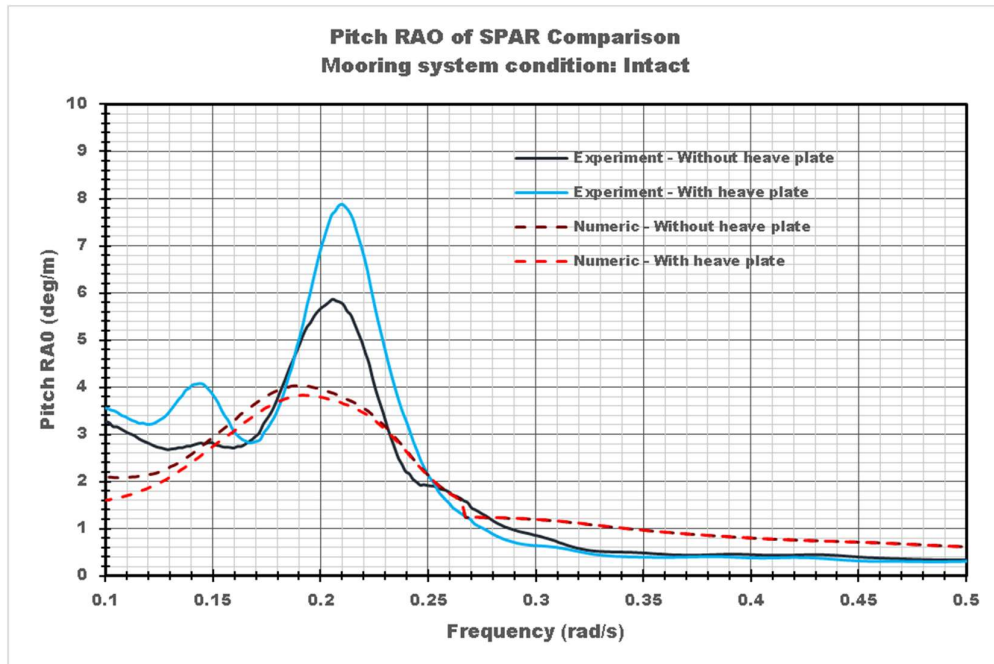
Tabel dan grafik di atas menunjukkan pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap respon *pitch* SPAR dengan lebih detail. Seperti halnya pada respon *surge* SPAR, pada metode numeris terjadi reduksi konsisten yang sangat kecil akibat penggunaan *heave plate*. Namun, pada metode eksperimen terjadi perubahan respon yang inkonsisten akibat penggunaan *heave plate*, dimana pada saat sistem tambat dalam kondisi *intact* terjadi reduksi, dan saat sistem tambat dalam keadaan

damaged terjadi amplifikasi. Inkonsistensi lain juga terjadi pada respon *pitch* SPAR saat kondisi tali tambat *damaged* dari kedua metode. Pada metode numeris saat kondisi tali tambat *damaged* respon *pitch* yang terjadi secara keseluruhan lebih kecil dari ketika tali tambat dalam kondisi *intact*, sedangkan pada metode eksperimen yang terjadi adalah sebaliknya.

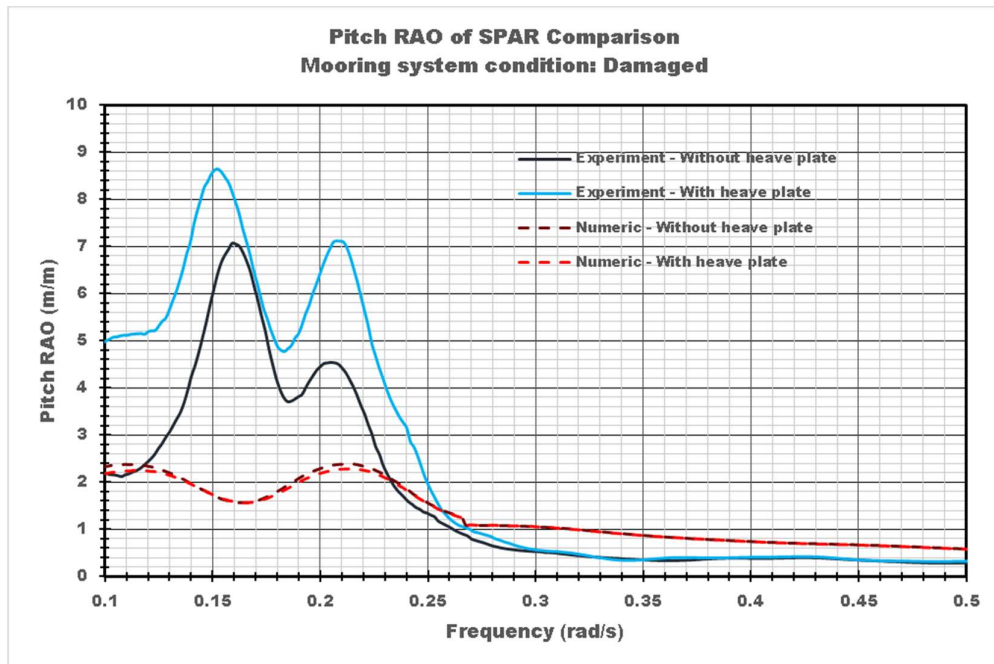
Fenomena ini kemungkinan disebabkan karena SPAR mengalami fenomena *Matthieu instability* atau juga sering juga disebut sebagai *parametric instability*, yang merupakan akibat dari gerakan kopel antara respon *heave* dan *pitch*. Mao dan Yang (2016) meneliti fenomena ini pada *deep draft semi-submersible* dalam frekuensi domain dan time domain. Penelitiannya berhasil membuktikan bahwa ketika rasio periode natural *heave* dan periode natural *pitch* mendekati atau memenuhi 1:2, maka fenomena ini sangat mungkin terjadi. Penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *damping* dapat memperkecil zona instabilitas dalam fenomena ini, sehingga penambahan *heave plate* dapat membantu meredam fenomena ini. Selain itu, dalam metode time domain, koefisien-koefisien hidrodinamis seperti tinggi gelombang signifikan (H_s) dan *mean peak period* (T_p) sangat mempengaruhi besar zona instabilitas yang terjadi. Karena itu, dalam menguji ketidakstabilan yang diakibatkan oleh fenomena ini perlu dilakukan analisis dalam *frequency domain* dan *time domain*.

Li, et al. (2011) menguji fenomena ini secara komprehensif pada *deep draft multi-SPAR (DDMS) platform* dan mendapatkan kesimpulan yang sejalan dengan penelitian Mao dan Yang (2016). Penelitiannya juga membuktikan bahwa dalam zona resonansi *heave*, ketika SPAR memenuhi syarat rasio frekuensi natural *heave* dan *pitch* 1:2, peluang terjadinya fenomena ini meningkat dengan signifikan. Selain itu, penelitiannya juga menunjukkan beberapa jenis instabilitas yang dapat terjadi akibat adanya fenomena ini.

Ketika tertambat, model SPAR yang digunakan dalam penelitian ini terindikasi memenuhi syarat rasio instabilitas seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.46 dan 4.47. Adapun, rasio frekuensi natural *heave* dan *pitch* dapat dilihat lebih detail dalam tabel dan gambar berikut.



Gambar 4. 51: Grafik perbandingan kurva RAO *pitch* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *intact*



Gambar 4. 52: Grafik perbandingan kurva RAO *pitch* SPAR metode eksperimen dan numeris - kondisi tali tambat *damaged*

Tabel 4. 27: Rasio frekuensi natural *heave* dan *pitch* SPAR metode eksperimen

METODE EKSPERIMEN			
Kondisi sistem tambat <i>intact</i>			
Kondisi	Frekuensi natural <i>heave</i> (rad/s)	Frekuensi natural <i>pitch</i> (rad/s)	Rasio
Tanpa <i>heave plate</i>	0.391	0.205	1.902
Dengan <i>heave plate</i>	0.371	0.210	1.766
Kondisi sistem tambat <i>damaged</i>			
Kondisi	Frekuensi natural <i>heave</i> (rad/s)	Frekuensi natural <i>pitch</i> (rad/s)	Rasio
Tanpa <i>heave plate</i>	0.365	0.162	2.253
Dengan <i>heave plate</i>	0.341	0.151	2.265

Tabel 4. 28: Rasio frekuensi natural *heave* dan *pitch* SPAR metode numeris

METODE NUMERIS			
Kondisi sistem tambat <i>intact</i>			
Kondisi	Frekuensi natural <i>heave</i> (rad/s)	Frekuensi natural <i>pitch</i> (rad/s)	Rasio
Tanpa <i>heave plate</i>	0.393	0.191	2.049
Dengan <i>heave plate</i>	0.369	0.191	1.925
Kondisi sistem tambat <i>damaged</i>			
Kondisi	Frekuensi natural <i>heave</i> (rad/s)	Frekuensi natural <i>pitch</i> (rad/s)	Rasio
Tanpa <i>heave plate</i>	0.348	0.109	3.176
Dengan <i>heave plate</i>	0.322	0.116	2.776

Dapat dilihat pada tabel di atas, bahwa hampir pada semua kondisi, rasio frekuensi natural *heave* dan *pitch* dari SPAR memenuhi syarat terjadinya *Matthieu instability*. Dampak fenomena ini pada model SPAR yang digunakan juga kemungkinan menjadi semakin signifikan akibat karakteristik gelombang uji yang digunakan, dimana terjadi resonansi pada gerak *heave* SPAR sehingga peluang terjadinya pun semakin meningkat, seperti yang telah diteliti oleh peneliti sebelumnya. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi sejauh

mana kontribusi fenomena ini terhadap gerakan *pitching* model SPAR yang digunakan. Fenomena ini pun juga kemungkinan menjadi salah satu penyebab inkonsistensi pada respon gerak *surge* akibat gerak kopel antara *pitch* dan *surge* SPAR.

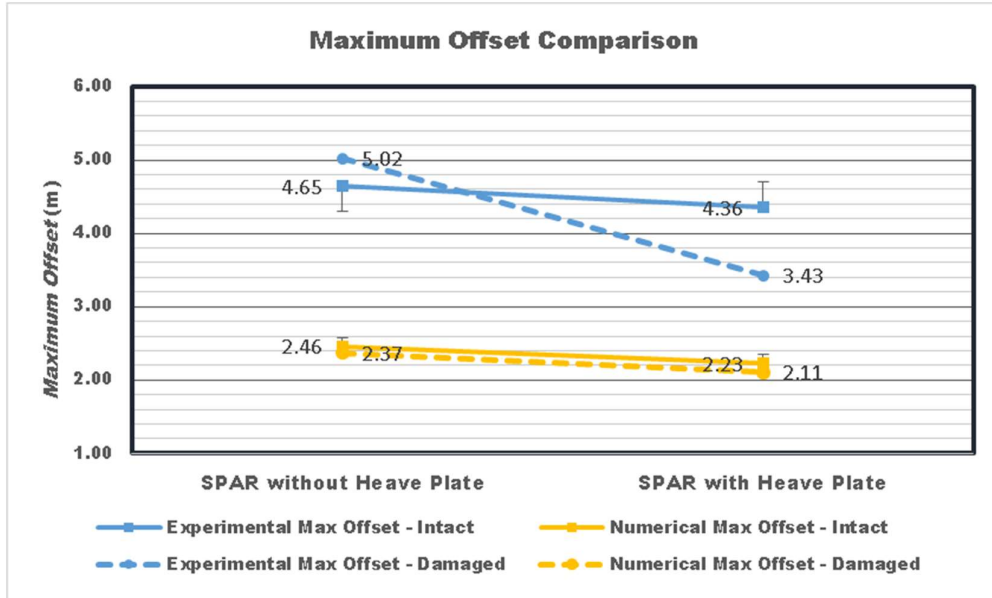
Perbedaan respon yang cukup signifikan juga terjadi pada kedua metode. Sama halnya dengan arah gerak yang lain, kemungkinan besar hal ini disebabkan karena perbedaan kekakuan dan *damping* dari sistem SPAR. Dimana, pengaruh perbedaan kekakuan model eksperimen dan model numeris dalam gerak *pitch*, dapat menyebabkan fenomena *matthieu instability* lebih sering terjadi, atau mungkin sebaliknya. Penelitian lebih mendalam perlu dilakukan untuk mengidentifikasi zona instabilitas SPAR dalam setiap kondisi akibat perbedaan kekakuan, dan bagaimana pengaruhnya.

4.5.4 *Offset* Maksimum SPAR

Offset SPAR diolah dengan cara mengplot gerakan SPAR dalam arah sumbu x dan y yang didapat dari simulasi *time domain* ke dalam satu grafik, baik dalam metode eksperimen dan numeris. Lalu titik dengan jarak terjauh dibandingkan, dan dilihat sejauh mana pengaruh penggunaan *heave plate* terhadap jarak *offset*. Berikut ini adalah *offset* maksimum SPAR metode numeris dengan dan tanpa *heave plate* pada setiap kondisi.

Tabel 4. 29: *Offset* maksimum SPAR

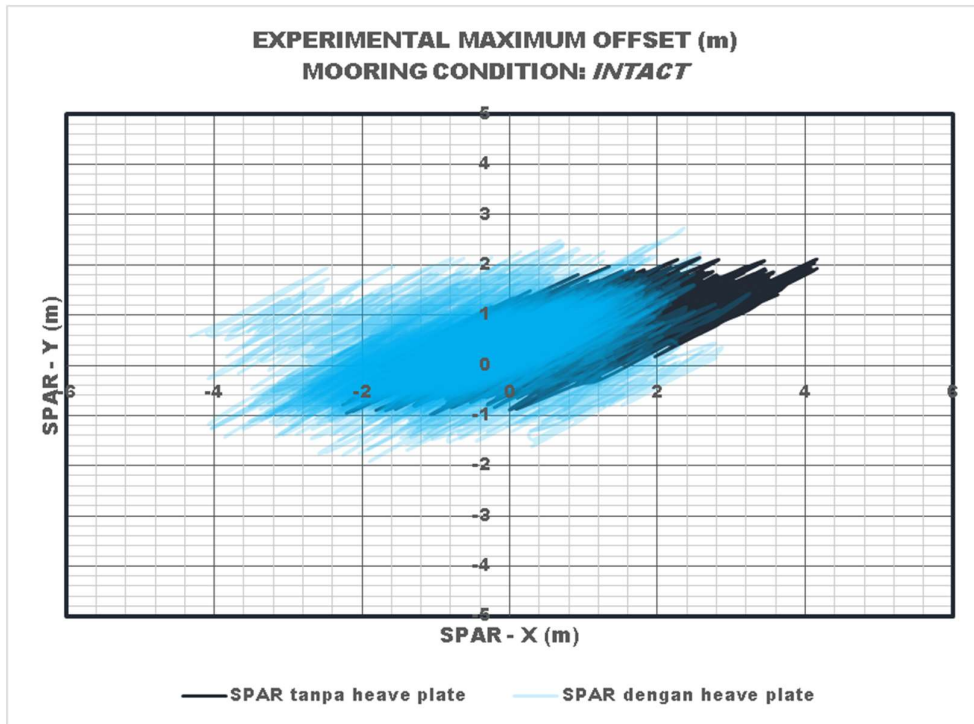
OFFSET MAKSIMUM SPAR (m)						
METODE ANALISIS	KONDISI ANALISIS					
	INTACT			DAMAGED		
	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Reduksi	Tanpa Heave Plate	Dengan Heave Plate	Reduksi
Metode Eksperimen	4.65	4.36	6.22%	5.02	3.43	31.69%
Metode Numeris	2.46	2.23	9.61%	2.37	2.11	11.22%



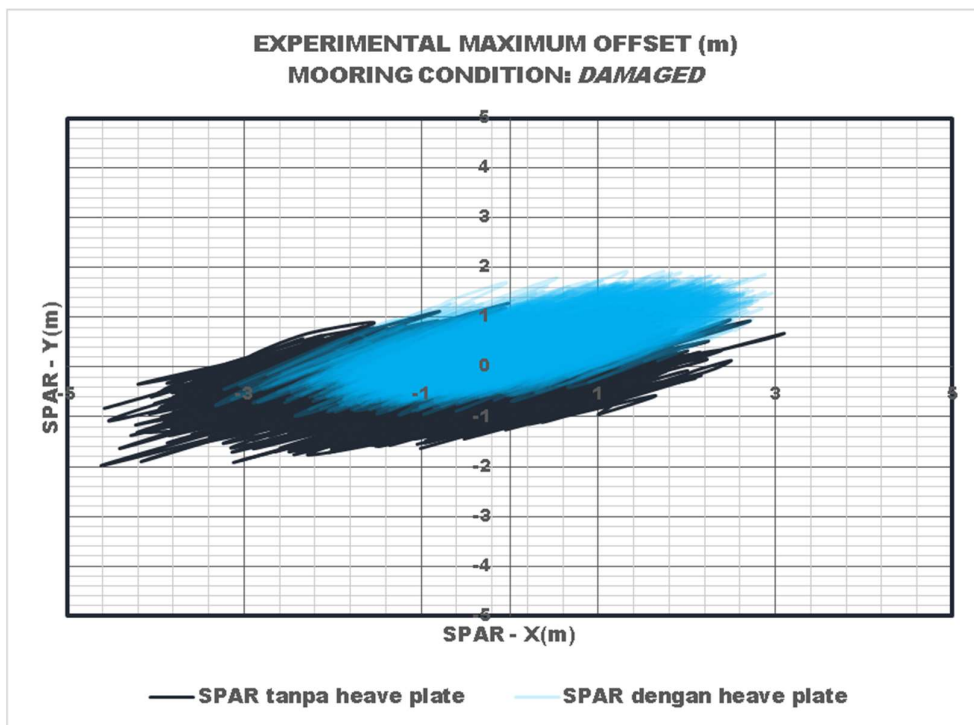
Gambar 4. 53: *Offset* maksimum SPAR metode eksperimen dan numeris

Kedua metode penelitian, menunjukkan besar *offset* maksimum SPAR yang berbeda, dimana pada metode eksperimen secara keseluruhan *offset* SPAR yang terjadi lebih besar dari metode numeris. Penggunaan *heave plate* pada SPAR juga secara konsisten menghasilkan reduksi pada *offset* maksimum, dengan besar reduksi yang bervariasi.

Adapun pergerakan *offset* SPAR selama simulasi berlangsung dapat dilihat pada grafik-grafik berikut.



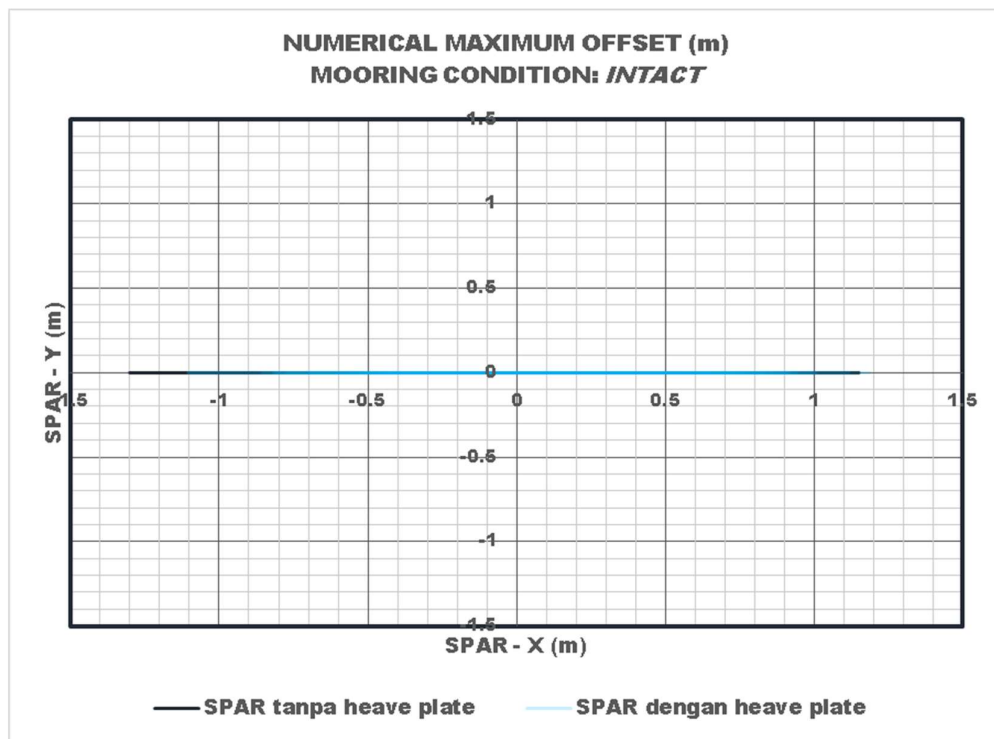
Gambar 4. 54: Grafik *offset* maksimum SPAR metode eksperimen - Kondisi sistem tambat *intact*



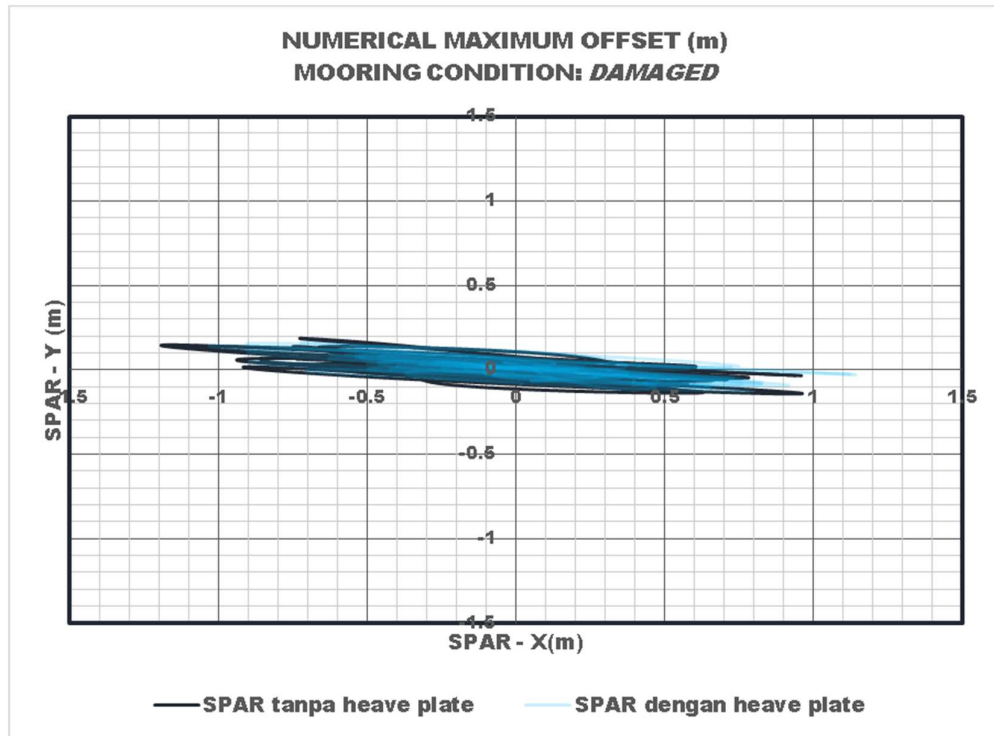
Gambar 4. 55: Grafik *offset* maksimum SPAR metode eksperimen - Kondisi sistem tambat *damaged*

Pada penelitian metode eksperimen, pergerakan SPAR selama *time domain analysis* baik pada saat sistem tambat dalam keadaan *intact* maupun *damaged*, didominasi oleh arah gerak *surge*. Namun, meskipun gelombang datang dari arah 180° dan berada pada posisi *between lines*, yang idealnya tidak ada gaya yang bekerja pada arah gerak *sway*, pergerakan yang terjadi cenderung miring karena ada pengaruh arah gerak *sway* yang cukup besar. Hal ini kemungkinan terjadi karena posisi *anchor* yang kurang simetris pada salah satu sisi, sehingga kemampuan sistem tambat dalam menahan gerak *sway* negatif dan positif berbeda.

Pergerakan *offset* SPAR menjadi berbeda ketika menggunakan *heave plate*, baik pada saat tali tambat dalam kondisi *intact* maupun *damaged*. Setelah penggunaan *heave plate*, pergerakan SPAR menjadi lebih merata ke titik setimbang SPAR, sehingga titik terjauh *offset* pun berkurang. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa pada penelitian metode eksperimen, penggunaan *heave plate* dapat secara tidak langsung mereduksi *offset* maksimum SPAR.



Gambar 4. 56: Grafik *offset* maksimum SPAR metode numeris - Kondisi sistem tambat *intact*



Gambar 4. 57: Grafik *offset* maksimum SPAR metode numeris - Kondisi sistem tambat *damaged*

Pada penelitian metode numeris, saat tali tambat dalam kondisi *intact* dapat dilihat pada grafik bahwa pergerakan dari SPAR hanya didominasi oleh pergerakan ke arah *surge*, arah gerakan *sway* yang terjadi sangatlah kecil, sehingga dapat dianggap tidak ada. Hal ini disebabkan karena beban gelombang yang hanya datang dari arah 180° , dan konfigurasi sistem tambat yang ideal dalam kondisi *intact* dapat menghambat pergerakan SPAR ke arah *sway*. Sedangkan saat sistem tambat dalam keadaan *damaged*, pergerakan *offset* ke arah *sway* mulai sedikit mendominasi karena terdapat satu tali tambat yang putus, sehingga sistem tambat tidak mampu lagi menahan *offset* SPAR ke arah *sway* secara optimal. Namun, dominasi lebih besar tetap ada pada arah gerak ke arah *surge* karena beban gelombang yang datang dari arah 180° .

Seperti halnya dengan metode eksperimen, penggunaan *heave plate* juga menyebabkan pergerakan *offset* SPAR yang lebih merata selama simulasi berlangsung. Yang secara tidak langsung, mereduksi *offset* maksimum yang terjadi pada SPAR.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari semua analisis dan pembahasan yang dilakukan di BAB IV, terutama yang berkaitan dengan rumusan masalah dari penelitian tugas akhir ini yaitu:

1. Studi eksperimen dan numeris menunjukkan bahwa penggunaan *heave plate* tidak memberikan pengaruh yang terlalu besar terhadap respon *surge*. Hal ini dapat dilihat pada reduksi paling besar adalah 0.86%, yang terjadi pada analisis metode numeris saat sistem tambat SPAR dalam keadaan *damaged*. Bahkan terjadi amplifikasi sebesar 6.15% pada metode eksperimen saat sistem tambat dalam kondisi *intact*, yang kemungkinan disebabkan karena gerak kopel dengan respon *pitch*. Karena itu penggunaan *heave plate* pada *keel* SPAR tidak bisa dikatakan konsisten memberikan pengaruh positif. Respon *heave* menunjukkan reduksi yang konsisten dan cukup signifikan akibat penggunaan *heave plate*, reduksi terbesar terjadi pada metode eksperimen saat sistem tambat dalam keadaan *damaged*, yaitu sebesar 33.29%. Respon *pitch* menunjukkan perubahan yang bervariasi dan cenderung tidak konsisten pada analisis metode eksperimen, hal ini kemungkinan disebabkan karena SPAR memenuhi syarat terjadinya fenomena *Matthieu instability* pada kondisi tertentu. Reduksi terbesar terjadi pada metode eksperimen saat sistem tambat dalam keadaan *intact*, yaitu sebesar 17.65%. Namun, terjadi amplifikasi sebesar 4.56% pada metode eksperimen saat sistem tambat dalam keadaan *damaged*. Adapun pada metode numeris, respon *pitch* menunjukkan reduksi kecil yang konsisten yaitu sebesar 0.44% pada setiap kondisi. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa pada respon *pitch*, penggunaan *heave plate* tidak selalu memberikan reduksi.
2. Studi eksperimen dan numeris menunjukkan bahwa penggunaan *heave plate* pada bagian *keel* SPAR secara konsisten mereduksi *offset* SPAR. Reduksi terbesar terjadi pada metode eksperimen, saat sistem tambat dalam keadaan *damaged*, yaitu sebesar 31.69%.
3. Pada respon *surge*, pengaruh penggunaan *heave plate* dalam kedua metode terjadi inkonsistensi pada sistem tambat kondisi *intact*, dimana pada metode eksperimen menunjukkan amplifikasi, sedangkan pada metode numeris menunjukkan sedikit

reduksi. Pada respon *heave*, kedua metode penelitian menunjukkan reduksi yang konsisten dan signifikan. Sedangkan pada respon *pitch*, inkonsistensi pengaruh penggunaan *heave plate* terjadi pada kondisi sistem tambat *damaged*, dimana *pitch* metode eksperimen mengalami amplifikasi, dan pada metode numeris mengalami sedikit reduksi. Perbedaan respon yang cukup besar antara kedua metode analisis, kemungkinan besar disebabkan karena sulitnya memodelkan kekakuan tali tambat model eksperimen SPAR, yang terdiri dari beberapa komponen, secara rinci dalam Orcflex 9.2a. Keterbatasan *tools 6D buoy* dalam Orcflex 9.2a yang masih belum mampu menganalisis efek non-linear seperti *wave drift*, *quadratic damping*, dan perbedaan *linear damping* yang terjadi akibat berbagai frekuensi gelombang papasan, juga kemungkinan menjadi penyebab terjadinya perbedaan respon dalam setiap arah gerak antara kedua metode. Hal ini disebabkan karena besar *damping* sistem yang berbeda antara kedua metode.

