



TUGAS AKHIR – MO 141326

*ANALISIS RESPON GERAKAN SPAR DENGAN VARIASI  
MULTI KOLOM PADA KONDISI PEMBEBANAN  
GELOMBANG REGULER DAN GELOMBANG ACAK*

Agus Madatama Puja

NRP. 04311440000088

Dosen Pembimbing

Ir. Murdjito, M.Sc.,Eng

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

Departemen Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018



FINAL PROJECT – MO 141326

*ANALYSIS THE MOTION RESPONSE OF SPAR WITH MULTI-COLUMN VARIATION IN REGULAR WAVE AND IRREGULAR WAVE LOAD CONDITIONS*

Agus Madatama Puja

NRP. 04311440000088

Supervisors :

Ir. Murdjito, M.Sc.,Eng

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

Ocean Engineering Department

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

**ANALISIS RESPON GERAKAN SPAR DENGAN VARIASI  
MULTI KOLOM PADA KONDISI PEMBEBANAN  
GELOMBANG REGULER DAN GELOMBANG ACAK**

**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 :**

**AGUS MADATAMA PUJA**  
**NRP. 0431144000088**

**Disetujui oleh :**

1. Ir. Murdjito, M.Sc., Eng ..... (Pembimbing 1)

2. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D ..... (Pembimbing 2)

3. Ir. Mas Murtedjo, M.Eng ..... (Penguji 1)

4. Dr. Eng. Rudi Walujo P, S.T., M.T. .... (Penguji 2)

**Surabaya, Juli 2018**

# **ANALISIS RESPON GERAKAN SPAR DENGAN VARIASI MULTI KOLOM PADA KONDISI PEMBEBANAN GELOMBANG REGULER DAN GELOMBANG ACAK**

Nama : Agus Madatama Puja  
NRP : 04311440000088  
Departemen : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Ir. Murdjito, M.Sc.,Eng  
Prof. Ir. Eko B. Djatmiko, M.Sc.,Ph.D

## **ABSTRAK**

SPAR merupakan bangunan apung yang digunakan untuk proses eksplorasi dan eksploitasi migas memiliki kelemahan berupa nilai draft yang cukup besar yang bertujuan untuk meningkatkan stabilitasnya dengan membuat titik pusat massa serendah mungkin. Tugas akhir ini melakukan analisa pada classic SPAR yaitu Neptune Spar dengan diberikan sub struktur multi kolom pada bagian dasar SPAR dengan tujuan membuat posisi titik pusat massa SPAR serendah mungkin sekaligus mengurangi nilai draft dibandingkan kondisi sebelumnya. Tugas akhir ini melakukan analisa respon gerakan SPAR dengan variasi multi kolom sebanyak 4 tipe SPAR beserta variasi persentase ballast sebanyak 4 variasi. Kondisi SPAR diberikan dua kondisi utama yaitu kondisi terapung bebas dan tertambat dengan menggunakan sistem taut. Respon gerakan SPAR diberikan dua jenis pembebanan gelombang yaitu gelombang reguler dan gelombang acak. Analisa pada pembebanan gelombang reguler dengan kondisi mengapung bebas dengan kualitas gerakan heave paling baik dimiliki oleh SPAR tipe 2. Mode gerakan pitch pembebanan gelombang reguler respon paling baik dimiliki oleh SPAR tipe 4 dengan variasi ballast multi kolom sebesar 0% dan mode gerakan roll paling baik pada SPAR tipe 4 ballast 0%. Pada kondisi tertambat semua SPAR memiliki nilai heave yang sama, sedangkan pada mode gerakan pitch dimiliki oleh SPAR tipe 2 dengan variasi ballast 0%, sedangkan pada mode gerakan roll paling baik dimiliki oleh SPAR tipe 4 ballast 0%. Pada pembebanan gelombang acak kondisi terapung bebas, mode gerakan heave paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 3. Pada mode gerakan pitch dimiliki oleh SPAR tipe 4 dengan variasi ballast 0%, mode gerakan roll dimiliki oleh SPAR tipe 4 variasi ballast 0%. Pada kondisi pembebanan gelombang acak kondisi tertambat, kualitas mode gerakan heave paling baik dimiliki oleh SPAR tipe 2 dan SPAR tipe 4. Sedangkan mode gerakan pitch dimiliki oleh SPAR tipe 4 variasi ballast 50%. Sedangkan untuk mode gerakan roll dimiliki oleh SPAR Tipe 4 variasi ballast 0%.

***Kata Kunci : Ballast, Multi Kolom, RAO, Spektra Respon***

# **ANALYSIS THE MOTION RESPONSE OF SPAR WITH MULTI-COLUMN VARIATION IN REGULAR WAVE AND IRREGULAR WAVE LOAD CONDITIONS**

Name : Agus Madatama Puja  
NRP : 04311440000088  
Department : Ocean Engineering  
Supervisors : Ir. Murdjito, M.Sc.,Eng  
Prof. Ir. Eko B. Djatmiko, M.Sc.,Ph.D

## **ABSTRACT**

SPAR is a floating platform which uses for exploration and exploitation oil and gas in deep-water seas. SPAR have a weakness were the value of draft is too big in purpose for increasing the stability with the change the center of gravity's position as low as possible. This final project is analysis the motion of classic SPAR (red: Neptune SPAR) with adding some sub structure multi column in the base of main SPAR for decrease the draft value of SPAR as low as possible. The final project had analysis the response of platform with multi column variation. The type of SPAR for analysis use four types variation and percentage the quantity of ballast in multi column. Main condition of SPAR using a two conditions as free floating and moored with taut system. SPAR's motion responses using two loads for analysis, the load are regular wave load and irregular wave load. The analysis in regular wave load with free floating condition it gives a conclusion for quality motion response for heave mode the SPAR Type 2 is the best between all various type of SPAR. SPAR type 4 with percentage ballast 0 percent is the best in pitch motion. SPAR type 4 with percentage ballast 0 percent is the best in roll motion. In moored condition, all type of SPAR have a good quality response in heave motion, SPAR type 2 in 0 percentage ballast is the best when pitch mode motion, SPAR type 4 in 0 percentage ballast is the best when the platform in roll motion. The motion analysis using an irregular wave load in free floating condition, SPAR type 3 is the best in heave motion, SPAR type 4 with 0 percentage ballast is the best in pitch motion, SPAR type 4 with 0 percentage ballast is the best in roll motion. The motion analysis using an irregular wave load in moored condition, SPAR type 2 and 4 is the best in a heave motion, SPAR type 4 with percentage ballast 50 percent is the best in pitch motion, SPAR type 4 in percentage ballast 0 percent is the best in roll motion.

***Keywords : ballast, multi column, RAO, response spectra***

## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakattu

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Sholawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi besar Muhammad SAW.

Tugas akhir yang penulis susun dengan judul *Analisis Respon Gerakan SPAR dengan Variasi Multi Kolom pada Kondisi Pembebanan Gelombang Reguler dan Gelombang Acak*. Tugas akhir ini dibuat dengan tujuan untuk memenuhi syarat dalam menyelesaikan program Sarjana S-1 Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas akhir ini menitikberatkan pada analisis respon gerakan dari bangunan apung jenis classic SPAR ketika diberikan tambahan modifikasi sub struktur multi kolom dengan variasi ballast ketika diberikan beban gelombang reguler dan beban gelombang acak. Tugas akhir ini diharapkan bisa digunakan sebagai referensi serta pondasi dalam menentukan respon gerakan SPAR yang telah diberikan modifikasi ketika ditempatkan di lingkungan tertentu.

Penulis menyadari masih banyak bagian-bagian pada tugas akhir ini untuk dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Penulis menerima kritik dan saran dalam tugas akhir ini untuk menjadikan tugas akhir ini lebih layak lagi disajikan untuk para akademisi dan bisa bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan di dunia teknik kelautan.

Surabaya, 2018

Agus Madatama Puja

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat dalam pengerjaan tugas akhir meliputi :

1. Bapak Ir. Murdjito, M.Sc.,Eng yang telah membimbing penulis serta memberikan ide dan masukan pada tugas akhir ini hingga bisa diselesaikan.
2. Bapak Prof. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.,Ph.D yang telah membimbing penulis dengan memberikan berbagai masukan beserta inspirasi-inspirasi hingga menjadikan tugas akhir ini dapat diselesaikan.
3. Ibu, Bapak, Adik beserta seluruh keluarga yang secara langsung memberikan dorongan motivasi, moral, dan berbagai macam dukungan yang menjadikan penulis mampu untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman seperjuangan Maelstrom P-54 L-32 yang menjadi keluarga dalam mengarungi berbagai macam rintangan yang selama ini dihadapi selama masa perkuliahan.
5. Teman-teman KSR PMI ITS yang selama ini menjadi pendukung serta penyemangat penulis ditahun-tahun perkuliahan.
6. Teman-teman HMTP dan Ketarik Malaikat yang tidak pernah lelah memberikan dukungan yang menjadikan penulis mendapatkan banyak inspirasi di masa perkuliahan.
7. Diah Yulianti sebagai teman, pasangan sekaligus penyemangat dikala lelah ketika menghadapi berbagai tantangan yang selama ini dihadapi penulis di bangku perkuliahan.

Terimakasih juga penulis ucapkan kepada semua pihak yang tidak disebutkan baik yang terlibat secara langsung maupun tidak selama masa perkuliahan yang penulis jalani.

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1.    LATAR BELAKANG.....	1
1.2.    RUMUSAN MASALAH .....	6
1.3.    TUJUAN PENELITIAN .....	7
1.4.    MANFAAT PENELITIAN.....	7
1.5.    BATASAN MASALAH .....	7
1.6.    SISTEMATIKA PENULISAN .....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI .....	11
2.1.    TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.2.    DASAR TEORI .....	14
2.2.1.    Teori Gerakan Bangunan Apung.....	14
2.2.2.    Beban Hidrodinamika .....	16
2.2.3.    Gaya Eksitasi.....	17
2.2.4.    Gaya Reaksi.....	18
2.2.5.    Persamaan Gerak.....	22
2.2.6.    RAO (Response Amplitude Operator) .....	26
2.2.7.    Spektrum Energi Gelombang .....	28
2.2.8.    Spektra Respon.....	32
2.2.9.    Sistem Tambat.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1.    DIAGRAM ALIR ATAU FLOW CHART.....	37
3.2.    PENJELASAN DIAGRAM ALIR.....	38
3.3.    ALUR WAKTU Pengerjaan Tugas Akhir .....	51
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN .....	53



4.1.	Permodelan Numeris SPAR.....	53
4.1.1.	Permodelan Lambung SPAR .....	53
4.1.2.	Permodelan Multi Kolom SPAR.....	55
4.1.3.	Permodelan Modifikasi SPAR .....	59
4.1.4.	Permodelan Tanki pada SPAR.....	60
4.2.	Permodelan Tali Tambat.....	62
4.3.	Validasi Model SPAR.....	64
4.4.	Penentuan Displasemen dan Draft SPAR .....	65
4.5.	Posisi KB & KG SPAR.....	67
4.6.	Posisi Radius Girasi SPAR .....	68
4.7.	Spektrum Gelombang Lingkungan SPAR .....	71
4.8.	Response Amplitude Operator Free Floating.....	73
4.8.1.	Mode Gerakan Heave.....	73
4.8.2.	Mode Gerakan Pitch.....	77
4.8.3.	Mode Gerakan Roll.....	81
4.9.	Response Amplitude Operator Tertambat.....	85
4.9.1.	Mode Gerakan Heave.....	85
4.9.2.	Mode Gerakan Pitch.....	89
4.9.3.	Mode Gerakan Roll.....	93
4.10.	Response Amplitude Operator Maksimum Free Floating dan Tertambat ....	97
4.10.1	RAO Free Floating.....	97
4.10.2	RAO Tertambat.....	98
4.11.	Spektra Respon Free Floating .....	98
4.11.1.	Mode Gerakan Heave.....	99
4.11.2.	Mode Gerakan Pitch.....	102
4.11.3.	Mode Gerakan Roll.....	106
4.12.	Spektra Respon Tertambat .....	110
4.12.1.	Mode Gerakan Heave.....	110
4.12.2.	Mode Gerakan Pitch.....	114
4.12.3.	Mode Gerakan Roll.....	118
4.13.	Spektra Respon Maksimum Free Floating dan Tertambat.....	122
4.13.1.	Spektra Respon Free Floating .....	122
4.13.2.	Spektra Respon Tertambat .....	123
4.14.	Analisis RAO dan Spektra Respon .....	124

BAB V PENUTUP.....	126
5.1    KESIMPULAN.....	126
5.2    SARAN.....	128
DAFTAR PUSTAKA.....	129
LAMPIRAN.....	132

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Peta sumber daya migas tahun 2016 (SKK Migas, 2016) .....	2
<b>Gambar 1.2.</b> Skema perkembangan bangunan lepas pantai (Faltinsen, 1990) .....	2
<b>Gambar 1.3.</b> Tiga generasi spar yang telah dibangun (Vardeman, 2009) .....	4
<b>Gambar 1.4.</b> Model truss-cell spar platform (Chana dan Joko, 2016).....	5
<b>Gambar 1.5.</b> Modifikasi lambung spar platform (Yang dan Xu, 2015) .....	5
<b>Gambar 1.6.</b> Spar yang telah diberikan modifikasi multi kolom (Puja, 2018).....	6
<b>Gambar 2.1.</b> Variasi model spar dari penelitian Yang (Yang, 2015) .....	12
<b>Gambar 2.2.</b> Variasi model spar dari penelitian Tucker (Tucker, 1982).....	13
<b>Gambar 2.3.</b> Desain rencana SPAR (Kim, 2012) .....	14
<b>Gambar 2.4.</b> Mode gerakan enam derajat kebebasan (Journee, 2001) .....	15
<b>Gambar 2.5.</b> Mode gerakan 6-derajat kebebasan pada deep water platform (Faltinsen, 1990) .....	16
<b>Gambar 2.6.</b> Superposisi dari gaya eksitasi, massa tambah, redaman dan kekakuan (Faltinsen, 1990) .....	17
<b>Gambar 2.7.</b> Hubungan massa tambah dengan silinder vertikal yang bergerak dengan mode heave (Journee, 2001) .....	19
<b>Gambar 2.8.</b> Koefisien massa tambah untuk bentuk 2-Dimensi (Journee, 2001) .....	20
<b>Gambar 2.9.</b> Hubungan koefisien redaman dengan frekuensi pada silinder vertikal yang bergerak (Journee, 2001) .....	20
<b>Gambar 2.10.</b> Gerakan vertikal silinder terapung (Journee, 2001) .....	23
<b>Gambar 2.11.</b> Neptune Spar pada saat operasional (Kim, 2012) .....	26
<b>Gambar 2.12.</b> Heave RAO pada platform spar (Ahmed, 2016) .....	28
<b>Gambar 2.13.</b> Spektrum energi gelombang (Chakrabarti, 2005a).....	29
<b>Gambar 2.13.</b> Perbandingan spektra JONSWAP versi Goda dengan Journee .....	32
<b>Gambar 2.14.</b> Ilustrasi analisa spektra.....	33
<b>Gambar 2.15.</b> Proses analisa spektra .....	33
<b>Gambar 2.16.</b> Tiga sistem tambat yang sering digunakan (Kim, 2012) .....	34
<b>Gambar 3.1.</b> Flowchart pengerjaan prosedur tugas akhir .....	38
<b>Gambar 3.2.</b> flowchart prosedur pengerjaan tugas akhir (Lanjutan) .....	38
<b>Gambar 3.3.</b> Properti tanki pada neptune spar .....	41
<b>Gambar 3.4.</b> Model numeris Neptune spar.....	42
<b>Gambar 3.5.</b> Definisi tanki pada model Neptune Spar tipe 2 .....	43
<b>Gambar 3.6.</b> Desain perencanaan sub struktur multi kolom.....	46

<b>Gambar 3.7.</b> Desain multi kolom tampak 3 dimensi .....	48
<b>Gambar 3.8.</b> Spar Tipe 1 pada kondisi <i>free floating</i> .....	49
<b>Gambar 3.9.</b> Spar Tipe 1 pada kondisi tertambat .....	50
<b>Gambar 4.1.</b> Permodelan numeris Neptune Spar dengan Maxsurf Hull Modeller .....	54
<b>Gambar 4.2.</b> (a) Model numeris Neptune Spar tampak perspektif (b) tampak depan (c) tampak atas (d) setelah mengamali proses meshing .....	55
<b>Gambar 4.3.</b> Desain 3-D sub struktur multi kolom, dimulai dari kiri struktur .....	56
<b>Gambar 4.4.</b> Desain perencanaan multi kolom.....	57
<b>Gambar 4.5.</b> (a) tampak atas SPAR tipe 1 (b) tampak atas SPAR tipe 2 (c) tampak atas SPAR tipe 3 (d) tampak atas SPAR tipe 4 .....	60
<b>Gambar 4.6.</b> (a) permodelan 3-dimensi SPAR tipe 2 (b) SPAR tipe 3 (c) SPAR tipe 4 .	60
<b>Gambar 4.7.</b> Struktur internal pada Neptune SPAR (Kim, 2012) .....	61
<b>Gambar 4.8.</b> Model masing-masing SPAR dengan definisi tanki didalamnya (a) SPAR Tipe 1 (b) SPAR Tipe 2 (c) SPAR Tipe 3 (d) SPAR Tipe 4 .....	62
<b>Gambar 4.9.</b> Konfigurasi tali tambat semua tipe SPAR .....	62
<b>Gambar 4.10.</b> Konfigurasi tali tambat tampak depan .....	63
<b>Gambar 4.11.</b> Polyester Bridon Superline (Bridon, 2015) .....	63
<b>Gambar 4.12.</b> Spar 1,2,3, dan 4 (dari kiri ke kanan) pada kondisi displasemen sama.....	67
<b>Gambar 4.13.</b> Ilustrasi titik pusat massa SPAR .....	67
<b>Gambar 4.14.</b> Momen inersia pada tabung berongga (Marghitu, 2012).....	69
<b>Gambar 4.15.</b> Posisi momen inersia silinder pejal (Marghitu, 2012) .....	69
<b>Gambar 4.16.</b> posisi momen inersia struktur balok (Marghitu, 2012).....	70
<b>Gambar 4.17.</b> Perbandingan RAO dengan spektrum JONSWAP .....	73
<b>Gambar 4.18.</b> Grafik RAO mode gerakan heave SPAR tipe 1 variasi arah eksitasi gelombang .....	73
<b>Gambar 4.19.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom .....	74
<b>Gambar 4.20.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom .....	75
<b>Gambar 4.21.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom .....	76
<b>Gambar 4.22.</b> Grafik mode gerakan pitch pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah .....	77
<b>Gambar 4.23.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom .....	78
<b>Gambar 4.24.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom .....	79

<b>Gambar 4.25.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom.....	80
<b>Gambar 4.26.</b> Grafik mode gerakan roll pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah .....	81
<b>Gambar 4.27.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom.....	82
<b>Gambar 4.28.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom.....	83
<b>Gambar 4.29.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom.....	84
<b>Gambar 4.30.</b> Grafik RAO mode gerakan heave SPAR tipe 1 variasi arah eksitasi gelombang.....	85
<b>Gambar 4.31.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom.....	86
<b>Gambar 4.32.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom.....	87
<b>Gambar 4.33.</b> Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom.....	88
<b>Gambar 4.34.</b> Grafik mode gerakan pitch pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah.....	89
<b>Gambar 4.35.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom.....	90
<b>Gambar 4.36.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom.....	91
<b>Gambar 4.37.</b> Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom.....	92
<b>Gambar 4.38.</b> Grafik mode gerakan roll pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah .....	93
<b>Gambar 4.39.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom.....	94
<b>Gambar 4.40.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom.....	95
<b>Gambar 4.41.</b> Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom.....	96
<b>Gambar 4.42.</b> Grafik respon spektra heave SPAR tipe 1 pada kondisi free floating .....	99
<b>Gambar 4.43.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	100
<b>Gambar 4.44.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	101
<b>Gambar 4.45.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	102
<b>Gambar 4.46.</b> Grafik respon spektra pitch SPAR tipe 1 pada kondisi free floating .....	103

<b>Gambar 4.47.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast.....	104
<b>Gambar 4.48.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast.....	105
<b>Gambar 4.49.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast.....	106
<b>Gambar 4.50.</b> Grafik respon spektra roll SPAR tipe 1 pada kondisi free floating.....	107
<b>Gambar 4.51.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	108
<b>Gambar 4.52.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	109
<b>Gambar 4.53.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	110
<b>Gambar 4.54.</b> Grafik respon spektra heave SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat .....	111
<b>Gambar 4.55.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast.....	112
<b>Gambar 4.56.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast.....	113
<b>Gambar 4.57.</b> Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast.....	114
<b>Gambar 4.58.</b> Grafik respon spektra pitch SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat.....	115
<b>Gambar 4.59.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast.....	116
<b>Gambar 4.60.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast.....	117
<b>Gambar 4.61.</b> Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast.....	118
<b>Gambar 4.62.</b> Grafik respon spektra roll SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat .....	119
<b>Gambar 4.63.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	120
<b>Gambar 4.64.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	121
<b>Gambar 4.65.</b> Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	122

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.1.</b> Cadangan migas tahun 2016 (SKK Migas, 2016) .....	1
<b>Tabel 1.2.</b> Komparasi fungsi masing-masing bangunan apung (Chakrabarti, 2005) .....	3
<b>Tabel 3.1.</b> Properti Neptune Spar (Irani, 2000) .....	39
<b>Tabel 3.2.</b> Properti sub struktur Neptune Spar (Ciputra, 2010).....	40
<b>Tabel 3.3.</b> Hidrostatik Neptune Spar (Kim, 2012).....	40
<b>Tabel 3.4.</b> Report keluaran dari analisa hidrostatik Neptune spar .....	44
<b>Tabel 3.5.</b> Dimensi utama multi kolom .....	45
<b>Tabel 3.6.</b> Properti material penyusun multi kolom .....	46
<b>Tabel 3.7.</b> Properti struktur penyusun multi kolom.....	47
<b>Tabel 3.8.</b> Posisi watertight pada multi kolom .....	48
<b>Tabel 3.9.</b> Parameter yang dimasukkan pada spektrum JONSWAP .....	51
<b>Tabel 3.10.</b> Timeline pengerjaan tugas akhir .....	52
<b>Tabel 4.1.</b> Data dimensi utama Neptune SPAR (Irani, 2000) .....	53
<b>Tabel 4.2.</b> Dimensi utama dari sub struktur multi kolom.....	56
<b>Tabel 4.3.</b> Posisi watertight pada sub struktur multi kolom .....	57
<b>Tabel 4.4.</b> Properti material dari sub struktur multi kolom .....	57
<b>Tabel 4.5.</b> Kalkulasi berat total dari sub struktur multi kolom.....	58
<b>Tabel 4.6.</b> Posisi masing-masing multi kolom .....	59
<b>Tabel 4.7.</b> Properti struktur Neptune Spar (Ciputra, 2010) .....	61
<b>Tabel 4.8.</b> Properti Polyester Bridon Superline (Bridon, 2015) .....	64
<b>Tabel 4.9.</b> Properti tali tambat untuk analisa gerakan semua tipe SPAR .....	64
<b>Tabel 4.10.</b> Validasi model dengan data Neptune Spar yang ada di lapangan.....	65
<b>Tabel 4.11.</b> Draft masing-masing tipe SPAR .....	66
<b>Tabel 4.12.</b> Posisi KG dan KB dari masing-masing variasi SPAR .....	68
<b>Tabel 4.13.</b> Nilai radius girasi masing-masing SPAR.....	71
<b>Tabel 4.14.</b> Spektrum JONSWAP pada kondisi perairan Natuna .....	72
<b>Tabel 4.15.</b> Nilai maksimum mode gerakan heave pada SPAR tipe 1 .....	74
<b>Tabel 4.16.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	75
<b>Tabel 4.17.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	76
<b>Tabel 4.18.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	77

<b>Tabel 4.19.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang .....	78
<b>Tabel 4.20.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	79
<b>Tabel 4.21.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	80
<b>Tabel 4.22.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	81
<b>Tabel 4.23.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang .....	82
<b>Tabel 4.24.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	83
<b>Tabel 4.25.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	84
<b>Tabel 4.26.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	85
<b>Tabel 4.27.</b> Nilai maksimum mode gerakan heave pada SPAR tipe 1 .....	86
<b>Tabel 4.28.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	87
<b>Tabel 4.29.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	88
<b>Tabel 4.30.</b> Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	89
<b>Tabel 4.31.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang .....	90
<b>Tabel 4.32.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	91
<b>Tabel 4.33.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	92
<b>Tabel 4.34.</b> Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom .....	93
<b>Tabel 4.35.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang .....	94
<b>Tabel 4.36.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	95
<b>Tabel 4.37.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	96
<b>Tabel 4.38.</b> Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom.....	97



<b>Tabel 4.39.</b> Nilai maksimum RAO pada kondisi free floating untuk SPAR tipe 1 dan tipe 2 .....	97
<b>Tabel 4.40.</b> Nilai maksimum RAO pada kondisi free floating untuk SPAR tipe 3 dan tipe 4 .....	98
<b>Tabel 4.41.</b> Nilai maksimum RAO pada kondisi tertambat untuk SPAR tipe 1 dan tipe 2 .....	98
<b>Tabel 4.42.</b> Nilai maksimum RAO pada kondisi tertambat untuk SPAR tipe 3 dan tipe 4 .....	98
<b>Tabel 4.43.</b> Nilai respon spektra heave maksimum pada SPAR tipe 1 .....	99
<b>Tabel 4.44.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	100
<b>Tabel 4.45.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	101
<b>Tabel 4.46.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	102
<b>Tabel 4.47.</b> Nilai respon spektra pitch maksimum pada SPAR tipe 1 .....	103
<b>Tabel 4.48.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	104
<b>Tabel 4.49.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	105
<b>Tabel 4.50.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	106
<b>Tabel 4.51.</b> Nilai respon spektra roll maksimum pada SPAR tipe 1 .....	107
<b>Tabel 4.52.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	108
<b>Tabel 4.53.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	109
<b>Tabel 4.54.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	110
<b>Tabel 4.55.</b> Nilai respon spektra heave maksimum pada SPAR tipe 1 .....	111
<b>Tabel 4.56.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	112
<b>Tabel 4.57.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	113
<b>Tabel 4.58.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	114
<b>Tabel 4.59.</b> Nilai respon spektra pitch maksimum pada SPAR tipe 1 .....	115
<b>Tabel 4.60.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast .....	116

<b>Tabel 4.61.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast .....	117
<b>Tabel 4.62.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast .....	118
<b>Tabel 4.63.</b> Nilai respon spektra roll maksimum pada SPAR tipe 1 .....	119
<b>Tabel 4.64.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast.....	120
<b>Tabel 4.65.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast.....	121
<b>Tabel 4.66.</b> Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast.....	122
<b>Tabel 4.67.</b> Nilai maksimum respon spektra pada SPAR tipe 1 dan tipe 2 dengan kondisi mengapung bebas .....	123
<b>Tabel 4.68.</b> Nilai maksimum respon spektra pada SPAR tipe 3 dan tipe 4 dengan kondisi mengapung bebas .....	123
<b>Tabel 4.69.</b> Nilai respon spektra maksimum masing-masing mode gerakan pada SPAR tipe 1 dan SPAR tipe 2 dengan kondisi tertambat.....	123
<b>Tabel 4.70.</b> Nilai respon spektra maksimum masing-masing mode gerakan pada SPAR tipe 3 dan SPAR tipe 4 dengan kondisi tertambat.....	124
<b>Tabel 4.71.</b> Nilai maksimum dan minimum RAO pada kondisi mengapung bebas.....	124
<b>Tabel 4.72.</b> Nilai maksimum dan minimum untuk RAO tertambat.....	124
<b>Tabel 4.73.</b> Nilai maksimum dan minimum respon spektra pada variasi SPAR kondisi mengapung bebas .....	125
<b>Tabel 4.74.</b> Nilai maksimum dan minimum respon spektra pada variasi SPAR kondisi tertambat.....	125

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1. LATAR BELAKANG

Salah satu faktor penentu penggerak kegiatan ekonomi dan industri yang ada di Indonesia adalah kebutuhan akan produk minyak dan gas bumi. Dalam kurun waktu 100 tahun terakhir, hampir semua pasokan energi yang digunakan baik dalam dunia industri maupun rumah tangga menggunakan bahan bakar fosil yang digunakan sebagai pembangkit energi utama. Menurut Charles dan Ross (2008) bahwa kebutuhan akan produk minyak dan gas di pasar global masih mengalami kenaikan permintaan disaat ketersediaan energi terbarukan masih belum bisa menutupi kebutuhan energi dunia yang dipasok dari minyak dan gas bumi.

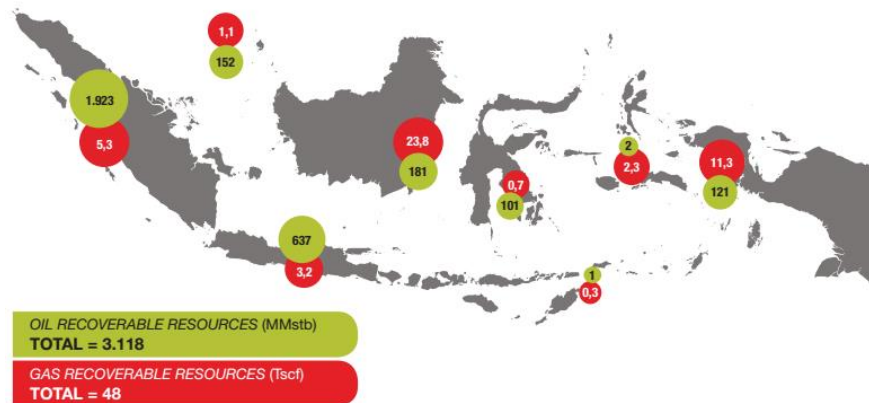
Berdasarkan laporan SKK Migas tahun 2016 yang menyatakan bahwa pada kurun waktu dari tahun 2006 hingga 2016 terjadi penurunan cadangan migas nasional yang mengakibatkan laju produksi minyak dan gas bumi juga mengalami tren penurunan yang tidak bisa dihindari. Menurunnya laju produksi minyak dan gas bumi mengharuskan untuk para pelaku industri migas untuk melakukan peningkatan aktivitas eksplorasi di lokasi yang berpotensi ditemukan cadangan baru minyak dan gas bumi.

**Tabel 1.1.** Cadangan migas tahun 2016 (SKK Migas, 2016)

CADANGAN	SUDAH BERPRODUKSI		BELUM BERPRODUKSI		JUMLAH
	TERBUKTI	POTENSIAL	TERBUKTI	POTENSIAL	
1. Minyak (MMstb)	3.142,74	3.541,10	164,16	403,10	7.251,11
2. Gas (Bscf)	32.811,94	16.879,02	68.411,94	25.960,80	144.063,70
a. Associated	4.968,23	3.706,58	680,08	457,72	9.812,61
b. Non Associated	27.843,71	13.172,44	67.731,86	25.503,08	134.251,09

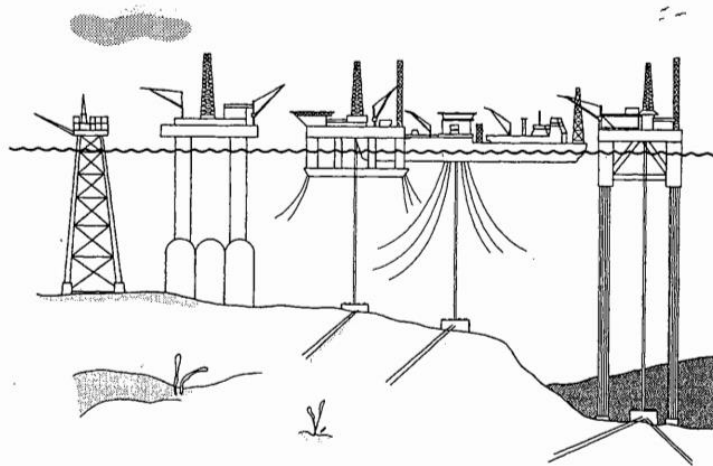
Sedangkan untuk persebaran cadangan migas sendiri mencakup ke seluruh wilayah di Indonesia mulai dari Sumatra hingga Papua dengan kecenderungan wilayah barat lebih besar dibandingkan dengan wilayah timur.

**PETA SUMBER DAYA MIGAS**  
STATUS 1 JANUARI 2016



**Gambar 1.1.** Peta sumber daya migas tahun 2016 (SKK Migas, 2016)

Perkembangan serta ekspansi wilayah dalam pencarian reservoir migas yang mulai menyentuh wilayah lepas pantai atau *offshore* mengharuskan para pelaku industri migas harus membangun bangunan lepas pantai yang bisa mengakomodir proses eksplorasi dan eksploitasi migas tersebut. Banyak sekali tipe dari bangunan lepas pantai yang telah dikonstruksi di industri eksplorasi dan eksploitasi migas yang dimulai dari *fixed jacket template platforms* untuk kondisi perairan dangkal hingga pada struktur bangunan terapung untuk perairan menengah hingga perairan dalam (Reddy dan Arockiasamy, 1991).



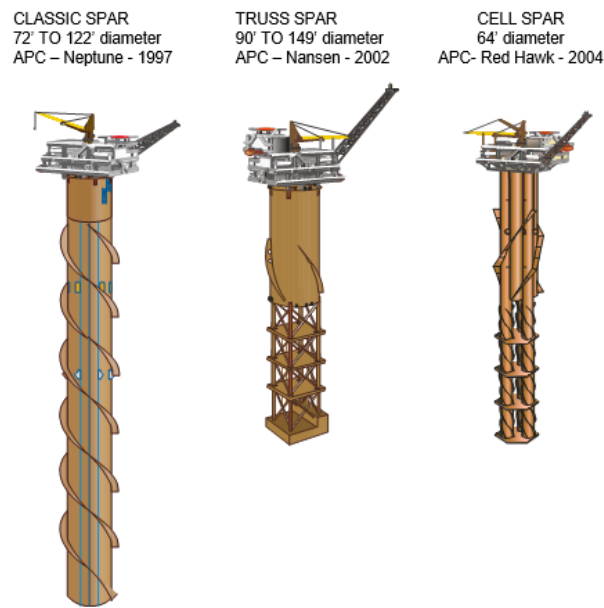
**Gambar 1.2.** Skema perkembangan bangunan lepas pantai (Faltinsen, 1990)

Tren yang saat ini berkembang di dunia eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas bumi adalah dengan melakukan ekspansi wilayah pencarian reservoir migas hingga ke perairan laut dalam atau *ultra deep water*. Kebutuhan akan bangunan apung yang mampu beroperasi di laut dalam memberikan tantangan untuk perancang bangunan apung agar bisa menciptakan platform yang optimum, kuat, dan aman untuk beroperasi di wilayah laut dalam. Chakrabarti (2005a) telah menentukan masing-masing bangunan terapung yang saat ini beroperasi berdasarkan parameter-parameter yang dimiliki oleh masing-masing jenis bangunan apung tersebut.

**Tabel 1.2.** Komparasi fungsi masing-masing bangunan apung  
(Chakrabarti, 2005)

FUNGSI	FPSO	SEMI-SUBMERSIBLE	SPAR	TLP
PRODUCTION	YES	YES	YES	YES
STORAGE	YES	NO	YES	NO
DRILLING	NO	POSSIBLE	YES	YES
WORKOVER	NO	POSSIBLE	YES	YES
WATER DEPTH LIMITATION	NO	NO	NO	YES

Salah satu bangunan yang memiliki ketangguhan dan operabilitas yang baik untuk kondisi perairan laut dalam adalah spar. Secara umum spar bisa didefinisikan sebagai struktur bangunan terapung yang memiliki bentuk dasar silinder berdiameter besar serta memiliki nilai sarat yang besar. Menurut Xue (2016), spar merupakan struktur yang memiliki stabilitas akibat gravitasi yang umumnya memiliki nilai sarat yang besar sehingga spar memiliki sifat stabilitas yang baik serta memiliki efek gerakan heave yang relatif kecil, dan kelebihanannya adalah memiliki nilai sarat yang besar maka efek beban lingkungan seperti angin, gelombang dan arus tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan.

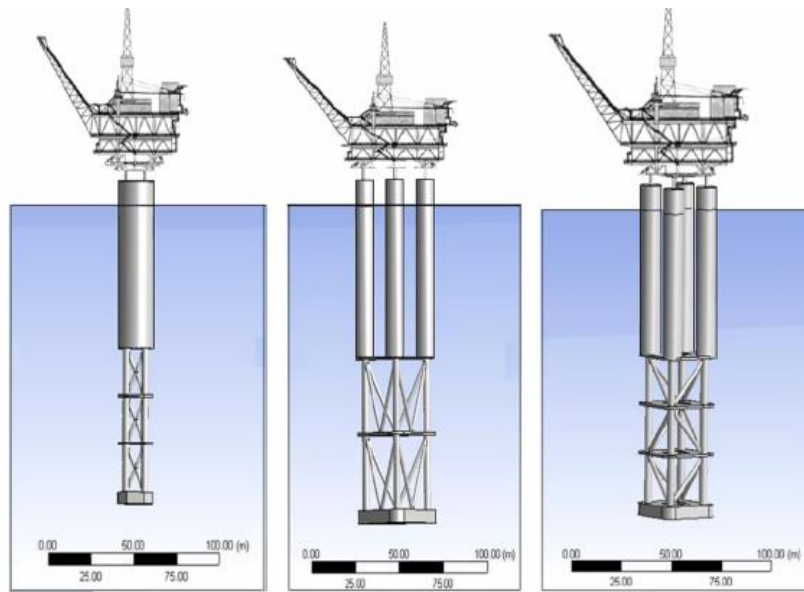


**Gambar 1.3.** Tiga generasi spar yang telah dibangun (Vardeman, 2009)

Tidak sedikit inovasi dari para insinyur untuk mendapatkan suatu struktur bangunan apung yang sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan berdasarkan parameter beban lingkungan. Awal perkembangan spar pertama kali dicetuskan oleh Kerr-McGee dengan membuat spar generasi pertama yang merupakan jenis *classic spar* (chakrabarti, 2005b). Setelah perkembangan jenis *classic spar*, perkembangan selanjutnya adalah *truss spar*. Menurut Kim dkk (2001) untuk jenis *truss spar* memiliki nilai sarat yang cukup rendah serta memiliki kelebihan dari segi desain yang lebih ekonomis. Perkembangan setelah *truss spar* adalah munculnya generasi *cell spar* yang hingga saat ini hanya ada satu spar yang bernama *Red Hawk* spar. Berdasarkan penelitian Michael dkk (2005), keuntungan dari platform *cell spar* antara lain lebih mudah untuk difabrikasi dan sifat fleksibilitasnya yang tinggi, desain yang lebih murah dan menyediakan opsi lain untuk mengurangi biaya operasional pada kategori wilayah laut dalam.

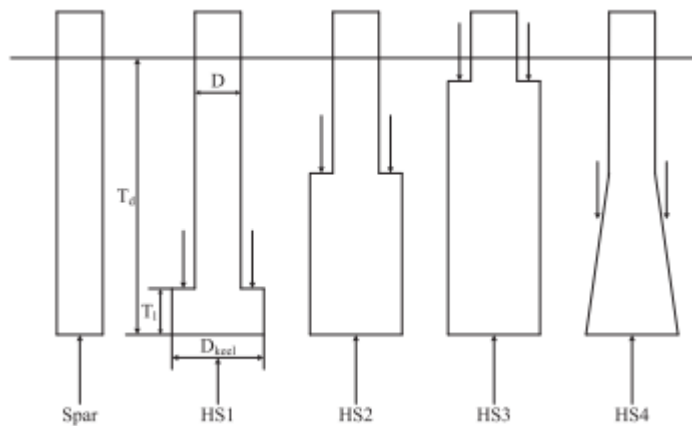
Penelitian mengenai bangunan spar semakin berkembang dikalangan para akademisi dan praktisi migas diseluruh dunia. Beberapa modifikasi mengenai pengembangan dari model spar salah satunya dikembangkan oleh

Chana dan Joko (2016) dengan mengembangkan *hybrid truss-cell spar platform* untuk perairan menengah di laut Andaman.



**Gambar 1.4.** Model truss-cell spar platform (Chana dan Joko, 2016)

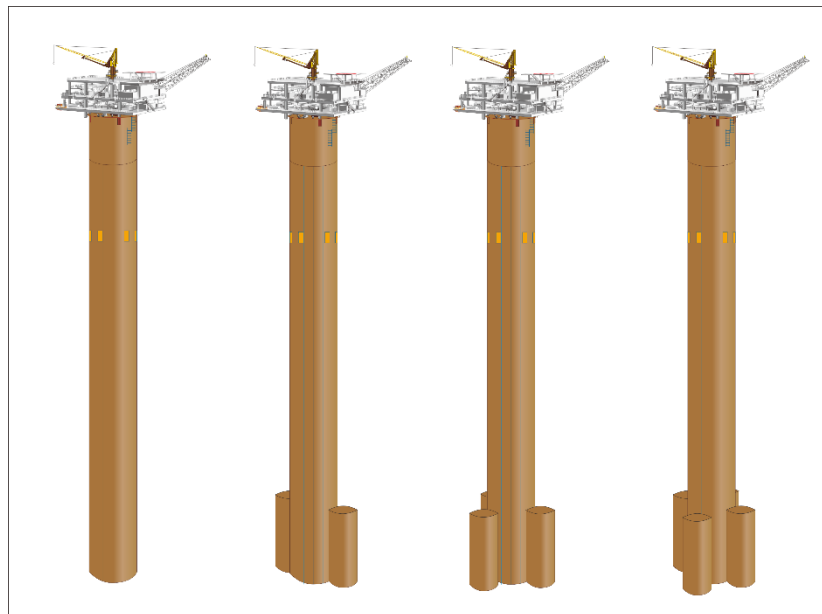
Yang dan Xu (2015) juga melakukan penelitian mengenai bentuk geometri dari lambung spar platform dengan menempatkan model spar kedalam perairan berkarakteristik gelombang acak.



**Gambar 1.5.** Modifikasi lambung spar platform (Yang dan Xu, 2015)

Penelitian yang dilakukan oleh Yang dan Xu bertujuan untuk mengetahui perilaku gerakan masing-masing tipe spar yang telah dilakukan modifikasi pada lambung ketika dikenakan dengan beban lingkungan akibat gelombang acak.

Berkembangnya generasi spar yang ada pada industri migas memberikan tantangan untuk penulis dalam menciptakan modifikasi spar yang bisa diaplikasikan di industri hulu migas Indonesia yang didominasi oleh perairan menengah. Ide yang ingin dikembangkan pada tugas akhir ini adalah dengan melakukan modifikasi pada jenis *classic spar* dengan penambahan sejenis *multi-kolom* di posisi dasar dari spar. Penambahan multi-kolom akan merubah posisi titik berat total dari spar agar bisa lebih rendah lagi dibandingkan dengan monohull spar jenis *classic spar*. Perubahan titik berat akan memberikan kesempatan pada bangunan spar untuk mengurangi nilai sarat agar menjadi lebih kecil dibandingkan dengan sebelumnya sehingga bisa mengurangi material dan ukuran dari spar sendiri.



**Gambar 1.6.** Spar yang telah diberikan modifikasi multi kolom (Puja, 2018)

## 1.2.RUMUSAN MASALAH

Pada tugas akhir ini untuk rumusan masalah dibatasi sebanyak dua rumusan masalah antara lain :

- 1 Bagaimana perilaku gerakan dari masing-masing model tipe spar yang diberikan variasi multi kolom pada kondisi pembebanan gelombang reguler ?



- 2 Bagaimana perilaku gerakan dari masing-masing model tipe spar yang diberikan variasi multi kolom pada kondisi pembebanan gelombang acak ?

### 1.3.TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian yang diharapkan dapat tercapai pada tugas akhir ini antara lain :

- 1 Mengetahui perilaku respon bangunan laut dalam bentuk *Response Amplitude Operator (RAO)* dari masing-masing model tipe spar yang diberikan variasi multi kolom ketika dikenakan beban gelombang reguler.
- 2 Mengetahui data perilaku respon bangunan laut dalam bentuk spektra respon dari masing-masing model tipe spar yang diberikan variasi multi kolom ketika dikenakan beban gelombang acak.

### 1.4.MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini antara lain :

- 1 Mengetahui model SPAR yang paling baik dari segi gerakannya ketika diuji pada kondisi pembebanan gelombang reguler.
- 2 Mengetahui model SPAR yang paling baik dari segi gerakannya ketika diuji pada kondisi pembebanan gelombang acak.

### 1.5.BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan untuk membatasi analisa pada tugas akhir ini antara lain sebagai berikut :

- 1 Variasi model sebanyak 4 model spar dengan spar 1 merupakan *classic spar*, spar 2 merupakan *classic spar* yang ditambahkan dua multi kolom, spar 3 merupakan *classic spar* yang ditambahkan tiga multi kolom, dan spar 4 merupakan *classic spar* yang ditambahkan empat multi kolom.
- 2 Permodelan bangunan spar menggunakan permodelan numeris.
- 3 Permodelan multi kolom spar menggunakan permodelan numeris.
- 4 Model bangunan spar diasumsikan *rigid body*.

- 5 Analisa pada masing-masing model spar dikondisikan pada displasemen sama.
- 6 Model bangunan spar dianalisa pada kondisi free floating dan tertambat.
- 7 Pada analisa tertambat menggunakan sistem tambat taut dengan jumlah tali tambat sebanyak 4 buah.
- 8 Beban lingkungan hanya dibatasi pada beban gelombang.
- 9 Karakteristik gerakan yang ditinjau hanya sebatas gerakan heave, pitch, dan roll.
- 10 Kedalaman perairan yang digunakan pada analisa gerakan model spar dibatasi sedalam 250 meter dari permukaan air laut.
- 11 Multi kolom pada spar divariasikan dengan volume ballast sebesar 0% ,25% ,50%, dan 100%.
- 12 Efek *sloshing* pada tanki spar dan multi kolom diabaikan.
- 13 Analisa pada pembebanan gelombang reguler dan gelombang acak menggunakan domain frekuensi.
- 14 Rentan frekuensi dimulai dari 0.01 rad/s hingga 1.99 rad/s dengan interval sebesar 0.05 rad/s.
- 15 Arah pembebanan gelombang dilakukan pada sudut datang sebesar 0, 45, 90, 135, dan 180 derajat dari model spar.
- 16 Gelombang yang digunakan merupakan gelombang reguler dan acak.
- 17 Spektrum gelombang untuk analisa pada kondisi gelombang acak menggunakan spektrum JONSWAP.

## **1.6.SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini dapat dijabarkan sebagai berikut :

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan, penulis menjelaskan mengenai latar belakang dari diambilnya topik ini, kemudian permasalahan dari penelitian yang diajukan, perumusan masalah yang menjadi fokus utama dalam mengerjakan tugas akhir, tujuan yang hendak dicapai dari tugas akhir ini, serta manfaat penelitian kedepannya untuk pihak-pihak yang terkait dengan tugas akhir ini, batasan

masalah yang menjadi pembatas dalam melakukan analisa terhadap model spar yang diuji, serta sistematika dari penulisan pada tugas akhir ini.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini menjelaskan mengenai referensi ide serta korelasi dengan berbagai jurnal, penelitian, serta buku yang terkait dalam menunjang dasar pondasi dari tugas akhir ini. Selain berisi tinjauan pustaka, pada bab ini juga memaparkan mengenai dasar-dasar teori yang digunakan untuk menunjang proses analisa pada tugas akhir ini.

## BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai konsep dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini baik dimulai dari pengumpulan data hingga analisa gerak model spar itu sendiri. Selain itu, pada bab ini memberikan penjabaran mengenai langkah-langkah yang perlu dilakukan agar tugas akhir ini bisa disusun secara sistematis serta memberikan hasil yang diharapkan.

## BAB IV. ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan penjabaran dalam menentukan faktor-faktor yang dibutuhkan dalam analisa respon gerakan masing-masing variasi model spar sehingga mendapatkan data berupa respon gerakan ketika dikenakan dengan beban gelombang reguler atau RAO dan respon gerakan ketika bangunan spar dikenakan dengan beban gelombang acak atau spektra respon.

## BAB V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapat penulis dari proses analisa gerakan model spar dengan masing-masing variasi kolom. Selain memberikan kesimpulan, penulis juga memberikan saran agar kesinambungan pengerjaan tugas akhir ini bisa dikembangkan hingga lebih variatif serta lebih detail lagi.

DAFTAR PUSTAKA yang merupakan referensi-referensi baik dalam bentuk buku, jurnal, atau penelitian yang bisa menjadi dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA & DASAR TEORI**

#### **2.1. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada penelitian yang dilakukan oleh para ahli dalam bidang hidrodinamika lepas pantai tidak lepas dari yang namanya analisa gerakan suatu bangunan apung ketika diberikan beban lingkungan khususnya gelombang laut. Penulis mengambil spar untuk digunakan sebagai subjek penelitian dikarenakan kemampuannya yang mampu untuk melakukan kegiatan operasional di wilayah laut dalam atau *ultra-deep water* serta memiliki bentuk yang lebih sederhana dibandingkan dengan bangunan apung lainnya dibandingkan dengan *tension leg platform* (TLP) ataupun *semi-submersible*.

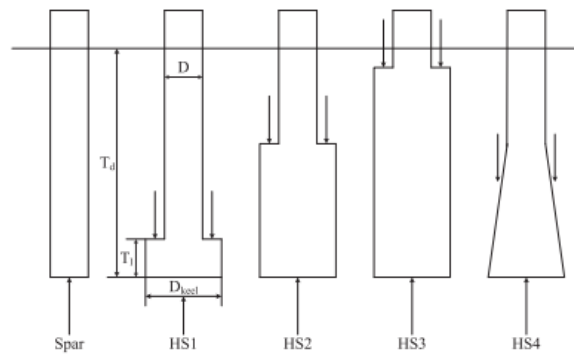
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mekha dkk (1995) memodelkan platform spar hanya pada kondisi tiga derajat kebebasan antara lain surge, heave dan pitch. Sehingga masih perlu dikembangkan lagi untuk menggunakan variasi gerakan yang lainnya. Satu tahun setelah mengeluarkan penelitian mengenai model spar yang dianalisa dengan batas analisa yaitu tiga derajat kebebasan saja, Mekha dkk (1996) melakukan penelitian lebih lanjut dengan tujuan penelitian utamanya adalah menggunakan frekuensi yang tergantung dengan koefisien massa berdasarkan teori difraksi.

Analisa yang dilakukan oleh Mekha dkk kemudian di kembangkan lebih lanjut lagi yang diusung oleh Jha dkk (1997) yang membandingkan analisa prediksi dari gerakan floating spar buoy platform dengan hasil yang diberikan oleh eksperimen dengan menggunakan gelombang dari suatu tank. Hanya saja pada penelitian Jha ini dibatasi untuk dua gerakan saja yaitu gerakan surge dan gerakan pitch.

Fischer dan Gopalkrishnan (1998) mempublikasikan betapa pentingnya karakteristik gerakan heave pada spar platform yang didapatkan dari pengujian tes model gelombang, simulasi numeris dan kombinasi keduanya. Penelitian dari fischer dan gopalkrishnan masih dibatasi beberapa batasan seperti hanya mengkaji terhadap satu gerakan saja

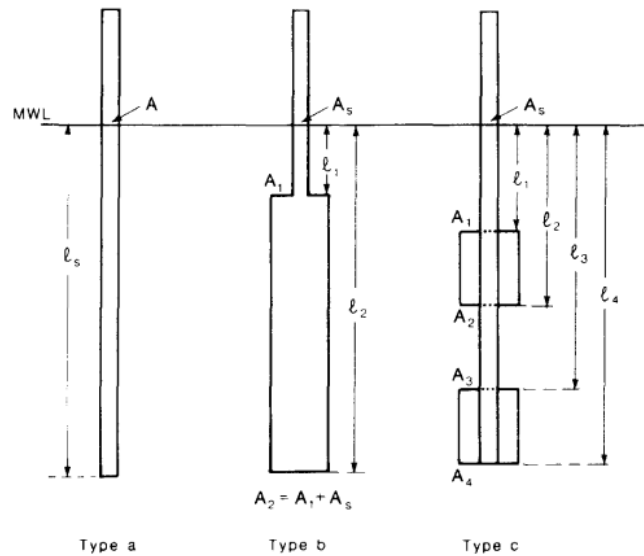
sehingga perlu dikembangkan lagi mengenai batasan gerakan. Chitrapu dkk (1998) melakukan studi mengenai respon non linier dari spar platform dibawah kondisi lingkungan yang berbeda seperti kondisi reguler, bi-krimatik, gelombang acak dan menggunakan model simulasi *time domain*.

Yang dkk (2015) mengembangkan penelitian mengenai gerakan spar platform pada kondisi gelombang acak, variasi yang digunakan adalah pada bentuk geometri lambung untuk mendapatkan parametrik resonansi ketika diberikan beban lingkungan.



**Gambar 2.1.** Variasi model spar dari penelitian Yang (Yang, 2015)

Kemudian penelitian yang lebih merujuk ke ide tugas akhir yang penulis ajukan merupakan penelitian dari Tucker (1982) yang melakukan penelitian gerakan heave pada beberapa variasi *hull spar platform* dengan salah satunya adalah penambahan multi kolom yang digunakan untuk mengetahui perilaku gerakan dan frekuensi resonansi antara struktur dan beban gelombang.

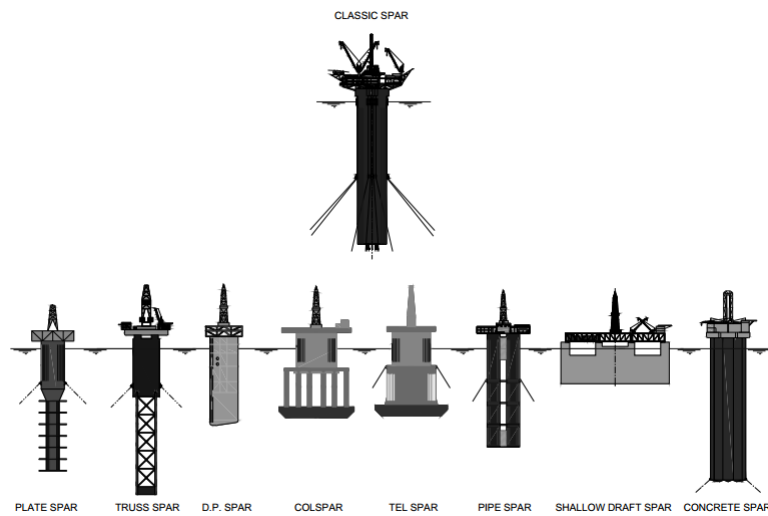


**Gambar 2.2.** Variasi model spar dari penelitian Tucker (Tucker, 1982)

*Deep Oil Technology Inc* atau disingkat DOT telah membuat beberapa konsep dari beberapa bentuk SPAR yang memiliki bentuk struktur yang berbeda-beda. Seperti pada Gambar 2.3 merupakan beberapa jenis prototype SPAR yang dirancang oleh DOT dengan masing-masing fungsi dan kelebihan seperti pada *Plate SPAR* dan *Truss SPAR* yang merupakan improvisasi berdasarkan dari desain SPAR generasi pertama yaitu jenis *classic SPAR*. DP SPAR sendiri merupakan jenis drilling SPAR dengan nilai drag yang sangat kecil yang diakibatkan beban arus dengan kualitas gerakan heave yang sangat baik. *TelSPAR* dan *ColSPAR* merupakan dua desain yang diharapkan untuk dikonstruksi pada lokasi terbatas seperti pada *dry dock* atau *graving dock*. Pada jenis *TelSPAR* dan *ColSPAR* sendiri pada bagian dek bisa dilakukan pre-instalasi dan *comisioning*. Pada kondisi lapangan, bagian bawah dapat diekstensi sehingga platform tersebut menjadi bangunan apung yang memiliki nilai draft yang dalam dengan respon gerakan heave yang lebih kecil.

*PipeSPAR* didesain secara khusus untuk kondisi perairan Caspian. *Shallow draft SPAR* yang sering disebut juga sebagai *shoebox SPAR*, *SPAR box*, *box SSPAR* dan *Oil box*. Dengan kondisi *dry tree*, *topside* yang besar serta solusi penyimpanan minyak untuk kondisi perairan Afrika Barat dan

Brazil. Konsep ini dikembangkan hingga menjadi DPS-2000 setelah SII ditutup dan lisensi teknologinya ditransfer kepada Aker Maritime dan McDermott. *Concrete SPAR* merupakan turunan dari jenis bangunan *Gravity Base Structures (GBS's)* yang dibangun di Norwegia antara tahun 1970 dan 1980-an. *Concrete SPAR* merupakan struktur yang lebih kecil dibandingkan kebanyakan struktur lainnya, akan tetapi mampu memberikan solusi menarik pada kondisi perairan deep-water di Norwegia.



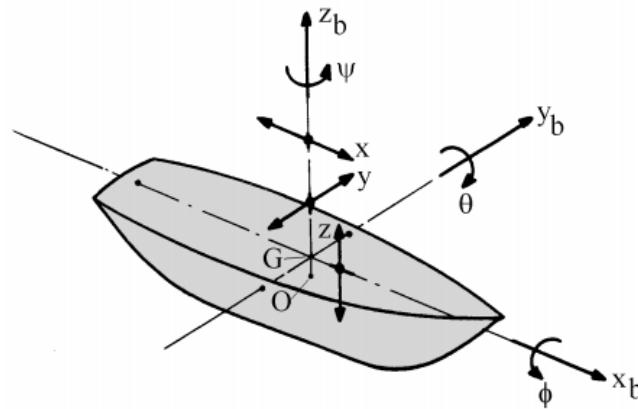
**Gambar 2.3.** Desain rencana SPAR (Kim, 2012)

## 2.2.DASAR TEORI

### 2.2.1. Teori Gerakan Bangunan Apung

Pada teori bangunan apung dijelaskan bahwa bangunan apung ketika dikenakan dengan beban lingkungan akan memberikan respon berupa gerakan tertentu pada suatu sumbu tertentu. Mode gerakan ini sering disebut juga sebagai mode gerakan 6 derajat kebebasan atau *6 Degree of Freedom*.





