



TUGAS AKHIR - MO091336

ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* PADA SAMBUNGAN  
PONTON DAN KOLOM *SEMI-SUBMERSIBLE* ESSAR  
WILDCAT TERHADAP BEBAN EKSTREM

TITO FIRMANTARA

NRP. 4309 100 088

Dosen Pembimbing:

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



FINAL PROJECT - MO091336

ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS IN PONTOON JOINT  
AND COLUMN OF ESSAR WILDCAT SEMI-SUBMERSIBLE  
TO EXTREME LOADS

TITO FIRMANTARA

REG. 4309 100 088

Supervisors:

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D.

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2014

# ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* PADA SAMBUNGAN PONTON DAN KOLOM *SEMI-SUBMERSIBLE* ESSAR WILDCAT TERHADAP BEBAN EKSTREM

Nama Mahasiswa : Tito Firmantara  
NRP : 4309 100 088  
Jurusan : Teknik Kelautan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc  
Ir. Handyanu, M.Sc. Ph.D.

## ABSTRAK

Pada perkembangan dunia saat ini energi minyak dan gas menjadi salah satu andalan utama perekonomian suatu negara. Migas diperoleh dari hasil pengeboran masuk perut bumi menggunakan teknologi yang canggih. Kandungan minyak dan gas bumi yang relatif terbatas di laut dalam, membuat operabilitas suatu struktur terpancang menjadi tidak ekonomis apabila dibandingkan dengan struktur terapung yang dapat dengan mudah dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain. *Semi-submersible* merupakan suatu *floating body* yang berbentuk lain dari pada kapal-kapal konvensional biasa. Bangunan ini mempunyai platform atau geladak dengan berbagai konfigurasi, seperti bentuk empat persegi panjang, segitiga atau segi banyak. Pada bangunan lepas pantai baik yang terpancang maupun yang terapung, analisis *ultimate strength* penting untuk dipertimbangkan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis *ultimate strength* pada struktur *semi-submersible* terutama pada sambungan ponton dan kolom dengan menaikkan tinggi gelombang signifikan pada kondisi ekstrem perairan Natuna hingga struktur mengalami kegagalan. Dengan menggunakan baja A36, hasil yang didapat menunjukkan bahwa struktur mengalami kegagalan pada saat menaikkan 4,6 kali tinggi gelombang signifikan kondisi ekstrem. Tegangan maksimal yang dihasilkan adalah sebesar 471,32 Mpa pada daerah sambungan ponton dan kolom. Dengan demikian tegangan yang dihasilkan melebihi tegangan *ultimate* material 460 Mpa dan dikatakan struktur mengalami kegagalan *ultimate*.

**Kata kunci** : analisis *ultimate*, *semi-submersible*, sambungan ponton dan kolom, kondisi ekstrem

# ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS IN PONTOON JOINT AND COLUMN OF ESSAR WILDCAT SEMI-SUBMERSIBLE TO EXTREME LOADS

Name : Tito Firmantara  
Reg : 4309 100 088  
Department : Ocean Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc  
Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

## ABSTRACT

In the development of the world recently. Oil and gas become one of primary resources of economics matter in many states. Oil and gas are extracted from drilling process by using sophisticated technologies. Oil and gas inside the earth are relatively limited in deep seas, making the operability of a fixed structure become less economical compare to floating structure which is easy to be relocated from one to another. Semi-submersible is a floating body which is different from another conventional ships. This structure has platform or deck with several configurations, such as foursquare, triangles and many angles. In this offshore structure both fixed and floating, ultimate strength analysis is important to be considered. In this research, Ultimate strength analysis of semi-submersible structure specifically in pontoon joint and column by raising H-significant in extreme condition of natuna sea up to structure failure was done. By using A36 steel, the result shows the structure failure accured when H-significan was raised 4,6 times in extreme condition. Maximum stress is 472.32 Mpa in pontoon joint and column area. In summary, stress obtained in A36 steel which exceeds the ultimate strength is 460 Mpa and ultimate failure occured.

**Keywords** : analysis ultimate, semi-submersible, pontoon joint and column, extreme condition

**ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* PADA SAMBUNGAN  
PONTON DAN KOLOM *SEMI-SUBMERSIBLE* ESSAR  
WILDCAT TERHADAP BEBAN EKSTREM**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**TITO FIRMANTARA**

NRP. 4309 100 088

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc. .... (Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D. .... (Pembimbing 2)



SURABAYA, AGUSTUS 2014

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.,*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas Rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul **“ANALISIS *ULTIMATE STRENGTH* PADA SAMBUNGAN PONTON DAN KOLOM *SEMI-SUBMERSIBLE* ESSAR WILDCAT TERHADAP BEBAN EKSTREM”**.

Laporan ini dibuat untuk mendeskripsikan seluruh analisis yang telah penulis lakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini mengkaji kekuatan *ultimate strength* pada sambungan ponton dan kolom *semi-submersible* Essar Wildcat di Perairan Natuna.

Dalam pembuatan laporan ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun, penulis menyadari bahwa pada laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan laporan ini kedepannya. Semoga hasil yang dicapai penulis dapat berguna bagi penulis sendiri, untuk pembaca pada umumnya, dan terutama untuk negeriku tercinta, Indonesia.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Surabaya, Agustus 2014

Tito Firmantara

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas Berkat dan Rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya atas bimbingan dan bantuan baik berupa materi maupun doa, baik secara langsung maupun tidak langsung, kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta atas segala kasih sayang dan pengorbanannya.
2. Dosen pembimbing pertama saya, Ir. Imam Rochani, M.Sc, untuk kesediaannya membimbing saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dosen pembimbing kedua saya, Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D, untuk kesediaannya membimbing saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh jajaran petinggi dan staf PT. GLOBAL MARITIME, yang telah membantu dalam hal pengumpulan data.
5. Teman-teman angkatan 2009 Teknik Kelautan ITS, yang telah bersama-sama berjuang dalam menempuh jenjang pendidikan ini.
6. Teman-teman tus brother telah bersama-sama berjuang dalam menempuh jenjang pendidikan ini.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS.
8. Pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
9. Y

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang baik dari Allah SWT dan menjadi bekal di masa depan bagi penulis.

Penulis

Tito Firmantara

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>COVER .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 <i>Semi-submersible</i> .....	6
2.2.2 Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang .....	8
2.2.3 Konsep Pembebanan.....	9
2.2.3.1 Beban Angin.....	9
2.2.3.2 Beban Arus.....	9
2.2.3.3 Gaya Gelombang.....	10
2.2.4 Spektrum Energi Gelombang .....	12
2.2.5 Response Amplitudo Operator (RAO).....	13