5.2 Saran

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menemui cukup banyak kekurangan dan kesulitan. Oleh karena itu, bagi yang akan mengambil penelitian dengan tema yang serupa, penulis menyarankan untuk:

1. Pembuatan model tali tambat sangat sensitif, terlebih saat skala yang digunakan sangat besar. Karena itu penulis menyarankan untuk menggunakan material yang sama dan parameternya dikalibrasi dan diskalakan dengan sangat teliti.
2. Uji eksperimen disertai uji tegangan tali tambat menggunakan *load cell*.
3. Uji coba eksperimen dengan variasi kondisi SPAR *free floating* dan tertambat.
4. Dilakukan pemodelan numerik aliran fluida di sekitar *heave plate* dengan ANSYS CFD.
5. Variasi SPAR dengan *double heave plates*.
6. Dilakukan uji eksperimen aliran fluida di sekitar SPAR menggunakan pewarna.
7. Dalam eksperimen untuk respon struktur pada gelombang acak, akan lebih baik jika disertai analisis RAO menggunakan frekuensi domain secara eksperimen.
8. Dilakukan analisis khusus terkait fenomena *parametric instability*, atau *Matthieu instability* yang mungkin terjadi pada model uji dalam setiap kondisi.
9. Meneliti lebih dalam *damping ratio* yang terjadi pada setiap respon gerak agar dapat dibandingkan lebih lanjut dalam penelitian numeris.

DAFTAR PUSTAKA

- API. 2001. *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units. API Recommended Practice 2 P (API-RP2P)*. Washington: American Petroleum Institute.
- API RP 16Q. 1993. *Design Selection, Operation and Maintenance of Marine Drilling Riser Systems*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- API RP 2P. 2001. *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring System for Floating Drilling Unit*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- API RP 2SK. 2005. *Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- Borg M., Maurizio C., and Feargal P. B. 2013. *Use of a Wave Energy Converter as a Motion Suppression Device for Floating Wind Turbines*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.
- Bth.bppt. *Maneuvering and Ocean Engineering Basin*. Diakses pada 12 Desember 2018, dari <http://bth.bppt.go.id/fasilitas/maneuvering-and-ocean-engineering-basin>
- Chakrabarti, Subrata K. 1994. *Hydrodynamics of Offshore Structure*. Dorchester: Computational Mechanics Publications.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Oxford: Elsevier.
- Chitrapu, A.S., Saha, S., Salpekar, V.Y. 1998. *Time domain simulation of spar platform response in random waves and current*. In: 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, (OMAE98-0380), pp. 1-8.
- Chitrapu, A.S., Saha, S., Salpekar, V.Y., 1999. *Motion response of spar platform in directional waves and current*. In: 18th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, (OMAE99/OFT-4237).
- Deep Oil Technology Inc. 1995. *Spar Model Test Joint Industry Project*. California: Deep Oil Technology Inc.
- Djarmiko, Eko Budi. 1992. *Hydro-structural studies on swath type vessel*. Glasgow: Glasgow Theses Service.

- . 2012. *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. Surabaya: ITS Press.
- DNV OS E301. 2008. *Position Mooring*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- Arianti, E. 2013. *Analisa Pengaruh Surface Buoy, Submerged Buoy, dan Tethered Submerged Buoy Terhadap Kinerja Sistem Tambat Semi-Submersible "Essar Wildcat"*. Surabaya: Tugas Akhir Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Faltinsen, O. M. 1990. *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge: University of Cambridge.
- Fischer, F.J., Gopalkrishnan, R., 1998. *Some observations on the heave behaviour of spar platforms*. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 120, pp. 221—225.
- Glanville, R., Paulling, J., Halkyard, J., Lehtinen, T., 1991. *Analysis of the SPAR Floating Drilling Production and Storage Structure*. In: *Proceedings of the Offshore Technology Conference*, 6–9 May, Houston, Texas. Offshore Technology Conference.
- Haslum, H. A. and Faltinsen, O. M., 1999. *Alternative Shape of Spar Platforms for Use in Hostile Areas*. Offshore Technology Conference, OTC 10953, Houston, Texas.
- Herdayanditya, I. 2017. *Studi Analitis, Numeris, dan Eksperimen Olah Gerak dan Dinamika Tegangan Tali Tambat SPAR dengan Variasi Heading Gelombang*. Surabaya: Tugas Akhir Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS.
- Horton, E., Halkyard, J., 1992. *A SPAR Platform for Developing Deep Water Oil Fields*. MTS 998–1005.
- Islam, A. B. M. S.; Jameel, M.; Ahmad, S.; Jumaat, M. Z.; Kurian, V. J. 2013. *Structural behaviour of fully coupled spar–mooring system under extreme wave loading*, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(Supplement 1): S69–S77. <http://dx.doi.org/10.3846/13923730.2013.801899>
- Jain, A. K., and Agarwal A. K., 2003. *Dynamic Analysis of Offshore SPAR Platforms*. *Defence Science Journal*, Vol. 53, No. 2, 211-219. Indian Institute of Technology Delhi, New Delhi – 110 016.
- Jonkman, J. M. and Matha, D. (2011), "Dynamics of Offshore Floating Wind Turbines-analysis of Three Concepts", *Wind Energy*, vol. 14, no. 4, pp. 557-569.
- Journee, J. M. J. & Massie, W. W., 2001. *Offshore Hydromechanics*. 1st ed. Delft: Delft University of Technology.

- Li, B. B., Ou, J-P., and Teng B. 2011. *Numerical Investigation of Damping Effects on Coupled Heave and Pitch Motion of an Innovative Deep Draft Multi-SPAR*, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19, No. 2, pp. 231 – 244.
- Mao, H., and Yang H. 2016. *Parametric Pitch Instability Investigation of Deep Draft Semu-submersible Platform in Irregular Waves*, International Journal of Naval Architecture and Ocean engineering 8 (2016) 13 – 21.
- Marin. SPAR. Diakses pada 18 April 2018, dari <http://www.marin.nl/web/Ships-Structures/Offshore-structures/SPAR.htm>
- Marine Insight. 2016. *Different Types of Offshore Oil and Gas Production Structures*. Diakses pada 12 Desember 2018, dari <https://www.marineinsight.com/offshore/different-types-of-offshore-oil-and-gas-production-structures/>
- Marine Talk. 2002. *Truss Spar Projects*. Diakses pada 9 Maret 2018, dari <http://www.marinetalk.com/articles-marine-companies/art/Truss-Spar-Projects-ABS00474434TU.html>
- Muliawan M. J., Karimirad M., Gao Z., and Moan T. (2013), “SPAR-Torus Combination (STC): a Combined Floating Wind Turbine and Wave Energy Converter”. Centre for ships and ocean structures, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norwegia.
- Rigzone. 1999. *How Do Spars Work?*
http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=307.
- Roddiar, D., Cermelli, C., Aubault, A. and Weinstein, A. (2010), "WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3.
- Sarpkaya, Turgut. 2010. *Wave Forces on Offshore Structures*. New York: Cambridge University Press.
- Seebai, T, and R Sundaravadivelu. 2009. “Effect of Taut and Catenary Mooring on Spar Platform with 5MW Wind Turbine.” *Proceedings of The Eighth (2009) ISOPE Ocean Mining Symposium*. Chennai: ISOPE. 52-58.
- Soeb, M. R., Islam, A. B. M. S., Jumaat, M. Z., Huda, N., dan Arzu, F., 2017. *Response of Non-linear Offshore SPAR Platform under Wave and Current*. *Ocean Eng.* 144, 296-304.

- Soedjono, J. J. 1999. *Teknologi Produksi dan Perawatan Bangunan Laut*. Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- Subbulakshmi, A., Jose, J., Sundaravadivelu, R., and Selvam, R. P., 2015. *Effect of Viscous Damping on Hydrodynamics Response of SPAR with Heave Plate*. International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE 2015). Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai – 600 036, India.
- Sudhakar, S., and Nallayarasu S. 2011. “Influence of Heave Plate on Hydrodynamic Response of SPAR.” *Proceedings of the ASME 2011 30th International Conference in Ocean, Offshore, and Arctic Engineering*. Rotterdam: OMAE2011-49565.
- Tao L., Lim, and Cai S., 2003. *Heave Motion Suppression of a SPAR with a Heave Plate*. Elsevier Science.
- Tao L., Lim, K. Y., and Thiagarajan K., 2004. *Heave Response of Classic SPAR with Variable Geometry*. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering.
- Wichers, J.E.W. 1986. “Progress in Computer Simulations of SPM Moored Vessels.” *Proc. of Offshore Technology Conference (OTC), Paper OTC-5157*. Houston, Texas, USA: OTC.
- Wichers, J.E.W, and R.M.H Huijsmans. 1984. “On The Low Frequency Hydrodynamic Damping Force Acting on Offshore Moored Vessels.” *Proc. of Offshore Technology Conference (OTC), Paper No. OTC-4813*. Houston: USA.
- Wichers, J.E.W. 1988. “Wave-Current Interaction Effects on Moored Tankers in High Seas.” *Proc. of Offshore Technology Conference (OTC), Paper OTC5631*,. Houston.
- Wichers, J.E.W. 1988. “Simulation Model for Single Point Moored Tanker”,. *MARIN Publication, No. 797*,. Wageningen: MARIN.
- . 1987. “The Prediction of the Behaviour of Single Point Moored Tankers.” *Proc. of Workshop on Floating Structures and Offshore Operations*,. Wageningen.

Zaman, B. A. B. 2015. *Studi Perbandingan Gerak SPAR Dengan Variasi Jumlah Heave Plate Dan Sistem Tambat*. Surabaya: Tugas Akhir Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A
KALKULASI JARI-JARI GIRASI

APPARATUS FOR MEASUREMENT OF SHIP MODEL PITCH INERTIA MOMENT

Determination of the required natural period of the oscillation table with the model to realize a specified mass distribution for the complete ballasted model

Determination of the springmoment constant of the empty oscillation

1. table by attaching to the table a weight Mw at position x and z from the hinge A.

Hinge location of the table coincides with specified centre of gravity of the model.

Mass of weight:		$M_w =$	0.653	kg
Position of weight:		$x =$	2.000	m
		$z =$	0.095	m
Measured inclination angle due to weight:		$\phi =$	2.723	deg
		in radians:	$\phi =$	0.0475 rad
Springmoment constant:	$C_y = g \cdot M_w (x / \phi - z)$		269.01	Nm / rad
			3	rad

Determination of the mass moment of inertia Iyt of the oscillation table

2. only by free oscillation of the empty table.

Measured natural period:		$T_{nt} =$	3.352	s
Natural frequency:	$W_{nt} = 2 \cdot \pi / T_{nt}$	$W_{nt} =$	1.874	rad / s
Mass moment of inertia of the table:	$I_{yt} = C_y / W_{nt}^2$	$I_{yt} =$	76.564	kg m ²

3. Calculation of the required natural period of the oscillation table with the ballasted model.

Required total mass of model:		$M_m =$	16.600	kg
Required radius of gyration of model:		$k_{ym} =$	0.492	m

Mass moment of inertia of the model:

$$I_{ym} = Mm.ky^2 \quad I_{ym} = 4.018 \text{ kg m}^2$$

Required natural frequency of oscillation table with model:

$$W_n = (C_y / (I_{yt} + I_{ym}))^{1/2} \quad W_n = 1.827 \text{ rad / s}$$

Required natural period:

$$T_n = 2.\pi / W_n$$

T_n = 3.439 s

4. Calculation of obtained radius of gyration from measured natural period

Measured natural period:

$$T_n = 3.460 \text{ s}$$

Measured natural frequency:

$$W_n = 1.816 \text{ rad/sec}$$

"Measured" mass moment of inertia:

$$I_{ym} = 5.013 \text{ kg m}^2$$

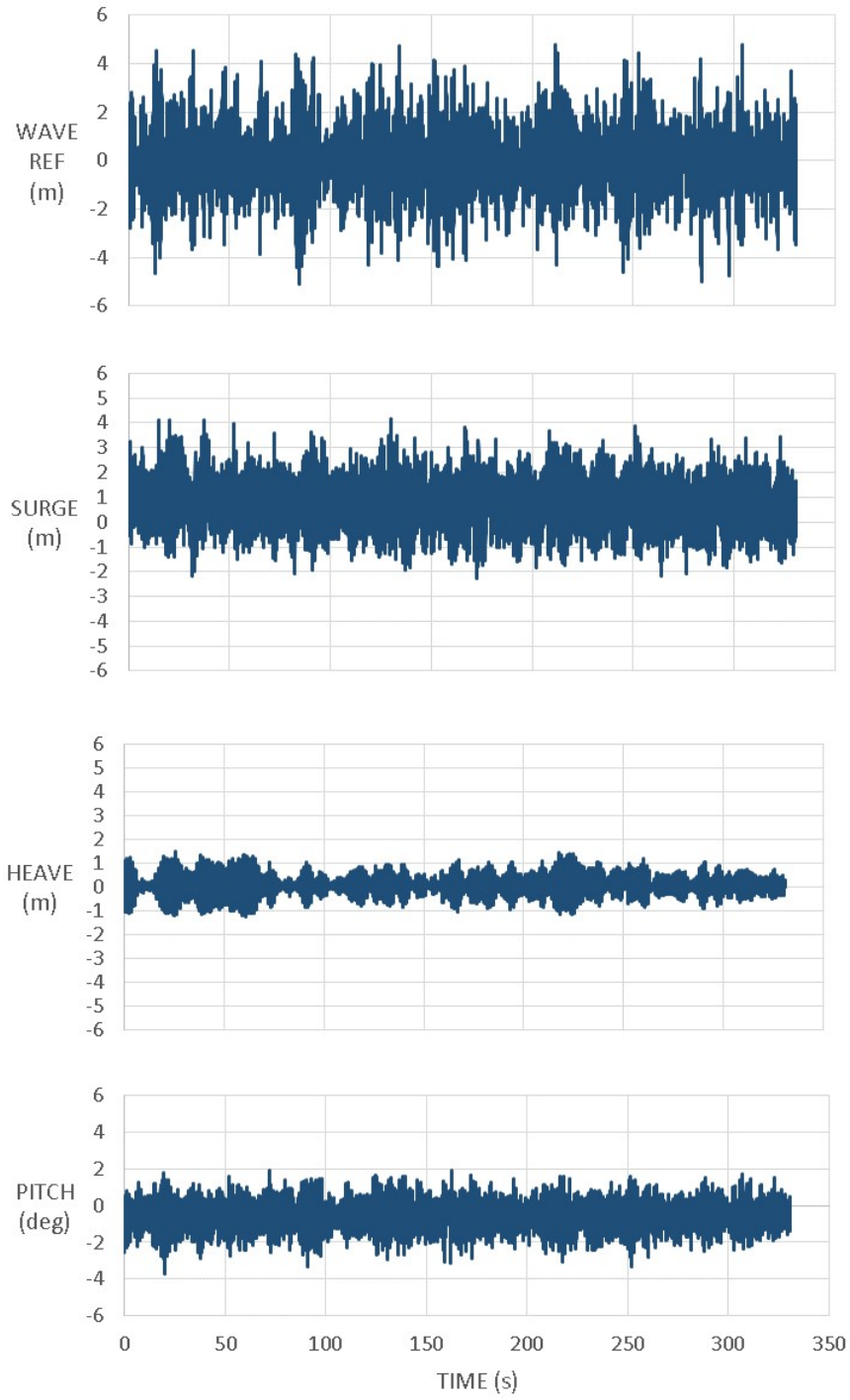
"Measured" radius of gyration:

Model Scale
Full Scale

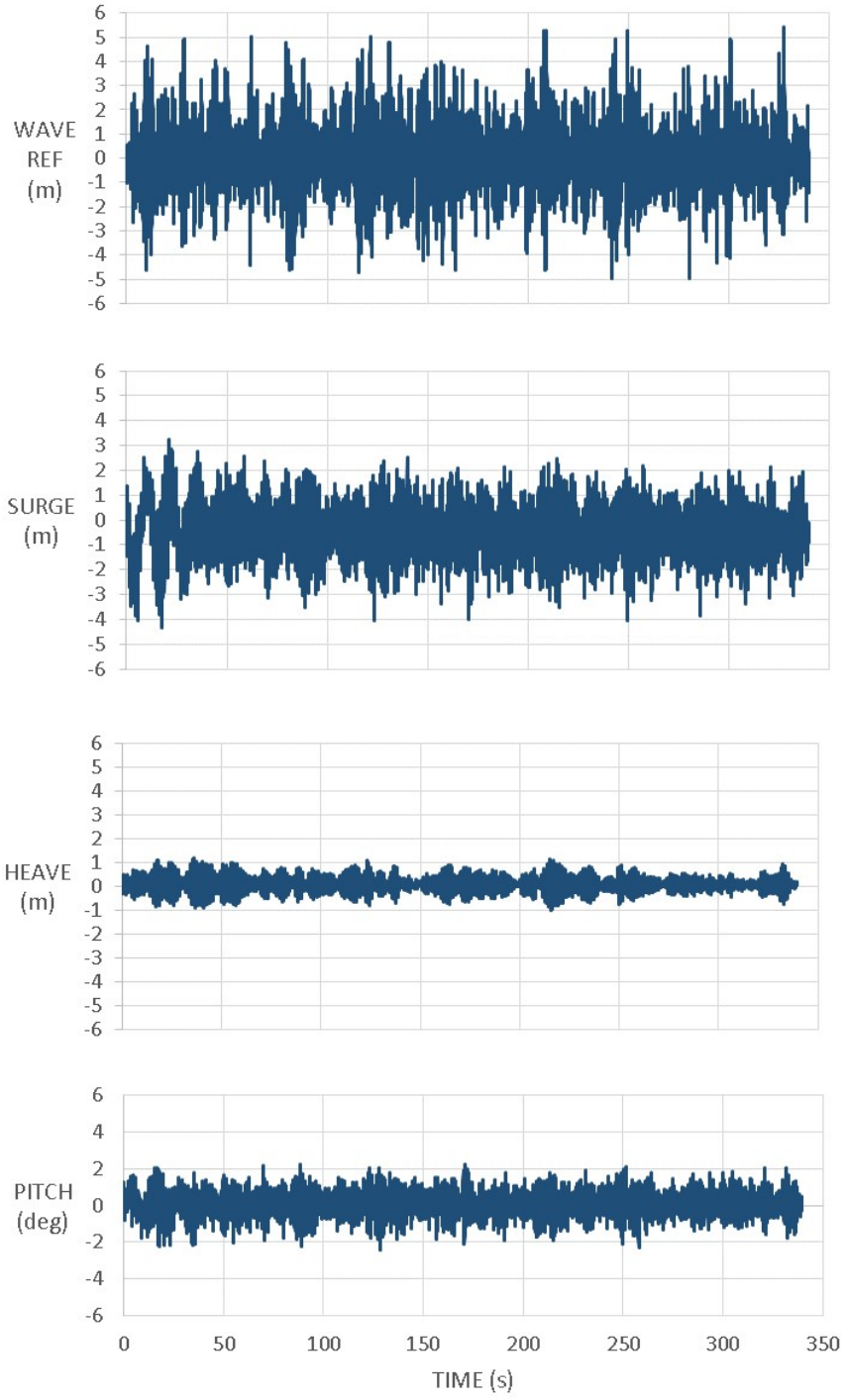
$$k_{ym} = 0.550 \text{ m}$$
$$= 68.693$$

LAMPIRAN B
TIME HISTORY RESPON
METODE EKSPERIMEN

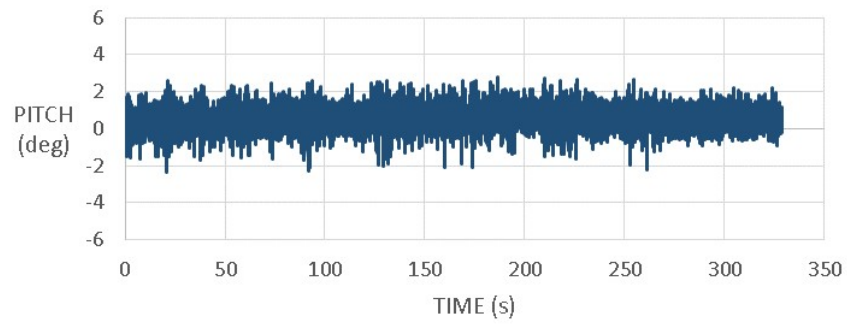
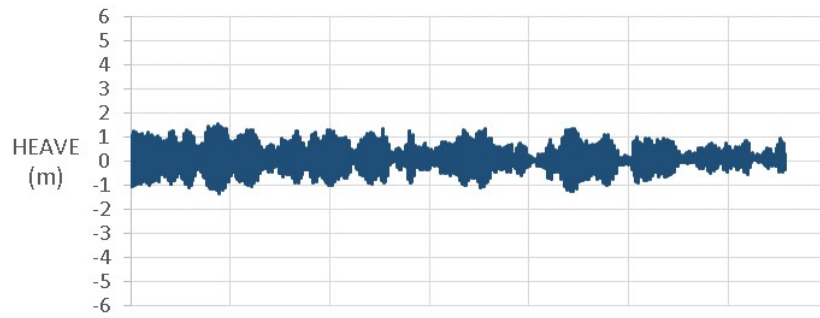
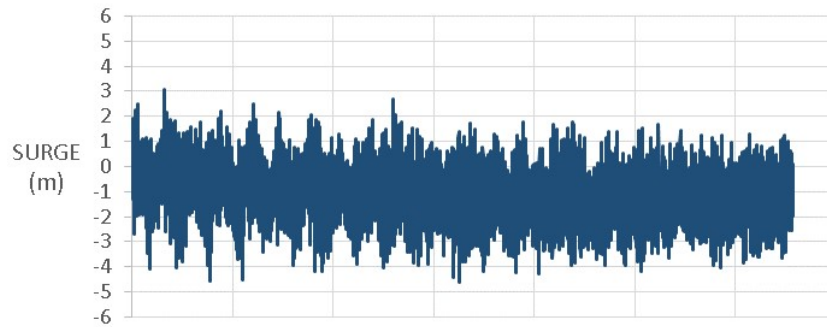
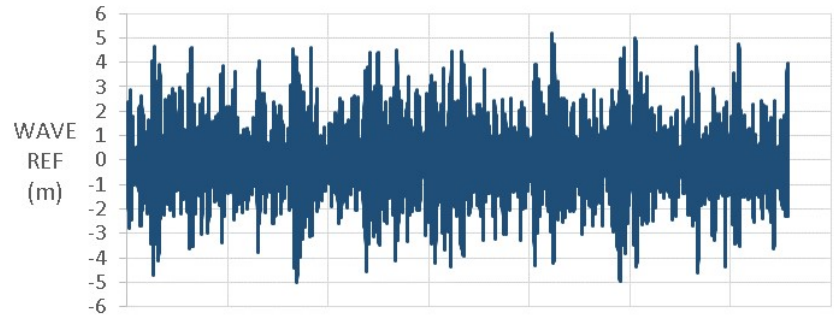
EXPERIMENTAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY INTACT CONDITION WITHOUT HEAVE PLATE



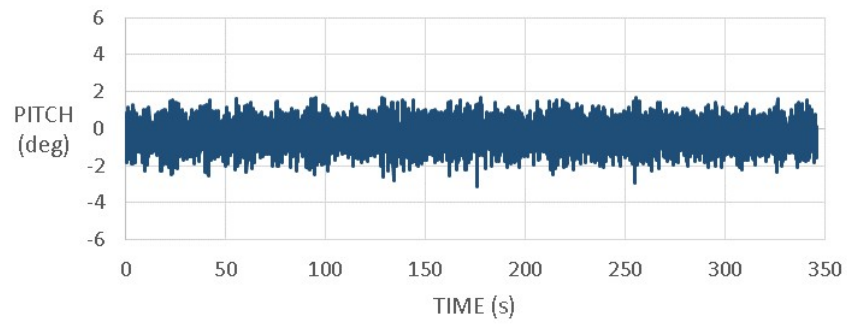
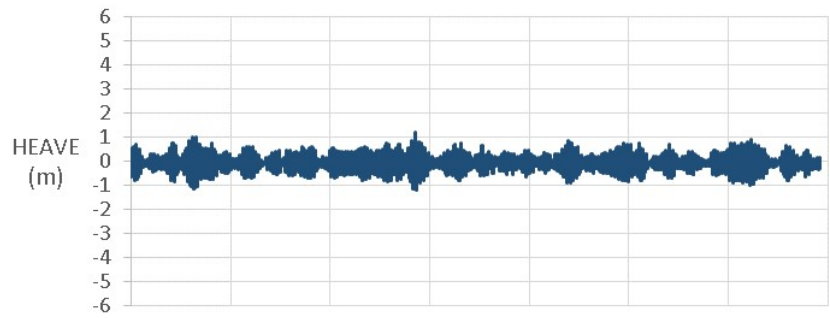
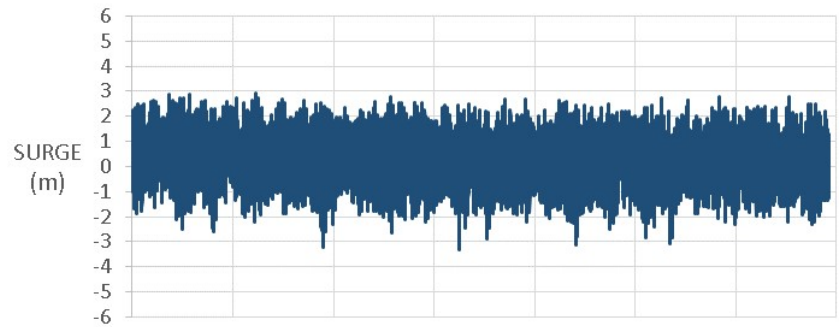
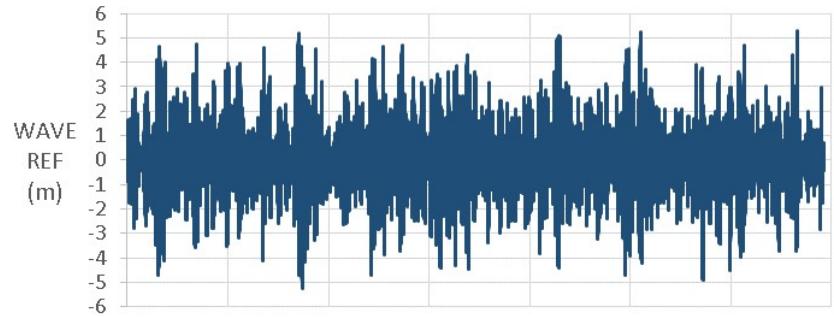
EXPERIMENTAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY INTACT CONDITION WITH HEAVE PLATE



EXPERIMENTAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY
DAMAGED CONDITION WITHOUT HEAVE PLATE

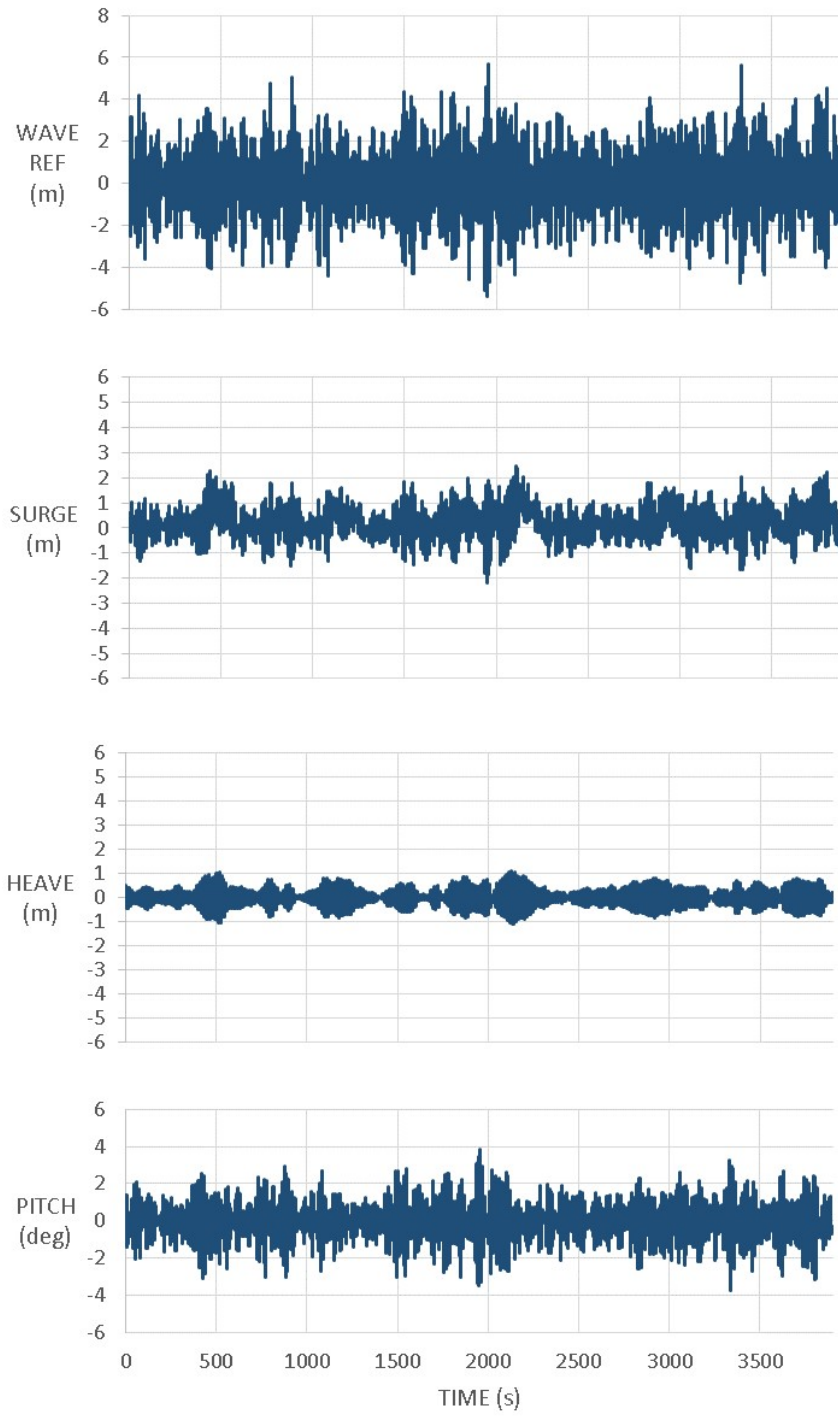


EXPERIMENTAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY DAMAGED CONDITION WITH HEAVE PLATE

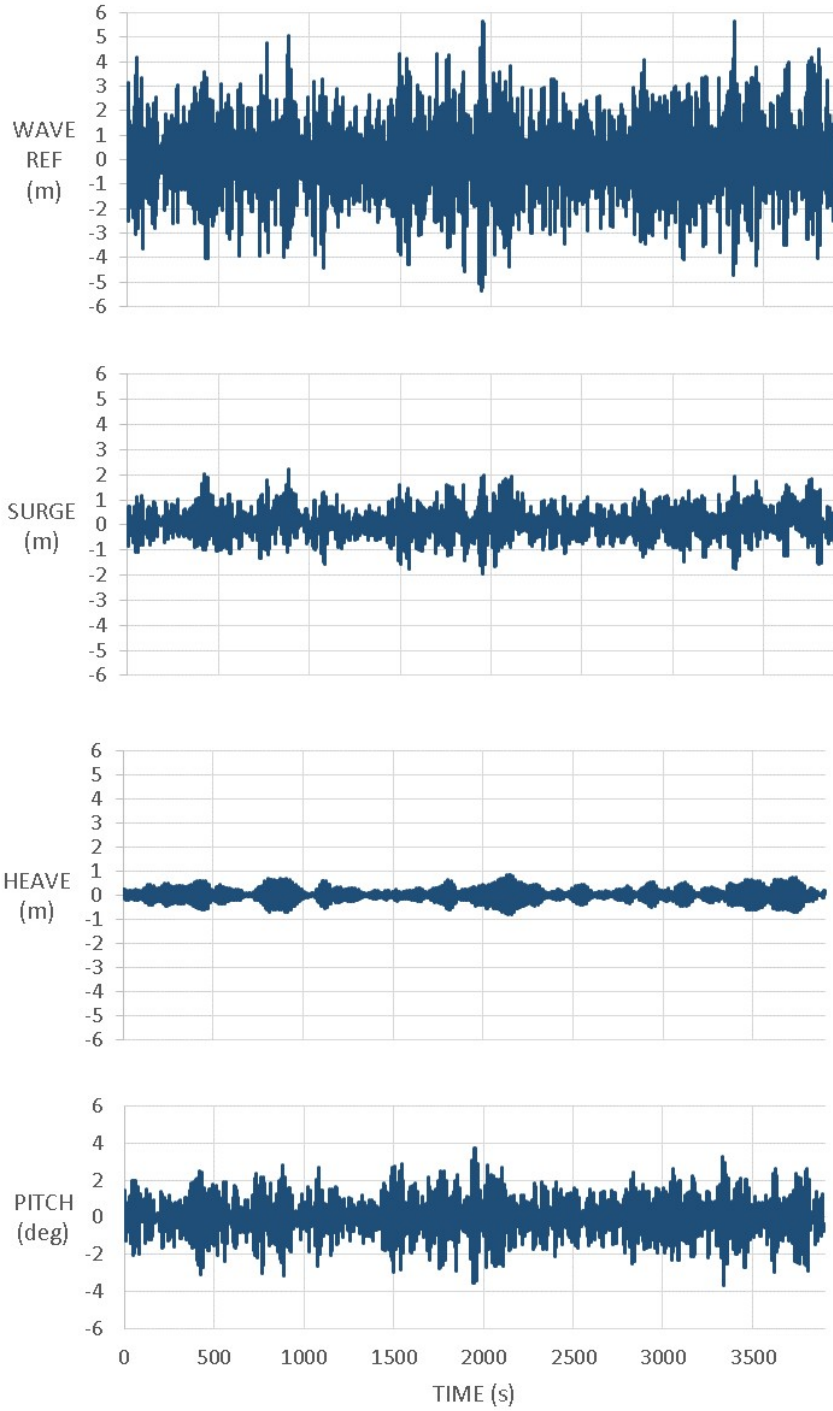


LAMPIRAN C
TIME HISTORY RESPONS
METODE NUMERIS

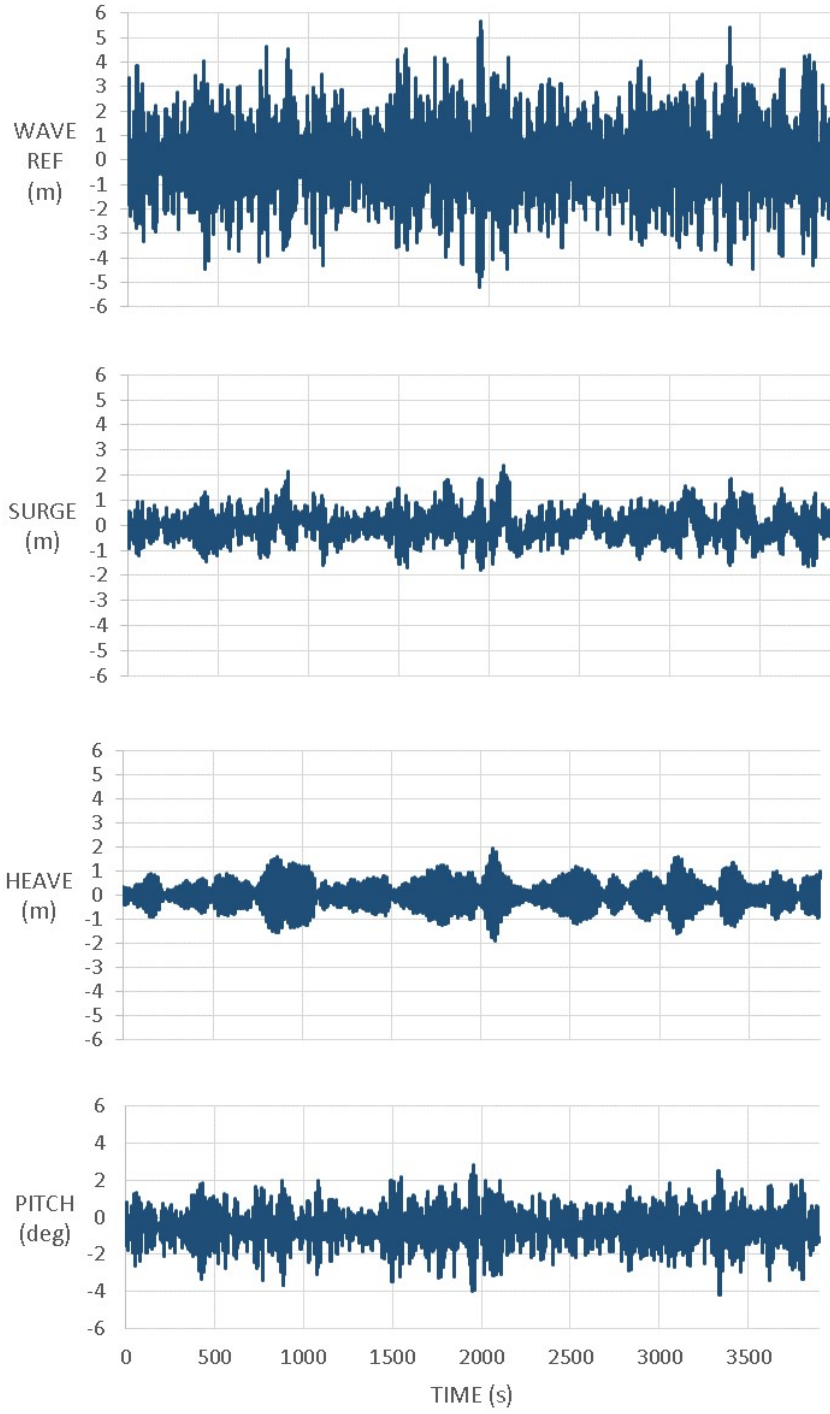
NUMERICAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY INTACT CONDITION WITHOUT HEAVE PLATE



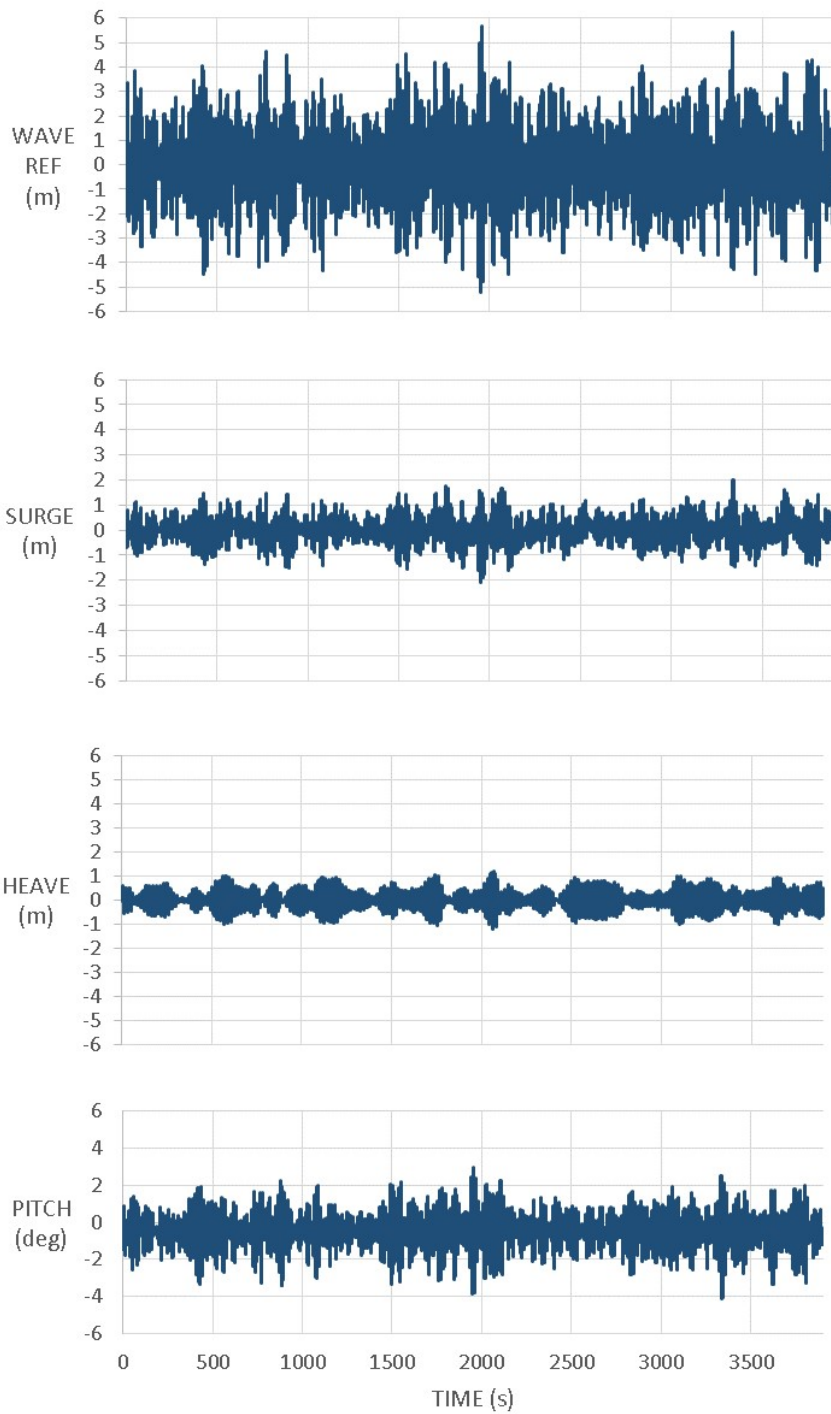
NUMERICAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY INTACT CONDITION WITH HEAVE PLATE



NUMERICAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY
DAMAGED CONDITION WITHOUT HEAVE PLATE



NUMERICAL SPAR RESPONSE TIME HISTORY DAMAGED CONDITION WITH HEAVE PLATE



LAMPIRAN D
OUTPUT MOSES

SPAR TANPA *HEAVE PLATE*

KONDISI FREE FLOATING

Draft Free Floating: 128.681 m

 * *** MOSES *** *
 * ----- July 6, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITHOUT HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---// Roll	Displac-/ M-Tons	/-- Center Of Buoyancy --/			W.P. / Area	/C. Flotation /		/---- -KMT-	Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---		-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-5.52	-0.00	-0.00	138.058	-3.98	-0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.29	0.00	0.00	364.19	-0.00	-0.00	0.64	276.117	-0.00	0.00	17.72	17.72	17.08	17.08	
2.57	0.00	0.00	728.38	-0.00	-0.00	1.29	276.117	-0.00	0.00	9.82	9.82	8.54	8.54	
3.86	0.00	0.00	1092.58	-0.00	-0.00	1.93	276.117	-0.00	0.00	7.62	7.62	5.69	5.69	
5.15	0.00	0.00	1456.77	-0.00	0.00	2.57	276.117	-0.00	0.00	6.84	6.84	4.27	4.27	
6.43	0.00	0.00	1820.96	-0.00	0.00	3.22	276.117	-0.00	0.00	6.63	6.63	3.42	3.42	
7.72	0.00	0.00	2145.36	-0.00	0.00	3.80	240.528	-0.00	0.00	6.00	6.00	2.20	2.20	
9.01	0.00	0.00	2462.61	-0.00	0.00	4.39	240.528	-0.00	0.00	6.30	6.30	1.92	1.92	
10.29	0.00	0.00	2779.86	-0.00	0.00	4.99	240.528	-0.00	0.00	6.69	6.69	1.70	1.70	
11.58	0.00	0.00	3097.12	-0.00	0.00	5.60	240.528	-0.00	0.00	7.12	7.12	1.52	1.52	
12.87	0.00	0.00	3414.37	-0.00	0.00	6.21	240.528	-0.00	0.00	7.60	7.60	1.38	1.38	
14.15	0.00	0.00	3731.62	-0.00	0.00	6.83	240.528	-0.00	0.00	8.10	8.10	1.26	1.26	
15.44	0.00	0.00	4048.87	-0.00	0.00	7.46	240.528	-0.00	0.00	8.62	8.62	1.17	1.17	
16.73	0.00	0.00	4366.12	-0.00	0.00	8.08	240.528	-0.00	0.00	9.17	9.17	1.08	1.08	
18.02	0.00	0.00	4683.37	-0.00	0.00	8.71	240.528	-0.00	0.00	9.72	9.72	1.01	1.01	
19.30	0.00	0.00	5000.62	-0.00	0.00	9.34	240.528	-0.00	0.00	10.29	10.29	0.94	0.94	
20.59	0.00	0.00	5317.89	-0.00	0.00	9.98	240.528	-0.00	0.00	10.86	10.86	0.89	0.89	
21.88	0.00	0.00	5635.14	-0.00	0.00	10.61	240.528	-0.00	0.00	11.45	11.45	0.84	0.84	
23.16	0.00	0.00	5952.39	-0.00	0.00	11.25	240.528	-0.00	0.00	12.04	12.04	0.79	0.79	
24.45	0.00	0.00	6269.63	-0.00	0.00	11.88	240.528	-0.00	0.00	12.63	12.63	0.75	0.75	
25.74	0.00	0.00	6586.88	-0.00	0.00	12.52	240.528	-0.00	0.00	13.23	13.23	0.72	0.72	
27.02	0.00	0.00	6904.13	-0.00	0.00	13.15	240.528	-0.00	0.00	13.84	13.84	0.68	0.68	
28.31	0.00	0.00	7221.38	-0.00	0.00	13.79	240.528	-0.00	0.00	14.45	14.45	0.65	0.65	
29.60	0.00	0.00	7538.63	-0.00	0.00	14.43	240.528	-0.00	0.00	15.06	15.06	0.63	0.63	
30.88	0.00	0.00	7855.90	-0.00	0.00	15.07	240.528	-0.00	0.00	15.67	15.67	0.60	0.60	
32.17	0.00	0.00	8173.15	-0.00	0.00	15.71	240.528	-0.00	0.00	16.28	16.28	0.58	0.58	
33.46	0.00	0.00	8490.40	-0.00	0.00	16.35	240.528	-0.00	0.00	16.90	16.90	0.56	0.56	
34.74	0.00	0.00	8807.65	-0.00	0.00	16.99	240.528	-0.00	0.00	17.52	17.52	0.54	0.54	
36.03	0.00	0.00	9124.90	-0.00	0.00	17.63	240.528	-0.00	0.00	18.14	18.14	0.52	0.52	
37.32	0.00	0.00	9442.15	-0.00	0.00	18.27	240.528	-0.00	0.00	18.77	18.77	0.50	0.50	
38.60	0.00	0.00	9759.40	-0.00	0.00	18.91	240.528	-0.00	0.00	19.39	19.39	0.48	0.48	
39.89	0.00	0.00	10076.65	-0.00	0.00	19.55	240.528	-0.00	0.00	20.01	20.01	0.47	0.47	
41.18	0.00	0.00	10393.90	-0.00	0.00	20.19	240.528	-0.00	0.00	20.64	20.64	0.45	0.45	
42.46	0.00	0.00	10711.15	-0.00	0.00	20.83	240.528	-0.00	0.00	21.27	21.27	0.44	0.44	
43.75	0.00	0.00	11028.40	-0.00	0.00	21.47	240.528	-0.00	0.00	21.90	21.90	0.43	0.43	
45.04	0.00	0.00	11345.65	-0.00	0.00	22.11	240.528	-0.00	0.00	22.53	22.53	0.42	0.42	
46.33	0.00	0.00	11662.91	-0.00	0.00	22.75	240.528	-0.00	0.00	23.16	23.16	0.40	0.40	
47.61	0.00	0.00	11980.19	-0.00	0.00	23.39	240.528	-0.00	0.00	23.79	23.79	0.39	0.39	
48.90	0.00	0.00	12297.44	-0.00	0.00	24.03	240.528	-0.00	0.00	24.42	24.42	0.38	0.38	
50.19	0.00	0.00	12614.69	-0.00	0.00	24.68	240.528	-0.00	0.00	25.05	25.05	0.37	0.37	
51.47	0.00	0.00	12931.94	-0.00	0.00	25.32	240.528	-0.00	0.00	25.68	25.68	0.36	0.36	
52.76	0.00	0.00	13249.19	-0.00	0.00	25.96	240.528	-0.00	0.00	26.31	26.31	0.36	0.36	
54.05	0.00	0.00	13566.44	-0.00	0.00	26.60	240.528	-0.00	0.00	26.95	26.95	0.35	0.35	
55.33	0.00	0.00	13883.69	-0.00	0.00	27.24	240.528	-0.00	0.00	27.58	27.58	0.34	0.34	
56.62	0.00	0.00	14200.93	-0.00	0.00	27.88	240.528	-0.00	0.00	28.22	28.22	0.33	0.33	
57.91	0.00	0.00	14518.18	-0.00	0.00	28.53	240.528	-0.00	0.00	28.85	28.85	0.33	0.33	
59.19	0.00	0.00	14835.43	-0.00	0.00	29.17	240.528	-0.00	0.00	29.49	29.49	0.32	0.32	
60.48	0.00	0.00	15152.68	-0.00	0.00	29.81	240.528	-0.00	0.00	30.12	30.12	0.31	0.31	
61.77	0.00	0.00	15469.93	-0.00	0.00	30.45	240.528	-0.00	0.00	30.76	30.76	0.31	0.31	
63.05	0.00	0.00	15787.18	-0.00	0.00	31.09	240.528	-0.00	0.00	31.39	31.39	0.30	0.30	
64.34	0.00	0.00	16104.43	-0.00	0.00	31.74	240.528	-0.00	0.00	32.03	32.03	0.29	0.29	
65.63	0.00	0.00	16421.69	-0.00	0.00	32.38	240.528	-0.00	0.00	32.67	32.67	0.29	0.29	
66.91	0.00	0.00	16738.93	-0.00	0.00	33.02	240.528	-0.00	0.00	33.30	33.30	0.28	0.28	
68.20	0.00	0.00	17056.21	-0.00	0.00	33.66	240.528	-0.00	0.00	33.94	33.94	0.28	0.28	
69.49	0.00	0.00	17373.44	-0.00	0.00	34.31	240.528	-0.00	0.00	34.58	34.58	0.27	0.27	
70.77	0.00	0.00	17690.72	-0.00	0.00	34.95	240.528	-0.00	0.00	35.22	35.22	0.27	0.27	
72.06	0.00	0.00	18007.93	-0.00	0.00	35.59	240.528	-0.00	0.00	35.85	35.85	0.26	0.26	
73.35	0.00	0.00	18325.22	-0.00	0.00	36.23	240.528	-0.00	0.00	36.49	36.49	0.26	0.26	
74.64	0.00	0.00	18642.43	-0.00	0.00	36.88	240.528	-0.00	0.00	37.13	37.13	0.25	0.25	
75.92	0.00	0.00	18959.72	-0.00	0.00	37.52	240.528	-0.00	0.00	37.77	37.77	0.25	0.25	
77.21	0.00	0.00	19276.93	-0.00	0.00	38.16	240.528	-0.00	0.00	38.41	38.41	0.24	0.24	
78.50	0.00	0.00	19594.22	-0.00	0.00	38.80	240.528	-0.00	0.00	39.05	39.05	0.24	0.24	
79.78	0.00	0.00	19911.49	-0.00	0.00	39.45	240.528	-0.00	0.00	39.68	39.68	0.24	0.24	
81.07	0.00	0.00	20228.72	-0.00	0.00	40.09	240.528	-0.00	0.00	40.32	40.32	0.23	0.23	
82.36	0.00	0.00	20546.01	-0.00	0.00	40.73	240.528	-0.00	0.00	40.96	40.96	0.23	0.23	
83.64	0.00	0.00	20863.22	-0.00	0.00	41.37	240.528	-0.00	0.00	41.60	41.60	0.23	0.23	
84.93	0.00	0.00	21180.51	-0.00	0.00	42.02	240.528	-0.00	0.00	42.24	42.24	0.22	0.22	
86.22	0.00	0.00	21497.72	-0.00	0.00	42.66	240.528	-0.00	0.00	42.88	42.88	0.22	0.22	
87.50	0.00	0.00	21815.01	-0.00	0.00	43.30	240.528	-0.00	0.00	43.52	43.52	0.22	0.22	
88.79	0.00	0.00	22132.22	-0.00	0.00	43.95	240.528	-0.00	0.00	44.16	44.16	0.21	0.21	
90.08	0.00	0.00	22449.50	-0.00	0.00	44.59	240.528	-0.00	0.00	44.80	44.80	0.21	0.21	

91.36	0.00	0.00	22766.72	-0.00	0.00	45.23	240.528	-0.00	0.00	45.44	45.44	0.21	0.21
92.65	0.00	0.00	23084.00	-0.00	0.00	45.87	240.528	-0.00	0.00	46.08	46.08	0.20	0.20
93.94	0.00	0.00	23401.22	-0.00	0.00	46.52	240.528	-0.00	0.00	46.72	46.72	0.20	0.20
95.22	0.00	0.00	23718.50	-0.00	0.00	47.16	240.528	-0.00	0.00	47.36	47.36	0.20	0.20
96.51	0.00	0.00	24035.71	-0.00	0.00	47.80	240.528	-0.00	0.00	48.00	48.00	0.20	0.20
97.80	0.00	0.00	24353.00	-0.00	0.00	48.45	240.528	-0.00	0.00	48.64	48.64	0.19	0.19
99.08	0.00	0.00	24670.21	-0.00	0.00	49.09	240.528	-0.00	0.00	49.28	49.28	0.19	0.19
100.37	0.00	0.00	24987.50	-0.00	0.00	49.73	240.528	-0.00	0.00	49.92	49.92	0.19	0.19
101.66	0.00	0.00	25304.77	-0.00	0.00	50.37	240.528	-0.00	0.00	50.56	50.56	0.19	0.19
102.94	0.00	0.00	25622.00	-0.00	0.00	51.02	240.528	-0.00	0.00	51.20	51.20	0.18	0.18
104.23	0.00	0.00	25939.29	-0.00	0.00	51.66	240.528	-0.00	0.00	51.84	51.84	0.18	0.18
105.52	0.00	0.00	26256.50	-0.00	0.00	52.30	240.528	-0.00	0.00	52.48	52.48	0.18	0.18
106.81	0.00	0.00	26573.79	-0.00	0.00	52.95	240.528	-0.00	0.00	53.12	53.12	0.18	0.18
108.09	0.00	0.00	26890.99	-0.00	0.00	53.59	240.528	-0.00	0.00	53.77	53.77	0.18	0.18
109.38	0.00	0.00	27208.28	-0.00	0.00	54.23	240.528	-0.00	0.00	54.41	54.41	0.17	0.17
110.67	0.00	0.00	27525.49	-0.00	0.00	54.88	240.528	-0.00	0.00	55.05	55.05	0.17	0.17
111.95	0.00	0.00	27842.78	-0.00	0.00	55.52	240.528	-0.00	0.00	55.69	55.69	0.17	0.17
113.24	0.00	0.00	28159.99	-0.00	0.00	56.16	240.528	-0.00	0.00	56.33	56.33	0.17	0.17
114.53	0.00	0.00	28477.27	-0.00	0.00	56.80	240.528	-0.00	0.00	56.97	56.97	0.17	0.17
115.81	0.00	0.00	28794.48	-0.00	0.00	57.45	240.528	-0.00	0.00	57.61	57.61	0.16	0.16
117.10	0.00	0.00	29111.77	-0.00	0.00	58.09	240.528	-0.00	0.00	58.25	58.25	0.16	0.16
118.39	0.00	0.00	29428.98	-0.00	0.00	58.73	240.528	-0.00	0.00	58.89	58.89	0.16	0.16
119.67	0.00	0.00	29746.27	-0.00	0.00	59.38	240.528	-0.00	0.00	59.54	59.54	0.16	0.16
120.96	0.00	0.00	30063.51	-0.00	0.00	60.02	240.528	-0.00	0.00	60.18	60.18	0.16	0.16
122.25	0.00	0.00	30380.76	-0.00	0.00	60.66	240.528	-0.00	0.00	60.82	60.82	0.16	0.16
123.53	0.00	0.00	30698.05	-0.00	0.00	61.31	240.528	-0.00	0.00	61.46	61.46	0.15	0.15
124.82	0.00	0.00	31015.26	-0.00	0.00	61.95	240.528	-0.00	0.00	62.10	62.10	0.15	0.15
126.11	0.00	0.00	31332.54	-0.00	0.00	62.59	240.528	-0.00	0.00	62.74	62.74	0.15	0.15
127.39	0.00	0.00	31649.75	-0.00	0.00	63.24	240.528	-0.00	0.00	63.38	63.38	0.15	0.15
128.68	0.00	0.00	31967.04	-0.00	0.00	63.88	240.528	-0.00	0.00	64.03	64.03	0.15	0.15