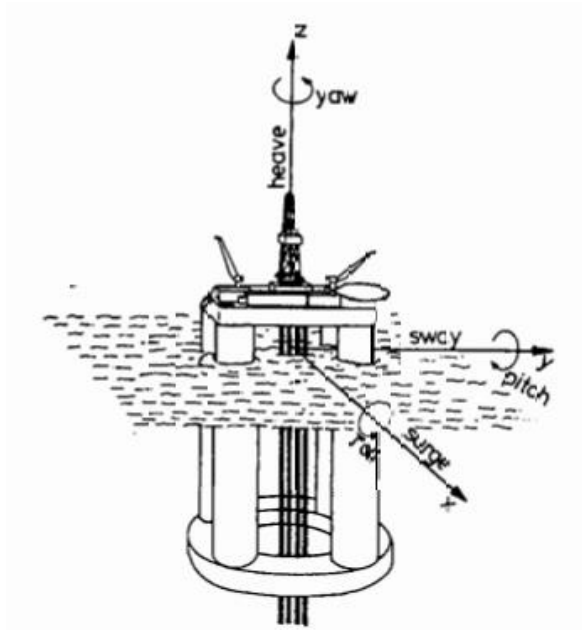
**Gambar 2.4.** Mode gerakan enam derajat kebebasan (Journee, 2001)

Gerakan respon yang diberikan oleh suatu bangunan terapung ketika dikenakan dengan beban lingkungan dibagi menjadi dua tipe gerakan yaitu gerakan translasi dan gerakan rotasi. Gerakan translasi sendiri merupakan gerakan yang lintasannya berupa garis lurus. Gerakan translasi dibagi menjadi tiga mode gerakan antara lain :

- a. *Surge* yang merupakan gerakan translasi searah dengan sumbu **x** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_x$  atau  $\zeta_1$
- b. *Sway* yang merupakan gerakan translasi searah dengan sumbu **y** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_y$  atau  $\zeta_2$
- c. *Heave* yang merupakan gerakan translasi searah dengan sumbu **z** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_z$  atau  $\zeta_3$

Sedangkan untuk gerakan rotasi sendiri juga dibagi menjadi tiga gerakan antara lain :

1. *Roll* yang merupakan gerakan rotasi pada sumbu **x** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_\phi$  atau  $\zeta_4$
2. *Pitch* yang merupakan gerakan translasi searah dengan sumbu **y** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_\theta$  atau  $\zeta_5$
3. *Yaw* yang merupakan gerakan translasi searah dengan sumbu **z** dan umumnya menggunakan notasi  $\zeta_\psi$  atau  $\zeta_6$

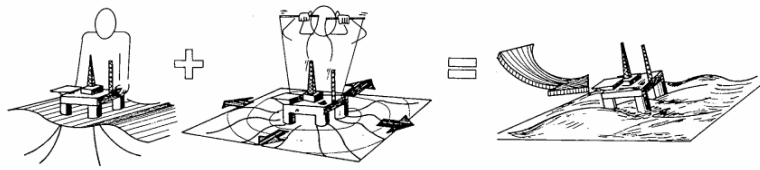


**Gambar 2.5.** Mode gerakan 6-derajat kebebasan pada deep water platform (Faltinsen, 1990)

### 2.2.2. Beban Hidrodinamika

Setiap struktur terapung ketika ditempatkan pada kondisi lingkungan lautan akan menerima yang namanya beban hidrodinamika. Faltinsen (1990) telah menentukan dua beban hidrodinamika yang mengenai struktur terapung antara lain :

1. Ketika gaya dan momen dirasakan oleh bagian struktur bangunan terapung maka akan menahan bentuk osilasi akibat gaya yang diberikan oleh gelombang. Beban hidrodinamika ini juga disebut sebagai beban eksitasi gelombang yang sering disebut juga sebagai Froude-Kriloff dan difraksi gaya da momen.
2. Gaya dan momen yang dirasakan bagian struktur terapung, saat struktur digetarkan dengan frekuensi yang sama dngan gaya eksitasi gelombang yang datang. Namun pada kali ini tidak ada gelombang yang mengenai struktur. Beban hidrodinamika ini merupakan beban massa tambah atau *added mass*, beban redaman atau *damping*, dan beban kekuan atau *restoring force*. Beban in juga dianggap sebagai beban reaksi akibat pergerakan struktur.



**Gambar 2.6.** Superposisi dari gaya eksitasi, massa tambah, redaman dan kekakuan (Faltinsen, 1990)

### 2.2.3. Gaya Eksitasi

Faltinsen (1990) sendiri menentukan bahwa gaya Froude-Krillof merupakan suatu dampak dari tekanan yang tidak merata dari eksitasi gelombang tertentu. Gaya eksitasi yang diterima struktur tersebut terjadi akibat adanya distribusi tekanan yang tidak merata.

Gaya Froude-Krillof sendiri memiliki persamaan yang dapat diekspresikan pada persamaan 2.1 sebagai berikut :

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

Pada persamaan 2.1 dapat diketahui beberapa parameter antara lain untuk  $p$  yang merupakan distribusi tekanan,  $n$  yang merupakan unit vektor, dan  $dA$  yang merupakan luasan kecil dari suatu bagian struktur. Pada persamaan diatas dapat diketahui bahwa persamaan tersebut menghubungkan antara distribusi tekanan yang diakibatkan oleh medan gelombang dengan luas dari permukaan struktur yang ditinjau. Distribusi tekanan gelombang di laut dalam atau *deep water* pada struktur tertentu didapatkan dengan menurunkan persamaan potensial gelombang dengan persamaan berneouli sehingga didapatkan persamaan 2.2. sedangkan gaya difraksi sendiri pada struktur terapung perlu dilakukan peninjauan syarat batas dari setiap kasus dan memerlukan pendekatan matematis yang lebih kompleks (Faltinsen, 1990).

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

Dengan,

$\rho =$  massa jenis air yang melingkupi lingkungan struktur ( $\text{kg/m}^3$ )

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

$\zeta_0 =$  amplitudo gelombang (m)

$k =$  angka gelombang (rad/m)

$z =$  posisi pada sumbu vertikal (m)

$\omega =$  frekuensi gelombang (rad/s)

$t =$  waktu (s)

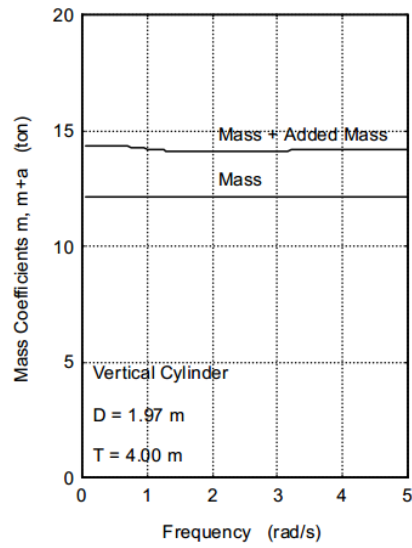
$x =$  posisi pada sumbu horisontal (m)

#### 2.2.4. Gaya Reaksi

Pada dasarnya struktur akan memberikan gaya reaksi yang komponen-komponennya bisa dijabarkan sebagai komponen massa tambah atau *added mass*, redaman atau *damping* dan kekakuan atau *stiffness*.

##### 1. Massa tambah (*added mass*)

Massa tambah merupakan efek penambahan massa yang diakibatkan oleh ikut Bergeraknya fluida di sekitar benda terapung (Newman, 1997). Newman sendiri juga melakukan penelitian mengenai koefisien massa tambah untuk bangunan 2-Dimensi dan 3-Dimensi untuk struktur yang tercelup. Menurut Djatmiko (2012), massa tambah dianggap sebagai massa semu atau *virtual mass* dikarenakan pada saat struktur bergerak dan displasemennya berubah maka akan mendorong partikel fluida pada jumlah massa tertentu.



**Gambar 2.7.** Hubungan massa tambah dengan silinder vertikal yang bergerak dengan mode heave (Journee, 2001)

Persamaan untuk gaya yang diakibatkan oleh massa tambah seperti pada persamaan 2.3

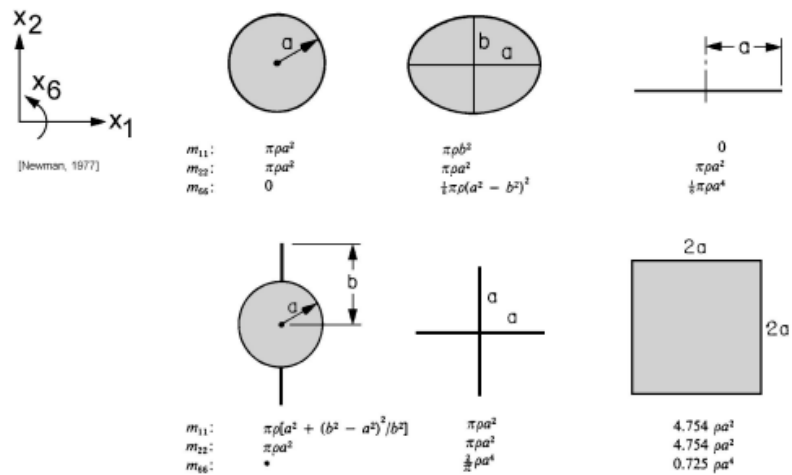
$$F_a = a_i \ddot{\xi}_i \quad (2.3)$$

Dengan:

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

$a$  = koefisien massa tambah (kg)

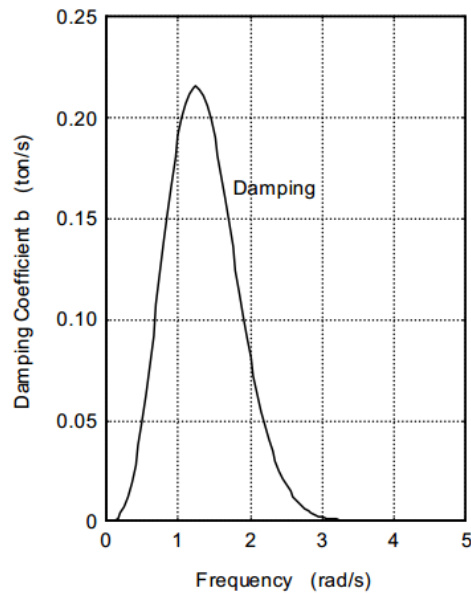
$\ddot{\xi}$  = respon percepatan gerak struktur ( $m/s^2$ )



**Gambar 2.8.** Koefisien massa tambah untuk bentuk 2-Dimensi (Journee, 2001)

## 2. Redaman (*damping*)

Redaman merupakan dampak yang didapat akibat adanya disipasi energi dari struktur (Newman, 1997).



**Gambar 2.9.** Hubungan koefisien redaman dengan frekuensi pada silinder vertikal yang bergerak (Journee, 2001)

Redaman akan membuat struktur kehilangan energi kinetiknya. Jika struktur digetarkan di air yang tenang, maka energi kinetik struktur

semakin lama semakin mengecil, hal inilah yang disebut sebagai redaman. Sama seperti massa tambah, nilai redaman bergantung dari bentuk benda dan mode gerak benda. Nilai koefisien redaman dapat dicari dengan analisa numeris (Chakrabarti, 1994).

$$F_b = b_i \dot{\xi}_i \quad (2.4)$$

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)

$\xi$  = respon kecepatan gerak struktur (m/s)

### 3. Kekakuan (*stiffness*)

Ketika struktur terapung bergerak di permukaan air tenang, struktur tersebut mempunyai kekakuan untuk kembali ke posisi semula. Kekakuan tersebut didapat dari gaya reaksi yang berfungsi untuk mengembalikan posisi benda yang disebut gaya pengembali. Fenomena ini hanya terjadi pada tiga mode gerak struktur. Mode gerak tersebut adalah gerak *heave*, *pitch* dan *roll* (Djatkiko, 2012). Gaya ini dipengaruhi oleh karakter hidrostatis struktur.

$$F_c = c_i \xi_i \quad (2.5)$$

Dengan:

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

$c$  = koefisien gaya pengembali (kg/s<sup>2</sup>)

$\xi$  = respon posisi gerak struktur (m)

Nilai  $c$  dari *heave* ( $c_3$ ), *roll* ( $c_4$ ) dan *pitch* ( $c_5$ ) adalah sebagai berikut:

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

$$c_4 = \rho g V \overline{GM_T} \quad (2.7)$$

$$c_5 = \rho g V \overline{GM_L} \quad (2.8)$$

Dengan:

$\rho$  = massa jenis air sekitar struktur (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi struktur (m/s<sup>2</sup>)

$A_{wp}$  = luas permukaan di garis air (m<sup>2</sup>)

$V$  = volume displasemen struktur (m<sup>3</sup>)

$\overline{GM_T}$  = tinggi metacenter melintang (m)

$\overline{GM_L}$  = tinggi metacenter memanjang (m)

### 2.2.5. Persamaan Gerak

Secara umum untuk mengetahui konsep dasar dari suatu gerakan struktur dengan mengaplikasikan Hukum Newton II yang memiliki definisi dari seluruh resultan gaya yang memiliki proporsi yang sama dengan massa dikalikan percepatan struktur tersebut.

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

Dengan :

$F$  = Resultan gaya yang mengenai struktur (N)

$m$  = Massa struktur (kg)

$\ddot{\zeta}_i$  = Percepatan struktur pada masing-masing model gerakan (m/s<sup>2</sup>)

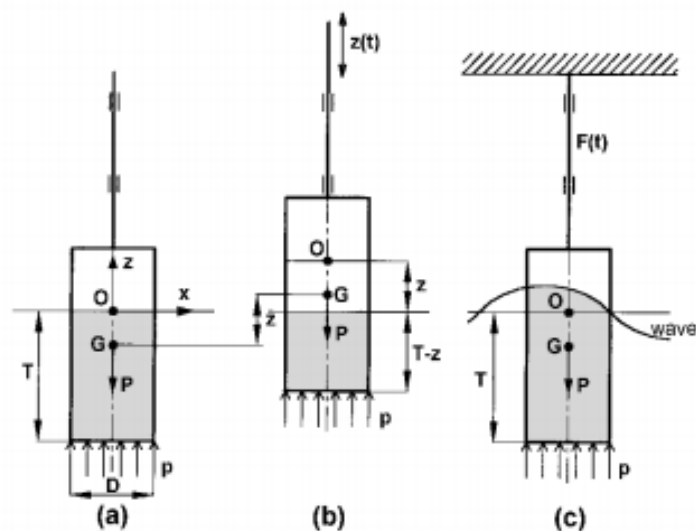
$i$  = Mode gerak struktur dengan 1 (surge), 2 (sway), 3 (heave), 4 (roll), 5 (pitch), dan 6 (yaw)



Sebuah struktur yang dikenakan suatu gaya maka akan memberikan reaksi gerakan yang merupakan konsep dari Hukum Newton III. Menurut Ginsberg (2008) bahwa Hukum Newton III merupakan aksi dari semua gaya yang terjadi dan berinteraksi dengan struktur tersebut. Sehingga terjadi kondisi aksi-reaksi yang memiliki magnitudo yang sama dan beraksi pada satu sumbu dengan perbedaan pada arah gaya.

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

Konsep gerakan bangunan apung menggunakan contoh sebuah silinder dengan diameter  $D$  bergerak secara osilasi pada suatu gelombang sehingga memberikan gerakan untuk silinder terapung tersebut.



**Gambar 2.10.** Gerakan vertikal silinder terapung (Journee, 2001)

Persamaan gerakan untuk bangunan apung menggunakan konsep dari hukum newton II yaitu penjumlahan gaya-gaya fluida yang mengenai bangunan apung dan diimbangi oleh gaya inersia yang ekuivalen dengan perkalian antara massa silinder  $m$  dengan percepatan gerakannya (Djarmiko, 2012). Dengan menjabarkan gaya aksi yang merupakan gaya induksi atau gaya eksitasi gelombang dengan gaya reaksi maka didapatkan persamaan berikut :

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

Dengan :

$F_{aksi}$  = Gaya eksitasi gelombang (N)

$F_a$  = Gaya inersia (N)

$F_b$  = Gaya peredam (N)

$F_k$  = Gaya kekakuan atau gaya pengembali (N)

Mengkombinasikan Hukum Newton II yang digunakan pada persamaan 2.9 dengan Hukum Newton III yang diaplikasikan pada persamaan 2.10 ,maka didapatkan persamaan gerakan untuk struktur bangunan yang mendapatkan gaya dari luar adalah :

$$(m + a)\ddot{\zeta}_i + b\dot{\zeta}_i + k\zeta_i = F_w \quad (2.12)$$

Dengan :

$m$  = Massa struktur (kg)

$a$  = Massa tambah atau *added virtual mass* (kg)

$b$  = Koefisien redaman hidrodinamis (N.s/m)

$k$  = Koefisien gaya pengembali (N/m)

$\ddot{\zeta}_i$  = Percepatan struktur pada mode ke  $i$  ( $m/s^2$ )

$\dot{\zeta}_i$  = Kecepatan struktur pada mode ke  $i$  (m/s)

$\zeta_i$  = Displasemen gerakan struktur pada mode ke  $i$  (m)

$F_w$  = Gaya eksitasi gelombang (N)

Pada persamaan (2.12) memiliki batasan hanya memperhatikan gerak secara mandiri atau tidak ada efek dari mode gerakan satu dengan mode

gerakan yang lain. Menurut Dajtmiko (1992), setiap mode gerak tidak mempengaruhi gerak benda yang lain. Di sisi lain, gerak kopel adalah persamaan gerak yang setiap gerakannya bisa saling mempengaruhi gerak yang lainnya. Persamaan gerak kopel untuk kondisi terapung dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks pada persamaan 2.13

$$\sum_{n=1}^6 [(M_{jk} + A_{jk})\ddot{\zeta}_k + B_{jk}\dot{\zeta}_k + K_{jk}\zeta_k] = F_j e^{i\omega t}; j, k = 1, 2, \dots, 6 \quad (2.13)$$

Dengan

$M_{jk}$  = matriks massa dan momen inersia massa bangunan laut

$A_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien massa tambah hidrodinamik

$B_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien redaman hidrodinamik

$K_{jk}$  = matriks koefisien-koefisien kekakuan atau gaya dan momen hidrostatik

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

$F_1$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan surge

$F_2$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan sway

$F_3$  = gaya eksitasi yang menyebabkan gerakan heave

$F_4$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan roll

$F_5$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan pitch

$F_6$  = momen eksitasi yang menyebabkan gerakan yaw

$\ddot{\zeta}_k$  = elevasi percepatan gerak pada mode ke  $k$

$\dot{\zeta}_k$  = elevasi kecepatan gerak pada mode ke  $k$

Sedangkan untuk persamaan gerak pada kondisi bangunan apung yang tertambat, Chen (2011) menyesuaikan persamaan diatas hingga menjadi persamaan (2.14)

$$\sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^6 [-\omega^2 (\delta_{nm} M_{jk}^{nm} + A_{jk}^{nm}) - i\omega B_{jk}^{nm} + \delta_{nm} C_{jk}^{nm} + C_{jk}^{*nm}] \zeta_j = F_j^n \quad (2.14)$$

Dengan

$n = 1, 2, 3, \dots, M$  menunjukkan jumlah  $n$  th struktur

$\delta_{nm} =$  mempunyai nilai 0 jika  $n \neq m$  dan 1 jika  $n = m$  sehingga  $M_{jk}^{nm}$  dan  $C_{jk}^{nm}$  adalah matriks inersia dan hidrostatis dari bangunan  $m^{th}$

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

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

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

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

Suatu bangunan apung ketika dikenakan dengan beban lingkungan pasti akan memberikan respon gerakan yang mempunyai karakteristik tersendiri dibandingkan dengan bangunan apung yang lain.



**Gambar 2.11.** Neptune Spar pada saat operasional (Kim, 2012)

Sebuah metode digunakan untuk mengetahui karakteristik suatu bangunan apung yaitu *Response Amplitude Operator* (RAO) yang

merupakan hubungan antara amplitudo respon dengan amplitudo gelombang. RAO sendiri secara sederhana dibentuk dalam suatu grafik dimana untuk sumbu  $x$  merupakan frekuensi gelombang yang dianalisa serta untuk sumbu  $y$  merupakan rasio antara amplitudo gerakan pada mode tertentu dengan amplitudo gelombang.

Respon gerakan RAO untuk gerakan translasi: *surge*, *sway*, dan *heave* ( $k = 1, 2, 3$  atau  $x, y, z$ ), adalah merupakan perbandingan langsung antara amplitudo gerakannya dibanding dengan amplitudo gelombang insiden (keduanya dalam satuan panjang) (Djarmiko, 2012):

$$RAO = \left( \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \right) (m/m) \quad (2.15)$$

Dengan :

$$\zeta_{k0} = \text{amplitudo gerakan (m)}$$

$$\zeta_0 = \text{amplitudo gelombang (m)}$$

Sedangkan respons non-dimensi atau RAO untuk gerakan rotasi: *roll*, *pitch*, dan *yaw* ( $k = 3, 4, 5$  atau  $\theta, \phi, \psi$ ) adalah merupakan perbandingan antara amplitudo gerakan rotasi (dalam radian) dengan kemiringan gelombang, yakni yang merupakan perkalian antara angka gelombang,  $k_w = \omega^2/g$ , dengan amplitudo gelombang insiden:

$$RAO = \frac{\zeta_{k0}}{K_w \zeta_0} = \frac{\zeta_{k0}}{(\omega^2/g) \zeta_0} (rad/rad) \quad (2.16)$$

Dengan :

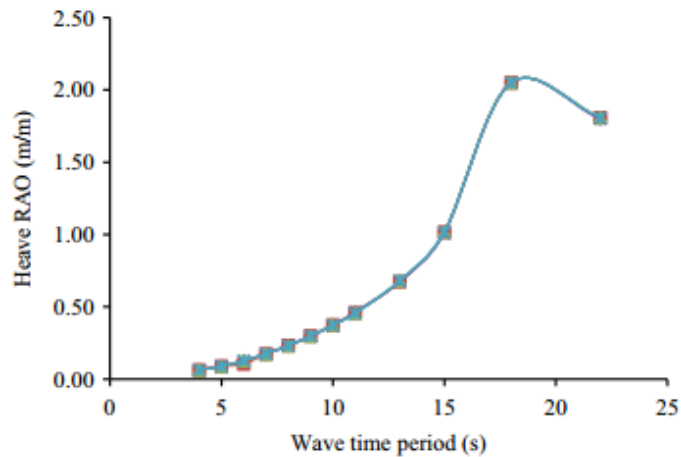
$$\zeta_{k0} = \text{amplitudo struktur (m)}$$

$$\zeta_0 = \text{amplitudo gelombang (m)}$$

$$k_w = \text{angka gelombang (rad/m)}$$

$$\omega = \text{frekuensi gelombang (rad/m)}$$

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



**Gambar 2.12.** Heave RAO pada platform spar (Ahmed, 2016)

### 2.2.7. Spektrum Energi Gelombang

Analisa pada gelombang acak secara sederhana dapat dijabarkan sebagai bentuk superposisi gelombang reguler sebanyak  $n$  buah dan membentuk pola gelombang acak yang umumnya digunakan pada analisa respon struktur di kondisi ril. Setiap gelombang reguler memiliki sejumlah energi yang dapat diidentifikasi sebagai satuan luas permukaannya adalah ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya. Sehingga untuk persamaan energi gelombang reguler pada frekuensi ke  $n$  dapat dituliskan sebagai berikut

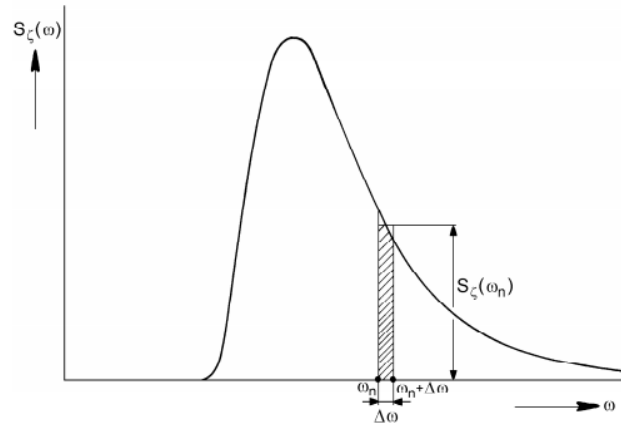
$$E_n = \frac{1}{2} \rho g \zeta_n^2 \quad (2.17)$$

Dengan

- $E_n$  = energi pada komponen gelombang frekuensi ke  $n$
- $\rho$  = densitas fluida yang melingkupi struktur
- $g$  = percepatan gravitasi
- $\zeta$  = profil gelombang

Sehingga dapat dijabarkan bahwa penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat

diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau sering disebut sebagai spektrum gelombang .



**Gambar 2.13.** Spektrum energi gelombang (Chakrabarti, 2005a)

Bila  $\omega_n$  adalah frekuensi gelombang reguler ke- $n$  yang merupakan nilai rata-rata dari frekuensi  $\omega_a$  dan frekuensi  $\omega_b$  maka dapat dituliskan kedalam ekspresi berikut :

$$\omega_a = \omega_n - \delta\omega \quad (2.18)$$

dan

$$\omega_b = \omega_n + \delta\omega \quad (2.19)$$

Sehingga energi yang dikontribusikan oleh komponen gelombang reguler ke- $n$  yang mempunyai amplitudo, dapat dituliskan kedalam persamaan berikut :

$$\frac{1}{2} \rho g \zeta_{n0}^2 = \rho g S_z(\omega) d\omega \quad (2.20)$$

Banyaknya penelitian mengenai spektrum gelombang dengan karakteristik masing-masing spektrum seperti spektrum Bretschneider (1959), Bretschneider (1969), P-M (1964), ISSC (1964), JONSWAP, ITTC, Wang (1991) dan lain sebagainya memberikan opsi jenis spektrum yang sekiranya sesuai pada kondisi perairan dimana platform akan dipasang.

Salah satu spektrum gelombang yang sering digunakan dalam analisa perairan Indonesia adalah spektrum gelombang dari *Joint North Sea Wave Project* dan disingkat sebagai spektrum JONSWAP. Spektrum JONSWAP sendiri umumnya digunakan di perairan yang didominasi oleh kepulauan seperti di Indonesia. Persamaan JONSWAP sendiri memiliki persamaan sebagai berikut :

$$S_{\zeta}(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp\left\{-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right\} \gamma \exp\left\{-\frac{(\omega-\omega_0)^2}{2\tau^2 \omega_0^2}\right\} \quad (2.21)$$

Untuk nilai  $\alpha$

$$\alpha = 0.076(X_0)^{-0.22} \quad (2.22)$$

Untuk nilai  $X_0$

$$X_0 = \frac{gX}{U_w^2} \quad (2.23)$$

Untuk nilai frekuensi puncak

$$\omega_0 = 2\pi \left(\frac{g}{U_w}\right) (X_0)^{-0.33} \quad (2.24)$$

Dengan

$S_{\zeta}(\omega)$  = spektra gelombang pada frekuensi tertentu ( $m^2/(rad/s)$ )

$X$  = panjang fetch (m)

$U_w$  = kecepatan angin (m/s)

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

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\omega$  = frekuensi spektra gelombang ke  $n$  (rad/s)

$\omega_0$  = frekuensi spektra puncak gelombang (rad/s)

$\gamma$  = parameter ketinggian atau *peakedness parameter* yang harganya dapat bervariasi antara 1.0 sampai 7.0



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

$$\tau = 0.07 \text{ jika } \omega \leq \omega_0$$

$$\tau = 0.09 \text{ jika } \omega > \omega_0$$

Pada persamaan spektrum JONSWAP diatas menggunakan parameter panjang fetch dan kecepatan angin, sedangkan pada umumnya parameter yang digunakan adalah tinggi gelombang signifikan. Journee (2001) dan Goda (1979) melakukan modifikasi pada spektrum JONSWAP dengan menggunakan variabel tinggi gelombang signifikan. Sehingga persamaan spektrum JONSWAP dari Journee dapat dilihat pada persamaan (2.25) sedangkan formulasi dari Goda pada persamaan (2.28).

$$S_{(\omega)} = \frac{320 \cdot H_1^2}{T_p^4} \cdot \omega^{-5} \cdot \exp \left\{ \frac{-1950}{T_p^4} \cdot \omega^{-4} \right\} \cdot \gamma^A \quad (2.25)$$

Dengan nilai  $A$ ,

$$A = \exp \left\{ - \left( \frac{\frac{\omega}{\omega_p} - 1}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 \right\} \quad (2.26)$$

Dengan periode puncak,

$$\omega_p = \frac{2\pi}{T_p} \quad (2.27)$$

Formulasi spektrum JONSWAP versi Goda,

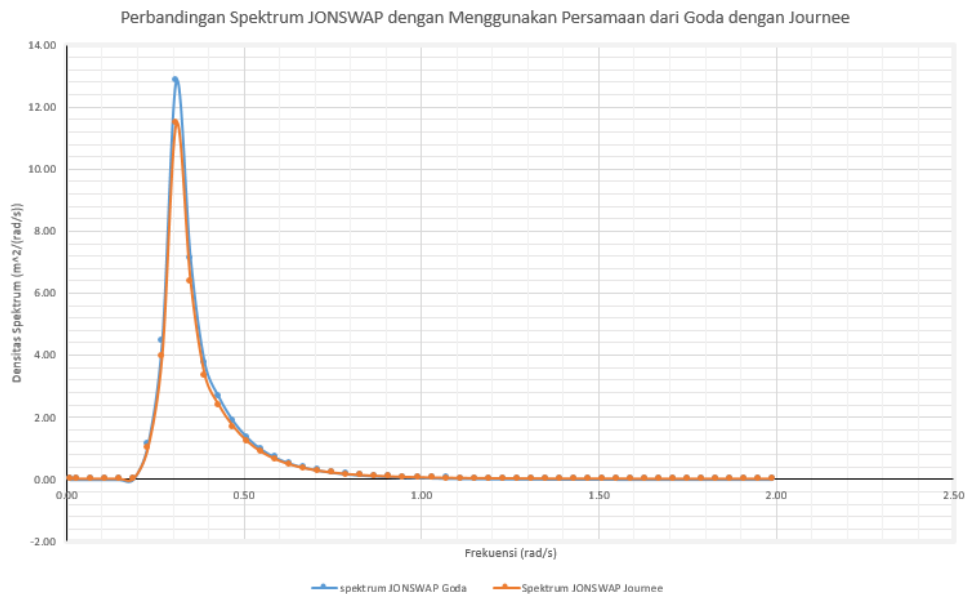
$$S_{(\omega)} = \alpha^* H_s^2 \frac{\omega^{-5}}{\omega_0^{-4}} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \gamma \exp \left[ -\frac{(\omega - \omega_0)^2}{(2\tau^2 \omega_0^2)} \right] \quad (2.28)$$

Dengan nilai  $\alpha^*$

$$\alpha^* = \frac{0.0624}{0.230 + 0.0336\gamma - 0.185(1.9 + \gamma)^{-1}} \quad (2.29)$$

Dengan parameter tinggi gelombang signifikan, periode puncak gelombang, dan parameter ketinggian yang sama maka dapat dilihat perbandingan dari kedua

spektrum JONSWAP tersebut dengan terlihat densitas puncak dari versi Goda lebih besar dibandingkan dengan versi Journee.

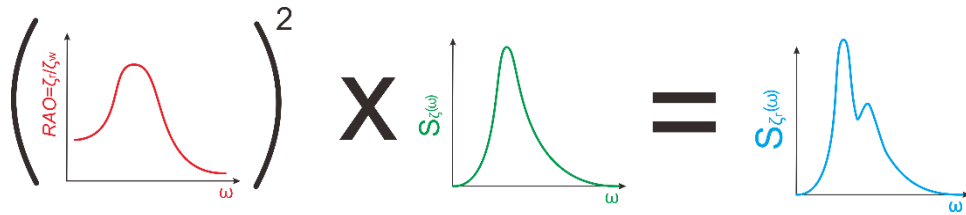


**Gambar 2.13.** Perbandingan spektra JONSWAP versi Goda dengan Journee

### 2.2.8. Spektra Respon

Secara teoritis bahwa gelombang acak didapatkan dari proses superposisi dari berbagai macam gelombang sinusoidal dengan jumlah yang tak terhingga hingga membentuk suatu gelombang random. Analisa yang digunakan dalam menentukan suatu respon pada kondisi gelombang acak disebut juga analisis spektral. Konsep dari analisis spektral yaitu memasukkan nilai input RAO dan spektral gelombang dan menghasilkan spektral respon.

RAO pada analisa spektral merupakan interpretasi dari komponen-komponen respons gelombang sinusoidal sedangkan untuk kurva spektra mewakili dekomposisi dari gelombang acak berdasarkan luasan dari masing-masing interval frekuensi spektra gelombang (Djatkiko, 2012).



**Gambar 2.14.** Ilustrasi analisa spektra

Secara sederhana konsep analisa spektra dimulai dari proses dekomposisi komponen gelombang acak hingga menjadi sejumlah komponen gelombang reguler. Setelah didapatkan masing-masing komponen gelombang reguler sejumlah  $n$ , kemudian masing-masing komponen dilakukan eksitasi terhadap struktur hingga menghasilkan respon sinusoidal sebanyak  $n$ . komponen-komponen respon sinusoidal kemudian di superposisi hingga didapatkan respon struktur pada kondisi gelombang acak.



**Gambar 2.15.** Proses analisa spektra

Hubungan antara RAO dengan spektrum gelombang seperti mentransformasikan energi gelombang menjadi energi respon. Seperti yang diketahui bahwa energi gelombang memiliki nilai harga amplitudo kuadrat, maka untuk RAO sendiri dikalikan kuadrat sesuai dengan konsep awal transformasi energi. Sehingga persamaan untuk analisa spektra menjadi :

$$S_{\zeta_r}(\omega) = RAO^2 \times S_{\zeta}(\omega) \quad (2.30)$$

Dengan :

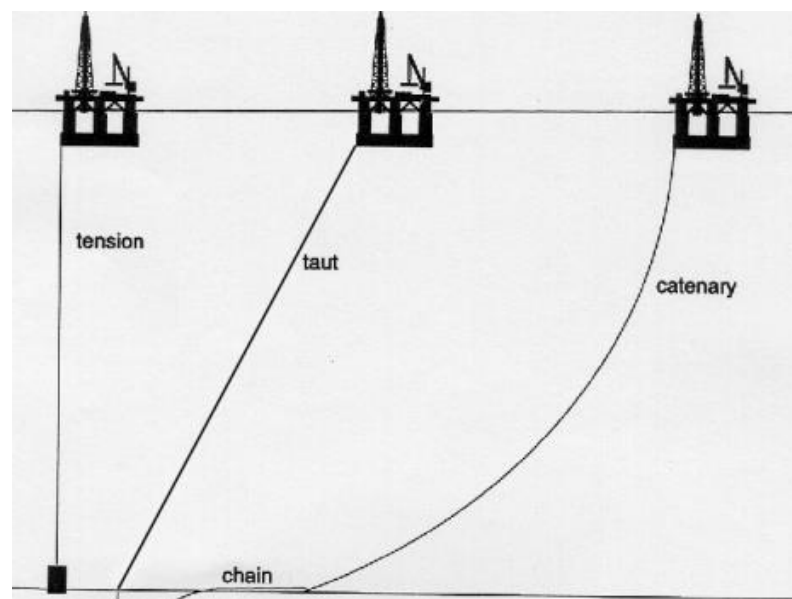
$S_{\zeta_r}(\omega) =$  spektral densitas gerakan ( $m^2/(rad/s)$ )

$RAO =$  Response Amplitude Operator ( $(m/m)/(rad/rad)$ )

$S_{\zeta}(\omega) =$  spektral densitas ( $m^2/(rad/s)$ )

### 2.2.9. Sistem Tambat

Pada bangunan apung dibutuhkan suatu sistem yang menjaga agar bangunan tersebut tetap pada posisi semula atau lebih dikenal dengan stationkeeping. Sistem tambat merupakan salah satu solusi yang bisa menjaga struktur berada pada posisi yang telah ditetapkan walaupun dikenakan dengan beban lingkungan yang bervariasi. Di lapangan sendiri terdapat tiga jenis sistem tambat yang diaplikasikan pada bangunan terapung. Tiga sistem tambat tersebut antara lain *catenary mooring*, *taut mooring* dan *tension mooring*.



**Gambar 2.16.** Tiga sistem tambat yang sering digunakan (Kim, 2012)

Ketiga sistem tambat tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. *Conventional catenary mooring system* umumnya digunakan untuk jangkar tipe drag-embedment dengan beban uplift jangkar yang cukup kecil (sudut zero uplift untuk jangkar konvensional dan maksimum sebesar 10 derajat untuk sudut uplift pada kapasitas jangkar Bruce dan Stevpris). Contoh platform yang menggunakan tipe sistem tambat ini pada mobile offshore drilling platform tipe spread-mooring.
2. *Semi taut-leg catenary mooring system* (atau sering disebut sebagai semi taut-leg sistem) pada sistem tambat ini tidak ada beban uplift pada

jangkar di kondisi pretension dan sudut maksimum untuk uplift sendiri lebih dari 10 derajat.

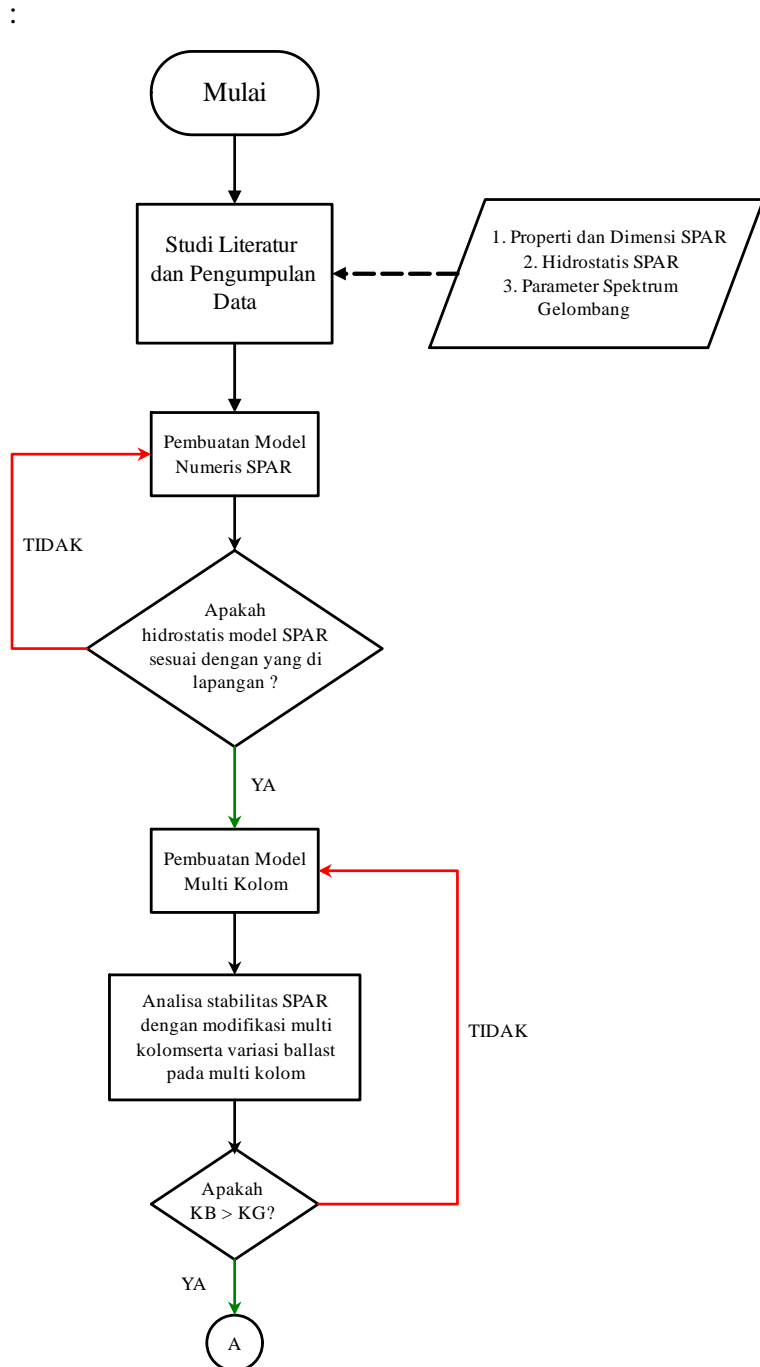
3. *Taut-leg catenary mooring system* (atau sering disebut sistem taut-leg), yang berdasarkan pada sistem profil taut dan tidak ada tali yang berada didasar pada kondisi pretensioned. Sehingga mengakibatkan tali tambat yang terhubung dengan jangkar merasakan sudut uplift dibawah pretensi.



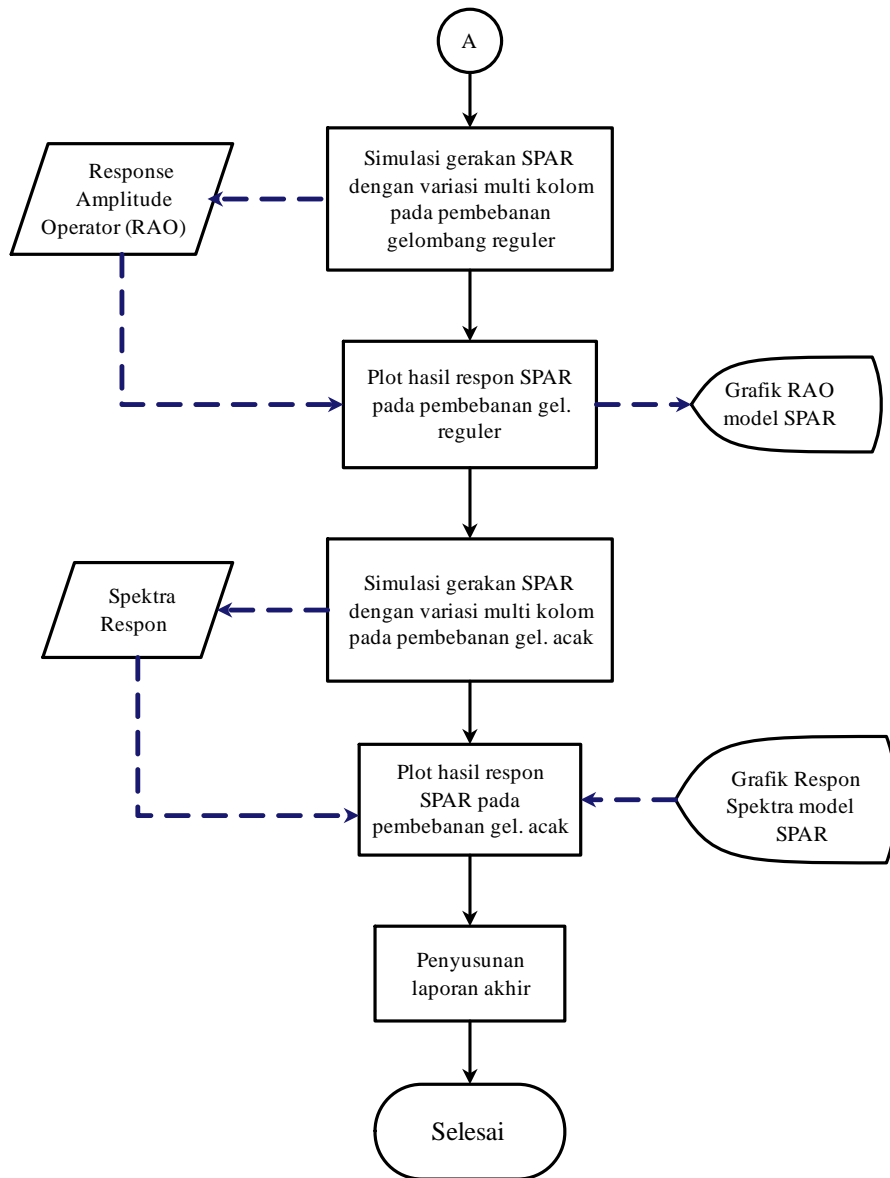
# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1. DIAGRAM ALIR ATAU FLOW CHART

Berikut diagram alir atau flowchart dari tugas akhir yang disusun oleh penulis



**Gambar 3.1.** Flowchart pengerjaan prosedur tugas akhir



**Gambar 3.2.** flowchart prosedur pengerjaan tugas akhir (Lanjutan)

### 3.2.PENJELASAN DIAGRAM ALIR

Berdasarkan diagram alir yang sudah ditunjukkan pada sub bab 3.1 dapat dijabarkan mengenai masing-masing proses yang dilakukan pada tugas akhir penulis. Berikut penjelasan mengenai masing-masing prosedur pada *flowchart* diatas :

#### 1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data



Studi literatur pada tugas akhir ini menggunakan referensi akademis seperti dari buku, jurnal, penelitian, dan tugas akhir yang bisa dijadikan sebagai acuan dalam menyusun serta melakukan proses analisa pada masalah yang diteliti oleh penulis. Studi literatur yang dicari difokuskan untuk mengetahui sifat dan karakteristik dari bangunan terapung SPAR baik dari segi desain struktur hingga perilaku yang dihasilkan akibat interaksi dengan beban lingkungan, karakteristik dari gelombang reguler dan gelombang acak, sistem tambat yang paling efektif untuk SPAR. Pada tugas akhir ini penulis menggunakan data dari Neptune SPAR yang merupakan jenis SPAR generasi pertama atau lebih dikenal tipe classic spar. Pada data utama didapatkan data dimensi dan properti hidrostatis dari SPAR yang didapatkan pada jurnal penelitian Mehernosh B. Irani dkk dengan judul *Dynamics of a Spar Platform*.

**Tabel 3.1.** Properti Neptune Spar (Irani, 2000)

No	Variabel	Nilai	Unit
1	Spar Diameter	72	feet
2	Overall Depth	702	feet
3	Draft	650	feet
4	Centerwell	32 x 32	feet
5	Water Depth	1930	feet
6	Moorings	6 lines, Chain-Wire-Chain	
7	Fairlead Position	300 (above keel)	feet
8	Center of Gravity	306 - 314 (above keel)	feet
9	Center of Buoyancy	325 (above keel)	feet

Banyaknya referensi mengenai Neptune Spar memberikan akurasi data yang bisa dijadikan rujukan dalam menentukan model numeris Neptune Spar. Salah satu tugas akhir yang mengkaji modifikasi dari Neptune Spar adalah *Studi Respon Dinamis Spar Platform dengan Variasi Ratio Diameter dan Jarak Heave Plate* karya Ryan Ciputra

dengan data yang disajikan berupa posisi *center of gravity* masing-masing berat bagian sub-struktur mulai dari *hard tank* hingga *soft tank* serta berat struktur itu sendiri.

**Tabel 3.2.** Properti sub struktur Neptune Spar (Ciputra, 2010)

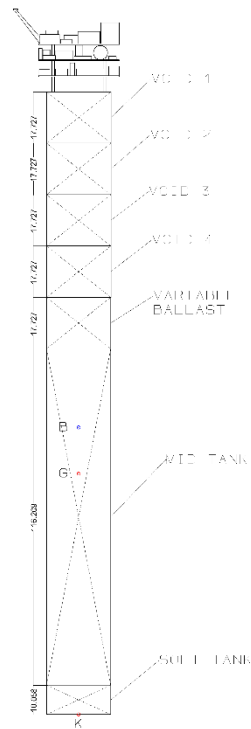
No.	Equipment	WT (ton)	KG (m)	ton.m
1	Hard Tank Steel	4855	167.09136	811228.5528
2	Hard Tank Margin	898	167.09136	150048.0413
3	Midsection	2297.5	71.628	164565.33
4	Soft Tank Steel	1044.5	5.4864	5730.5448
5	Soft Tank Margin	188	5.4864	1031.4432
6	Hull Steel Weight	9283.5	122.01144	1132693.203
7	Outfitting	2194.5	125.881425	276246.7864
8	Total Topside	6000	236.22	1417320

Kim (2012) juga memberikan data hidrostatis dari Neptune Spar seperti pada Tabel 3.3

**Tabel 3.3.** Hidrostatis Neptune Spar (Kim, 2012)

No.	Variabel	Ukuran	Satuan
1	Massa Total	75604.1	ton
2	Center of Gravity	85.3	m
3	Jari-jari Girasi Pitch	65.85	m
4	Jari-jari Girasi Roll	65.85	m

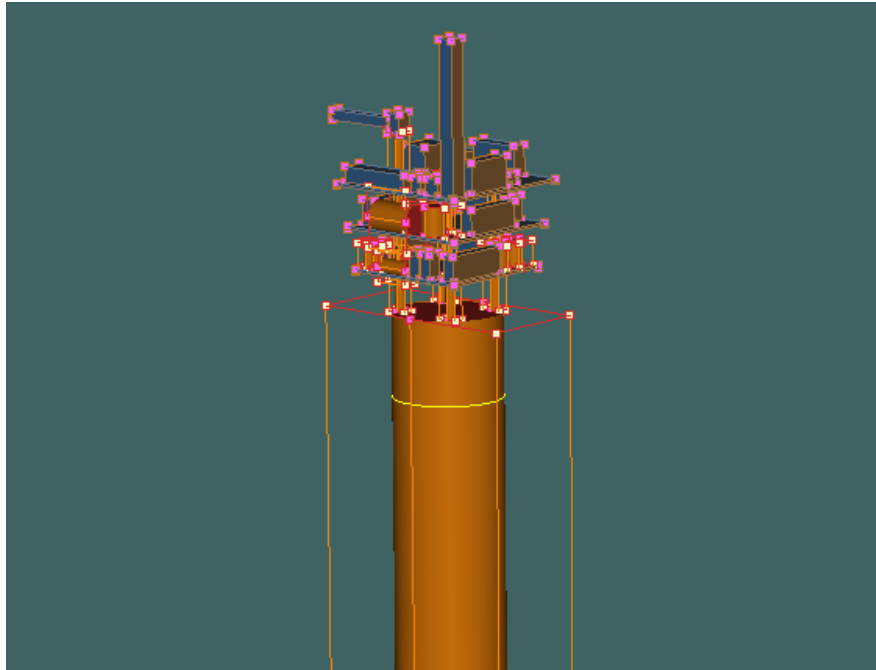
Data posisi KG, berat, dan definisi dari substruktur itu sendiri bisa digunakan sebagai acuan dalam menentukan posisi serta ukuran tanki ketika dimodelkan kedalam model numeris sesuai dengan acuan general arrangement pada Gambar 3.2



**Gambar 3.3.** Properti tanki pada neptune spar

## 2 Pembuatan Model SPAR

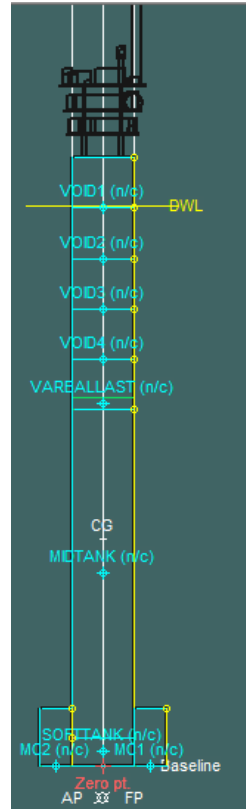
Model SPAR sendiri dibuat dengan menggunakan model numeris dengan memanfaatkan perangkat lunak yang mampu untuk membuat desain SPAR yang diinginkan. Model SPAR dibuat dengan menggunakan perangkat lunak dari *Bentley* yaitu *Moses Hull Modeller* dengan memanfaatkan tampilan *User Interface* yang mudah digunakan.



**Gambar 3.4.** Model numeris Neptune spar

Model numeris spar yang dirancang menggunakan *Maxsurf Hull Modeller* masih berupa struktur yang belum didefinisikan tanki yang ada pada bagian lambung. Definisi berat sub-struktur, tanki, serta kompartemen pada model numeris Neptune spar perlu dilakukan untuk mengetahui stabilitas dari model yang dirancang serta mengetahui stabilitas dari Spar ketika dipasangkan dengan tambahan sub-struktur multi kolom yang akan mempengaruhi stabilitas model struktur tersebut.

Pemberian definisi berat sub-struktur, berat, dan posisi titik berat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Stability*. Penggunaan perangkat lunak *Maxsurf Stability* diperlukan dengan menggunakan opsi analisa *equilibrium* untuk mengetahui apakah kondisi model yang dirancang sudah berada pada kondisi stabil atau terjadi *trim* atau *heel*.



**Gambar 3.5.** Definisi tanki pada model Neptune Spar tipe 2

Selain untuk mengetahui kemampuan dalam menjaga stabilitas model yang dirancang, analisa equilibrium pada perangkat lunak *Maxsurf Stability* juga memberikan parameter berupa posisi titik berat dari keel hingga posisi titik apung dari keel yang nantinya parameter tersebut dibutuhkan untuk melakukan analisa respon gerakan.

**Tabel 3.4.** Report keluaran dari analisa hidrostatis Neptune spar

No.	Variabel	Nilai
1	Draft Amidships m	198.12
2	Displacement t	76801
3	Heel deg	0
4	Draft at FP m	198.12
5	Draft at AP m	198.12
6	Draft at LCF m	198.12
7	Trim (+ve by stern) m	0
8	WL Length m	21.946
9	Beam max extents on WL m	21.946
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	9428.911
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	378.192
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.785
13	Block coeff. (Cb)	0.785
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.785
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0
18	KB m	99.06
19	KG fluid m	83.807
20	BMt m	0.152
21	BML m	0.152
22	GMt corrected m	15.405
23	GML m	15.405
24	KMt m	99.212
25	KML m	99.212
26	Immersion (TPc) tonne/cm	3.876
27	MTc tonne.m	539.096
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	20648.08
29	Max deck inclination deg	0
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0

Pada perancangan model bangunan terapung yaitu Neptune spar, tidak terlepas dari prosedur validasi model dengan karakteristik bangunan aslinya sehingga diperlukan validasi pada beberapa variabel yang didapatkan. Validasi model numeris sendiri dibatasi dengan margin

error sebesar 2 % dengan data lapangan. Variabel-variabel yang umumnya digunakan untuk validasi antara lain :

- Displasemen
- Posisi pusat massa struktur atau center of gravity pada masing-masing koordinat sumbu seperti LCG pada sumbu X, TCG pada sumbu Y dan VCG pada sumbu Z
- Jari-jari girasi untuk sumbu X yaitu ( $R_{xx}$ ), pada sumbu Y yaitu ( $R_{yy}$ ), dan pada sumbu Z yaitu ( $R_{zz}$ )
- Jari-jari metacenter melintang atau BMT
- Jari-jari metacenter memanjang atau BML
- Tinggi metacenter melintang atau GMT
- Tinggi metacenter memanjang atau GML

### 3 Pembuatan Model Multi Kolom

Pada tugas akhir ini, fokus permasalahan yang ingin di analisa adalah pengaruh penambahan jumlah sub-struktur berupa multi kolom pada main SPAR dengan adanya variasi persentase ballast pada multi-kolom. Sedikit sekali referensi yang ada di lapangan mengenai modifikasi sub-struktur pada SPAR sehingga penulis merancang dimensi serta properti dari multi kolom dengan menggunakan acuan rancangan pada tanki hard tank dari SPAR. Properti dimensi dari multi-kolom disajikan pada Tabel 3.5

**Tabel 3.5.** Dimensi utama multi kolom

No	Parameter	Length (m)
1	Diameter	11.46
2	Radius	5.73
3	Length	20.116

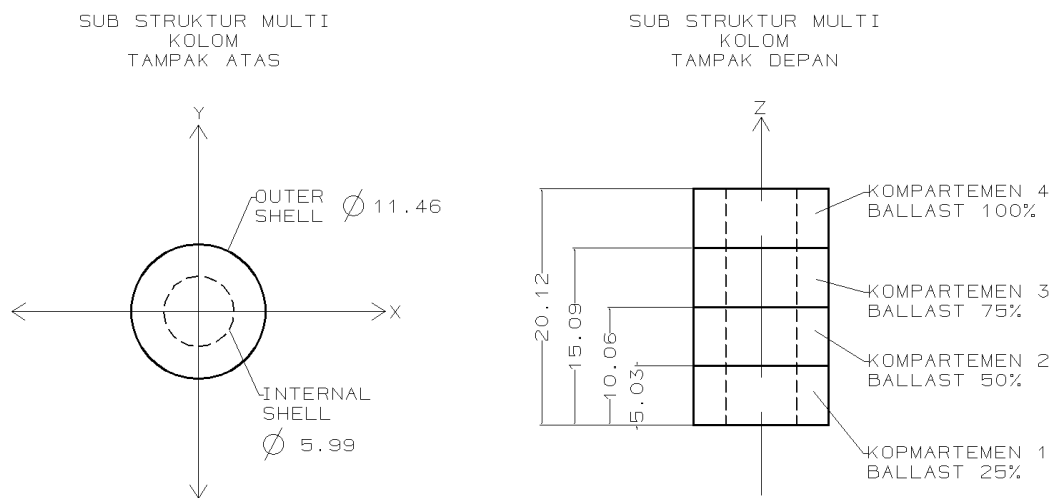
Penentuan dimensi multi kolom harus dipertimbangkan mengingat penambahan multi kolom akan mempengaruhi seberapa besar respon yang akan diterima oleh struktur bangunan tersebut ketika dikenakan

oleh beban lingkungan. Pemberian definisi material beserta struktur internalnya perlu ditentukan juga mengingat bahwa model multi kolom sendiri memiliki ukuran berat yang akan mempengaruhi ke respon gerakan tersebut. Sehingga diperlukan pemilihan jenis material beserta struktur internalnya seperti pada Tabel 3.6 dan 3.7

**Tabel 3.6.** Properti material penyusun multi kolom

Material Multi-Kolom	
Jenis Material =	steel high strength
Grade =	grade AH27S
densitas =	491.006 lb/ft <sup>3</sup>

Desain perencanaan dimensi dari multi kolom disajikan pada Gambar 3.6 dalam penampang 2 dimensi.