2.2.6 Respon Struktur .....	14
2.2.7 Tegangan (Stress) .....	15
2.2.7.1 Tegangan Normal.....	15
2.2.7.2 Tegangan Geser.....	16
2.2.8 <i>Ultimate Strength</i> .....	17
2.2.9 Analisis Batas Tegangan <i>Ultimate</i> .....	19
2.2.10 Ansys .....	21
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1 Skema Diagram Alir.....	23
3.2 Pengumpulan Data .....	25
3.2.1 Data Struktur.....	25
3.2.2 Data Lingkungan .....	28
3.3 Pemodelan Struktur dan Validasi Model.....	29
3.4 Analisis Respon Struktur Oleh Gelombang. ....	34
3.5 Analisis Tegangan. ....	35
3.6 Analisis <i>Ultimate Strength</i> .....	36
3.7 Penyimpulan dan Penyusunan Laporan .....	37
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>39</b>
4.1 Analisis Respon Struktur Terhadap Gelombang Acak.....	39
4.1.1 Analisis Spektra Gelombang .....	40
4.1.2 Analisis Perilaku Gerak Semi-Submersible Pada Gelombang Reguler	42
4.1.3 Analisis Respon Struktur .....	58
4.2 Perhitngan Gaya yang Bekerja .....	65
4.3 Analisis <i>Ultimate Strength</i> .....	68
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>73</b>
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran.....	74
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIODATA PENULIS</b>	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Amplitudo dan tinggi gelombang pada spektrum .....	12
<b>Tabel 2.4</b> ABS (2005) <i>basic utilization factor</i> .....	20
<b>Tabel 3.1</b> Ukuran utama dari Essar Wildcat (PT.GM, 2012).....	25
<b>Tabel 3.2</b> Properti sistem tambat dari <i>semi-submersible</i> (PT.GM, 2012).....	26
<b>Tabel 3.3</b> <i>Wave scatter diagram, Belanak Field, Natuna</i> (PT.GM, 2012).....	28
<b>Tabel 3.4</b> Validasi model .....	33
<b>Tabel 4.1</b> <i>Wave scatter diagram, Belanak Field, Natuna</i> .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Perhitungan spektrum JONSWAP .....	41
<b>Tabel 4.3</b> Beban kolom .....	65
<b>Tabel 4.4</b> Percepatan struktur akibat beban lingkungan ekstrem .....	66
<b>Tabel 4.5</b> Gaya inersia untuk gerakan translasional.....	66
<b>Tabel 4.6</b> Momen untuk gerakan rotasional .....	68
<b>Tabel 4.7</b> Mesh sensitivity analysis.....	69
<b>Tabel 4.8</b> Tegangan maksimum yang terjadi dengan menaikkan tinggi gelombang.....	70

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.1</b> <i>Semi-submersible</i> Drilling Rig (API-RP2P, 2001).....	2
<b>Gambar 2.1</b> Desain konfigurasi <i>semi-submersible</i> (ABS MODU, 2012) .....	7
<b>Gambar 2.2</b> Gerak 6 SDOF <i>semi-submersible</i> .....	8
<b>Gambar 2.3</b> Tegangan normal dan geser yang bekerja pada suatu benda dengan luas A.....	16
<b>Gambar 2.4</b> Kurva Stress-Strain untuk specimen tarik dari structural steel.....	18
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir tugas akhir .....	25
<b>Gambar 3.2</b> <i>General Arrangement</i> tampak depan (PT. GM, 2012).....	26
<b>Gambar 3.3</b> <i>General Arrangement</i> tampak atas (PT. GM, 2012) .....	27
<b>Gambar 3.4</b> Perencanaan sistem tambat (PT.GM, 2012) .....	27
<b>Gambar 3.5</b> Arah pembebanan lingkungan pada struktur <i>semi-submersible</i> .....	29
<b>Gambar 3.6</b> Pemodelan struktur <i>semi-submersible</i> pada MAXSURF .....	31
<b>Gambar 3.7</b> Pemodelan struktur <i>semi-submersible</i> pada ANSYS .....	32
<b>Gambar 3.8</b> Transfer struktur <i>semi-submersible</i> pada ANSYS AQWA .....	33
<b>Gambar 3.9</b> Pemodelan mooring <i>semi-submersible</i> pada ANSYS AQWA.....	35
<b>Gambar 3.10</b> Pemodelan lokal sambungan ponton dan kolom pada ANSYS .....	36
<b>Gambar 4.1</b> Spektrum JONSWAP perairan Natuna.....	42
<b>Gambar 4.2</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>surge</i> . .....	44
<b>Gambar 4.3</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>sway</i> . .....	47
<b>Gambar 4.4</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>heave</i> . .....	49
<b>Gambar 4.5</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>roll</i> . .....	52
<b>Gambar 4.6</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>pitch</i> . .....	54
<b>Gambar 4.7</b> RAO <i>semi-submersible</i> gerakan <i>yaw</i> .....	57
<b>Gambar 4.8</b> Langkah perhitungan respon struktur. ....	58
<b>Gambar 4.9</b> Respon struktur <i>semi-submersible</i> Essar Wildcat pada kondisi ekstrem 100 tahunan perairan Natuna.....	64
<b>Gambar 4.10</b> Posisi sambungan ponton dan kolom dari CG <i>semi-submersible</i> ...67	
<b>Gambar 4.11</b> Meshing sambungan ponton dan kolom.....	69

<b>Gambar 4.12</b> Struktur sambungan ponton dan kolom.....	71
<b>Gambar 4.13</b> Lokasi terjadinya tegangan maksimum pada saat struktur mengalami <i>ultimate</i> .....	71
<b>Gambar 4.14</b> Lokasi terjadinya <i>deformasi plastis</i> pada sambungan ponton dan kolom. ....	72

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

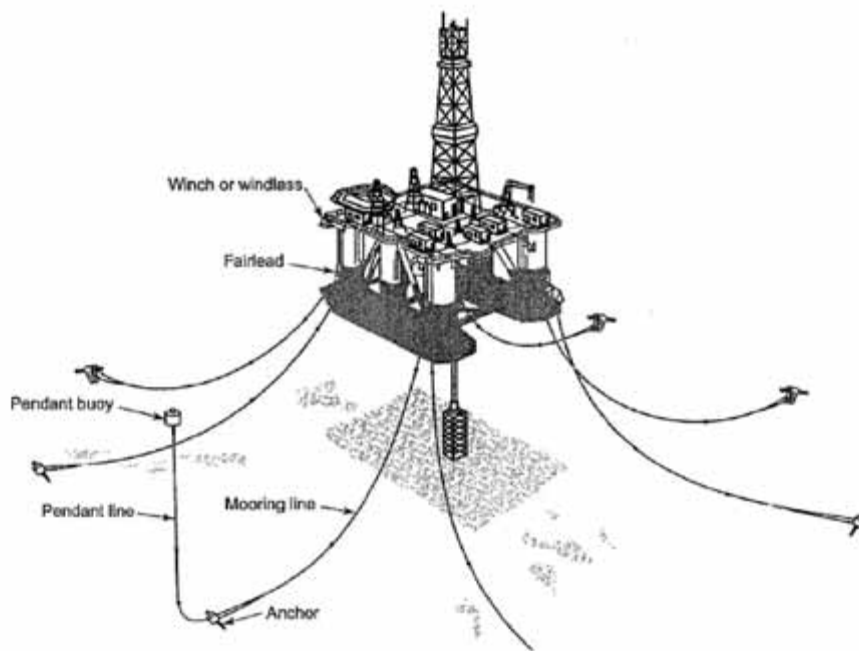
Pada perkembangan dunia saat ini energi minyak dan gas menjadi salah satu andalan utama perekonomian suatu negara. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan minyak dan gas mengalami peningkatan. Namun cadangan yang tersedia semakin hari semakin berkurang sehingga perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan produksi minyak dan gas, sehingga perlu upaya untuk meningkatkan produksi minyak dan gas, sehingga perlu upaya untuk menemukan cadangan-cadangan baru dan peningkatan produksi.

Migas diperoleh dari hasil pengeboran masuk ke perut bumi menggunakan teknologi yang canggih. Pengeboran dapat dilakukan di daratan maupun di laut. Walaupun untuk pengeboran di laut hanya sebatas di laut dangkal. Dengan bertambahnya konsumsi gas yang semakin bertambah maka perlu dilakukannya inovasi baru yaitu dengan beralih pada pengeboran di laut dalam. Oleh karena itu diperlukan teknologi yang memadai untuk melakukannya.