SPAR DENGAN *HEAVE PLATE*

KONDISI FREE FLOATING

Draft Free Floating: 129.305 m

 * ** MOSES ** *
 * -----
 * July 6, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITH HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---/-- Roll	Displac-/ M-Tons	/-- Center Of Buoyancy --/ /			W.P. / Area	/C. Flotation /		/---- -KMT-	Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---		-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-7.73	-0.00	-0.00	270.594	-5.57	0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.29	0.00	0.00	537.05	-0.00	-0.00	0.54	276.116	-0.00	-0.00	12.12	12.12	11.58	11.58	
2.59	0.00	0.00	903.01	-0.00	-0.00	1.11	276.116	-0.00	-0.00	7.99	7.99	6.89	6.89	
3.88	0.00	0.00	1268.97	-0.00	-0.00	1.72	276.116	-0.00	-0.00	6.62	6.62	4.90	4.90	
5.17	0.00	0.00	1634.93	-0.00	-0.00	2.35	276.116	-0.00	-0.00	6.15	6.15	3.80	3.80	
6.47	0.00	0.00	2000.89	-0.00	-0.00	2.98	276.116	-0.00	-0.00	6.09	6.09	3.11	3.11	
7.76	0.00	0.00	2348.48	-0.00	-0.00	3.59	240.528	-0.00	-0.00	5.60	5.60	2.01	2.01	
9.05	0.00	0.00	2667.27	-0.00	-0.00	4.17	240.528	-0.00	-0.00	5.94	5.94	1.77	1.77	
10.34	0.00	0.00	2986.07	-0.00	-0.00	4.76	240.528	-0.00	-0.00	6.34	6.34	1.58	1.58	
11.64	0.00	0.00	3304.85	-0.00	-0.00	5.36	240.528	-0.00	-0.00	6.79	6.79	1.43	1.43	
12.93	0.00	0.00	3623.65	-0.00	-0.00	5.97	240.528	-0.00	-0.00	7.27	7.27	1.30	1.30	
14.22	0.00	0.00	3942.44	-0.00	0.00	6.58	240.528	-0.00	-0.00	7.78	7.78	1.20	1.20	
15.52	0.00	0.00	4261.21	-0.00	-0.00	7.20	240.528	-0.00	-0.00	8.31	8.31	1.11	1.11	
16.81	0.00	0.00	4580.02	-0.00	0.00	7.83	240.528	-0.00	-0.00	8.86	8.86	1.03	1.03	
18.10	0.00	0.00	4898.81	0.00	-0.00	8.45	240.528	-0.00	-0.00	9.42	9.42	0.96	0.96	
19.40	0.00	0.00	5217.59	-0.00	0.00	9.08	240.528	-0.00	-0.00	9.99	9.99	0.90	0.90	
20.69	0.00	0.00	5536.39	-0.00	0.00	9.71	240.528	-0.00	-0.00	10.57	10.57	0.85	0.85	
21.98	0.00	0.00	5855.18	-0.00	0.00	10.35	240.528	-0.00	-0.00	11.15	11.15	0.81	0.81	
23.27	0.00	0.00	6173.96	-0.00	-0.00	10.98	240.528	-0.00	-0.00	11.74	11.74	0.76	0.76	
24.57	0.00	0.00	6492.77	-0.00	-0.00	11.62	240.528	-0.00	-0.00	12.34	12.34	0.73	0.73	
25.86	0.00	0.00	6811.56	-0.00	-0.00	12.25	240.528	-0.00	-0.00	12.94	12.94	0.69	0.69	
27.15	0.00	0.00	7130.34	-0.00	0.00	12.89	240.528	-0.00	-0.00	13.55	13.55	0.66	0.66	
28.45	0.00	0.00	7449.12	-0.00	0.00	13.53	240.528	-0.00	-0.00	14.16	14.16	0.63	0.63	
29.74	0.00	0.00	7767.90	-0.00	-0.00	14.17	240.528	-0.00	-0.00	14.77	14.77	0.61	0.61	
31.03	0.00	0.00	8086.70	-0.00	0.00	14.81	240.528	-0.00	-0.00	15.39	15.39	0.58	0.58	
32.33	0.00	0.00	8405.50	-0.00	0.00	15.45	240.528	-0.00	-0.00	16.01	16.01	0.56	0.56	
33.62	0.00	0.00	8724.29	-0.00	-0.00	16.09	240.528	-0.00	-0.00	16.63	16.63	0.54	0.54	
34.91	0.00	0.00	9043.07	-0.00	-0.00	16.73	240.528	-0.00	-0.00	17.25	17.25	0.52	0.52	
36.21	0.00	0.00	9361.86	-0.00	-0.00	17.37	240.528	-0.00	-0.00	17.87	17.87	0.50	0.50	
37.50	0.00	0.00	9680.68	-0.00	0.00	18.01	240.528	-0.00	-0.00	18.50	18.50	0.49	0.49	
38.79	0.00	0.00	9999.46	-0.00	0.00	18.65	240.528	-0.00	-0.00	19.12	19.12	0.47	0.47	
40.08	0.00	0.00	10318.24	-0.00	0.00	19.29	240.528	-0.00	-0.00	19.75	19.75	0.46	0.46	
41.38	0.00	0.00	10637.03	-0.00	-0.00	19.94	240.528	-0.00	-0.00	20.38	20.38	0.44	0.44	
42.67	0.00	0.00	10955.81	-0.00	-0.00	20.58	240.528	-0.00	-0.00	21.01	21.01	0.43	0.43	
43.96	0.00	0.00	11274.64	-0.00	0.00	21.22	240.528	-0.00	-0.00	21.64	21.64	0.42	0.42	
45.26	0.00	0.00	11593.40	-0.00	-0.00	21.87	240.528	-0.00	-0.00	22.27	22.27	0.41	0.41	
46.55	0.00	0.00	11912.17	-0.00	-0.00	22.51	240.528	-0.00	-0.00	22.90	22.90	0.40	0.40	
47.84	0.00	0.00	12230.96	-0.00	0.00	23.15	240.528	-0.00	-0.00	23.54	23.54	0.39	0.39	
49.14	0.00	0.00	12549.75	-0.00	-0.00	23.80	240.528	-0.00	-0.00	24.17	24.17	0.38	0.38	
50.43	0.00	0.00	12868.53	-0.00	0.00	24.44	240.528	-0.00	-0.00	24.81	24.81	0.37	0.37	
51.72	0.00	0.00	13187.35	-0.00	-0.00	25.08	240.528	-0.00	-0.00	25.44	25.44	0.36	0.36	
53.02	0.00	0.00	13506.14	-0.00	-0.00	25.73	240.528	-0.00	-0.00	26.08	26.08	0.35	0.35	
54.31	0.00	0.00	13824.93	-0.00	0.00	26.37	240.528	-0.00	-0.00	26.71	26.71	0.34	0.34	
55.60	0.00	0.00	14143.71	-0.00	-0.00	27.02	240.528	-0.00	-0.00	27.35	27.35	0.33	0.33	
56.89	0.00	0.00	14462.50	-0.00	-0.00	27.66	240.528	-0.00	-0.00	27.99	27.99	0.33	0.33	
58.19	0.00	0.00	14781.30	-0.00	-0.00	28.30	240.528	-0.00	-0.00	28.62	28.62	0.32	0.32	
59.48	0.00	0.00	15100.11	-0.00	0.00	28.95	240.528	-0.00	-0.00	29.26	29.26	0.31	0.31	
60.77	0.00	0.00	15418.90	-0.00	0.00	29.59	240.528	-0.00	-0.00	29.90	29.90	0.31	0.31	
62.07	0.00	0.00	15737.69	-0.00	-0.00	30.24	240.528	-0.00	-0.00	30.54	30.54	0.30	0.30	
63.36	0.00	0.00	16056.48	-0.00	0.00	30.88	240.528	-0.00	-0.00	31.18	31.18	0.29	0.29	
64.65	0.00	0.00	16375.26	-0.00	-0.00	31.53	240.528	-0.00	-0.00	31.82	31.82	0.29	0.29	
65.95	0.00	0.00	16694.06	-0.00	0.00	32.17	240.528	-0.00	-0.00	32.46	32.46	0.28	0.28	
67.24	0.00	0.00	17012.85	-0.00	-0.00	32.82	240.528	-0.00	-0.00	33.10	33.10	0.28	0.28	
68.53	0.00	0.00	17331.57	-0.00	-0.00	33.46	240.528	-0.00	-0.00	33.73	33.73	0.27	0.27	
69.82	0.00	0.00	17650.39	-0.00	0.00	34.11	240.528	-0.00	-0.00	34.38	34.38	0.27	0.27	
71.12	0.00	0.00	17969.20	-0.00	0.00	34.75	240.528	-0.00	-0.00	35.02	35.02	0.26	0.26	
72.41	0.00	0.00	18287.96	-0.00	0.00	35.40	240.528	-0.00	-0.00	35.66	35.66	0.26	0.26	
73.70	0.00	0.00	18606.78	-0.00	-0.00	36.04	240.528	-0.00	-0.00	36.30	36.30	0.25	0.25	
75.00	0.00	0.00	18925.54	-0.00	-0.00	36.69	240.528	-0.00	-0.00	36.94	36.94	0.25	0.25	
76.29	0.00	0.00	19244.35	-0.00	-0.00	37.33	240.528	-0.00	-0.00	37.58	37.58	0.25	0.25	
77.58	0.00	0.00	19563.20	-0.00	-0.00	37.98	240.528	-0.00	-0.00	38.22	38.22	0.24	0.24	
78.88	0.00	0.00	19881.93	-0.00	0.00	38.62	240.528	-0.00	-0.00	38.86	38.86	0.24	0.24	
80.17	0.00	0.00	20200.73	-0.00	-0.00	39.27	240.528	-0.00	-0.00	39.50	39.50	0.23	0.23	
81.46	0.00	0.00	20519.50	-0.00	0.00	39.92	240.528	-0.00	-0.00	40.15	40.15	0.23	0.23	
82.76	0.00	0.00	20838.29	-0.00	-0.00	40.56	240.528	-0.00	-0.00	40.79	40.79	0.23	0.23	
84.05	0.00	0.00	21157.15	-0.00	-0.00	41.21	240.528	-0.00	-0.00	41.43	41.43	0.22	0.22	
85.34	0.00	0.00	21475.86	-0.00	-0.00	41.85	240.528	-0.00	-0.00	42.07	42.07	0.22	0.22	
86.63	0.00	0.00	21794.72	-0.00	0.00	42.50	240.528	-0.00	-0.00	42.71	42.71	0.22	0.22	
87.93	0.00	0.00	22113.43	-0.00	0.00	43.14	240.528	-0.00	-0.00	43.36	43.36	0.21	0.21	
89.22	0.00	0.00	22432.29	-0.00	-0.00	43.79	240.528	-0.00	-0.00	44.00	44.00	0.21	0.21	
90.51	0.00	0.00	22751.01	-0.00	0.00	44.43	240.528	-0.00	-0.00	44.64	44.64	0.21	0.21	

91.81	0.00	0.00	23069.85	-0.00	-0.00	45.08	240.528	-0.00	-0.00	45.28	45.28	0.20	0.20
93.10	0.00	0.00	23388.63	-0.00	-0.00	45.73	240.528	-0.00	-0.00	45.93	45.93	0.20	0.20
94.39	0.00	0.00	23707.43	-0.00	0.00	46.37	240.528	-0.00	-0.00	46.57	46.57	0.20	0.20
95.69	0.00	0.00	24026.21	-0.00	0.00	47.02	240.528	-0.00	-0.00	47.21	47.21	0.20	0.20
96.98	0.00	0.00	24344.99	-0.00	-0.00	47.66	240.528	-0.00	-0.00	47.86	47.86	0.19	0.19
98.27	0.00	0.00	24663.78	-0.00	-0.00	48.31	240.528	-0.00	-0.00	48.50	48.50	0.19	0.19
99.56	0.00	0.00	24982.64	-0.00	-0.00	48.95	240.528	-0.00	-0.00	49.14	49.14	0.19	0.19
100.86	0.00	0.00	25301.35	-0.00	0.00	49.60	240.528	-0.00	-0.00	49.79	49.79	0.19	0.19
102.15	0.00	0.00	25620.18	-0.00	-0.00	50.25	240.528	-0.00	-0.00	50.43	50.43	0.18	0.18
103.44	0.00	0.00	25938.93	-0.00	0.00	50.89	240.528	-0.00	-0.00	51.07	51.07	0.18	0.18
104.74	0.00	0.00	26257.70	-0.00	-0.00	51.54	240.528	-0.00	-0.00	51.72	51.72	0.18	0.18
106.03	0.00	0.00	26576.58	-0.00	0.00	52.18	240.528	-0.00	-0.00	52.36	52.36	0.18	0.18
107.32	0.00	0.00	26895.28	-0.00	0.00	52.83	240.528	-0.00	-0.00	53.01	53.01	0.18	0.18
108.62	0.00	0.00	27214.17	-0.00	-0.00	53.48	240.528	-0.00	-0.00	53.65	53.65	0.17	0.17
109.91	0.00	0.00	27532.86	-0.00	-0.00	54.12	240.528	-0.00	-0.00	54.29	54.29	0.17	0.17
111.20	0.00	0.00	27851.75	-0.00	-0.00	54.77	240.528	-0.00	-0.00	54.94	54.94	0.17	0.17
112.50	0.00	0.00	28170.45	-0.00	0.00	55.41	240.528	-0.00	-0.00	55.58	55.58	0.17	0.17
113.79	0.00	0.00	28489.32	-0.00	0.00	56.06	240.528	-0.00	-0.00	56.23	56.23	0.17	0.17
115.08	0.00	0.00	28808.08	-0.00	0.00	56.71	240.528	-0.00	-0.00	56.87	56.87	0.16	0.16
116.37	0.00	0.00	29126.88	-0.00	-0.00	57.35	240.528	-0.00	-0.00	57.51	57.51	0.16	0.16
117.67	0.00	0.00	29445.67	-0.00	0.00	58.00	240.528	-0.00	-0.00	58.16	58.16	0.16	0.16
118.96	0.00	0.00	29764.42	-0.00	0.00	58.64	240.528	-0.00	-0.00	58.80	58.80	0.16	0.16
120.25	0.00	0.00	30083.25	-0.00	-0.00	59.29	240.528	-0.00	-0.00	59.45	59.45	0.16	0.16
121.55	0.00	0.00	30402.00	-0.00	-0.00	59.94	240.528	-0.00	-0.00	60.09	60.09	0.16	0.16
122.84	0.00	0.00	30720.83	-0.00	-0.00	60.58	240.528	-0.00	-0.00	60.74	60.74	0.15	0.15
124.13	0.00	0.00	31039.59	-0.00	0.00	61.23	240.528	-0.00	-0.00	61.38	61.38	0.15	0.15
125.43	0.00	0.00	31358.41	-0.00	0.00	61.87	240.528	-0.00	-0.00	62.02	62.02	0.15	0.15
126.72	0.00	0.00	31677.17	-0.00	-0.00	62.52	240.528	-0.00	-0.00	62.67	62.67	0.15	0.15
128.01	0.00	0.00	31996.05	-0.00	-0.00	63.17	240.528	-0.00	-0.00	63.31	63.31	0.15	0.15
129.31	0.00	0.00	32314.75	-0.00	-0.00	63.81	240.528	-0.00	-0.00	63.96	63.96	0.15	0.15

SPAR TANPA *HEAVE PLATE*
KONDISI TALI TAMBAT *INTACT*

Draft Tertambat: 138.929 m

 * *** MOSES *** *
 * ----- *
 * July 2, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITHOUT HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---// Roll	Displac- KN	/-- Center Of Buoyancy --/			W.P. / Area	/C. Flotation /			Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-5.52	-0.00	-0.00	138.058	-3.98	-0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.39	0.00	0.00	3859.22	-0.00	-0.00	0.69	276.117	-0.00	0.00	16.51	16.51	15.82	15.82	
2.78	0.00	0.00	7718.44	-0.00	-0.00	1.39	276.117	-0.00	0.00	9.30	9.30	7.91	7.91	
4.17	0.00	0.00	11577.66	-0.00	0.00	2.08	276.117	-0.00	0.00	7.36	7.36	5.27	5.27	
5.56	0.00	0.00	15436.88	-0.00	0.00	2.78	276.117	-0.00	0.00	6.73	6.73	3.95	3.95	
6.95	0.00	0.00	19182.76	-0.00	0.00	3.45	240.528	-0.00	0.00	5.87	5.87	2.41	2.41	
8.34	0.00	0.00	22544.57	-0.00	0.00	4.08	240.528	-0.00	0.00	6.13	6.13	2.05	2.05	
9.73	0.00	0.00	25906.36	-0.00	0.00	4.72	240.528	-0.00	0.00	6.51	6.51	1.79	1.79	
11.11	0.00	0.00	29268.18	-0.00	0.00	5.38	240.528	-0.00	0.00	6.96	6.96	1.58	1.58	
12.50	0.00	0.00	32630.00	-0.00	0.00	6.04	240.528	-0.00	0.00	7.46	7.46	1.42	1.42	
13.89	0.00	0.00	35991.82	-0.00	0.00	6.71	240.528	-0.00	0.00	7.99	7.99	1.29	1.29	
15.28	0.00	0.00	39353.64	-0.00	0.00	7.38	240.528	-0.00	0.00	8.56	8.56	1.18	1.18	
16.67	0.00	0.00	42715.47	-0.00	0.00	8.06	240.528	-0.00	0.00	9.14	9.14	1.08	1.08	
18.06	0.00	0.00	46077.29	-0.00	0.00	8.74	240.528	-0.00	0.00	9.74	9.74	1.01	1.01	
19.45	0.00	0.00	49439.11	-0.00	0.00	9.42	240.528	-0.00	0.00	10.35	10.35	0.94	0.94	
20.84	0.00	0.00	52800.93	-0.00	0.00	10.10	240.528	-0.00	0.00	10.98	10.98	0.88	0.88	
22.23	0.00	0.00	56162.70	-0.00	0.00	10.78	240.528	-0.00	0.00	11.61	11.61	0.82	0.82	
23.62	0.00	0.00	59524.38	-0.00	0.00	11.47	240.528	-0.00	0.00	12.25	12.25	0.78	0.78	
25.01	0.00	0.00	62886.20	-0.00	0.00	12.16	240.528	-0.00	0.00	12.89	12.89	0.74	0.74	
26.40	0.00	0.00	66248.03	-0.00	0.00	12.84	240.528	-0.00	0.00	13.54	13.54	0.70	0.70	
27.79	0.00	0.00	69609.85	-0.00	0.00	13.53	240.528	-0.00	0.00	14.20	14.20	0.67	0.67	
29.18	0.00	0.00	72971.68	-0.00	0.00	14.22	240.528	-0.00	0.00	14.86	14.86	0.63	0.63	
30.56	0.00	0.00	76333.50	-0.00	0.00	14.91	240.528	-0.00	0.00	15.52	15.52	0.61	0.61	
31.95	0.00	0.00	79695.34	-0.00	0.00	15.60	240.528	-0.00	0.00	16.18	16.18	0.58	0.58	
33.34	0.00	0.00	83057.07	-0.00	0.00	16.29	240.528	-0.00	0.00	16.85	16.85	0.56	0.56	
34.73	0.00	0.00	86418.98	-0.00	0.00	16.98	240.528	-0.00	0.00	17.52	17.52	0.54	0.54	
36.12	0.00	0.00	89780.62	-0.00	0.00	17.67	240.528	-0.00	0.00	18.19	18.19	0.52	0.52	
37.51	0.00	0.00	93142.63	-0.00	0.00	18.36	240.528	-0.00	0.00	18.86	18.86	0.50	0.50	
38.90	0.00	0.00	96504.27	-0.00	0.00	19.05	240.528	-0.00	0.00	19.53	19.53	0.48	0.48	
40.29	0.00	0.00	99866.28	-0.00	0.00	19.74	240.528	-0.00	0.00	20.21	20.21	0.46	0.46	
41.68	0.00	0.00	103227.92	-0.00	0.00	20.44	240.528	-0.00	0.00	20.89	20.89	0.45	0.45	
43.07	0.00	0.00	106589.95	-0.00	0.00	21.13	240.528	-0.00	0.00	21.56	21.56	0.43	0.43	
44.46	0.00	0.00	109951.57	-0.00	0.00	21.82	240.528	-0.00	0.00	22.24	22.24	0.42	0.42	
45.85	0.00	0.00	113313.59	-0.00	0.00	22.51	240.528	-0.00	0.00	22.92	22.92	0.41	0.41	
47.24	0.00	0.00	116675.23	-0.00	0.00	23.20	240.528	-0.00	0.00	23.60	23.60	0.40	0.40	
48.63	0.00	0.00	120037.21	-0.00	0.00	23.90	240.528	-0.00	0.00	24.28	24.28	0.39	0.39	
50.01	0.00	0.00	123398.88	-0.00	0.00	24.59	240.528	-0.00	0.00	24.97	24.97	0.38	0.38	
51.40	0.00	0.00	126760.52	-0.00	0.00	25.28	240.528	-0.00	0.00	25.65	25.65	0.37	0.37	
52.79	0.00	0.00	130122.52	-0.00	0.00	25.98	240.528	-0.00	0.00	26.33	26.33	0.36	0.36	
54.18	0.00	0.00	133484.16	-0.00	0.00	26.67	240.528	-0.00	0.00	27.02	27.02	0.35	0.35	
55.57	0.00	0.00	136846.17	-0.00	0.00	27.36	240.528	-0.00	0.00	27.70	27.70	0.34	0.34	
56.96	0.00	0.00	140207.81	-0.00	0.00	28.05	240.528	-0.00	0.00	28.38	28.38	0.33	0.33	
58.35	0.00	0.00	143569.83	-0.00	0.00	28.75	240.528	-0.00	0.00	29.07	29.07	0.32	0.32	
59.74	0.00	0.00	146931.45	-0.00	0.00	29.44	240.528	-0.00	0.00	29.76	29.76	0.32	0.32	
61.13	0.00	0.00	150293.47	-0.00	0.00	30.13	240.528	-0.00	0.00	30.44	30.44	0.31	0.31	
62.52	0.00	0.00	153655.11	-0.00	0.00	30.83	240.528	-0.00	0.00	31.13	31.13	0.30	0.30	
63.91	0.00	0.00	157017.12	-0.00	0.00	31.52	240.528	-0.00	0.00	31.82	31.82	0.29	0.29	
65.30	0.00	0.00	160378.84	-0.00	0.00	32.21	240.528	-0.00	0.00	32.50	32.50	0.29	0.29	
66.69	0.00	0.00	163740.77	-0.00	0.00	32.91	240.528	-0.00	0.00	33.19	33.19	0.28	0.28	
68.08	0.00	0.00	167102.41	-0.00	0.00	33.60	240.528	-0.00	0.00	33.88	33.88	0.28	0.28	
69.46	0.00	0.00	170464.05	-0.00	0.00	34.29	240.528	-0.00	0.00	34.57	34.57	0.27	0.27	
70.85	0.00	0.00	173825.73	-0.00	0.00	34.99	240.528	-0.00	0.00	35.25	35.25	0.27	0.27	
72.24	0.00	0.00	177188.08	-0.00	0.00	35.68	240.528	-0.00	0.00	35.94	35.94	0.26	0.26	
73.63	0.00	0.00	180549.73	-0.00	0.00	36.38	240.528	-0.00	0.00	36.63	36.63	0.26	0.26	
75.02	0.00	0.00	183911.34	-0.00	0.00	37.07	240.528	-0.00	0.00	37.32	37.32	0.25	0.25	
76.41	0.00	0.00	187272.98	-0.00	0.00	37.76	240.528	-0.00	0.00	38.01	38.01	0.25	0.25	
77.80	0.00	0.00	190635.38	-0.00	0.00	38.46	240.528	-0.00	0.00	38.70	38.70	0.24	0.24	
79.19	0.00	0.00	193997.03	-0.00	0.00	39.15	240.528	-0.00	0.00	39.39	39.39	0.24	0.24	
80.58	0.00	0.00	197358.66	-0.00	0.00	39.84	240.528	-0.00	0.00	40.08	40.08	0.23	0.23	
81.97	0.00	0.00	200720.28	-0.00	0.00	40.54	240.528	-0.00	0.00	40.77	40.77	0.23	0.23	
83.36	0.00	0.00	204082.66	-0.00	0.00	41.23	240.528	-0.00	0.00	41.46	41.46	0.23	0.23	
84.75	0.00	0.00	207444.33	-0.00	0.00	41.93	240.528	-0.00	0.00	42.15	42.15	0.22	0.22	
86.14	0.00	0.00	210805.95	-0.00	0.00	42.62	240.528	-0.00	0.00	42.84	42.84	0.22	0.22	
87.53	0.00	0.00	214167.61	-0.00	0.00	43.31	240.528	-0.00	0.00	43.53	43.53	0.22	0.22	
88.91	0.00	0.00	217529.22	-0.00	0.00	44.01	240.528	-0.00	0.00	44.22	44.22	0.21	0.21	
90.30	0.00	0.00	220891.62	-0.00	0.00	44.70	240.528	-0.00	0.00	44.91	44.91	0.21	0.21	
91.69	0.00	0.00	224253.28	-0.00	0.00	45.40	240.528	-0.00	0.00	45.60	45.60	0.21	0.21	
93.08	0.00	0.00	227614.91	-0.00	0.00	46.09	240.528	-0.00	0.00	46.29	46.29	0.20	0.20	
94.47	0.00	0.00	230976.55	-0.00	0.00	46.78	240.528	-0.00	0.00	46.99	46.99	0.20	0.20	
95.86	0.00	0.00	234338.95	-0.00	0.00	47.48	240.528	-0.00	0.00	47.68	47.68	0.20	0.20	
97.25	0.00	0.00	237700.58	-0.00	0.00	48.17	240.528	-0.00	0.00	48.37	48.37	0.19	0.19	