**Gambar 3.6.** Desain perencanaan sub struktur multi kolom



**Tabel 3.7.** Properti struktur penyusun multi kolom

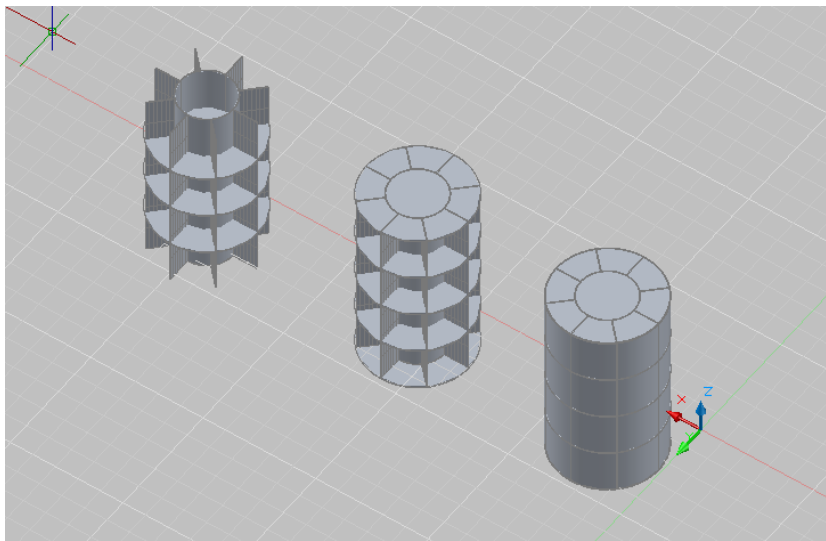
No.	Variabel	Nilai	Satuan
1	Panjang Selimut Tabung	20.116	m
2	Lebar Selimut Tabung	36.003	m
3	Luas Selimut Tabung	724.229	m <sup>2</sup>
4	Tebal Selimut Tabung	0.0762	m
5	Volume Selimut Tabung	55.186	m <sup>3</sup>
6	Radius Watertight Tabung	5.73	m
7	Luas Watertight Tabung	51.574	m <sup>2</sup>
8	Tebal Watertight Tabung	0.0762	m
9	volume Watertight Tabung	3.930	m <sup>3</sup>
10	Jumlah Watertight Tabung	3	buah
11	Volume Total Watertight Tabung	11.790	m <sup>3</sup>
12	Radius Penutup Atas/Bawah	5.73	m
13	Luas Penutup Atas/Bawah	51.574	m <sup>2</sup>
14	Volume Penutup Atas/Bawah	3.930	m <sup>3</sup>
15	Jumlah Pentutup Atas/Bawah	2	buah
16	Volume Penutup Atas dan Bawah	7.860	m <sup>3</sup>
17	Volume Selimut + Watertight + Cap	74.836	m <sup>3</sup>
18	Radius Inner Shell	2.999	m
19	Tinggi Inner Shell	20.116	m
20	Tebal Inner Shell	0.0762	m
21	Luas Inner Shell	379.007	m <sup>2</sup>
22	Volume Inner Shell	28.880	m <sup>3</sup>
23	Panjang Gading	2.6417	m
24	Lebar Gading	0.0762	m
25	Tinggi Gading	20.116	m
26	Volume Gading	4.049	m <sup>3</sup>
27	Jumlah Gading	8	buah
28	Volume Total Gading	32.394	m <sup>3</sup>
29	Volume Total Multi Kolom	136.111	m <sup>3</sup>
30	Massa Total Struktur Multi Kolom	1070532.18	kg
		1070.53218	ton

Pada perancangan multi kolom dibuat watertight untuk mencegah terjadinya kebocoran pada masing-masing kompartemen. Perancangan watertight sendiri dibatasi menjadi empat level dengan masing-masing level dapat menampung ballast sebanyak 25%, 50%, 75% dan 100%. Pada Tabel 3.7 ditunjukkan posisi dari masing-masing watertight yang ada pada multi kolom.

**Tabel 3.8.** Posisi watertight pada multi kolom

Posisi watertight pada multi kolom		
elevasi watertight 1 =	5.029	m from base MC
elevasi watertight 2 =	10.058	m from base MC
elevasi watertight 3 =	15.087	m from base MC

Properti serta dimensi multi-kolom dapat ditunjukkan bentuk 3 dimensi pada Gambar 3.7



**Gambar 3.7.** Desain multi kolom tampak 3 dimensi

#### 4 Analisa Stabilitas SPAR

Rancangan model numeris untuk masing-masing SPAR dengan variasi multi kolom masih belum didefinisikan untuk properti ballast yang ada pada tanki SPAR. Pada analisa stabilitas model SPAR memungkinkan untuk mengubah presentase ballast dengan memperhatikan nilai displasemen yang sudah ditentukan dari awal.

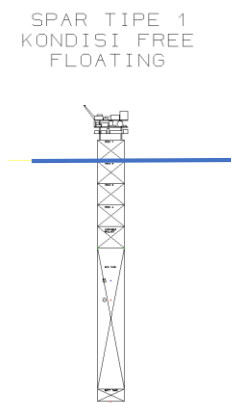
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa analisa stabilitas diperlukan dengan tujuan untuk mengetahui posisi dari titik berat dan titik apung pada model SPAR dengan tetap memperhatikan posisi draft yang diinginkan oleh perancang.

Penulis melakukan iterasi pada desain SPAR yang telah divariasikan dengan memperhatikan ciri utama dari SPAR adalah posisi KG yang selalu lebih kecil dibandingkan dengan posisi KB. Sehingga jika diperlukan maka desain dari multi kolom harus bisa memenuhi syarat yang telah ditentukan untuk menjadikan sifat dari SPAR sendiri tidak berubah.

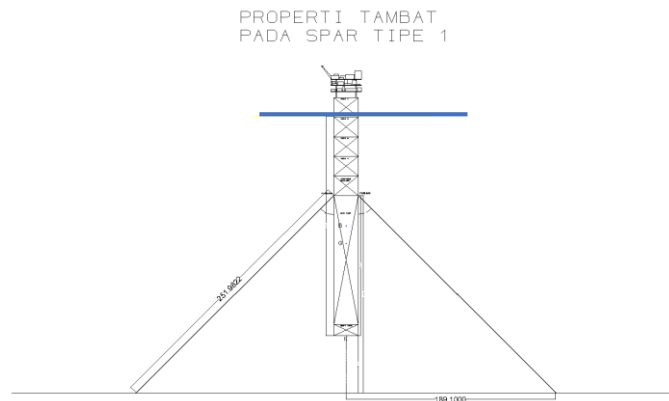
## 5 Simulasi Gerakan SPAR pada Gel. Reguler

Respon gerakan SPAR pada kondisi pembebanan gelombang reguler diperlukan untuk mengetahui perilaku gerakan dari masing-masing model dengan variasi yang berbeda sehingga memberikan keluaran Response Amplitude Operator atau RAO. Analisa respon gerakan pada tugas akhir ini dibatasi menjadi beberapa variasi antara lain :

- Perilaku gerakan dianalisa pada kondisi free floating dan tertambat



**Gambar 3.8.** Spar Tipe 1 pada kondisi *free floating*



**Gambar 3.9.** Spar Tipe 1 pada kondisi tertambat

- Arah eksitasi gelombang sebanyak 5 arah antara lain 0, 45, 90, 135, 180 derajat
- Mode gerakan yang dianalisa dibatasi menjadi tiga mode antara lain heave, pitch, dan roll
- Variasi ballast pada multi kolom sebanyak 4 variasi antara lain 0%, 25%, 50%, dan 100%
- Jumlah multi kolom divariasikan dengan tipe SPAR

Pada analisa respon gerakan SPAR pada gelombang reguler perlu dimasukkan nilai beberapa variabel yang nantinya akan mempengaruhi pola gerakan. Variabel-variabel tersebut antara lain titik berat massa SPAR serta radius girasi struktur tersebut. Parameter radius girasi pada spar tipe 1 bisa dicari dengan mencari momen inersia massa dengan menggunakan persamaan (3.1) sedangkan pada SPAR yang ditambahkan dengan sub-struktur multi kolom untuk mencari radius girasi harus menggunakan teorema parallel axis.

$$I = k^2 m \quad (3.1)$$

$$k = \sqrt{\frac{I}{m}} \quad (3.2)$$

Dengan

$I =$  momen inersia pada sumbu yang dianalisa

$m =$  massa benda atau struktur

$k =$  radius girasi

## 6 Simulasi Gerakan SPAR pada Gel. Acak

Pada simulasi gerakan SPAR pada gelombang acak, maka diperlukan parameter data dari analisa gelombang reguler yaitu RAO. Pada simulasi gelombang acak, perlu didefinisikan spektrum yang akan digunakan sebagai faktor pengali dengan kuadrat RAO sehingga menghasilkan respon spektra.

Spektrum yang digunakan merupakan spektrum JONSWAP dengan menggunakan spektrum versi Goda dimana parameter yang dimasukkan terlihat pada Tabel 3.9

**Tabel 3.9.** Parameter yang dimasukkan pada spektrum JONSWAP

No.	Variabel	Nilai	Unit
1	Peakness Parameter	2.5	
2	Tinggi Gel. Signifikan	5	m
3	Periode Puncak Gel.	9	s
4	Frekuensi Puncak Gel.	0.6978	rad/s

### 3.3. ALUR WAKTU Pengerjaan TUGAS AKHIR

Pengerjaan tugas akhir yang diajukan penulis juga menyertakan masing-masing durasi waktu pengerjaan per bagian serta runtutan dalam mengerjakan tugas akhir ini hingga selesai. Berikut alur waktu pengerjaan tugas akhir yang penulis rencanakan :

**Tabel 3.10.** Timeline pengerjaan tugas akhir

No.	Kegiatan	Bulan ke I				Bulan ke II				Bulan ke III				Bulan ke IV				Bulan ke V			
		I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Studi Literatur	■	■	■				■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■	■
2	Pengumpulan Data	■	■	■	■																
3	Pembuatan Model Numeris Main Spar				■	■															
4	Validasi dan Penyempurnaan Model						■														
5	Pembuatan Model Multi Kolom							■	■												
6	Analisa Stabilitas Masing-Masing Tipe Spar									■	■	■	■								
7	Menentukan Radius Girasi, KG, KB, Properti Sistem Tambat									■	■	■	■								
8	Simulasi pada Gel. Reguler											■	■	■	■	■	■				
9	Plotting RAO											■	■	■	■	■	■				
10	Menentukan Spektrum Gelombang														■	■	■				
11	Simulasi pada Gel. Acak															■	■	■	■	■	■
12	Plotting Respon Spektra															■	■	■	■	■	■
13	Penyusunan Laporan	■	■	■		■	■	■		■	■	■	■					■	■	■	■

Pada bulan pertama dimulai mulai dari bulan Februari 2018 hingga pada awal bulan Juni 2018.

## BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Permodelan Numeris SPAR

#### 4.1.1. Permodelan Lambung SPAR

Permodelan bangunan lepas pantai SPAR menggunakan permodelan numeris dengan bantuan perangkat lunak dari Bentley yaitu *Maxsurf Hull Modeller* dan *MOSES Editor*. Penggunaan kedua perangkat lunak tersebut ditujukan untuk memodelkan spar dengan ketentuan analisa terhadap perubahan variasi ballast pada tanki yang akan didefinisikan sedangkan permodelan kedua dengan menggunakan perangkat lunak *MOSES Editor* bertujuan untuk proses analisa respon gerakan pada kondisi terapung bebas atau *free floating* dan kondisi tertambat. Data permodelan numeris yang akan dianalisa gerakannya diambil dari SPAR yang sudah ada di lapangan yang merupakan SPAR generasi pertama jenis *classic SPAR* yaitu Neptune SPAR.

Permodelan numeris Neptune Spar membutuhkan data dimensi utama atau *principal dimension* agar ukuran SPAR yang dimodelkan sesuai dengan SPAR yang ada di lapangan. Data permodelan lambung Neptune Spar menggunakan data dari jurnal penelitian Mehernosh B. Irani dkk dengan judul *Dynamics of a Spar Platform* yang tertera pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1.** Data dimensi utama Neptune SPAR (Irani, 2000)

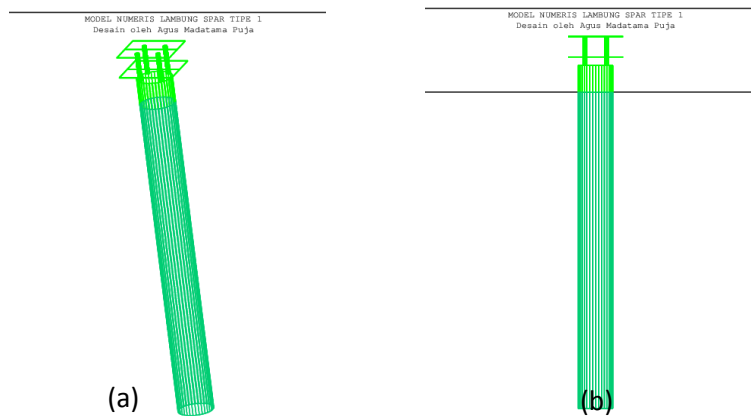
No	Variabel	Nilai	Unit
1	Spar Diameter	72	feet
2	Overall Depth	702	feet
3	Draft	650	feet
4	Centerwell	32 x 32	feet
5	Water Depth	1930	feet
6	Moorings	6 lines, Chain-Wire-Chain	
7	Fairlead Position	300 (above keel)	feet
8	Center of Gravity	306 - 314 (above keel)	feet
9	Center of Buoyancy	325 (above keel)	feet

Permodelan dengan menggunakan data 4.1 maka didapatkan rancangan struktur seperti pada Gambar 4.1. Pada permodelan dengan menggunakan perangkat lunak Maxsurf Hull Modeller terlihat pada Gambar 4.2 sedangkan untuk permodelan dengan menggunakan MOSES Editor dilakukan proses meshing dengan ukuran maksimum meshing adalah 3.5 m.

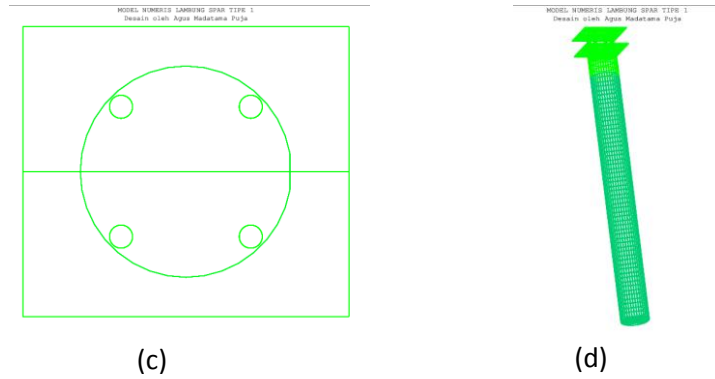


**Gambar 4.1.** Permodelan numeris Neptune Spar dengan Maxsurf Hull Modeller

Pada permodelan Neptune Spar dengan menggunakan Maxsurf Hull Modeller, posisi sarat dari Neptune Spar ditandai dengan garis kuning melingkar pada lambung Spar. Permodelan lambung pada MOSES Editor dapat dilihat pada Gambar 4.2a hingga 4.2d





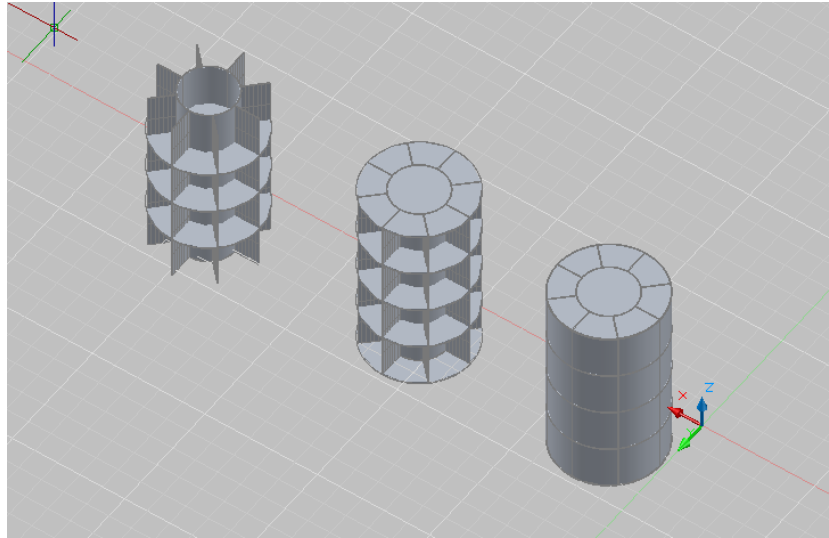


**Gambar 4.2.** (a) Model numeris Neptune Spar tampak perspektif (b) tampak depan (c) tampak atas (d) setelah mengamali proses meshing

Permodelan Neptune Spar pada perangkat lunak MOSES menunjukkan adanya bagian struktur yang berbeda warna. Pada bagian struktur yang berwarna hijau tua menunjukkan bahwa bagian struktur tersebut berada dibawah garis air, sedangkan bagian struktur yang berwarna hijau muda menunjukkan bahwa bagian tersebut berada diatas garis air.

#### 4.1.2. Permodelan Multi Kolom SPAR

Perencanaan desain dari sub struktur multi kolom sendiri perlu didefinisikan mulai dari massa, desain struktur internal, hingga jenis material dari multi kolom. Perencanaan sub struktur multi kolom sendiri diutamakan untuk memberikan berat massa kosong atau *empty load* tanpa melakukan analisa kekuatan struktur ketika terkena gaya hidrostatis serta segi biaya perencanaan itu sendiri. Pemberian definisi perlu dilakukan karena sub struktur multi kolom sendiri memiliki berat sendiri sehingga dapat mempengaruhi posisi pusat massa variasi SPAR.



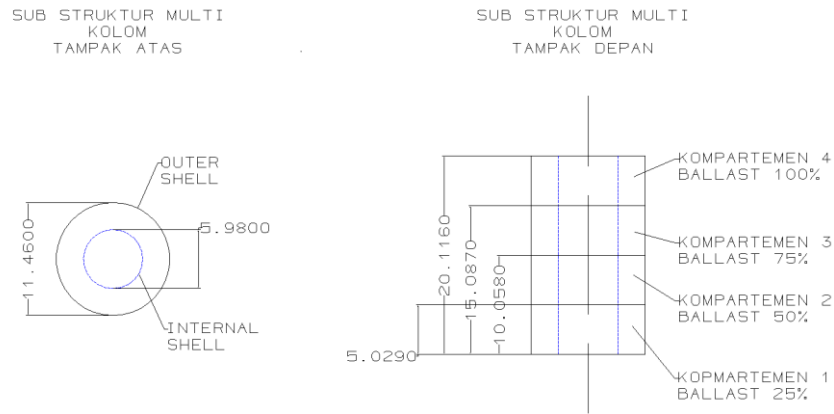
**Gambar 4.3.** Desain 3-D sub struktur multi kolom, dimulai dari kiri struktur internal tanpa cap, struktur internal dengan cap, dan sub struktur dengan outer shell

Dimensi dari multi kolom sendiri memiliki ukuran yang ditunjukkan pada Tabel 4.2

**Tabel 4.2.** Dimensi utama dari sub struktur multi kolom

No	Parameter	Length (m)
1	Diameter	11.46
2	Radius	5.73
3	Length	20.116

Selain dimensi utama perlu didefinisikan juga struktur internal yang berada didalam multi kolom. Perancangan sub struktur multi kolom menggunakan konsep perancangan yang sama pada *hard tank* SPAR. Pada perancangan struktur internal, diberikan sebanyak tiga *watertight* pada masing-masing level dengan tujuan sebagai kompartemen ketika diisi dengan ballast. Masing-masing level dibagi menjadi empat kompartemen sesuai dengan variasi persentase ballast antara lain 25%, 50%, 75% dan 100 %.



**Gambar 4.4.** Desain perencanaan multi kolom

Perencanaan struktur internal pada sub struktur multi kolom sendiri pada Gambar 4.4 terlihat memiliki internal shell dengan diameter 5.98 m dari pusat sumbu serta tiga watertight dengan masing-masing posisi koordinat sumbu-z nya disajikan pada Tabel 4.3

**Tabel 4.3.** Posisi watertight pada sub struktur multi kolom

Posisi watertight pada multi kolom	
elevasi watertight 1 =	5.029 m from base MC
elevasi watertight 2 =	10.058 m from base MC
elevasi watertight 3 =	15.087 m from base MC

Penentuan material pada multi kolom juga diperlukan untuk memberikan berat kosong dari struktur. Properti material dari multi kolom disajikan pada Tabel 4.4

**Tabel 4.4.** Properti material dari sub struktur multi kolom

Material Multi-Kolom	
Jenis Material =	steel high strength
Grade =	grade AH27S
densitas =	491.006 lb/ft <sup>3</sup>

Properti dari struktur internal serta material penyusun multi kolom telah didapatkan, maka diperlukan untuk mendefinisikan berat total sub struktur multi kolom sehingga diperlukan ketebalan pada masing-masing bagian penyusun struktur. Pada perencanaan ini, ketebalan dari masing-masing penyusun mulai dari outer shell, internal shell, hingga watertight sebesar 0.0762 m atau 3 inci. Sehingga perhitungan total berat struktur dapat dijabarkan pada Tabel 4.5

**Tabel 4.5.** Kalkulasi berat total dari sub struktur multi kolom

No.	Variabel	Nilai	Satuan
1	Panjang Selimut Tabung	20.116	m
2	Lebar Selimut Tabung	36.003	m
3	Luas Selimut Tabung	724.229	m <sup>2</sup>
4	Tebal Selimut Tabung	0.0762	m
5	Volume Selimut Tabung	55.186	m <sup>3</sup>
6	Radius Watertight Tabung	5.73	m
7	Luas Watertight Tabung	51.574	m <sup>2</sup>
8	Tebal Watertight Tabung	0.0762	m
9	volume Watertight Tabung	3.930	m <sup>3</sup>
10	Jumlah Watertight Tabung	3	buah
11	Volume Total Watertight Tabung	11.790	m <sup>3</sup>
12	Radius Penutup Atas/Bawah	5.73	m
13	Luas Penutup Atas/Bawah	51.574	m <sup>2</sup>
14	Volume Penutup Atas/Bawah	3.930	m <sup>3</sup>
15	Jumlah Pentutup Atas/Bawah	2	buah
16	Volume Penutup Atas dan Bawah	7.860	m <sup>3</sup>
17	Volume Selimut + Watertight + Cap	74.836	m <sup>3</sup>
18	Radius Inner Shell	2.999	m
19	Tinggi Inner Shell	20.116	m
20	Tebal Inner Shell	0.0762	m
21	Luas Inner Shell	379.007	m <sup>2</sup>
22	Volume Inner Shell	28.880	m <sup>3</sup>
23	Panjang Gading	2.6417	m
24	Lebar Gading	0.0762	m
25	Tinggi Gading	20.116	m
26	Volume Gading	4.049	m <sup>3</sup>
27	Jumlah Gading	8	buah
28	Volume Total Gading	32.394	m <sup>3</sup>
29	Volume Total Multi Kolom	136.111	m <sup>3</sup>
30	Massa Total Struktur Multi Kolom	1070532.18	kg
		1070.53218	ton

Berdasarkan perhitungan berat maka didapatkan berat kosong dari multi kolom sebesar 1070.532 pada kondisi empty load atau tidak terisi ballast.

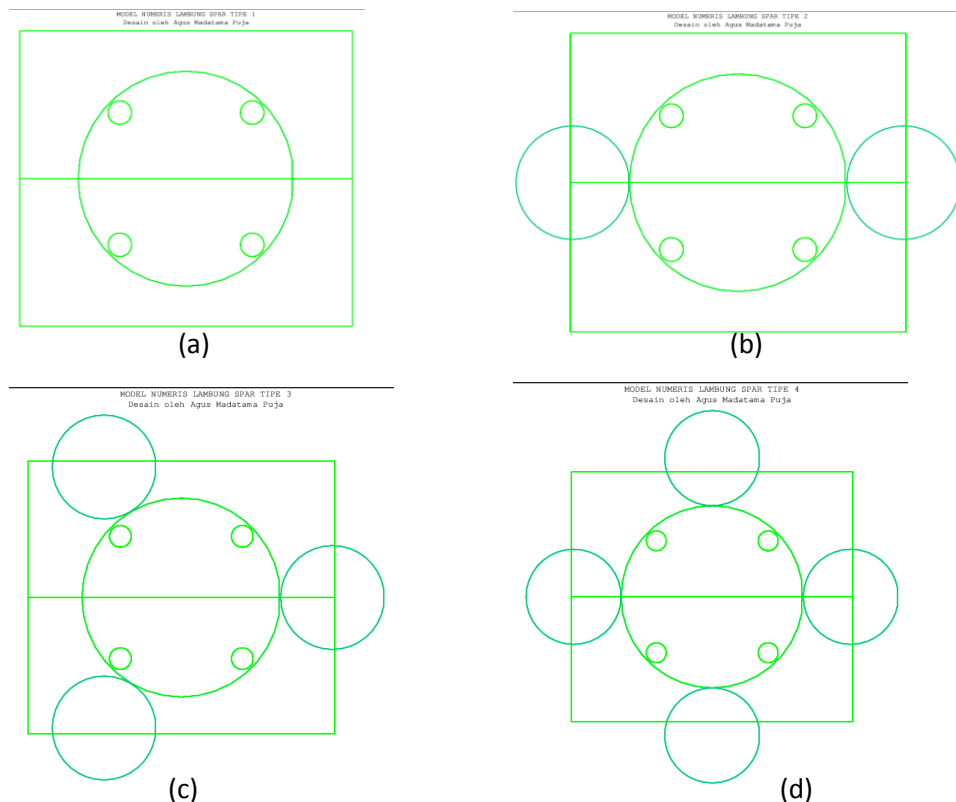
### 4.1.3. Permodelan Modifikasi SPAR

Permodelan SPAR yang dimodifikasi dengan penambahan sub struktur multi kolom diinstall pada bagian base dari main SPAR atau pada analisa ini menggunakan SPAR tipe 1. Pemasangan sub struktur sendiri di posisikan dengan tiap sudut antar kolom memiliki nilai yang sama. Pada Tabel 4.6 merupakan konfigurasi jumlah multi kolom dengan sudut masing-masing multi kolom sebagai berikut.

**Tabel 4.6.** Posisi masing-masing multi kolom

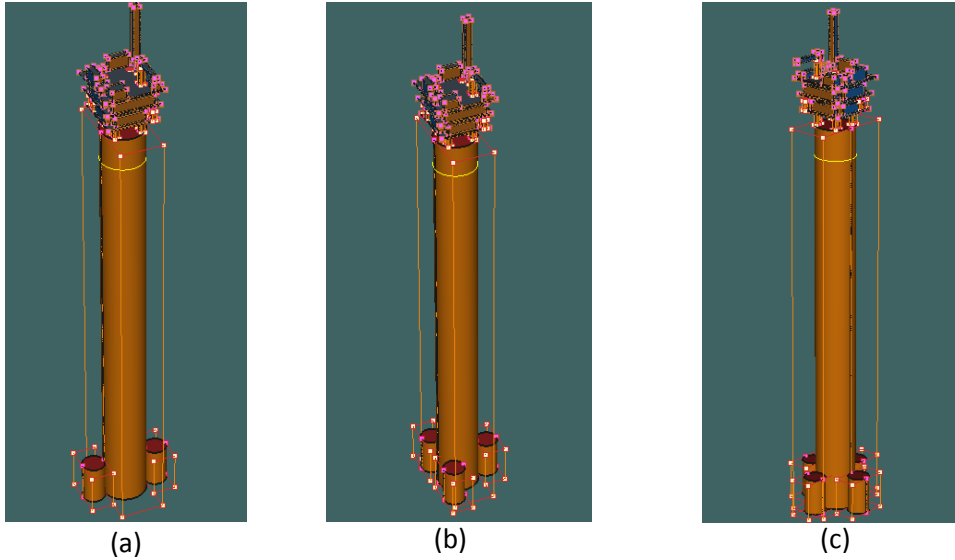
No.	Tipe SPAR	Jumlah Multi Kolom	Posisi (deg)
1	SPAR TIPE 1	-	-
2	SPAR TIPE 2	2	0, 180
3	SPAR TIPE 3	3	0, 120, 240
4	SPAR TIPE 4	4	0, 90, 180, 270

Pada konfigurasi masing-masing tipe SPAR, pada Gambar 4.5 menunjukkan desain tampak atas dengan lingkaran diameter yang lebih kecil merupakan sub struktur multi kolom yang terletak pada base main SPAR.



**Gambar 4.5.** (a) tampak atas SPAR tipe 1 (b) tampak atas SPAR tipe 2 (c) tampak atas SPAR tipe 3 (d) tampak atas SPAR tipe 4

Pemasangan sub struktur multi kolom dibagian bawah main SPAR dapat dilihat seperti pada Gambar 4.6a hingga 4.6c.

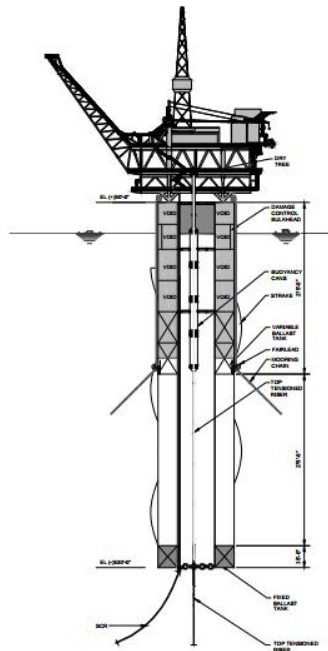


**Gambar 4.6.** (a) permodelan 3-dimensi SPAR tipe 2 (b) SPAR tipe 3 (c) SPAR tipe 4

#### 4.1.4. Permodelan Tanki pada SPAR

Permodelan tanki baik pada Main SPAR dengan sub struktur multi kolom perlu dijabarkan untuk memberikan hasil hidrostatis mengenai posisi KG dan KB pada masing-masing variasi SPAR ketika diberikan perlakuan variasi ballast pada multi kolom.

Desain posisi tanki dan definisi tanki pada Neptune SPAR diberikan ketentuan dengan hard tank tersusun atas 5 tanki dengan 4 tanki merupakan tanki kosong untuk mendukung daya apung sedangkan satu tanki merupakan variable ballast yang berfungsi untuk mengatur ketinggian draft pada SPAR. Pada bagian midsection merupakan tanki yang terisi ballast penuh serta pada bagian soft tank merupakan tanki yang berisi material yang memiliki berat jenis lebih besar dibandingkan dengan berat jenis air laut seperti concrete atau pasir.



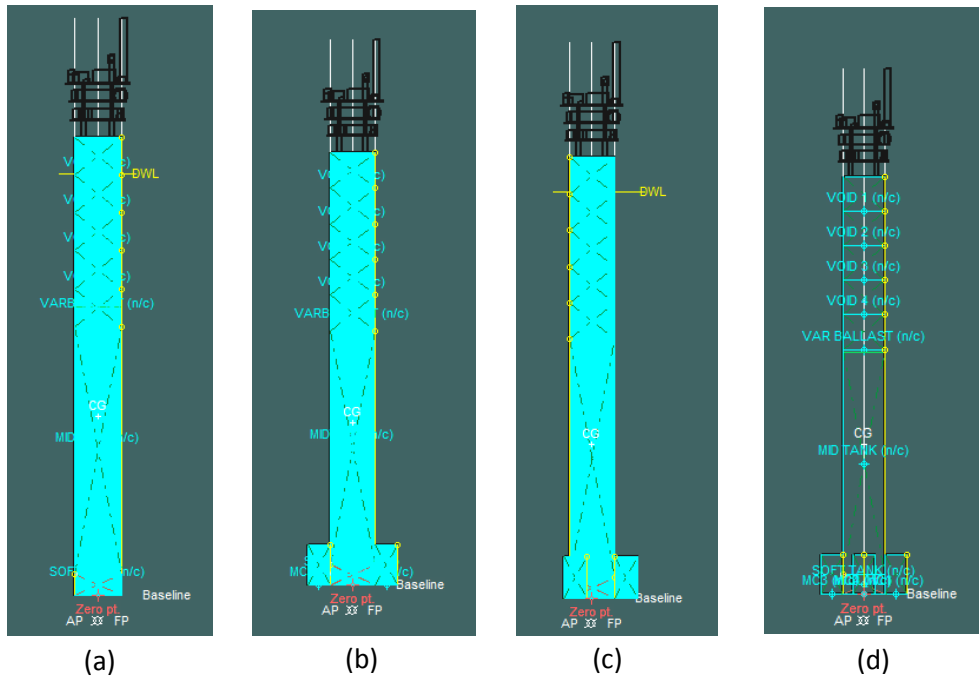
**Gambar 4.7.** Struktur internal pada Neptune SPAR (Kim, 2012)

Pendefinisian tanki SPAR juga diperlukan pendefinisian berat bagian-bagian struktur yang ada di SPAR. Berdasarkan data dari Ciputra (2010) didapatkan bagian-bagian massa struktur SPAR beserta dengan posisi pusat massanya yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7.** Properti struktur Neptune Spar (Ciputra, 2010)

No.	Equipment	WT (ton)	KG (m)	ton.m
1	Hard Tank Steel	4855	167.09136	811228.5528
2	Hard Tank Margin	898	167.09136	150048.0413
3	Midsection	2297.5	71.628	164565.33
4	Soft Tank Steel	1044.5	5.4864	5730.5448
5	Soft Tank Margin	188	5.4864	1031.4432
6	Hull Steel Weight	9283.5	122.01144	1132693.203
7	Outfitting	2194.5	125.881425	276246.7864
8	Total Topside	6000	236.22	1417320

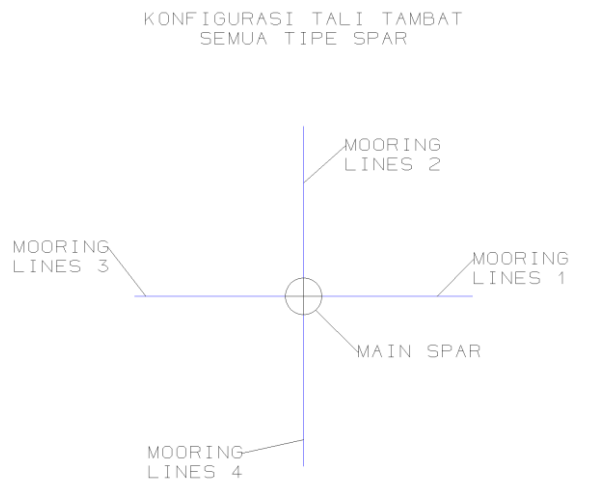
Permodelan tanki pada masing-masing SPAR dapat dilihat pada Gambar 4.7a – 4.7d.



**Gambar 4.8.** Model masing-masing SPAR dengan definisi tanki didalamnya (a) SPAR Tipe 1 (b) SPAR Tipe 2 (c) SPAR Tipe 3 (d) SPAR Tipe 4

#### 4.2. Permodelan Tali Tambat

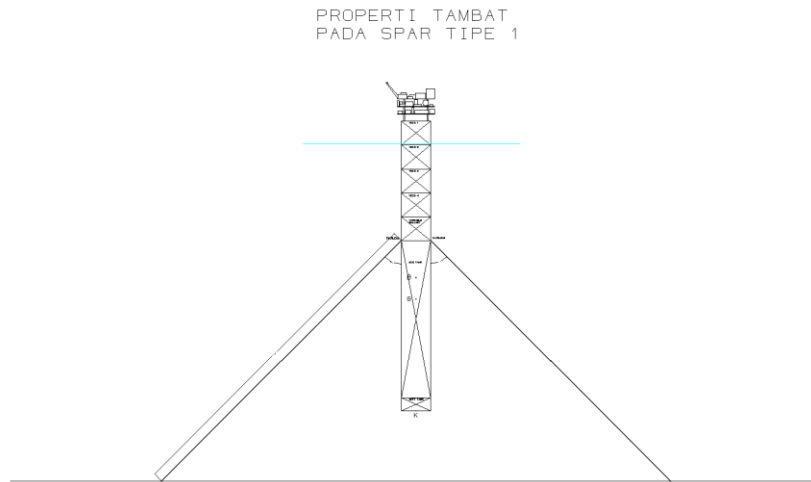
Permodelan tali tambat menggunakan bantuan perangkat lunak MOSES dengan perencanaan untuk semua tipe SPAR menggunakan sistem tambat jenis taut dengan jumlah tali tambat sebanyak 4 buah. Tali tambat semua tipe SPAR disusun dengan variasi sudut yang sama mulai dari 0, 90, 180, 270 derajat dari titik sumbu SPAR.



**Gambar 4.9.** Konfigurasi tali tambat semua tipe SPAR



Posisi fairlead dari semua SPAR di set di lokasi antara hardtank dengan midsection. Posisi tali tambat terlihat seperti pada Gambar (4.10).



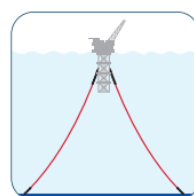
**Gambar 4.10.** Konfigurasi tali tambat tampak depan

Pada perencanaan pemasangan sistem tambat pada semua tipe SPAR yang akan dianalisis, diperlukan pula mendefinisikan jenis tali tambat yang digunakan serta properti tali tambat. Properti tali tambat menggunakan katalog dari *Bridon Fibre Rope Catalogue* dengan jenis tali tambat yang digunakan merupakan jenis *Bridon Superline Polyester (Permanent Mooring)*.

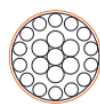
### Floating Production Mooring Systems

Bridon's specialist fibre tethers and high strength steel cables for permanent mooring of floating production facilities offer a range of properties to ensure the suitable solution for your specific requirements - system type, location, water depth, field life etc.

Bridon's in house engineering expertise can provide custom designed connection hardware. Our dedicated project management team will oversee all aspects of your mooring system project including but not limited to design, manufacture, QA & QC requirements, shipping & handling of large package weights, on site installation and handling advice.



#### Polyester (Permanent Moorings)



Bridon Superline is a torsionally balanced construction and the polyester material grades offer the highest strength to weight ratio for the permanent mooring solution. The inclusion of a particle filter layer to limit the ingress of abrasive particles and a marine finish on load bearing elements to enhance resistance to yarn on yarn abrasion ensures long term performance for field lives in excess of 20 years.

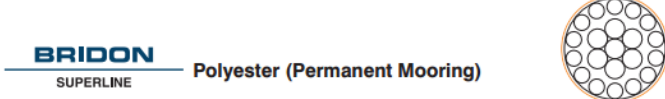
(See page 25)

**Gambar 4.11.** Polyester Bridon Superline (Bridon, 2015)

Pada dasarnya penentuan properti dari tali tambat memperhitungkan beberapa variabel yang sejatinya dilakukan analisa dan berpengaruh terhadap gerakan SPAR

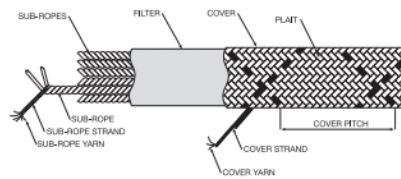
ketika dikenai beban lingkungan. Pada katalog Bridon dipilih salah satu tali tambat seperti pada tabel berikut

**Tabel 4.8.** Properti Polyester Bridon Superline (Bridon, 2015)



Diameter*		MBL		Approximate mass				Post installation drift stiffness		Intermediate stiffness		Stow stiffness	
				In air		Submerged							
in	mm	kN	kips	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	MN	10 <sup>4</sup> kips	MN	10 <sup>4</sup> kips	MN	10 <sup>4</sup> kips
4 1/8	126	3924	882	10.0	6.7	2.5	1.7	51.0	11.5	105.9	23.8	109.9	24.7
5 1/2	139	4905	1102	12.1	8.1	3.0	2.0	63.8	14.3	132.4	29.8	137.3	30.9
5 7/8	151	6180	1389	14.4	9.7	3.6	2.4	80.3	18.1	166.9	37.5	173.0	38.9
6 1/4	158	6959	1565	15.9	10.7	4.0	2.7	90.5	20.3	187.9	42.3	194.9	43.8
6 7/8	168	7848	1764	18.0	12.1	4.5	3.0	102.0	22.9	211.9	47.6	219.7	49.4
6 3/4	177	8829	1984	19.9	13.4	5.0	3.4	114.8	25.8	238.4	53.6	247.2	55.6
7 1/4	185	9810	2205	21.9	14.7	5.5	3.7	127.5	28.7	264.9	59.5	274.7	61.7
7 7/8	201	10987	2469	25.8	17.3	6.5	4.3	142.8	32.1	296.6	66.7	307.6	69.1
8 1/4	213	12263	2756	28.9	19.4	7.2	4.9	159.4	35.8	331.1	74.4	343.4	77.2
8 7/8	223	13734	3086	31.8	21.4	8.0	5.4	178.5	40.1	370.8	83.3	384.6	86.4
9	229	14715	3307	33.6	22.6	8.4	5.7	191.3	43.0	397.3	89.3	412.0	92.6
9 1/2	241	15696	3527	37.2	25.0	9.3	6.3	204.0	45.9	423.8	95.2	439.5	98.8
9 7/8	247	16677	3748	39.2	26.3	9.8	6.6	216.8	48.7	450.3	101.2	467.0	104.9
10 1/4	257	17858	3968	42.4	28.5	10.6	7.1	232.2	51.6	482.2	107.1	500.0	111.1
10 7/8	263	18639	4189	44.4	29.8	11.1	7.5	242.3	54.5	503.3	113.1	521.9	117.3
10 3/4	268	19620	4409	46.4	31.2	11.6	7.8	255.1	57.3	529.7	119.0	549.4	123.5
10 1/2	274	20601	4630	48.5	32.6	12.1	8.2	267.8	60.2	556.2	125.0	576.8	129.6
11 1/8	281	21582	4850	50.7	34.1	12.7	8.5	280.6	63.1	582.7	131.0	604.3	135.8
11 1/4	286	22563	5071	52.6	35.3	13.2	8.8	293.3	65.9	609.2	136.9	631.8	142.0
11 7/8	291	23544	5291	54.7	36.8	13.7	9.2	306.1	68.8	635.7	142.9	659.2	148.1
11 3/4	296	24525	5512	56.7	38.1	14.2	9.5	318.8	71.7	662.2	148.8	686.7	154.3

\*Diameters shown in the above table are nominal values and should be used for guidance purposes only.



Tali tambat yang digunakan merupakan tali tambat dengan diameter sebesar 229 mm serta properti tali tambat tersebut disajikan pada Tabel 4.9

**Tabel 4.9.** Properti tali tambat untuk analisa gerakan semua tipe SPAR

No.	Variabel	Nilai	Satuan
1	Diameter	229	mm
2	MBL	14715	kN
3	massa di udara	33.6	kg/m
4	massa di air	8.6	kg/m
5	kekakuan	412	MN

### 4.3. Validasi Model SPAR

Validasi model numeris yang didesain pada perangkat lunak diperlukan agar hasil analisa yang dikeluarkan oleh MOSES maupun Maxsurf memiliki nilai yang

lebih presisi pada bangunan struktur terapung Neptune Spar. Validasi model numeris pada penelitian tugas akhir ini dibatasi dengan batasan error maksimal sebesar 2 %. Perbandingan antara data Neptune SPAR yang ada dilapangan dengan model numeris seperti pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10.** Validasi model dengan data Neptune Spar yang ada di lapangan

No.	Parameter	Data Neptune Spar	Model Neptune Spar	satuan	error (%)
1	Length	214.884	214.884	m	0.000%
2	Diameter	21.9456	21.946	m	0.002%
3	Draft	198.12	198.12	m	0.000%
4	KG	85.3	83.807	m	1.750%
5	KB	99.06	99.06	m	0.000%
6	Berat Struktur	75604.51	76801.4	ton	1.599%
7	Radius Gyration Pitch	65.85	67.02	m	1.777%
8	Radius Gyration Roll	65.85	67.02	m	1.777%
9	Mooring Diameter		229	mm	

Pada validasi yang disajikan pada Tabel 4.10 hanya dilakukan pada SPAR tipe 1 dikarenakan untuk SPAR yang lainnya telah diberikan penambahan sub struktur multi kolom yang berakibat sifat hidrostatisnya juga berubah dan tidak ada struktur dilapangan yang memiliki bentuk seperti SPAR tipe 2, 3, dan 4.

#### 4.4. Penentuan Displasemen dan Draft SPAR

Pada analisa olah gerakan bangunan SPAR dengan variasi multi kolom dan variasi persentase ballast diperlukan acuan agar kondisi antar masing-masing variasi SPAR bisa sama. Menggunakan persamaan (4.1) yang merupakan persamaan untuk mencari displasemen pada SPAR pada kondisi perairan laut.

$$\nabla = \pi r^2 t \rho_{air\ laut} \quad (4.1)$$

Dengan

$\nabla =$  displasemen (ton)

$r =$  jari-jari hull spar (m)

$t =$  draft spar (m)

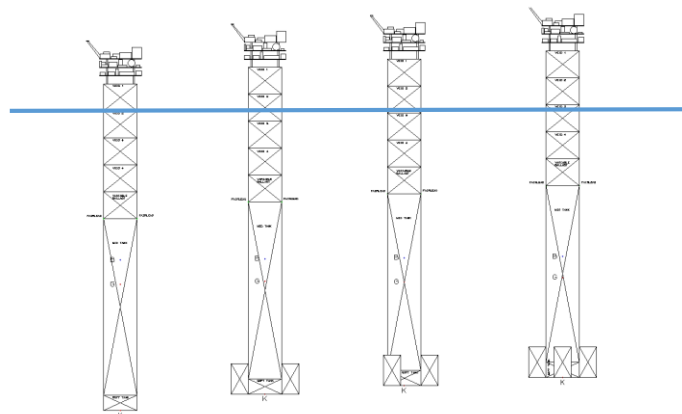
$\rho_{air\ laut} =$  berat jenis air laut (1.025 ton/m<sup>3</sup>)

Dengan menggunakan analisa equilibrium pada Maxsurf Stability serta mendefinisikan masing-masing persentase ballast baik pada bagian seperti pada LAMPIRAN, maka didapatkan nilai dari draft yang sesuai dengan kondisi displasemen sama. Analisa pada kondisi displasemen yang sama didapatkan nilai dari masing-masing draft pada Tabel 4.11

**Tabel 4.11.** Draft masing-masing tipe SPAR

No.	Tipe Spar	Displasemen [ton]	Draft [m]
1	SPAR TIPE 1	76801	198.12
2	SPAR TIPE 2	76801	187.202
3	SPAR TIPE 3	76801	181.696
4	SPAR TIPE 4	76801	176.251

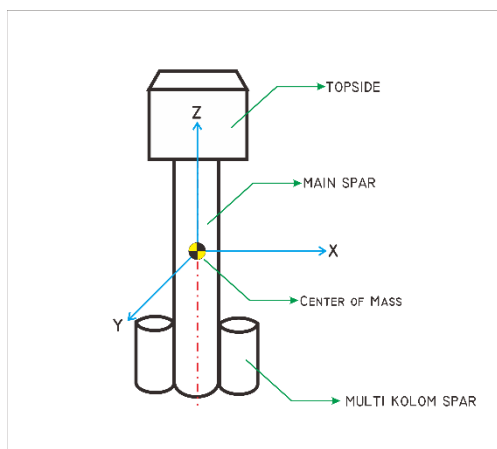
Sehingga didapatkan nilai dari masing-masing draft yang didapatkan dengan menggunakan displasemen SPAR Tipe 1 sebagai acuan dalam analisa tugas akhir ini.



**Gambar 4.12.** Spar 1,2,3, dan 4 (dari kiri ke kanan) pada kondisi displasemen sama

**4.5.Posisi KB & KG SPAR**

Pada desain SPAR yang telah dibuat, perlu diketahui posisi dari titik pusat massa atau center of gravity dengan titik apung pada model yang dibuat. Pada masing-masing SPAR sendiri telah didefinisikan mengenai berat masing-masing bagian penyusun struktur mulai dari *hard tank* hingga berat multi kolom, serta persentase ballast yang berada di dalam tanki main tank maupun multi kolom.



**Gambar 4.13.** Ilustrasi titik pusat massa SPAR

Posisi KG dari SPAR dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4.2) sampai (4.4) dengan diketahui masing-masing massa serta jarak dari baseline atau zero point agar didapatkan posisi titik berat gabungan struktur.

$$VCG = \frac{m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2 + m_3 \cdot z_3 + \dots + m_n \cdot z_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \tag{4.2}$$

$$LCG = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + \dots + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \tag{4.3}$$

$$TCG = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + \dots + m_n \cdot y_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \tag{4.4}$$

Dengan

$VCG$  = posisi titik pusat massa pada sumbu z (m)

$LCG$  = posisi titik pusat massa pada sumbu x (m)

$TCG =$  posisi titik pusat massa pada sumbu y (m)

$m =$  berat massa struktur (kg)

$x =$  posisi titik pusat massa sub struktur pada sumbu x (m)

$y =$  posisi titik pusat massa sub struktur pada sumbu y (m)

$z =$  posisi titik pusat massa sub struktur pada sumbu y (m)

Sedangkan untuk posisi dari KB sendiri bisa digunakan pendekatan dengan setengah dari panjang draft struktur. Sehingga posisi masing-masing titik massa SPAR dan posisi titik apung dengan variasi multi kolom serta persentase ballast dapat dilihat pada Tabel 4.12

**Tabel 4.12.** Posisi KG dan KB dari masing-masing variasi SPAR

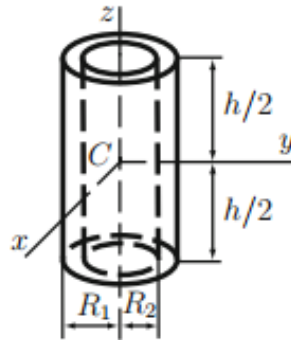
No.	Tipe Spar	Ballast MC (%)	KG (m)	KB (m)	KB-KG (m)
1	Spar Tipe 1	-	83.807	99.06	15.253
2	Spar Tipe 2	0	80.4	88.979	8.579
3		25	78.677	88.979	10.302
4		50	76.887	88.98	12.093
5		100	74.061	88.979	14.918
6	Spar Tipe 3	0	77.139	84.144	7.005
7		25	74.76	84.144	9.384
8		50	72.389	84.144	11.755
9		100	68.205	84.145	15.94
10	Spar Tipe 4	0	76.978	79.491	2.513
11		25	73.877	79.494	5.617
12		50	70.867	79.491	8.624
13		100	65.676	79.493	13.817

#### 4.6. Posisi Radius Girasi SPAR

Pada analisa gerakan model numeris SPAR, diperlukan variabel radius girasi yang merupakan hasil dari akar kuadrat pembagian antara momen massa inersia dengan massa total. Permodelan masing-masing SPAR telah didefinisikan mulai dari berat struktur penyusun beserta titik berat masing-masing, berat multi kolom

beserta titik beratnya, serta melakukan penyederhanaan pada bagian topside dengan diasumsikan sebagai sebuah balok.

Pada bagian struktur seperti hard tank, midsection, multi kolom, dan soft tank diasumsikan sebagai struktur tabung berongga sehingga persamaan momen inersianya menggunakan persamaan (4.5) hingga (4.7)



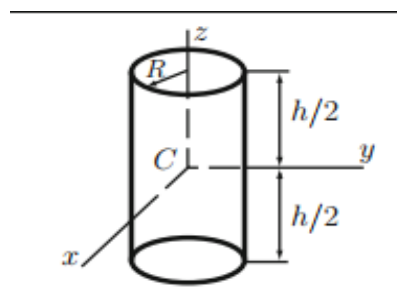
**Gambar 4.14.** Momen inersia pada tabung berongga (Marghitu, 2012)

$$m = \pi\rho(R_1^2 - R_2^2) \quad (4.5)$$

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{12}m(3R_1^2 + 3R_2^2 + h^2) \quad (4.6)$$

$$I_{zz} = \frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2) \quad (4.7)$$

Sedangkan untuk tanki pada SPAR dan multi kolom diasumsikan sebagai silinder pejal. Sehingga menggunakan persamaan (4.8) hingga (4.10)



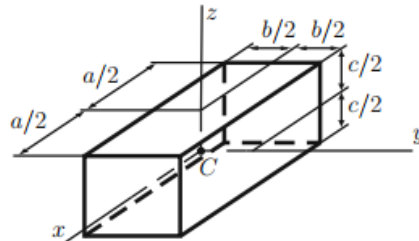
**Gambar 4.15.** Posisi momen inersia silinder pejal (Marghitu, 2012)

$$m = \pi\rho R^2 h \quad (4.8)$$

$$I_{xx} = I_{yy} = \frac{1}{12}m(3R^2 + h^2) \quad (4.9)$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} mR^2 \quad (4.10)$$

Sedangkan pada bagian topside diasumsikan sebagai sebuah balok.



**Gambar 4.16.** posisi momen inersia struktur balok (Marghitu, 2012)

$$m = \rho abc \quad (4.11)$$

$$I_{xx} = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2) \quad (4.12)$$

$$I_{yy} = \frac{1}{12} m(a^2 + c^2) \quad (4.13)$$

$$I_{zz} = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2) \quad (4.14)$$

Setelah ditemukan masing-masing massa momen inersia dari bagian sub struktur beserta isi dari ballast sendiri diperlukan juga untuk mengetahui momen inersia gabungan dengan menggunakan *Parallel Axis Theorem*.

Persamaan untuk mengetahui momen inersia gabungan dari semua substruktur beserta ballast ditulis pada persamaan (4.15) hingga (4.17)

$$I_x = m \cdot (y^2 + z^2) \quad (4.15)$$

$$I_y = m \cdot (x^2 + z^2) \quad (4.16)$$

$$I_z = m \cdot (x^2 + y^2) \quad (4.17)$$

Momen inersia masing-masing sumbu ditemukan kemudian mencari dari nilai radius girasi dengan menggunakan persamaan :

$$k_{xx} = \sqrt{\frac{I_x}{m}} \quad (4.18)$$



$$k_{yy} = \sqrt{\frac{I_y}{m}} \quad (4.19)$$

$$k_{zz} = \sqrt{\frac{I_z}{m}} \quad (4.20)$$

Menggunakan persamaan (4.18) untuk mencari nilai radius radius pitch, persamaan (4.19) untuk mencari nilai radius girasi roll, serta persamaan (4.20) untuk mencari nilai radius girasi yaw, maka didapatkan nilai masing-masing radius girasi pada Tabel 4.13 dengan hasil perhitungan analitis berada di LAMPIRAN.

**Tabel 4.13.** Nilai radius girasi masing-masing SPAR

No.	Tipe Spar	Variasi Ballast (%)	Kxx (m)	Kyy (m)	Kzz (m)
1	1	0	67.020	67.020	8.741
2	2	0	67.554	67.612	9.133
		25	67.903	67.989	9.309
		50	68.317	68.431	12.192
		100	68.615	68.784	12.456
3	3	0	67.299	67.314	11.845
		25	67.950	67.964	12.069
		50	68.131	68.144	12.270
		100	68.912	68.925	12.663
4	4	0	68.239	68.239	12.212
		25	68.961	68.961	12.476
		50	69.831	69.831	12.733
		100	69.951	69.951	13.234

#### 4.7. Spektrum Gelombang Lingkungan SPAR

Pada kondisi pembebanan gelombang acak diperlukan parameter berupa jenis spektrum gelombang kondisi perairan lingkungan tempat bangunan apung akan di install. Pemilihan spektrum gelombang pada tugas akhir ini menggunakan jenis spektrum JONSWAP yang memiliki kelebihan berupa spektrum gelombang yang memiliki pendekatan mirip dengan kondisi perairan Indonesia yang masuk kedalam kategori perairan tertutup.

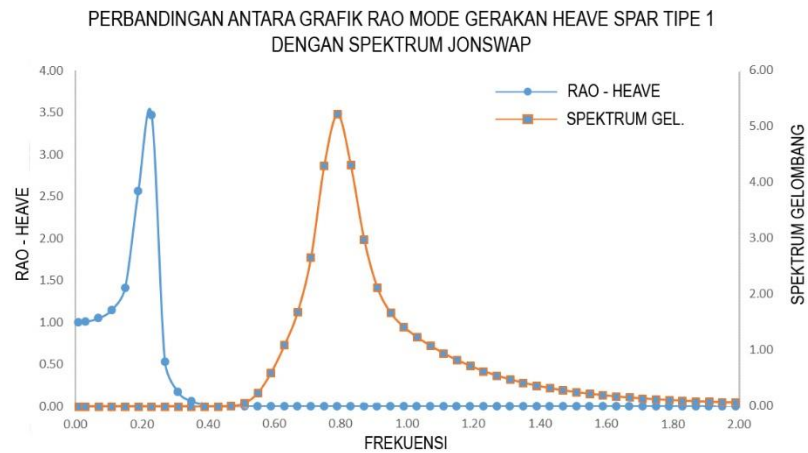
Variabel yang digunakan untuk memenuhi persamaan spektrum JONSWAP menggunakan data pada kondisi perairan Natuna dengan pendekatan nilai periode puncak dengan gelombang signifikan pada pembebanan 100 tahunan seperti pada Tabel 3.9.