Kandungan minyak dan gas bumi yang relatif terbatas di laut dalam, membuat operabilitas suatu struktur terpancang menjadi tidak ekonomis apabila dibandingkan dengan struktur terapung yang dapat dengan mudah dipindahkan dari satu lokasi ke lokasi lain. Oleh sebab itu, struktur terapung mempunyai peranan penting dalam eksploitasi ladang minyak di perairan dalam. Struktur terapung juga menjadi suatu pilihan alternatif yang banyak dipakai daripada struktur terpancang (Mahdarezza,2010)

Anjungan berfungsi sebagai sarana utama dalam kegiatan pengeboran (*drilling*), produksi (*production*) dan akomodasi (*acomodation*) dalam lingkup industri lepas pantai khususnya industri eksplorasi hidrokarbon. Menurut jenis strukturnya anjungan dibagi dalam tiga kelompok yaitu, struktur terpancang (*fixed structure*), struktur terapung (*floating structure*) dan struktur lentur (*compliant structure*).

*Semi-submersible* merupakan suatu *floating body* yang berbentuk lain dari pada kapal-kapal konvensional biasa. Bangunan ini mempunyai *platform* atau geladak dengan berbagai konfigurasi, seperti bentuk empat persegi panjang, segi tiga atau segi banyak. Dimana platform tersebut disangga oleh columns yang menghubungkan platform dengan under displacement members berada jauh di bawah permukaan air laut atau di bawah wave action, stability dari structure cukup di jamin oleh vertical columns. Bracings dipasang sebagai penguat bangunan, karena menghubungkan antara columns dengan columns, columns dengan sisi-sisi yang lain dan juga antara columns dengan geladak.



Gambar 1.1 *Semi-submersible* Drilling Rig (API-RP2P, 2001)

Pada bangunan lepas pantai baik yang terpancang maupun yang terapung, analisis *ultimate strength* penting untuk dipertimbangkan. Struktur akan mengalami *plastis collapse* jika mendapatkan beban ekstrem. Salah satu penyebab terjadinya *ultimate strength failure* pada suatu struktur umumnya disebabkan oleh beban ekstrem dan/atau kurangnya daya tahan struktur terhadap degradasi material.

Untuk itu, perlu suatu pertimbangan jangka panjang untuk mengantisipasi adanya degradasi material ketika mendesain sebuah struktur.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana respon struktur *semi-submersible* terhadap gelombang acak pada kondisi ekstrem?
2. Bagaimana tegangan yang terjadi pada sambungan ponton dan kolom *semi-submersible*?
3. Berapa nilai batas tinggi gelombang ekstrem terhadap kekuatan *ultimate* pada sambungan ponton dan kolom *semi-submersible* dengan memperhatikan ABS(2005) *basic utilization factor*?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui respon struktur *semi-submersible* terhadap gelombang acak pada kondisi ekstrem.
2. Mengetahui tegangan yang terjadi pada sambungan ponton dan kolom *semi-submersible*.
3. Mengetahui nilai batas tinggi gelombang ekstrem terhadap kekuatan *ultimate* struktur *semi-Submersible* dengan memperhatikan ABS(2005) *basic utilization factor*.

## **1.4 Manfaat**

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pemahaman mengenai respon struktur *semi-submersible* terhadap gelombang acak pada kondisi ekstrem.
2. Memberikan pemahaman prosedur dan analisis tegangan yang terjadi pada sambungan ponton dan kolom *semi-submersible*.

3. Mengetahui nilai batas tinggi gelombang terhadap kekuatan ultimate struktur *semi-submersible* dengan memperhatikan ABS(2005) *basic utilization factor*.

### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan-batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang digunakan adalah *semi-submersible* Essar Wildcat
2. Semua peralatan dan perlengkapan dan deck tidak dimodelkan
3. Beban lingkungan yang ditinjau pada kondisi 100 tahunan.
4. Riser tidak dimodelkan.
5. Prediksi gerakan pada gelombang acak dilakukan dengan menerapkan analisis spektra dengan menggunakan formulasi spektra JONSWAP ( $\gamma = 2.5$ )
6. Daerah operasi *semi-submersible* ditetapkan di laut Natuna
7. Arah pembebanan yang ( $0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ, 90^\circ, 112,5^\circ, 135^\circ, 157,5^\circ, 180^\circ, 202,5^\circ, 225^\circ, 247,5^\circ, 270^\circ, 292,5^\circ, 315^\circ, 337,5^\circ, 360^\circ$ )
8. Beban *hidrodinamis* tidak diperhitungkan dalam analisa detail.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Soedjono (1998) menyebutkan bahwa secara garis besar konstruksi anjungan lepas pantai dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) golongan utama, yaitu :

1. Anjungan terapung (*Mobile Offshore Drilling Unit (MODU)* atau (*Floating Production Platform*) seperti *semi-submersible*, *drill ship*, dan *Mooring Storage Tanker*.
2. Anjungan terpancang (*Fixed Offshore Platform*), seperti: *jacket platform*, *concrete*, *gravity*, dan *tripod*.
3. Anjungan struktur lentur (*Compalint Platform*), seperti: *articulated tower* dan *guyed tower*

Paik (2007) menyebutkan bahwa pendekatan *limit state* lebih baik dalam segi *design* dan perhitungan kekuatan untuk berbagai tipe struktur dibandingkan pendekatan tegangan ijin yang bekerja karena tidak mungkin menghitung *margin* keamanan yang sesungguhnya dari struktur jika *limit state* tidak diketahui. Selama beberapa tahun terakhir, beberapa metode untuk perhitungan *limit state* dari *marine structures* dikembangkan dalam berbagai literatur. Dengan pendekatan *ultimate*, maka dapat diketahui kapasitas sisa beban yang dapat dibawa dari suatu struktur untuk tetap menjaga struktur dalam level aman.

Seperti yang dituliskan Amlashi dan Moan (2009) dalam Adnyani (2011), bahwa dalam upaya untuk membatasi ketidakpastian dan mengurangi sifat konservatif dalam desain, maka diperlukan suatu analisis kekuatan *ultimate*.

Yongbai (2003) menguraikan tentang kekuatan *ultimate* dari pelat dan pelat berpenegar seperti pada *hull girder* kapal, *pontoon semi-submersible*, dan *deck* dari *offshore platform*. Faktor yang mempengaruhi perilaku pelat berpenegar adalah kelangsingan, jarak, geometri pelat dan tegangan *yield* material. Beberapa

*rules* yang ada mulai menggunakan pendekatan kekuatan *ultimate* untuk melakukan suatu analisis.

Amlashi dan Moan (2009) dalam Adnyani (2011) yang membahas tentang kekuatan *ultimate* dari *hull girder* pada *Bulk Carrier Panamax* menggunakan *rules* baru untuk *bulk carrier* yaitu CSR-BC (*Common Structural Rules for Bulk Carrier*) dan DNV. Dimana kedua *rules* tersebut memiliki perbedaan dalam menghitung tekanan yang berakibat pada perbedaan distribusi tegangan.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1. *Semi-submersible*

Sebuah struktur *semi-submersible* tersusun dari sebuah dek, sejumlah kolom dan ponton. Struktur ini adalah struktur yang “*column stabilized*”, yang berarti bahwa titik pusat gravitasi (*centre of gravity*) berada di atas titik pusat pengapungan (*centre of buoyancy*), dan stabilitasnya ditentukan oleh momen pengembali dari kolom-kolom *semi-submersible* tersebut.