98.64	0.00	0.00	241062.20	-0.00	0.00	48.87	240.528	-0.00	0.00	49.06	49.06	0.19	0.19
100.03	0.00	0.00	244423.86	-0.00	0.00	49.56	240.528	-0.00	0.00	49.75	49.75	0.19	0.19
101.42	0.00	0.00	247786.23	-0.00	0.00	50.26	240.528	-0.00	0.00	50.44	50.44	0.19	0.19
102.81	0.00	0.00	251147.89	-0.00	0.00	50.95	240.528	-0.00	0.00	51.13	51.13	0.18	0.18
104.20	0.00	0.00	254509.50	-0.00	0.00	51.64	240.528	-0.00	0.00	51.83	51.83	0.18	0.18
105.59	0.00	0.00	257871.12	-0.00	0.00	52.34	240.528	-0.00	0.00	52.52	52.52	0.18	0.18
106.98	0.00	0.00	261232.75	-0.00	0.00	53.03	240.528	-0.00	0.00	53.21	53.21	0.18	0.18
108.36	0.00	0.00	264595.12	-0.00	0.00	53.73	240.528	-0.00	0.00	53.90	53.90	0.18	0.18
109.75	0.00	0.00	267956.75	-0.00	0.00	54.42	240.528	-0.00	0.00	54.59	54.59	0.17	0.17
111.14	0.00	0.00	271318.34	-0.00	0.00	55.11	240.528	-0.00	0.00	55.29	55.29	0.17	0.17
112.53	0.00	0.00	274679.97	-0.00	0.00	55.81	240.528	-0.00	0.00	55.98	55.98	0.17	0.17
113.92	0.00	0.00	278042.34	-0.00	0.00	56.50	240.528	-0.00	0.00	56.67	56.67	0.17	0.17
115.31	0.00	0.00	281403.97	-0.00	0.00	57.20	240.528	-0.00	0.00	57.36	57.36	0.16	0.16
116.70	0.00	0.00	284765.59	-0.00	0.00	57.89	240.528	-0.00	0.00	58.05	58.05	0.16	0.16
118.09	0.00	0.00	288127.22	-0.00	0.00	58.59	240.528	-0.00	0.00	58.75	58.75	0.16	0.16
119.48	0.00	0.00	291489.59	-0.00	0.00	59.28	240.528	-0.00	0.00	59.44	59.44	0.16	0.16
120.87	0.00	0.00	294851.22	-0.00	0.00	59.97	240.528	-0.00	0.00	60.13	60.13	0.16	0.16
122.26	0.00	0.00	298212.84	-0.00	0.00	60.67	240.528	-0.00	0.00	60.82	60.82	0.16	0.16
123.65	0.00	0.00	301574.44	-0.00	0.00	61.36	240.528	-0.00	0.00	61.52	61.52	0.15	0.15
125.04	0.00	0.00	304936.44	-0.00	0.00	62.06	240.528	-0.00	0.00	62.21	62.21	0.15	0.15
126.43	0.00	0.00	308298.44	-0.00	0.00	62.75	240.528	-0.00	0.00	62.90	62.90	0.15	0.15
127.81	0.00	0.00	311660.06	-0.00	0.00	63.45	240.528	-0.00	0.00	63.59	63.59	0.15	0.15
129.20	0.00	0.00	315021.78	-0.00	0.00	64.14	240.528	-0.00	0.00	64.29	64.29	0.15	0.15
130.59	0.00	0.00	318383.31	-0.00	0.00	64.83	240.528	-0.00	0.00	64.98	64.98	0.15	0.15
131.98	0.00	0.00	321745.72	-0.00	0.00	65.53	240.528	-0.00	0.00	65.67	65.67	0.14	0.14
133.37	0.00	0.00	325107.03	-0.00	0.00	66.22	240.528	-0.00	0.00	66.37	66.37	0.14	0.14
134.76	0.00	0.00	328468.94	-0.00	0.00	66.92	240.528	-0.00	0.00	67.06	67.06	0.14	0.14
136.15	0.00	0.00	331830.94	-0.00	0.00	67.61	240.528	-0.00	0.00	67.75	67.75	0.14	0.14
137.54	0.00	0.00	335192.47	-0.00	0.00	68.31	240.528	-0.00	0.00	68.44	68.44	0.14	0.14
138.93	0.00	0.00	338554.53	-0.00	0.00	69.00	240.528	-0.00	0.00	69.14	69.14	0.14	0.14

 * ** MOSES **
 * -----
 * July 2, 2019
 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITHOUT HEAVE PLATE
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro
 *

+++ P A N E L W A V E F R E Q U E N C Y F O R C E S F O R S P A R +++
 =====

Pressure Name = SPAR Heading = 0.00

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

E N C O U N T E R		Surge Force /		Sway Force /		Heave Force /		Roll Moment /		Pitch Moment /		Yaw Moment /	
-----		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
Frequency	Period	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
-(Rad/Sec)	-(Sec)												
0.2094	30.00	2521	-89	0	0	1335	0	0	0	192828	-89	0	0
0.2108	29.80	2538	-89	0	0	1323	0	0	0	194362	-89	0	0
0.2123	29.60	2555	-89	0	0	1310	0	0	0	195923	-89	0	0
0.2137	29.40	2573	-89	0	0	1298	0	0	0	197511	-89	0	0
0.2152	29.20	2590	-89	0	0	1286	0	0	0	199127	-89	0	0
0.2167	29.00	2608	-89	0	0	1273	0	1	-177	200771	-89	0	0
0.2182	28.80	2626	-89	0	0	1260	0	0	0	202445	-89	0	0
0.2197	28.60	2645	-89	0	0	1247	0	0	0	204149	-89	0	0
0.2212	28.40	2663	-89	0	0	1234	0	0	0	205884	-89	0	0
0.2228	28.20	2682	-89	0	0	1220	0	1	-175	207651	-89	0	0
0.2244	28.00	2701	-89	0	0	1207	0	0	0	209450	-89	0	0
0.2260	27.80	2721	-89	0	0	1193	0	1	-3	211282	-89	0	0
0.2277	27.60	2741	-89	0	0	1179	0	0	0	213149	-89	0	0
0.2293	27.40	2761	-89	0	0	1165	0	0	0	215050	-89	0	0
0.2310	27.20	2781	-89	0	0	1151	0	0	0	216988	-89	0	0
0.2327	27.00	2802	-89	0	0	1137	0	0	0	218963	-89	0	0
0.2344	26.80	2823	-89	0	0	1122	0	0	0	220975	-89	0	0
0.2362	26.60	2844	-89	0	0	1108	0	0	0	223027	-89	0	0
0.2380	26.40	2865	-89	0	0	1093	0	0	0	225119	-89	0	0
0.2398	26.20	2887	-89	0	0	1078	0	0	0	227251	-89	0	0
0.2417	26.00	2910	-89	0	0	1062	0	0	0	229425	-89	0	0
0.2435	25.80	2932	-89	0	0	1047	0	0	0	231642	-89	0	0
0.2454	25.60	2955	-89	0	0	1032	0	0	0	233904	-89	0	0
0.2474	25.40	2978	-89	0	0	1016	0	0	0	236210	-89	0	0
0.2493	25.20	3002	-89	0	0	1000	0	0	0	238563	-89	0	0
0.2513	25.00	3026	-89	0	0	984	0	1	-3	240963	-89	0	0
0.2534	24.80	3050	-89	0	0	968	0	0	0	243411	-89	0	0
0.2554	24.60	3075	-89	0	0	952	0	0	0	245909	-89	0	0
0.2575	24.40	3100	-89	0	0	936	0	1	-173	248457	-89	0	0
0.2596	24.20	3125	-89	0	0	919	0	0	0	251058	-89	0	0
0.2618	24.00	3151	-89	0	0	903	0	0	0	253711	-89	0	0
0.2640	23.80	3177	-89	0	0	886	0	0	0	256418	-89	0	0
0.2662	23.60	3204	-89	0	0	869	0	0	0	259181	-89	0	0
0.2685	23.40	3231	-89	0	0	852	0	1	-172	261999	-89	0	0
0.2708	23.20	3258	-89	0	0	835	0	0	0	264874	-89	0	0
0.2732	23.00	3286	-89	0	0	818	0	0	0	267808	-89	0	0
0.2756	22.80	3309	-89	0	0	801	0	0	0	270646	-89	0	0
0.2780	22.60	3334	-89	0	0	783	0	1	-171	273603	-89	0	0

0.2805	22.40	3278	-89	0	0	766	0	0	0	270255	-89	0	0
0.2830	22.20	3252	-89	0	0	748	0	0	0	269303	-89	0	0
0.2856	22.00	3236	-89	0	0	731	0	0	0	268905	-89	0	0
0.2882	21.80	3219	-89	0	0	713	0	1	-6	268727	-89	0	0
0.2909	21.60	3249	-89	0	0	696	0	0	0	272127	-89	0	0
0.2936	21.40	3246	-89	0	0	678	0	0	0	272952	-89	0	0
0.2964	21.20	3277	-89	0	0	660	0	0	0	276512	-89	0	0
0.2992	21.00	3308	-89	0	0	643	0	1	-171	280124	-89	0	0
0.3021	20.80	3315	-89	0	0	625	0	0	0	281891	-89	0	0
0.3050	20.60	3348	-89	0	0	607	0	1	-172	285729	-89	0	0
0.3080	20.40	3378	-89	0	0	590	0	1	-171	289388	-89	0	0
0.3110	20.20	3395	-89	0	0	572	0	0	0	292003	-89	0	0
0.3142	20.00	3428	-89	0	0	555	0	0	0	296001	-89	0	0
0.3173	19.80	3460	-89	0	0	537	0	0	0	299987	-89	0	0
0.3206	19.60	3489	-89	0	0	520	0	0	0	303631	-89	0	0
0.3239	19.40	3521	-89	0	0	502	0	0	0	307719	-89	0	0
0.3272	19.20	3554	-89	0	0	485	0	0	0	311871	-89	0	0
0.3307	19.00	3598	-89	0	0	468	0	0	0	316843	-89	0	0
0.3342	18.80	3639	-89	0	0	451	0	0	0	321830	-89	0	0
0.3378	18.60	3668	-89	0	0	434	0	1	178	325881	-89	0	0
0.3415	18.40	3709	-89	0	0	417	1	0	0	330756	-89	0	0
0.3452	18.20	3734	-90	0	0	400	1	0	0	334749	-90	0	0
0.3491	18.00	3771	-90	0	0	383	1	0	0	339521	-90	0	0
0.3530	17.80	3817	-90	0	0	367	1	0	0	345141	-90	0	0
0.3570	17.60	3851	-90	0	0	351	1	0	0	349874	-90	0	0
0.3611	17.40	3900	-90	0	0	336	1	0	0	355747	-90	0	0
0.3653	17.20	3924	-90	0	0	320	1	0	0	359858	-90	0	0
0.3696	17.00	3958	-90	0	0	305	1	0	0	364813	-90	0	0
0.3740	16.80	4021	-90	0	0	290	1	0	0	372017	-90	0	0
0.3785	16.60	4047	-90	0	0	275	1	0	0	376551	-90	0	0
0.3831	16.40	4084	-90	0	0	260	1	0	0	381965	-90	0	0
0.3879	16.20	4128	-90	0	0	246	1	0	0	388088	-90	0	0
0.3927	16.00	4152	-90	0	0	232	1	0	0	392532	-90	0	0
0.3977	15.80	4214	-90	0	0	218	1	0	0	399971	-90	0	0
0.4028	15.60	4245	-90	0	0	205	1	0	0	405286	-90	0	0
0.4080	15.40	4278	-90	0	0	192	1	0	0	410811	-90	0	0
0.4134	15.20	4316	-90	0	0	179	1	0	0	416844	-90	0	0
0.4189	15.00	4341	-90	0	0	167	1	1	-170	421919	-90	0	0
0.4245	14.80	4375	-90	0	0	155	1	0	0	427649	-90	0	0
0.4304	14.60	4406	-90	0	0	144	1	0	0	433389	-90	0	0
0.4333	14.50	4453	-90	0	0	138	1	0	0	438644	-90	0	0
0.4363	14.40	4681	-90	0	0	132	1	0	0	456641	-90	0	0
0.4425	14.20	4710	-90	0	0	121	1	0	0	462367	-90	0	0
0.4488	14.00	4737	-91	0	0	111	1	0	0	468129	-91	0	0
0.4553	13.80	4764	-91	0	0	101	2	0	0	473923	-91	0	0
0.4620	13.60	4791	-91	0	0	92	2	0	0	479745	-91	0	0
0.4689	13.40	4816	-91	0	0	83	2	0	0	485592	-91	0	0
0.4760	13.20	4840	-91	0	0	75	2	0	0	491456	-91	0	0
0.4833	13.00	4864	-91	0	0	67	2	0	0	497333	-91	0	0
0.4909	12.80	4886	-91	0	0	60	2	0	0	503217	-91	0	0
0.4987	12.60	4908	-91	0	0	53	2	0	0	509102	-91	0	0
0.5067	12.40	4928	-91	0	0	47	2	0	0	514979	-91	0	0
0.5150	12.20	4947	-92	0	0	41	2	0	0	520839	-92	0	0
0.5236	12.00	4965	-92	0	0	36	3	0	0	526673	-92	0	0
0.5325	11.80	4982	-92	0	0	31	3	0	0	532470	-92	0	0
0.5417	11.60	4997	-92	0	0	27	3	0	0	538217	-92	0	0
0.5512	11.40	5012	-92	0	0	23	3	0	0	543899	-92	0	0
0.5610	11.20	5024	-93	0	0	19	3	0	0	549500	-93	0	0
0.5712	11.00	5036	-93	0	0	16	4	0	0	554998	-93	0	0
0.5818	10.80	5045	-93	0	0	13	4	0	0	560373	-93	0	0
0.5928	10.60	5053	-94	0	0	11	4	0	0	565597	-94	0	0
0.6042	10.40	5059	-94	0	0	9	4	0	0	570638	-94	0	0
0.6160	10.20	5062	-94	0	0	7	5	0	0	575459	-94	0	0
0.6283	10.00	5064	-95	0	0	6	5	0	0	580016	-95	0	0
0.6411	9.80	5062	-95	0	0	4	5	0	0	584257	-95	0	0
0.6545	9.60	5057	-96	0	0	3	6	0	0	588120	-96	0	0
0.6684	9.40	5049	-96	0	0	2	6	0	0	591531	-96	0	0
0.6830	9.20	5037	-97	0	0	2	7	0	0	594405	-97	0	0
0.6981	9.00	5019	-97	0	0	1	7	0	0	596638	-97	0	0
0.7140	8.80	4996	-98	0	0	1	8	0	0	598113	-98	0	0
0.7306	8.60	4967	-99	0	0	1	9	0	0	598691	-99	0	0
0.7480	8.40	4929	-100	0	0	0	0	0	0	598213	-100	0	0
0.7662	8.20	4883	-100	0	0	0	0	0	0	596499	-100	0	0
0.7854	8.00	4826	-101	0	0	0	0	0	0	593349	-101	0	0
0.8055	7.80	4757	-102	0	0	0	0	0	0	588545	-102	0	0
0.8267	7.60	4674	-103	0	0	0	0	0	0	581861	-103	0	0
0.8491	7.40	4577	-104	0	0	0	0	0	0	573069	-104	0	0
0.8727	7.20	4462	-105	0	0	0	0	0	0	561951	-105	0	0
0.8976	7.00	4330	-106	0	0	0	0	0	0	548326	-106	0	0
0.9240	6.80	4179	-107	0	0	0	0	0	0	532063	-107	0	0
0.9520	6.60	4010	-108	0	0	0	0	0	0	513107	-108	0	0
0.9817	6.40	3822	-109	0	0	0	0	0	0	491502	-109	0	0
1.0134	6.20	3617	-109	0	0	0	0	0	0	467401	-109	0	0
1.0472	6.00	3398	-110	0	0	0	0	0	0	441073	-110	0	0
1.0833	5.80	3166	-110	0	0	0	0	0	0	412890	-110	0	0
1.1220	5.60	2927	-109	0	0	0	0	0	0	383313	-109	0	0
1.1636	5.40	2683	-108	0	0	0	0	0	0	352852	-108	0	0
1.2083	5.20	2439	-106	0	0	0	0	0	0	322031	-106	0	0
1.2566	5.00	2199	-104	0	0	0	0	0	0	291355	-104	0	0

1.3090	4.80	1965	-100	0	0	0	0	0	0	261276	-100	0	0
1.3659	4.60	1740	-96	0	0	0	0	0	0	232168	-96	0	0
1.4280	4.40	1526	-90	0	0	0	0	0	0	204313	-90	0	0
1.4960	4.20	1324	-83	0	0	0	0	0	0	177897	-83	0	0
1.5708	4.00	1135	-74	0	0	0	0	0	0	152982	-74	0	0
1.6535	3.80	958	-64	0	0	1	161	0	0	129455	-64	0	0
1.7453	3.60	788	-52	0	0	0	0	0	0	106898	-52	0	0
1.8480	3.40	613	-39	0	0	0	0	0	0	83630	-39	0	0
1.9635	3.20	362	-28	0	0	0	0	0	0	50263	-28	0	0
2.0944	3.00	584	67	0	0	0	0	0	0	77548	67	0	0
2.2440	2.80	444	57	0	0	2	0	0	0	60095	57	0	0

PPO OUTPUT

\$ MATRICES

\$ Dimensions are Meters and KN
Frequency 0.4333 Period 14.5000

Added Mass

9.31915E-01	9.66206E-07	6.84346E-06	2.95069E-05	1.44938E+01	5.70575E-06
2.67073E-07	9.31913E-01	-6.90055E-06	-1.44939E+01	-4.61327E-06	-1.17411E-05
1.51259E-07	5.09733E-08	6.21030E-02	-2.97294E-04	-3.29015E-04	4.10285E-07
2.95069E-05	-1.44939E+01	-2.97294E-04	1.75351E+03	2.13387E-03	2.54365E-04
1.44938E+01	-4.61327E-06	-3.29015E-04	-5.10879E-03	1.75351E+03	4.55037E-05
5.70575E-06	-1.17411E-05	4.10285E-07	2.54577E-04	4.55128E-05	9.20472E-10

Damping

6.98886E-02	3.16148E-09	2.00204E-08	-1.80278E-07	-2.74285E+00	3.40257E-07
-7.85949E-09	6.93239E-02	-1.52490E-08	2.71059E+00	8.82583E-07	-7.18046E-07
3.72078E-09	3.12629E-10	1.13268E-03	5.90860E-07	2.43340E-07	-3.94797E-09
-1.80278E-07	2.71059E+00	5.90860E-07	5.00871E+02	1.18727E-04	-2.36801E-05
-2.74285E+00	8.82583E-07	2.43340E-07	-3.71746E-05	5.05549E+02	-1.27253E-05
3.40257E-07	-7.18046E-07	-3.94797E-09	-2.36899E-05	-1.26772E-05	3.65103E-09

SPAR TANPA *HEAVE PLATE*
KONDISI TALI TAMBAT *DAMAGED*
Draft Tertambat: 136.845 m

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---// Roll	Displac- KN	/-- Center Of Buoyancy -- /			W.P. / Area	/C. Flotation /			Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-5.52	-0.00	-0.00	138.058	-3.98	-0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.37	0.00	0.00	3801.33	-0.00	-0.00	0.68	276.117	-0.00	0.00	16.74	16.74	16.06	16.06	
2.74	0.00	0.00	7602.66	-0.00	-0.00	1.37	276.117	-0.00	0.00	9.40	9.40	8.03	8.03	
4.11	0.00	0.00	11403.99	-0.00	0.00	2.05	276.117	-0.00	0.00	7.40	7.40	5.35	5.35	
5.47	0.00	0.00	15205.31	-0.00	0.00	2.74	276.117	-0.00	0.00	6.75	6.75	4.01	4.01	
6.84	0.00	0.00	18930.63	-0.00	0.00	3.41	240.528	-0.00	0.00	5.85	5.85	2.45	2.45	
8.21	0.00	0.00	22242.02	-0.00	0.00	4.02	240.528	-0.00	0.00	6.10	6.10	2.08	2.08	
9.58	0.00	0.00	25553.36	-0.00	0.00	4.65	240.528	-0.00	0.00	6.47	6.47	1.81	1.81	
10.95	0.00	0.00	28864.79	-0.00	0.00	5.30	240.528	-0.00	0.00	6.90	6.90	1.60	1.60	
12.32	0.00	0.00	32176.13	-0.00	0.00	5.95	240.528	-0.00	0.00	7.39	7.39	1.44	1.44	
13.68	0.00	0.00	35487.57	-0.00	0.00	6.61	240.528	-0.00	0.00	7.91	7.91	1.31	1.31	
15.05	0.00	0.00	38798.91	-0.00	0.00	7.27	240.528	-0.00	0.00	8.46	8.46	1.19	1.19	
16.42	0.00	0.00	42110.26	-0.00	0.00	7.93	240.528	-0.00	0.00	9.03	9.03	1.10	1.10	
17.79	0.00	0.00	45421.59	-0.00	0.00	8.60	240.528	-0.00	0.00	9.62	9.62	1.02	1.02	
19.16	0.00	0.00	48733.12	-0.00	0.00	9.27	240.528	-0.00	0.00	10.22	10.22	0.95	0.95	
20.53	0.00	0.00	52044.46	-0.00	0.00	9.95	240.528	-0.00	0.00	10.84	10.84	0.89	0.89	
21.90	0.00	0.00	55355.80	-0.00	0.00	10.62	240.528	-0.00	0.00	11.46	11.46	0.84	0.84	
23.26	0.00	0.00	58667.14	-0.00	0.00	11.30	240.528	-0.00	0.00	12.08	12.08	0.79	0.79	
24.63	0.00	0.00	61978.64	-0.00	0.00	11.97	240.528	-0.00	0.00	12.72	12.72	0.75	0.75	
26.00	0.00	0.00	65290.01	-0.00	0.00	12.65	240.528	-0.00	0.00	13.36	13.36	0.71	0.71	
27.37	0.00	0.00	68601.36	-0.00	0.00	13.33	240.528	-0.00	0.00	14.00	14.00	0.68	0.68	
28.74	0.00	0.00	71912.70	-0.00	0.00	14.00	240.528	-0.00	0.00	14.65	14.65	0.64	0.64	
30.11	0.00	0.00	75224.02	-0.00	0.00	14.68	240.528	-0.00	0.00	15.30	15.30	0.62	0.62	
31.47	0.00	0.00	78535.55	-0.00	0.00	15.36	240.528	-0.00	0.00	15.95	15.95	0.59	0.59	
32.84	0.00	0.00	81846.89	-0.00	0.00	16.04	240.528	-0.00	0.00	16.61	16.61	0.57	0.57	
34.21	0.00	0.00	85158.23	-0.00	0.00	16.72	240.528	-0.00	0.00	17.27	17.27	0.54	0.54	
35.58	0.00	0.00	88469.56	-0.00	0.00	17.40	240.528	-0.00	0.00	17.93	17.93	0.52	0.52	
36.95	0.00	0.00	91780.91	-0.00	0.00	18.08	240.528	-0.00	0.00	18.59	18.59	0.50	0.50	
38.32	0.00	0.00	95092.24	-0.00	0.00	18.76	240.528	-0.00	0.00	19.25	19.25	0.49	0.49	
39.69	0.00	0.00	98403.57	-0.00	0.00	19.44	240.528	-0.00	0.00	19.91	19.91	0.47	0.47	
41.05	0.00	0.00	101715.28	-0.00	0.00	20.13	240.528	-0.00	0.00	20.58	20.58	0.46	0.46	
42.42	0.00	0.00	105026.63	-0.00	0.00	20.81	240.528	-0.00	0.00	21.25	21.25	0.44	0.44	
43.79	0.00	0.00	108337.96	-0.00	0.00	21.49	240.528	-0.00	0.00	21.92	21.92	0.43	0.43	
45.16	0.00	0.00	111649.30	-0.00	0.00	22.17	240.528	-0.00	0.00	22.58	22.58	0.41	0.41	
46.53	0.00	0.00	114960.63	-0.00	0.00	22.85	240.528	-0.00	0.00	23.25	23.25	0.40	0.40	
47.90	0.00	0.00	118271.98	-0.00	0.00	23.53	240.528	-0.00	0.00	23.93	23.93	0.39	0.39	
49.26	0.00	0.00	121583.31	-0.00	0.00	24.22	240.528	-0.00	0.00	24.60	24.60	0.38	0.38	
50.63	0.00	0.00	124894.65	-0.00	0.00	24.90	240.528	-0.00	0.00	25.27	25.27	0.37	0.37	
52.00	0.00	0.00	128205.98	-0.00	0.00	25.58	240.528	-0.00	0.00	25.94	25.94	0.36	0.36	
53.37	0.00	0.00	131517.53	-0.00	0.00	26.26	240.528	-0.00	0.00	26.62	26.62	0.35	0.35	
54.74	0.00	0.00	134829.03	-0.00	0.00	26.95	240.528	-0.00	0.00	27.29	27.29	0.34	0.34	
56.11	0.00	0.00	138140.39	-0.00	0.00	27.63	240.528	-0.00	0.00	27.96	27.96	0.34	0.34	
57.47	0.00	0.00	141451.72	-0.00	0.00	28.31	240.528	-0.00	0.00	28.64	28.64	0.33	0.33	
58.84	0.00	0.00	144763.05	-0.00	0.00	28.99	240.528	-0.00	0.00	29.31	29.31	0.32	0.32	
60.21	0.00	0.00	148074.39	-0.00	0.00	29.68	240.528	-0.00	0.00	29.99	29.99	0.31	0.31	
61.58	0.00	0.00	151385.72	-0.00	0.00	30.36	240.528	-0.00	0.00	30.67	30.67	0.31	0.31	
62.95	0.00	0.00	154697.08	-0.00	0.00	31.04	240.528	-0.00	0.00	31.34	31.34	0.30	0.30	
64.32	0.00	0.00	158008.39	-0.00	0.00	31.73	240.528	-0.00	0.00	32.02	32.02	0.29	0.29	
65.69	0.00	0.00	161319.78	-0.00	0.00	32.41	240.528	-0.00	0.00	32.70	32.70	0.29	0.29	
67.05	0.00	0.00	164631.28	-0.00	0.00	33.09	240.528	-0.00	0.00	33.37	33.37	0.28	0.28	
68.42	0.00	0.00	167942.58	-0.00	0.00	33.77	240.528	-0.00	0.00	34.05	34.05	0.28	0.28	
69.79	0.00	0.00	171253.84	-0.00	0.00	34.46	240.528	-0.00	0.00	34.73	34.73	0.27	0.27	
71.16	0.00	0.00	174565.12	-0.00	0.00	35.14	240.528	-0.00	0.00	35.41	35.41	0.27	0.27	
72.53	0.00	0.00	177876.83	-0.00	0.00	35.82	240.528	-0.00	0.00	36.08	36.08	0.26	0.26	
73.90	0.00	0.00	181188.48	-0.00	0.00	36.51	240.528	-0.00	0.00	36.76	36.76	0.26	0.26	
75.26	0.00	0.00	184499.84	-0.00	0.00	37.19	240.528	-0.00	0.00	37.44	37.44	0.25	0.25	
76.63	0.00	0.00	187811.20	-0.00	0.00	37.87	240.528	-0.00	0.00	38.12	38.12	0.25	0.25	
78.00	0.00	0.00	191122.52	-0.00	0.00	38.56	240.528	-0.00	0.00	38.80	38.80	0.24	0.24	
79.37	0.00	0.00	194433.86	-0.00	0.00	39.24	240.528	-0.00	0.00	39.48	39.48	0.24	0.24	
80.74	0.00	0.00	197745.20	-0.00	0.00	39.92	240.528	-0.00	0.00	40.16	40.16	0.23	0.23	
82.11	0.00	0.00	201056.53	-0.00	0.00	40.61	240.528	-0.00	0.00	40.84	40.84	0.23	0.23	
83.48	0.00	0.00	204367.89	-0.00	0.00	41.29	240.528	-0.00	0.00	41.52	41.52	0.23	0.23	
84.84	0.00	0.00	207679.20	-0.00	0.00	41.97	240.528	-0.00	0.00	42.20	42.20	0.22	0.22	
86.21	0.00	0.00	210990.55	-0.00	0.00	42.66	240.528	-0.00	0.00	42.88	42.88	0.22	0.22	
87.58	0.00	0.00	214301.89	-0.00	0.00	43.34	240.528	-0.00	0.00	43.56	43.56	0.22	0.22	
88.95	0.00	0.00	217613.20	-0.00	0.00	44.03	240.528	-0.00	0.00	44.24	44.24	0.21	0.21	
90.32	0.00	0.00	220924.56	-0.00	0.00	44.71	240.528	-0.00	0.00	44.92	44.92	0.21	0.21	
91.69	0.00	0.00	224235.91	-0.00	0.00	45.39	240.528	-0.00	0.00	45.60	45.60	0.21	0.21	
93.05	0.00	0.00	227547.23	-0.00	0.00	46.08	240.528	-0.00	0.00	46.28	46.28	0.20	0.20	
94.42	0.00	0.00	230858.56	-0.00	0.00	46.76	240.528	-0.00	0.00	46.96	46.96	0.20	0.20	
95.79	0.00	0.00	234169.89	-0.00	0.00	47.44	240.528	-0.00	0.00	47.64	47.64	0.20	0.20	