Menggunakan persamaan (2.28) yang merupakan pendekatan analitis spektrum JONSWAP dari Goda (1979) maka didapatkan nilai spektrum gelombang berdasarkan frekuensinya seperti pada Tabel 4.14

**Tabel 4.14.** Spektrum JONSWAP pada kondisi perairan Natuna

No.	Frekuensi	$\alpha^* H_s^2 \frac{\omega^{-5}}{\omega_0^{-4}}$	$exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right]$	shape parameter	$\gamma \exp \left[ \frac{(\omega - \omega_0)^2}{(2\pi^2 \omega_0^2)} \right]$	$S(\omega)$
1	0.01	21826686055	0	0.07	1	0
2	0.03	89821753.31	0	0.07	1	0
3	0.07	1298666.392	0	0.07	1	0
4	0.11	135526.5478	0	0.07	1	0
5	0.15	28742.96106	0	0.07	1	0
6	0.19	8814.948859	3.1353E-159	0.07	1	2.8E-155
7	0.23	3391.162661	1.53236E-74	0.07	1	5.2E-71
8	0.27	1521.139279	1.35335E-39	0.07	1	2.06E-36
9	0.31	762.3937593	4.2957E-23	0.07	1	3.28E-20
10	0.35	415.5732455	1.71722E-14	0.07	1	7.14E-12
11	0.39	241.9160968	1.17802E-09	0.07	1	2.85E-07
12	0.43	148.47233	9.07841E-07	0.07	1.000000001	0.000135
13	0.47	95.16965876	5.84604E-05	0.07	1.000000065	0.005564
14	0.51	63.26112652	0.000884452	0.07	1.00000326	0.055952
15	0.55	43.36849531	0.005528766	0.07	1.000095747	0.239797
16	0.59	30.53006603	0.019738242	0.07	1.001657423	0.603609
17	0.63	21.99302939	0.048835027	0.07	1.017014486	1.092304
18	0.67	16.16641742	0.0943903	0.07	1.10653704	1.688524
19	0.71	12.09751191	0.153861938	0.07	1.430155443	2.662015
20	0.75	9.197747539	0.222411343	0.07	2.105924245	4.308054
21	0.79	7.093365615	0.294897349	0.09	2.49515538	5.219403
22	0.83	5.54111725	0.367068649	0.09	2.118888638	4.309757
23	0.87	4.379167316	0.435953919	0.09	1.564681236	2.987157
24	0.91	3.497686173	0.499777724	0.09	1.213819078	2.121835
25	0.95	2.820783635	0.557691539	0.09	1.062780932	1.67189
26	0.99	2.295153988	0.609485054	0.09	1.013987341	1.418428
27	1.03	1.882789113	0.655346362	0.09	1.002303137	1.236721
28	1.07	1.55621255	0.695686536	0.09	1.000276639	1.082936
29	1.11	1.295307583	0.731021485	0.09	1.000024145	0.946921
30	1.15	1.085172052	0.761897548	0.09	1.00000153	0.826791
31	1.19	0.914645906	0.788847719	0.09	1.00000007	0.721516
32	1.23	0.775286541	0.812368115	0.09	1.000000002	0.629818
33	1.27	0.660646589	0.832907215	0.09	1	0.550257
34	1.31	0.565758807	0.850862789	0.09	1	0.481383
35	1.35	0.486764569	0.866583179	0.09	1	0.421822
36	1.39	0.42064313	0.880370884	0.09	1	0.370322
37	1.43	0.365012397	0.89248713	0.09	1	0.325769
38	1.47	0.317980969	0.90315672	0.09	1	0.287187
39	1.51	0.278037302	0.912572725	0.09	1	0.253729
40	1.55	0.243966003	0.920900809	0.09	1	0.224668
41	1.59	0.214784126	0.928283106	0.09	1	0.19938
42	1.63	0.189692334	0.934841619	0.09	1	0.177332
43	1.67	0.168037204	0.940681174	0.09	1	0.158069
44	1.71	0.149281933	0.945891953	0.09	1	0.141205
45	1.75	0.132983439	0.950551657	0.09	1	0.126408
46	1.79	0.118774346	0.954727348	0.09	1	0.113397
47	1.83	0.106348741	0.958477014	0.09	1	0.101933
48	1.87	0.095450843	0.961850894	0.09	1	0.091809
49	1.91	0.085865947	0.9648926	0.09	1	0.082851
50	1.95	0.077413151	0.967640068	0.09	1	0.074908
51	1.99	0.069939483	0.970126368	0.09	1	0.06785

Sedangkan perbandingan antara RAO dengan spektrum gelombang terlihat pada Gambar 4.17



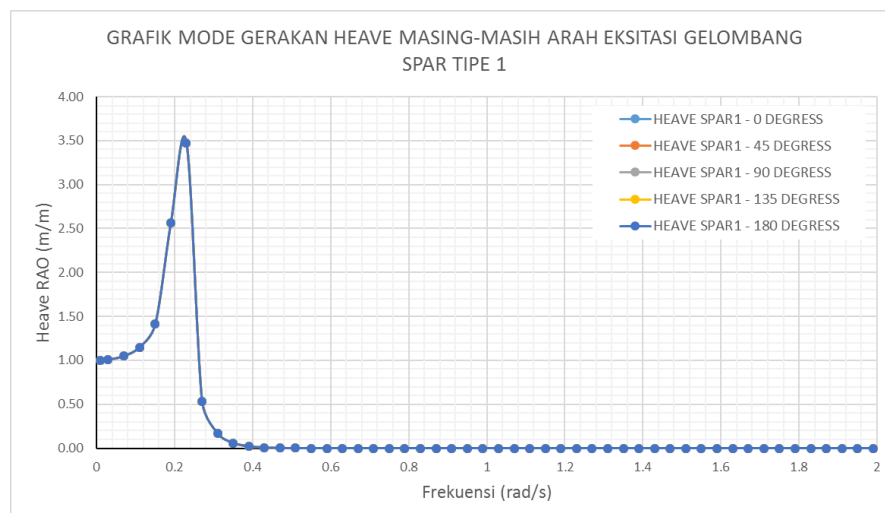
**Gambar 4.17.** Perbandingan RAO dengan spektrum JONSWAP

#### 4.8. Response Amplitude Operator Free Floating

Pada analisa respon gerakan struktur pada pembebanan gelombang reguler menggunakan metode numeris dengan bantuan perangkat lunak MOSES dari bentley. Analisa respon gerakan menggunakan metode *3D Diffraction* dengan analisa mode gerakan sebanyak tiga mode antara lain heave, pitch, dan roll.

##### 4.8.1. Mode Gerakan Heave

###### a. SPAR Tipe 1



**Gambar 4.18.** Grafik RAO mode gerakan heave SPAR tipe 1 variasi arah eksitasi gelombang

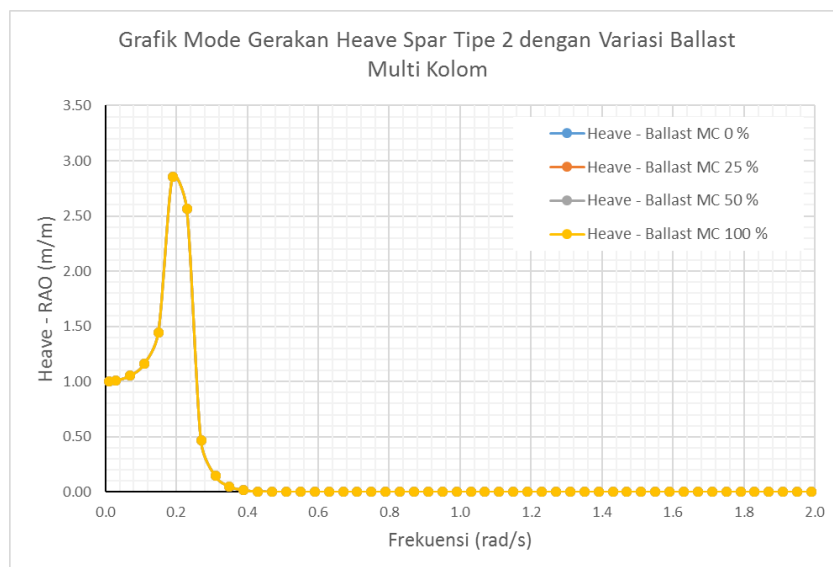
Pada mode gerakan heave maksimum SPAR tipe 1 dengan jumlah variasi arah sebanyak lima dapat diketahui nilainya pada Tabel 4.15

**Tabel 4.15.** Nilai maksimum mode gerakan heave pada SPAR tipe 1

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	3.473	0.23
2	45	3.473	0.23
3	90	3.473	0.23
4	135	3.473	0.23
5	180	3.473	0.23

### b. SPAR Tipe 2

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom



**Gambar 4.19.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

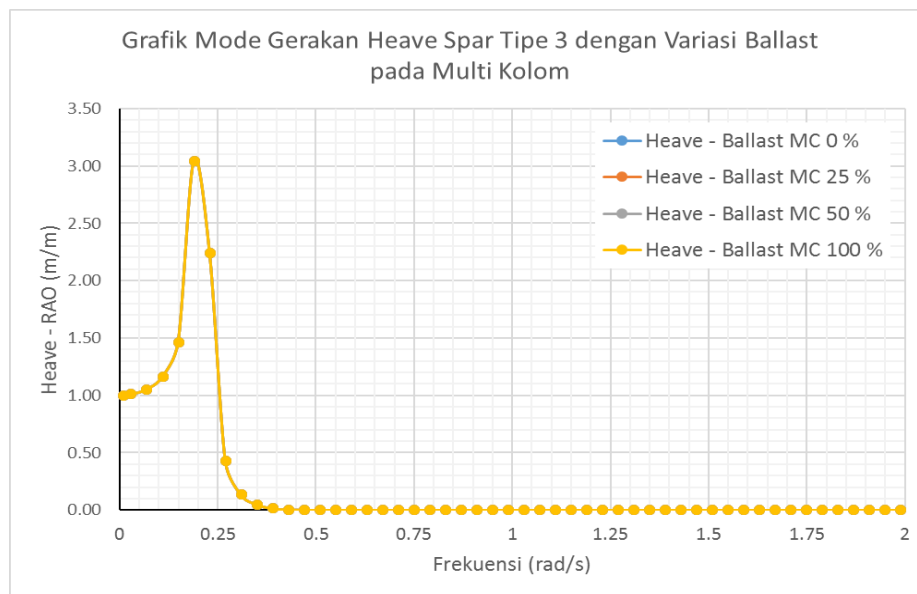
Pada mode gerakan heave SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.16

**Tabel 4.16.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	2.858	0.19
2	25	2.858	0.19
3	50	2.858	0.19
4	100	2.858	0.19

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.20.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

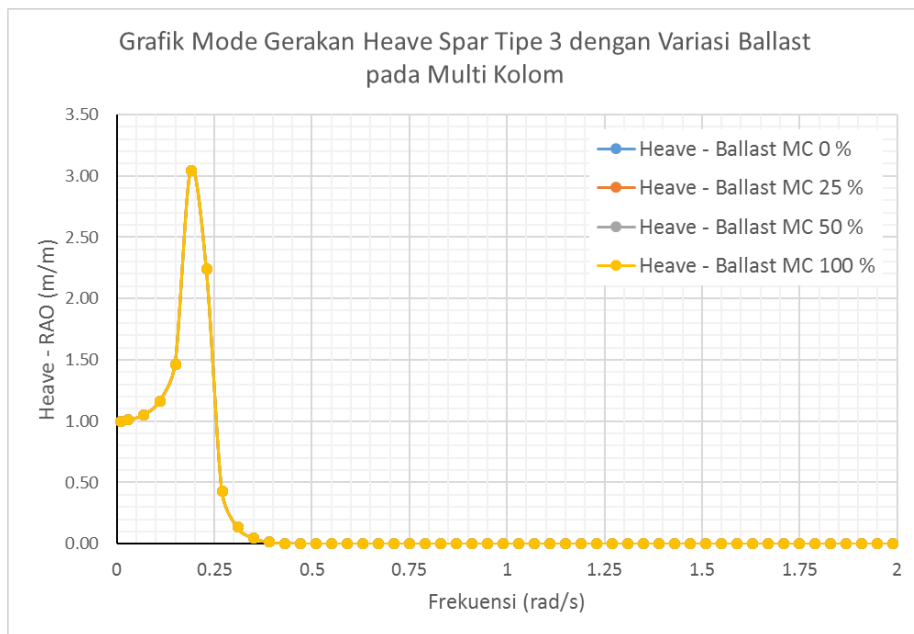
Pada mode gerakan heave SPAR tipe 3 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.17

**Tabel 4.17.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	3.042	0.19
2	25	3.042	0.19
3	50	3.042	0.19
4	100	3.042	0.19

**d. SPAR Tipe 4**

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.21.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan heave SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.18

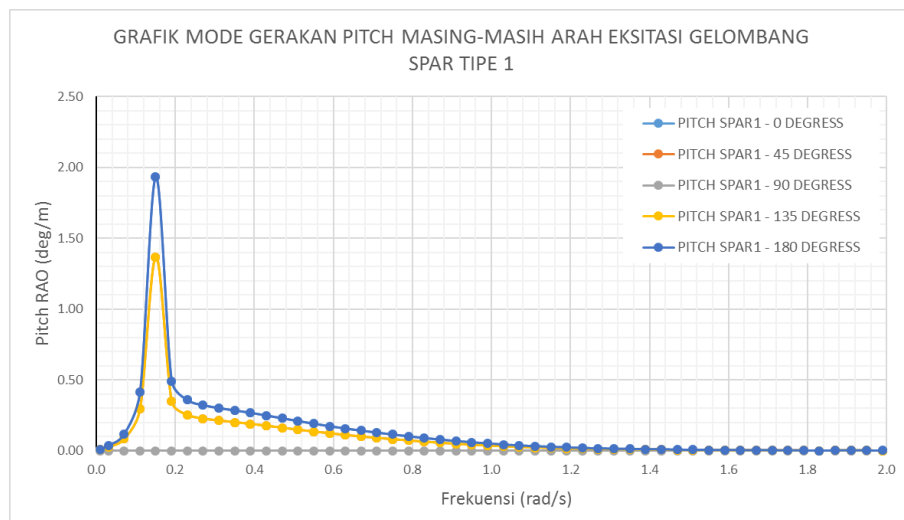
**Tabel 4.18.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	3.272	0.19
2	25	3.272	0.19
3	50	3.272	0.19
4	100	3.272	0.19

#### 4.8.2. Mode Gerakan Pitch

##### a. SPAR Tipe 1

Pada SPAR tipe 1, analisa mode gerakan pitch menggunakan variasi arah pembebanan gelombang sebanyak lima arah dan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.22 sebagai berikut.



**Gambar 4.22.** Grafik mode gerakan pitch pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah

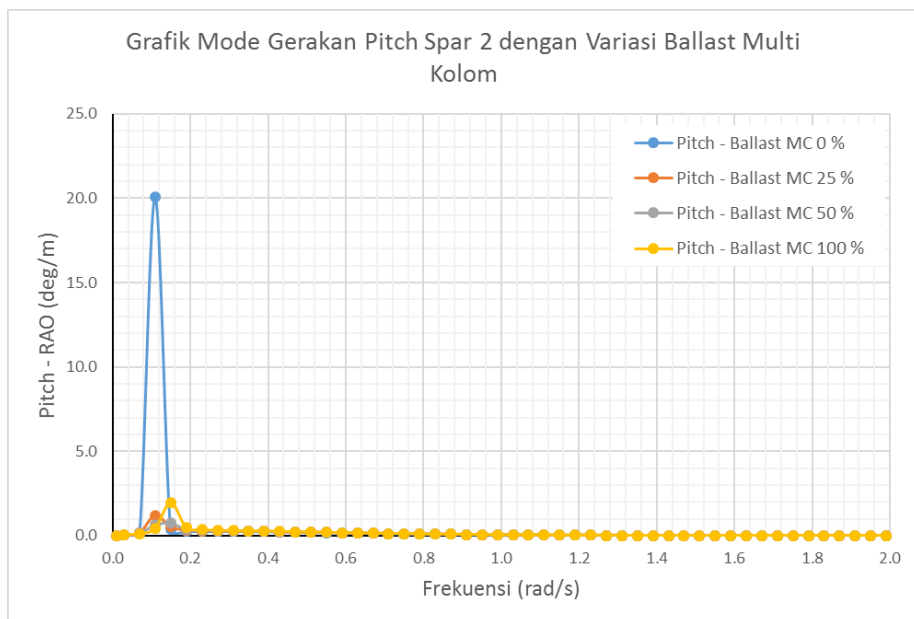
Grafik mode gerakan pitch SPAR tipe 1 dapat dirangkum kedalam nilai gerakan pitch maksimum dengan variasi arah yang ditunjukkan pada Tabel 4.19

**Tabel 4.19.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	1.935	0.15
2	45	1.368	0.15
3	90	0	-
4	135	1.368	0.15
5	180	1.935	0.15

**b. SPAR Tipe 2**

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.23.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan pitch SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.20

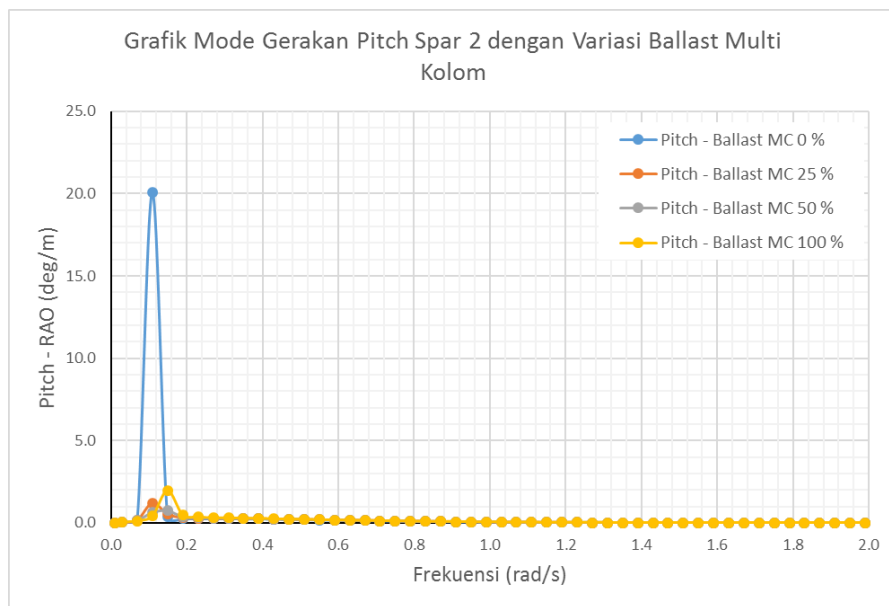


**Tabel 4.20.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	20.066	0.11
2	25	1.192	0.11
3	50	0.752	0.15
4	100	1.968	0.15

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.24.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

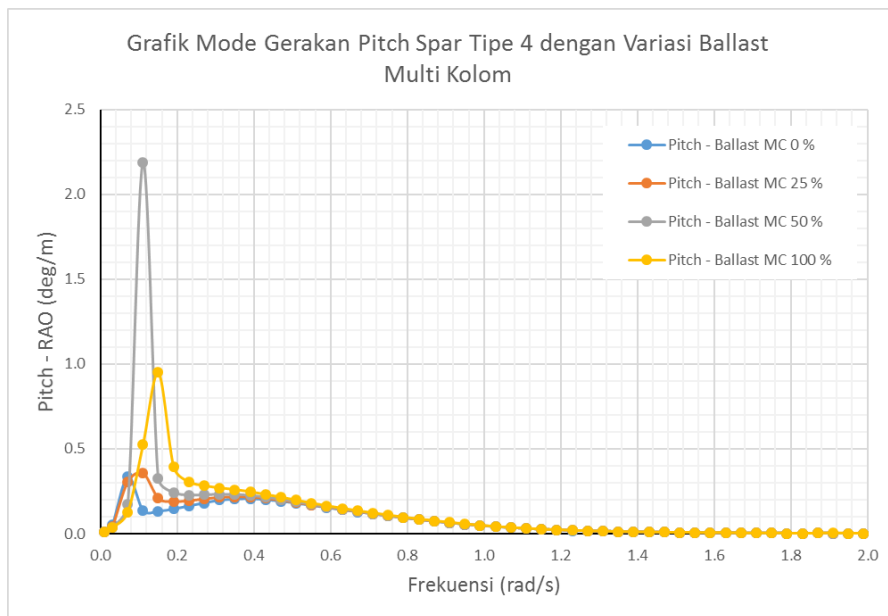
Pada mode gerakan pitch SPAR tipe 3 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.21

**Tabel 4.21.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.705	0.11
2	25	10.696	0.11
3	50	0.829	0.11
4	100	2.231	0.15

**d. SPAR Tipe 4**

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.25.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan pitch SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.22

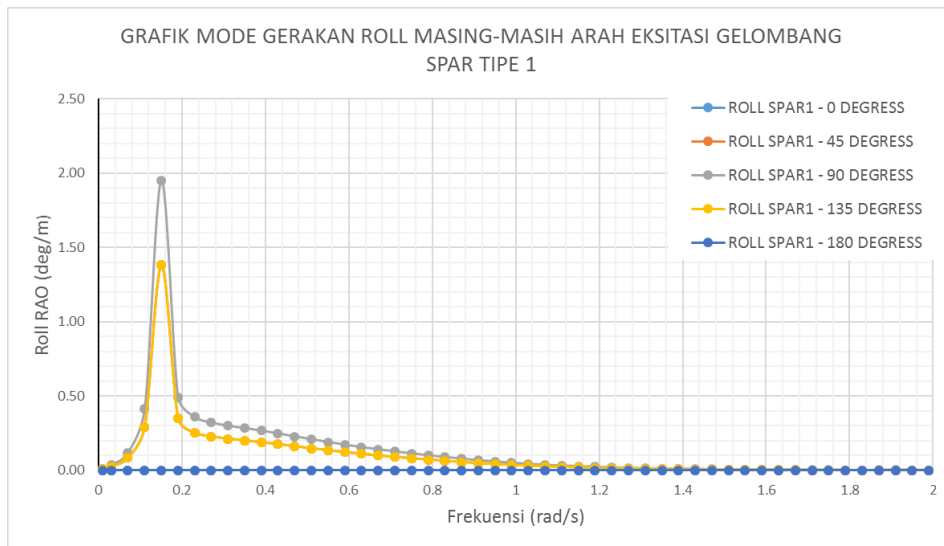
**Tabel 4.22.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.335	0.07
2	25	0.357	0.11
3	50	2.188	0.11
4	100	0.95	0.15

### 4.8.3. Mode Gerakan Roll

#### a. SPAR Tipe 1

Pada SPAR tipe 1, analisa mode gerakan roll menggunakan variasi arah pembebanan gelombang sebanyak lima arah dan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.26 sebagai berikut.



**Gambar 4.26.** Grafik mode gerakan roll pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah

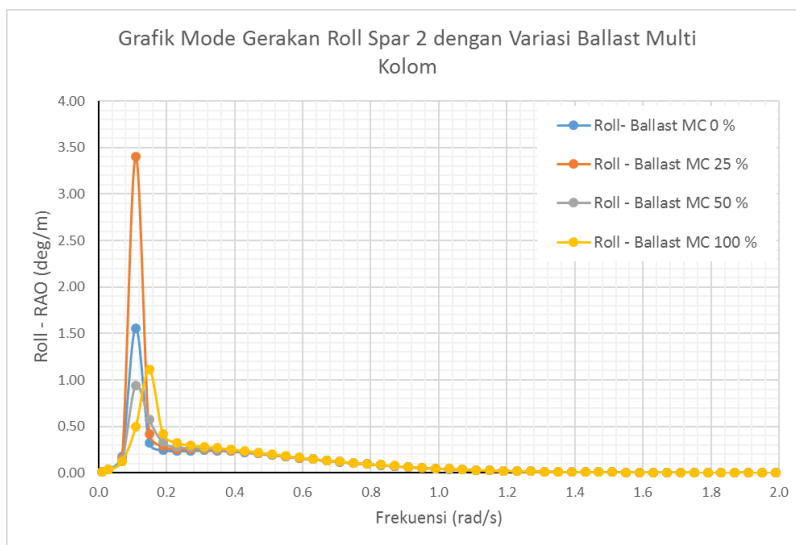
Grafik mode gerakan roll SPAR tipe 1 dapat dirangkum kedalam nilai gerakan roll maksimum dengan variasi arah yang ditunjukkan pada Tabel 4.23

**Tabel 4.23.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0	-
2	45	1.381	0.15
3	90	1.953	0.15
4	135	1.381	0.15
5	180	0	-

**b. SPAR Tipe 2**

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.27.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

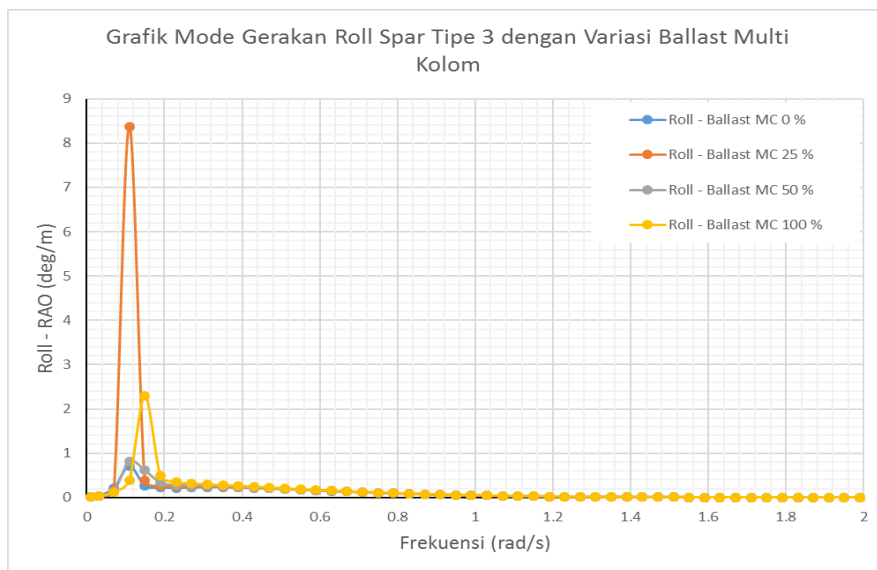
Pada mode gerakan roll SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.24

**Tabel 4.24.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	1.559	0.11
2	25	3.403	0.11
3	50	0.941	0.11
4	100	1.113	0.15

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.28.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

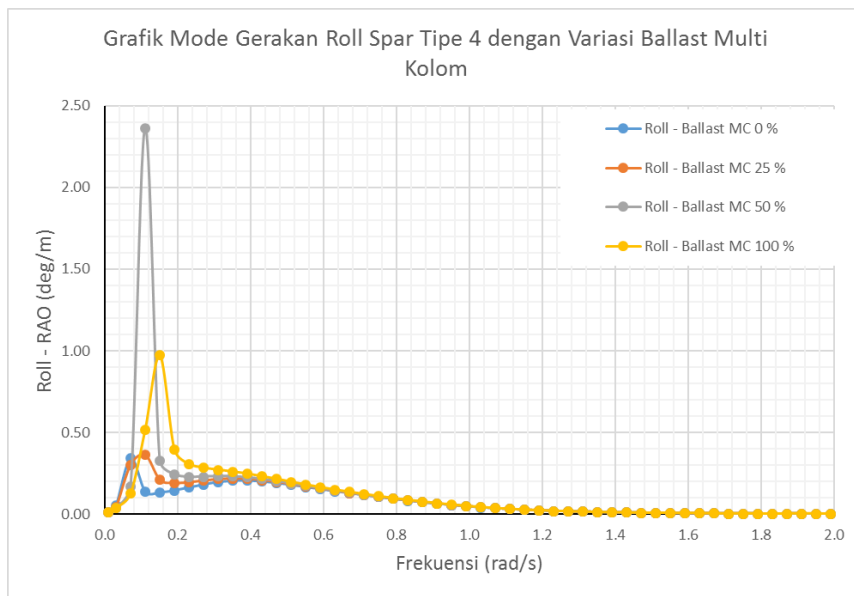
Pada mode gerakan roll SPAR tipe 3 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.25

**Tabel 4.25.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.715	0.11
2	25	8.369	0.11
3	50	0.818	0.11
4	100	2.292	0.15

**d. SPAR Tipe 4**

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.29.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan roll SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.26

**Tabel 4.26.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

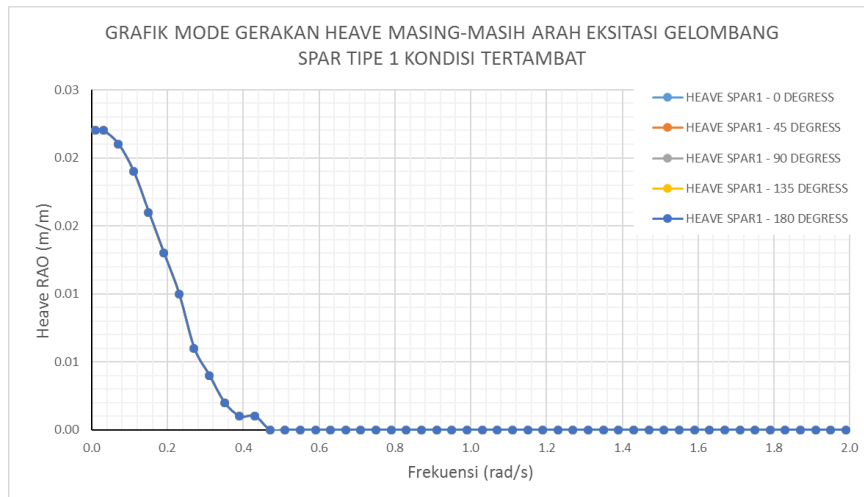
No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.342	0.07
2	25	0.362	0.11
3	50	2.361	0.11
4	100	0.971	0.15

#### 4.9. Response Amplitude Operator Tertambat

Pada analisa respon gerakan struktur kondisi pembebanan gelombang reguler dengan ketentuan tertambat. Sistem tambat menggunakan model taut beserta jumlah sistem tambat sebanyak 4 buah. Analisa respon gerakan kondisi tertambat sama dengan kondisi free floating yaitu hanya melakukan analisa pada tiga mode gerakan saja.

##### 4.9.1. Mode Gerakan Heave

###### a. SPAR Tipe 1



**Gambar 4.30.** Grafik RAO mode gerakan heave SPAR tipe 1 variasi arah eksitasi gelombang

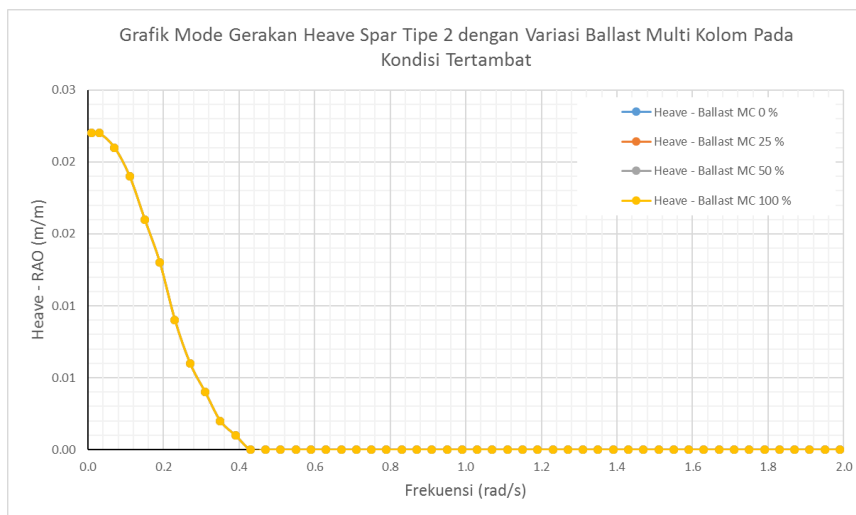
Pada mode gerakan heave maksimum SPAR tipe 1 dengan jumlah variasi arah sebanyak lima dapat diketahui nilainya pada Tabel 4.27

**Tabel 4.27.** Nilai maksimum mode gerakan heave pada SPAR tipe 1

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.022	0.03
2	45	0.022	0.03
3	90	0.022	0.03
4	135	0.022	0.03
5	180	0.022	0.03

**b. SPAR Tipe 2**

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.31.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan heave SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.28

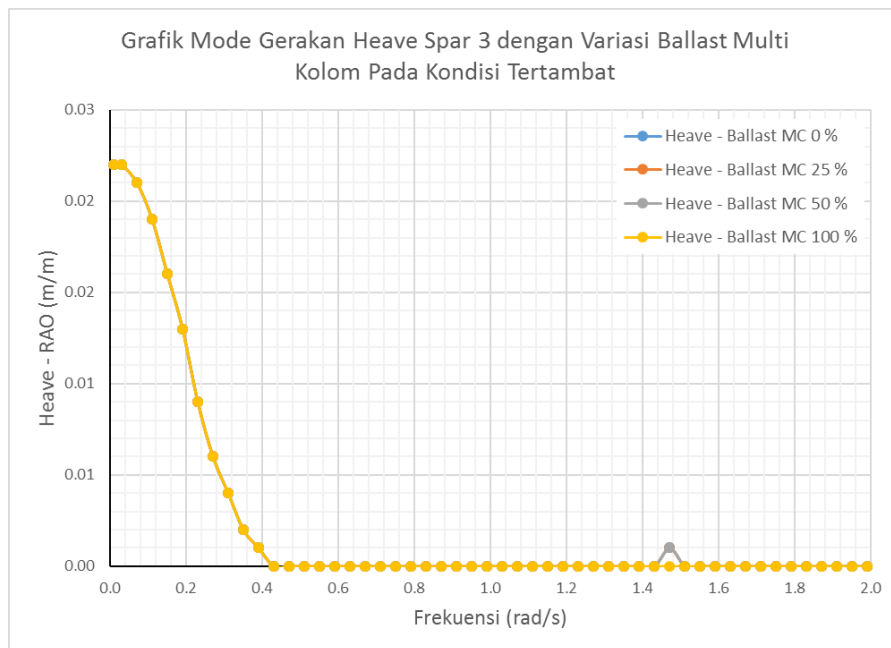


**Tabel 4.28.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.022	0.03
2	25	0.022	0.03
3	50	0.022	0.03
4	100	0.022	0.03

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.32.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

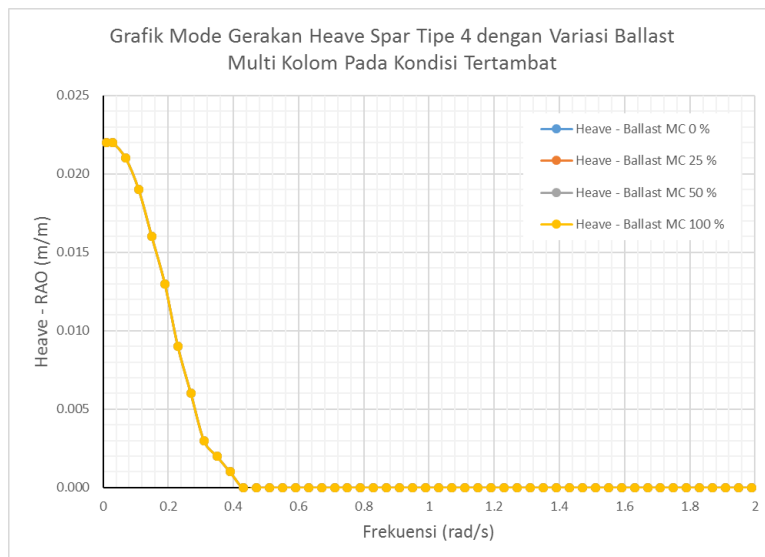
Pada mode gerakan heave SPAR tipe 3 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.29

**Tabel 4.29.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.022	0.03
2	25	0.022	0.03
3	50	0.022	0.03
4	100	0.022	0.03

**d. SPAR Tipe 4**

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan heave maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.33.** Grafik RAO mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan heave SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.30

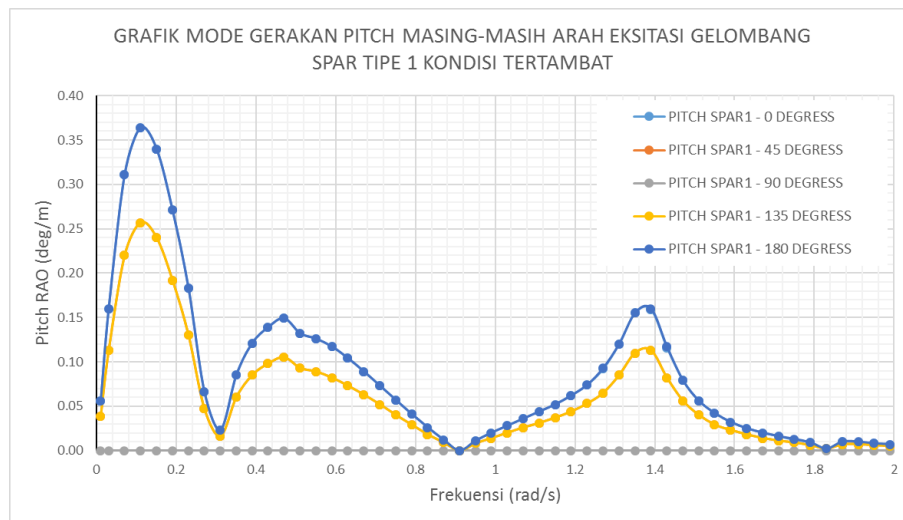
**Tabel 4.30.** Nilai respon gerakan heave maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Heave Maksimum (m/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.022	0.03
2	25	0.022	0.03
3	50	0.022	0.03
4	100	0.022	0.03

#### 4.9.2. Mode Gerakan Pitch

##### a. SPAR Tipe 1

Pada SPAR tipe 1, analisa mode gerakan pitch menggunakan variasi arah pembebanan gelombang sebanyak lima arah dan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.34 sebagai berikut.



**Gambar 4.34.** Grafik mode gerakan pitch pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah

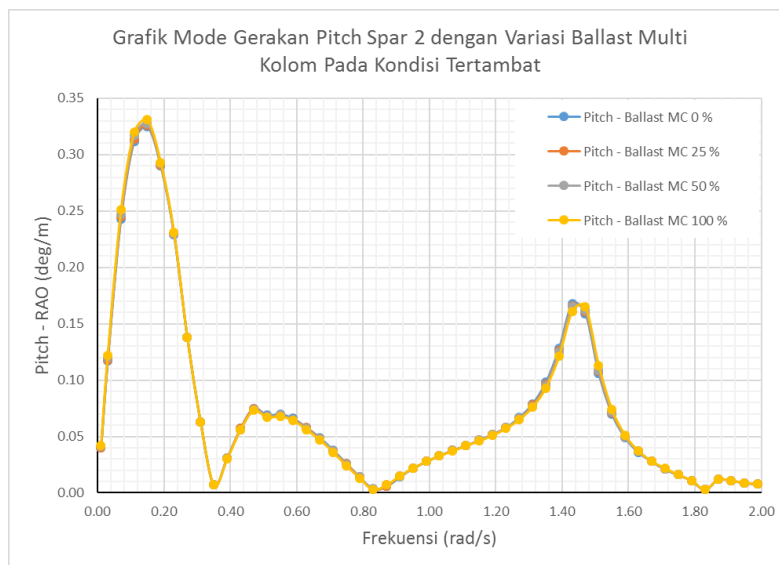
Grafik mode gerakan pitch SPAR tipe 1 dapat dirangkum kedalam nilai gerakan pitch maksimum dengan variasi arah yang ditunjukkan pada Tabel 4.31

**Tabel 4.31.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.364	0.11
2	45	0.257	0.11
3	90	0	-
4	135	0.257	0.11
5	180	0.364	0.11

**b. SPAR Tipe 2**

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.35.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

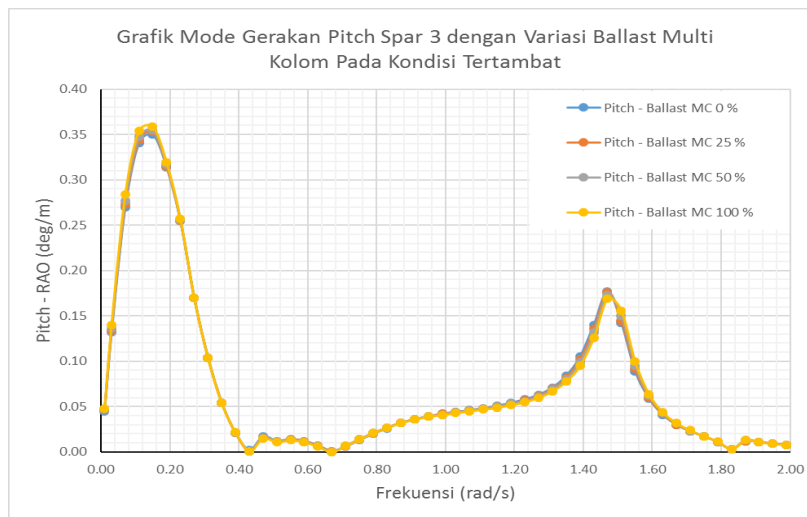
Pada mode gerakan pitch SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.32

**Tabel 4.32.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.325	0.15
2	25	0.326	0.15
3	50	0.328	0.15
4	100	0.331	0.15

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.36.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

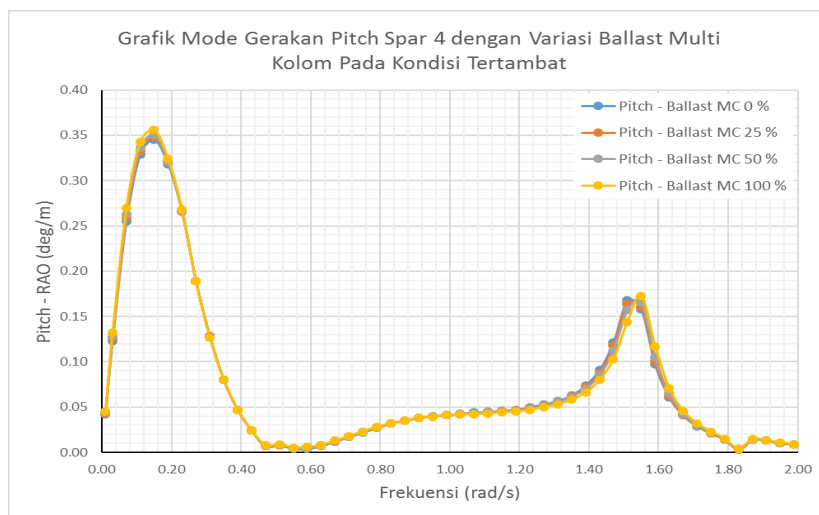
Pada mode gerakan pitch SPAR Tipe 3 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada tabel 4.33

**Tabel 4.33.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.35	0.15
2	25	0.353	0.15
3	50	0.355	0.15
4	100	0.359	0.15

#### d. SPAR Tipe 4

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan pitch maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.37.** Grafik RAO mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan pitch SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.34

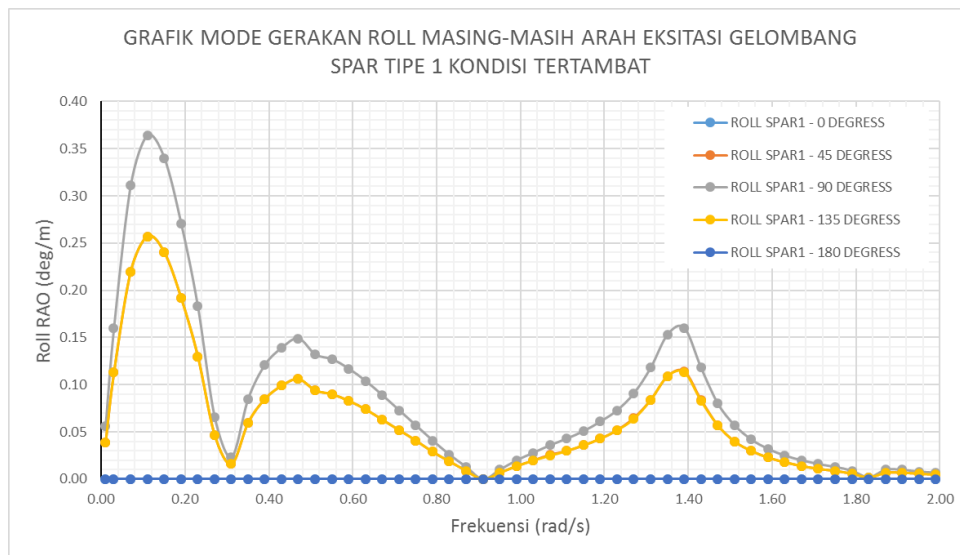
**Tabel 4.34.** Nilai respon gerakan pitch maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Pitch Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.345	0.15
2	25	0.348	0.15
3	50	0.351	0.15
4	100	0.356	0.15

### 4.9.3. Mode Gerakan Roll

#### a. SPAR Tipe 1

Pada SPAR tipe 1, analisa mode gerakan roll menggunakan variasi arah pembebanan gelombang sebanyak lima arah dan dapat ditunjukkan pada Gambar 4.38 sebagai berikut.



**Gambar 4.38.** Grafik mode gerakan roll pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah

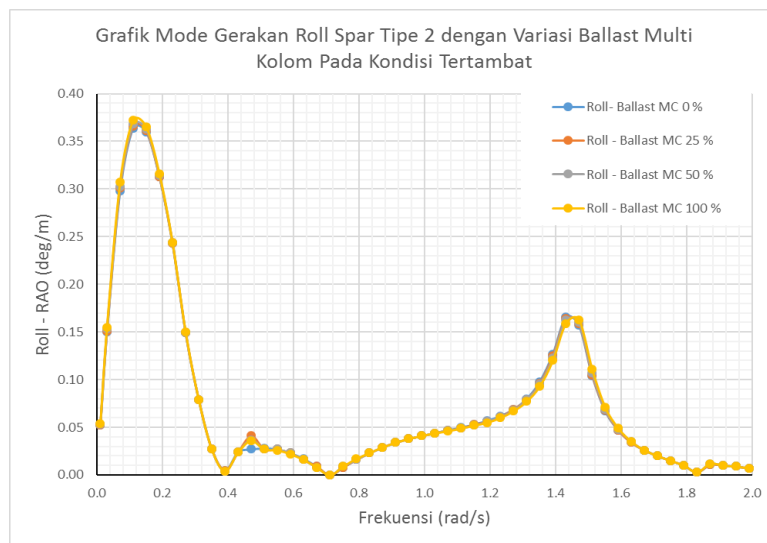
Grafik mode gerakan roll SPAR tipe 1 dapat dirangkum kedalam nilai gerakan roll maksimum dengan variasi arah yang ditunjukkan pada Tabel 4.35.

**Tabel 4.35.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 1 dengan variasi arah eksitasi gelombang

No.	Arah Eksitasi (derajat)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0	-
2	45	0.257	0.11
3	90	0.364	0.11
4	135	0.257	0.11
5	180	0	-

**b. SPAR Tipe 2**

Pada SPAR tipe 2 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.39.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan roll SPAR tipe 2 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.36

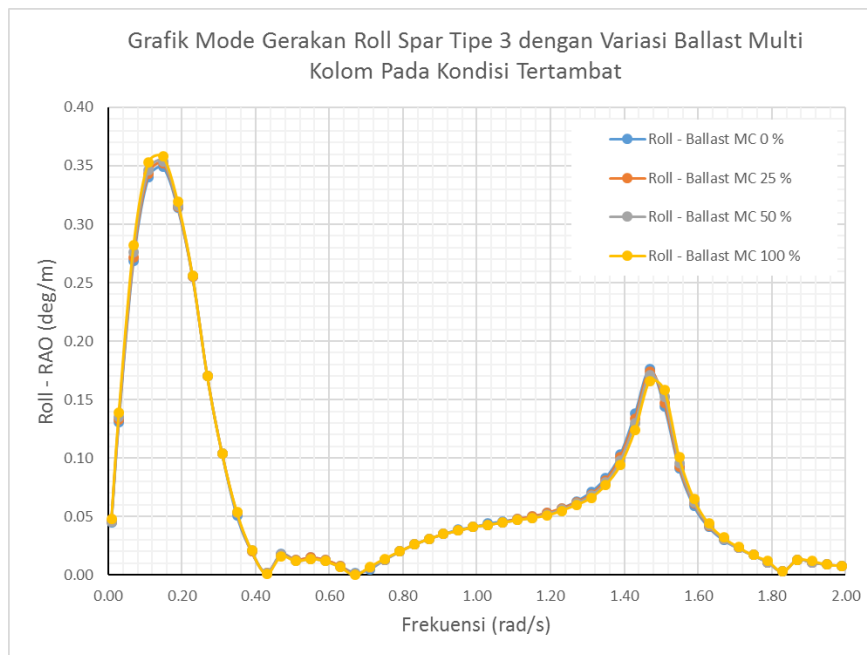


**Tabel 4.36.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.364	0.15
2	25	0.366	0.15
3	50	0.368	0.15
4	100	0.372	0.15

**c. SPAR Tipe 3**

Pada SPAR tipe 3 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.40.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 variasi ballast pada multi kolom

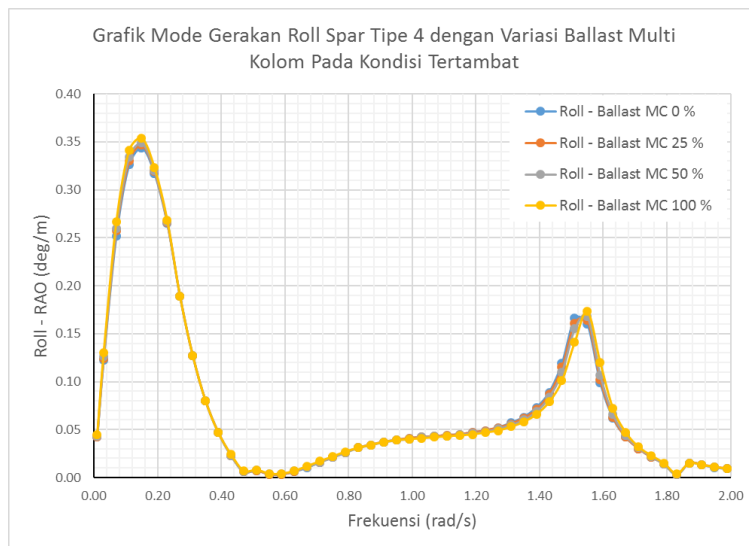
Pada mode gerakan roll SPAR tipe 3 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.37

**Tabel 4.37.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.349	0.15
2	25	0.352	0.15
3	50	0.354	0.15
4	100	0.358	0.15

**d. SPAR Tipe 4**

Pada SPAR tipe 4 nilai mode gerakan roll maksimum diambil dari arah eksitasi yang paling memberikan pengaruh pada respon gerakan dengan variasi analisisnya berdasarkan persentase ballast pada multi kolom.



**Gambar 4.41.** Grafik RAO mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 variasi ballast pada multi kolom

Pada mode gerakan roll SPAR tipe 4 memiliki mode gerakan roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.38

**Tabel 4.38.** Nilai respon gerakan roll maksimum pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom

No.	Persentase Ballast (%)	Roll Maksimum (deg/m)	Frekuensi (rad/s)
1	0	0.344	0.15
2	25	0.347	0.15
3	50	0.349	0.15
4	100	0.354	0.15

#### 4.10. Response Amplitude Operator Maksimum Free Floating dan Tertambat

Pada tugas akhir ini terdapat dua variasi utama yaitu variasi terhadap jumlah sub struktur multi kolom serta variasi persentase ballast yang mengisi multi kolom. Kedua variasi tersebut mengakibatkan banyaknya data yang harus disajikan terhadap mode gerakan analisa respon gerakan.

Pada Tabel 4.39 dan 4.40 menunjukkan nilai mode gerakan maksimum dari kesemua variasi SPAR yang sudah dilakukan analisa dengan ditunjukkan oleh gradasi warna yang dimulai dari hijau dengan respon gerakan yang paling minim hingga ke warna merah yang merupakan respon gerakan yang paling besar.

##### 4.10.1 RAO Free Floating

**Tabel 4.39.** Nilai maksimum RAO pada kondisi free floating untuk SPAR tipe 1 dan tipe 2

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 1	SPAR TIPE 2			
			0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m/m)	3.473	2.858	2.858	2.858	2.858
	Frekuensi (rad/s)	0.23	0.19	0.19	0.19	0.19
2	PITCH (deg/m)	1.935	20.066	1.192	0.752	1.968
	Frekuensi (rad/s)	0.15	0.11	0.11	0.15	0.15
3	ROLL (deg/m)	1.953	1.559	3.403	0.941	1.113
	Frekuensi (rad/s)	0.15	0.11	0.11	0.11	0.15

**Tabel 4.40.** Nilai maksimum RAO pada kondisi free floating untuk SPAR tipe 3 dan tipe 4

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 3				SPAR TIPE 4			
		0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m/m)	3.042	3.042	3.042	3.042	3.272	3.273	3.272	3.272
	Frekuensi (rad/s)	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
2	PITCH (deg/m)	0.705	10.696	0.829	2.231	0.335	0.357	2.188	0.95
	Frekuensi (rad/s)	0.11	0.11	0.11	0.15	0.07	0.11	0.11	0.15
3	ROLL (deg/m)	0.715	8.369	0.818	2.292	0.342	0.362	2.361	0.971
	Frekuensi (rad/s)	0.11	0.11	0.11	0.15	0.07	0.11	0.11	0.15

#### 4.10.2 RAO Tertambat

Pada kondisi tertambat untuk nilai RAO maksimum pada ketiga mode gerakan disajikan pada Tabel 4.41 dan 4.42

**Tabel 4.41.** Nilai maksimum RAO pada kondisi tertambat untuk SPAR tipe 1 dan tipe 2

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 1	SPAR TIPE 2			
			0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m/m)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
	Frekuensi (rad/s)	all	all	all	all	all
2	PITCH (deg/m)	0.364	0.325	0.326	0.328	0.331
	Frekuensi (rad/s)	0.11	0.15	0.15	0.15	0.15
3	ROLL (deg/m)	0.364	0.364	0.366	0.368	0.372
	Frekuensi (rad/s)	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11

**Tabel 4.42.** Nilai maksimum RAO pada kondisi tertambat untuk SPAR tipe 3 dan tipe 4

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 3				SPAR TIPE 4			
		0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m/m)	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
	Frekuensi (rad/s)	all	all	all	all	all	all	all	all
2	PITCH (deg/m)	0.35	0.353	0.355	0.356	0.345	0.348	0.351	0.356
	Frekuensi (rad/s)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
3	ROLL (deg/m)	0.349	0.352	0.354	0.358	0.344	0.347	0.349	0.354
	Frekuensi (rad/s)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

#### 4.11. Spektra Respon Free Floating

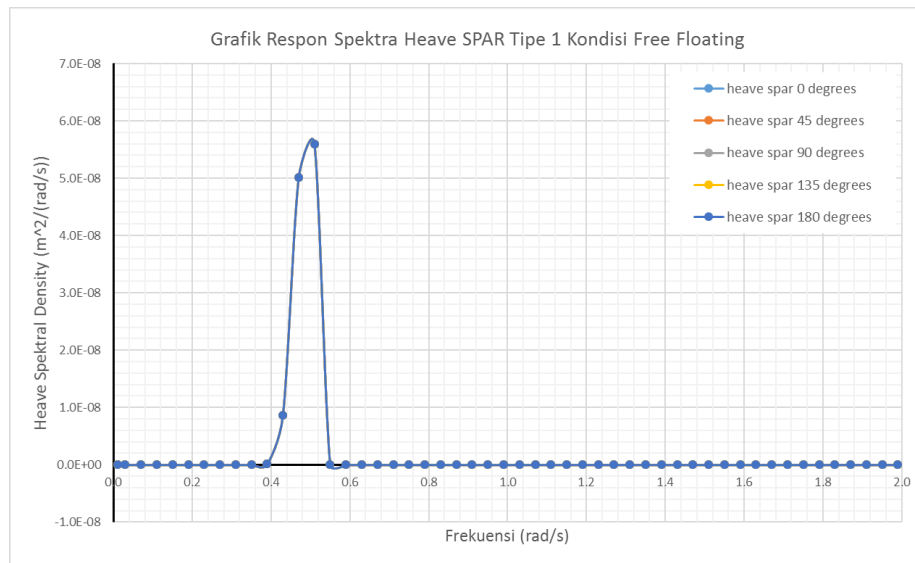
Pada analisa pembebanan gelombang acak, keluaran analisa berupa respon spektra masing-masing gerakan yang analisanya tetap mengacu pada tiga mode gerakan saja. Respon spektra sendiri didapatkan dari perkalian antara response

amplitude operators dikuadratkan kemudian dikalikan dengan spektrum yang digunakan sesuai kondisi lingkungan yang dirancang.