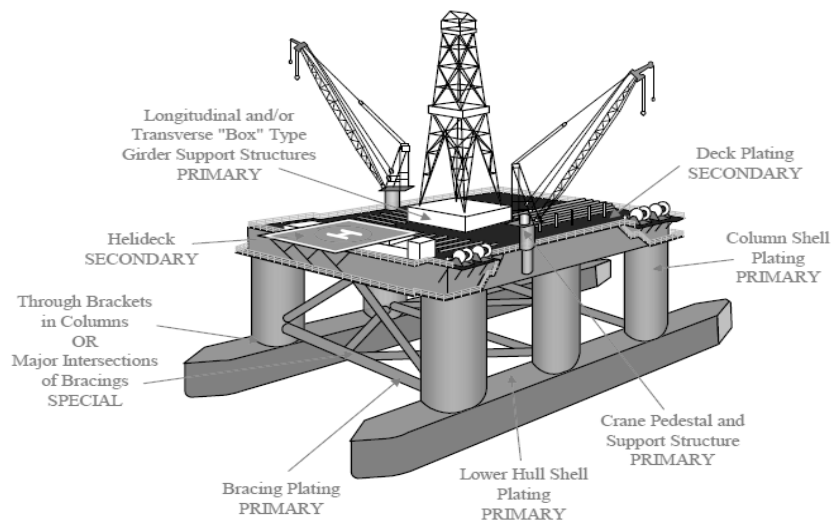
Dalam mendesain sebuah *semi-submersible* dan konfigurasi nya, prinsip yang jelas mengenai fungsi yang harus dijalankannya harus sudah diketahui. Hal ini akan sangat mempengaruhi pemilihan konfigurasi *semi-submersible* tersebut. Di samping pengeboran, fungsi-fungsi ini dapat mencakup produksi, angkat berat, akomodasi, pendukung operasional, dan fungsi lainnya.

Di samping fungsi utama dan fungsi pendukungnya, dapat dikatakan bahwa ada dua fungsi esensial dari sebuah *semi-submersible*, yaitu:

- Untuk menopang seluruh beban muatan pada kondisi gelombang tertinggi
- Untuk seminimal mungkin merespon beban gelombang

Berikut adalah empat komponen utama dari sebuah *semi-submersible*:

- Ponton
- Kolom
- Dek
- *Space frame bracing*



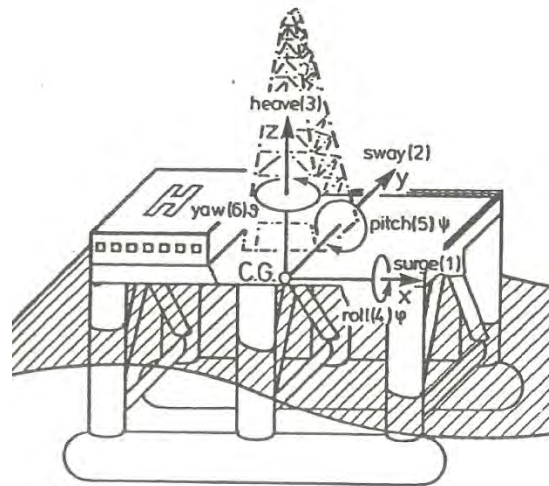
**Gambar 2.1.** Desain konfigurasi *semi-submersible* (ABS MODU, 2012)

Sebenarnya, semua *semi-submersible* memiliki paling sedikit dua kondisi pengapungan: setengah tenggelam atau *semi-submerged* (mengapung dengan kolomnya) dan mengapung dengan pontonnya. Ponton ini merupakan sumber utama pengapungan sebuah *semi-submersible* ketika tidak dalam kondisi setengah tenggelam. Sedangkan, kolom merupakan elemen utama pengapungan dan stabilitas ketika setengah tenggelam (*semi-submerged*).

Walaupun kolom-kolom ini dapat berfungsi secara struktural, kekuatan struktur bukanlah fungsi utama dari kolom-kolom tersebut. Penting untuk diketahui, bahwa ponton dari *semi-submersible* ini diisi sebagian besar dengan *ballast* ketika pada kondisi setengah tenggelam (*semi-submerged*). Selain itu, ukuran dari struktur *semi-submersible* yang terendam, proporsi dan jarak antar kolom dan pontoon adalah merupakan faktor utama dari performa hidrodinamis dari *semi-submersible*.

### 2.2.2. Gerakan Struktur Bangunan Apung Akibat Eksitasi Gelombang

Setiap struktur apung yang bergerak di atas permukaan laut selalu mengalami gerakan osilasi. Gerakan osilasi ini terdiri enam macam gerakan dengan tiga gerakan lateral dan tiga gerakan rotasional dalam tiga arah. Macam-macam gerakan ini meliputi:



**Gambar 2.2.** Gerak 6 SDOF *semi-submersible*

Surging	: Gerak osilasi lateral pada sumbu-x
Swaying	: Gerak osilasi lateral terhadap sumbu-y
Heaving	: Gerak osilasi lateral terhadap sumbu-z
Rolling	: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-x
Pitching	: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-y
Yawing	: Gerak osilasi rotasional terhadap sumbu-z

Hanya tiga macam gerakan yang merupakan gerakan osilasi murni yaitu heaving, rolling, dan pitching, karena gerakan ini bekerja di bawah gaya atau momen pengembali ketika struktur tersebut dari posisi kesetimbangannya. Untuk gerakan, surging, swaying, dan yawing, struktur tidak kembali menuju posisi kesetimbangannya semula, kecuali terdapat gaya atau momen pengembali yang menyebabkannya bekerja dalam arah berlawanan.

### **2.2.3. Konsep Pembebanan**

Dalam proses perancangan struktur lepas pantai (offshore structure), penentuan kemampuan kerja struktur dipengaruhi oleh beban yang bekerja pada struktur tersebut. Perancang harus menentukan akurasi beban yang akan dipakai dalam perancangan offshore structure terlebih dahulu. Beban-beban yang harus dipertimbangkan oleh perancang dalam perancangan offshore structure adalah sebagai berikut :

#### **2.2.3.1. Beban Angin**

Beban angin merupakan beban dinamis, namun beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan sebuah offshore structure pada umumnya, perhitungan beban angin diisyaratkan untuk didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrim dengan pengulangan 50 atau 100 tahun.

#### **2.2.3.2. Beban Arus**

Beban arus merupakan salah satu beban lingkungan yang memberikan gaya terhadap offshore structure. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi non-linear. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama tetapi dalam fungsi linear.