97.16	0.00	0.00	237481.23	-0.00	0.00	48.13	240.528	-0.00	0.00	48.32	48.32	0.20	0.20
98.53	0.00	0.00	240793.28	-0.00	0.00	48.81	240.528	-0.00	0.00	49.00	49.00	0.19	0.19
99.90	0.00	0.00	244104.66	-0.00	0.00	49.49	240.528	-0.00	0.00	49.68	49.68	0.19	0.19
101.27	0.00	0.00	247416.02	-0.00	0.00	50.18	240.528	-0.00	0.00	50.37	50.37	0.19	0.19
102.63	0.00	0.00	250727.36	-0.00	0.00	50.86	240.528	-0.00	0.00	51.05	51.05	0.18	0.18
104.00	0.00	0.00	254038.67	-0.00	0.00	51.55	240.528	-0.00	0.00	51.73	51.73	0.18	0.18
105.37	0.00	0.00	257350.03	-0.00	0.00	52.23	240.528	-0.00	0.00	52.41	52.41	0.18	0.18
106.74	0.00	0.00	260661.36	-0.00	0.00	52.91	240.528	-0.00	0.00	53.09	53.09	0.18	0.18
108.11	0.00	0.00	263972.72	-0.00	0.00	53.60	240.528	-0.00	0.00	53.77	53.77	0.18	0.18
109.48	0.00	0.00	267284.03	-0.00	0.00	54.28	240.528	-0.00	0.00	54.45	54.45	0.17	0.17
110.84	0.00	0.00	270595.38	-0.00	0.00	54.97	240.528	-0.00	0.00	55.14	55.14	0.17	0.17
112.21	0.00	0.00	273906.69	-0.00	0.00	55.65	240.528	-0.00	0.00	55.82	55.82	0.17	0.17
113.58	0.00	0.00	277218.06	-0.00	0.00	56.33	240.528	-0.00	0.00	56.50	56.50	0.17	0.17
114.95	0.00	0.00	280529.38	-0.00	0.00	57.02	240.528	-0.00	0.00	57.18	57.18	0.17	0.17
116.32	0.00	0.00	283840.72	-0.00	0.00	57.70	240.528	-0.00	0.00	57.86	57.86	0.16	0.16
117.69	0.00	0.00	287152.06	-0.00	0.00	58.38	240.528	-0.00	0.00	58.55	58.55	0.16	0.16
119.06	0.00	0.00	290463.38	-0.00	0.00	59.07	240.528	-0.00	0.00	59.23	59.23	0.16	0.16
120.42	0.00	0.00	293774.75	-0.00	0.00	59.75	240.528	-0.00	0.00	59.91	59.91	0.16	0.16
121.79	0.00	0.00	297086.06	-0.00	0.00	60.44	240.528	-0.00	0.00	60.59	60.59	0.16	0.16
123.16	0.00	0.00	300397.59	-0.00	0.00	61.12	240.528	-0.00	0.00	61.27	61.27	0.15	0.15
124.53	0.00	0.00	303709.44	-0.00	0.00	61.80	240.528	-0.00	0.00	61.96	61.96	0.15	0.15
125.90	0.00	0.00	307020.78	-0.00	0.00	62.49	240.528	-0.00	0.00	62.64	62.64	0.15	0.15
127.27	0.00	0.00	310332.19	-0.00	0.00	63.17	240.528	-0.00	0.00	63.32	63.32	0.15	0.15
128.63	0.00	0.00	313643.50	-0.00	0.00	63.86	240.528	-0.00	0.00	64.00	64.00	0.15	0.15
130.00	0.00	0.00	316954.72	-0.00	0.00	64.54	240.528	-0.00	0.00	64.69	64.69	0.15	0.15
131.37	0.00	0.00	320266.22	-0.00	0.00	65.22	240.528	-0.00	0.00	65.37	65.37	0.14	0.14
132.74	0.00	0.00	323577.28	-0.00	0.00	65.91	240.528	-0.00	0.00	66.05	66.05	0.14	0.14
134.11	0.00	0.00	326888.84	-0.00	0.00	66.59	240.528	-0.00	0.00	66.73	66.73	0.14	0.14
135.48	0.00	0.00	330200.00	-0.00	0.00	67.28	240.528	-0.00	0.00	67.42	67.42	0.14	0.14
136.84	0.00	0.00	333511.53	-0.00	0.00	67.96	240.528	-0.00	0.00	68.10	68.10	0.14	0.14

 * *** MOSES *** *
 * ----- July 3, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITHOUT HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ PANEL WAVE FREQUENCY FORCES FOR SPAR +++
 =====

Pressure Name = SPAR Heading = 0.00

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

ENCOUNTER		Surge Force /		Sway Force /		Heave Force /		Roll Moment /		Pitch Moment /		Yaw Moment /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2094	30.00	2492	-89	0	0	1344	0	0	0	187551	-89	0	0
0.2108	29.80	2509	-89	0	0	1332	0	1	-177	189051	-89	0	0
0.2123	29.60	2526	-89	0	0	1320	0	1	-176	190576	-89	0	0
0.2137	29.40	2543	-89	0	0	1308	0	0	0	192127	-89	0	0
0.2152	29.20	2561	-89	0	0	1295	0	0	0	193706	-89	0	0
0.2167	29.00	2579	-89	0	0	1282	0	0	0	195314	-89	0	0
0.2182	28.80	2597	-89	0	0	1270	0	0	0	196950	-89	0	0
0.2197	28.60	2615	-89	0	0	1257	0	0	0	198615	-89	0	0
0.2212	28.40	2634	-89	0	0	1244	0	0	0	200311	-89	0	0
0.2228	28.20	2653	-89	0	0	1230	0	0	0	202038	-89	0	0
0.2244	28.00	2672	-89	0	0	1217	0	1	-176	203797	-89	0	0
0.2260	27.80	2691	-89	0	0	1203	0	0	0	205589	-89	0	0
0.2277	27.60	2711	-89	0	0	1190	0	0	0	207415	-89	0	0
0.2293	27.40	2731	-89	0	0	1176	0	0	0	209275	-89	0	0
0.2310	27.20	2751	-89	0	0	1161	0	0	0	211170	-89	0	0
0.2327	27.00	2772	-89	0	0	1147	0	0	0	213102	-89	0	0
0.2344	26.80	2793	-89	0	0	1133	0	0	0	215071	-89	0	0
0.2362	26.60	2814	-89	0	0	1118	0	0	0	217078	-89	0	0
0.2380	26.40	2836	-89	0	0	1103	0	0	0	219125	-89	0	0
0.2398	26.20	2857	-89	0	0	1088	0	0	0	221211	-89	0	0
0.2417	26.00	2880	-89	0	0	1073	0	0	0	223339	-89	0	0
0.2435	25.80	2902	-89	0	0	1058	0	0	0	225509	-89	0	0
0.2454	25.60	2925	-89	0	0	1043	0	0	0	227723	-89	0	0
0.2474	25.40	2948	-89	0	0	1027	0	1	-2	229981	-89	0	0
0.2493	25.20	2972	-89	0	0	1011	0	0	0	232285	-89	0	0
0.2513	25.00	2996	-89	0	0	995	0	0	0	234635	-89	0	0
0.2534	24.80	3020	-89	0	0	979	0	0	0	237032	-89	0	0
0.2554	24.60	3045	-89	0	0	963	0	1	-5	239479	-89	0	0
0.2575	24.40	3070	-89	0	0	947	0	0	0	241975	-89	0	0
0.2596	24.20	3096	-89	0	0	930	0	0	0	244523	-89	0	0
0.2618	24.00	3122	-89	0	0	914	0	1	-176	247122	-89	0	0
0.2640	23.80	3148	-89	0	0	897	0	0	0	249775	-89	0	0
0.2662	23.60	3174	-89	0	0	880	0	0	0	252483	-89	0	0
0.2685	23.40	3201	-89	0	0	863	0	1	-173	255246	-89	0	0
0.2708	23.20	3229	-89	0	0	846	0	1	-174	258064	-89	0	0
0.2732	23.00	3256	-89	0	0	829	0	0	0	260941	-89	0	0
0.2756	22.80	3279	-89	0	0	812	0	0	0	263722	-89	0	0

0.2780	22.60	3304	-89	0	0	795	0	0	0	266620	-89	0	0
0.2805	22.40	3251	-89	0	0	777	0	0	0	263437	-89	0	0
0.2830	22.20	3226	-89	0	0	760	0	0	0	262563	-89	0	0
0.2856	22.00	3209	-89	0	0	742	0	1	-175	262181	-89	0	0
0.2882	21.80	3196	-89	0	0	725	0	1	-7	262215	-89	0	0
0.2909	21.60	3228	-89	0	0	707	0	0	0	265620	-89	0	0
0.2936	21.40	3221	-89	0	0	689	0	0	0	266229	-89	0	0
0.2964	21.20	3252	-89	0	0	672	0	0	0	269752	-89	0	0
0.2992	21.00	3289	-89	0	0	654	0	1	-173	273540	-89	0	0
0.3021	20.80	3290	-89	0	0	636	0	0	0	274930	-89	0	0
0.3050	20.60	3323	-89	0	0	619	0	0	0	278655	-89	0	0
0.3080	20.40	3360	-89	0	0	601	0	1	-176	282667	-89	0	0
0.3110	20.20	3371	-89	0	0	583	0	0	0	284939	-89	0	0
0.3142	20.00	3410	-89	0	0	566	0	0	0	289203	-89	0	0
0.3173	19.80	3443	-89	0	0	548	0	1	4	293077	-89	0	0
0.3206	19.60	3464	-89	0	0	530	0	1	-174	296266	-89	0	0
0.3239	19.40	3502	-89	0	0	513	0	0	0	300627	-89	0	0
0.3272	19.20	3537	-89	0	0	496	0	0	0	304833	-89	0	0
0.3307	19.00	3571	-89	0	0	478	0	0	0	309092	-89	0	0
0.3342	18.80	3614	-89	0	0	461	0	0	0	313861	-89	0	0
0.3378	18.60	3643	-89	0	0	444	0	0	0	317893	-89	0	0
0.3415	18.40	3681	-89	0	0	427	1	0	0	322638	-89	0	0
0.3452	18.20	3721	-90	0	0	410	1	0	0	327433	-90	0	0
0.3491	18.00	3752	-90	0	0	394	1	0	0	331700	-90	0	0
0.3530	17.80	3798	-90	0	0	377	1	0	0	337180	-90	0	0
0.3570	17.60	3834	-90	0	0	361	1	0	0	341891	-90	0	0
0.3611	17.40	3869	-90	0	0	345	1	0	0	346742	-90	0	0
0.3653	17.20	3922	-90	0	0	329	1	1	180	352628	-90	0	0
0.3696	17.00	3943	-90	0	0	314	1	0	0	356705	-90	0	0
0.3740	16.80	3996	-90	0	0	298	1	0	0	363081	-90	0	0
0.3785	16.60	4033	-90	0	0	283	1	0	0	368270	-90	0	0
0.3831	16.40	4066	-90	0	0	268	1	0	0	373276	-90	0	0
0.3879	16.20	4105	-90	0	0	254	1	0	0	378827	-90	0	0
0.3927	16.00	4139	-90	0	0	239	1	0	0	383900	-90	0	0
0.3977	15.80	4197	-90	0	0	226	1	0	0	390940	-90	0	0
0.4028	15.60	4238	-90	0	0	212	1	0	0	396943	-90	0	0
0.4080	15.40	4264	-90	0	0	199	1	0	0	401824	-90	0	0
0.4134	15.20	4297	-90	0	0	186	1	0	0	407404	-90	0	0
0.4189	15.00	4331	-90	0	0	173	1	0	0	413095	-90	0	0
0.4245	14.80	4364	-90	0	0	161	1	0	0	418645	-90	0	0
0.4304	14.60	4397	-90	0	0	149	1	0	0	424440	-90	0	0
0.4333	14.50	4444	-90	0	0	144	1	0	0	429543	-90	0	0
0.4363	14.40	4467	-90	0	0	137	1	0	0	446896	-90	0	0
0.4425	14.20	4696	-90	0	0	126	1	0	0	452564	-90	0	0
0.4488	14.00	4724	-91	0	0	116	1	0	0	458269	-91	0	0
0.4553	13.80	4752	-91	0	0	106	2	0	0	464008	-91	0	0
0.4620	13.60	4779	-91	0	0	96	2	0	0	469777	-91	0	0
0.4689	13.40	4805	-91	0	0	87	2	0	0	475572	-91	0	0
0.4760	13.20	4830	-91	0	0	79	2	0	0	481387	-91	0	0
0.4833	13.00	4854	-91	0	0	71	2	0	0	487218	-91	0	0
0.4909	12.80	4877	-91	0	0	63	2	0	0	493057	-91	0	0
0.4987	12.60	4899	-91	0	0	56	2	0	0	498898	-91	0	0
0.5067	12.40	4920	-91	0	0	50	2	0	0	504735	-91	0	0
0.5150	12.20	4940	-92	0	0	44	2	0	0	510557	-92	0	0
0.5236	12.00	4959	-92	0	0	38	3	0	0	516355	-92	0	0
0.5325	11.80	4976	-92	0	0	33	3	0	0	522120	-92	0	0
0.5417	11.60	4992	-92	0	0	28	3	0	0	527836	-92	0	0
0.5512	11.40	5007	-92	0	0	24	3	0	0	533491	-92	0	0
0.5610	11.20	5020	-93	0	0	21	3	0	0	539068	-93	0	0
0.5712	11.00	5032	-93	0	0	17	4	0	0	544546	-93	0	0
0.5818	10.80	5042	-93	0	0	14	4	0	0	549904	-93	0	0
0.5928	10.60	5050	-94	0	0	12	4	0	0	555115	-94	0	0
0.6042	10.40	5057	-94	0	0	9	4	0	0	560147	-94	0	0
0.6160	10.20	5061	-94	0	0	8	5	0	0	564964	-94	0	0
0.6283	10.00	5062	-95	0	0	6	5	0	0	569522	-95	0	0
0.6411	9.80	5061	-95	0	0	5	5	0	0	573770	-95	0	0
0.6545	9.60	5057	-96	0	0	4	6	0	0	577646	-96	0	0
0.6684	9.40	5049	-96	0	0	3	6	0	0	581079	-96	0	0
0.6830	9.20	5037	-97	0	0	2	7	0	0	583983	-97	0	0
0.6981	9.00	5019	-97	0	0	1	7	0	0	586258	-97	0	0
0.7140	8.80	4997	-98	0	0	1	8	0	0	587786	-98	0	0
0.7306	8.60	4967	-99	0	0	1	9	0	0	588431	-99	0	0
0.7480	8.40	4930	-100	0	0	0	0	0	0	588036	-100	0	0
0.7662	8.20	4883	-100	0	0	0	0	0	0	586424	-100	0	0
0.7854	8.00	4827	-101	0	0	0	0	0	0	583397	-101	0	0
0.8055	7.80	4758	-102	0	0	0	0	0	0	578743	-102	0	0
0.8267	7.60	4675	-103	0	0	0	0	0	0	572236	-103	0	0
0.8491	7.40	4578	-104	0	0	0	0	0	0	563651	-104	0	0
0.8727	7.20	4463	-105	0	0	0	0	0	0	552775	-105	0	0
0.8976	7.00	4331	-106	0	0	0	0	0	0	539427	-106	0	0
0.9240	6.80	4180	-107	0	0	0	0	0	0	523480	-107	0	0
0.9520	6.60	4011	-108	0	0	0	0	0	0	504877	-108	0	0
0.9817	6.40	3823	-109	0	0	0	0	0	0	483663	-109	0	0
1.0134	6.20	3618	-109	0	0	0	0	0	0	459986	-109	0	0
1.0472	6.00	3398	-110	0	0	0	0	0	0	434113	-110	0	0
1.0833	5.80	3167	-110	0	0	0	0	0	0	406409	-110	0	0
1.1220	5.60	2928	-109	0	0	0	0	0	0	377328	-109	0	0
1.1636	5.40	2684	-108	0	0	0	0	0	0	347373	-108	0	0
1.2083	5.20	2440	-106	0	0	0	0	0	0	317061	-106	0	0

1.2566	5.00	2200	-104	0	0	0	0	0	0	286889	-104	0	0
1.3090	4.80	1966	-100	0	0	0	0	0	0	257303	-100	0	0
1.3659	4.60	1741	-96	0	0	0	0	0	0	228673	-96	0	0
1.4280	4.40	1527	-90	0	0	0	0	0	0	201279	-90	0	0
1.4960	4.20	1326	-83	0	0	0	0	0	0	175303	-83	0	0
1.5708	4.00	1137	-74	0	0	0	0	0	0	150816	-74	0	0
1.6535	3.80	959	-64	0	0	1	160	1	63	127708	-64	0	0
1.7453	3.60	790	-52	0	0	0	0	0	0	105586	-52	0	0
1.8480	3.40	617	-38	0	0	0	0	0	0	82885	-38	0	0
1.9635	3.20	371	-27	0	0	0	0	0	0	50642	-27	0	0
2.0944	3.00	585	66	0	0	0	0	0	0	76527	66	0	0
2.2440	2.80	443	56	0	0	0	0	0	0	59023	56	0	0

PPO OUTPUT

\$ MATRICES

\$ Dimensions are Meters and KN
 Frequency 0.4333 and Period 14.5000

Added Mass

9.34303E-01	5.94085E-07	1.53199E-07	-6.54716E-06	1.35284E+01	3.64696E-06
-7.27181E-07	9.34302E-01	1.34546E-07	-1.35283E+01	-1.77380E-05	-3.88441E-06
-1.01650E-08	-2.88683E-08	6.28081E-02	3.98828E-06	-2.83775E-06	1.51240E-06
-6.54716E-06	-1.35283E+01	3.98828E-06	1.67609E+03	2.85243E-03	5.32121E-05
1.35284E+01	-1.77380E-05	-2.83775E-06	-5.01561E-03	1.67608E+03	-1.02670E-05
3.64696E-06	-3.88441E-06	1.51240E-06	5.48921E-05	-9.62809E-06	1.00979E-09

Damping

7.10410E-02	1.52012E-08	-1.58958E-09	-8.08030E-08	-2.82062E+00	2.24005E-07
-2.87722E-09	7.04899E-02	3.40498E-09	2.78913E+00	-5.04808E-07	-3.91617E-08
8.47883E-10	-1.41744E-09	1.22067E-03	3.07837E-07	3.55715E-07	5.74221E-09
-8.08030E-08	2.78913E+00	3.07837E-07	4.99257E+02	3.45619E-05	3.29799E-06
-2.82062E+00	-5.04808E-07	3.55715E-07	-8.92017E-05	5.03749E+02	-8.79028E-06
2.24005E-07	-3.91617E-08	5.74221E-09	3.37513E-06	-8.74130E-06	5.89230E-09

SPAR DENGAN *HEAVE PLATE*
KONDISI TALI TAMBAT *INTACT*

Draft Tertambat: 139.554 m

 * *** MOSES *** *
 * ----- *
 * July 2, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITH HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---// Roll	Displac- KN	Center Of Buoyancy			W.P. / Area	/C. Flotation			Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-7.73	-0.00	-0.00	270.594	-5.57	0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.40	0.00	0.00	5555.88	-0.00	-0.00	0.58	276.116	-0.00	-0.00	11.57	11.57	10.99	10.99	
2.79	0.00	0.00	9432.45	-0.00	-0.00	1.20	276.116	-0.00	-0.00	7.67	7.67	6.47	6.47	
4.19	0.00	0.00	13309.04	-0.00	-0.00	1.87	276.116	-0.00	-0.00	6.46	6.46	4.59	4.59	
5.58	0.00	0.00	17185.63	-0.00	-0.00	2.55	276.116	-0.00	-0.00	6.10	6.10	3.55	3.55	
6.98	0.00	0.00	21062.20	-0.00	-0.00	3.24	276.116	-0.00	-0.00	6.13	6.13	2.90	2.90	
8.37	0.00	0.00	24538.41	-0.00	-0.00	3.86	240.528	-0.00	-0.00	5.75	5.75	1.89	1.89	
9.77	0.00	0.00	27915.36	-0.00	-0.00	4.49	240.528	-0.00	-0.00	6.15	6.15	1.66	1.66	
11.16	0.00	0.00	31292.20	-0.00	-0.00	5.14	240.528	-0.00	-0.00	6.62	6.62	1.48	1.48	
12.56	0.00	0.00	34669.12	-0.00	-0.00	5.79	240.528	-0.00	-0.00	7.13	7.13	1.34	1.34	
13.96	0.00	0.00	38046.18	0.00	0.00	6.45	240.528	-0.00	-0.00	7.67	7.67	1.22	1.22	
15.35	0.00	0.00	41422.97	-0.00	-0.00	7.12	240.528	-0.00	-0.00	8.24	8.24	1.12	1.12	
16.75	0.00	0.00	44800.03	-0.00	0.00	7.80	240.528	-0.00	-0.00	8.83	8.83	1.03	1.03	
18.14	0.00	0.00	48176.97	-0.00	0.00	8.47	240.528	-0.00	-0.00	9.43	9.43	0.96	0.96	
19.54	0.00	0.00	51553.86	-0.00	-0.00	9.15	240.528	-0.00	-0.00	10.05	10.05	0.90	0.90	
20.93	0.00	0.00	54930.76	0.00	-0.00	9.83	240.528	-0.00	-0.00	10.68	10.68	0.84	0.84	
22.33	0.00	0.00	58307.61	-0.00	0.00	10.52	240.528	-0.00	-0.00	11.31	11.31	0.79	0.79	
23.72	0.00	0.00	61684.64	-0.00	-0.00	11.20	240.528	-0.00	-0.00	11.95	11.95	0.75	0.75	
25.12	0.00	0.00	65061.63	-0.00	-0.00	11.89	240.528	-0.00	-0.00	12.60	12.60	0.71	0.71	
26.52	0.00	0.00	68438.48	-0.00	0.00	12.57	240.528	-0.00	-0.00	13.25	13.25	0.68	0.68	
27.91	0.00	0.00	71815.59	-0.00	-0.00	13.26	240.528	-0.00	-0.00	13.91	13.91	0.64	0.64	
29.31	0.00	0.00	75192.38	-0.00	-0.00	13.95	240.528	-0.00	-0.00	14.57	14.57	0.62	0.62	
30.70	0.00	0.00	78569.16	-0.00	-0.00	14.64	240.528	-0.00	-0.00	15.23	15.23	0.59	0.59	
32.10	0.00	0.00	81946.36	-0.00	-0.00	15.33	240.528	-0.00	-0.00	15.90	15.90	0.57	0.57	
33.49	0.00	0.00	85323.12	-0.00	-0.00	16.02	240.528	-0.00	-0.00	16.57	16.57	0.54	0.54	
34.89	0.00	0.00	88700.11	-0.00	0.00	16.72	240.528	-0.00	-0.00	17.24	17.24	0.52	0.52	
36.28	0.00	0.00	92076.98	-0.00	-0.00	17.41	240.528	-0.00	-0.00	17.91	17.91	0.50	0.50	
37.68	0.00	0.00	95453.98	-0.00	-0.00	18.10	240.528	-0.00	-0.00	18.59	18.59	0.49	0.49	
39.08	0.00	0.00	98830.56	-0.00	-0.00	18.79	240.528	-0.00	-0.00	19.26	19.26	0.47	0.47	
40.47	0.00	0.00	102207.74	-0.00	-0.00	19.49	240.528	-0.00	-0.00	19.94	19.94	0.45	0.45	
41.87	0.00	0.00	105584.95	-0.00	-0.00	20.18	240.528	-0.00	-0.00	20.62	20.62	0.44	0.44	
43.26	0.00	0.00	108961.66	-0.00	-0.00	20.87	240.528	-0.00	-0.00	21.30	21.30	0.43	0.43	
44.66	0.00	0.00	112338.77	-0.00	-0.00	21.57	240.528	-0.00	-0.00	21.98	21.98	0.41	0.41	
46.05	0.00	0.00	115715.39	-0.00	-0.00	22.26	240.528	-0.00	-0.00	22.66	22.66	0.40	0.40	
47.45	0.00	0.00	119092.37	-0.00	0.00	22.96	240.528	-0.00	-0.00	23.34	23.34	0.39	0.39	
48.84	0.00	0.00	122469.15	-0.00	0.00	23.65	240.528	-0.00	-0.00	24.03	24.03	0.38	0.38	
50.24	0.00	0.00	125846.38	-0.00	0.00	24.35	240.528	-0.00	-0.00	24.71	24.71	0.37	0.37	
51.63	0.00	0.00	129223.54	-0.00	-0.00	25.04	240.528	-0.00	-0.00	25.40	25.40	0.36	0.36	
53.03	0.00	0.00	132600.19	-0.00	-0.00	25.74	240.528	-0.00	-0.00	26.08	26.08	0.35	0.35	
54.43	0.00	0.00	135977.20	-0.00	0.00	26.43	240.528	-0.00	-0.00	26.77	26.77	0.34	0.34	
55.82	0.00	0.00	139353.81	-0.00	0.00	27.13	240.528	-0.00	-0.00	27.46	27.46	0.33	0.33	
57.22	0.00	0.00	142730.83	-0.00	-0.00	27.82	240.528	-0.00	-0.00	28.15	28.15	0.32	0.32	
58.61	0.00	0.00	146107.64	-0.00	-0.00	28.52	240.528	-0.00	-0.00	28.83	28.83	0.32	0.32	
60.01	0.00	0.00	149485.03	-0.00	-0.00	29.21	240.528	-0.00	-0.00	29.52	29.52	0.31	0.31	
61.40	0.00	0.00	152862.11	-0.00	0.00	29.91	240.528	-0.00	-0.00	30.21	30.21	0.30	0.30	
62.80	0.00	0.00	156238.70	-0.00	-0.00	30.60	240.528	-0.00	-0.00	30.90	30.90	0.30	0.30	
64.19	0.00	0.00	159615.66	-0.00	-0.00	31.30	240.528	-0.00	-0.00	31.59	31.59	0.29	0.29	
65.59	0.00	0.00	162992.44	-0.00	-0.00	32.00	240.528	-0.00	-0.00	32.28	32.28	0.28	0.28	
66.99	0.00	0.00	166369.28	-0.00	0.00	32.69	240.528	-0.00	-0.00	32.97	32.97	0.28	0.28	
68.38	0.00	0.00	169746.52	-0.00	-0.00	33.39	240.528	-0.00	-0.00	33.66	33.66	0.27	0.27	
69.78	0.00	0.00	173123.77	-0.00	-0.00	34.08	240.528	-0.00	-0.00	34.35	34.35	0.27	0.27	
71.17	0.00	0.00	176500.59	-0.00	-0.00	34.78	240.528	-0.00	-0.00	35.04	35.04	0.26	0.26	
72.57	0.00	0.00	179877.28	-0.00	0.00	35.48	240.528	-0.00	-0.00	35.73	35.73	0.26	0.26	
73.96	0.00	0.00	183253.83	-0.00	-0.00	36.17	240.528	-0.00	-0.00	36.43	36.43	0.25	0.25	
75.36	0.00	0.00	186631.38	-0.00	0.00	36.87	240.528	-0.00	-0.00	37.12	37.12	0.25	0.25	
76.75	0.00	0.00	190008.11	-0.00	0.00	37.57	240.528	-0.00	-0.00	37.81	37.81	0.24	0.24	
78.15	0.00	0.00	193385.08	-0.00	-0.00	38.26	240.528	-0.00	-0.00	38.50	38.50	0.24	0.24	
79.55	0.00	0.00	196762.06	-0.00	-0.00	38.96	240.528	-0.00	-0.00	39.19	39.19	0.24	0.24	
80.94	0.00	0.00	200139.09	-0.00	0.00	39.66	240.528	-0.00	-0.00	39.89	39.89	0.23	0.23	
82.34	0.00	0.00	203515.91	-0.00	0.00	40.35	240.528	-0.00	-0.00	40.58	40.58	0.23	0.23	
83.73	0.00	0.00	206892.30	-0.00	0.00	41.05	240.528	-0.00	-0.00	41.27	41.27	0.22	0.22	
85.13	0.00	0.00	210270.12	-0.00	-0.00	41.75	240.528	-0.00	-0.00	41.97	41.97	0.22	0.22	
86.52	0.00	0.00	213646.56	-0.00	0.00	42.44	240.528	-0.00	-0.00	42.66	42.66	0.22	0.22	
87.92	0.00	0.00	217023.61	-0.00	-0.00	43.14	240.528	-0.00	-0.00	43.35	43.35	0.21	0.21	
89.31	0.00	0.00	220400.34	-0.00	-0.00	43.84	240.528	-0.00	-0.00	44.05	44.05	0.21	0.21	
90.71	0.00	0.00	223777.61	-0.00	0.00	44.53	240.528	-0.00	-0.00	44.74	44.74	0.21	0.21	
92.11	0.00	0.00	227154.64	-0.00	0.00	45.23	240.528	-0.00	-0.00	45.43	45.43	0.20	0.20	
93.50	0.00	0.00	230530.83	-0.00	0.00	45.93	240.528	-0.00	-0.00	46.13	46.13	0.20	0.20	
94.90	0.00	0.00	233908.83	-0.00	0.00	46.62	240.528	-0.00	-0.00	46.82	46.82	0.20	0.20	
96.29	0.00	0.00	237284.98	-0.00	0.00	47.32	240.528	-0.00	-0.00	47.52	47.52	0.20	0.20	
97.69	0.00	0.00	240662.09	-0.00	0.00	48.02	240.528	-0.00	-0.00	48.21	48.21	0.19	0.19	