#### 4.11.1. Mode Gerakan Heave

##### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.42 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada tabel 4.43



**Gambar 4.42.** Grafik respon spektra heave SPAR tipe 1 pada kondisi free floating

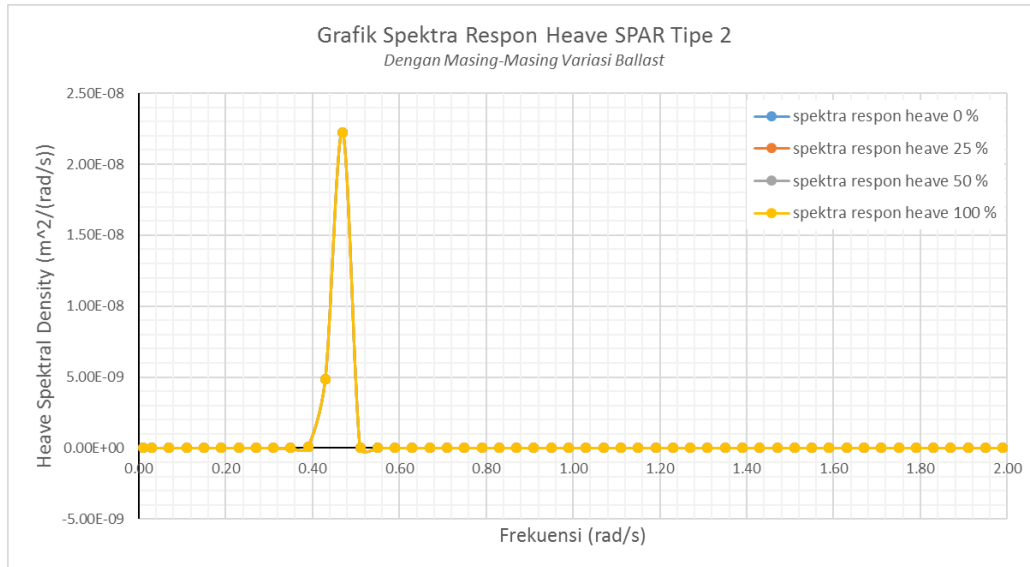
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.43.** Nilai respon spektra heave maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	5.59516E-08	0.51
2	45	5.59516E-08	0.51
3	90	5.59516E-08	0.51
4	135	5.59516E-08	0.51
5	180	5.59516E-08	0.51

**b. SPAR Tipe 2**

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.43 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditujukan pada Tabel 4.44



**Gambar 4.43.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

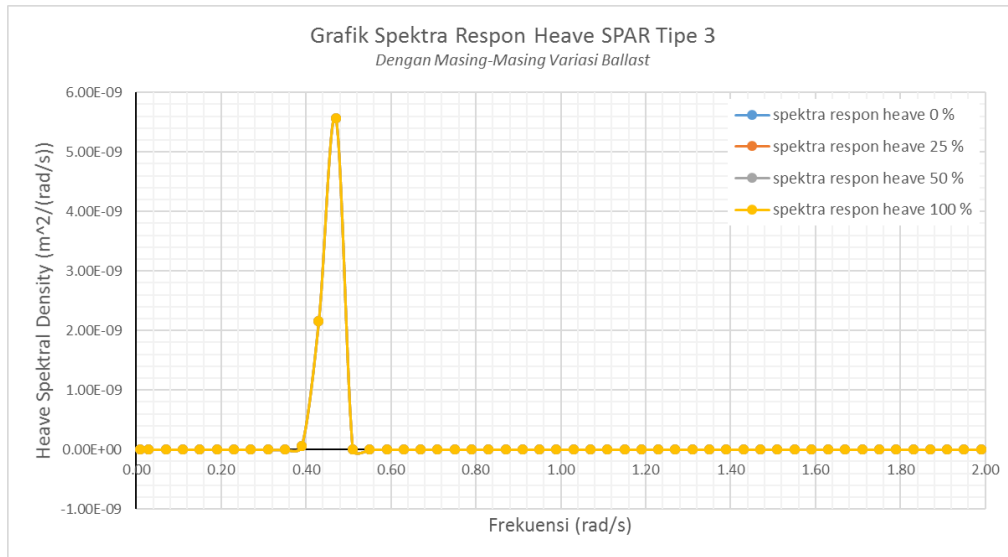
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditujukan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.44.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	2.22546E-08	0.47
2	25	2.22546E-08	0.47
3	50	2.22546E-08	0.47
4	100	2.22546E-08	0.47

**c. SPAR Tipe 3**

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.44 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditujukan pada Tabel 4.45



**Gambar 4.44.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

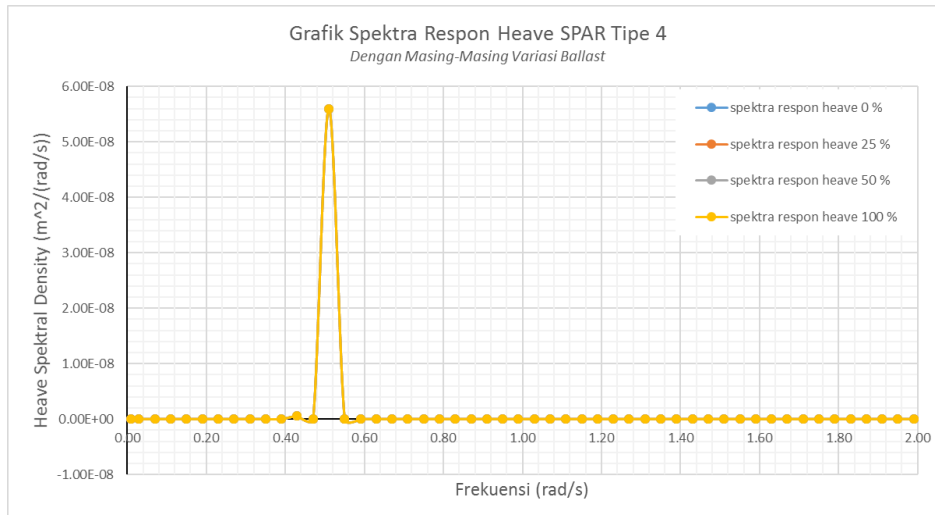
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.45.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	5.56366E-09	0.47
2	25	5.56366E-09	0.47
3	50	5.56366E-09	0.47
4	100	5.56366E-09	0.47

#### d. SPAR Tipe 4

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.45 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.46



**Gambar 4.45.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.46.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

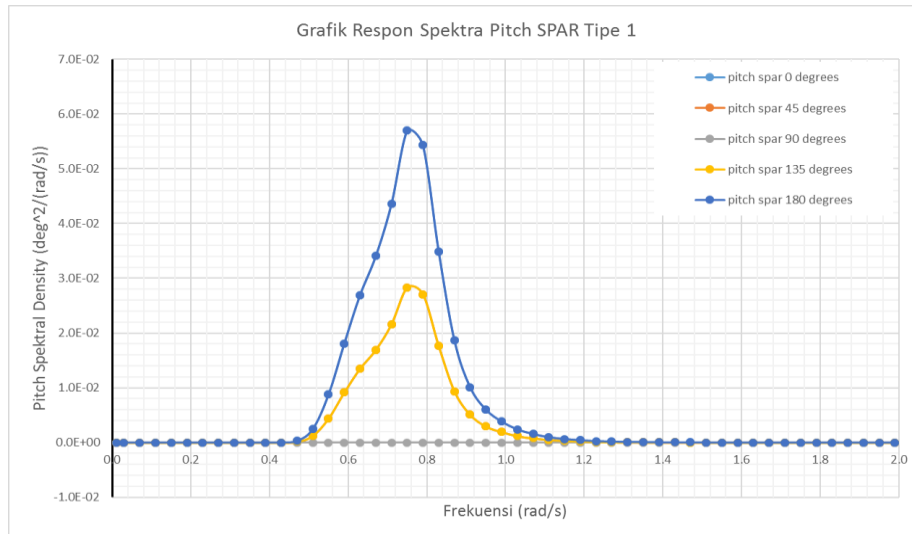
No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	5.59516E-08	0.51
2	25	5.59516E-08	0.51
3	50	5.59516E-08	0.51
4	100	5.59516E-08	0.51

#### 4.11.2. Mode Gerakan Pitch

##### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.46 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada tabel 4.47





**Gambar 4.46.** Grafik respon spektra pitch SPAR tipe 1 pada kondisi free floating

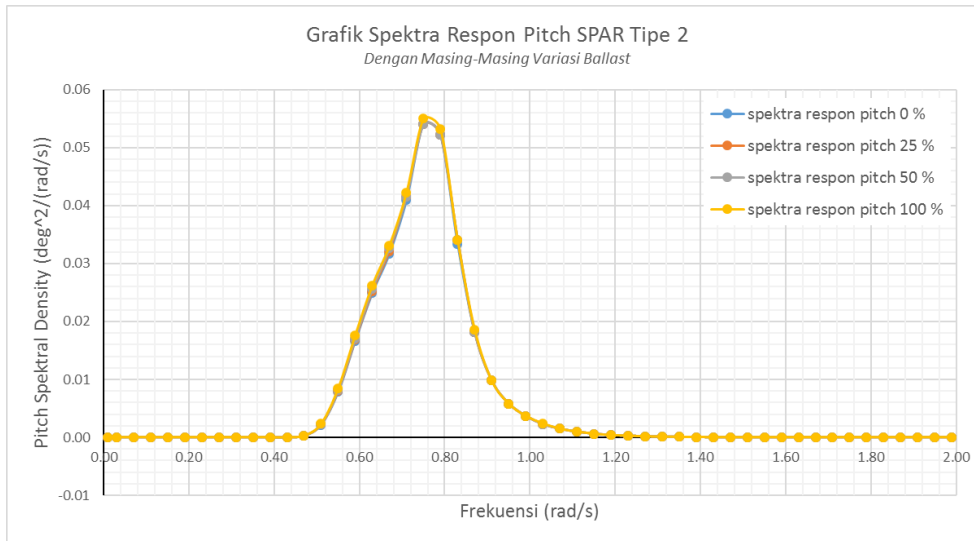
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.47.** Nilai respon spektra pitch maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.056974017	0.75
2	45	0.028265144	0.75
3	90	0	-
4	135	0.028265144	0.75
5	180	0.056974017	0.75

**b. SPAR Tipe 2**

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Grafik 4.47 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.48



**Gambar 4.47.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

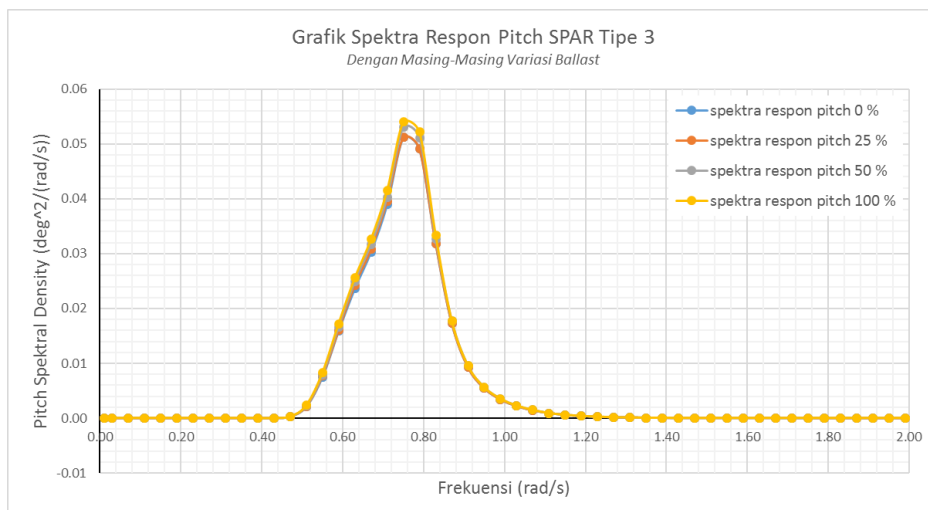
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.48.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.054040232	0.75
2	25	0.054040232	0.75
3	50	0.054040232	0.75
4	100	0.055009545	0.75

**c. SPAR Tipe 3**

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.48 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.49



**Gambar 4.48.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

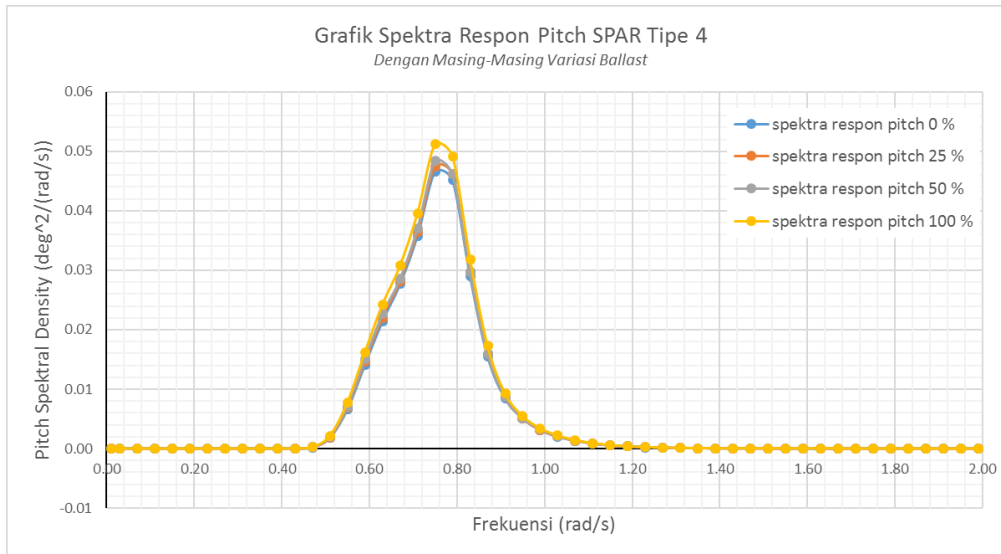
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.49.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.051183992	0.75
2	25	0.051183992	0.75
3	50	0.053079536	0.75
4	100	0.054040232	0.75

**d. SPAR Tipe 4**

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.49 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.50



**Gambar 4.49.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

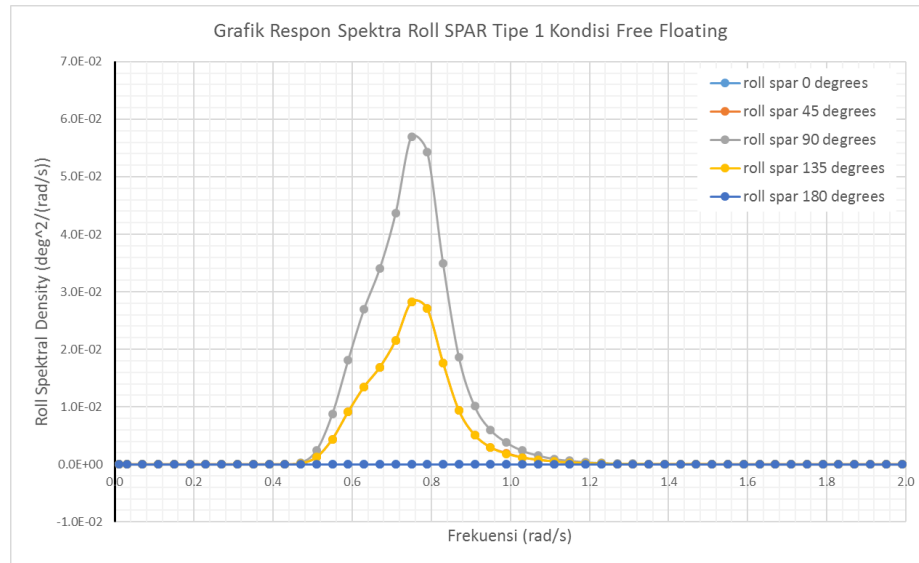
**Tabel 4.50.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.046595915	0.75
2	25	0.047496298	0.75
3	50	0.048405297	0.75
4	100	0.051183992	0.75

### 4.11.3. Mode Gerakan Roll

#### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.50 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.51



**Gambar 4.50.** Grafik respon spektra roll SPAR tipe 1 pada kondisi free floating

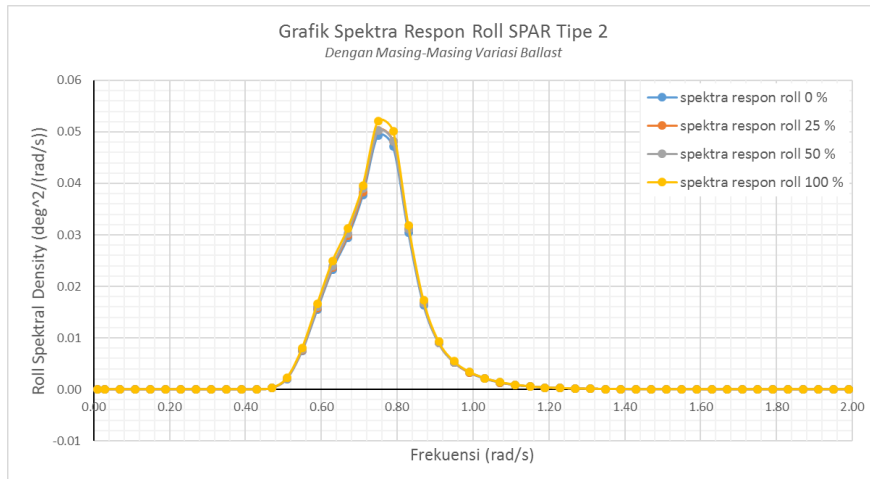
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.51.** Nilai respon spektra roll maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Roll Maksimum (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0	-
2	45	0.028265144	0.75
3	90	0.056974017	0.75
4	135	0.028265144	0.75
5	180	0	-

**b. SPAR Tipe 2**

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.51 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.52



**Gambar 4.51.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

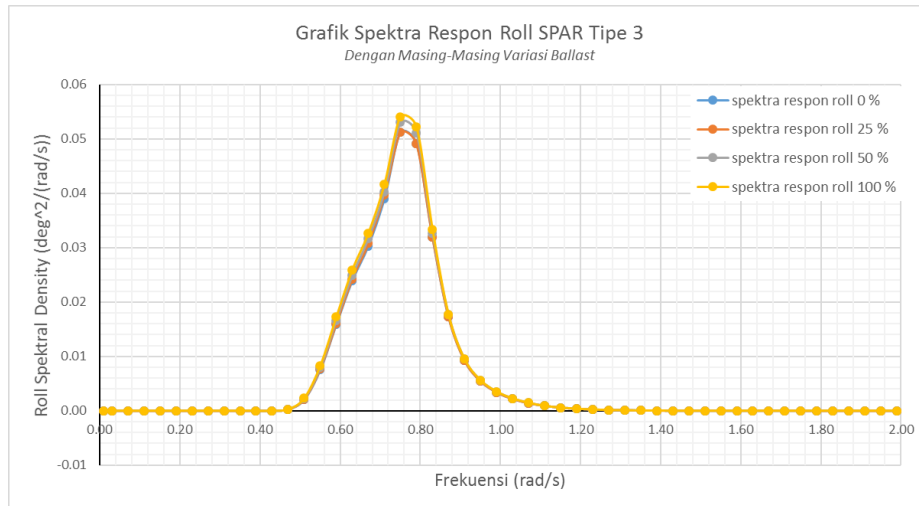
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.52.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	0.049322913	0.75
2	25	0.050249145	0.75
3	50	0.050249145	0.75
4	100	0.052127456	0.75

**c. SPAR Tipe 3**

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.52 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.53



**Gambar 4.52.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

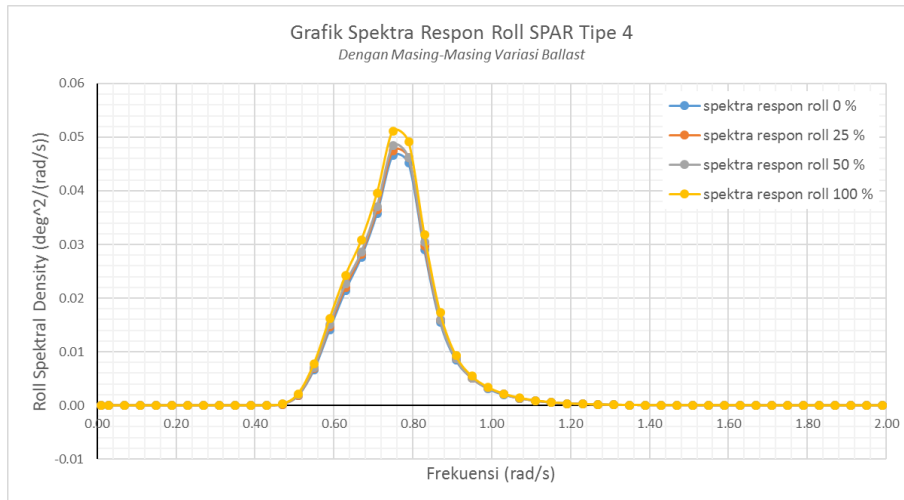
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.53.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.051183992	0.75
2	25	0.051183992	0.75
3	50	0.053079536	0.75
4	100	0.054040232	0.75

#### d. SPAR Tipe 4

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.53 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.54



**Gambar 4.53.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.54.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.046595915	0.75
2	25	0.047496298	0.75
3	50	0.048405297	0.75
4	100	0.051183992	0.75

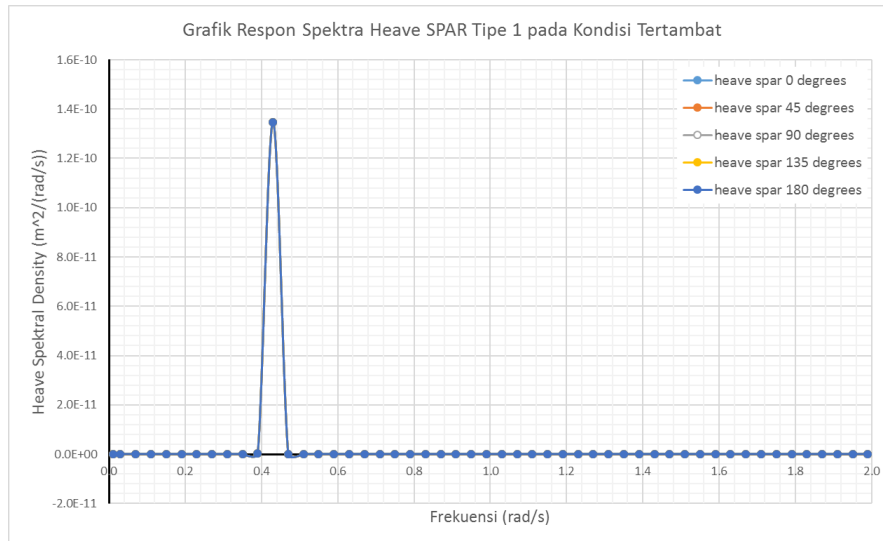
## 4.12. Spektra Respon Tertambat

### 4.12.1. Mode Gerakan Heave

#### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.54 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.55





**Gambar 4.54.** Grafik respon spektra heave SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat

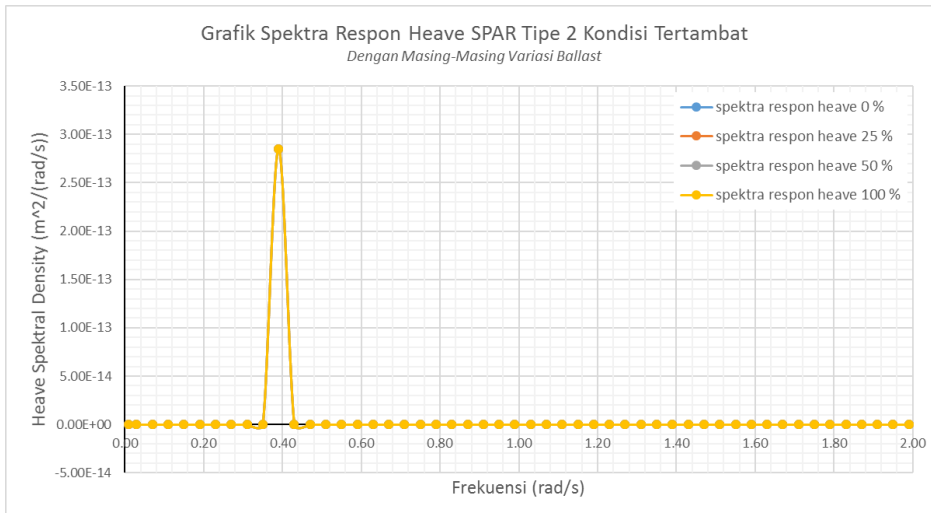
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.55.** Nilai respon spektra heave maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	1.34789E-10	0.43
2	45	1.34789E-10	0.43
3	90	1.34789E-10	0.43
4	135	1.34789E-10	0.43
5	180	1.34789E-10	0.43

**b. SPAR Tipe 2**

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.55 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.56



**Gambar 4.55.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

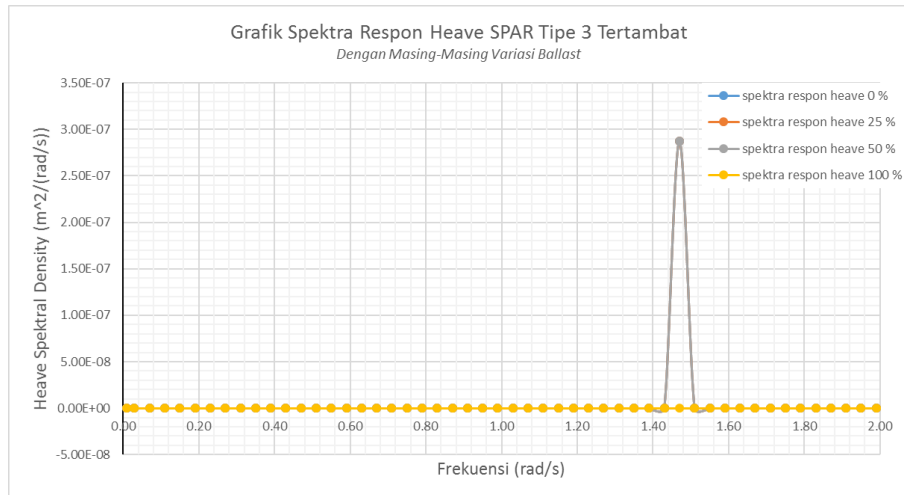
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.56.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	2.84982E-13	0.39
2	25	2.84982E-13	0.39
3	50	2.84982E-13	0.39
4	100	2.84982E-13	0.39

### c. SPAR Tipe 3

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.56 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.57



**Gambar 4.56.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

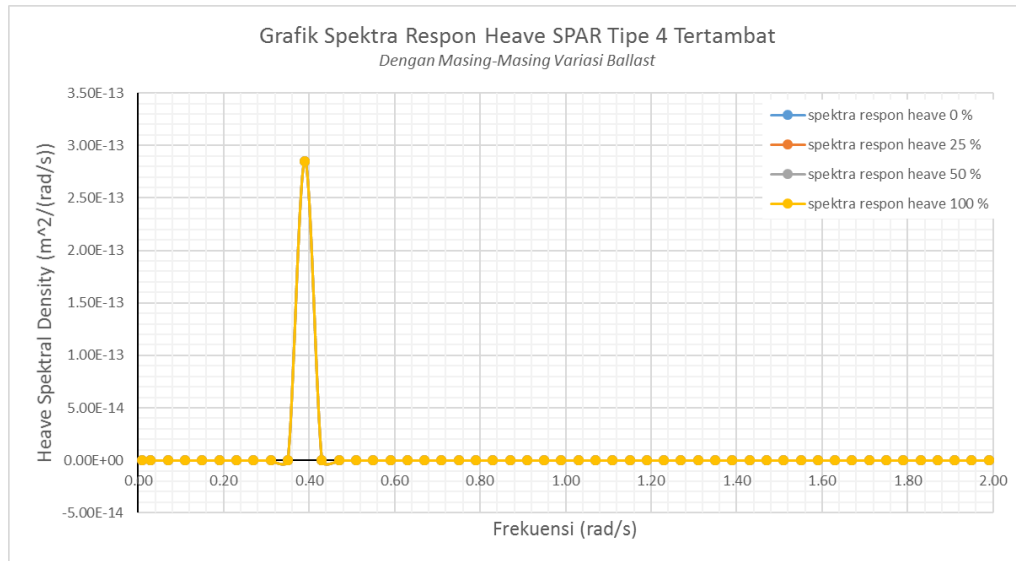
Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.57.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	2.87187E-07	1.47
2	25	2.87187E-07	1.47
3	50	2.87187E-07	1.47
4	100	2.84982E-13	0.39

**d. SPAR Tipe 4**

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.57 serta nilai respon spektra heave maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.58



**Gambar 4.57.** Grafik respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra heave maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

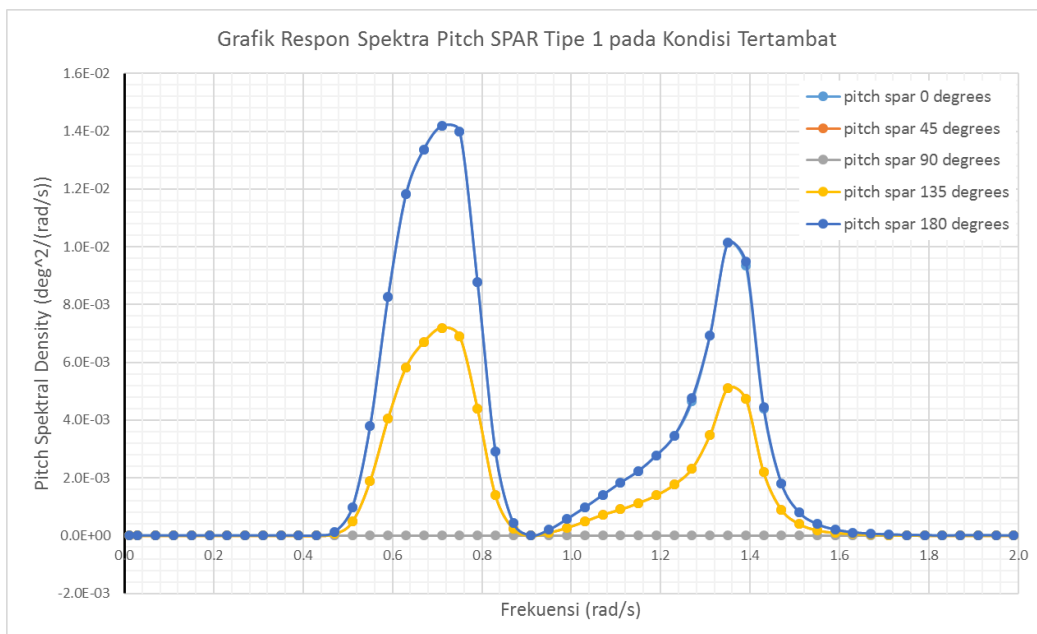
**Tabel 4.58.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan heave pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Heave Maksimum ( $m^2/(rad/s)$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	2.84982E-13	0.39
2	25	2.84982E-13	0.39
3	50	2.84982E-13	0.39
4	100	2.84982E-13	0.39

#### 4.12.2. Mode Gerakan Pitch

##### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.58 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.59



**Gambar 4.58.** Grafik respon spektra pitch SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat

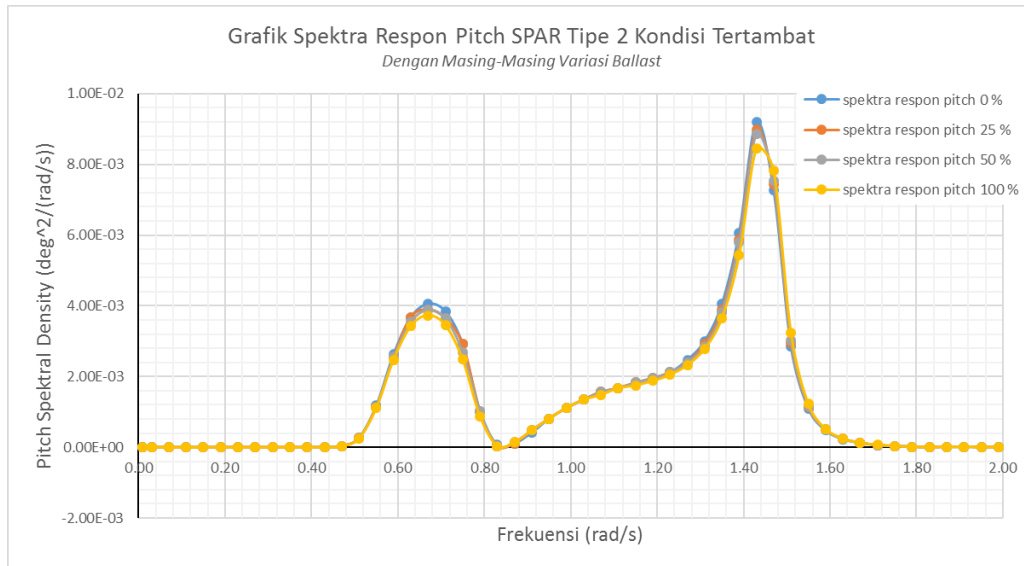
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditujukan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.59.** Nilai respon spektra pitch maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.014185878	0.71
2	45	0.007198089	0.71
3	90	0	-
4	135	0.007198089	0.71
5	180	0.014185878	0.71

#### b. SPAR Tipe 2

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.59 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditujukan pada Tabel 4.60



**Gambar 4.59.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

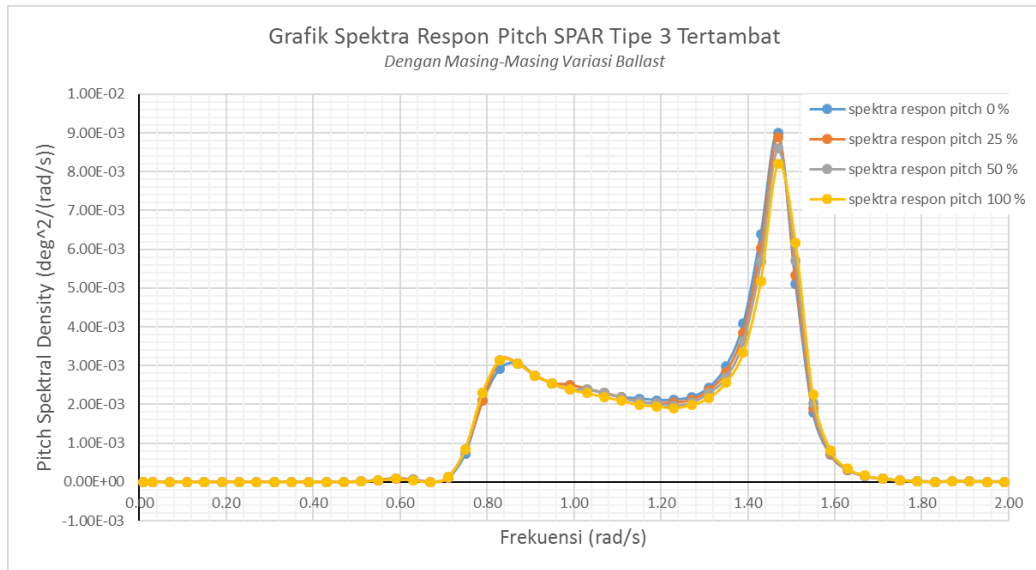
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.60.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.0091945	1.43
2	25	0.008976887	1.43
3	50	0.008869057	1.43
4	100	0.008444255	1.43

**c. SPAR Tipe 3**

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.60 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.61



**Gambar 4.60.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

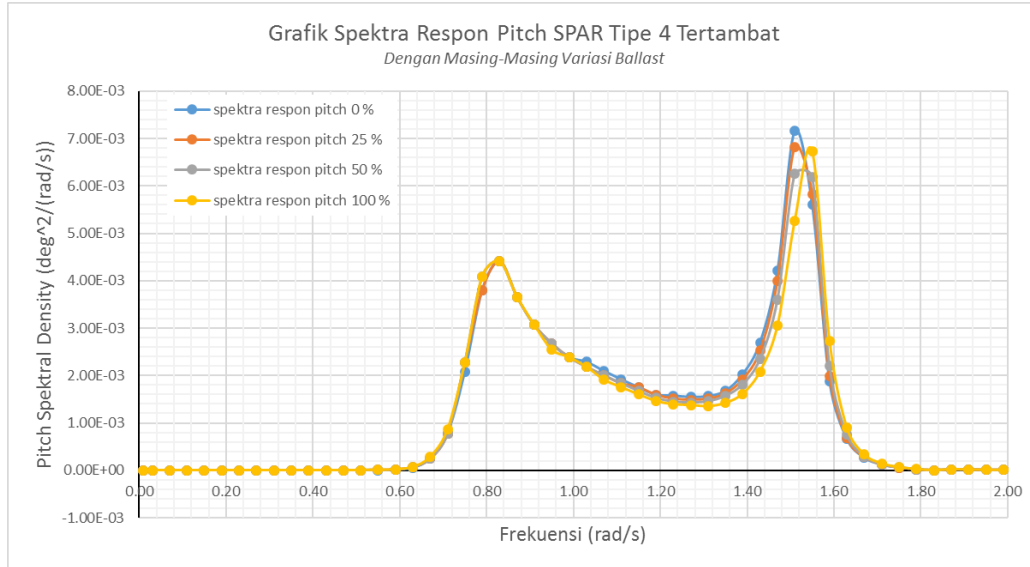
Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.61.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.008997271	1.47
2	25	0.008895894	1.47
3	50	0.008595209	1.47
4	100	0.008202338	1.47

**d. SPAR Tipe 4**

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.61 serta nilai respon spektra pitch maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.62



**Gambar 4.61.** Grafik respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra pitch maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.62.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan pitch pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

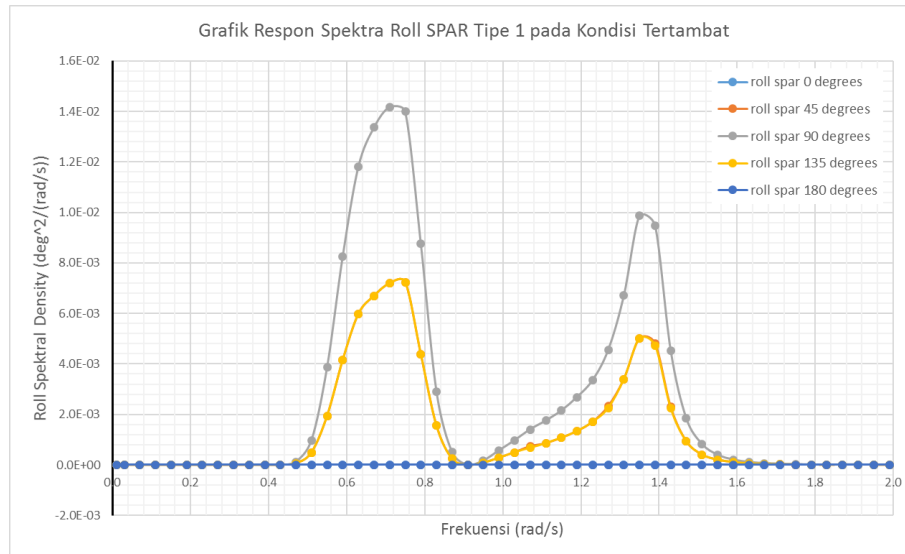
No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Pitch Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.007161255	1.51
2	25	0.006824302	1.51
3	50	0.006254172	1.51
4	100	0.006724103	1.55

#### 4.12.3. Mode Gerakan Roll

##### a. SPAR Tipe 1

Spektra respon pada SPAR tipe 1 menggunakan variasi arah eksitasi gelombang yang ditunjukkan pada Gambar 4.62 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.63





**Gambar 4.62.** Grafik respon spektra roll SPAR tipe 1 pada kondisi tertambat

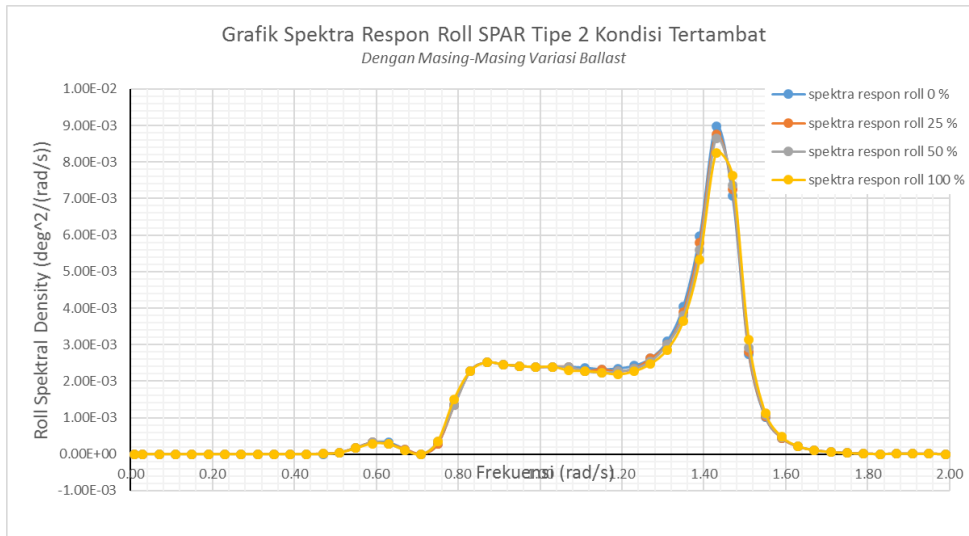
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.63.** Nilai respon spektra roll maksimum pada SPAR tipe 1

No.	Arah eksitasi (derajat)	Respon Spektra Roll Maksimum (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0	-
2	45	0.007241839	0.75
3	90	0.014185878	0.71
4	135	0.007241839	0.75
5	180	0	-

**b. SPAR Tipe 2**

Spektra respon pada SPAR tipe 2 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.63 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.64



**Gambar 4.63.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

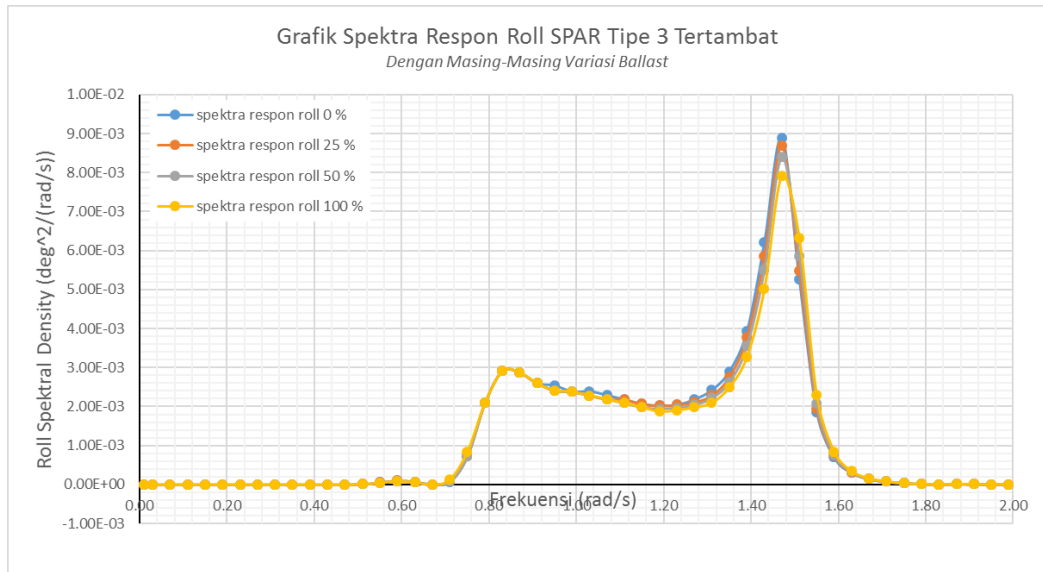
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukkan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.64.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 2 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Roll Maksimum (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.008976887	1.43
2	25	0.008761879	1.43
3	50	0.008655353	1.43
4	100	0.008235763	1.43

**c. SPAR Tipe 3**

Spektra respon pada SPAR tipe 3 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.64 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukkan pada Tabel 4.65



**Gambar 4.64.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

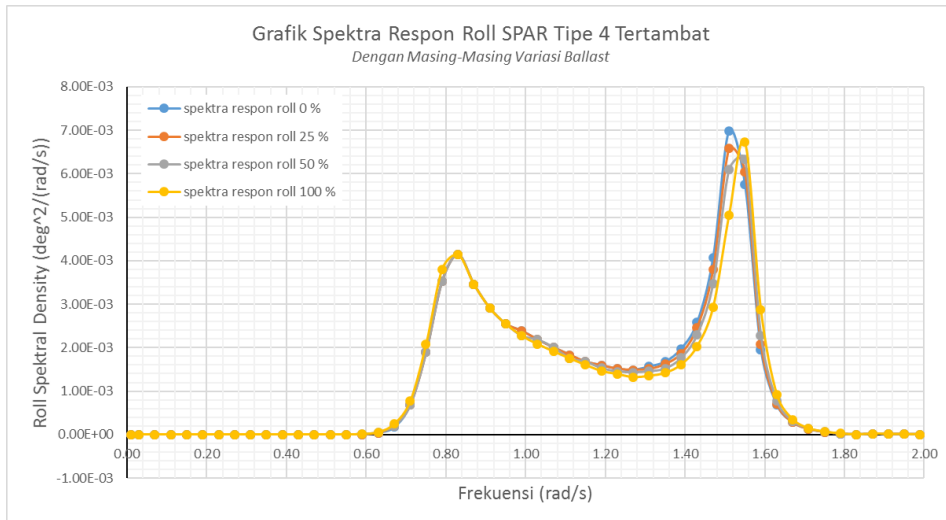
Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.65.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 3 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Roll Maksimum ( deg <sup>2</sup> /(rad/s))	frekuensi (rad/s)
1	0	0.008895894	1.47
2	25	0.008694863	1.47
3	50	0.008397625	1.47
4	100	0.007913715	1.47

**c. SPAR Tipe 4**

Spektra respon pada SPAR tipe 4 menggunakan variasi persentase ballast yang ditunjukkan pada Gambar 4.65 serta nilai respon spektra roll maksimum beserta frekuensinya ditunjukan pada Tabel 4.66



**Gambar 4.65.** Grafik respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

Sedangkan untuk nilai respon spektra roll maksimumnya ditunjukan pada tabel dibawah.

**Tabel 4.66.** Nilai maksimum respon spektra mode gerakan roll pada SPAR tipe 4 dengan variasi ballast

No.	Persentase Ballast (%)	Respon Spektra Roll Maksimum ( $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$ )	frekuensi (rad/s)
1	0	0.006991763	1.51
2	25	0.006576916	1.51
3	50	0.006341043	1.55
4	100	0.006724103	1.55

#### 4.13. Spektra Respon Maksimum Free Floating dan Tertambat

##### 4.13.1. Spektra Respon Free Floating

Pada analisa respon gerakan apung pada masing-masing model SPAR dengan variasi multi kolom dan ballast pada gelombang acak didapatkan hasil keluaran berupa respon spektra. Pada analisa respon spektra kondisi mengapung bebas, didapatkan nilai maksimum masing-masing mode gerakan seperti pada Tabel 4.67 dan 4.68

**Tabel 4.67.** Nilai maksimum respon spektra pada SPAR tipe 1 dan tipe 2 dengan kondisi mengantung bebas

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 1	SPAR TIPE 2			
			0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m <sup>2</sup> /(rad/s))	5.59516E-08	2.23E-08	2.23E-08	2.23E-08	2.23E-08
	Frekuensi (rad/s)	0.51	0.47	0.47	0.47	0.47
2	PITCH (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.056974017	0.05404	0.05404	0.05404	0.05501
	Frekuensi (rad/s)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
3	ROLL (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.056974017	0.049323	0.050249	0.050249	0.052127
	Frekuensi (rad/s)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

**Tabel 4.68.** Nilai maksimum respon spektra pada SPAR tipe 3 dan tipe 4 dengan kondisi mengantung bebas

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 3				SPAR TIPE 4			
		0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m <sup>2</sup> /(rad/s))	5.56E-09	5.56E-09	5.56E-09	5.56E-09	5.6E-08	5.6E-08	5.6E-08	5.6E-08
	Frekuensi (rad/s)	0.47	0.47	0.47	0.47	0.51	0.51	0.51	0.51
2	PITCH (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.051184	0.051184	0.05308	0.05404	0.046596	0.047496	0.048405	0.051184
	Frekuensi (rad/s)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
3	ROLL (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.051184	0.051184	0.05308	0.05404	0.046596	0.047496	0.048405	0.051184
	Frekuensi (rad/s)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75

#### 4.13.2. Spektra Respon Tertambat

Sedangkan nilai maksimum dari respon spektra pada kondisi tertambat disajikan pada Tabel 4.69 dan 4.70

**Tabel 4.69.** Nilai respon spektra maksimum masing-masing mode gerakan pada SPAR tipe 1 dan SPAR tipe 2 dengan kondisi tertambat

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 1	SPAR TIPE 2			
			0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m <sup>2</sup> /(rad/s))	1.34789E-10	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13
	Frekuensi (rad/s)	0.43	0.39	0.39	0.39	0.39
2	PITCH (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.014185878	0.009195	0.008977	0.008869	0.008444
	Frekuensi (rad/s)	0.71	1.43	1.43	1.43	1.43
3	ROLL (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.014185878	0.008977	0.008762	0.008655	0.008236
	Frekuensi (rad/s)	0.71	1.43	1.43	1.43	1.43

**Tabel 4.70.** Nilai respon spektra maksimum masing-masing mode gerakan pada SPAR tipe 3 dan SPAR tipe 4 dengan kondisi tertambat

No.	Mode gerakan nilai maksimum	SPAR TIPE 3				SPAR TIPE 4			
		0%	25%	50%	100%	0%	25%	50%	100%
1	HEAVE (m <sup>2</sup> /(rad/s))	2.87E-07	2.87E-07	2.87E-07	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13
	Frekuensi (rad/s)	1.47	1.47	1.47	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
2	PITCH (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.008997	0.008896	0.008595	0.008202	0.007161	0.006824	0.006254	0.006724
	Frekuensi (rad/s)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.51	1.51	1.51	1.55
3	ROLL (deg <sup>2</sup> /(rad/s))	0.008896	0.008695	0.008398	0.007914	0.006992	0.006577	0.006341	0.006724
	Frekuensi (rad/s)	1.47	1.47	1.47	1.47	1.51	1.51	1.55	1.55

#### 4.14. Analisis RAO dan Spektra Respon

Pada analisa respon gerakan dengan kedua variasi antara jumlah multi kolom dengan persentase ballast yang masuk ke dalam multi kolom memberikan data yang cukup banyak. Untuk memudahkan dalam melakukan penilaian kualitas gerakan masing-masing SPAR maka ditunjukkan pada Tabel 4.71 yang merupakan nilai mode gerakan maksimum dan minimum pada variasi SPAR kondisi mengantung bebas.

**Tabel 4.71.** Nilai maksimum dan minimum RAO pada kondisi mengantung bebas

No	Mode Gerakan	Terbesar	Frekuensi	Nilai	Terkecil	Nilai	Frekuensi
1	Heave	SPAR TIPE 1	0.23 rad/s	3.473 m/m	SPAR TIPE 2 (SEMUA VARIASI BALLAST)	2.858 m/m	0.19 rad/s
2	Pitch	SPAR TIPE 2 VARIASI BALLAST 0 %	0.11 rad/s	20.066 deg/m	SPAR TIPE 4 VARIASI BALLAST 0 %	0.335 deg/m	0.07 rad/s
3	Roll	SPAR TIPE 3 VARIASI BALLAST 25 %	0.11 rad/s	8.369 deg/m	SPAR TIPE 4 VARIASI BALLAST 0 %	0.342 deg/m	0.07 rad/s

Pada kondisi tertambat, nilai RAO maksimum dan minimum disajikan kedalam Tabel 4.72

**Tabel 4.72.** Nilai maksimum dan minimum untuk RAO tertambat

No	Mode Gerakan	Terbesar	Frekuensi	Nilai	Terkecil	Nilai	Frekuensi
1	Heave	NILAI SAMA SEMUA	0.01 rad/s	0.022 m/m	NILAI SAMA SEMUA	0.022 m/m	0.01 rad/s
2	Pitch	SPAR TIPE 1	0.11 rad/s	0.364 deg/m	SPAR TIPE 2 VARIASI BALLAST 0 %	0.325 deg/m	0.15 rad/s
3	Roll	SPAR TIPE 2 VARIASI BALLAST 100 %	0.11 rad/s	0.372 deg/m	SPAR TIPE 4 VARIASI BALLAST 0 %	0.344 deg/m	0.15 rad/s

Analisa pada kondisi pembebanan gelombang acak juga menghasilkan nilai respon spektra maksimum dan minimum pada masing-masing SPAR sehingga didapatkan nilai untuk kondisi free floating pada Tabel 4.73 serta pada kondisi tertambat pada Tabel 4.74.

**Tabel 4.73.** Nilai maksimum dan minimum respon spektra pada variasi SPAR kondisi mengapung bebas

No	Mode Gerakan	Terbesar	Frekuensi	Nilai	Terkecil	Nilai	Frekuensi
1	Heave	SPAR TIPE 1, SPAR TIPE 4	0.51 rad/s	5.60E-08 m <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 3	5.56E-09 m <sup>2</sup> /(rad/s)	0.47 rad/s
2	Pitch	SPAR TIPE 1	0.75 rad/s	5.70E-02 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 4 BALLAST 0 %	4.66E-02 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	0.75 rad/s
3	Roll	SPAR TIPE 1	0.75 rad/s	5.70E-02 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 4 BALLAST 0 %	4.66E-02 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	0.75 rad/s

**Tabel 4.74.** Nilai maksimum dan minimum respon spektra pada variasi SPAR kondisi tertambat

No	Mode Gerakan	Terbesar	Frekuensi	Nilai	Terkecil	Nilai	Frekuensi
1	Heave	SPAR TIPE 3 BALLAST 0, 25, 50 %	1.47 rad/s	2.87E-07 m <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 2, TIPE 3 BALLAST 100 %, TIPE 4	2.85E-13 m <sup>2</sup> /(rad/s)	0.39 rad/s
2	Pitch	SPAR TIPE 1	0.71 rad/s	0.0142 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 4 BALLAST 50 %	0.006254 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	1.51 rad/s
3	Roll	SPAR TIPE 1	0.71 rad/s	0.0142 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	SPAR TIPE 4 BALLAST 50 %	0.00634 deg <sup>2</sup> /(rad/s)	1.55 rad/s

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

Kesimpulan yang didapatkan pada tugas akhir ini didasarkan pada rumusan masalah yang disampaikan sebelumnya. Sehingga didapatkan dua kesimpulan antara lain sebagai berikut.

1. Pada kondisi pembebanan gelombang reguler, maka model struktur yang memiliki kualitas gerakan paling baik ketika ditempatkan dalam kondisi mengapung bebas tergantung pada mode gerakan masing-masing antara lain:
  - a. Pada gerakan heave, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 2 dengan semua variasi persentase ballast dengan nilai maksimum sebesar 2.858 m/m pada frekuensi 0.19 rad/s.
  - b. Pada gerakan pitch, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum 0.335 deg/m pada frekuensi 0.19 rad/s.
  - c. Pada gerakan roll, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum 0.342 deg/m pada frekuensi 0.19 rad/s.

Sedangkan pada kondisi tertambat, kualitas gerakan paling baik pada masing-masing mode gerakan antara lain :

- a. Pada gerakan heave, kualitas gerakan pada semua SPAR memiliki nilai yang sama sebesar 0.022 m/m pada frekuensi 0.01 hingga 0.03 rad/s.
- b. Pada gerakan pitch, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 2 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum sebesar 0.325 deg/m pada frekuensi 0.15 rad/s.



- c. Pada gerakan roll, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum sebesar 0.344 deg/m pada frekuensi 0.15 rad/s.
2. Pada kondisi pembebanan gelombang acak, maka model struktur yang memiliki kualitas gerakan paling baik ketika ditempatkan dalam kondisi mengapung bebas tergantung pada mode gerakan masing-masing antara lain:
    - a. Pada gerakan heave, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 3 dengan semua variasi persentase ballast dengan nilai maksimum sebesar  $5.56E-09 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 0.47 rad/s.
    - b. Pada gerakan pitch, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum  $4.66E-02 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 0.75 rad/s
    - c. Pada gerakan roll, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 0 % dengan nilai maksimum  $4.66E-02 \text{ deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 0.75 rad/s.

Sedangkan pada kondisi tertambat, kualitas gerakan paling baik pada masing-masing mode gerakan antara lain :

- a. Pada gerakan heave, kualitas gerakan paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 2, Spar Tipe 3 dengan persentase ballast multi kolom sebesar 100 %, dan SPAR tipe 4 dengan nilai maksimum sebesar  $2.85E-13 \text{ m}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 0.39 rad/s,
- b. Pada gerakan pitch, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 50 % dengan nilai maksimum sebesar 0.006254  $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 1.51 rad/s.

- c. Pada gerakan roll, kualitas gerakan yang paling baik dimiliki oleh SPAR Tipe 4 dengan variasi ballast pada multi kolom sebesar 50 % dengan nilai maksimum sebesar 0.00634  $\text{deg}^2/(\text{rad/s})$  pada frekuensi 1.55 rad/s.