### 2.2.3.3. Gaya Gelombang

Syarat pemilihan teori untuk perhitungan gaya gelombang didasarkan pada perbandingan antara diameter struktur ( $D$ ) dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebagai berikut:

$D/\lambda > 1$  = gelombang mendekati pemantulan murni, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda > 0.2$  = difraksi gelombang perlu diperhitungkan, persamaan morison tidak valid

$D/\lambda < 0.2$  = persamaan morison valid

Berikut adalah teori yang digunakan pada perhitungan gaya gelombang (Indiyono, 2003), yaitu:

a) Teori Morison

Persamaan morison mengasumsikan bahwa gelombang terdiri dari komponen gaya inersia dan drag force (hambatan) yang dijumlahkan secara linier. Persamaan morison lebih tepat diterapkan pada kasus struktur dimana gaya hambatan merupakan komponen yang dominan. Hal ini biasanya dijumpai pada struktur yang ukurannya ( $D$ ) relatif kecil dibandingkan dengan panjang gelombangnya ( $\lambda$ ).

b) Teori Froude-Krylov

Froude-Krylov digunakan bilamana gaya hambatan relatif kecil dan gaya inersia dianggap lebih berpengaruh, dimana struktur dianggap kecil. Teori ini mengadopsi metode tekanan gelombang incident dan bidang tekanan pada permukaan struktur. Keuntungan dari teori ini adalah untuk struktur yang simetris, perhitungan gaya dapat dilakukan dengan persamaan terangkai (closed-form) dan koefisien-koefisien gayanya mudah ditentukan.

c) Teori Difraksi

Bilamana suatu struktur mempunyai ukuran yang relatif besar, yakni memiliki ukuran yang kurang lebih sama dengan panjang gelombang, maka keberadaan struktur ini akan mempengaruhi timbulnya perubahan arah pada medan

gelombang disekitarnya. Dalam hal ini difraksigelombang dari permukaan struktur harus diperhitungkan dalam evaluasi gaya gelombang.

Dikarenakan bangunan mengalami gerak kopel, maka peralatan-peralatan di atas deck juga mengalami gaya inersia yang diakibatkan oleh beban gelombang. Martins (2007) menyatakan bahwa dengan menggunakan hukum Newton kedua, gaya luar yang bekerja pada pusat gravitasi didapatkan persamaan :

$$F_{ext} = m \times a \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$F_{ext}$  = gaya luar (N)

M = massa (kg)

$a$  = percepatan ( $m/s^2$ )

Beban inersia dipengaruhi oleh percepatan, bekerja pada arah vertikal ke atas dan ke bawah. Pada gerak rotasional, percepatan linear atau tangensial didapatkan dengan persamaan :

$$I = mr^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$F = I\alpha \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

I = gaya inersia ( $kg.m^2$ )

M = massa (kg)

r = jari-jari girasi (m)

F = momen gaya (N.m.rad)

$\alpha$  = percepatan (m/s<sup>2</sup>)

#### 2.2.4. Spektrum Energi Gelombang

Perancangan bangunan laut seharusnya didasarkan pada spektra gelombang yang dihasilkan dari data gelombang setempat. Dalam hal spektra atau data gelombang setempat tidak tersedia, dipilih formulasi spektra gelombang yang sesuai (perairan terbuka, perairan tertutup, efek angin, geografis, kedalaman perairan, panjang *fetch*, dan lain-lain)

Dari spektrum gelombang dapat diketahui parameter-parameter gelombang :

**Tabel 2.1** Amplitudo dan Tinggi Gelombang pada Spektrum

Profil Gelombang	Amplitudo	Tinggi
Gelombang rata-rata	$1,25\sqrt{m_0}$	$2,5\sqrt{m_0}$
Gelombang signifikan	$2,00\sqrt{m_0}$	$4,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/10 gelombang tertinggi	$2,55\sqrt{m_0}$	$5,00\sqrt{m_0}$
Rata-rata 1/100 gelombang tertinggi	$3,44\sqrt{m_0}$	$6,67\sqrt{m_0}$

Dengan

$m_0$  = Luasan dibawah kurva spektrum (*zero moment*)

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \dots\dots\dots(2.4)$$

Berikut adalah formulasi spektrum gelombang yang digunakandalam penelitian ini:

- *Joint North Sea Wave Project* (JONSWAP) – untuk perairan tertutup/kepulauan, yang merupakan modifikasi dari Spektrum Pierson Moskowitz (Det Norske Veritas, 2011)



$$S_{PM}(\omega) = \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp\left(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}\right) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{PM}(\omega) \gamma^{\exp(-0.5(\frac{\omega - \omega_p}{\sigma \omega_p})^2)} \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

$\omega_p$  = frekuensi puncak spektra (*spectral peak frequency*)

$\gamma$  = parameter puncak (*peakedness parameter*)

$A_\gamma = 1 - 0.287 \ln(\gamma)$  (*normalizing factor*)

$\sigma$  = parameter bentuk (*shape parameter*)

untuk  $\omega \leq \omega_p = 0,07$  dan  $\omega \geq \omega_p = 0,09$

### 2.2.5. Response Amplitudo Operator (RAO)

Metode spektra merupakan cara untuk mengetahui suatu respon struktur akibat beban gelombang reguler dalam tiap-tiap frekuensi. Response Amplitude Operator (RAO) atau sering disebut Transfer Function adalah fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur offshore. RAO dapat juga didefinisikan sebagai hubungan antara amplitudo respon terhadap amplitudo gelombang. Amplitudo respon bisa berupa gerakan, tegangan, maupun getaran. RAO juga disebut sebagai Transfer Function karena RAO merupakan alat untuk mentransfer beban luar (gelombang) dalam bentuk respon pada suatu struktur (Chakrabarti, 1987). Bentuk umum dari persamaan RAO adalah sebagai berikut:

$$RAO = \frac{\text{Amplitudo Respon Gerakan}}{\text{Amplitudo Gelombang}} \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana:

$R_a$  : Amplitudo respon gerakan [ft]

$\zeta_a$  : Amplitudo gelombang [ft]

### 2.2.6. Respon Struktur

Dalam analisis spektra kurun waktu pendek informasi pertama yang harus diperoleh adalah harga *response amplitude operator* (RAO), yang merupakan rasio antara RAO respons mode tertentu,  $\zeta_k$ , terhadap RAO gelombang,  $\zeta_w$ . Melihat pada pers. (3.40) dan (3.41) maka RAO untuk gaya dan momen, masing-masing akan dapat diperoleh dengan mengkalikan  $V_n'$  dengan  $L/g\Delta$  dan  $Mn'$  dengan  $1/g\Delta$ . Selanjutnya dipilih spektra gelombang  $S(\omega)$  yang sesuai dengan perairan di mana kapal dioperasikan, yang bila dikorelasikan dengan RAO akan memberikan spektra respons,  $S_R(\omega)$  yang mana spektra respon didefinisikan sebagai respon energi dari struktur akibat input energi gelombang dan *density* spektrum energi. Pada sistem linear, respon spektra di dapat dengan mengkuadratkan RAO yang kemudian di kalikan dengan spektrum gelombang, yang secara persamaan dapat ditulis :

$$S_R(\omega) = RAO^2 \times S(\omega) \\ = (\zeta_R / \zeta_w)^2 \times S(\omega) \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana:

$S_R$  = Respon spektra (m<sup>2</sup>-sec)

$S(\omega)$  = Spektrum gelombang (m<sup>2</sup>-sec)

RAO = Response Amplitude Operator

$\omega$  = Frekuensi gelombang (rad/sec)

## 2.2.7. Tegangan (Stress)

### 2.2.7.1. Tegangan Normal

Tegangan normal adalah intensitas gaya pada suatu titik yang tegak lurus atau normal terhadap penampang, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots\dots\dots(2.9)$$

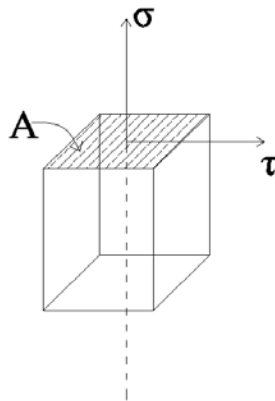
dimana:

$\sigma$  = Tegangan normal, N/m<sup>2</sup>

F = Gaya yang bekerja dalam arah tegak lurus atau normal terhadap penampang (gaya aksial), N