99.08	0.00	0.00	244039.23	-0.00	0.00	48.71	240.528	-0.00	-0.00	48.90	48.90	0.19	0.19
100.48	0.00	0.00	247416.06	-0.00	-0.00	49.41	240.528	-0.00	-0.00	49.60	49.60	0.19	0.19
101.87	0.00	0.00	250793.25	-0.00	0.00	50.11	240.528	-0.00	-0.00	50.29	50.29	0.18	0.18
103.27	0.00	0.00	254169.36	-0.00	0.00	50.81	240.528	-0.00	-0.00	50.99	50.99	0.18	0.18
104.67	0.00	0.00	257547.36	-0.00	-0.00	51.50	240.528	-0.00	-0.00	51.68	51.68	0.18	0.18
106.06	0.00	0.00	260923.34	-0.00	0.00	52.20	240.528	-0.00	-0.00	52.38	52.38	0.18	0.18
107.46	0.00	0.00	264300.53	-0.00	-0.00	52.90	240.528	-0.00	-0.00	53.07	53.07	0.18	0.18
108.85	0.00	0.00	267677.91	-0.00	-0.00	53.59	240.528	-0.00	-0.00	53.77	53.77	0.17	0.17
110.25	0.00	0.00	271054.44	-0.00	-0.00	54.29	240.528	-0.00	-0.00	54.46	54.46	0.17	0.17
111.64	0.00	0.00	274431.75	-0.00	0.00	54.99	240.528	-0.00	-0.00	55.16	55.16	0.17	0.17
113.04	0.00	0.00	277807.66	-0.00	-0.00	55.68	240.528	-0.00	-0.00	55.85	55.85	0.17	0.17
114.43	0.00	0.00	281185.66	-0.00	0.00	56.38	240.528	-0.00	-0.00	56.55	56.55	0.16	0.16
115.83	0.00	0.00	284562.53	-0.00	0.00	57.08	240.528	-0.00	-0.00	57.24	57.24	0.16	0.16
117.23	0.00	0.00	287938.78	-0.00	0.00	57.78	240.528	-0.00	-0.00	57.94	57.94	0.16	0.16
118.62	0.00	0.00	291316.69	-0.00	-0.00	58.47	240.528	-0.00	-0.00	58.63	58.63	0.16	0.16
120.02	0.00	0.00	294692.75	-0.00	0.00	59.17	240.528	-0.00	-0.00	59.33	59.33	0.16	0.16
121.41	0.00	0.00	298069.97	-0.00	0.00	59.87	240.528	-0.00	-0.00	60.02	60.02	0.16	0.16
122.81	0.00	0.00	301446.59	-0.00	-0.00	60.57	240.528	-0.00	-0.00	60.72	60.72	0.15	0.15
124.20	0.00	0.00	304823.94	-0.00	-0.00	61.26	240.528	-0.00	-0.00	61.41	61.41	0.15	0.15
125.60	0.00	0.00	308201.22	-0.00	-0.00	61.96	240.528	-0.00	-0.00	62.11	62.11	0.15	0.15
126.99	0.00	0.00	311577.06	-0.00	0.00	62.66	240.528	-0.00	-0.00	62.81	62.81	0.15	0.15
128.39	0.00	0.00	314955.00	-0.00	-0.00	63.35	240.528	-0.00	-0.00	63.50	63.50	0.15	0.15
129.79	0.00	0.00	318331.00	-0.00	-0.00	64.05	240.528	-0.00	-0.00	64.20	64.20	0.15	0.15
131.18	0.00	0.00	321708.28	-0.00	0.00	64.75	240.528	-0.00	-0.00	64.89	64.89	0.14	0.14
132.58	0.00	0.00	325085.28	-0.00	0.00	65.45	240.528	-0.00	-0.00	65.59	65.59	0.14	0.14
133.97	0.00	0.00	328461.94	-0.00	-0.00	66.14	240.528	-0.00	-0.00	66.28	66.28	0.14	0.14
135.37	0.00	0.00	331839.28	-0.00	0.00	66.84	240.528	-0.00	-0.00	66.98	66.98	0.14	0.14
136.76	0.00	0.00	335215.72	-0.00	-0.00	67.54	240.528	-0.00	-0.00	67.68	67.68	0.14	0.14
138.16	0.00	0.00	338593.38	-0.00	0.00	68.24	240.528	-0.00	-0.00	68.37	68.37	0.14	0.14
139.55	0.00	0.00	341970.41	-0.00	-0.00	68.93	240.528	-0.00	-0.00	69.07	69.07	0.14	0.14

 * *** MOSES *** *
 * ----- *
 * July 2, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITH HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ P A N E L W A V E F R E Q U E N C Y F O R C E S F O R S P A R +++
 =====

Pressure Name = SPAR Heading = 0.00

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

E N C O U N T E R		Surge Force /		Sway Force /		Heave Force /		Roll Moment /		Pitch Moment /		Yaw Moment /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2094	30.00	2533	-89	0	0	1243	0	0	0	194197	-89	0	0
0.2108	29.80	2550	-89	0	0	1230	0	0	0	195741	-89	0	0
0.2123	29.60	2568	-89	0	0	1217	0	1	180	197311	-89	0	0
0.2137	29.40	2585	-89	0	0	1204	0	0	0	198910	-89	0	0
0.2152	29.20	2603	-89	0	0	1191	0	1	-177	200536	-89	0	0
0.2167	29.00	2620	-89	0	0	1177	0	1	-178	202190	-89	0	0
0.2182	28.80	2639	-89	0	0	1164	0	0	0	203874	-89	0	0
0.2197	28.60	2657	-89	0	0	1150	0	0	0	205589	-89	0	0
0.2212	28.40	2676	-89	0	0	1136	0	0	0	207335	-89	0	0
0.2228	28.20	2695	-89	0	0	1122	0	0	0	209112	-89	0	0
0.2244	28.00	2714	-89	0	0	1107	0	0	0	210922	-89	0	0
0.2260	27.80	2733	-89	0	0	1093	0	0	0	212766	-89	0	0
0.2277	27.60	2753	-89	0	0	1078	0	1	-178	214644	-89	0	0
0.2293	27.40	2773	-89	0	0	1064	0	1	-177	216558	-89	0	0
0.2310	27.20	2793	-89	0	0	1049	0	0	0	218507	-89	0	0
0.2327	27.00	2814	-89	0	0	1034	0	0	0	220494	-89	0	0
0.2344	26.80	2835	-89	0	0	1018	0	0	0	222519	-89	0	0
0.2362	26.60	2856	-89	0	0	1003	0	1	-177	224583	-89	0	0
0.2380	26.40	2878	-89	0	0	987	0	1	-176	226687	-89	0	0
0.2398	26.20	2900	-89	0	0	972	0	1	-176	228833	-89	0	0
0.2417	26.00	2922	-89	0	0	955	0	0	0	231022	-89	0	0
0.2435	25.80	2945	-89	0	0	940	0	0	0	233250	-89	0	0
0.2454	25.60	2968	-89	0	0	924	0	0	0	235524	-89	0	0
0.2474	25.40	2990	-89	0	0	907	0	1	-3	237837	-89	0	0
0.2493	25.20	3013	-89	0	0	892	0	0	0	240196	-89	0	0
0.2513	25.00	3037	-89	0	0	874	0	0	0	242607	-89	0	0
0.2534	24.80	3061	-89	0	0	858	0	0	0	245069	-89	0	0
0.2554	24.60	3086	-89	0	0	841	0	0	0	247578	-89	0	0
0.2575	24.40	3111	-89	0	0	825	0	0	0	250140	-89	0	0
0.2596	24.20	3132	-89	0	0	808	0	0	0	252456	-89	0	0
0.2618	24.00	3160	-89	0	0	790	0	0	0	255288	-89	0	0
0.2640	23.80	3187	-89	0	0	774	0	0	0	258060	-89	0	0
0.2662	23.60	3216	-89	0	0	756	0	0	0	261039	-89	0	0
0.2685	23.40	3241	-89	0	0	739	0	1	-2	263722	-89	0	0
0.2708	23.20	3270	-89	0	0	721	0	0	0	266791	-89	0	0
0.2732	23.00	3296	-89	0	0	704	0	0	0	269617	-89	0	0
0.2756	22.80	3321	-89	0	0	687	0	0	0	272605	-89	0	0

0.2780	22.60	3346	-89	0	0	669	0	1	-176	275572	-89	0	0
0.2805	22.40	3288	-89	0	0	651	0	1	-174	272089	-89	0	0
0.2830	22.20	3264	-89	0	0	634	0	0	0	271229	-89	0	0
0.2856	22.00	3248	-89	0	0	616	0	1	-11	270822	-89	0	0
0.2882	21.80	3230	-89	0	0	599	0	0	0	270564	-89	0	0
0.2909	21.60	3261	-89	0	0	581	0	0	0	274059	-89	0	0
0.2936	21.40	3257	-89	0	0	564	0	0	0	274846	-89	0	0
0.2964	21.20	3287	-89	0	0	547	0	0	0	278401	-89	0	0
0.2992	21.00	3318	-89	0	0	530	0	0	0	282042	-89	0	0
0.3021	20.80	3327	-89	0	0	513	0	0	0	283856	-89	0	0
0.3050	20.60	3359	-89	0	0	496	0	1	-176	287710	-89	0	0
0.3080	20.40	3389	-89	0	0	478	0	0	0	291393	-89	0	0
0.3110	20.20	3406	-89	0	0	462	0	0	0	294019	-89	0	0
0.3142	20.00	3439	-89	0	0	445	0	0	0	298041	-89	0	0
0.3173	19.80	3471	-89	0	0	428	0	0	0	302046	-89	0	0
0.3206	19.60	3499	-89	0	0	412	1	0	0	305719	-89	0	0
0.3239	19.40	3532	-89	0	0	396	1	0	0	309820	-89	0	0
0.3272	19.20	3565	-89	0	0	380	1	0	0	313988	-89	0	0
0.3307	19.00	3609	-89	0	0	364	1	0	0	318995	-89	0	0
0.3342	18.80	3649	-89	0	0	348	1	0	0	324004	-89	0	0
0.3378	18.60	3678	-89	0	0	333	1	0	0	328072	-89	0	0
0.3415	18.40	3719	-89	0	0	318	1	1	-158	332971	-89	0	0
0.3452	18.20	3745	-90	0	0	305	1	0	0	337032	-90	0	0
0.3491	18.00	3780	-90	0	0	291	1	1	-168	341766	-90	0	0
0.3530	17.80	3827	-90	0	0	279	1	1	-167	347471	-90	0	0
0.3570	17.60	3860	-90	0	0	264	1	0	0	352172	-90	0	0
0.3611	17.40	3909	-90	0	0	249	1	0	0	358076	-90	0	0
0.3653	17.20	3933	-90	0	0	235	1	0	0	362211	-90	0	0
0.3696	17.00	3966	-90	0	0	224	1	0	0	367176	-90	0	0
0.3740	16.80	4030	-90	0	0	213	1	0	0	374423	-90	0	0
0.3785	16.60	4055	-90	0	0	202	1	0	0	378977	-90	0	0
0.3831	16.40	4092	-90	0	0	190	1	1	-165	384415	-90	0	0
0.3879	16.20	4136	-90	0	0	181	1	0	0	390577	-90	0	0
0.3927	16.00	4160	-90	0	0	170	1	0	0	395036	-90	0	0
0.3977	15.80	4222	-90	0	0	158	1	0	0	402585	-90	0	0
0.4028	15.60	4252	-90	0	0	146	1	0	0	407842	-90	0	0
0.4080	15.40	4284	-90	0	0	135	1	0	0	413388	-90	0	0
0.4134	15.20	4322	-90	0	0	123	1	0	0	419449	-90	0	0
0.4189	15.00	4347	-90	0	0	111	1	0	0	424534	-90	0	0
0.4245	14.80	4380	-90	0	0	97	1	0	0	430276	-90	0	0
0.4304	14.60	4411	-90	0	0	87	1	0	0	436034	-90	0	0
0.4333	14.50	4458	-90	0	0	82	1	0	0	441317	-90	0	0
0.4363	14.40	4686	-90	0	0	73	1	0	0	459416	-90	0	0
0.4425	14.20	4715	-90	0	0	66	1	0	0	465165	-90	0	0
0.4488	14.00	4742	-91	0	0	58	1	0	0	470950	-91	0	0
0.4553	13.80	4769	-91	0	0	52	2	0	0	476766	-91	0	0
0.4620	13.60	4795	-91	0	0	45	2	0	0	482610	-91	0	0
0.4689	13.40	4820	-91	0	0	40	2	0	0	488479	-91	0	0
0.4760	13.20	4844	-91	0	0	34	2	0	0	494365	-91	0	0
0.4833	13.00	4867	-91	0	0	29	2	0	0	500263	-91	0	0
0.4909	12.80	4889	-91	0	0	25	2	0	0	506167	-91	0	0
0.4987	12.60	4910	-91	0	0	21	2	0	0	512071	-91	0	0
0.5067	12.40	4931	-91	0	0	17	2	0	0	517967	-91	0	0
0.5150	12.20	4949	-92	0	0	14	2	0	0	523845	-92	0	0
0.5236	12.00	4967	-92	0	0	11	3	0	0	529697	-92	0	0
0.5325	11.80	4984	-92	0	0	9	3	0	0	535511	-92	0	0
0.5417	11.60	4999	-92	0	0	7	3	0	0	541273	-92	0	0
0.5512	11.40	5013	-92	0	0	5	3	0	0	546970	-92	0	0
0.5610	11.20	5026	-93	0	0	4	3	0	0	552584	-93	0	0
0.5712	11.00	5037	-93	0	0	2	4	0	0	558096	-93	0	0
0.5818	10.80	5046	-93	0	0	1	4	0	0	563482	-93	0	0
0.5928	10.60	5054	-94	0	0	1	4	0	0	568717	-94	0	0
0.6042	10.40	5059	-94	0	0	0	0	0	0	573766	-94	0	0
0.6160	10.20	5063	-94	0	0	0	0	0	0	578594	-94	0	0
0.6283	10.00	5064	-95	0	0	1	-174	0	0	583156	-95	0	0
0.6411	9.80	5063	-95	0	0	1	-174	0	0	587400	-95	0	0
0.6545	9.60	5058	-96	0	0	1	-173	0	0	591263	-96	0	0
0.6684	9.40	5049	-96	0	0	1	-173	0	0	594673	-96	0	0
0.6830	9.20	5037	-97	0	0	1	-172	0	0	597541	-97	0	0
0.6981	9.00	5020	-97	0	0	1	-172	0	0	599765	-97	0	0
0.7140	8.80	4997	-98	0	0	1	-171	0	0	601228	-98	0	0
0.7306	8.60	4967	-99	0	0	0	0	0	0	601789	-99	0	0
0.7480	8.40	4929	-100	0	0	0	0	0	0	601289	-100	0	0
0.7662	8.20	4883	-100	0	0	0	0	0	0	599547	-100	0	0
0.7854	8.00	4826	-101	0	0	0	0	0	0	596362	-101	0	0
0.8055	7.80	4757	-102	0	0	0	0	0	0	591517	-102	0	0
0.8267	7.60	4674	-103	0	0	0	0	0	0	584782	-103	0	0
0.8491	7.40	4577	-104	0	0	0	0	0	0	575928	-104	0	0
0.8727	7.20	4462	-105	0	0	0	0	0	0	564740	-105	0	0
0.8976	7.00	4330	-106	0	0	0	0	0	0	551032	-106	0	0
0.9240	6.80	4179	-107	0	0	0	0	0	0	534675	-107	0	0
0.9520	6.60	4010	-108	0	0	0	0	0	0	515613	-108	0	0
0.9817	6.40	3822	-109	0	0	0	0	0	0	493891	-109	0	0
1.0134	6.20	3617	-109	0	0	0	0	0	0	469662	-109	0	0
1.0472	6.00	3398	-110	0	0	0	0	0	0	443196	-110	0	0
1.0833	5.80	3166	-110	0	0	0	0	0	0	414869	-110	0	0
1.1220	5.60	2927	-109	0	0	0	0	0	0	385143	-109	0	0
1.1636	5.40	2683	-108	0	0	0	0	0	0	354529	-108	0	0
1.2083	5.20	2439	-106	0	0	0	0	0	0	323556	-106	0	0

1.2566	5.00	2199	-104	0	0	0	0	0	0	292730	-104	0	0
1.3090	4.80	1965	-100	0	0	0	0	0	0	262504	-100	0	0
1.3659	4.60	1740	-96	0	0	0	0	0	0	233255	-96	0	0
1.4280	4.40	1526	-90	0	0	0	0	0	0	205267	-90	0	0
1.4960	4.20	1324	-83	0	0	0	0	0	0	178725	-83	0	0
1.5708	4.00	1135	-74	0	0	0	0	0	0	153692	-74	0	0
1.6535	3.80	958	-64	0	0	1	161	0	0	130054	-64	0	0
1.7453	3.60	788	-52	0	0	0	0	0	0	107390	-52	0	0
1.8480	3.40	613	-39	0	0	0	0	0	0	84013	-39	0	0
1.9635	3.20	362	-28	0	0	0	0	0	0	50489	-28	0	0
2.0944	3.00	584	67	0	0	0	0	0	0	77913	67	0	0
2.2440	2.80	444	57	0	0	0	0	0	0	60373	57	0	0

PPO OUTPUT

\$ MATRICES

\$ Dimensions are Meters and KN
Frequency 0.4333 Period 14.5000

Added Mass

9.26027E-01	1.05495E-06	1.83789E-05	2.38918E-05	1.53269E+01	7.09862E-07
2.45216E-07	9.26009E-01	3.42456E-06	-1.53281E+01	-7.96413E-06	-5.81243E-06
-2.73721E-05	7.55629E-07	1.82893E-01	1.25134E-04	-9.21223E-04	1.29340E-06
2.38918E-05	-1.53281E+01	1.25134E-04	1.78281E+03	2.01236E-03	1.61450E-04
1.53269E+01	-7.96413E-06	-9.21223E-04	-5.91923E-03	1.78289E+03	-2.35258E-05
7.09862E-07	-5.81243E-06	1.29340E-06	1.61228E-04	-2.37177E-05	1.13377E-09

Damping

6.78349E-02	9.70420E-09	5.06978E-08	-1.35571E-07	-2.58603E+00	-1.78865E-08
3.60544E-09	6.72240E-02	5.01887E-09	2.55151E+00	6.09875E-07	-2.75997E-07
-2.06845E-07	1.26256E-08	2.69412E-03	-1.88900E-07	4.90665E-07	1.13224E-09
-1.35571E-07	2.55151E+00	-1.88900E-07	4.85962E+02	2.88978E-05	-6.27190E-06
-2.58603E+00	6.09875E-07	4.90665E-07	-4.21307E-05	4.90977E+02	1.19512E-06
-1.78865E-08	-2.75997E-07	1.13224E-09	-6.29637E-06	1.22119E-06	-3.89378E-09

SPAR DENGAN *HEAVE PLATE*
KONDISI TALI TAMBAT *DAMAGED*

Draft Tertambat: 137.473 m

 * *** MOSES *** *
 * ----- *
 * July 3, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITH HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ H Y D R O S T A T I C P R O P E R T I E S +++
 =====

For Body SPAR

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

/--- Draft	Condition Trim	---// Roll	Displac- KN	/-- Center Of Buoyancy --/			W.P. / Area	/C. Flotation /			Metacentric Heights			
				---X---	---Y---	---Z---		---X---	---Y---	-KMT-	-KML-	-BMT-	-BML-	
0.00	0.00	0.00	0.00	-7.73	-0.00	-0.00	270.594	-5.57	0.00	99999.99	99999.99	99999.99	99999.99	
1.37	0.00	0.00	5498.06	-0.00	-0.00	0.57	276.116	-0.00	-0.00	11.67	11.67	11.10	11.10	
2.75	0.00	0.00	9316.85	-0.00	-0.00	1.18	276.116	-0.00	-0.00	7.73	7.73	6.55	6.55	
4.12	0.00	0.00	13135.61	-0.00	0.00	1.84	276.116	-0.00	-0.00	6.49	6.49	4.65	4.65	
5.50	0.00	0.00	16954.37	-0.00	-0.00	2.51	276.116	-0.00	-0.00	6.11	6.11	3.60	3.60	
6.87	0.00	0.00	20773.17	-0.00	-0.00	3.18	276.116	-0.00	-0.00	6.12	6.12	2.94	2.94	
8.25	0.00	0.00	24236.25	-0.00	-0.00	3.81	240.528	-0.00	-0.00	5.72	5.72	1.91	1.91	
9.62	0.00	0.00	27562.79	-0.00	0.00	4.43	240.528	-0.00	-0.00	6.11	6.11	1.68	1.68	
11.00	0.00	0.00	30889.41	-0.00	0.00	5.06	240.528	-0.00	-0.00	6.56	6.56	1.50	1.50	
12.37	0.00	0.00	34216.04	-0.00	-0.00	5.70	240.528	-0.00	-0.00	7.06	7.06	1.35	1.35	
13.75	0.00	0.00	37542.57	-0.00	-0.00	6.36	240.528	-0.00	-0.00	7.59	7.59	1.23	1.23	
15.12	0.00	0.00	40869.18	-0.00	-0.00	7.01	240.528	-0.00	-0.00	8.15	8.15	1.13	1.13	
16.50	0.00	0.00	44195.64	-0.00	0.00	7.68	240.528	-0.00	-0.00	8.72	8.72	1.05	1.05	
17.87	0.00	0.00	47522.28	-0.00	-0.00	8.34	240.528	-0.00	-0.00	9.32	9.32	0.97	0.97	
19.25	0.00	0.00	50848.78	-0.00	-0.00	9.01	240.528	-0.00	-0.00	9.92	9.92	0.91	0.91	
20.62	0.00	0.00	54175.55	-0.00	-0.00	9.68	240.528	-0.00	-0.00	10.54	10.54	0.85	0.85	
22.00	0.00	0.00	57502.02	-0.00	-0.00	10.35	240.528	-0.00	-0.00	11.16	11.16	0.81	0.81	
23.37	0.00	0.00	60828.43	-0.00	0.00	11.03	240.528	-0.00	-0.00	11.79	11.79	0.76	0.76	
24.75	0.00	0.00	64155.26	-0.00	0.00	11.70	240.528	-0.00	-0.00	12.42	12.42	0.72	0.72	
26.12	0.00	0.00	67481.64	-0.00	-0.00	12.38	240.528	-0.00	-0.00	13.07	13.07	0.69	0.69	
27.49	0.00	0.00	70808.31	-0.00	-0.00	13.06	240.528	-0.00	-0.00	13.71	13.71	0.65	0.65	
28.87	0.00	0.00	74134.88	-0.00	0.00	13.74	240.528	-0.00	-0.00	14.36	14.36	0.62	0.62	
30.24	0.00	0.00	77461.51	-0.00	-0.00	14.42	240.528	-0.00	-0.00	15.01	15.01	0.60	0.60	
31.62	0.00	0.00	80788.14	-0.00	0.00	15.10	240.528	-0.00	-0.00	15.67	15.67	0.57	0.57	
32.99	0.00	0.00	84114.52	-0.00	0.00	15.78	240.528	-0.00	-0.00	16.33	16.33	0.55	0.55	
34.37	0.00	0.00	87441.21	-0.00	-0.00	16.46	240.528	-0.00	-0.00	16.99	16.99	0.53	0.53	
35.74	0.00	0.00	90767.57	-0.00	0.00	17.14	240.528	-0.00	-0.00	17.65	17.65	0.51	0.51	
37.12	0.00	0.00	94094.48	-0.00	0.00	17.82	240.528	-0.00	-0.00	18.31	18.31	0.49	0.49	
38.49	0.00	0.00	97421.10	-0.00	0.00	18.50	240.528	-0.00	-0.00	18.98	18.98	0.48	0.48	
39.87	0.00	0.00	100747.63	-0.00	-0.00	19.19	240.528	-0.00	-0.00	19.65	19.65	0.46	0.46	
41.24	0.00	0.00	104074.09	-0.00	0.00	19.87	240.528	-0.00	-0.00	20.31	20.31	0.45	0.45	
42.62	0.00	0.00	107400.45	-0.00	-0.00	20.55	240.528	-0.00	-0.00	20.98	20.98	0.43	0.43	
43.99	0.00	0.00	110726.96	-0.00	0.00	21.24	240.528	-0.00	-0.00	21.65	21.65	0.42	0.42	
45.37	0.00	0.00	114054.08	-0.00	0.00	21.92	240.528	-0.00	-0.00	22.33	22.33	0.41	0.41	
46.74	0.00	0.00	117380.59	-0.00	-0.00	22.60	240.528	-0.00	-0.00	23.00	23.00	0.39	0.39	
48.12	0.00	0.00	120706.97	-0.00	0.00	23.29	240.528	-0.00	-0.00	23.67	23.67	0.38	0.38	
49.49	0.00	0.00	124033.38	-0.00	0.00	23.97	240.528	-0.00	-0.00	24.35	24.35	0.37	0.37	
50.87	0.00	0.00	127359.80	-0.00	-0.00	24.66	240.528	-0.00	-0.00	25.02	25.02	0.36	0.36	
52.24	0.00	0.00	130687.04	-0.00	-0.00	25.34	240.528	-0.00	-0.00	25.70	25.70	0.35	0.35	
53.61	0.00	0.00	134013.48	-0.00	0.00	26.03	240.528	-0.00	-0.00	26.37	26.37	0.35	0.35	
54.99	0.00	0.00	137339.83	-0.00	-0.00	26.71	240.528	-0.00	-0.00	27.05	27.05	0.34	0.34	
56.36	0.00	0.00	140666.23	-0.00	-0.00	27.40	240.528	-0.00	-0.00	27.73	27.73	0.33	0.33	
57.74	0.00	0.00	143993.02	-0.00	-0.00	28.08	240.528	-0.00	-0.00	28.40	28.40	0.32	0.32	
59.11	0.00	0.00	147319.73	-0.00	-0.00	28.77	240.528	-0.00	-0.00	29.08	29.08	0.31	0.31	
60.49	0.00	0.00	150646.36	-0.00	0.00	29.45	240.528	-0.00	-0.00	29.76	29.76	0.31	0.31	
61.86	0.00	0.00	153972.72	-0.00	0.00	30.14	240.528	-0.00	-0.00	30.44	30.44	0.30	0.30	
63.24	0.00	0.00	157299.05	-0.00	-0.00	30.82	240.528	-0.00	-0.00	31.12	31.12	0.29	0.29	
64.61	0.00	0.00	160626.09	-0.00	0.00	31.51	240.528	-0.00	-0.00	31.80	31.80	0.29	0.29	
65.99	0.00	0.00	163952.59	-0.00	-0.00	32.19	240.528	-0.00	-0.00	32.48	32.48	0.28	0.28	
67.36	0.00	0.00	167279.28	-0.00	0.00	32.88	240.528	-0.00	-0.00	33.16	33.16	0.28	0.28	
68.74	0.00	0.00	170605.69	-0.00	-0.00	33.57	240.528	-0.00	-0.00	33.84	33.84	0.27	0.27	
70.11	0.00	0.00	173932.05	-0.00	-0.00	34.25	240.528	-0.00	-0.00	34.52	34.52	0.27	0.27	
71.49	0.00	0.00	177258.89	-0.00	0.00	34.94	240.528	-0.00	-0.00	35.20	35.20	0.26	0.26	
72.86	0.00	0.00	180585.38	-0.00	-0.00	35.62	240.528	-0.00	-0.00	35.88	35.88	0.26	0.26	
74.24	0.00	0.00	183911.75	-0.00	0.00	36.31	240.528	-0.00	-0.00	36.56	36.56	0.25	0.25	
75.61	0.00	0.00	187238.06	-0.00	-0.00	36.99	240.528	-0.00	-0.00	37.24	37.24	0.25	0.25	
76.98	0.00	0.00	190564.64	-0.00	0.00	37.68	240.528	-0.00	-0.00	37.92	37.92	0.24	0.24	
78.36	0.00	0.00	193891.95	-0.00	-0.00	38.37	240.528	-0.00	-0.00	38.61	38.61	0.24	0.24	
79.73	0.00	0.00	197218.36	-0.00	0.00	39.05	240.528	-0.00	-0.00	39.29	39.29	0.23	0.23	
81.11	0.00	0.00	200545.14	-0.00	-0.00	39.74	240.528	-0.00	-0.00	39.97	39.97	0.23	0.23	
82.48	0.00	0.00	203871.66	-0.00	-0.00	40.43	240.528	-0.00	-0.00	40.65	40.65	0.23	0.23	
83.86	0.00	0.00	207198.30	-0.00	0.00	41.11	240.528	-0.00	-0.00	41.34	41.34	0.22	0.22	
85.23	0.00	0.00	210524.78	-0.00	-0.00	41.80	240.528	-0.00	-0.00	42.02	42.02	0.22	0.22	
86.61	0.00	0.00	213851.09	-0.00	-0.00	42.48	240.528	-0.00	-0.00	42.70	42.70	0.22	0.22	
87.98	0.00	0.00	217177.47	-0.00	0.00	43.17	240.528	-0.00	-0.00	43.38	43.38	0.21	0.21	
89.36	0.00	0.00	220503.84	-0.00	-0.00	43.86	240.528	-0.00	-0.00	44.07	44.07	0.21	0.21	
90.73	0.00	0.00	223830.45	-0.00	-0.00	44.54	240.528	-0.00	-0.00	44.75	44.75	0.21	0.21	
92.11	0.00	0.00	227156.97	-0.00	0.00	45.23	240.528	-0.00	-0.00	45.43	45.43	0.20	0.20	
93.48	0.00	0.00	230484.45	-0.00	-0.00	45.92	240.528	-0.00	-0.00	46.12	46.12	0.20	0.20	
94.86	0.00	0.00	233811.14	-0.00	-0.00	46.60	240.528	-0.00	-0.00	46.80	46.80	0.20	0.20	
96.23	0.00	0.00	237137.61	-0.00	0.00	47.29	240.528	-0.00	-0.00	47.49	47.49	0.20	0.20	