## 5.2 SARAN

Saran yang bisa dijadikan sebagai pertimbangan dalam mengembangkan tugas akhir ini antara lain :

1. Beban arus pada lambung SPAR dan multi kolom serta beban angin yang mengenai topside diperhitungkan.
2. Variasi sistem tambat baik menggunakan konfigurasi *taut* maupun *catenary* untuk mengetahui sejauh mana respon gerakan masing-masing SPAR terjadi.
3. Posisi peletakkan multi kolom tidak hanya pada bagian bawah saja (melingkupi *softtank*) , melainkan divariasikan pada masing-masing posisi di lambung *main SPAR*.
4. Konfigurasi serta dimensi SPAR lebih divariasikan.
5. Kedalaman perairan lingkungan SPAR divariasikan apakah memberikan pengaruh signifikan atau sebaliknya.
6. Analisa gerakan dan stabilitas pada kondisi salah satu multi kolom atau lebih ketika mengalami kebocoran.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABS.(2014).*Rules For Building and Classing Floating Production Installations 2014*. American Bureau of Shipping: USA
- Agarwal, A. K., A.K. Jain. (2002). *Dynamic Behavior of Offshore Spar Platforms Under Regular Sea Waves*. Indian Institute of Technology: India
- Apostolos D. Papanikolaou et al. (1996). *On the Specification of the Roll Radius Gyration for Ro-Ro Passenger Ships in View of The Implementation of SOLAS 95 Res. 14 Equivalent Model Test Method*. National Technical University of Athens: Greek
- Applebee, T.R., et al.(1974).*Response Amplitude Operator Predictions For The USS Belknap (DLG-26) and USS Joseph Hewes (DE 1052) Class Destroyer*. Naval Ship Research and Development Center: Maryland
- Berteaux, H.O, R.A. Goldsmith, and W. E. Schott, III. (1977). *Heave and Roll Response of Free Floating Bodies of Cylindrical Shape*. Woods Hole Oceanographic Institution: USA
- Bo. Chen. Et Al.(2017).”A New Type of Anti-Heave Semi-Submersible Drilling Platform”.*Petroleum Exploration And Development Vol 44*. (3) p487-494
- Bonaschi, Giovanni A., et al.(2013). “Identification of a response amplitude operator for ship”. *Mathematics-in-Industry Case Studies Journal Vo. 5*, pp1-26
- Bridon.(2012).*Bridon Fibre Rope Catalogue*. South Yorkshire:UK
- Chakrabarti, Subrata K. (2005). *Handbook of Offshore Engineering*. Elsevier : UK
- Chakrabarti, Subrata K. (1987). *Handbook of Offshore Structure*. Computational Mechanics Publication Southampton Boston : USA
- Ciputra, Ryan.(2010).*Studi Respon Dinamis Spar Platform dengan Variasi Ratio Diameter dan Jarak Heave Plate*. Departemen Teknik Kelautan ITS: Surabaya
- DeBord, Frank., et al.(1999).”Full-Scale Measurements of The Oryx Neptune Production Spar Platform Performance. *Offshore Technologi Conference OTC 10952*.
- Djutmiko, Eko B.(2012). *Perilaku dan Operabiitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*. ITS PRESS: Surabaya

- Faltinsen, O. M. (1990). *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Cambridge University Press: UK
- Ghassemi, Hassan.,et al.(2015).”Calculations of the Heave and Pitch RAO’s for Three Different Ship’s Hull Forms”.*Journal o Ocean, Mechanical and Aerospace Vo. 22*
- Glanville, Roger S. (1999). “The Neptune Spar – Performance Over The First Two Years of Production”.*Offshore Technology Conference 11073*
- Hua, David.,et al. (2017). “Neptune Spar Life Extension Assessments”.*Offshore Technology Conference 27857-MS*
- Irani, Mehermash B.,Thomas Rouckout, Robert P. Johnson.(2000).”Dynamic of a Spar Platform”.*Procedings of the Tenth (2000) International Offshore and Polar Engineering Conference*.Vol.1 p261-268
- Islam A.B.M.S.,et al. (2011). “Spar Platform at Deep Water Region in Malaysia Sea”.*International Journal of The Physical Science Vol. 6. p6872-6881*
- Journee, J.M.J.,W.W. Massie. (2001). *Offshore Hydromechanics*. Delft University of Technology: Netherland
- Kim, Moo-Hyun.(2012).*Spar Platforms Technology and Analysis Methods*. American Society of Civil Engineers:USA
- Kurniawan, Roni. (2012). *Karakteristik Gelombang Laut dan Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia*. Universitas Indonesia: Depok
- Kuuri, J.,et al. (1997). “Neptune Project : Spar Hull and Mooring System Design and Fabrication”.*Offshore Technology Conference*.
- Marghitu, D.B., Dupac, M. (2012). *Advanced Dynamics Analytical and Numerical with MATLAB*. Springer
- Montasir, O.A., A. Yenduri.,V.J.Kurian.(2015).”Effect of Mooring Line Configurations on The Dynamic Responses of Truss Spar Platform”. *Ocean Engineering Vol 96, p161-172*
- Montasir, O.A, A. Yenduri, V.J.Kurian.(2016).”Evaluation of the dynamic responses of truss spar platforms for various mooring configurations with damaged lines”.*Ocean Engineering Vol. 123 p411-421*
- Newman. J. N. (1963). *The Motions of A Spar Buoy in Regular Waves*. Department of The Navy David Taylor Model Basin: USA

- Ramachandran, G.K.V., et al.(2013). “Investigation of Response Amplitude Operators for Floating Offshore Wind Turbines”.*23<sup>rd</sup> International Ocean, Offshore and Polar Engineering Conference – ISOPE 2013*.
- RiaSor.(2016).*Moorings and Foundations Catalogue, Deliverable 5.1*.EMEC:UK
- Sablok, Anil.,Steven Barras. (2009). “The Internationalization of The Spar Platform”. *Offshore Technoloy Conference*.
- Skandali. D.(2015). *Identification of Response Amplitude Operators for Ships Based on Full Scale Measurements*. TU Delft: Netherland
- Sinsabvarodom, Chana and Joko H. Widjaja. (2016). “The Innovative Hybrid Cell-Truss Spar Buoy Platform for Moderate Water Depth”. *Ocean Engineering, Vol. 113*, p. 90-100
- SKK MIGAS. (2016). Laporan Tahunan 2016. SKK MIGAS:Jakarta
- Tahar, A.,L. et al (2013). *The Multi-Column Floater: A Dry-Tree Semisubmerisble for Deepwater Offshore Brazil*. Horton Wison Deepwater: USA
- Tucker, M.J. (1982). “The Heave Response Of a Spar Buoy”*Ocean Engineering Vol 9*. p259-270
- Twillert, M.J van.(2015). *The Effect of Sloshing in Partially Filled Spherical LNG Tanks on Ship Motions*. TU Delft: Netherland.
- Vardeman, Don. (2009). *Spars for Deepwater Developments*. Anadarko Petroleum Corp: VP
- Wang, C.M., B.T.Wang (2015). *Large Floating Structures Technological Advances*. Springer: Singapore
- Xue, Wenfei. (2016). *Design, Numerical Modelling and Analysis of A Spar Floater Supporting the DTU 10 MW Wind Turbine*. NTNU: Norwegia
- Yang, Hezhen and Peiji Xu (2015). “Effect of hull geometry on parametric resonances of spar in irregular waves”.*Ocean Engineering, Vol. 99*, p.14-22



## LAMPIRAN A

### Source code model \*dat pada perangkat lunak MOSES

#### Source code SPAR Tipe 1

```
$DESAIN MODEL NUMERIS SPAR DENGAN MENGGUNAKAN MOSES EDITOR
$DESAIN OLEH AGUS MADATAMA PUJA
$NRP : 4314100088
$
$*****Penentuan parameter dimensi spar*****
$
&dimen -save -dimen meters m-tons
$
$*****
$
$-----DEFINISI SPAR TIPE 1-----
$
&DESCRIBE BODY SPAR1
$
$-----
$
$*****MAIN SPAR = PGEN A*****
$
pgen A -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 214.884 -circ 0 0 10.973 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 1 = PGEN AA*****
pgen AA -perm 1.0 -loc 6.7406 6.7432 214.884 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 5 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 2 = PGEN AB*****
pgen AB -perm 1.0 -loc -6.7406 6.7432 214.884 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 5 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 3 = PGEN AC*****
pgen AC -perm 1.0 -loc 6.7406 -6.7432 214.884 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 5 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 4 = PGEN AD*****
pgen AD -perm 1.0 -loc -6.7406 -6.7432 214.884 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 5 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
```

```

$*****DEK BAWAH = PGEN AE*****
pgen AE -perm 1.0 -loc 0 0 219.884 0 0 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane -16.94435 16.94435 -rectangular 0 0.3 30.1149
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 1 DEK 1 = PGEN BA*****
pgen BA -perm 1.0 -loc 6.7406 6.7432 220.184 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 12.55733333 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 2 DEK 1 = PGEN BB*****
pgen BB -perm 1.0 -loc -6.7406 6.7432 220.184 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 12.55733333 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 3 DEK 1 = PGEN BC*****
pgen BC -perm 1.0 -loc 6.7406 -6.7432 220.184 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 12.55733333 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****TOPSIDE LEG 4 DEK 1 = PGEN BD*****
pgen BD -perm 1.0 -loc -6.7406 -6.7432 220.184 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 12.55733333 -circ 0 0 1.2 0 10 18
end pgen
$
$*****DEK 2 = PGEN BE*****
pgen BE -perm 1.0 -loc 0 0 232.7413333 0 0 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane -16.94435 16.94435 -rectangular 0 0.3 30.1149
end pgen
$
$

```

## Sub-source code SPAR Tipe 2

```

$*****MAIN SPAR = PGEN A*****
$
pgen A -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 214.884 -circ 0 0 10.973 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 1 = PGEN B*****
$
pgen B -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -diftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 16.7028 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 2 = PGEN C*****

```



```
$
pgen C -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 -16.7028 5.73 0 10 18
end pgen
$
```

### Sub-source code SPAR Tipe 3

```
$*****MAIN SPAR = PGEN A*****
$
pgen A -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 214.884 -circ 0 0 10.973 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 1 = PGEN B*****
$
pgen B -perm 1.0 -loc -16.7028 0 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 0 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 2 = PGEN C*****
$
pgen C -perm 1.0 -loc 8.5312 14.3967 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 0 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 3 = PGEN D*****
pgen D -perm 1.0 -loc 8.5312 -14.3967 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 0 5.73 0 10 18
end pgen
$
$
```

### Sub-source code SPAR Tipe 4

```
$*****MAIN SPAR = PGEN A*****
$
pgen A -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 214.884 -circ 0 0 10.973 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 1 = PGEN B*****
$
pgen B -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -difttype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 16.7028 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 2 = PGEN C*****
```

```
$
pgen C -perm 1.0 -loc 0 0 0 0 -90 0 -dftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 -16.7028 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 3 = PGEN D*****
pgen D -perm 1.0 -loc 0 16.7028 0 0 -90 0 -dftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 0 5.73 0 10 18
end pgen
$
$*****KOLOM SPAR 4 = PGEN E*****
pgen E -perm 1.0 -loc 0 -16.7028 0 0 -90 0 -dftype 3Ddiff -tanaka 1
plane 0 20.116 -circ 0 0 5.73 0 10 18
end pgen
$
$
```

## LAMPIRAN B

### Source code command \*cif pada perangkat lunak MOSES

#### Source code SPAR Tipe 1

```
$DESAIN MODEL NUMERIS SPAR DENGAN MENGGUNAKAN MOSES EDITOR
$DESAIN OLEH AGUS MADATAMA PUJA
$NRP : 4314100088
$COMMAND SCRIPT
$SCRIP FREE FLOATING SPAR TIPE 1
$
$*****SET BASIC PARAMETERS*****
$
&dimen -remember -DIMEN meters m-tons
&device -oecho no -primary device -auxin spar1.dat
&TITLE MODEL NUMERIS LAMBUNG SPAR TIPE 1
&SUBTITLE Desain oleh Agus Madatama Puja
&default -depth 250 -spgwater 1.025
$
$*****MEMBACA MODEL*****
$
INMODEL
$
$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR1 -CONDITION 198.12

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW

end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR1 83.807 67.02008882 67.02008882 8.741060527
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$
hydrodynamics
$
```

```

$*****
&para -m_dist 3.5
&picture iso -type mesh -detail
g_pressure SPAR1 -heading 0 45 90 135 180 \
-period 628.3185 209.4395 89.75979 57.11987 \
      41.8879 33.0694 27.3182 23.27106 20.26834 \
      17.95196 16.11073 14.61206 13.36848 12.31997 \
      11.42397 10.64947 9.97331 9.377889 8.849557 \
      8.37758 7.953399 7.570103 7.222052 6.904599 \
      7.570103 7.222052 6.904599 6.613879 6.346652 \
      6.10018 5.872136 5.660527 5.463639 5.279988 \
      5.108281 4.94739 4.796325 4.654211 4.520277 \
      4.393836 4.274276 4.16105 4.053668 3.951689 \
      3.854715 3.762386 3.674377 3.590392 3.510159 \
      3.433435 3.359992 3.289626 3.222146 3.15738
HYDR_SUM
end_hydrodynamics
$
$*****
$
freq_response
$
$*****
$
rao -speed 0 -iter 500
fp_std &body(cg SPAR1)
EQU_SUM
matrices -file
end
exforce -file
end
end_freq_response
&finish

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 2 Ballast pada Multi kolom 0%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR2 -CONDITION 187.202

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
      PIC ISO
      PIC SIDE
      PIC TOP
      PIC BOW

```

```

end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR2 80.4 67.55412527 67.6116569 9.132560374
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 2 Ballast pada Multi kolom 25%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR2 -CONDITION 187.202

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR2 78.677 67.90335567 67.98897005 9.308943965
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 2 Ballast pada Multi kolom 50%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR2 -CONDITION 187.205

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE

```

```

        PIC TOP
        PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR2 76.887 68.31739182 68.43068306 12.19198548
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

**Sub-Source code SPAR Tipe 2 Ballast pada Multi kolom 100%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR2 -CONDITION 187.202

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
        PIC ISO
        PIC SIDE
        PIC TOP
        PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR2 74.061 68.61458785 68.78350155 12.45588863
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

**Sub-Source code SPAR Tipe 3 Ballast pada Multi kolom 0%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR3 -CONDITION 181.698

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL

```

```

        PIC ISO
        PIC SIDE
        PIC TOP
        PIC BOW
    end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR3 77.139 67.29931471 67.31375648 11.84462654
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 3 Ballast pada Multi kolom 25%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR3 -CONDITION 181.698

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
        PIC ISO
        PIC SIDE
        PIC TOP
        PIC BOW
    end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR3 74.76 67.94983838 67.96376606 12.06900368
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 3 Ballast pada Multi kolom 50%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR3 -CONDITION 181.698

$
$*****MODEL SPAR*****

```

```

$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR3 72.389 68.13051048 68.14402637 12.27036977
&equi -iter 50
&status B_W
$

```

**Sub-Source code SPAR Tipe 3 Ballast pada Multi kolom 100%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR3 -CONDITION 181.699

```

```

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW

```

```

end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR3 68.205 68.9119712 68.92459259 12.66349944
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

**Sub-Source code SPAR Tipe 4 Ballast pada Multi kolom 0%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR4 -CONDITION 176.251

```

```

$
$*****MODEL SPAR*****

```



```

$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR4 76.978 68.23876555 68.23876555 12.21227601
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 4 Ballast pada Multi kolom 25%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR4 -CONDITION 176.256

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR4 73.877 68.96077972 68.9608232 12.47563654
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 4 Ballast pada Multi kolom 50%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR4 -CONDITION 176.25

```

```

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR4 70.867 69.83090874 69.83099466 12.73341266
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

### **Sub-Source code SPAR Tipe 4 Ballast pada Multi kolom 100%**

```

$*****TRANSIT CONDITION*****
$
&instate SPAR4 -CONDITION 176.254

$
$*****MODEL SPAR*****
$
&PLTMODEL VESSEL
    PIC ISO
    PIC SIDE
    PIC TOP
    PIC BOW
end
$
$*****compute weight*****
$
&weight -compute SPAR4 65.676 69.95050331 69.95067488 13.23411024
&equi -iter 50
&status B_W
$
$*****
$

```

## LAMPIRAN C

### Perencanaan Desain dan Ukuran Multi Kolom

Dimensi Multi-Kolom		
No	Parameter	Length (m)
1	Diameter	11.46
2	Radius	5.73
3	Length	20.116

Material Multi-Kolom	
Jenis Material =	steel high strength
Grade =	grade AH27S
densitas =	491.006 lb/ft <sup>3</sup>
densitas =	7865.162 kg/m <sup>3</sup>

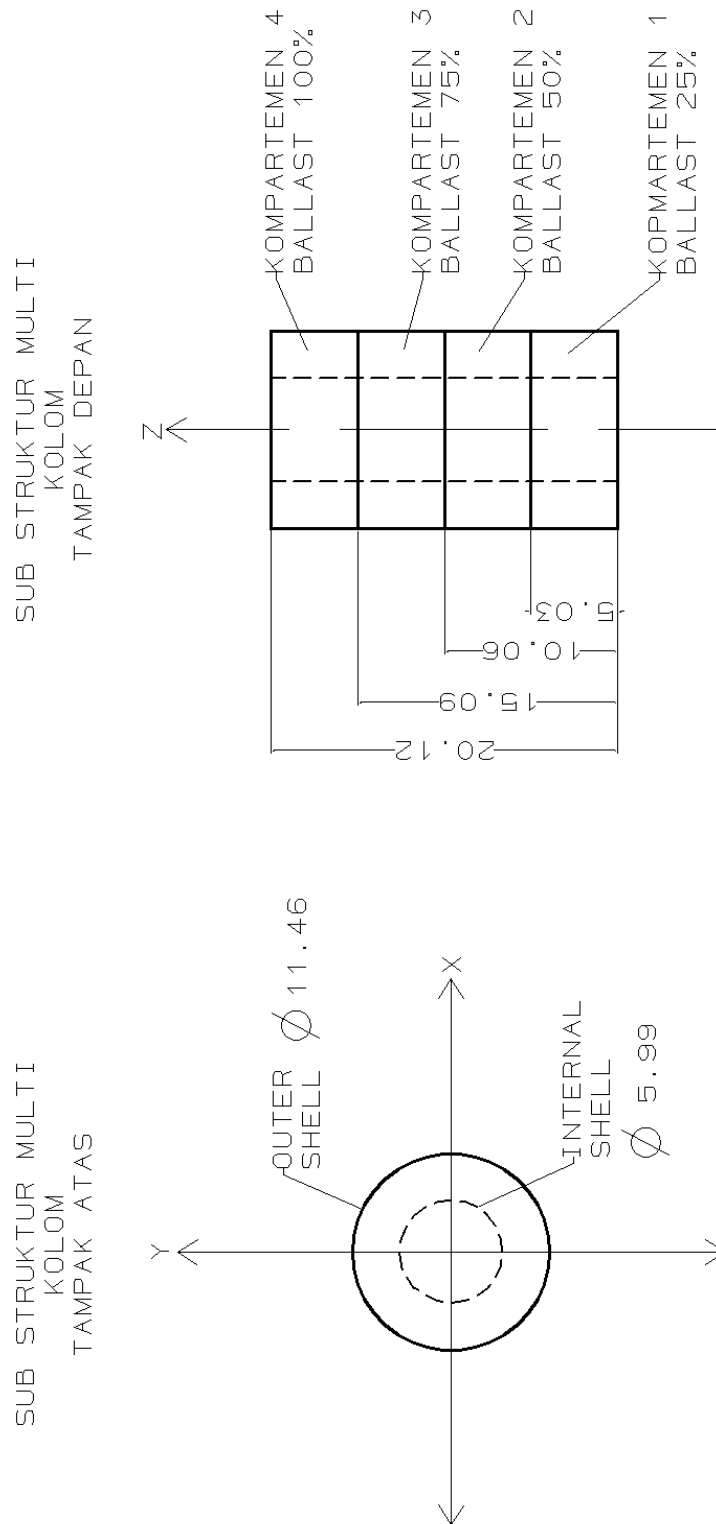
jumlah watertight =	3	sekat	
elevasi watertight 1 =	5.029	m	<b>from base MC</b>
elevasi watertight 2 =	10.058	m	<b>from base MC</b>
elevasi watertight 3 =	15.087	m	<b>from base MC</b>

#### PROPERTI BERAT SUB STRUKTUR MULTI-KOLOM

No.	Variabel	Nilai	Satuan
1	Panjang Selimut Tabung	20.116	m
2	Lebar Selimut Tabung	36.00265	m
3	Luas Selimut Tabung	724.2293	m <sup>2</sup>
4	Tebal Selimut Tabung	0.0762	m
5	Volume Selimut Tabung	55.18628	m <sup>3</sup>
6	Radius Watertight Tabung	5.73	m
7	Luas Watertight Tabung	51.5738	m <sup>2</sup>
8	Tebal Watertight Tabung	0.0762	m
9	volume Watertight Tabung	3.929923	m <sup>3</sup>
10	Jumlah Watertight Tabung	3	buah
11	Volume Total Watertight Tabung	11.78977	m <sup>3</sup>
12	Radius Penutup Atas/Bawah	5.73	m
13	Luas Penutup Atas/Bawah	51.5738	m <sup>2</sup>
14	Volume Penutup Atas/Bawah	3.929923	m <sup>3</sup>
15	Jumlah Pentutup Atas/Bawah	2	buah
16	Volume Penutup Atas dan Bawah	7.859847	m <sup>3</sup>
17	Volume Selimut + Watertight + Ca	74.83589	m <sup>3</sup>
18	Radius Inner Shell	2.99865	m
19	Tinggi Inner Shell	20.116	m
20	Tebal Inner Shell	0.0762	m
21	Luas Inner Shell	379.007	m <sup>2</sup>
22	Volume Inner Shell	28.88034	m <sup>3</sup>
23	Panjang Gading	2.6417	m
24	Lebar Gading	0.0762	m
25	Tinggi Gading	20.116	m
26	Volume Gading	4.049301	m <sup>3</sup>
27	Jumlah Gading	8	buah
28	Volume Total Gading	32.39441	m <sup>3</sup>
29	Volume Total Multi Kolom	136.1106	m <sup>3</sup>
30	Massa Total Struktur Multi Kolom	1070532	kg
		<b>1070.532 ton</b>	

## LAMPIRAN D

### Desain 2-Dimensi Multi Kolom



LAMPIRAN E

Definisi tanki pada model SPAR

*Definisi Tanki SPAR 1 - Maxsurf Stability*

No.	Nama Tank	Aft	Fore	F.Port	F.Starboard	F.Top	F.Bottom	A.Port	A.Starboard	A.Top	A.Bottom
1	VOID 1	-10.972	10.972	10.972	-10.972	214.884	197.157	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
2	VOID 2	-10.972	10.972	10.972	-10.972	197.157	179.43	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
3	VOID 3	-10.972	10.972	10.972	-10.972	179.43	161.702	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
4	VOID 4	-10.972	10.972	10.972	-10.972	161.702	143.975	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
5	VAR BALLAST	-10.972	10.972	10.972	-10.972	143.975	126.248	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
6	MID TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	126.248	10.058	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
7	SOFT TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	10.058	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC

*Definisi Tanki SPAR 2 - Maxsurf Stability*

No.	Nama Tank	Aft	Fore	F.Port	F.Starboard	F.Top	F.Bottom	A.Port	A.Starboard	A.Top	A.Bottom
1	VOID 1	-10.972	10.972	10.972	-10.972	214.884	197.157	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
2	VOID 2	-10.972	10.972	10.972	-10.972	197.157	179.43	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
3	VOID 3	-10.972	10.972	10.972	-10.972	179.43	161.702	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
4	VOID 4	-10.972	10.972	10.972	-10.972	161.702	143.975	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
5	VAR BALLAST	-10.972	10.972	10.972	-10.972	143.975	126.248	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
6	MID TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	126.248	10.058	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
7	SOFT TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	10.058	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
8	MC1	10.972	22.433	5.73	-5.73	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
9	MC2	-22.433	-10.97	5.73	-5.73	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC

**Definisi Tanki SPAR 3 - Maxsurf Stability**

No.	Nama Tank	Aft	Fore	F.Port	F.Starboard	F.Top	F.Bottom	A.Port	A.Starboard	A.Top	A.Bottom
1	VOID 1	-10.972	10.972	10.972	-10.972	214.884	197.157	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
2	VOID 2	-10.972	10.972	10.972	-10.972	197.157	179.43	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
3	VOID 3	-10.972	10.972	10.972	-10.972	179.43	161.702	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
4	VOID 4	-10.972	10.972	10.972	-10.972	161.702	143.975	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
5	VAR BALLAST	-10.972	10.972	10.972	-10.972	143.975	126.248	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
6	MID TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	126.248	10.058	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
7	SOFT TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	10.058	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
8	MC1	10.972	22.433	5.73	-5.73	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
9	MC2	-14.081	-2.621	20.195	8.735	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
10	MC3	-14.081	-2.621	-8.735	-20.195	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC

**Definisi Tanki SPAR 4 - Maxsurf Stability**

No.	Nama Tank	Aft	Fore	F.Port	F.Starboard	F.Top	F.Bottom	A.Port	A.Starboard	A.Top	A.Bottom
1	VOID 1	-10.972	10.972	10.972	-10.972	214.884	197.157	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
2	VOID 2	-10.972	10.972	10.972	-10.972	197.157	179.43	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
3	VOID 3	-10.972	10.972	10.972	-10.972	179.43	161.702	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
4	VOID 4	-10.972	10.972	10.972	-10.972	161.702	143.975	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
5	VAR BALLAST	-10.972	10.972	10.972	-10.972	143.975	126.248	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
6	MID TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	126.248	10.058	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
7	SOFT TANK	-10.972	10.972	10.972	-10.972	10.058	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
8	MC1	10.972	22.433	5.73	-5.73	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
9	MC2	5.73	-5.73	22.433	10.972	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
10	MC3	-22.433	-10.97	5.73	-5.73	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC
11	MC4	5.73	-5.73	-10.97	-22.4328	20.116	0	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC	PRISMATIC

## LAMPIRAN F

### Hidrostatik SPAR

#### SPAR Tipe 1

No.	Variabel	Nilai
1	Draft Amidships m	198.12
2	Displacement t	76801
3	Heel deg	0
4	Draft at FP m	198.12
5	Draft at AP m	198.12
6	Draft at LCF m	198.12
7	Trim (+ve by stern) m	0
8	WL Length m	21.946
9	Beam max extents on WL m	21.946
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	9428.911
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	378.192
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.785
13	Block coeff. (Cb)	0.785
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.785
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0
18	KB m	99.06
19	KG fluid m	83.807
20	BMt m	0.152
21	BML m	0.152
22	GMt corrected m	15.405
23	GML m	15.405
24	KMt m	99.212
25	KML m	99.212
26	Immersion (TPc) tonne/cm	3.876
27	MTc tonne.m	539.096
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	20648.078
29	Max deck inclination deg	0
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0

## SPAR Tipe 2

No.	Variabel	Ballast MC 0%	Ballast MC 25%	Ballast MC 50%	Ballast MC 100%
1	Draft Amidships m	187.202	187.202	187.205	187.202
2	Displacement t	76801	76801	76802	76801
3	Heel deg	0	0	0	0
4	Draft at FP m	187.202	187.202	187.205	187.202
5	Draft at AP m	187.202	187.202	187.205	187.202
6	Draft at LCF m	187.202	187.202	187.205	187.202
7	Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0
8	WL Length m	21.946	21.946	21.946	21.946
9	Beam max extents on WL m	21.946	21.946	21.946	21.946
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	10137.714	10137.73	10137.83	10137.73
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	378.106	378.106	378.106	378.106
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.831	0.831	0.831	0.831
13	Block coeff. (Cb)	0.831	0.831	0.831	0.831
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1	1	1	1
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.785	0.785	0.785	0.785
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0
18	KB m	88.979	88.979	88.98	88.979
19	KG fluid m	80.4	78.677	76.887	74.061
20	BMt m	0.152	0.152	0.152	0.152
21	BML m	0.152	0.152	0.152	0.152
22	GMt corrected m	8.73	10.454	12.245	15.07
23	GML m	8.73	10.454	12.245	15.07
24	KMt m	89.13	89.131	89.132	89.131
25	KML m	89.13	89.13	89.132	89.13
26	Immersion (TPc) tonne/cm	3.876	3.876	3.876	3.876
27	MTc tonne.m	305.536	365.862	428.557	527.425
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	11701.585	14011.92	16412.98	20199.39
29	Max deck inclination deg	0	0	0	0
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0



### SPAR Tipe 3

No.	Variabel	Ballast MC 0%	Ballast MC 25%	Ballast MC 50%	Ballast MC 100%
1	Draft Amidships m	181.698	181.698	181.698	181.699
2	Displacement t	76802	76802	76802	76802
3	Heel deg	0	0	0	0
4	Draft at FP m	181.553	181.586	181.606	181.627
5	Draft at AP m	181.843	181.811	181.791	181.771
6	Draft at LCF m	181.698	181.698	181.698	181.699
7	Trim (+ve by stern) m	0.29	0.225	0.185	0.144
8	WL Length m	21.948	21.947	21.947	21.946
9	Beam max extents on WL m	21.946	21.946	21.946	21.946
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	10494.288	10494.32	10494.34	10494.36
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	377.991	378.023	378.044	378.067
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.848	0.848	0.848	0.848
13	Block coeff. (Cb)	0.855	0.856	0.856	0.856
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1.066	1.066	1.066	1.066
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.785	0.785	0.785	0.785
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-0.002	-0.002	-0.001	-0.001
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-0.006	-0.004	-0.003	-0.003
18	KB m	84.144	84.144	84.144	84.145
19	KG fluid m	77.139	74.76	72.389	68.205
20	BMt m	0.152	0.152	0.152	0.152
21	BML m	0.152	0.152	0.152	0.152
22	GMt corrected m	7.158	9.537	11.908	16.092
23	GML m	7.157	9.537	11.907	16.092
24	KMt m	84.296	84.296	84.296	84.297
25	KML m	84.296	84.296	84.296	84.296
26	Immersion (TPc) tonne/cm	3.874	3.875	3.875	3.875
27	MTc tonne.m	250.504	333.777	416.74	563.204
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	9594.298	12783.35	15960.57	21569.74
29	Max deck inclination deg	0.7581	0.5874	0.4837	0.3765
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0.7577	0.5871	0.4835	0.3764

## SPAR Tipe 4

No.	Variabel	Ballast MC 0%	Ballast MC 25%	Ballast MC 50%	Ballast MC 100%
1	Draft Amidships m	176.251	176.256	176.25	176.254
2	Displacement t	76801	76803	76800	76802
3	Heel deg	0	0	0	0
4	Draft at FP m	176.251	176.256	176.25	176.254
5	Draft at AP m	176.251	176.256	176.25	176.254
6	Draft at LCF m	176.251	176.256	176.25	176.254
7	Trim (+ve by stern) m	0	0	0	0
8	WL Length m	21.946	21.946	21.946	21.946
9	Beam max extents on WL m	21.946	21.946	21.946	21.946
10	Wetted Area m <sup>2</sup>	10972.429	10972.65	10972.36	10972.56
11	Waterpl. Area m <sup>2</sup>	378.102	378.102	378.102	378.102
12	Prismatic coeff. (Cp)	0.789	0.789	0.789	0.789
13	Block coeff. (Cb)	0.883	0.883	0.883	0.883
14	Max Sect. area coeff. (Cm)	1.119	1.119	1.119	1.119
15	Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.785	0.785	0.785	0.785
16	LCB from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0
17	LCF from zero pt. (+ve fwd) m	0	0	0	0
18	KB m	79.491	79.494	79.491	79.493
19	KG fluid m	76.978	73.877	70.867	65.676
20	BMt m	0.152	0.152	0.152	0.152
21	BML m	0.152	0.152	0.152	0.152
22	GMt corrected m	2.666	5.769	8.776	13.968
23	GML m	2.665	5.769	8.776	13.968
24	KMt m	79.643	79.646	79.643	79.645
25	KML m	79.643	79.646	79.642	79.645
26	Immersion (TPc) tonne/cm	3.876	3.876	3.876	3.876
27	MTc tonne.m	93.289	201.902	307.133	488.873
28	RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	3573.03	7732.648	11762.74	18722.96
29	Max deck inclination deg	0	0	0	0
30	Trim angle (+ve by stern) deg	0	0	0	0

# LAMPIRAN G

## Keluaran Response Amplitude Operator Masing-masing SPAR kondisi Free Floating

### 1. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 0 Derajat

Draft		198.12 m											
Heading		0 deg											
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	19.808	90	0.001	-179	1.001	0	0	0	0.012	-89	0.054	-179
0.03	209.44	6.592	90	0	0	1.008	0	0	0	0.037	-89	0.006	-179
0.07	89.76	2.806	90	0	0	1.049	0	0	0	0.119	-89	0.001	-178
0.11	57.12	1.799	90	0	0	1.15	0	0	0	0.416	-89	0	0
0.15	41.89	0.92	90	0	0	1.411	0	0	0	1.935	90	0	0
0.19	33.07	0.848	90	0	0	2.564	0	0	0	0.493	90	0	0
0.23	27.32	0.665	90	0	0	3.473	-178	0	0	0.359	90	0	0
0.27	23.27	0.533	90	0	0	0.535	-179	0	0	0.322	90	0	0
0.31	20.27	0.425	90	0	0	0.171	-178	0	0	0.301	90	0	0
0.35	17.95	0.341	90	0	0	0.061	-178	0	0	0.285	90	0	0
0.39	16.11	0.277	90	0	0	0.022	-178	0	0	0.268	90	0	0
0.43	14.61	0.228	90	0	0	0.008	-177	0	0	0.249	90	0	0
0.47	13.37	0.19	90	0	0	0.003	-177	0	0	0.229	90	0	0
0.51	12.32	0.159	90	0	0	0.001	-177	0	0	0.21	90	0	0
0.55	11.42	0.135	89	0	0	0	0	0	0	0.191	89	0	0
0.59	10.65	0.117	89	0	0	0	0	0	0	0.173	89	0	0
0.63	9.97	0.101	88	0	0	0	0	0	0	0.157	88	0	0
0.67	9.38	0.088	87	0	0	0	0	0	0	0.142	87	0	0
0.71	8.85	0.077	86	0	0	0	0	0	0	0.128	86	0	0
0.75	8.38	0.068	84	0	0	0	0	0	0	0.115	84	0	0
0.79	7.95	0.059	83	0	0	0	0	0	0	0.102	83	0	0
0.83	7.57	0.051	81	0	0	0	0	0	0	0.09	81	0	0
0.87	7.22	0.044	80	0	0	0	0	0	0	0.079	80	0	0
0.91	6.9	0.038	79	0	0	0	0	0	0	0.069	79	0	0
0.95	6.61	0.033	78	0	0	0	0	0	0	0.06	78	0	0
0.99	6.35	0.028	78	0	0	0	0	0	0	0.052	78	0	0
1.03	6.1	0.024	78	0	0	0	0	0	0	0.044	78	0	0
1.07	5.87	0.02	79	0	0	0	0	0	0	0.038	79	0	0
1.11	5.66	0.017	81	0	0	0	0	0	0	0.032	81	0	0
1.15	5.46	0.015	83	0	0	0	0	0	0	0.028	83	0	0
1.19	5.28	0.012	86	0	0	0	0	0	0	0.024	86	0	0
1.23	5.11	0.011	89	0	0	0	0	0	0	0.02	89	0	0
1.27	4.95	0.009	92	0	0	0	0	0	0	0.017	92	0	0
1.31	4.8	0.008	96	0	0	0	0	0	0	0.015	96	0	0
1.35	4.65	0.007	101	0	0	0	0	0	0	0.013	101	0	0
1.39	4.52	0.006	106	0	0	0	0	0	0	0.011	106	0	0
1.43	4.39	0.005	111	0	0	0	0	0	0	0.01	111	0	0
1.47	4.27	0.004	117	0	0	0	0	0	0	0.008	117	0	0
1.51	4.16	0.004	123	0	0	0	0	0	0	0.007	123	0	0
1.55	4.05	0.003	129	0	0	0	0	0	0	0.006	129	0	0
1.59	3.95	0.003	135	0	0	0	0	0	0	0.005	135	0	0
1.63	3.85	0.002	141	0	0	0	0	0	0	0.005	141	0	0
1.67	3.76	0.002	147	0	0	0	0	0	0	0.004	147	0	0
1.71	3.67	0.002	153	0	0	0	0	0	0	0.004	153	0	0
1.75	3.59	0.001	158	0	0	0	0	0	0	0.003	158	0	0
1.79	3.51	0.001	162	0	0	0	0	0	0	0.002	161	0	0
1.83	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	-168	0	0
1.87	3.36	0.002	-120	0	0	0	0	0	0	0.003	-120	0	0
1.91	3.29	0.001	-137	0	0	0	0	0	0	0.003	-137	0	0
1.95	3.22	0.001	-135	0	0	0	0	0	0	0.002	-135	0	0
1.99	3.16	0.001	-130	0	0	0	0	0	0	0.002	-130	0	0

## 2. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 45 Derajat

Draft		198.12 m													
Heading		45 deg													
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.			
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----			
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase		
0.01	628.32	14.007	90	14.007	90	1.001	0	0.008	90	0.008	-89	0.054	180		
0.03	209.44	4.661	90	4.661	90	1.008	0	0.026	90	0.026	-89	0.006	179		
0.07	89.76	1.984	90	1.984	90	1.049	0	0.084	90	0.084	-89	0.001	178		
0.11	57.12	1.272	90	1.272	90	1.15	0	0.293	90	0.294	-89	0	0		
0.15	41.89	0.65	90	0.649	90	1.411	0	1.381	-88	1.368	90	0	0		
0.19	33.07	0.599	90	0.599	90	2.564	0	0.349	-89	0.348	90	0	0		
0.23	27.32	0.47	90	0.47	90	3.473	-178	0.254	-89	0.254	90	0	0		
0.27	23.27	0.377	90	0.377	90	0.535	-179	0.228	-89	0.227	90	0	0		
0.31	20.27	0.3	90	0.3	90	0.171	-178	0.213	-89	0.213	90	0	0		
0.35	17.95	0.241	90	0.241	90	0.061	-178	0.201	-89	0.201	90	0	0		
0.39	16.11	0.196	90	0.196	90	0.022	-178	0.189	-89	0.189	90	0	0		
0.43	14.61	0.161	90	0.161	90	0.008	-177	0.176	-89	0.176	90	0	0		
0.47	13.37	0.134	90	0.135	90	0.003	-177	0.162	-89	0.162	90	0	0		
0.51	12.32	0.112	90	0.112	90	0.001	-177	0.148	-89	0.148	90	0	0		
0.55	11.42	0.096	89	0.096	89	0	0	0.135	-90	0.135	89	0	0		
0.59	10.65	0.082	89	0.082	89	0	0	0.123	-90	0.123	89	0	0		
0.63	9.97	0.072	88	0.072	88	0	0	0.111	-91	0.111	88	0	0		
0.67	9.38	0.062	87	0.062	87	0	0	0.1	-92	0.1	87	0	0		
0.71	8.85	0.055	86	0.055	86	0	0	0.09	-93	0.09	86	0	0		
0.75	8.38	0.048	84	0.048	84	0	0	0.081	-95	0.081	84	0	0		
0.79	7.95	0.042	83	0.042	83	0	0	0.072	-96	0.072	83	0	0		
0.83	7.57	0.036	81	0.036	81	0	0	0.064	-98	0.064	81	0	0		
0.87	7.22	0.031	80	0.031	80	0	0	0.056	-99	0.056	80	0	0		
0.91	6.9	0.027	79	0.027	79	0	0	0.049	-100	0.049	79	0	0		
0.95	6.61	0.023	78	0.023	78	0	0	0.042	-101	0.042	78	0	0		
0.99	6.35	0.02	78	0.02	78	0	0	0.037	-101	0.037	78	0	0		
1.03	6.1	0.017	78	0.017	78	0	0	0.031	-101	0.031	78	0	0		
1.07	5.87	0.014	79	0.014	79	0	0	0.027	-100	0.027	79	0	0		
1.11	5.66	0.012	81	0.012	81	0	0	0.023	-98	0.023	81	0	0		
1.15	5.46	0.01	83	0.01	83	0	0	0.02	-96	0.02	83	0	0		
1.19	5.28	0.009	86	0.009	86	0	0	0.017	-93	0.017	86	0	0		
1.23	5.11	0.007	89	0.007	89	0	0	0.014	-90	0.014	89	0	0		
1.27	4.95	0.006	92	0.006	92	0	0	0.012	-87	0.012	92	0	0		
1.31	4.8	0.005	96	0.005	97	0	0	0.011	-82	0.011	96	0	0		
1.35	4.65	0.005	101	0.005	101	0	0	0.009	-78	0.009	101	0	0		
1.39	4.52	0.004	106	0.004	106	0	0	0.008	-73	0.008	106	0	0		
1.43	4.39	0.003	111	0.003	111	0	0	0.007	-68	0.007	111	0	0		
1.47	4.27	0.003	117	0.003	117	0	0	0.006	-62	0.006	117	0	0		
1.51	4.16	0.003	122	0.003	122	0	0	0.005	-57	0.005	122	0	0		
1.55	4.05	0.002	129	0.002	129	0	0	0.004	-50	0.004	129	0	0		
1.59	3.95	0.002	135	0.002	135	0	0	0.004	-44	0.004	135	0	0		
1.63	3.85	0.002	141	0.002	141	0	0	0.003	-38	0.003	141	0	0		
1.67	3.76	0.001	148	0.001	147	0	0	0.003	-32	0.003	148	0	0		
1.71	3.67	0.001	154	0.001	153	0	0	0.002	-26	0.002	154	0	0		
1.75	3.59	0.001	159	0.001	158	0	0	0.002	-21	0.002	159	0	0		
1.79	3.51	0.001	162	0.001	161	0	0	0.002	-18	0.002	162	0	0		
1.83	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
1.87	3.36	0.001	-120	0.001	-121	0	0	0.002	57	0.002	-120	0	0		
1.91	3.29	0.001	-136	0.001	-137	0	0	0.002	42	0.002	-137	0	0		
1.95	3.22	0.001	-135	0.001	-136	0	0	0.002	43	0.002	-135	0	0		
1.99	3.16	0.001	-130	0.001	-130	0	0	0.001	49	0.001	-130	0	0		

### 3. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 90 Derajat

Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	0	0	19.808	90	1.001	0	0.012	90	0	0	0.054	180
0.03	209.44	0	0	6.591	90	1.008	0	0.037	90	0	0	0.006	179
0.07	89.76	0	0	2.806	90	1.049	0	0.119	90	0	0	0.001	177
0.11	57.12	0	0	1.799	90	1.15	0	0.415	90	0	0	0	0
0.15	41.89	0	0	0.918	90	1.411	0	1.953	-88	0	0	0	0
0.19	33.07	0	0	0.847	90	2.564	0	0.494	-89	0	0	0	0
0.23	27.32	0	0	0.665	90	3.473	-178	0.36	-89	0	0	0	0
0.27	23.27	0	0	0.533	90	0.535	-178	0.322	-89	0	0	0	0
0.31	20.27	0	0	0.425	90	0.171	-178	0.301	-89	0	0	0	0
0.35	17.95	0	0	0.341	90	0.061	-178	0.285	-89	0	0	0	0
0.39	16.11	0	0	0.277	90	0.022	-178	0.268	-89	0	0	0	0
0.43	14.61	0	0	0.228	90	0.008	-177	0.249	-89	0	0	0	0
0.47	13.37	0	0	0.19	90	0.003	-176	0.229	-89	0	0	0	0
0.51	12.32	0	0	0.159	90	0.001	-175	0.21	-89	0	0	0	0
0.55	11.42	0	0	0.135	89	0	0	0.191	-90	0	0	0	0
0.59	10.65	0	0	0.117	89	0	0	0.173	-90	0	0	0	0
0.63	9.97	0	0	0.101	88	0	0	0.157	-91	0	0	0	0
0.67	9.38	0	0	0.088	87	0	0	0.142	-92	0	0	0	0
0.71	8.85	0	0	0.077	86	0	0	0.128	-93	0	0	0	0
0.75	8.38	0	0	0.068	84	0	0	0.115	-95	0	0	0	0
0.79	7.95	0	0	0.059	83	0	0	0.102	-96	0	0	0	0
0.83	7.57	0	0	0.051	81	0	0	0.09	-98	0	0	0	0
0.87	7.22	0	0	0.044	80	0	0	0.079	-99	0	0	0	0
0.91	6.9	0	0	0.038	79	0	0	0.069	-100	0	0	0	0
0.95	6.61	0	0	0.033	78	0	0	0.06	-101	0	0	0	0
0.99	6.35	0	0	0.028	78	0	0	0.052	-101	0	0	0	0
1.03	6.1	0	0	0.024	78	0	0	0.044	-101	0	0	0	0
1.07	5.87	0	0	0.02	79	0	0	0.038	-100	0	0	0	0
1.11	5.66	0	0	0.017	81	0	0	0.032	-98	0	0	0	0
1.15	5.46	0	0	0.015	83	0	0	0.028	-96	0	0	0	0
1.19	5.28	0	0	0.012	86	0	0	0.024	-93	0	0	0	0
1.23	5.11	0	0	0.011	89	0	0	0.02	-90	0	0	0	0
1.27	4.95	0	0	0.009	92	0	0	0.017	-87	0	0	0	0
1.31	4.8	0	0	0.008	97	0	0	0.015	-82	0	0	0	0
1.35	4.65	0	0	0.007	101	0	0	0.013	-78	0	0	0	0
1.39	4.52	0	0	0.006	106	0	0	0.011	-73	0	0	0	0
1.43	4.39	0	0	0.005	111	0	0	0.01	-68	0	0	0	0
1.47	4.27	0	0	0.004	117	0	0	0.008	-62	0	0	0	0
1.51	4.16	0	0	0.004	123	0	0	0.007	-56	0	0	0	0
1.55	4.05	0	0	0.003	129	0	0	0.006	-50	0	0	0	0
1.59	3.95	0	0	0.003	135	0	0	0.005	-44	0	0	0	0
1.63	3.85	0	0	0.002	141	0	0	0.005	-38	0	0	0	0
1.67	3.76	0	0	0.002	148	0	0	0.004	-31	0	0	0	0
1.71	3.67	0	0	0.002	154	0	0	0.004	-25	0	0	0	0
1.75	3.59	0	0	0.001	159	0	0	0.003	-20	0	0	0	0
1.79	3.51	0	0	0.001	162	0	0	0.002	-17	0	0	0	0
1.83	3.43	0	0	0	0	0	0	0.001	16	0	0	0	0
1.87	3.36	0	0	0.002	-121	0	0	0.003	58	0	0	0	0
1.91	3.29	0	0	0.001	-137	0	0	0.003	42	0	0	0	0
1.95	3.22	0	0	0.001	-135	0	0	0.002	44	0	0	0	0
1.99	3.16	0	0	0.001	-130	0	0	0.002	49	0	0	0	0

#### 4. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 135 Derajat

Draft	198.12 m													
Heading	135 deg													
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.		
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----		
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	
0.01	628.32	14.007	-89	14.007	90	1.001	0	0.008	90	0.008	90	0.054	180	
0.03	209.44	4.661	-89	4.661	90	1.008	0	0.026	90	0.026	90	0.006	179	
0.07	89.76	1.984	-89	1.984	90	1.049	0	0.084	90	0.084	90	0.001	178	
0.11	57.12	1.272	-89	1.272	90	1.15	0	0.293	90	0.294	90	0.001	176	
0.15	41.89	0.65	-89	0.649	90	1.411	0	1.381	-88	1.368	-89	0	0	
0.19	33.07	0.599	-89	0.599	90	2.564	0	0.349	-89	0.348	-89	0	0	
0.23	27.32	0.47	-89	0.47	90	3.473	-178	0.254	-89	0.254	-89	0	0	
0.27	23.27	0.377	-89	0.377	90	0.535	-178	0.228	-89	0.227	-89	0	0	
0.31	20.27	0.3	-89	0.3	90	0.171	-178	0.213	-89	0.213	-89	0	0	
0.35	17.95	0.241	-89	0.241	90	0.061	-178	0.201	-89	0.201	-89	0	0	
0.39	16.11	0.196	-89	0.196	90	0.022	-178	0.189	-89	0.189	-89	0	0	
0.43	14.61	0.161	-89	0.161	90	0.008	-177	0.176	-89	0.176	-89	0	0	
0.47	13.37	0.134	-89	0.135	90	0.003	-176	0.162	-89	0.162	-89	0	0	
0.51	12.32	0.112	-89	0.112	90	0.001	-174	0.148	-89	0.148	-89	0	0	
0.55	11.42	0.096	-90	0.096	89	0	0	0.135	-90	0.135	-90	0	0	
0.59	10.65	0.082	-90	0.082	89	0	0	0.123	-90	0.123	-90	0	0	
0.63	9.97	0.072	-91	0.072	88	0	0	0.111	-91	0.111	-91	0	0	
0.67	9.38	0.062	-92	0.062	87	0	0	0.1	-92	0.1	-92	0	0	
0.71	8.85	0.055	-93	0.055	86	0	0	0.09	-93	0.09	-93	0	0	
0.75	8.38	0.048	-95	0.048	84	0	0	0.081	-95	0.081	-95	0	0	
0.79	7.95	0.042	-96	0.042	83	0	0	0.072	-96	0.072	-96	0	0	
0.83	7.57	0.036	-98	0.036	81	0	0	0.064	-98	0.064	-98	0	0	
0.87	7.22	0.031	-99	0.031	80	0	0	0.056	-99	0.056	-99	0	0	
0.91	6.9	0.027	-100	0.027	79	0	0	0.049	-100	0.049	-100	0	0	
0.95	6.61	0.023	-101	0.023	78	0	0	0.042	-101	0.042	-101	0	0	
0.99	6.35	0.02	-101	0.02	78	0	0	0.036	-101	0.037	-101	0	0	
1.03	6.1	0.017	-101	0.017	78	0	0	0.031	-101	0.031	-101	0	0	
1.07	5.87	0.014	-100	0.014	79	0	0	0.027	-100	0.027	-100	0	0	
1.11	5.66	0.012	-98	0.012	81	0	0	0.023	-98	0.023	-98	0	0	
1.15	5.46	0.01	-96	0.01	83	0	0	0.02	-96	0.02	-96	0	0	
1.19	5.28	0.009	-94	0.009	85	0	0	0.017	-94	0.017	-94	0	0	
1.23	5.11	0.007	-90	0.007	89	0	0	0.014	-90	0.014	-90	0	0	
1.27	4.95	0.006	-87	0.006	92	0	0	0.012	-87	0.012	-87	0	0	
1.31	4.8	0.005	-83	0.005	96	0	0	0.011	-83	0.011	-83	0	0	
1.35	4.65	0.005	-78	0.005	101	0	0	0.009	-78	0.009	-78	0	0	
1.39	4.52	0.004	-73	0.004	106	0	0	0.008	-73	0.008	-73	0	0	
1.43	4.39	0.003	-68	0.003	111	0	0	0.007	-68	0.007	-68	0	0	
1.47	4.27	0.003	-63	0.003	117	0	0	0.006	-62	0.006	-63	0	0	
1.51	4.16	0.003	-57	0.003	122	0	0	0.005	-57	0.005	-57	0	0	
1.55	4.05	0.002	-51	0.002	128	0	0	0.004	-51	0.004	-51	0	0	
1.59	3.95	0.002	-44	0.002	135	0	0	0.004	-44	0.004	-44	0	0	
1.63	3.85	0.002	-38	0.002	141	0	0	0.003	-38	0.003	-38	0	0	
1.67	3.76	0.001	-32	0.001	147	0	0	0.003	-32	0.003	-32	0	0	
1.71	3.67	0.001	-26	0.001	153	0	0	0.002	-26	0.002	-26	0	0	
1.75	3.59	0.001	-21	0.001	158	0	0	0.002	-21	0.002	-21	0	0	
1.79	3.51	0.001	-18	0.001	161	0	0	0.001	-18	0.002	-18	0	0	
1.83	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.87	3.36	0.001	59	0.001	-121	0	0	0.002	57	0.002	58	0	0	
1.91	3.29	0.001	42	0.001	-137	0	0	0.002	42	0.002	42	0	0	
1.95	3.22	0.001	43	0.001	-136	0	0	0.002	43	0.002	43	0	0	
1.99	3.16	0.001	49	0.001	-130	0	0	0.001	49	0.001	49	0	0	

### 5. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 180 Derajat

Draft	198.12 m												
Heading	180 deg												
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	19.808	-89	0.001	180	1.001	0	0	0	0.012	90	0.054	180
0.03	209.44	6.592	-89	0	0	1.008	0	0	0	0.037	90	0.006	180
0.07	89.76	2.806	-89	0	0	1.049	0	0	0	0.119	90	0.001	179
0.11	57.12	1.799	-89	0	0	1.15	0	0	0	0.416	90	0	0
0.15	41.89	0.92	-89	0	0	1.411	0	0	0	1.935	-89	0	0
0.19	33.07	0.848	-89	0	0	2.564	0	0	0	0.493	-89	0	0
0.23	27.32	0.665	-89	0	0	3.473	-178	0	0	0.359	-89	0	0
0.27	23.27	0.533	-89	0	0	0.535	-178	0	0	0.322	-89	0	0
0.31	20.27	0.425	-89	0	0	0.171	-178	0	0	0.301	-89	0	0
0.35	17.95	0.341	-89	0	0	0.061	-178	0	0	0.285	-89	0	0
0.39	16.11	0.277	-89	0	0	0.022	-178	0	0	0.268	-89	0	0
0.43	14.61	0.228	-89	0	0	0.008	-177	0	0	0.249	-89	0	0
0.47	13.37	0.19	-89	0	0	0.003	-176	0	0	0.229	-89	0	0
0.51	12.32	0.159	-89	0	0	0.001	-174	0	0	0.21	-89	0	0
0.55	11.42	0.135	-90	0	0	0	0	0	0	0.191	-90	0	0
0.59	10.65	0.117	-90	0	0	0	0	0	0	0.173	-90	0	0
0.63	9.97	0.101	-91	0	0	0	0	0	0	0.157	-91	0	0
0.67	9.38	0.088	-92	0	0	0	0	0	0	0.142	-92	0	0
0.71	8.85	0.077	-93	0	0	0	0	0	0	0.128	-93	0	0
0.75	8.38	0.068	-95	0	0	0	0	0	0	0.115	-95	0	0
0.79	7.95	0.059	-96	0	0	0	0	0	0	0.102	-96	0	0
0.83	7.57	0.051	-98	0	0	0	0	0	0	0.09	-98	0	0
0.87	7.22	0.044	-99	0	0	0	0	0	0	0.079	-99	0	0
0.91	6.9	0.038	-100	0	0	0	0	0	0	0.069	-100	0	0
0.95	6.61	0.033	-101	0	0	0	0	0	0	0.06	-101	0	0
0.99	6.35	0.028	-101	0	0	0	0	0	0	0.052	-101	0	0
1.03	6.1	0.024	-101	0	0	0	0	0	0	0.044	-101	0	0
1.07	5.87	0.02	-100	0	0	0	0	0	0	0.038	-100	0	0
1.11	5.66	0.017	-98	0	0	0	0	0	0	0.032	-98	0	0
1.15	5.46	0.015	-96	0	0	0	0	0	0	0.028	-96	0	0
1.19	5.28	0.012	-94	0	0	0	0	0	0	0.024	-94	0	0
1.23	5.11	0.011	-90	0	0	0	0	0	0	0.02	-90	0	0
1.27	4.95	0.009	-87	0	0	0	0	0	0	0.017	-87	0	0
1.31	4.8	0.008	-83	0	0	0	0	0	0	0.015	-83	0	0
1.35	4.65	0.007	-78	0	0	0	0	0	0	0.013	-78	0	0
1.39	4.52	0.006	-73	0	0	0	0	0	0	0.011	-73	0	0
1.43	4.39	0.005	-68	0	0	0	0	0	0	0.01	-68	0	0
1.47	4.27	0.004	-62	0	0	0	0	0	0	0.008	-62	0	0
1.51	4.16	0.004	-57	0	0	0	0	0	0	0.007	-57	0	0
1.55	4.05	0.003	-51	0	0	0	0	0	0	0.006	-51	0	0
1.59	3.95	0.003	-44	0	0	0	0	0	0	0.005	-44	0	0
1.63	3.85	0.002	-38	0	0	0	0	0	0	0.005	-38	0	0
1.67	3.76	0.002	-32	0	0	0	0	0	0	0.004	-32	0	0
1.71	3.67	0.002	-26	0	0	0	0	0	0	0.004	-26	0	0
1.75	3.59	0.001	-21	0	0	0	0	0	0	0.003	-21	0	0
1.79	3.51	0.001	-18	0	0	0	0	0	0	0.002	-18	0	0
1.83	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0.001	10	0	0
1.87	3.36	0.002	59	0	0	0	0	0	0	0.003	58	0	0
1.91	3.29	0.001	42	0	0	0	0	0	0	0.003	42	0	0
1.95	3.22	0.001	43	0	0	0	0	0	0	0.002	43	0	0
1.99	3.16	0.001	49	0	0	0	0	0	0	0.002	49	0	0

## 6. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 2					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	1.001	1.001	1.001	1.001
2	0.03	1.009	1.009	1.009	1.009
3	0.07	1.052	1.052	1.052	1.052
4	0.11	1.159	1.159	1.159	1.159
5	0.15	1.446	1.446	1.446	1.446
6	0.19	2.858	2.858	2.858	2.858
7	0.23	2.564	2.564	2.563	2.564
8	0.27	0.465	0.465	0.465	0.465
9	0.31	0.149	0.149	0.149	0.149
10	0.35	0.052	0.052	0.052	0.052
11	0.39	0.017	0.017	0.017	0.017
12	0.43	0.006	0.006	0.006	0.006
13	0.47	0.002	0.002	0.002	0.002
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0



## 7. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 2					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.039	0.038	0.038	0.037
3	0.07	0.162	0.143	0.13	0.118
4	0.11	20.066	1.192	0.64	0.407
5	0.15	0.372	0.511	0.752	1.968
6	0.19	0.266	0.311	0.365	0.481
7	0.23	0.245	0.27	0.297	0.348
8	0.27	0.245	0.261	0.279	0.312
9	0.31	0.246	0.258	0.27	0.292
10	0.35	0.245	0.253	0.261	0.276
11	0.39	0.238	0.243	0.249	0.26
12	0.43	0.226	0.23	0.235	0.243
13	0.47	0.212	0.215	0.218	0.224
14	0.51	0.197	0.199	0.201	0.205
15	0.55	0.181	0.183	0.184	0.188
16	0.59	0.166	0.167	0.168	0.171
17	0.63	0.151	0.152	0.153	0.155
18	0.67	0.137	0.138	0.139	0.14
19	0.71	0.124	0.125	0.125	0.126
20	0.75	0.112	0.112	0.112	0.113
21	0.79	0.1	0.1	0.1	0.101
22	0.83	0.088	0.089	0.089	0.089
23	0.87	0.078	0.078	0.078	0.079
24	0.91	0.068	0.068	0.068	0.068
25	0.95	0.059	0.059	0.059	0.059
26	0.99	0.051	0.051	0.051	0.051
27	1.03	0.043	0.043	0.043	0.044
28	1.07	0.037	0.037	0.037	0.037
29	1.11	0.032	0.032	0.032	0.032
30	1.15	0.027	0.027	0.027	0.027
31	1.19	0.023	0.023	0.023	0.023
32	1.23	0.02	0.02	0.02	0.02
33	1.27	0.017	0.017	0.017	0.017
34	1.31	0.015	0.015	0.015	0.015
35	1.35	0.013	0.013	0.013	0.013
36	1.39	0.011	0.011	0.011	0.011
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005
42	1.63	0.005	0.005	0.005	0.005
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003
49	1.91	0.003	0.003	0.003	0.003
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002

## 8. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 2					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.039	0.039	0.038	0.037
3	0.07	0.18	0.154	0.139	0.124
4	0.11	1.559	3.403	0.941	0.495
5	0.15	0.32	0.418	0.572	1.113
6	0.19	0.247	0.285	0.329	0.422
7	0.23	0.235	0.256	0.28	0.325
8	0.27	0.238	0.253	0.269	0.299
9	0.31	0.241	0.252	0.263	0.283
10	0.35	0.24	0.248	0.256	0.27
11	0.39	0.233	0.239	0.245	0.255
12	0.43	0.221	0.226	0.23	0.238
13	0.47	0.207	0.211	0.214	0.22
14	0.51	0.191	0.194	0.196	0.201
15	0.55	0.176	0.178	0.179	0.183
16	0.59	0.16	0.162	0.163	0.166
17	0.63	0.146	0.147	0.148	0.151
18	0.67	0.132	0.133	0.134	0.136
19	0.71	0.119	0.12	0.121	0.122
20	0.75	0.107	0.108	0.108	0.11
21	0.79	0.095	0.096	0.096	0.098
22	0.83	0.084	0.085	0.085	0.086
23	0.87	0.074	0.075	0.075	0.076
24	0.91	0.065	0.065	0.065	0.066
25	0.95	0.056	0.056	0.056	0.057
26	0.99	0.048	0.048	0.049	0.049
27	1.03	0.041	0.042	0.042	0.042
28	1.07	0.035	0.035	0.036	0.036
29	1.11	0.03	0.03	0.03	0.031
30	1.15	0.026	0.026	0.026	0.026
31	1.19	0.022	0.022	0.022	0.022
32	1.23	0.019	0.019	0.019	0.019
33	1.27	0.016	0.016	0.016	0.016
34	1.31	0.014	0.014	0.014	0.014
35	1.35	0.012	0.012	0.012	0.012
36	1.39	0.01	0.01	0.01	0.011
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005
42	1.63	0.004	0.004	0.004	0.005
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003
49	1.91	0.003	0.003	0.003	0.003
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002