A = Luas penampang, m<sup>2</sup>

Bila gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, tegangan internal yang dihasilkan adalah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu disebut gaya aksial, dan tegangan yang timbul dikenal sebagai tegangan normal (aksial) seperti terlihat pada gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Tegangan normal dan geser yang bekerja pada suatu benda dengan luasan A (Hakim, 2012)

**2.2.7.2. Tegangan Geser**

Tegangan geser adalah intensitas gaya pada suatu titik yang sejajar terhadap penampang. Yang didefinisikan sebagai:

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta A}} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

$\tau$  = Tegangan Geser, N/m<sup>2</sup>

V = Gaya yang bekerjadalam arah sejajar terhadap penampang (gaya geser), N

A = Luas penampang, m<sup>2</sup>

### 2.2.8. *Ultimate Strength*

Untuk mencari nilai *ultimate strength* pada suatu *floating structure*, umumnya dilakukan dengan metode *ultimate strength analysis*. Analisis *ultimate strength* menghasilkan suatu informasi mengenai sisa kekuatan pada sebuah struktur setelah mengalami kegagalan. Hasil analisis *ultimate strength*, dapat dijadikan suatu referensi dalam penentuan *safety factor* untuk menekan terjadinya kegagalan struktur. Kondisi *limit state* adalah di mana struktur atau bagian dari struktur mengalami ketidaktepatan dalam menjalankan fungsinya akibat beban atau efek beban. Ada dua jenis *limit state*, yaitu *ultimate limit states* dan *serviceability limit states*. *Ultimate limit states* sering dijadikan acuan sebagai *ultimate strength* dari struktur. Pada dasarnya ada tiga tipe kegagalan struktur; *plastic deformation*, *instability*, dan *fracture*. Untuk struktur baja tiga tipe dasar kegagalan struktur adalah:

#### 1. *Large local plasticity*

#### 2. *Instability*

- a. Bifurcation
- b. Non Bifurcation

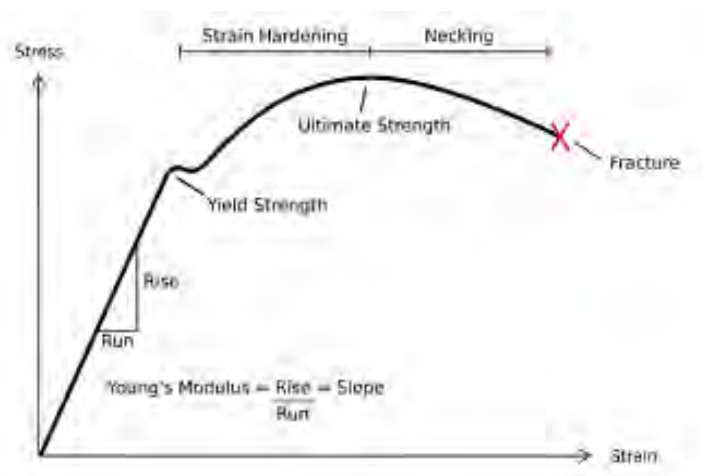
#### 3. *Fracture*

- a. *Direct*
- b. *Fatigue*
- c. *Brittle*

Pada prakteknya kegagalan struktur individu, dipengaruhi oleh kombinasi kegagalan pertama dan kedua yaitu *large local plasticity* dan *instability*. Salah satu penyebab terjadinya *ultimate strength failure* pada suatu struktur umumnya adalah disebabkan oleh beban ekstrem dan/atau kurangnya daya tahan struktur terhadap degradasi material. Untuk itu, perlu suatu pertimbangan jangka panjang

untuk mengantisipasi adanya degradasi material ketika mendesain sebuah struktur. Faktor keamanan merupakan hal yang sangat penting pada suatu bangunan apung dalam melakukan operasi. Chakrabarti (2005) menyatakan bahwa keamanan merupakan ketidakhadiran dari kegagalan dan kerusakan serta menjamin dalam memenuhi ketentuan untuk stabilitas keseluruhan dan *ultimate strength*

Baja memiliki sifat elastis dan plastis. Jika material diberi beban sampai batas plastis maka material tersebut akan kembali ke bentuk semula. Akan tetapi jika material diberi beban melebihi batas elastis maka tidak bisa kembali ke bentuknya semula, dengan kata lain material baja mengalami deformasi plastis. Representasi dari *stress* akibat beban dan *strain* akibat deformasi pada material baja dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 2.4.** Kurva Stress-Strain untuk specimen tarik dari structural steel

Saat sebuah struktur dikenai beban, struktur tersebut memiliki respon yang tidak hanya bergantung pada tipe material akan tetapi juga kondisi lingkungan dan pembebanan pada struktur

Secara terperinci moda kegagalan dari sebuah struktur adalah :

1. Kegagalan akibat defleksi berlebih

- a. Defleksi elastis
  - b. Defleksi akibat rayapan
2. Kegagalan akibat tegangan yield (deformasi plastis)
  3. Kegagalan akibat kepecahan
    - a. Kepecahan tiba-tiba dari material bersifat getas
    - b. Kepecahan dari crack atau cacat
    - c. Kepecahan progresif (fatigue)
  4. Kegagalan akibat ketidakstabilan (buckling)

Secara lebih jelas dapat dilihat pada penjelasan berikut:

#### **2.2.9. Analisis Batas Tegangan *Ultimate***

Analisis batas tegangan *ultimate* dilakukan untuk menentukan kekuatan maksimum struktur untuk menahan beban yang terjadi. Beberapa beban yang bekerja pada struktur mengakibatkan keruntuhan total dan ketidakmampuan struktur menahan beban lingkungan dan topside. Untuk analisis *ultimate* ini dilakukan dengan menggunakan metode *Incremental Extreme Load* yaitu suatu metode yang dipakai dalam menganalisis keruntuhan struktur dengan pembebanan inkremental untuk menentukan secara otomatis pembebanan yang menyebabkan struktur runtuh. Dimana adanya penambahan beban lingkungan (gelombang) sampai struktur tersebut runtuh (*collaps*).

ABS *Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structure* (2004) menyediakan beberapa kriteria yang bisa digunakan untuk menghitung *ultimate strength*, kriteria tersebut adalah :

- a. *Individual structural member.*
- b. *Plates, stiffened panels and corrugated panels.*
- c. *Stiffened cylindrical shells.*
- d. *Tubular joints*

Untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur terhadap beban yang bekerja maka dilakukan pembebanan sampai struktur tersebut mengalami tegangan melewati nilai UTS. ABS (2005) menyatakan nilai *basic utilization factor* untuk kondisi lingkungan ekstrem adalah 0.8. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

**Tabel 2.4.** ABS (2005) *basic utilization factor*

Load Condition	Environmental Events	Basic Utilization
Loadout	Calm	0.6
Ocean Transit	10-year-return storm	0.8
Field Transit	1-year-return storm for	0.8
Deck Installation	Calm	0.6
In-place Design	1-year-return storm	0.6
In-place Design	100-year-return storm	0.8
In-place Damage	1-year-return storm	0.8



Maka, struktur dianggap sudah mengalami kegagalan apabila mengalami tegangan sebesar  $0.8 \times \text{UTS}$ . Sehingga untuk mengetahui nilai beban puncak (ultimate load) yang mampu diterima struktur maka beban dinaikkan bertahap hingga struktur mengalami kegagalan, yaitu melewati nilai UTS.