97.61	0.00	0.00	240464.11	-0.00	0.00	47.98	240.528	-0.00	-0.00	48.17	48.17	0.19	0.19
98.98	0.00	0.00	243790.50	-0.00	0.00	48.66	240.528	-0.00	-0.00	48.85	48.85	0.19	0.19
100.36	0.00	0.00	247116.88	-0.00	-0.00	49.35	240.528	-0.00	-0.00	49.54	49.54	0.19	0.19
101.73	0.00	0.00	250443.25	-0.00	0.00	50.04	240.528	-0.00	-0.00	50.22	50.22	0.18	0.18
103.10	0.00	0.00	253769.66	-0.00	-0.00	50.72	240.528	-0.00	-0.00	50.91	50.91	0.18	0.18
104.48	0.00	0.00	257096.05	-0.00	0.00	51.41	240.528	-0.00	-0.00	51.59	51.59	0.18	0.18
105.85	0.00	0.00	260422.67	-0.00	-0.00	52.10	240.528	-0.00	-0.00	52.27	52.27	0.18	0.18
107.23	0.00	0.00	263750.19	-0.00	-0.00	52.78	240.528	-0.00	-0.00	52.96	52.96	0.18	0.18
108.60	0.00	0.00	267077.00	-0.00	-0.00	53.47	240.528	-0.00	-0.00	53.64	53.64	0.17	0.17
109.98	0.00	0.00	270403.44	-0.00	-0.00	54.16	240.528	-0.00	-0.00	54.33	54.33	0.17	0.17
111.35	0.00	0.00	273729.75	-0.00	-0.00	54.84	240.528	-0.00	-0.00	55.01	55.01	0.17	0.17
112.73	0.00	0.00	277056.06	-0.00	-0.00	55.53	240.528	-0.00	-0.00	55.70	55.70	0.17	0.17
114.10	0.00	0.00	280382.41	-0.00	-0.00	56.22	240.528	-0.00	-0.00	56.38	56.38	0.17	0.17
115.48	0.00	0.00	283708.78	-0.00	-0.00	56.90	240.528	-0.00	-0.00	57.07	57.07	0.16	0.16
116.85	0.00	0.00	287035.09	-0.00	0.00	57.59	240.528	-0.00	-0.00	57.75	57.75	0.16	0.16
118.23	0.00	0.00	290362.38	-0.00	0.00	58.28	240.528	-0.00	-0.00	58.44	58.44	0.16	0.16
119.60	0.00	0.00	293688.94	-0.00	-0.00	58.96	240.528	-0.00	-0.00	59.12	59.12	0.16	0.16
120.98	0.00	0.00	297015.50	-0.00	-0.00	59.65	240.528	-0.00	-0.00	59.81	59.81	0.16	0.16
122.35	0.00	0.00	300342.53	-0.00	-0.00	60.34	240.528	-0.00	-0.00	60.49	60.49	0.15	0.15
123.73	0.00	0.00	303668.88	-0.00	0.00	61.02	240.528	-0.00	-0.00	61.18	61.18	0.15	0.15
125.10	0.00	0.00	306995.19	-0.00	-0.00	61.71	240.528	-0.00	-0.00	61.86	61.86	0.15	0.15
126.48	0.00	0.00	310321.53	-0.00	-0.00	62.40	240.528	-0.00	-0.00	62.55	62.55	0.15	0.15
127.85	0.00	0.00	313647.78	-0.00	0.00	63.08	240.528	-0.00	-0.00	63.23	63.23	0.15	0.15
129.22	0.00	0.00	316974.38	-0.00	-0.00	63.77	240.528	-0.00	-0.00	63.92	63.92	0.15	0.15
130.60	0.00	0.00	320301.66	-0.00	0.00	64.46	240.528	-0.00	-0.00	64.60	64.60	0.14	0.14
131.97	0.00	0.00	323628.25	-0.00	-0.00	65.15	240.528	-0.00	-0.00	65.29	65.29	0.14	0.14
133.35	0.00	0.00	326954.50	-0.00	-0.00	65.83	240.528	-0.00	-0.00	65.97	65.97	0.14	0.14
134.72	0.00	0.00	330280.94	-0.00	0.00	66.52	240.528	-0.00	-0.00	66.66	66.66	0.14	0.14
136.10	0.00	0.00	333607.59	-0.00	-0.00	67.21	240.528	-0.00	-0.00	67.35	67.35	0.14	0.14
137.47	0.00	0.00	336933.84	-0.00	-0.00	67.89	240.528	-0.00	-0.00	68.03	68.03	0.14	0.14

 * *** MOSES *** *
 * ----- *
 * July 3, 2019 *
 * MODELLING & RAO ANALYSIS OF SPAR WITH HEAVE PLATE *
 * OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT ITS - FINAL PROJECT | by Gilrandi Adi Negoro *
 * *****

+++ P A N E L W A V E F R E Q U E N C Y F O R C E S F O R S P A R +++
 =====

Pressure Name = SPAR Heading = 0.00

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

E N C O U N T E R		Surge Force /		Sway Force /		Heave Force /		Roll Moment /		Pitch Moment /		Yaw Moment /	
Frequency	Period	Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.		Wave Ampl.	
-(Rad/Sec)-	-(Sec)-	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.2094	30.00	2505	-89	0	0	1251	0	1	0	188910	-89	0	0
0.2108	29.80	2522	-89	0	0	1238	0	0	0	190419	-89	0	0
0.2123	29.60	2539	-89	0	0	1225	0	1	0	191954	-89	0	0
0.2137	29.40	2556	-89	0	0	1212	0	1	-178	193516	-89	0	0
0.2152	29.20	2574	-89	0	0	1199	0	1	-1	195105	-89	0	0
0.2167	29.00	2591	-89	0	0	1186	0	0	0	196723	-89	0	0
0.2182	28.80	2609	-89	0	0	1172	0	0	0	198369	-89	0	0
0.2197	28.60	2628	-89	0	0	1158	0	0	0	200046	-89	0	0
0.2212	28.40	2646	-89	0	0	1145	0	0	0	201752	-89	0	0
0.2228	28.20	2665	-89	0	0	1131	0	1	-177	203490	-89	0	0
0.2244	28.00	2684	-89	0	0	1116	0	0	0	205260	-89	0	0
0.2260	27.80	2704	-89	0	0	1102	0	0	0	207064	-89	0	0
0.2277	27.60	2724	-89	0	0	1087	0	0	0	208901	-89	0	0
0.2293	27.40	2744	-89	0	0	1073	0	0	0	210772	-89	0	0
0.2310	27.20	2764	-89	0	0	1058	0	0	0	212680	-89	0	0
0.2327	27.00	2785	-89	0	0	1043	0	0	0	214623	-89	0	0
0.2344	26.80	2806	-89	0	0	1028	0	0	0	216605	-89	0	0
0.2362	26.60	2827	-89	0	0	1012	0	0	0	218625	-89	0	0
0.2380	26.40	2848	-89	0	0	997	0	1	-1	220684	-89	0	0
0.2398	26.20	2870	-89	0	0	981	0	0	0	222784	-89	0	0
0.2417	26.00	2893	-89	0	0	965	0	0	0	224926	-89	0	0
0.2435	25.80	2915	-89	0	0	950	0	1	-3	227108	-89	0	0
0.2454	25.60	2938	-89	0	0	934	0	0	0	229335	-89	0	0
0.2474	25.40	2961	-89	0	0	917	0	2	0	231598	-89	0	0
0.2493	25.20	2984	-89	0	0	901	0	1	-1	233908	-89	0	0
0.2513	25.00	3008	-89	0	0	884	0	1	-1	236268	-89	0	0
0.2534	24.80	3032	-89	0	0	868	0	1	-1	238680	-89	0	0
0.2554	24.60	3056	-89	0	0	851	0	1	-2	241137	-89	0	0
0.2575	24.40	3081	-89	0	0	834	0	0	0	243647	-89	0	0
0.2596	24.20	3102	-89	0	0	817	0	1	-174	245912	-89	0	0
0.2618	24.00	3130	-89	0	0	800	0	0	0	248690	-89	0	0
0.2640	23.80	3157	-89	0	0	783	0	1	-2	251408	-89	0	0
0.2662	23.60	3187	-89	0	0	766	0	0	0	254329	-89	0	0
0.2685	23.40	3211	-89	0	0	749	0	0	0	256959	-89	0	0
0.2708	23.20	3241	-89	0	0	731	0	1	-2	259972	-89	0	0
0.2732	23.00	3267	-89	0	0	714	0	1	-176	262741	-89	0	0
0.2756	22.80	3292	-89	0	0	697	0	0	0	265671	-89	0	0

0.2780	22.60	3317	-89	0	0	679	0	0	0	268579	-89	0	0
0.2805	22.40	3261	-89	0	0	661	0	0	0	265262	-89	0	0
0.2830	22.20	3238	-89	0	0	644	0	0	0	264481	-89	0	0
0.2856	22.00	3221	-89	0	0	626	0	0	0	264087	-89	0	0
0.2882	21.80	3207	-89	0	0	609	0	0	0	264044	-89	0	0
0.2909	21.60	3240	-89	0	0	591	0	0	0	267546	-89	0	0
0.2936	21.40	3233	-89	0	0	574	0	0	0	268113	-89	0	0
0.2964	21.20	3263	-89	0	0	556	0	0	0	271630	-89	0	0
0.2992	21.00	3300	-89	0	0	539	0	0	0	275455	-89	0	0
0.3021	20.80	3302	-89	0	0	522	0	1	0	276887	-89	0	0
0.3050	20.60	3334	-89	0	0	504	0	0	0	280629	-89	0	0
0.3080	20.40	3371	-89	0	0	487	0	0	0	284662	-89	0	0
0.3110	20.20	3382	-89	0	0	471	0	0	0	286946	-89	0	0
0.3142	20.00	3421	-89	0	0	454	0	0	0	291228	-89	0	0
0.3173	19.80	3454	-89	0	0	437	0	0	0	295135	-89	0	0
0.3206	19.60	3475	-89	0	0	420	1	1	1	298348	-89	0	0
0.3239	19.40	3513	-89	0	0	404	1	0	0	302732	-89	0	0
0.3272	19.20	3548	-89	0	0	388	1	0	0	306955	-89	0	0
0.3307	19.00	3582	-89	0	0	372	1	0	0	311239	-89	0	0
0.3342	18.80	3625	-89	0	0	356	1	0	0	316033	-89	0	0
0.3378	18.60	3653	-89	0	0	341	1	0	0	320088	-89	0	0
0.3415	18.40	3691	-89	0	0	325	1	0	0	324850	-89	0	0
0.3452	18.20	3732	-90	0	0	310	1	0	0	329730	-90	0	0
0.3491	18.00	3762	-90	0	0	295	1	0	0	333948	-90	0	0
0.3530	17.80	3808	-90	0	0	281	1	0	0	339469	-90	0	0
0.3570	17.60	3843	-90	0	0	267	1	0	0	344201	-90	0	0
0.3611	17.40	3878	-90	0	0	253	1	0	0	349072	-90	0	0
0.3653	17.20	3931	-90	0	0	238	1	0	0	355005	-90	0	0
0.3696	17.00	3951	-90	0	0	225	1	0	0	359074	-90	0	0
0.3740	16.80	4005	-90	0	0	212	1	0	0	365486	-90	0	0
0.3785	16.60	4041	-90	0	0	199	1	1	-5	370700	-90	0	0
0.3831	16.40	4074	-90	0	0	187	1	0	0	375728	-90	0	0
0.3879	16.20	4113	-90	0	0	175	1	0	0	381326	-90	0	0
0.3927	16.00	4147	-90	0	0	163	1	0	0	386403	-90	0	0
0.3977	15.80	4205	-90	0	0	152	1	0	0	393553	-90	0	0
0.4028	15.60	4245	-90	0	0	141	1	0	0	399500	-90	0	0
0.4080	15.40	4271	-90	0	0	129	1	1	169	404399	-90	0	0
0.4134	15.20	4304	-90	0	0	119	1	0	0	410001	-90	0	0
0.4189	15.00	4338	-90	0	0	109	1	0	0	415713	-90	0	0
0.4245	14.80	4370	-90	0	0	98	1	0	0	421285	-90	0	0
0.4304	14.60	4403	-90	0	0	90	1	0	0	427117	-90	0	0
0.4333	14.50	4449	-90	0	0	86	1	0	0	432235	-90	0	0
0.4363	14.40	4672	-90	0	0	77	1	0	0	449670	-90	0	0
0.4425	14.20	4701	-90	0	0	69	1	0	0	455362	-90	0	0
0.4488	14.00	4730	-91	0	0	61	1	0	0	461091	-91	0	0
0.4553	13.80	4757	-91	0	0	54	2	0	0	466853	-91	0	0
0.4620	13.60	4784	-91	0	0	48	2	0	0	472645	-91	0	0
0.4689	13.40	4809	-91	0	0	42	2	0	0	478462	-91	0	0
0.4760	13.20	4834	-91	0	0	36	2	0	0	484299	-91	0	0
0.4833	13.00	4858	-91	0	0	31	2	0	0	490151	-91	0	0
0.4909	12.80	4881	-91	0	0	26	2	0	0	496011	-91	0	0
0.4987	12.60	4903	-91	0	0	22	2	0	0	501873	-91	0	0
0.5067	12.40	4923	-91	0	0	18	2	0	0	507729	-91	0	0
0.5150	12.20	4943	-92	0	0	15	2	0	0	513570	-92	0	0
0.5236	12.00	4961	-92	0	0	12	3	0	0	519387	-92	0	0
0.5325	11.80	4978	-92	0	0	10	3	0	0	525168	-92	0	0
0.5417	11.60	4994	-92	0	0	7	3	0	0	530901	-92	0	0
0.5512	11.40	5009	-92	0	0	5	3	0	0	536571	-92	0	0
0.5610	11.20	5022	-93	0	0	4	3	0	0	542162	-93	0	0
0.5712	11.00	5033	-93	0	0	3	4	0	0	547654	-93	0	0
0.5818	10.80	5043	-93	0	0	2	4	0	0	553023	-93	0	0
0.5928	10.60	5051	-94	0	0	1	4	0	0	558245	-94	0	0
0.6042	10.40	5057	-94	0	0	0	0	0	0	563286	-94	0	0
0.6160	10.20	5061	-94	0	0	0	0	0	0	568110	-94	0	0
0.6283	10.00	5063	-95	0	0	1	-174	0	0	572673	-95	0	0
0.6411	9.80	5062	-95	0	0	1	-174	0	0	576925	-95	0	0
0.6545	9.60	5057	-96	0	0	1	-173	0	0	580802	-96	0	0
0.6684	9.40	5049	-96	0	0	1	-173	0	0	584233	-96	0	0
0.6830	9.20	5037	-97	0	0	1	-172	0	0	587133	-97	0	0
0.6981	9.00	5020	-97	0	0	1	-172	0	0	589399	-97	0	0
0.7140	8.80	4997	-98	0	0	1	-171	0	0	590915	-98	0	0
0.7306	8.60	4967	-99	0	0	0	0	0	0	591544	-99	0	0
0.7480	8.40	4930	-100	0	0	0	0	0	0	591127	-100	0	0
0.7662	8.20	4883	-100	0	0	0	0	0	0	589487	-100	0	0
0.7854	8.00	4827	-101	0	0	0	0	0	0	586426	-101	0	0
0.8055	7.80	4758	-102	0	0	0	0	0	0	581729	-102	0	0
0.8267	7.60	4675	-103	0	0	0	0	0	0	575171	-103	0	0
0.8491	7.40	4578	-104	0	0	0	0	0	0	566524	-104	0	0
0.8727	7.20	4463	-105	0	0	0	0	0	0	555578	-105	0	0
0.8976	7.00	4331	-106	0	0	0	0	0	0	542147	-106	0	0
0.9240	6.80	4180	-107	0	0	0	0	0	0	526104	-107	0	0
0.9520	6.60	4011	-108	0	0	0	0	0	0	507395	-108	0	0
0.9817	6.40	3823	-109	0	0	0	0	0	0	486063	-109	0	0
1.0134	6.20	3618	-109	0	0	0	0	0	0	462258	-109	0	0
1.0472	6.00	3398	-110	0	0	0	0	0	0	436246	-110	0	0
1.0833	5.80	3167	-110	0	0	0	0	0	0	408398	-110	0	0
1.1220	5.60	2928	-109	0	0	0	0	0	0	379167	-109	0	0
1.1636	5.40	2684	-108	0	0	0	0	0	0	349058	-108	0	0
1.2083	5.20	2440	-106	0	0	0	0	0	0	318593	-106	0	0

1.2566	5.00	2200	-104	0	0	0	0	0	0	288270	-104	0	0
1.3090	4.80	1966	-100	0	0	0	0	0	0	258537	-100	0	0
1.3659	4.60	1741	-96	0	0	0	0	0	0	229766	-96	0	0
1.4280	4.40	1527	-90	0	0	0	0	0	0	202237	-90	0	0
1.4960	4.20	1326	-83	0	0	0	0	0	0	176135	-83	0	0
1.5708	4.00	1137	-74	0	0	0	0	0	0	151529	-74	0	0
1.6535	3.80	959	-64	0	0	1	160	1	68	128310	-64	0	0
1.7453	3.60	790	-52	0	0	0	0	0	0	106082	-52	0	0
1.8480	3.40	617	-38	0	0	0	0	0	0	83272	-38	0	0
1.9635	3.20	371	-27	0	0	0	0	0	0	50873	-27	0	0
2.0944	3.00	585	66	0	0	0	0	0	0	76894	66	0	0
2.2440	2.80	443	56	0	0	0	0	0	0	59301	56	0	0

PPO OUTPUT

\$ MATRICES

\$ Dimensions are Meters and KN
 Frequency 0.4333 and Period 14.5000

Added Mass

9.28553E-01	-1.63213E-07	4.28935E-06	-5.45330E-05	1.43471E+01	-1.86052E-06
-3.09146E-07	9.28550E-01	-6.10651E-07	-1.43472E+01	5.27455E-05	-7.38542E-06
-2.27679E-05	1.02034E-06	1.85080E-01	-3.19412E-05	-3.00610E-04	-1.30993E-08
-5.45330E-05	-1.43472E+01	-3.19412E-05	1.70555E+03	4.09984E-03	1.76171E-04
1.43471E+01	5.27455E-05	-3.00610E-04	-3.09487E-04	1.70556E+03	-9.54510E-06
-1.86052E-06	-7.38542E-06	-1.30993E-08	1.75953E-04	-9.47923E-06	1.00402E-09

Damping

6.88585E-02	4.28135E-09	1.91601E-08	-9.05751E-07	-2.65573E+00	-8.16763E-08
2.96182E-09	6.82602E-02	-2.61648E-09	2.62192E+00	1.47561E-06	-3.29226E-07
-1.70714E-07	9.75859E-09	2.90255E-03	1.52141E-07	-1.14559E-07	-6.97899E-09
-9.05751E-07	2.62192E+00	1.52141E-07	4.83461E+02	5.97822E-06	-7.67861E-06
-2.65573E+00	1.47561E-06	-1.14559E-07	-3.66889E-05	4.88296E+02	2.50566E-06
-8.16763E-08	-3.29226E-07	-6.97899E-09	-7.68882E-06	2.49687E-06	-1.49532E-08

LAMPIRAN E
KALKULASI KALIBRASI GELOMBANG

TABULASI GELOMBANG TEORITIS

w(rad/s)	Sw (m ² /(rad/s))	SM	S*SM	w*S*SM	(w ²)*S*SM	(w ⁴)*S*SM
0.05	0	1	0	0	0	0
0.09265	2.039E-188	4	8.2E-188	7.6E-189	7E-190	6E-192
0.1353	3.881E-47	2	7.76E-47	1.05E-47	1.42E-48	2.6E-50
0.1779	6.902E-16	4	2.76E-15	4.91E-16	8.74E-17	2.77E-18
0.2206	0.00000734	2	1.47E-05	3.24E-06	7.14E-07	3.48E-08
0.2632	0.02702	4	0.10808	0.028447	0.007487	0.000519
0.3059	0.7188	2	1.4376	0.439762	0.134523	0.012588
0.3485	2.928	4	11.712	4.081632	1.422449	0.17276
0.3912	7.673	2	15.346	6.003355	2.348513	0.35941
0.4338	17.82	4	71.28	30.92126	13.41364	2.524212
0.4765	9.704	2	19.408	9.247912	4.40663	1.000535
0.5191	4.698	4	18.792	9.754927	5.063783	1.364511
0.5618	3.369	2	6.738	3.785408	2.126642	0.671209
0.6044	2.601	4	10.404	6.288178	3.800575	1.388347
0.6471	2.002	2	4.004	2.590988	1.676629	0.702069
0.6897	1.539	4	6.156	4.245793	2.928324	1.392963
0.7324	1.189	2	2.378	1.741647	1.275582	0.684235
0.775	0.9243	4	3.6972	2.86533	2.220631	1.333766
0.8176	0.7239	2	1.4478	1.183721	0.967811	0.646952
0.8603	0.5715	4	2.286	1.966646	1.691905	1.252206
0.9029	0.4553	2	0.9106	0.822181	0.742347	0.605182
0.9456	0.3655	4	1.462	1.382467	1.307261	1.1689

0.9882	0.2958	2		0.5916		0.58461 9		0.57772 1		0.56416 7
1.031	0.2411	4		0.9644		0.99429 6		1.02512		1.08966 2
1.074	0.1981	2		0.3962		0.42551 9		0.45700 7		0.52714 7
1.116	0.1638	4		0.6552		0.73120 3		0.81602 3		1.01632
1.159	0.1363	2		0.2726		0.31594 3		0.36617 8		0.49188
1.201	0.1142	4		0.4568		0.54861 7		0.65888 9		0.95038 2
1.244	0.09617	2		0.19234		0.23927 1		0.29765 3		0.46062 9
1.287	0.08144	4		0.32576		0.41925 3		0.53957 9		0.89374 2
1.329	0.06931	2		0.13862		0.18422 6		0.24483 6		0.43244
1.372	0.05929	4		0.23716		0.32538 4		0.44642 6		0.84034 6
1.415	0.05096	2		0.10192		0.14421 7		0.20406 7		0.40858 8
1.457	0.04398	4		0.17592		0.25631 5		0.37345 2		0.79278 1
1.5	0.03811	1		0.03811		0.05716 5		0.08574 8		0.19293 2
RESULTAN			E 0	177.267 7	E 1	92.5756 9	E 2	51.6274 3	E 4	23.9413 8

Gamm	3.3	
a		
dw	0.04265	rad/ s
m0	2.52015625	m2
m1	1.316117733	m2
m2	0.733970008	m2
m4	0.340366629	m2
Hs	6.35	m
Tm	12.03130109	m
Tp	14.41277566	s

TABULASI GELOMBANG TERUKUR DARI WAVE PROBE

w(rad/s)	Sw (m2/(rad/s))	SM	S*SM	w*S*SM	(w^2)*S*SM	(w^4)*S*SM
0.05	0.002513	1	0.002513	0.000126	6.28E-06	1.57E-08
0.09265	0.001969	4	0.007876	0.00073	6.76E-05	5.8E-07
0.1353	0.002467	2	0.004934	0.000668	9.03E-05	1.65E-06
0.1779	0.003803	4	0.015212	0.002706	0.000481	1.52E-05
0.2206	0.004163	2	0.008326	0.001837	0.000405	1.97E-05
0.2632	0.0491	4	0.1964	0.051692	0.013605	0.000943
0.3059	0.8571	2	1.7142	0.524374	0.160406	0.01501
0.3485	4.238	4	16.952	5.907772	2.058859	0.250053
0.3912	8.589	2	17.178	6.720034	2.628877	0.402317
0.4338	15.8	4	63.2	27.41616	11.89313	2.238078
0.4765	11.03	2	22.06	10.51159	5.008773	1.137253
0.5191	4.503	4	18.012	9.350029	4.8536	1.307874
0.5618	3.256	2	6.512	3.658442	2.055312	0.648696
0.6044	2.516	4	10.064	6.082682	3.676373	1.342977
0.6471	2.154	2	4.308	2.787707	1.803925	0.755373
0.6897	1.45	4	5.8	4.00026	2.758979	1.312408
0.7324	0.9849	2	1.9698	1.442682	1.05662	0.566781
0.775	0.6886	4	2.7544	2.13466	1.654362	0.993651
0.8176	0.7533	2	1.5066	1.231796	1.007117	0.673227
0.8603	0.5789	4	2.3156	1.992111	1.713813	1.26842
0.9029	0.3061	2	0.6122	0.552755	0.499083	0.406867
0.9456	0.2851	4	1.1404	1.078362	1.019699	0.911774

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Gilrandi Adi Negoro lahir di Kota Sidoarjo, 28 Desember 1996, merupakan putra pertama dari pasangan Khoirul Eko Wahyudi dan Wiwik Widayanti. Penulis telah melalui beberapa jenjang pendidikan mulai SD Muhammadiyah 1 & 2 Sepanjang, Taman, Sidoarjo pada tahun 2003 s/d 2009. Lalu melanjutkan jenjang studi tingkat menengah di SMP Negeri 01 Taman, Sidoarjo, dan SMP-IT Daarul Fikri, Parongpong Bandung Barat. Dan menempuh jenjang studi tingkat atas di MA SALMAN, Cirebon hingga tahun 2015. Setelah menyelesaikan studi di masa sekolah, penulis menempuh pendidikan kuliah di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama masa perkuliahan, penulis sangat aktif dalam berorganisasi dan mengikuti berbagai kepanitiaan. Selama masa perkuliahan, penulis sempat mengikuti beberapa kompetisi, diantaranya lolos sebagai PKM-KC terdani tahun 2016, dan juga finalis lomba Oil Rig Design Competition BOREYES 2016. Penulis juga pernah diamanahi menjadi Ketua PAMMITS (Pasar Malam Minggu ITS) pada tahun 2017, dan pernah diamanahi untuk menjabat sebagai Menteri Perekonomian BEM ITS Gelora Aksi selama tahun 2018 s/d 2019. Pada tahun ketiga perkuliahan, penulis juga sempat melaksanakan program Kerja Praktek di PT Pertamina Hulu Energi Offshore North West Java (PHE-ONWJ) pada bagian Pipeline Repair and Replacement Project (PRRP) selama dua bulan. Penulis terdaftar juga sebagai anggota Laboratorium Hidrodinamika FTK ITS serta melanjutkan penelitian tugas akhir yang meneliti mengenai SPAR di Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT. Penulis menyusun tugas akhir dengan judul “Studi Eksperimen Pengaruh Gelombang Terhadap Respons SPAR Dengan dan Tanpa *Heave Plate* Pada Kondisi Sistem Tambat *Intact* dan *Damaged*” yang telah diselesaikan dalam kurun waktu 1 semester sehingga dapat memenuhi syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar sarjana (S-1).

Email: gilrandiadi@gmail.com