### 9. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 3					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	1.001	1.001	1.001	1.001
2	0.03	1.009	1.009	1.009	1.009
3	0.07	1.053	1.053	1.053	1.053
4	0.11	1.164	1.164	1.164	1.164
5	0.15	1.464	1.464	1.464	1.464
6	0.19	3.042	3.042	3.042	3.042
7	0.23	2.239	2.239	2.239	2.239
8	0.27	0.428	0.428	0.428	0.428
9	0.31	0.134	0.134	0.134	0.134
10	0.35	0.049	0.049	0.049	0.049
11	0.39	0.014	0.014	0.014	0.014
12	0.43	0.004	0.004	0.004	0.004
13	0.47	0.001	0.001	0.001	0.001
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

### 10. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 3					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.04	0.039	0.038	0.037
3	0.07	0.211	0.159	0.136	0.118
4	0.11	0.705	10.696	0.829	0.397
5	0.15	0.267	0.388	0.611	2.231
6	0.19	0.223	0.272	0.337	0.494
7	0.23	0.219	0.248	0.283	0.353
8	0.27	0.226	0.246	0.271	0.316
9	0.31	0.232	0.247	0.264	0.294
10	0.35	0.234	0.244	0.257	0.278
11	0.39	0.229	0.237	0.246	0.261
12	0.43	0.219	0.225	0.232	0.243
13	0.47	0.206	0.21	0.216	0.224
14	0.51	0.191	0.194	0.199	0.204
15	0.55	0.176	0.179	0.182	0.186
16	0.59	0.162	0.163	0.166	0.169
17	0.63	0.147	0.149	0.151	0.153
18	0.67	0.134	0.135	0.137	0.139
19	0.71	0.121	0.122	0.123	0.125
20	0.75	0.109	0.109	0.111	0.112
21	0.79	0.097	0.097	0.099	0.1
22	0.83	0.086	0.086	0.087	0.088
23	0.87	0.076	0.076	0.077	0.077
24	0.91	0.066	0.066	0.067	0.067
25	0.95	0.057	0.057	0.058	0.058
26	0.99	0.049	0.049	0.05	0.05
27	1.03	0.042	0.042	0.043	0.043
28	1.07	0.036	0.036	0.037	0.037
29	1.11	0.031	0.031	0.031	0.031
30	1.15	0.026	0.026	0.027	0.027
31	1.19	0.022	0.023	0.023	0.023
32	1.23	0.019	0.019	0.019	0.02
33	1.27	0.017	0.017	0.017	0.017
34	1.31	0.014	0.014	0.014	0.014
35	1.35	0.012	0.012	0.012	0.012
36	1.39	0.011	0.011	0.011	0.011
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005
42	1.63	0.005	0.005	0.005	0.005
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003
49	1.91	0.003	0.003	0.003	0.003
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002

### 11. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 3					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.04	0.039	0.038	0.037
3	0.07	0.21	0.158	0.136	0.117
4	0.11	0.715	8.369	0.818	0.395
5	0.15	0.268	0.39	0.616	2.292
6	0.19	0.224	0.273	0.338	0.497
7	0.23	0.219	0.248	0.284	0.354
8	0.27	0.226	0.247	0.271	0.316
9	0.31	0.233	0.247	0.265	0.295
10	0.35	0.234	0.244	0.257	0.278
11	0.39	0.229	0.237	0.246	0.261
12	0.43	0.219	0.225	0.232	0.243
13	0.47	0.206	0.21	0.216	0.224
14	0.51	0.192	0.194	0.199	0.204
15	0.55	0.177	0.179	0.182	0.186
16	0.59	0.162	0.163	0.166	0.169
17	0.63	0.148	0.149	0.151	0.154
18	0.67	0.134	0.135	0.137	0.139
19	0.71	0.121	0.122	0.123	0.125
20	0.75	0.109	0.109	0.111	0.112
21	0.79	0.097	0.097	0.099	0.1
22	0.83	0.086	0.086	0.087	0.088
23	0.87	0.076	0.076	0.077	0.077
24	0.91	0.066	0.066	0.067	0.067
25	0.95	0.057	0.057	0.058	0.058
26	0.99	0.049	0.049	0.05	0.05
27	1.03	0.042	0.042	0.043	0.043
28	1.07	0.036	0.036	0.037	0.037
29	1.11	0.031	0.031	0.031	0.031
30	1.15	0.026	0.026	0.027	0.027
31	1.19	0.023	0.023	0.023	0.023
32	1.23	0.019	0.019	0.019	0.02
33	1.27	0.017	0.017	0.017	0.017
34	1.31	0.014	0.014	0.014	0.014
35	1.35	0.012	0.012	0.012	0.012
36	1.39	0.011	0.011	0.011	0.011
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005
42	1.63	0.005	0.005	0.005	0.005
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003
49	1.91	0.003	0.003	0.003	0.003
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002

## 12. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 4					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	1.001	1.001	1.001	1.001
2	0.03	1.009	1.009	1.009	1.009
3	0.07	1.054	1.054	1.054	1.054
4	0.11	1.168	1.168	1.168	1.168
5	0.15	1.483	1.483	1.483	1.483
6	0.19	3.272	3.273	3.272	3.272
7	0.23	1.948	1.947	1.948	1.948
8	0.27	0.39	0.39	0.39	0.39
9	0.31	0.12	0.12	0.12	0.12
10	0.35	0.037	0.037	0.037	0.037
11	0.39	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.43	0.002	0.002	0.002	0.002
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	0.001	0.001	0.001	0.001
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

### 13. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 4					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.052	0.042	0.039	0.037
3	0.07	0.335	0.306	0.172	0.125
4	0.11	0.137	0.357	2.188	0.526
5	0.15	0.132	0.208	0.324	0.95
6	0.19	0.145	0.19	0.243	0.392
7	0.23	0.163	0.194	0.227	0.306
8	0.27	0.181	0.205	0.229	0.283
9	0.31	0.197	0.214	0.231	0.27
10	0.35	0.205	0.218	0.231	0.26
11	0.39	0.206	0.216	0.225	0.247
12	0.43	0.2	0.208	0.215	0.231
13	0.47	0.191	0.197	0.202	0.215
14	0.51	0.179	0.183	0.187	0.197
15	0.55	0.166	0.17	0.172	0.18
16	0.59	0.153	0.156	0.158	0.164
17	0.63	0.14	0.142	0.144	0.149
18	0.67	0.128	0.129	0.13	0.135
19	0.71	0.116	0.117	0.118	0.122
20	0.75	0.104	0.105	0.106	0.109
21	0.79	0.093	0.094	0.094	0.097
22	0.83	0.082	0.083	0.083	0.086
23	0.87	0.072	0.073	0.073	0.076
24	0.91	0.063	0.064	0.064	0.066
25	0.95	0.055	0.055	0.055	0.057
26	0.99	0.047	0.047	0.048	0.049
27	1.03	0.04	0.041	0.041	0.042
28	1.07	0.035	0.035	0.035	0.036
29	1.11	0.03	0.03	0.03	0.031
30	1.15	0.025	0.025	0.025	0.026
31	1.19	0.022	0.022	0.022	0.022
32	1.23	0.018	0.019	0.019	0.019
33	1.27	0.016	0.016	0.016	0.016
34	1.31	0.014	0.014	0.014	0.014
35	1.35	0.012	0.012	0.012	0.012
36	1.39	0.01	0.01	0.01	0.011
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005
42	1.63	0.004	0.004	0.004	0.005
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003
49	1.91	0.002	0.002	0.002	0.003
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002

#### 14. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 4						
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%	
1	0.01	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
2	0.03	0.052	0.042	0.039	0.037	
3	0.07	0.342	0.302	0.171	0.125	
4	0.11	0.138	0.362	2.361	0.518	
5	0.15	0.132	0.209	0.327	0.971	
6	0.19	0.145	0.19	0.244	0.394	
7	0.23	0.163	0.194	0.228	0.307	
8	0.27	0.181	0.205	0.229	0.284	
9	0.31	0.197	0.214	0.232	0.271	
10	0.35	0.205	0.218	0.231	0.26	
11	0.39	0.206	0.216	0.225	0.247	
12	0.43	0.2	0.208	0.215	0.231	
13	0.47	0.191	0.197	0.202	0.215	
14	0.51	0.179	0.183	0.187	0.197	
15	0.55	0.166	0.17	0.172	0.18	
16	0.59	0.153	0.156	0.158	0.164	
17	0.63	0.14	0.142	0.144	0.149	
18	0.67	0.128	0.129	0.13	0.135	
19	0.71	0.116	0.117	0.118	0.122	
20	0.75	0.104	0.105	0.106	0.109	
21	0.79	0.093	0.094	0.094	0.097	
22	0.83	0.082	0.083	0.084	0.086	
23	0.87	0.072	0.073	0.073	0.076	
24	0.91	0.063	0.064	0.064	0.066	
25	0.95	0.055	0.055	0.055	0.057	
26	0.99	0.047	0.048	0.048	0.049	
27	1.03	0.04	0.041	0.041	0.042	
28	1.07	0.035	0.035	0.035	0.036	
29	1.11	0.03	0.03	0.03	0.031	
30	1.15	0.025	0.025	0.025	0.026	
31	1.19	0.022	0.022	0.022	0.022	
32	1.23	0.019	0.019	0.019	0.019	
33	1.27	0.016	0.016	0.016	0.016	
34	1.31	0.014	0.014	0.014	0.014	
35	1.35	0.012	0.012	0.012	0.012	
36	1.39	0.01	0.01	0.01	0.011	
37	1.43	0.009	0.009	0.009	0.009	
38	1.47	0.008	0.008	0.008	0.008	
39	1.51	0.007	0.007	0.007	0.007	
40	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006	
41	1.59	0.005	0.005	0.005	0.005	
42	1.63	0.004	0.004	0.004	0.005	
43	1.67	0.004	0.004	0.004	0.004	
44	1.71	0.003	0.003	0.003	0.003	
45	1.75	0.003	0.003	0.003	0.003	
46	1.79	0.002	0.002	0.002	0.002	
47	1.83	0.001	0.001	0.001	0.001	
48	1.87	0.003	0.003	0.003	0.003	
49	1.91	0.002	0.002	0.002	0.003	
50	1.95	0.002	0.002	0.002	0.002	
51	1.99	0.002	0.002	0.002	0.002	



# LAMPIRAN H

## Keluaran Response Amplitude Operator Masing-masing SPAR kondisi Tertambat

### 1. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 0 Derajat

Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	0.045	90	0	0	0.022	0	0	0	0.056	-89	0	0
0.03	209.44	0.13	90	0	0	0.022	1	0	0	0.16	-89	0	0
0.07	89.76	0.249	90	0	0	0.021	2	0	0	0.311	-89	0	0
0.11	57.12	0.284	90	0	0	0.019	3	0	0	0.364	-89	0	0
0.15	41.89	0.254	90	0	0	0.016	3	0	0	0.34	-89	0	0
0.19	33.07	0.185	90	0	0	0.013	3	0	0	0.271	-89	0	0
0.23	27.32	0.099	90	0	0	0.01	3	0	0	0.183	-89	0	0
0.27	23.27	0.003	-90	0	0	0.006	2	0	0	0.066	-89	0	0
0.31	20.27	0.088	-90	0	0	0.004	0	0	0	0.023	89	0	0
0.35	17.95	0.152	-90	0	0	0.002	-4	0	0	0.085	89	0	0
0.39	16.11	0.195	-91	0	0	0.001	-13	0	0	0.121	88	0	0
0.43	14.61	0.223	-91	0	0	0.001	-32	0	0	0.139	88	0	0
0.47	13.37	0.24	-92	0	0	0	0	0	0	0.149	87	0	0
0.51	12.32	0.244	-93	0	0	0	0	0	0	0.132	86	0	0
0.55	11.42	0.249	-95	0	0	0	0	0	0	0.126	84	0	0
0.59	10.65	0.249	-97	0	0	0	0	0	0	0.117	82	0	0
0.63	9.97	0.246	-99	0	0	0	0	0	0	0.104	80	0	0
0.67	9.38	0.241	-102	0	0	0	0	0	0	0.089	77	0	0
0.71	8.85	0.234	-105	0	0	0	0	0	0	0.073	74	0	0
0.75	8.38	0.224	-108	0	0	0	0	0	0	0.057	71	0	0
0.79	7.95	0.213	-112	0	0	0	0	0	0	0.041	67	0	0
0.83	7.57	0.2	-115	0	0	0	0	0	0	0.026	64	0	0
0.87	7.22	0.187	-118	0	0	0	0	0	0	0.012	61	0	0
0.91	6.9	0.174	-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.95	6.61	0.161	-122	0	0	0	0	0	0	0.011	-122	0	0
0.99	6.35	0.15	-123	0	0	0	0	0	0	0.02	-123	0	0
1.03	6.1	0.141	-123	0	0	0	0	0	0	0.028	-123	0	0
1.07	5.87	0.135	-123	0	0	0	0	0	0	0.036	-123	0.001	56
1.11	5.66	0.13	-122	0	0	0	0	0	0	0.044	-122	0.001	-122
1.15	5.46	0.129	-122	0	0	0	0	0	0	0.052	-122	0	0
1.19	5.28	0.131	-122	0	0	0	0	0	0	0.062	-122	0	0
1.23	5.11	0.139	-122	0	0	0	0	0	0	0.074	-122	0	0
1.27	4.95	0.154	-125	0	0	0	0	0	0	0.092	-125	0	0
1.31	4.8	0.18	-133	0	0	0	0	0	0	0.12	-133	0	0
1.35	4.65	0.213	-151	0	0	0	0	0	0	0.155	-151	0	0
1.39	4.52	0.201	178	0	0	0	0	0	0	0.159	178	0	0
1.43	4.39	0.136	154	0	0	0	0	0	0	0.116	154	0	0
1.47	4.27	0.087	144	0	0	0	0	0	0	0.079	144	0	0
1.51	4.16	0.058	141	0	0	0	0	0	0	0.056	141	0	0
1.55	4.05	0.04	142	0	0	0	0	0	0	0.042	142	0	0
1.59	3.95	0.029	145	0	0	0	0	0	0	0.032	145	0	0
1.63	3.85	0.022	149	0	0	0	0	0	0	0.025	149	0	0
1.67	3.76	0.017	154	0	0	0	0	0	0	0.02	154	0	0
1.71	3.67	0.013	158	0	0	0	0	0	0	0.016	158	0	0
1.75	3.59	0.009	162	0	0	0	0	0	0	0.012	162	0	0
1.79	3.51	0.006	164	0	0	0	0	0	0	0.009	164	0	0
1.83	3.43	0.002	-160	0	0	0	0	0	0	0.002	-166	0	0
1.87	3.36	0.007	-118	0	0	0	0	0	0	0.01	-118	0	0
1.91	3.29	0.006	-134	0	0	0	0	0	0	0.009	-134	0	0
1.95	3.22	0.005	-133	0	0	0	0	0	0	0.008	-133	0	0
1.99	3.16	0.004	-128	0	0	0	0	0	0	0.007	-128	0	0

## 2. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 45 Derajat

Draft		198.12 m												
Heading		45 deg												
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.		
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----		
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	
0.01	628.32	0.032	90	0.032	90	0.022	0	0.039	90	0.039	-89	0	0	
0.03	209.44	0.092	90	0.092	90	0.022	1	0.113	90	0.113	-89	0.001	-83	
0.07	89.76	0.176	90	0.176	90	0.021	2	0.22	90	0.22	-89	0.001	-87	
0.11	57.12	0.201	90	0.201	90	0.019	2	0.257	90	0.257	-89	0.002	-89	
0.15	41.89	0.179	90	0.179	90	0.016	2	0.24	90	0.24	-89	0.003	-90	
0.19	33.07	0.131	90	0.131	90	0.013	2	0.192	90	0.192	-89	0.003	-91	
0.23	27.32	0.07	90	0.07	90	0.01	2	0.13	90	0.13	-89	0.004	-92	
0.27	23.27	0.002	-90	0.002	-89	0.006	1	0.047	90	0.047	-89	0.005	-93	
0.31	20.27	0.062	-90	0.062	-90	0.004	0	0.016	-90	0.016	89	0.006	-94	
0.35	17.95	0.108	-90	0.108	-90	0.002	-2	0.06	-90	0.06	89	0.007	-94	
0.39	16.11	0.138	-91	0.138	-91	0.001	-9	0.085	-91	0.085	88	0.009	-95	
0.43	14.61	0.157	-91	0.157	-91	0.001	-23	0.099	-91	0.098	88	0.011	-96	
0.47	13.37	0.17	-92	0.17	-92	0	0	0.106	-92	0.105	87	0.013	-97	
0.51	12.32	0.173	-93	0.173	-93	0	0	0.094	-93	0.093	86	0.017	-99	
0.55	11.42	0.176	-95	0.176	-95	0	0	0.09	-95	0.089	84	0.019	-101	
0.59	10.65	0.176	-97	0.176	-97	0	0	0.083	-97	0.082	82	0.022	-103	
0.63	9.97	0.174	-99	0.174	-99	0	0	0.074	-99	0.073	80	0.026	-105	
0.67	9.38	0.17	-102	0.17	-102	0	0	0.063	-102	0.063	77	0.029	-108	
0.71	8.85	0.165	-105	0.165	-105	0	0	0.052	-105	0.052	74	0.034	-112	
0.75	8.38	0.159	-108	0.158	-108	0	0	0.041	-108	0.04	71	0.039	-116	
0.79	7.95	0.15	-112	0.15	-112	0	0	0.029	-112	0.029	67	0.045	-119	
0.83	7.57	0.141	-115	0.141	-115	0	0	0.019	-115	0.018	64	0.052	-123	
0.87	7.22	0.132	-118	0.132	-118	0	0	0.009	-117	0.009	61	0.061	-127	
0.91	6.9	0.123	-120	0.123	-120	0	0	0	0	0	0	0.074	-130	
0.95	6.61	0.114	-122	0.114	-121	0	0	0.007	58	0.008	-121	0.094	-132	
0.99	6.35	0.106	-122	0.107	-122	0	0	0.014	57	0.014	-122	0.132	-134	
1.03	6.1	0.1	-123	0.1	-123	0	0	0.02	56	0.02	-123	0.225	-136	
1.07	5.87	0.095	-123	0.097	-123	0	0	0.026	56	0.026	-123	0.859	-136	
1.11	5.66	0.092	-122	0.091	-122	0	0	0.03	57	0.031	-122	0.453	42	
1.15	5.46	0.091	-122	0.091	-121	0	0	0.036	57	0.037	-122	0.18	43	
1.19	5.28	0.093	-122	0.092	-121	0	0	0.043	58	0.044	-122	0.116	43	
1.23	5.11	0.098	-122	0.098	-122	0	0	0.052	57	0.053	-122	0.09	44	
1.27	4.95	0.109	-125	0.108	-124	0	0	0.065	55	0.065	-125	0.08	43	
1.31	4.8	0.127	-133	0.126	-132	0	0	0.084	47	0.085	-133	0.08	38	
1.35	4.65	0.15	-151	0.15	-149	0	0	0.109	30	0.11	-151	0.085	23	
1.39	4.52	0.142	178	0.144	179	0	0	0.114	0	0.113	178	0.077	-5	
1.43	4.39	0.096	154	0.098	155	0	0	0.084	-24	0.082	154	0.05	-29	
1.47	4.27	0.061	143	0.062	144	0	0	0.057	-35	0.056	143	0.031	-40	
1.51	4.16	0.041	141	0.041	141	0	0	0.04	-38	0.04	141	0.02	-44	
1.55	4.05	0.028	142	0.029	142	0	0	0.03	-37	0.029	142	0.014	-45	
1.59	3.95	0.021	145	0.021	145	0	0	0.023	-34	0.023	145	0.01	-45	
1.63	3.85	0.015	149	0.016	149	0	0	0.018	-30	0.018	149	0.007	-44	
1.67	3.76	0.012	154	0.012	154	0	0	0.014	-25	0.014	154	0.006	-44	
1.71	3.67	0.009	158	0.009	158	0	0	0.011	-21	0.011	158	0.004	-44	
1.75	3.59	0.007	163	0.007	162	0	0	0.009	-17	0.009	163	0.003	-47	
1.79	3.51	0.004	165	0.004	164	0	0	0.006	-15	0.006	164	0.002	-53	
1.83	3.43	0.001	-160	0.001	-155	0	0	0.002	16	0.002	-167	0.001	-76	
1.87	3.36	0.005	-118	0.005	-119	0	0	0.007	59	0.007	-118	0.001	-15	
1.91	3.29	0.004	-134	0.005	-134	0	0	0.007	44	0.007	-134	0.001	-34	
1.95	3.22	0.004	-133	0.004	-133	0	0	0.006	46	0.006	-133	0	0	
1.99	3.16	0.003	-128	0.003	-128	0	0	0.005	51	0.005	-128	0	0	

### 3. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 90 Derajat

Draft		198.12 m											
Heading		90 deg											
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	0	0	0.045	90	0.022	0	0.056	90	0	0	0	0
0.03	209.44	0	0	0.13	90	0.022	0	0.16	90	0	0	0.001	-85
0.07	89.76	0	0	0.249	90	0.021	0	0.311	90	0	0	0.002	-87
0.11	57.12	0	0	0.284	90	0.019	0	0.364	90	0	0	0.003	-88
0.15	41.89	0	0	0.254	90	0.016	0	0.34	90	0	0	0.004	-88
0.19	33.07	0	0	0.185	90	0.013	0	0.271	90	0	0	0.005	-89
0.23	27.32	0	0	0.099	90	0.01	0	0.183	90	0	0	0.006	-89
0.27	23.27	0	0	0.003	-89	0.006	0	0.066	90	0	0	0.007	-89
0.31	20.27	0	0	0.088	-90	0.004	1	0.023	-90	0	0	0.008	-89
0.35	17.95	0	0	0.152	-90	0.002	1	0.085	-90	0	0	0.01	-90
0.39	16.11	0	0	0.195	-91	0.001	1	0.121	-91	0	0	0.013	-91
0.43	14.61	0	0	0.223	-91	0.001	2	0.139	-91	0	0	0.016	-91
0.47	13.37	0	0	0.24	-92	0	0	0.149	-92	0	0	0.019	-92
0.51	12.32	0	0	0.244	-93	0	0	0.132	-93	0	0	0.023	-93
0.55	11.42	0	0	0.249	-95	0	0	0.127	-95	0	0	0.027	-95
0.59	10.65	0	0	0.249	-97	0	0	0.117	-97	0	0	0.031	-97
0.63	9.97	0	0	0.246	-99	0	0	0.104	-99	0	0	0.036	-99
0.67	9.38	0	0	0.241	-102	0	0	0.089	-102	0	0	0.041	-102
0.71	8.85	0	0	0.233	-105	0	0	0.073	-105	0	0	0.047	-105
0.75	8.38	0	0	0.224	-108	0	0	0.057	-108	0	0	0.054	-108
0.79	7.95	0	0	0.213	-112	0	0	0.041	-112	0	0	0.061	-111
0.83	7.57	0	0	0.2	-115	0	0	0.026	-115	0	0	0.071	-114
0.87	7.22	0	0	0.187	-118	0	0	0.013	-118	0	0	0.083	-117
0.91	6.9	0	0	0.173	-120	0	0	0	0	0	0	0.1	-119
0.95	6.61	0	0	0.161	-121	0	0	0.01	58	0	0	0.127	-120
0.99	6.35	0	0	0.15	-122	0	0	0.02	57	0	0	0.177	-121
1.03	6.1	0	0	0.142	-123	0	0	0.028	56	0	0	0.305	-121
1.07	5.87	0	0	0.137	-123	0	0	0.036	56	0	0	1.179	-121
1.11	5.66	0	0	0.128	-122	0	0	0.043	57	0	0	0.635	59
1.15	5.46	0	0	0.128	-122	0	0	0.051	57	0	0	0.259	59
1.19	5.28	0	0	0.13	-121	0	0	0.061	58	0	0	0.17	60
1.23	5.11	0	0	0.138	-122	0	0	0.073	57	0	0	0.135	59
1.27	4.95	0	0	0.152	-125	0	0	0.091	54	0	0	0.121	56
1.31	4.8	0	0	0.178	-132	0	0	0.118	47	0	0	0.119	49
1.35	4.65	0	0	0.211	-149	0	0	0.153	30	0	0	0.121	32
1.39	4.52	0	0	0.203	179	0	0	0.16	0	0	0	0.102	3
1.43	4.39	0	0	0.138	155	0	0	0.118	-24	0	0	0.061	-19
1.47	4.27	0	0	0.088	144	0	0	0.08	-35	0	0	0.035	-26
1.51	4.16	0	0	0.058	141	0	0	0.057	-38	0	0	0.021	-24
1.55	4.05	0	0	0.041	142	0	0	0.042	-37	0	0	0.014	-18
1.59	3.95	0	0	0.03	145	0	0	0.032	-34	0	0	0.01	-8
1.63	3.85	0	0	0.022	149	0	0	0.025	-30	0	0	0.007	2
1.67	3.76	0	0	0.017	154	0	0	0.02	-25	0	0	0.006	13
1.71	3.67	0	0	0.013	159	0	0	0.016	-20	0	0	0.005	24
1.75	3.59	0	0	0.009	163	0	0	0.013	-16	0	0	0.004	36
1.79	3.51	0	0	0.006	165	0	0	0.009	-14	0	0	0.003	48
1.83	3.43	0	0	0.002	-154	0	0	0.002	18	0	0	0.003	74
1.87	3.36	0	0	0.007	-119	0	0	0.01	60	0	0	0.004	73
1.91	3.29	0	0	0.006	-134	0	0	0.01	45	0	0	0.004	69
1.95	3.22	0	0	0.005	-133	0	0	0.008	46	0	0	0.004	72
1.99	3.16	0	0	0.004	-128	0	0	0.007	51	0	0	0.003	75

#### 4. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 135 Derajat

Draft		198.12 m													
Heading		135 deg													
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.			
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----			
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase		
0.01	628.32	0.032	-89	0.032	90	0.022	0	0.039	90	0.039	90	0	0		
0.03	209.44	0.092	-89	0.092	90	0.022	0	0.113	90	0.113	90	0.001	-83		
0.07	89.76	0.176	-89	0.176	90	0.021	0	0.22	90	0.22	90	0.002	-86		
0.11	57.12	0.201	-89	0.201	90	0.019	-1	0.257	90	0.257	90	0.002	-86		
0.15	41.89	0.179	-89	0.179	90	0.016	-1	0.24	90	0.24	90	0.003	-86		
0.19	33.07	0.131	-89	0.131	90	0.013	-1	0.192	90	0.192	90	0.003	-86		
0.23	27.32	0.07	-89	0.07	90	0.01	-1	0.13	90	0.13	90	0.004	-86		
0.27	23.27	0.002	90	0.002	-90	0.006	0	0.047	90	0.047	90	0.005	-85		
0.31	20.27	0.062	89	0.062	-90	0.004	1	0.016	-90	0.016	-90	0.006	-85		
0.35	17.95	0.108	89	0.108	-90	0.002	5	0.06	-90	0.06	-90	0.007	-86		
0.39	16.11	0.138	88	0.138	-91	0.001	12	0.085	-91	0.085	-91	0.009	-86		
0.43	14.61	0.157	88	0.157	-91	0.001	27	0.099	-91	0.098	-91	0.011	-87		
0.47	13.37	0.17	87	0.17	-92	0	0	0.106	-92	0.105	-92	0.013	-87		
0.51	12.32	0.173	86	0.173	-93	0	0	0.094	-93	0.093	-93	0.016	-88		
0.55	11.42	0.176	84	0.176	-95	0	0	0.09	-95	0.089	-95	0.019	-89		
0.59	10.65	0.176	82	0.176	-97	0	0	0.083	-97	0.082	-97	0.022	-91		
0.63	9.97	0.174	80	0.174	-99	0	0	0.074	-99	0.073	-99	0.025	-93		
0.67	9.38	0.17	77	0.17	-102	0	0	0.063	-102	0.063	-102	0.028	-95		
0.71	8.85	0.165	74	0.165	-105	0	0	0.052	-105	0.052	-105	0.032	-98		
0.75	8.38	0.159	71	0.158	-108	0	0	0.041	-108	0.04	-108	0.036	-101		
0.79	7.95	0.15	67	0.15	-112	0	0	0.029	-112	0.029	-112	0.04	-104		
0.83	7.57	0.141	64	0.141	-115	0	0	0.019	-115	0.018	-115	0.046	-106		
0.87	7.22	0.132	61	0.132	-118	0	0	0.009	-118	0.009	-118	0.052	-109		
0.91	6.9	0.123	59	0.123	-120	0	0	0	0	0	0	0.062	-110		
0.95	6.61	0.114	57	0.114	-121	0	0	0.007	58	0.008	57	0.078	-111		
0.99	6.35	0.106	56	0.106	-122	0	0	0.014	57	0.014	56	0.107	-111		
1.03	6.1	0.1	56	0.1	-123	0	0	0.02	56	0.02	56	0.182	-111		
1.07	5.87	0.095	56	0.097	-123	0	0	0.025	56	0.026	56	0.7	-110		
1.11	5.66	0.092	56	0.091	-122	0	0	0.03	57	0.031	56	0.377	70		
1.15	5.46	0.091	57	0.09	-122	0	0	0.036	57	0.037	57	0.154	70		
1.19	5.28	0.093	57	0.092	-122	0	0	0.043	57	0.044	57	0.102	69		
1.23	5.11	0.098	57	0.097	-122	0	0	0.052	57	0.053	57	0.081	67		
1.27	4.95	0.109	54	0.108	-125	0	0	0.064	54	0.065	54	0.073	62		
1.31	4.8	0.128	46	0.126	-132	0	0	0.084	47	0.085	46	0.072	52		
1.35	4.65	0.151	28	0.149	-150	0	0	0.109	29	0.11	28	0.075	31		
1.39	4.52	0.142	-1	0.144	179	0	0	0.113	0	0.113	-1	0.064	-2		
1.43	4.39	0.096	-26	0.098	154	0	0	0.083	-25	0.082	-26	0.04	-31		
1.47	4.27	0.061	-36	0.062	144	0	0	0.057	-35	0.056	-36	0.024	-47		
1.51	4.16	0.041	-38	0.041	141	0	0	0.04	-38	0.04	-38	0.015	-57		
1.55	4.05	0.028	-37	0.029	142	0	0	0.03	-37	0.029	-37	0.01	-63		
1.59	3.95	0.021	-34	0.021	145	0	0	0.023	-34	0.023	-34	0.007	-68		
1.63	3.85	0.015	-30	0.016	149	0	0	0.018	-30	0.018	-30	0.005	-72		
1.67	3.76	0.012	-26	0.012	154	0	0	0.014	-26	0.014	-26	0.004	-76		
1.71	3.67	0.009	-21	0.009	158	0	0	0.011	-21	0.011	-21	0.003	-79		
1.75	3.59	0.007	-17	0.007	162	0	0	0.009	-17	0.009	-17	0.003	-82		
1.79	3.51	0.004	-15	0.004	164	0	0	0.006	-15	0.006	-15	0.003	-87		
1.83	3.43	0.001	19	0.001	-156	0	0	0.002	16	0.002	12	0.002	-102		
1.87	3.36	0.005	60	0.005	-119	0	0	0.007	59	0.007	60	0.001	-79		
1.91	3.29	0.004	44	0.004	-135	0	0	0.007	44	0.007	44	0.001	-66		
1.95	3.22	0.004	45	0.004	-133	0	0	0.006	46	0.006	45	0.001	-64		
1.99	3.16	0.003	51	0.003	-128	0	0	0.005	51	0.005	51	0.001	-62		

## 5. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 180 Derajat

Draft		198.12 m											
Heading		180 deg											
Encounter		surge / wave ampl.		sway / wave ampl.		heave / wave ampl.		roll / wave ampl.		pitch / wave ampl.		yaw / wave ampl.	
Freq	period	-----		-----		-----		-----		-----		-----	
rad/s	sec	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase	Ampl.	Phase
0.01	628.32	0.045	-89	0	0	0.022	0	0	0	0.056	90	0	0
0.03	209.44	0.13	-89	0	0	0.022	0	0	0	0.16	90	0	0
0.07	89.76	0.249	-89	0	0	0.021	-1	0	0	0.311	90	0	0
0.11	57.12	0.284	-89	0	0	0.019	-2	0	0	0.364	90	0	0
0.15	41.89	0.254	-89	0	0	0.016	-2	0	0	0.34	90	0	0
0.19	33.07	0.185	-89	0	0	0.013	-2	0	0	0.271	90	0	0
0.23	27.32	0.099	-89	0	0	0.01	-1	0	0	0.183	90	0	0
0.27	23.27	0.003	90	0	0	0.006	0	0	0	0.066	90	0	0
0.31	20.27	0.088	89	0	0	0.004	1	0	0	0.023	-90	0	0
0.35	17.95	0.152	89	0	0	0.002	6	0	0	0.085	-90	0	0
0.39	16.11	0.195	88	0	0	0.001	17	0	0	0.121	-91	0	0
0.43	14.61	0.223	88	0	0	0.001	35	0	0	0.139	-91	0	0
0.47	13.37	0.24	87	0	0	0	0	0	0	0.149	-92	0	0
0.51	12.32	0.244	86	0	0	0	0	0	0	0.132	-93	0	0
0.55	11.42	0.249	84	0	0	0	0	0	0	0.126	-95	0	0
0.59	10.65	0.249	82	0	0	0	0	0	0	0.117	-97	0	0
0.63	9.97	0.246	80	0	0	0	0	0	0	0.104	-99	0	0
0.67	9.38	0.241	77	0	0	0	0	0	0	0.089	-102	0	0
0.71	8.85	0.234	74	0	0	0	0	0	0	0.073	-105	0	0
0.75	8.38	0.224	71	0	0	0	0	0	0	0.057	-108	0	0
0.79	7.95	0.213	67	0	0	0	0	0	0	0.041	-112	0	0
0.83	7.57	0.2	64	0	0	0	0	0	0	0.026	-115	0	0
0.87	7.22	0.187	61	0	0	0	0	0	0	0.012	-118	0	0
0.91	6.9	0.174	59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.95	6.61	0.161	57	0	0	0	0	0	0	0.011	57	0	0
0.99	6.35	0.15	56	0	0	0	0	0	0	0.02	56	0	0
1.03	6.1	0.142	56	0	0	0	0	0	0	0.028	56	0	0
1.07	5.87	0.135	56	0	0	0	0	0	0	0.036	56	0.001	-123
1.11	5.66	0.131	57	0	0	0	0	0	0	0.044	57	0.001	57
1.15	5.46	0.129	57	0	0	0	0	0	0	0.052	57	0	0
1.19	5.28	0.132	57	0	0	0	0	0	0	0.062	57	0	0
1.23	5.11	0.139	57	0	0	0	0	0	0	0.074	57	0	0
1.27	4.95	0.154	54	0	0	0	0	0	0	0.093	54	0	0
1.31	4.8	0.181	46	0	0	0	0	0	0	0.12	46	0	0
1.35	4.65	0.213	28	0	0	0	0	0	0	0.155	28	0	0
1.39	4.52	0.202	-1	0	0	0	0	0	0	0.16	-1	0	0
1.43	4.39	0.137	-25	0	0	0	0	0	0	0.117	-25	0	0
1.47	4.27	0.086	-36	0	0	0	0	0	0	0.079	-36	0	0
1.51	4.16	0.058	-38	0	0	0	0	0	0	0.056	-38	0	0
1.55	4.05	0.04	-37	0	0	0	0	0	0	0.042	-37	0	0
1.59	3.95	0.029	-34	0	0	0	0	0	0	0.032	-34	0	0
1.63	3.85	0.022	-30	0	0	0	0	0	0	0.025	-30	0	0
1.67	3.76	0.017	-26	0	0	0	0	0	0	0.02	-26	0	0
1.71	3.67	0.013	-21	0	0	0	0	0	0	0.016	-21	0	0
1.75	3.59	0.009	-17	0	0	0	0	0	0	0.013	-17	0	0
1.79	3.51	0.006	-15	0	0	0	0	0	0	0.009	-15	0	0
1.83	3.43	0.002	19	0	0	0	0	0	0	0.002	12	0	0
1.87	3.36	0.007	60	0	0	0	0	0	0	0.01	60	0	0
1.91	3.29	0.006	45	0	0	0	0	0	0	0.01	44	0	0
1.95	3.22	0.005	45	0	0	0	0	0	0	0.008	45	0	0
1.99	3.16	0.004	51	0	0	0	0	0	0	0.007	51	0	0

## 6. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 2 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.022	0.022	0.022	0.022
2	0.03	0.022	0.022	0.022	0.022
3	0.07	0.021	0.021	0.021	0.021
4	0.11	0.019	0.019	0.019	0.019
5	0.15	0.016	0.016	0.016	0.016
6	0.19	0.013	0.013	0.013	0.013
7	0.23	0.009	0.009	0.009	0.009
8	0.27	0.006	0.006	0.006	0.006
9	0.31	0.004	0.004	0.004	0.004
10	0.35	0.002	0.002	0.002	0.002
11	0.39	0.001	0.001	0.001	0.001
12	0.43	0	0	0	0
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

## 7. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 2 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.04	0.04	0.041	0.042
2	0.03	0.117	0.118	0.12	0.122
3	0.07	0.243	0.245	0.247	0.251
4	0.11	0.312	0.314	0.317	0.32
5	0.15	0.325	0.326	0.328	0.331
6	0.19	0.29	0.291	0.292	0.293
7	0.23	0.229	0.23	0.23	0.231
8	0.27	0.138	0.138	0.138	0.138
9	0.31	0.063	0.063	0.063	0.063
10	0.35	0.007	0.007	0.007	0.007
11	0.39	0.031	0.031	0.031	0.03
12	0.43	0.057	0.057	0.056	0.056
13	0.47	0.075	0.075	0.074	0.073
14	0.51	0.069	0.068	0.068	0.067
15	0.55	0.07	0.069	0.069	0.068
16	0.59	0.066	0.065	0.065	0.064
17	0.63	0.058	0.058	0.057	0.056
18	0.67	0.049	0.048	0.048	0.047
19	0.71	0.038	0.037	0.037	0.036
20	0.75	0.026	0.026	0.025	0.024
21	0.79	0.014	0.014	0.014	0.013
22	0.83	0.004	0.003	0.003	0.003
23	0.87	0.006	0.006	0.007	0.007
24	0.91	0.014	0.015	0.015	0.015
25	0.95	0.022	0.022	0.022	0.022
26	0.99	0.028	0.028	0.028	0.028
27	1.03	0.033	0.033	0.033	0.033
28	1.07	0.038	0.038	0.038	0.037
29	1.11	0.042	0.042	0.042	0.042
30	1.15	0.047	0.047	0.047	0.046
31	1.19	0.052	0.052	0.052	0.051
32	1.23	0.058	0.058	0.058	0.057
33	1.27	0.067	0.066	0.066	0.065
34	1.31	0.079	0.078	0.077	0.076
35	1.35	0.098	0.096	0.095	0.093
36	1.39	0.128	0.126	0.125	0.121
37	1.43	0.168	0.166	0.165	0.161
38	1.47	0.159	0.161	0.162	0.165
39	1.51	0.106	0.108	0.109	0.113
40	1.55	0.07	0.071	0.072	0.074
41	1.59	0.049	0.05	0.05	0.051
42	1.63	0.036	0.037	0.037	0.037
43	1.67	0.028	0.028	0.028	0.028
44	1.71	0.021	0.021	0.021	0.022
45	1.75	0.016	0.016	0.016	0.016
46	1.79	0.011	0.011	0.011	0.011
47	1.83	0.003	0.003	0.003	0.003
48	1.87	0.012	0.012	0.012	0.012
49	1.91	0.011	0.011	0.011	0.011
50	1.95	0.009	0.009	0.009	0.009
51	1.99	0.008	0.008	0.008	0.008

## 8. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 2 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.052	0.052	0.053	0.054
2	0.03	0.15	0.151	0.153	0.155
3	0.07	0.298	0.301	0.303	0.307
4	0.11	0.364	0.366	0.368	0.372
5	0.15	0.36	0.361	0.363	0.365
6	0.19	0.313	0.313	0.314	0.316
7	0.23	0.243	0.243	0.244	0.244
8	0.27	0.149	0.149	0.149	0.15
9	0.31	0.079	0.079	0.079	0.079
10	0.35	0.027	0.027	0.027	0.027
11	0.39	0.005	0.005	0.004	0.004
12	0.43	0.024	0.024	0.024	0.024
13	0.47	0.027	0.041	0.037	0.036
14	0.51	0.028	0.027	0.027	0.027
15	0.55	0.027	0.027	0.027	0.026
16	0.59	0.023	0.023	0.023	0.022
17	0.63	0.017	0.016	0.016	0.016
18	0.67	0.009	0.009	0.008	0.008
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0.008	0.008	0.009	0.009
21	0.79	0.016	0.016	0.016	0.017
22	0.83	0.023	0.023	0.023	0.023
23	0.87	0.029	0.029	0.029	0.029
24	0.91	0.034	0.034	0.034	0.034
25	0.95	0.038	0.038	0.038	0.038
26	0.99	0.041	0.041	0.041	0.041
27	1.03	0.044	0.044	0.044	0.044
28	1.07	0.047	0.047	0.047	0.046
29	1.11	0.05	0.049	0.049	0.049
30	1.15	0.053	0.053	0.052	0.052
31	1.19	0.057	0.056	0.056	0.055
32	1.23	0.062	0.061	0.061	0.06
33	1.27	0.069	0.069	0.068	0.067
34	1.31	0.08	0.079	0.079	0.077
35	1.35	0.098	0.096	0.095	0.093
36	1.39	0.127	0.125	0.123	0.12
37	1.43	0.166	0.164	0.163	0.159
38	1.47	0.157	0.159	0.16	0.163
39	1.51	0.104	0.105	0.107	0.111
40	1.55	0.067	0.068	0.069	0.071
41	1.59	0.047	0.047	0.048	0.049
42	1.63	0.034	0.034	0.035	0.035
43	1.67	0.026	0.026	0.026	0.026
44	1.71	0.02	0.02	0.02	0.02
45	1.75	0.015	0.015	0.015	0.015
46	1.79	0.01	0.01	0.01	0.01
47	1.83	0.003	0.003	0.003	0.003
48	1.87	0.011	0.011	0.012	0.012
49	1.91	0.01	0.01	0.01	0.01
50	1.95	0.009	0.009	0.009	0.009
51	1.99	0.007	0.007	0.007	0.007



### 9. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 3 Pada Kondisi Tertambat						
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%	
1	0.01	0.022	0.022	0.022	0.022	
2	0.03	0.022	0.022	0.022	0.022	
3	0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	
4	0.11	0.019	0.019	0.019	0.019	
5	0.15	0.016	0.016	0.016	0.016	
6	0.19	0.013	0.013	0.013	0.013	
7	0.23	0.009	0.009	0.009	0.009	
8	0.27	0.006	0.006	0.006	0.006	
9	0.31	0.004	0.004	0.004	0.004	
10	0.35	0.002	0.002	0.002	0.002	
11	0.39	0.001	0.001	0.001	0.001	
12	0.43	0	0	0	0	
13	0.47	0	0	0	0	
14	0.51	0	0	0	0	
15	0.55	0	0	0	0	
16	0.59	0	0	0	0	
17	0.63	0	0	0	0	
18	0.67	0	0	0	0	
19	0.71	0	0	0	0	
20	0.75	0	0	0	0	
21	0.79	0	0	0	0	
22	0.83	0	0	0	0	
23	0.87	0	0	0	0	
24	0.91	0	0	0	0	
25	0.95	0	0	0	0	
26	0.99	0	0	0	0	
27	1.03	0	0	0	0	
28	1.07	0	0	0	0	
29	1.11	0	0	0	0	
30	1.15	0	0	0	0	
31	1.19	0	0	0	0	
32	1.23	0	0	0	0	
33	1.27	0	0	0	0	
34	1.31	0	0	0	0	
35	1.35	0	0	0	0	
36	1.39	0	0	0	0	
37	1.43	0	0	0	0	
38	1.47	0.001	0.001	0.001	0	
39	1.51	0	0	0	0	
40	1.55	0	0	0	0	
41	1.59	0	0	0	0	
42	1.63	0	0	0	0	
43	1.67	0	0	0	0	
44	1.71	0	0	0	0	
45	1.75	0	0	0	0	
46	1.79	0	0	0	0	
47	1.83	0	0	0	0	
48	1.87	0	0	0	0	
49	1.91	0	0	0	0	
50	1.95	0	0	0	0	
51	1.99	0	0	0	0	

### 10. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 3 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.045	0.046	0.047	0.048
2	0.03	0.132	0.134	0.136	0.14
3	0.07	0.27	0.273	0.277	0.284
4	0.11	0.341	0.344	0.348	0.354
5	0.15	0.35	0.353	0.355	0.359
6	0.19	0.314	0.315	0.317	0.319
7	0.23	0.255	0.255	0.256	0.257
8	0.27	0.17	0.17	0.17	0.17
9	0.31	0.104	0.104	0.104	0.104
10	0.35	0.054	0.054	0.054	0.054
11	0.39	0.021	0.021	0.021	0.022
12	0.43	0.002	0.001	0.001	0.001
13	0.47	0.017	0.016	0.016	0.015
14	0.51	0.012	0.012	0.012	0.011
15	0.55	0.014	0.014	0.014	0.013
16	0.59	0.012	0.012	0.011	0.011
17	0.63	0.007	0.007	0.007	0.006
18	0.67	0.001	0.001	0	0
19	0.71	0.006	0.006	0.007	0.007
20	0.75	0.013	0.014	0.014	0.014
21	0.79	0.02	0.02	0.021	0.021
22	0.83	0.026	0.027	0.027	0.027
23	0.87	0.032	0.032	0.032	0.032
24	0.91	0.036	0.036	0.036	0.036
25	0.95	0.039	0.039	0.039	0.039
26	0.99	0.042	0.042	0.041	0.041
27	1.03	0.044	0.044	0.044	0.043
28	1.07	0.046	0.046	0.046	0.045
29	1.11	0.048	0.048	0.048	0.047
30	1.15	0.051	0.05	0.05	0.049
31	1.19	0.054	0.053	0.053	0.052
32	1.23	0.058	0.057	0.056	0.055
33	1.27	0.063	0.062	0.061	0.06
34	1.31	0.071	0.07	0.069	0.067
35	1.35	0.084	0.082	0.08	0.078
36	1.39	0.105	0.102	0.099	0.095
37	1.43	0.14	0.136	0.132	0.126
38	1.47	0.177	0.176	0.173	0.169
39	1.51	0.142	0.145	0.15	0.156
40	1.55	0.089	0.092	0.095	0.1
41	1.59	0.059	0.06	0.062	0.064
42	1.63	0.041	0.042	0.043	0.044
43	1.67	0.03	0.03	0.031	0.032
44	1.71	0.023	0.023	0.023	0.024
45	1.75	0.017	0.017	0.017	0.017
46	1.79	0.011	0.011	0.011	0.012
47	1.83	0.003	0.003	0.003	0.003
48	1.87	0.012	0.012	0.013	0.013
49	1.91	0.011	0.011	0.011	0.011
50	1.95	0.009	0.009	0.009	0.009
51	1.99	0.008	0.008	0.008	0.008

### 11. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 3 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.045	0.046	0.046	0.048
2	0.03	0.131	0.133	0.135	0.139
3	0.07	0.269	0.272	0.276	0.282
4	0.11	0.34	0.343	0.346	0.353
5	0.15	0.349	0.352	0.354	0.358
6	0.19	0.314	0.315	0.316	0.319
7	0.23	0.255	0.255	0.256	0.256
8	0.27	0.17	0.17	0.17	0.17
9	0.31	0.104	0.104	0.104	0.104
10	0.35	0.051	0.053	0.053	0.054
11	0.39	0.02	0.02	0.021	0.021
12	0.43	0.002	0.002	0.002	0.001
13	0.47	0.018	0.017	0.017	0.016
14	0.51	0.013	0.013	0.012	0.012
15	0.55	0.015	0.015	0.014	0.014
16	0.59	0.013	0.013	0.012	0.012
17	0.63	0.008	0.008	0.007	0.007
18	0.67	0.002	0.001	0.001	0
19	0.71	0.005	0.006	0.006	0.007
20	0.75	0.013	0.013	0.013	0.014
21	0.79	0.02	0.02	0.02	0.02
22	0.83	0.026	0.026	0.026	0.026
23	0.87	0.031	0.031	0.031	0.031
24	0.91	0.035	0.035	0.035	0.035
25	0.95	0.039	0.038	0.038	0.038
26	0.99	0.041	0.041	0.041	0.041
27	1.03	0.044	0.043	0.043	0.043
28	1.07	0.046	0.045	0.045	0.045
29	1.11	0.048	0.048	0.047	0.047
30	1.15	0.05	0.05	0.049	0.049
31	1.19	0.053	0.053	0.052	0.051
32	1.23	0.057	0.057	0.056	0.055
33	1.27	0.063	0.062	0.061	0.06
34	1.31	0.071	0.069	0.068	0.066
35	1.35	0.083	0.081	0.079	0.077
36	1.39	0.103	0.101	0.098	0.094
37	1.43	0.138	0.134	0.13	0.124
38	1.47	0.176	0.174	0.171	0.166
39	1.51	0.144	0.147	0.152	0.158
40	1.55	0.091	0.093	0.096	0.101
41	1.59	0.059	0.061	0.062	0.065
42	1.63	0.041	0.042	0.043	0.044
43	1.67	0.03	0.031	0.031	0.032
44	1.71	0.023	0.023	0.023	0.024
45	1.75	0.017	0.017	0.017	0.017
46	1.79	0.011	0.011	0.011	0.012
47	1.83	0.003	0.003	0.003	0.003
48	1.87	0.013	0.013	0.013	0.013
49	1.91	0.011	0.011	0.011	0.012
50	1.95	0.009	0.009	0.009	0.009
51	1.99	0.008	0.008	0.008	0.008

## 12. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Heave Maksimum

Nilai Mode Gerakan Heave Terbesar Pada Spar Tipe 4 Pada Kondisi Tertambat						
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%	
1	0.01	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
2	0.03	0.022	0.022	0.022	0.022	0.022
3	0.07	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
4	0.11	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
5	0.15	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016
6	0.19	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
7	0.23	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
8	0.27	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
9	0.31	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
10	0.35	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
11	0.39	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
12	0.43	0	0	0	0	0
13	0.47	0	0	0	0	0
14	0.51	0	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0	0

### 13. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Pitch Maksimum

Nilai Mode Gerakan Pitch Terbesar Pada Spar Tipe 4 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.042	0.043	0.044	0.045
2	0.03	0.123	0.126	0.128	0.132
3	0.07	0.255	0.259	0.263	0.27
4	0.11	0.329	0.333	0.337	0.343
5	0.15	0.345	0.348	0.351	0.356
6	0.19	0.318	0.32	0.321	0.324
7	0.23	0.266	0.266	0.267	0.268
8	0.27	0.189	0.189	0.189	0.189
9	0.31	0.128	0.128	0.127	0.127
10	0.35	0.08	0.08	0.08	0.08
11	0.39	0.047	0.047	0.047	0.047
12	0.43	0.024	0.024	0.024	0.024
13	0.47	0.007	0.007	0.007	0.008
14	0.51	0.008	0.008	0.009	0.009
15	0.55	0.004	0.005	0.005	0.005
16	0.59	0.004	0.005	0.005	0.006
17	0.63	0.007	0.008	0.008	0.008
18	0.67	0.012	0.012	0.012	0.013
19	0.71	0.017	0.017	0.017	0.018
20	0.75	0.022	0.023	0.023	0.023
21	0.79	0.027	0.027	0.028	0.028
22	0.83	0.032	0.032	0.032	0.032
23	0.87	0.035	0.035	0.035	0.035
24	0.91	0.038	0.038	0.038	0.038
25	0.95	0.04	0.04	0.04	0.039
26	0.99	0.041	0.041	0.041	0.041
27	1.03	0.043	0.042	0.042	0.042
28	1.07	0.044	0.043	0.043	0.042
29	1.11	0.045	0.044	0.044	0.043
30	1.15	0.046	0.046	0.045	0.044
31	1.19	0.047	0.047	0.046	0.045
32	1.23	0.05	0.049	0.048	0.047
33	1.27	0.053	0.052	0.051	0.05
34	1.31	0.057	0.056	0.055	0.053
35	1.35	0.063	0.062	0.061	0.058
36	1.39	0.074	0.072	0.07	0.066
37	1.43	0.091	0.088	0.085	0.08
38	1.47	0.121	0.118	0.112	0.103
39	1.51	0.168	0.164	0.157	0.144
40	1.55	0.158	0.161	0.166	0.173
41	1.59	0.097	0.1	0.105	0.117
42	1.63	0.061	0.062	0.065	0.071
43	1.67	0.041	0.042	0.043	0.046
44	1.71	0.029	0.03	0.03	0.032
45	1.75	0.021	0.021	0.022	0.023
46	1.79	0.014	0.014	0.014	0.015
47	1.83	0.003	0.003	0.004	0.004
48	1.87	0.014	0.014	0.014	0.015
49	1.91	0.013	0.013	0.013	0.013
50	1.95	0.01	0.01	0.01	0.011
51	1.99	0.009	0.009	0.009	0.009

#### 14. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Roll Maksimum

Nilai Mode Gerakan Roll Terbesar Pada Spar Tipe 4 Pada Kondisi Tertambat					
No.	Frekuensi	0%	25%	50%	100%
1	0.01	0.042	0.042	0.043	0.045
2	0.03	0.122	0.124	0.126	0.13
3	0.07	0.252	0.257	0.26	0.267
4	0.11	0.326	0.33	0.334	0.341
5	0.15	0.344	0.347	0.349	0.354
6	0.19	0.317	0.319	0.32	0.323
7	0.23	0.265	0.266	0.267	0.268
8	0.27	0.189	0.189	0.189	0.189
9	0.31	0.127	0.127	0.127	0.127
10	0.35	0.08	0.08	0.08	0.08
11	0.39	0.047	0.047	0.047	0.047
12	0.43	0.023	0.023	0.023	0.024
13	0.47	0.006	0.006	0.006	0.007
14	0.51	0.007	0.007	0.008	0.008
15	0.55	0.003	0.003	0.004	0.004
16	0.59	0.003	0.003	0.004	0.004
17	0.63	0.006	0.006	0.007	0.007
18	0.67	0.01	0.011	0.011	0.012
19	0.71	0.016	0.016	0.016	0.017
20	0.75	0.021	0.021	0.021	0.022
21	0.79	0.026	0.026	0.026	0.027
22	0.83	0.031	0.031	0.031	0.031
23	0.87	0.034	0.034	0.034	0.034
24	0.91	0.037	0.037	0.037	0.037
25	0.95	0.039	0.039	0.039	0.039
26	0.99	0.041	0.041	0.04	0.04
27	1.03	0.042	0.042	0.042	0.041
28	1.07	0.043	0.043	0.043	0.042
29	1.11	0.044	0.044	0.043	0.043
30	1.15	0.045	0.045	0.045	0.044
31	1.19	0.047	0.047	0.046	0.045
32	1.23	0.049	0.049	0.048	0.047
33	1.27	0.052	0.052	0.051	0.049
34	1.31	0.057	0.056	0.055	0.053
35	1.35	0.063	0.062	0.06	0.058
36	1.39	0.073	0.071	0.069	0.066
37	1.43	0.089	0.087	0.084	0.079
38	1.47	0.119	0.115	0.11	0.101
39	1.51	0.166	0.161	0.155	0.141
40	1.55	0.16	0.164	0.168	0.173
41	1.59	0.099	0.102	0.107	0.12
42	1.63	0.062	0.063	0.066	0.072
43	1.67	0.042	0.042	0.044	0.047
44	1.71	0.03	0.03	0.031	0.032
45	1.75	0.021	0.021	0.022	0.023
46	1.79	0.014	0.014	0.014	0.015
47	1.83	0.003	0.003	0.003	0.004
48	1.87	0.015	0.015	0.015	0.015
49	1.91	0.013	0.013	0.013	0.013
50	1.95	0.01	0.011	0.011	0.011
51	1.99	0.009	0.009	0.009	0.009

## LAMPIRAN I

### Keluaran Response Spectra Masing-masing SPAR kondisi Free Floating

#### 1. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 0 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	1.001	1.002001	0
2	0.03	0	4	1.008	1.016064	0
3	0.07	0	2	1.049	1.100401	0
4	0.11	0	4	1.15	1.3225	0
5	0.15	0	2	1.411	1.990921	0
6	0.19	2.7638E-155	4	2.564	6.574096	1.8169E-154
7	0.23	5.19647E-71	2	3.473	12.061729	6.26784E-70
8	0.27	2.05863E-36	4	0.535	0.286225	5.89231E-37
9	0.31	3.27502E-20	2	0.171	0.029241	9.57648E-22
10	0.35	7.13633E-12	4	0.061	0.003721	2.65543E-14
11	0.39	2.84982E-07	2	0.022	0.000484	1.37931E-10
12	0.43	0.000134789	4	0.008	0.000064	8.62651E-09
13	0.47	0.005563661	2	0.003	0.000009	5.00729E-08
14	0.51	0.055951605	4	0.001	0.000001	5.59516E-08
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

## 2. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 45 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	1.001	1.002001	0
2	0.03	0	4	1.008	1.016064	0
3	0.07	0	2	1.049	1.100401	0
4	0.11	0	4	1.15	1.3225	0
5	0.15	0	2	1.411	1.990921	0
6	0.19	2.7638E-155	4	2.564	6.574096	1.8169E-154
7	0.23	5.19647E-71	2	3.473	12.061729	6.26784E-70
8	0.27	2.05863E-36	4	0.535	0.286225	5.89231E-37
9	0.31	3.27502E-20	2	0.171	0.029241	9.57648E-22
10	0.35	7.13633E-12	4	0.061	0.003721	2.65543E-14
11	0.39	2.84982E-07	2	0.022	0.000484	1.37931E-10
12	0.43	0.000134789	4	0.008	0.000064	8.62651E-09
13	0.47	0.005563661	2	0.003	0.000009	5.00729E-08
14	0.51	0.055951605	4	0.001	0.000001	5.59516E-08
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0