#### **2.2.10. Ansys**

Ansys adalah sebuah software analisis elemen hingga (finite element) yang biasa dipakai untuk melakukan analisis mekanika benda tegar, analisis fluida, dan analisis perpindahan panas. Salah satu jenis Ansys yang khusus menganalisis benda tegar yang berada di dalam fluida adalah Ansys AQWA. Ansys AQWA merupakan perangkat lunak analisis rekayasa yang digunakan untuk penyelidikan efek gelombang, angin dan struktur lepas pantai, sistem FSO, semi-submersible dan masih banyak lagi. Ansys AQWA terdiri dari tiga bagian yang mempunyai ciri masing-masing yaitu Ansys AQWA Diffraction, Ansys AQWA Suite dan Ansys AQWA Suite with Coupled Cable Dynamics. Ansys AQWA menyediakan fasilitas interpretasi hasil dari manipulasi, meliputi:

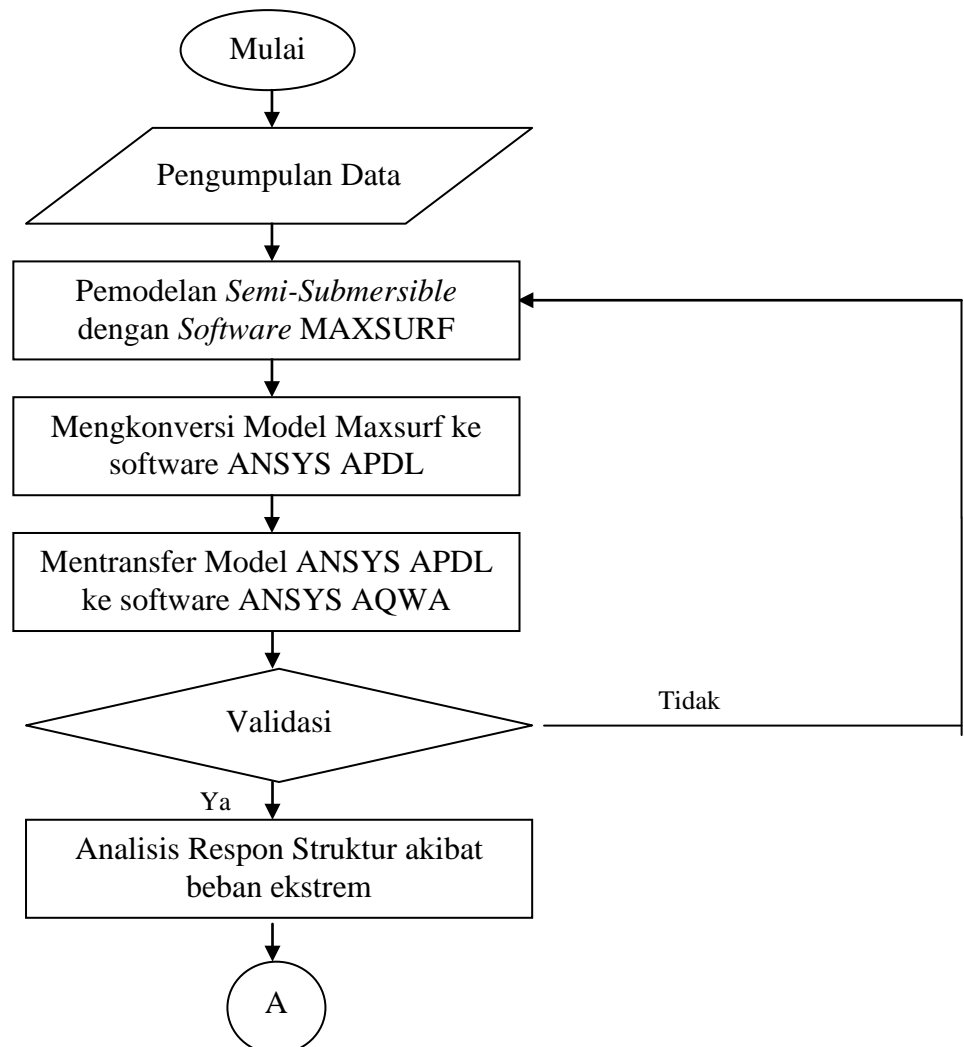
- Statistik interpretasi data time-series seperti gerakan kapal dan mooring tensions untuk mendapatkan nilai-nilai puncak.
- Time-history filter yang menyediakan akses cepat ke dasar data seperti komponen frekuensi dan redaman kritis.
- Aljabar fungsi dan kombinasi hasil yang menyediakan kerangka user-defined untuk interpretasi hasil.

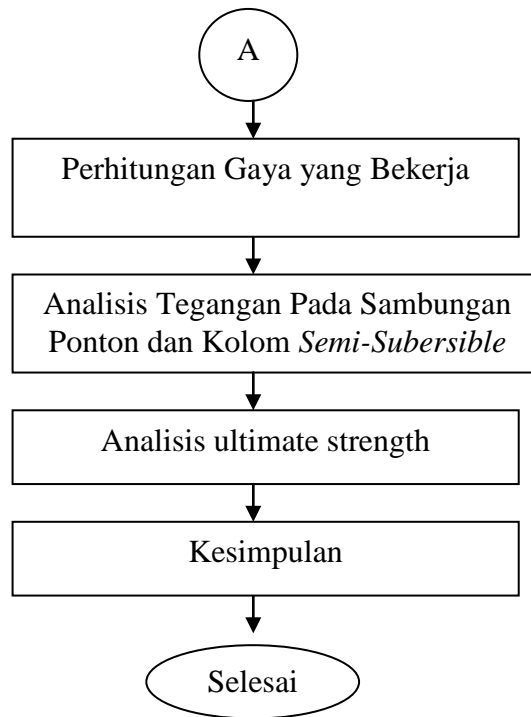
~Halaman Ini Sengaja Dikosongkan~

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1. Skema Diagram Alir

Metode penelitian dilakukan dengan berbagai tahapan dan prosedur. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat diagram alir berikut :





**Gambar 3.1** Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.2. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, akan dilakukan pengumpulan data-data suntuk pengerjaan tugas akhir ini. Data yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1. Data Struktur

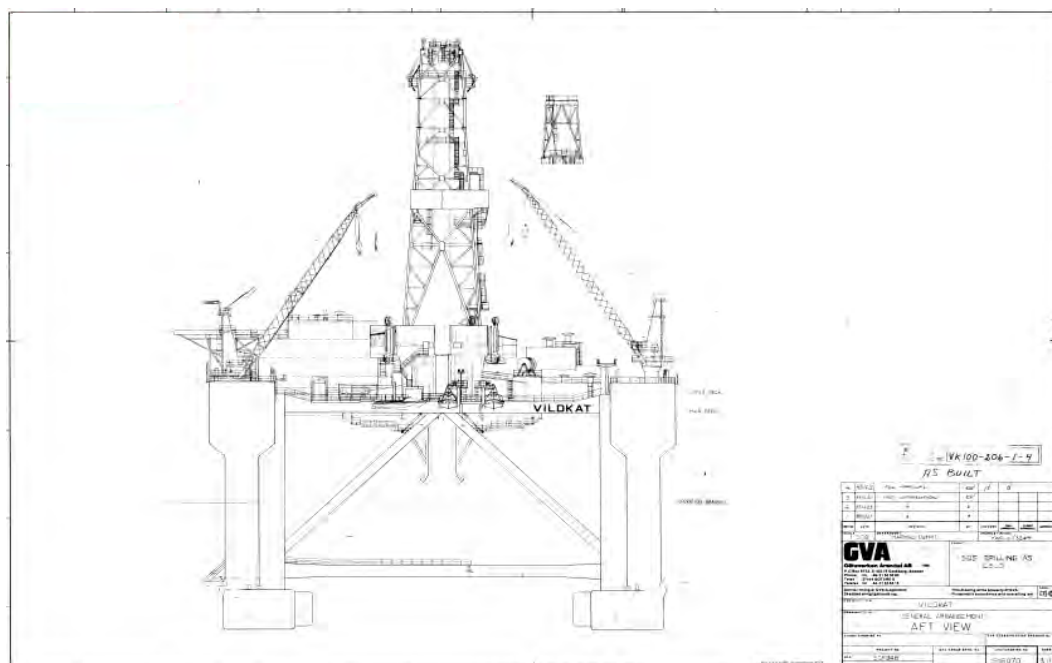
Data struktur yang digunakan struktur *semi-submersible* dan data sistem mooring. *Semi-submersible* yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah *Essar Wildcat* yang dioperasikan oleh Conoco Philips Indonesia di Perairan Natuna dengan dimensi utama sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Ukuran Utama Dari *Essar Wildcat* (PT.GM, 2012)