### 3. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 90 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	1.001	1.002001	0
2	0.03	0	4	1.008	1.016064	0
3	0.07	0	2	1.049	1.100401	0
4	0.11	0	4	1.15	1.3225	0
5	0.15	0	2	1.411	1.990921	0
6	0.19	2.7638E-155	4	2.564	6.574096	1.8169E-154
7	0.23	5.19647E-71	2	3.473	12.061729	6.26784E-70
8	0.27	2.05863E-36	4	0.535	0.286225	5.89231E-37
9	0.31	3.27502E-20	2	0.171	0.029241	9.57648E-22
10	0.35	7.13633E-12	4	0.061	0.003721	2.65543E-14
11	0.39	2.84982E-07	2	0.022	0.000484	1.37931E-10
12	0.43	0.000134789	4	0.008	0.000064	8.62651E-09
13	0.47	0.005563661	2	0.003	0.000009	5.00729E-08
14	0.51	0.055951605	4	0.001	0.000001	5.59516E-08
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

#### 4. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 135 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	1.001	1.002001	0
2	0.03	0	4	1.008	1.016064	0
3	0.07	0	2	1.049	1.100401	0
4	0.11	0	4	1.15	1.3225	0
5	0.15	0	2	1.411	1.990921	0
6	0.19	2.7638E-155	4	2.564	6.574096	1.8169E-154
7	0.23	5.19647E-71	2	3.473	12.061729	6.26784E-70
8	0.27	2.05863E-36	4	0.535	0.286225	5.89231E-37
9	0.31	3.27502E-20	2	0.171	0.029241	9.57648E-22
10	0.35	7.13633E-12	4	0.061	0.003721	2.65543E-14
11	0.39	2.84982E-07	2	0.022	0.000484	1.37931E-10
12	0.43	0.000134789	4	0.008	0.000064	8.62651E-09
13	0.47	0.005563661	2	0.003	0.000009	5.00729E-08
14	0.51	0.055951605	4	0.001	0.000001	5.59516E-08
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

### 5. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 180 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	1.001	1.002001	0
2	0.03	0	4	1.008	1.016064	0
3	0.07	0	2	1.049	1.100401	0
4	0.11	0	4	1.15	1.3225	0
5	0.15	0	2	1.411	1.990921	0
6	0.19	2.7638E-155	4	2.564	6.574096	1.8169E-154
7	0.23	5.19647E-71	2	3.473	12.061729	6.26784E-70
8	0.27	2.05863E-36	4	0.535	0.286225	5.89231E-37
9	0.31	3.27502E-20	2	0.171	0.029241	9.57648E-22
10	0.35	7.13633E-12	4	0.061	0.003721	2.65543E-14
11	0.39	2.84982E-07	2	0.022	0.000484	1.37931E-10
12	0.43	0.000134789	4	0.008	0.000064	8.62651E-09
13	0.47	0.005563661	2	0.003	0.000009	5.00729E-08
14	0.51	0.055951605	4	0.001	0.000001	5.59516E-08
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

**6. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.2575E-154	2.2575E-154	2.2575E-154	2.2575E-154
7	0.23	3.41621E-70	3.41621E-70	3.41355E-70	3.41621E-70
8	0.27	4.45127E-37	4.45127E-37	4.45127E-37	4.45127E-37
9	0.31	7.27086E-22	7.27086E-22	7.27086E-22	7.27086E-22
10	0.35	1.92966E-14	1.92966E-14	1.92966E-14	1.92966E-14
11	0.39	8.23597E-11	8.23597E-11	8.23597E-11	8.23597E-11
12	0.43	4.85241E-09	4.85241E-09	4.85241E-09	4.85241E-09
13	0.47	2.22546E-08	2.22546E-08	2.22546E-08	2.22546E-08
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

## 7. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	1.9555E-156	2.6732E-156	3.6821E-156	6.3943E-156
7	0.23	3.11918E-72	3.78823E-72	4.58376E-72	6.29314E-72
8	0.27	1.23569E-37	1.40236E-37	1.60246E-37	2.00395E-37
9	0.31	1.98191E-21	2.17998E-21	2.38749E-21	2.79241E-21
10	0.35	4.28358E-13	4.56789E-13	4.86134E-13	5.43617E-13
11	0.39	1.61425E-08	1.68279E-08	1.76691E-08	1.92648E-08
12	0.43	6.88449E-06	7.13035E-06	7.44373E-06	7.95917E-06
13	0.47	0.000250053	0.00025718	0.000264407	0.000279162
14	0.51	0.002171426	0.00221574	0.002260501	0.002351366
15	0.55	0.007855997	0.008030569	0.008118575	0.008475393
16	0.59	0.016633039	0.016834041	0.017036249	0.017650119
17	0.63	0.024905629	0.025236597	0.02556975	0.02624261
18	0.67	0.031691898	0.032156242	0.032623963	0.033095061
19	0.71	0.040931143	0.041593985	0.041593985	0.04226215
20	0.75	0.054040232	0.054040232	0.054040232	0.055009545
21	0.79	0.052194027	0.052194027	0.052194027	0.053243127
22	0.83	0.033374757	0.034137584	0.034137584	0.034137584
23	0.87	0.018173861	0.018173861	0.018173861	0.018642845
24	0.91	0.009811367	0.009811367	0.009811367	0.009811367
25	0.95	0.005819848	0.005819848	0.005819848	0.005819848
26	0.99	0.003689332	0.003689332	0.003689332	0.003689332
27	1.03	0.002286697	0.002286697	0.002286697	0.002394291
28	1.07	0.001482539	0.001482539	0.001482539	0.001482539
29	1.11	0.000969647	0.000969647	0.000969647	0.000969647
30	1.15	0.000602731	0.000602731	0.000602731	0.000602731
31	1.19	0.000381682	0.000381682	0.000381682	0.000381682
32	1.23	0.000251927	0.000251927	0.000251927	0.000251927
33	1.27	0.000159024	0.000159024	0.000159024	0.000159024
34	1.31	0.000108311	0.000108311	0.000108311	0.000108311
35	1.35	7.12879E-05	7.12879E-05	7.12879E-05	7.12879E-05
36	1.39	4.4809E-05	4.4809E-05	4.4809E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.63873E-05	2.63873E-05	2.63873E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.83799E-05	1.83799E-05	1.83799E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24327E-05	1.24327E-05	1.24327E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.08807E-06	8.08807E-06	8.08807E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98451E-06	4.98451E-06	4.98451E-06	4.98451E-06
42	1.63	4.43331E-06	4.43331E-06	4.43331E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.52911E-06	2.52911E-06	2.52911E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27084E-06	1.27084E-06	1.27084E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.13767E-06	1.13767E-06	1.13767E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.53588E-07	4.53588E-07	4.53588E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.01933E-07	1.01933E-07	1.01933E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26285E-07	8.26285E-07	8.26285E-07	8.26285E-07
49	1.91	7.45663E-07	7.45663E-07	7.45663E-07	7.45663E-07
50	1.95	2.99632E-07	2.99632E-07	2.99632E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71401E-07	2.71401E-07	2.71401E-07	2.71401E-07

**8. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	1.6862E-156	2.2449E-156	2.9916E-156	4.9219E-156
7	0.23	2.86975E-72	3.40556E-72	4.07403E-72	5.48877E-72
8	0.27	1.16609E-37	1.31771E-37	1.48965E-37	1.84044E-37
9	0.31	1.90216E-21	2.07977E-21	2.2653E-21	2.62293E-21
10	0.35	4.11052E-13	4.38913E-13	4.67686E-13	5.20238E-13
11	0.39	1.54714E-08	1.62784E-08	1.7106E-08	1.85309E-08
12	0.43	6.58324E-06	6.88449E-06	7.13035E-06	7.635E-06
13	0.47	0.000238397	0.0002477	0.000254793	0.000269281
14	0.51	0.002041171	0.002105795	0.002149437	0.002260501
15	0.55	0.007427959	0.007597735	0.007683343	0.008030569
16	0.59	0.01545238	0.015841104	0.016037277	0.016633039
17	0.63	0.023283557	0.023603602	0.023925832	0.024905629
18	0.67	0.029420834	0.029868292	0.030319128	0.031230931
19	0.71	0.037696795	0.038333016	0.038974562	0.039621431
20	0.75	0.049322913	0.050249145	0.050249145	0.052127456
21	0.79	0.04710511	0.048102016	0.048102016	0.050127144
22	0.83	0.030409644	0.031137993	0.031137993	0.031874961
23	0.87	0.01635767	0.016802756	0.016802756	0.017253817
24	0.91	0.008964755	0.008964755	0.008964755	0.009242715
25	0.95	0.005243046	0.005243046	0.005243046	0.005431969
26	0.99	0.003268059	0.003268059	0.003405647	0.003405647
27	1.03	0.002078928	0.002181575	0.002181575	0.002181575
28	1.07	0.001326596	0.001326596	0.001403485	0.001403485
29	1.11	0.000852228	0.000852228	0.000852228	0.000909991
30	1.15	0.000558911	0.000558911	0.000558911	0.000558911
31	1.19	0.000349214	0.000349214	0.000349214	0.000349214
32	1.23	0.000227364	0.000227364	0.000227364	0.000227364
33	1.27	0.000140866	0.000140866	0.000140866	0.000140866
34	1.31	9.43511E-05	9.43511E-05	9.43511E-05	9.43511E-05
35	1.35	6.07424E-05	6.07424E-05	6.07424E-05	6.07424E-05
36	1.39	3.70322E-05	3.70322E-05	3.70322E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.63873E-05	2.63873E-05	2.63873E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.83799E-05	1.83799E-05	1.83799E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24327E-05	1.24327E-05	1.24327E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.08807E-06	8.08807E-06	8.08807E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98451E-06	4.98451E-06	4.98451E-06	4.98451E-06
42	1.63	2.83732E-06	2.83732E-06	2.83732E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.52911E-06	2.52911E-06	2.52911E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27084E-06	1.27084E-06	1.27084E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.13767E-06	1.13767E-06	1.13767E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.53588E-07	4.53588E-07	4.53588E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.01933E-07	1.01933E-07	1.01933E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26285E-07	8.26285E-07	8.26285E-07	8.26285E-07
49	1.91	7.45663E-07	7.45663E-07	7.45663E-07	7.45663E-07
50	1.95	2.99632E-07	2.99632E-07	2.99632E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71401E-07	2.71401E-07	2.71401E-07	2.71401E-07

**9. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.6E-154	2.6E-154	2.6E-154	2.5575E-154
7	0.23	2.61E-70	2.61E-70	2.61E-70	2.60505E-70
8	0.27	3.77E-37	3.77E-37	3.77E-37	3.77108E-37
9	0.31	5.88E-22	5.88E-22	5.88E-22	5.88062E-22
10	0.35	1.71E-14	1.71E-14	1.71E-14	1.71343E-14
11	0.39	5.59E-11	5.59E-11	5.59E-11	5.58564E-11
12	0.43	2.16E-09	2.16E-09	2.16E-09	2.15663E-09
13	0.47	5.56E-09	5.56E-09	5.56E-09	5.56366E-09
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

### 10. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	1.4E-156	2E-156	3.1E-156	6.7446E-156
7	0.23	2.49E-72	3.2E-72	4.16E-72	6.47527E-72
8	0.27	1.05E-37	1.25E-37	1.51E-37	2.05567E-37
9	0.31	1.76E-21	2E-21	2.28E-21	2.83079E-21
10	0.35	3.91E-13	4.25E-13	4.71E-13	5.51524E-13
11	0.39	1.49E-08	1.6E-08	1.72E-08	1.94132E-08
12	0.43	6.46E-06	6.82E-06	7.25E-06	7.95917E-06
13	0.47	0.000236	0.000245	0.00026	0.000279162
14	0.51	0.002041	0.002106	0.002216	0.002328482
15	0.55	0.007428	0.007683	0.007943	0.008296025
16	0.59	0.015841	0.016037	0.016633	0.017239666
17	0.63	0.023604	0.02425	0.024906	0.02556975
18	0.67	0.030319	0.030773	0.031692	0.032623963
19	0.71	0.038975	0.039621	0.040274	0.041593985
20	0.75	0.051184	0.051184	0.05308	0.054040232
21	0.79	0.049109	0.049109	0.051155	0.052194027
22	0.83	0.031875	0.031875	0.032621	0.033374757
23	0.87	0.017254	0.017254	0.017711	0.017710852
24	0.91	0.009243	0.009243	0.009525	0.009524919
25	0.95	0.005432	0.005432	0.005624	0.005624236
26	0.99	0.003406	0.003406	0.003546	0.003546071
27	1.03	0.002182	0.002182	0.002287	0.002286697
28	1.07	0.001403	0.001403	0.001483	0.001482539
29	1.11	0.00091	0.00091	0.00091	0.000909991
30	1.15	0.000559	0.000559	0.000603	0.000602731
31	1.19	0.000349	0.000382	0.000382	0.000381682
32	1.23	0.000227	0.000227	0.000227	0.000251927
33	1.27	0.000159	0.000159	0.000159	0.000159024
34	1.31	9.44E-05	9.44E-05	9.44E-05	9.43511E-05
35	1.35	6.07E-05	6.07E-05	6.07E-05	6.07424E-05
36	1.39	4.48E-05	4.48E-05	4.48E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.64E-05	2.64E-05	2.64E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.84E-05	1.84E-05	1.84E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98E-06	4.98E-06	4.98E-06	4.98451E-06
42	1.63	4.43E-06	4.43E-06	4.43E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.53E-06	2.53E-06	2.53E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.14E-06	1.14E-06	1.14E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.54E-07	4.54E-07	4.54E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26E-07	8.26E-07	8.26E-07	8.26285E-07
49	1.91	7.46E-07	7.46E-07	7.46E-07	7.45663E-07
50	1.95	3E-07	3E-07	3E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71E-07	2.71E-07	2.71E-07	2.71401E-07



**11. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	1.4E-156	2.1E-156	3.2E-156	6.8268E-156
7	0.23	2.49E-72	3.2E-72	4.19E-72	6.51201E-72
8	0.27	1.05E-37	1.26E-37	1.51E-37	2.05567E-37
9	0.31	1.78E-21	2E-21	2.3E-21	2.85008E-21
10	0.35	3.91E-13	4.25E-13	4.71E-13	5.51524E-13
11	0.39	1.49E-08	1.6E-08	1.72E-08	1.94132E-08
12	0.43	6.46E-06	6.82E-06	7.25E-06	7.95917E-06
13	0.47	0.000236	0.000245	0.00026	0.000279162
14	0.51	0.002063	0.002106	0.002216	0.002328482
15	0.55	0.007513	0.007683	0.007943	0.008296025
16	0.59	0.015841	0.016037	0.016633	0.017239666
17	0.63	0.023926	0.02425	0.024906	0.025905088
18	0.67	0.030319	0.030773	0.031692	0.032623963
19	0.71	0.038975	0.039621	0.040274	0.041593985
20	0.75	0.051184	0.051184	0.05308	0.054040232
21	0.79	0.049109	0.049109	0.051155	0.052194027
22	0.83	0.031875	0.031875	0.032621	0.033374757
23	0.87	0.017254	0.017254	0.017711	0.017710852
24	0.91	0.009243	0.009243	0.009525	0.009524919
25	0.95	0.005432	0.005432	0.005624	0.005624236
26	0.99	0.003406	0.003406	0.003546	0.003546071
27	1.03	0.002182	0.002182	0.002287	0.002286697
28	1.07	0.001403	0.001403	0.001483	0.001482539
29	1.11	0.00091	0.00091	0.00091	0.000909991
30	1.15	0.000559	0.000559	0.000603	0.000602731
31	1.19	0.000382	0.000382	0.000382	0.000381682
32	1.23	0.000227	0.000227	0.000227	0.000251927
33	1.27	0.000159	0.000159	0.000159	0.000159024
34	1.31	9.44E-05	9.44E-05	9.44E-05	9.43511E-05
35	1.35	6.07E-05	6.07E-05	6.07E-05	6.07424E-05
36	1.39	4.48E-05	4.48E-05	4.48E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.64E-05	2.64E-05	2.64E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.84E-05	1.84E-05	1.84E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98E-06	4.98E-06	4.98E-06	4.98451E-06
42	1.63	4.43E-06	4.43E-06	4.43E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.53E-06	2.53E-06	2.53E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.14E-06	1.14E-06	1.14E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.54E-07	4.54E-07	4.54E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26E-07	8.26E-07	8.26E-07	8.26285E-07
49	1.91	7.46E-07	7.46E-07	7.46E-07	7.45663E-07
50	1.95	3E-07	3E-07	3E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71E-07	2.71E-07	2.71E-07	2.71401E-07

**12. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	3E-154	3E-154	3E-154	2.9589E-154
7	0.23	1.97E-70	1.97E-70	1.97E-70	1.97191E-70
8	0.27	3.13E-37	3.13E-37	3.13E-37	3.13118E-37
9	0.31	4.72E-22	4.72E-22	4.72E-22	4.71602E-22
10	0.35	9.77E-15	9.77E-15	9.77E-15	9.76963E-15
11	0.39	2.85E-11	2.85E-11	2.85E-11	2.84982E-11
12	0.43	5.39E-10	5.39E-10	5.39E-10	5.39157E-10
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	5.6E-08	5.6E-08	5.6E-08	5.59516E-08
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

### 13. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	5.8E-157	1E-156	1.6E-156	4.2469E-156
7	0.23	1.38E-72	1.96E-72	2.68E-72	4.86577E-72
8	0.27	6.74E-38	8.65E-38	1.08E-37	1.64874E-37
9	0.31	1.27E-21	1.5E-21	1.75E-21	2.38749E-21
10	0.35	3E-13	3.39E-13	3.81E-13	4.82416E-13
11	0.39	1.21E-08	1.33E-08	1.44E-08	1.73864E-08
12	0.43	5.39E-06	5.83E-06	6.23E-06	7.19249E-06
13	0.47	0.000203	0.000216	0.000227	0.00025718
14	0.51	0.001793	0.001874	0.001957	0.002171426
15	0.55	0.006608	0.00693	0.007094	0.00776943
16	0.59	0.01413	0.014689	0.015068	0.016234657
17	0.63	0.021409	0.022025	0.02265	0.024250247
18	0.67	0.027665	0.028099	0.028536	0.030773341
19	0.71	0.03582	0.03644	0.037066	0.039621431
20	0.75	0.046596	0.047496	0.048405	0.051183992
21	0.79	0.045143	0.046119	0.046119	0.04910936
22	0.83	0.028979	0.02969	0.02969	0.031874961
23	0.87	0.015485	0.015919	0.015919	0.017253817
24	0.91	0.008422	0.008691	0.008691	0.009242715
25	0.95	0.005057	0.005057	0.005057	0.005431969
26	0.99	0.003133	0.003133	0.003268	0.003405647
27	1.03	0.001979	0.002079	0.002079	0.002181575
28	1.07	0.001327	0.001327	0.001327	0.001403485
29	1.11	0.000852	0.000852	0.000852	0.000909991
30	1.15	0.000517	0.000517	0.000517	0.000558911
31	1.19	0.000349	0.000349	0.000349	0.000349214
32	1.23	0.000204	0.000227	0.000227	0.000227364
33	1.27	0.000141	0.000141	0.000141	0.000140866
34	1.31	9.44E-05	9.44E-05	9.44E-05	9.43511E-05
35	1.35	6.07E-05	6.07E-05	6.07E-05	6.07424E-05
36	1.39	3.7E-05	3.7E-05	3.7E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.64E-05	2.64E-05	2.64E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.84E-05	1.84E-05	1.84E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98E-06	4.98E-06	4.98E-06	4.98451E-06
42	1.63	2.84E-06	2.84E-06	2.84E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.53E-06	2.53E-06	2.53E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.14E-06	1.14E-06	1.14E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.54E-07	4.54E-07	4.54E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26E-07	8.26E-07	8.26E-07	8.26285E-07
49	1.91	3.31E-07	3.31E-07	3.31E-07	7.45663E-07
50	1.95	3E-07	3E-07	3E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71E-07	2.71E-07	2.71E-07	2.71401E-07

**14. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	5.8E-157	1E-156	1.6E-156	4.2904E-156
7	0.23	1.38E-72	1.96E-72	2.7E-72	4.89762E-72
8	0.27	6.74E-38	8.65E-38	1.08E-37	1.66041E-37
9	0.31	1.27E-21	1.5E-21	1.76E-21	2.4052E-21
10	0.35	3E-13	3.39E-13	3.81E-13	4.82416E-13
11	0.39	1.21E-08	1.33E-08	1.44E-08	1.73864E-08
12	0.43	5.39E-06	5.83E-06	6.23E-06	7.19249E-06
13	0.47	0.000203	0.000216	0.000227	0.00025718
14	0.51	0.001793	0.001874	0.001957	0.002171426
15	0.55	0.006608	0.00693	0.007094	0.00776943
16	0.59	0.01413	0.014689	0.015068	0.016234657
17	0.63	0.021409	0.022025	0.02265	0.024250247
18	0.67	0.027665	0.028099	0.028536	0.030773341
19	0.71	0.03582	0.03644	0.037066	0.039621431
20	0.75	0.046596	0.047496	0.048405	0.051183992
21	0.79	0.045143	0.046119	0.046119	0.04910936
22	0.83	0.028979	0.02969	0.03041	0.031874961
23	0.87	0.015485	0.015919	0.015919	0.017253817
24	0.91	0.008422	0.008691	0.008691	0.009242715
25	0.95	0.005057	0.005057	0.005057	0.005431969
26	0.99	0.003133	0.003268	0.003268	0.003405647
27	1.03	0.001979	0.002079	0.002079	0.002181575
28	1.07	0.001327	0.001327	0.001327	0.001403485
29	1.11	0.000852	0.000852	0.000852	0.000909991
30	1.15	0.000517	0.000517	0.000517	0.000558911
31	1.19	0.000349	0.000349	0.000349	0.000349214
32	1.23	0.000227	0.000227	0.000227	0.000227364
33	1.27	0.000141	0.000141	0.000141	0.000140866
34	1.31	9.44E-05	9.44E-05	9.44E-05	9.43511E-05
35	1.35	6.07E-05	6.07E-05	6.07E-05	6.07424E-05
36	1.39	3.7E-05	3.7E-05	3.7E-05	4.4809E-05
37	1.43	2.64E-05	2.64E-05	2.64E-05	2.63873E-05
38	1.47	1.84E-05	1.84E-05	1.84E-05	1.83799E-05
39	1.51	1.24E-05	1.24E-05	1.24E-05	1.24327E-05
40	1.55	8.09E-06	8.09E-06	8.09E-06	8.08807E-06
41	1.59	4.98E-06	4.98E-06	4.98E-06	4.98451E-06
42	1.63	2.84E-06	2.84E-06	2.84E-06	4.43331E-06
43	1.67	2.53E-06	2.53E-06	2.53E-06	2.52911E-06
44	1.71	1.27E-06	1.27E-06	1.27E-06	1.27084E-06
45	1.75	1.14E-06	1.14E-06	1.14E-06	1.13767E-06
46	1.79	4.54E-07	4.54E-07	4.54E-07	4.53588E-07
47	1.83	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.01933E-07
48	1.87	8.26E-07	8.26E-07	8.26E-07	8.26285E-07
49	1.91	3.31E-07	3.31E-07	3.31E-07	7.45663E-07
50	1.95	3E-07	3E-07	3E-07	2.99632E-07
51	1.99	2.71E-07	2.71E-07	2.71E-07	2.71401E-07

## LAMPIRAN J

### Keluaran Response Spectra Masing-masing SPAR kondisi Tertambat

#### 1. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 0 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	0.022	0.000484	0
2	0.03	0	4	0.022	0.000484	0
3	0.07	0	2	0.021	0.000441	0
4	0.11	0	4	0.019	0.000361	0
5	0.15	0	2	0.016	0.000256	0
6	0.19	2.7638E-155	4	0.013	0.000169	4.6708E-159
7	0.23	5.19647E-71	2	0.01	0.0001	5.19647E-75
8	0.27	2.05863E-36	4	0.006	0.000036	7.41107E-41
9	0.31	3.27502E-20	2	0.004	0.000016	5.24003E-25
10	0.35	7.13633E-12	4	0.002	0.000004	2.85453E-17
11	0.39	2.84982E-07	2	0.001	0.000001	2.84982E-13
12	0.43	0.000134789	4	0.001	0.000001	1.34789E-10
13	0.47	0.005563661	2	0	0	0
14	0.51	0.055951605	4	0	0	0
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

## 2. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 45 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	0.022	0.000484	0
2	0.03	0	4	0.022	0.000484	0
3	0.07	0	2	0.021	0.000441	0
4	0.11	0	4	0.019	0.000361	0
5	0.15	0	2	0.016	0.000256	0
6	0.19	2.7638E-155	4	0.013	0.000169	4.6708E-159
7	0.23	5.19647E-71	2	0.01	0.0001	5.19647E-75
8	0.27	2.05863E-36	4	0.006	0.000036	7.41107E-41
9	0.31	3.27502E-20	2	0.004	0.000016	5.24003E-25
10	0.35	7.13633E-12	4	0.002	0.000004	2.85453E-17
11	0.39	2.84982E-07	2	0.001	0.000001	2.84982E-13
12	0.43	0.000134789	4	0.001	0.000001	1.34789E-10
13	0.47	0.005563661	2	0	0	0
14	0.51	0.055951605	4	0	0	0
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

### 3. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 90 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	0.022	0.000484	0
2	0.03	0	4	0.022	0.000484	0
3	0.07	0	2	0.021	0.000441	0
4	0.11	0	4	0.019	0.000361	0
5	0.15	0	2	0.016	0.000256	0
6	0.19	2.7638E-155	4	0.013	0.000169	4.6708E-159
7	0.23	5.19647E-71	2	0.01	0.0001	5.19647E-75
8	0.27	2.05863E-36	4	0.006	0.000036	7.41107E-41
9	0.31	3.27502E-20	2	0.004	0.000016	5.24003E-25
10	0.35	7.13633E-12	4	0.002	0.000004	2.85453E-17
11	0.39	2.84982E-07	2	0.001	0.000001	2.84982E-13
12	0.43	0.000134789	4	0.001	0.000001	1.34789E-10
13	0.47	0.005563661	2	0	0	0
14	0.51	0.055951605	4	0	0	0
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

#### 4. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 135 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	0.022	0.000484	0
2	0.03	0	4	0.022	0.000484	0
3	0.07	0	2	0.021	0.000441	0
4	0.11	0	4	0.019	0.000361	0
5	0.15	0	2	0.016	0.000256	0
6	0.19	2.7638E-155	4	0.013	0.000169	4.6708E-159
7	0.23	5.19647E-71	2	0.01	0.0001	5.19647E-75
8	0.27	2.05863E-36	4	0.006	0.000036	7.41107E-41
9	0.31	3.27502E-20	2	0.004	0.000016	5.24003E-25
10	0.35	7.13633E-12	4	0.002	0.000004	2.85453E-17
11	0.39	2.84982E-07	2	0.001	0.000001	2.84982E-13
12	0.43	0.000134789	4	0.001	0.000001	1.34789E-10
13	0.47	0.005563661	2	0	0	0
14	0.51	0.055951605	4	0	0	0
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0



### 5. SPAR Tipe 1 Arah Eksitasi Gelombang 180 Derajat

No.	frekuensi	Spektra Gel.	SM	RAO	RAO <sup>2</sup>	Respon Spektra
	rad/s	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]		(m/m)	(m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	[m <sup>2</sup> /(rad/s)]
1	0.01	0	1	0.022	0.000484	0
2	0.03	0	4	0.022	0.000484	0
3	0.07	0	2	0.021	0.000441	0
4	0.11	0	4	0.019	0.000361	0
5	0.15	0	2	0.016	0.000256	0
6	0.19	2.7638E-155	4	0.013	0.000169	4.6708E-159
7	0.23	5.19647E-71	2	0.01	0.0001	5.19647E-75
8	0.27	2.05863E-36	4	0.006	0.000036	7.41107E-41
9	0.31	3.27502E-20	2	0.004	0.000016	5.24003E-25
10	0.35	7.13633E-12	4	0.002	0.000004	2.85453E-17
11	0.39	2.84982E-07	2	0.001	0.000001	2.84982E-13
12	0.43	0.000134789	4	0.001	0.000001	1.34789E-10
13	0.47	0.005563661	2	0	0	0
14	0.51	0.055951605	4	0	0	0
15	0.55	0.239797225	2	0	0	0
16	0.59	0.603608612	4	0	0	0
17	0.63	1.092304248	2	0	0	0
18	0.67	1.688523508	4	0	0	0
19	0.71	2.662015015	2	0	0	0
20	0.75	4.308054242	4	0	0	0
21	0.79	5.219402733	2	0	0	0
22	0.83	4.30975682	4	0	0	0
23	0.87	2.987156656	2	0	0	0
24	0.91	2.121835419	4	0	0	0
25	0.95	1.671889556	2	0	0	0
26	0.99	1.418428412	4	0	0	0
27	1.03	1.236720788	2	0	0	0
28	1.07	1.082935617	4	0	0	0
29	1.11	0.946920535	2	0	0	0
30	1.15	0.826791191	4	0	0	0
31	1.19	0.721516388	2	0	0	0
32	1.23	0.629818067	4	0	0	0
33	1.27	0.550257311	2	0	0	0
34	1.31	0.481383117	4	0	0	0
35	1.35	0.421821988	2	0	0	0
36	1.39	0.370321964	4	0	0	0
37	1.43	0.325768866	2	0	0	0
38	1.47	0.287186649	4	0	0	0
39	1.51	0.253729258	2	0	0	0
40	1.55	0.22466849	4	0	0	0
41	1.59	0.199380475	2	0	0	0
42	1.63	0.177332288	4	0	0	0
43	1.67	0.158069434	2	0	0	0
44	1.71	0.141204579	4	0	0	0
45	1.75	0.126407628	2	0	0	0
46	1.79	0.113397116	4	0	0	0
47	1.83	0.101932824	2	0	0	0
48	1.87	0.091809479	4	0	0	0
49	1.91	0.082851417	2	0	0	0
50	1.95	0.074908067	4	0	0	0
51	1.99	0.067850137	1	0	0	0

**6. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	4.7E-159	4.7E-159	4.7E-159	4.6708E-159
7	0.23	4.21E-75	4.21E-75	4.21E-75	4.20914E-75
8	0.27	7.41E-41	7.41E-41	7.41E-41	7.41107E-41
9	0.31	5.24E-25	5.24E-25	5.24E-25	5.24003E-25
10	0.35	2.85E-17	2.85E-17	2.85E-17	2.85453E-17
11	0.39	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.84982E-13
12	0.43	0	0	0	0
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

**7. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.3E-156	2.3E-156	2.4E-156	2.3727E-156
7	0.23	2.73E-72	2.75E-72	2.75E-72	2.77289E-72
8	0.27	3.92E-38	3.92E-38	3.92E-38	3.92046E-38
9	0.31	1.3E-22	1.3E-22	1.3E-22	1.29985E-22
10	0.35	3.5E-16	3.5E-16	3.5E-16	3.4968E-16
11	0.39	2.74E-10	2.74E-10	2.74E-10	2.56484E-10
12	0.43	4.38E-07	4.38E-07	4.23E-07	4.22699E-07
13	0.47	3.13E-05	3.13E-05	3.05E-05	2.96487E-05
14	0.51	0.000266	0.000259	0.000259	0.000251167
15	0.55	0.001175	0.001142	0.001142	0.001108822
16	0.59	0.002629	0.00255	0.00255	0.002472381
17	0.63	0.003675	0.003675	0.003549	0.003425466
18	0.67	0.004054	0.00389	0.00389	0.003729948
19	0.71	0.003844	0.003644	0.003644	0.003449971
20	0.75	0.002912	0.002912	0.002693	0.002481439
21	0.79	0.001023	0.001023	0.001023	0.000882079
22	0.83	6.9E-05	3.88E-05	3.88E-05	3.87878E-05
23	0.87	0.000108	0.000108	0.000146	0.000146371
24	0.91	0.000416	0.000477	0.000477	0.000477413
25	0.95	0.000809	0.000809	0.000809	0.000809195
26	0.99	0.001112	0.001112	0.001112	0.001112048
27	1.03	0.001347	0.001347	0.001347	0.001346789
28	1.07	0.001564	0.001564	0.001564	0.001482539
29	1.11	0.00167	0.00167	0.00167	0.001670368
30	1.15	0.001826	0.001826	0.001826	0.00174949
31	1.19	0.001951	0.001951	0.001951	0.001876664
32	1.23	0.002119	0.002119	0.002119	0.002046279
33	1.27	0.00247	0.002397	0.002397	0.002324837
34	1.31	0.003004	0.002929	0.002854	0.002780469
35	1.35	0.004051	0.003888	0.003807	0.003648338
36	1.39	0.006067	0.005879	0.005786	0.005421884
37	1.43	0.009195	0.008977	0.008869	0.008444255
38	1.47	0.00726	0.007444	0.007537	0.007818657
39	1.51	0.002851	0.002959	0.003015	0.003239869
40	1.55	0.001101	0.001133	0.001165	0.001230285
41	1.59	0.000479	0.000498	0.000498	0.000518589
42	1.63	0.00023	0.000243	0.000243	0.000242768
43	1.67	0.000124	0.000124	0.000124	0.000123926
44	1.71	6.23E-05	6.23E-05	6.23E-05	6.8343E-05
45	1.75	3.24E-05	3.24E-05	3.24E-05	3.23604E-05
46	1.79	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.37211E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	9.17E-07	9.17395E-07
48	1.87	1.32E-05	1.32E-05	1.32E-05	1.32206E-05
49	1.91	1E-05	1E-05	1E-05	1.0025E-05
50	1.95	6.07E-06	6.07E-06	6.07E-06	6.06755E-06
51	1.99	4.34E-06	4.34E-06	4.34E-06	4.34241E-06

**8. SPAR Tipe 2 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.7E-156	2.7E-156	2.7E-156	2.7598E-156
7	0.23	3.07E-72	3.07E-72	3.09E-72	3.09377E-72
8	0.27	4.57E-38	4.57E-38	4.57E-38	4.63192E-38
9	0.31	2.04E-22	2.04E-22	2.04E-22	2.04394E-22
10	0.35	5.2E-15	5.2E-15	5.2E-15	5.20238E-15
11	0.39	7.12E-12	7.12E-12	4.56E-12	4.55971E-12
12	0.43	7.76E-08	7.76E-08	7.76E-08	7.76386E-08
13	0.47	4.06E-06	9.35E-06	7.62E-06	7.2105E-06
14	0.51	4.39E-05	4.08E-05	4.08E-05	4.07887E-05
15	0.55	0.000175	0.000175	0.000175	0.000162103
16	0.59	0.000319	0.000319	0.000319	0.000292147
17	0.63	0.000316	0.00028	0.00028	0.00027963
18	0.67	0.000137	0.000137	0.000108	0.000108066
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0.000276	0.000276	0.000349	0.000348952
21	0.79	0.001336	0.001336	0.001336	0.001508407
22	0.83	0.00228	0.00228	0.00228	0.002279861
23	0.87	0.002512	0.002512	0.002512	0.002512199
24	0.91	0.002453	0.002453	0.002453	0.002452842
25	0.95	0.002414	0.002414	0.002414	0.002414209
26	0.99	0.002384	0.002384	0.002384	0.002384378
27	1.03	0.002394	0.002394	0.002394	0.002394291
28	1.07	0.002392	0.002392	0.002392	0.002291492
29	1.11	0.002367	0.002274	0.002274	0.002273556
30	1.15	0.002322	0.002322	0.002236	0.002235643
31	1.19	0.002344	0.002263	0.002263	0.002182587
32	1.23	0.002421	0.002344	0.002344	0.002267345
33	1.27	0.00262	0.00262	0.002544	0.002470105
34	1.31	0.003081	0.003004	0.003004	0.00285412
35	1.35	0.004051	0.003888	0.003807	0.003648338
36	1.39	0.005973	0.005786	0.005603	0.005332636
37	1.43	0.008977	0.008762	0.008655	0.008235763
38	1.47	0.007079	0.00726	0.007352	0.007630262
39	1.51	0.002744	0.002797	0.002905	0.003126198
40	1.55	0.001009	0.001039	0.00107	0.001132554
41	1.59	0.00044	0.00044	0.000459	0.000478713
42	1.63	0.000205	0.000205	0.000217	0.000217232
43	1.67	0.000107	0.000107	0.000107	0.000106855
44	1.71	5.65E-05	5.65E-05	5.65E-05	5.64818E-05
45	1.75	2.84E-05	2.84E-05	2.84E-05	2.84417E-05
46	1.79	1.13E-05	1.13E-05	1.13E-05	1.13397E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	9.17E-07	9.17395E-07
48	1.87	1.11E-05	1.11E-05	1.32E-05	1.32206E-05
49	1.91	8.29E-06	8.29E-06	8.29E-06	8.28514E-06
50	1.95	6.07E-06	6.07E-06	6.07E-06	6.06755E-06
51	1.99	3.32E-06	3.32E-06	3.32E-06	3.32466E-06

**9. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	4.7E-159	4.7E-159	4.7E-159	4.6708E-159
7	0.23	4.21E-75	4.21E-75	4.21E-75	4.20914E-75
8	0.27	7.41E-41	7.41E-41	7.41E-41	7.41107E-41
9	0.31	5.24E-25	5.24E-25	5.24E-25	5.24003E-25
10	0.35	2.85E-17	2.85E-17	2.85E-17	2.85453E-17
11	0.39	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.84982E-13
12	0.43	0	0	0	0
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	2.87E-07	2.87E-07	2.87E-07	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0

**10. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.7E-156	2.7E-156	2.8E-156	2.8125E-156
7	0.23	3.38E-72	3.38E-72	3.41E-72	3.43222E-72
8	0.27	5.95E-38	5.95E-38	5.95E-38	5.94944E-38
9	0.31	3.54E-22	3.54E-22	3.54E-22	3.54226E-22
10	0.35	2.08E-14	2.08E-14	2.08E-14	2.08095E-14
11	0.39	1.26E-10	1.26E-10	1.26E-10	1.37931E-10
12	0.43	5.39E-10	1.35E-10	1.35E-10	1.34789E-10
13	0.47	1.61E-06	1.42E-06	1.42E-06	1.25182E-06
14	0.51	8.06E-06	8.06E-06	8.06E-06	6.77014E-06
15	0.55	4.7E-05	4.7E-05	4.7E-05	4.05257E-05
16	0.59	8.69E-05	8.69E-05	7.3E-05	7.30366E-05
17	0.63	5.35E-05	5.35E-05	5.35E-05	3.9323E-05
18	0.67	1.69E-06	1.69E-06	0	0
19	0.71	9.58E-05	9.58E-05	0.00013	0.000130439
20	0.75	0.000728	0.000844	0.000844	0.000844379
21	0.79	0.002088	0.002088	0.002302	0.002301757
22	0.83	0.002913	0.003142	0.003142	0.003141813
23	0.87	0.003059	0.003059	0.003059	0.003058848
24	0.91	0.00275	0.00275	0.00275	0.002749899
25	0.95	0.002543	0.002543	0.002543	0.002542944
26	0.99	0.002502	0.002502	0.002384	0.002384378
27	1.03	0.002394	0.002394	0.002394	0.002286697
28	1.07	0.002291	0.002291	0.002291	0.002192945
29	1.11	0.002182	0.002182	0.002182	0.002091747
30	1.15	0.00215	0.002067	0.002067	0.001985126
31	1.19	0.002104	0.002027	0.002027	0.00195098
32	1.23	0.002119	0.002046	0.001975	0.0019052
33	1.27	0.002184	0.002115	0.002048	0.001980926
34	1.31	0.002427	0.002359	0.002292	0.002160929
35	1.35	0.002976	0.002836	0.0027	0.002566365
36	1.39	0.004083	0.003853	0.00363	0.003342156
37	1.43	0.006385	0.006025	0.005676	0.005171907
38	1.47	0.008997	0.008896	0.008595	0.008202338
39	1.51	0.005116	0.005335	0.005709	0.006174755
40	1.55	0.00178	0.001902	0.002028	0.002246685
41	1.59	0.000694	0.000718	0.000766	0.000816662
42	1.63	0.000298	0.000313	0.000328	0.000343315
43	1.67	0.000142	0.000142	0.000152	0.000161863
44	1.71	7.47E-05	7.47E-05	7.47E-05	8.13338E-05
45	1.75	3.65E-05	3.65E-05	3.65E-05	3.65318E-05
46	1.79	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.63292E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	9.17E-07	9.17395E-07
48	1.87	1.32E-05	1.32E-05	1.55E-05	1.55158E-05
49	1.91	1E-05	1E-05	1E-05	1.0025E-05
50	1.95	6.07E-06	6.07E-06	6.07E-06	6.06755E-06
51	1.99	4.34E-06	4.34E-06	4.34E-06	4.34241E-06

**11. SPAR Tipe 3 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.7E-156	2.7E-156	2.8E-156	2.8125E-156
7	0.23	3.38E-72	3.38E-72	3.41E-72	3.40556E-72
8	0.27	5.95E-38	5.95E-38	5.95E-38	5.94944E-38
9	0.31	3.54E-22	3.54E-22	3.54E-22	3.54226E-22
10	0.35	1.86E-14	2E-14	2E-14	2.08095E-14
11	0.39	1.14E-10	1.14E-10	1.26E-10	1.25677E-10
12	0.43	5.39E-10	5.39E-10	5.39E-10	1.34789E-10
13	0.47	1.8E-06	1.61E-06	1.61E-06	1.4243E-06
14	0.51	9.46E-06	9.46E-06	8.06E-06	8.05703E-06
15	0.55	5.4E-05	5.4E-05	4.7E-05	4.70003E-05
16	0.59	0.000102	0.000102	8.69E-05	8.69196E-05
17	0.63	6.99E-05	6.99E-05	5.35E-05	5.35229E-05
18	0.67	6.75E-06	1.69E-06	1.69E-06	0
19	0.71	6.66E-05	9.58E-05	9.58E-05	0.000130439
20	0.75	0.000728	0.000728	0.000728	0.000844379
21	0.79	0.002088	0.002088	0.002088	0.002087761
22	0.83	0.002913	0.002913	0.002913	0.002913396
23	0.87	0.002871	0.002871	0.002871	0.002870658
24	0.91	0.002599	0.002599	0.002599	0.002599248
25	0.95	0.002543	0.002414	0.002414	0.002414209
26	0.99	0.002384	0.002384	0.002384	0.002384378
27	1.03	0.002394	0.002287	0.002287	0.002286697
28	1.07	0.002291	0.002193	0.002193	0.002192945
29	1.11	0.002182	0.002182	0.002092	0.002091747
30	1.15	0.002067	0.002067	0.001985	0.001985126
31	1.19	0.002027	0.002027	0.001951	0.001876664
32	1.23	0.002046	0.002046	0.001975	0.0019052
33	1.27	0.002184	0.002115	0.002048	0.001980926
34	1.31	0.002427	0.002292	0.002226	0.002096905
35	1.35	0.002906	0.002768	0.002633	0.002500983
36	1.39	0.003929	0.003778	0.003557	0.003272165
37	1.43	0.006204	0.00585	0.005505	0.005009022
38	1.47	0.008896	0.008695	0.008398	0.007913715
39	1.51	0.005261	0.005483	0.005862	0.006334097
40	1.55	0.00186	0.001943	0.002071	0.002291843
41	1.59	0.000694	0.000742	0.000766	0.000842383
42	1.63	0.000298	0.000313	0.000328	0.000343315
43	1.67	0.000142	0.000152	0.000152	0.000161863
44	1.71	7.47E-05	7.47E-05	7.47E-05	8.13338E-05
45	1.75	3.65E-05	3.65E-05	3.65E-05	3.65318E-05
46	1.79	1.37E-05	1.37E-05	1.37E-05	1.63292E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	9.17E-07	9.17395E-07
48	1.87	1.55E-05	1.55E-05	1.55E-05	1.55158E-05
49	1.91	1E-05	1E-05	1E-05	1.19306E-05
50	1.95	6.07E-06	6.07E-06	6.07E-06	6.06755E-06
51	1.99	4.34E-06	4.34E-06	4.34E-06	4.34241E-06

**12. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Heave Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0%	R.S. 25%	R.S. 50%	R.S. 100%
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	4.7E-159	4.7E-159	4.7E-159	4.6708E-159
7	0.23	4.21E-75	4.21E-75	4.21E-75	4.20914E-75
8	0.27	7.41E-41	7.41E-41	7.41E-41	7.41107E-41
9	0.31	2.95E-25	2.95E-25	2.95E-25	2.94751E-25
10	0.35	2.85E-17	2.85E-17	2.85E-17	2.85453E-17
11	0.39	2.85E-13	2.85E-13	2.85E-13	2.84982E-13
12	0.43	0	0	0	0
13	0.47	0	0	0	0
14	0.51	0	0	0	0
15	0.55	0	0	0	0
16	0.59	0	0	0	0
17	0.63	0	0	0	0
18	0.67	0	0	0	0
19	0.71	0	0	0	0
20	0.75	0	0	0	0
21	0.79	0	0	0	0
22	0.83	0	0	0	0
23	0.87	0	0	0	0
24	0.91	0	0	0	0
25	0.95	0	0	0	0
26	0.99	0	0	0	0
27	1.03	0	0	0	0
28	1.07	0	0	0	0
29	1.11	0	0	0	0
30	1.15	0	0	0	0
31	1.19	0	0	0	0
32	1.23	0	0	0	0
33	1.27	0	0	0	0
34	1.31	0	0	0	0
35	1.35	0	0	0	0
36	1.39	0	0	0	0
37	1.43	0	0	0	0
38	1.47	0	0	0	0
39	1.51	0	0	0	0
40	1.55	0	0	0	0
41	1.59	0	0	0	0
42	1.63	0	0	0	0
43	1.67	0	0	0	0
44	1.71	0	0	0	0
45	1.75	0	0	0	0
46	1.79	0	0	0	0
47	1.83	0	0	0	0
48	1.87	0	0	0	0
49	1.91	0	0	0	0
50	1.95	0	0	0	0
51	1.99	0	0	0	0



### 13. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Pitch Maksimum

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.8E-156	2.8E-156	2.8E-156	2.9013E-156
7	0.23	3.68E-72	3.68E-72	3.7E-72	3.73231E-72
8	0.27	7.35E-38	7.35E-38	7.35E-38	7.35363E-38
9	0.31	5.37E-22	5.37E-22	5.28E-22	5.28227E-22
10	0.35	4.57E-14	4.57E-14	4.57E-14	4.56725E-14
11	0.39	6.3E-10	6.3E-10	6.3E-10	6.29525E-10
12	0.43	7.76E-08	7.76E-08	7.76E-08	7.76386E-08
13	0.47	2.73E-07	2.73E-07	2.73E-07	3.56074E-07
14	0.51	3.58E-06	3.58E-06	4.53E-06	4.53208E-06
15	0.55	3.84E-06	5.99E-06	5.99E-06	5.99493E-06
16	0.59	9.66E-06	1.51E-05	1.51E-05	2.17299E-05
17	0.63	5.35E-05	6.99E-05	6.99E-05	6.99075E-05
18	0.67	0.000243	0.000243	0.000243	0.00028536
19	0.71	0.000769	0.000769	0.000769	0.000862493
20	0.75	0.002085	0.002279	0.002279	0.002278961
21	0.79	0.003805	0.003805	0.004092	0.004092012
22	0.83	0.004413	0.004413	0.004413	0.004413191
23	0.87	0.003659	0.003659	0.003659	0.003659267
24	0.91	0.003064	0.003064	0.003064	0.00306393
25	0.95	0.002675	0.002675	0.002675	0.002542944
26	0.99	0.002384	0.002384	0.002384	0.002384378
27	1.03	0.002287	0.002182	0.002182	0.002181575
28	1.07	0.002097	0.002002	0.002002	0.001910298
29	1.11	0.001918	0.001833	0.001833	0.001750856
30	1.15	0.001749	0.001749	0.001674	0.001600668
31	1.19	0.001594	0.001594	0.001527	0.001461071
32	1.23	0.001575	0.001512	0.001451	0.001391268
33	1.27	0.001546	0.001488	0.001431	0.001375643
34	1.31	0.001564	0.00151	0.001456	0.001352205
35	1.35	0.001674	0.001621	0.00157	0.001419009
36	1.39	0.002028	0.00192	0.001815	0.001613122
37	1.43	0.002698	0.002523	0.002354	0.002084921
38	1.47	0.004205	0.003999	0.003602	0.003046763
39	1.51	0.007161	0.006824	0.006254	0.00526133
40	1.55	0.005609	0.005824	0.006191	0.006724103
41	1.59	0.001876	0.001994	0.002198	0.002729319
42	1.63	0.00066	0.000682	0.000749	0.000893932
43	1.67	0.000266	0.000279	0.000292	0.000334475
44	1.71	0.000119	0.000127	0.000127	0.000144593
45	1.75	5.57E-05	5.57E-05	6.12E-05	6.68696E-05
46	1.79	2.22E-05	2.22E-05	2.22E-05	2.55144E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	1.63E-06	1.63093E-06
48	1.87	1.8E-05	1.8E-05	1.8E-05	2.06571E-05
49	1.91	1.4E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.40019E-05
50	1.95	7.49E-06	7.49E-06	7.49E-06	9.06388E-06
51	1.99	5.5E-06	5.5E-06	5.5E-06	5.49586E-06

**14. SPAR Tipe 4 Variasi Persentase Ballast Nilai Spektra Respon Roll Maksimum**

No.	Frekuensi	R.S. 0 %	R.S. 25 %	R.S. 50 %	R.S. 100 %
1	0.01	0	0	0	0
2	0.03	0	0	0	0
3	0.07	0	0	0	0
4	0.11	0	0	0	0
5	0.15	0	0	0	0
6	0.19	2.8E-156	2.8E-156	2.8E-156	2.8834E-156
7	0.23	3.65E-72	3.68E-72	3.7E-72	3.73231E-72
8	0.27	7.35E-38	7.35E-38	7.35E-38	7.35363E-38
9	0.31	5.28E-22	5.28E-22	5.28E-22	5.28227E-22
10	0.35	4.57E-14	4.57E-14	4.57E-14	4.56725E-14
11	0.39	6.3E-10	6.3E-10	6.3E-10	6.29525E-10
12	0.43	7.13E-08	7.13E-08	7.13E-08	7.76386E-08
13	0.47	2E-07	2E-07	2E-07	2.72619E-07
14	0.51	2.74E-06	2.74E-06	3.58E-06	3.5809E-06
15	0.55	2.16E-06	2.16E-06	3.84E-06	3.83676E-06
16	0.59	5.43E-06	5.43E-06	9.66E-06	9.65774E-06
17	0.63	3.93E-05	3.93E-05	5.35E-05	5.35229E-05
18	0.67	0.000169	0.000204	0.000204	0.000243147
19	0.71	0.000681	0.000681	0.000681	0.000769322
20	0.75	0.0019	0.0019	0.0019	0.002085098
21	0.79	0.003528	0.003528	0.003528	0.003804945
22	0.83	0.004142	0.004142	0.004142	0.004141676
23	0.87	0.003453	0.003453	0.003453	0.003453153
24	0.91	0.002905	0.002905	0.002905	0.002904793
25	0.95	0.002543	0.002543	0.002543	0.002542944
26	0.99	0.002384	0.002384	0.002269	0.002269485
27	1.03	0.002182	0.002182	0.002182	0.002078928
28	1.07	0.002002	0.002002	0.002002	0.001910298
29	1.11	0.001833	0.001833	0.001751	0.001750856
30	1.15	0.001674	0.001674	0.001674	0.001600668
31	1.19	0.001594	0.001594	0.001527	0.001461071
32	1.23	0.001512	0.001512	0.001451	0.001391268
33	1.27	0.001488	0.001488	0.001431	0.001321168
34	1.31	0.001564	0.00151	0.001456	0.001352205
35	1.35	0.001674	0.001621	0.001519	0.001419009
36	1.39	0.001973	0.001867	0.001763	0.001613122
37	1.43	0.00258	0.002466	0.002299	0.002033123
38	1.47	0.004067	0.003798	0.003475	0.002929591
39	1.51	0.006992	0.006577	0.006096	0.005044391
40	1.55	0.005752	0.006043	0.006341	0.006724103
41	1.59	0.001954	0.002074	0.002283	0.002871079
42	1.63	0.000682	0.000704	0.000772	0.000919291
43	1.67	0.000279	0.000279	0.000306	0.000349175
44	1.71	0.000127	0.000127	0.000136	0.000144593
45	1.75	5.57E-05	5.57E-05	6.12E-05	6.68696E-05
46	1.79	2.22E-05	2.22E-05	2.22E-05	2.55144E-05
47	1.83	9.17E-07	9.17E-07	9.17E-07	1.63093E-06
48	1.87	2.07E-05	2.07E-05	2.07E-05	2.06571E-05
49	1.91	1.4E-05	1.4E-05	1.4E-05	1.40019E-05
50	1.95	7.49E-06	9.06E-06	9.06E-06	9.06388E-06
51	1.99	5.5E-06	5.5E-06	5.5E-06	5.49586E-06

## LAMPIRAN K

### Posisi GM dan KM pada tiap masing-masing variasi SPAR

#### TINGGI METASENTER MASING-MASING VARIASI SPAR

No.	Tipe SPAR	GM	KM
1	SPAR TIPE 1	15.405	99.212
2	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 0%	8.73	89.13
3	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 25%	10.454	89.131
4	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 50%	12.245	89.132
5	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 100%	15.07	89.131
6	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 0%	7.158	84.296
7	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 25%	9.537	84.296
8	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 50%	11.908	84.296
9	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 100%	16.092	84.296
10	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 0%	2.666	79.643
11	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 25%	5.769	79.646
12	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 50%	8.776	79.643
13	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 100%	13.968	79.645

#### GM SPAR DENGAN VARIASI MULTI KOLOM MODE GERAKAN PITCH MAKSIMUM PADA KONDISI FREE FLOATING

No.	Tipe SPAR	GM	pitch maksimum	GZ
1	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 0%	8.73	20.066	2.995
2	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 25%	10.454	1.192	0.217
3	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 50%	12.245	0.752	0.161
4	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 100%	15.07	1.968	0.518
5	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 0%	7.158	0.705	0.088
6	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 25%	9.537	10.696	1.770
7	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 50%	11.908	0.829	0.172
8	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 100%	16.092	2.231	0.626
9	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 0%	2.666	0.335	0.016
10	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 25%	5.769	0.357	0.036
11	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 50%	8.776	2.188	0.335
12	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 100%	13.968	0.95	0.232

#### GM SPAR DENGAN VARIASI MULTI KOLOM MODE GERAKAN ROLL MAKSIMUM PADA KONDISI FREE FLOATING

No.	Tipe SPAR	GM	roll maksimum	GZ
1	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 0%	8.73	1.559	0.238
2	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 25%	10.454	3.403	0.621
3	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 50%	12.245	0.941	0.201
4	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 100%	15.07	1.113	0.293
5	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 0%	7.158	0.715	0.089
6	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 25%	9.537	8.369	1.388
7	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 50%	11.908	0.818	0.170
8	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 100%	16.092	2.292	0.644
9	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 0%	2.666	0.342	0.016
10	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 25%	5.769	0.362	0.036
11	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 50%	8.776	2.361	0.362
12	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 100%	13.968	0.971	0.237

**GM SPAR DENGAN VARIASI MULTI KOLOM MODE GERAKAN PITCH  
MAKSIMUM PADA KONDISI TERTAMBAT**

No.	Tipe SPAR	GM	pitch maksimum	GZ
1	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 0%	8.73	0.325	0.050
2	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 25%	10.454	0.326	0.059
3	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 50%	12.245	0.328	0.070
4	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 100%	15.07	0.331	0.087
5	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 0%	7.158	0.35	0.044
6	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 25%	9.537	0.353	0.059
7	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 50%	11.908	0.355	0.074
8	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 100%	16.092	0.359	0.101
9	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 0%	2.666	0.345	0.016
10	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 25%	5.769	0.348	0.035
11	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 50%	8.776	0.351	0.054
12	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 100%	13.968	0.356	0.087

**GM SPAR DENGAN VARIASI MULTI KOLOM MODE GERAKAN ROLL  
MAKSIMUM PADA KONDISI TERTAMBAT**

No.	Tipe SPAR	GM	roll maksimum	GZ
1	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 0%	8.73	0.364	0.055
2	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 25%	10.454	0.366	0.067
3	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 50%	12.245	0.368	0.079
4	SPAR TIPE 2 BALLAST MC 100%	15.07	0.372	0.098
5	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 0%	7.158	0.349	0.044
6	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 25%	9.537	0.352	0.059
7	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 50%	11.908	0.354	0.074
8	SPAR TIPE 3 BALLAST MC 100%	16.092	0.358	0.101
9	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 0%	2.666	0.344	0.016
10	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 25%	5.769	0.347	0.035
11	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 50%	8.776	0.349	0.053
12	SPAR TIPE 4 BALLAST MC 100%	13.968	0.354	0.086

## BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Agus Madatama Puja merupakan anak dari dua bersaudara yang lahir pada 3 Agustus 1995. Penulis sendiri berdomisili di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur dengan riwayat pendidikan terakhir di SMA Negeri 1 Lumajang, Jawa Timur. Riwayat penulis selama kuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya adalah pernah menjadi Duta Kader Anti Narkoba BNN-ITS pada tahun 2014 dan kemudian disusul menjadi Wakil Komandan KSR PMI ITS periode 2015/2016.

Penulis juga pernah diberikan amanah sebagai Kepala Divisi Media dan Jaringan Lembaga Dakwah Jurusan Bahrul ‘Ilmi Departemen Teknik Kelautan ITS Periode 2015/2016. Penulis sendiri sangat tertarik dengan bidang ilmu Hidrodinamika Lepas Pantai beserta Analisa Respon Gerakan dari suatu bangunan apung seperti pada tugas akhir yang disusun oleh penulis.

Penulis sendiri dapat dihubungi pada alamat email [agusmadatamapuja@gmail.com](mailto:agusmadatamapuja@gmail.com) serta bisa dihubungi lewat LinkedIn dengan nama akun Agus Madatama Puja,