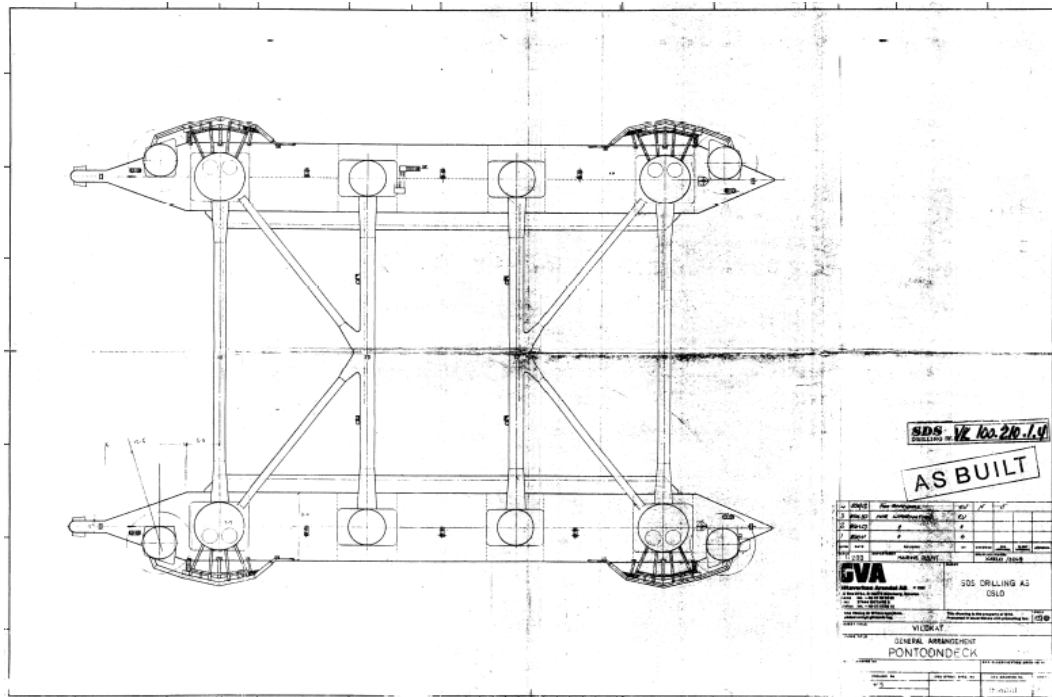
<i>Description</i>	<i>Quantity</i>	<i>Unit</i>
<i>Length Overall</i>	108.2	m
<i>Breadth (moulded)</i>	71.8	m
<i>Large Colum Diameter</i>	7.92	m
<i>Small Colum Diameter</i>	5.79	m
<i>Corner Colum Diameter</i>	5.2	m
<i>Height of pontoons</i>	6.71	m
<i>Operating Draught</i>	21.34	m
<i>Transit Draught</i>	6.41	m
<i>Operating Displacement</i>	24173	m
<i>Transit Displacement</i>	16077	m
<i>VCG (Operating)</i>	17.83	m
<i>VCG (Transit)</i>	24.08	m
<i>GM (Operating)</i>	2.74	m
<i>GM (Transit)</i>	75.63	m

**Tabel 3.2** Properti Sistem Tambat Dari *Semi-submersible* (PT.GM, 2012)

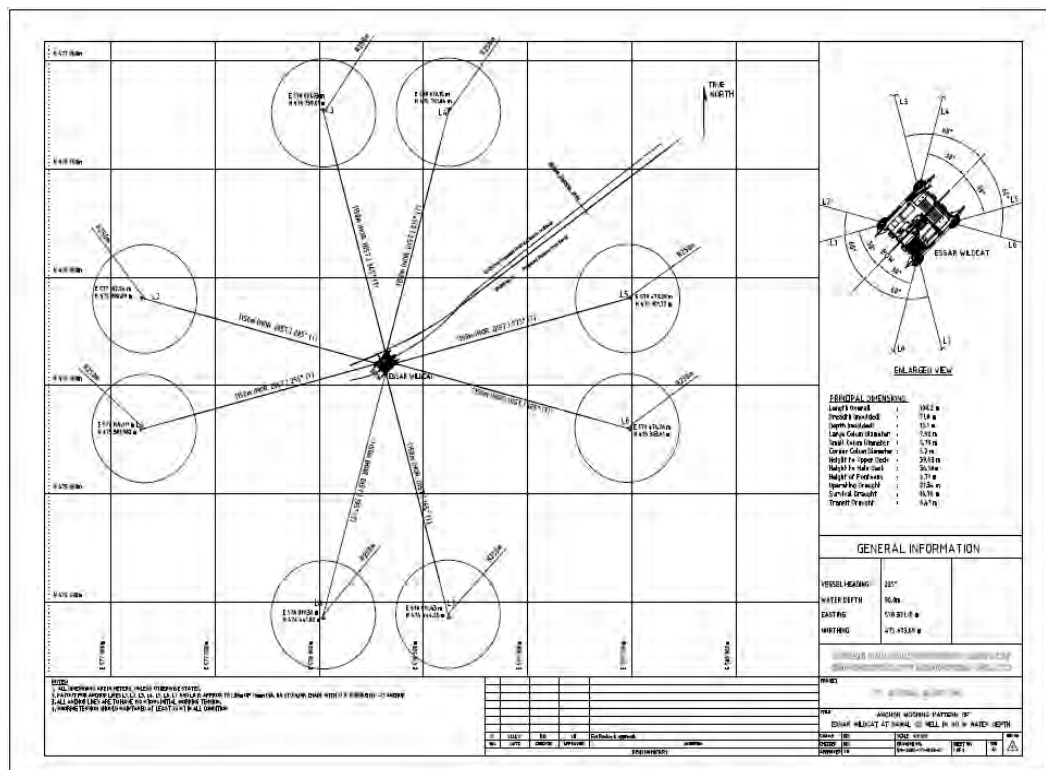
<i>Description</i>	<i>Quantity</i>
<i>Chain Type</i>	<i>Studlink chain R4</i>
<i>Chain size</i>	<i>76 mm diameter</i>
<i>Length of chain</i>	<i>1200 m (approximate)</i>
<i>Chain break load</i>	<i>611.693 tonnes</i>
<i>Chain weight in air</i>	<i>0.126 tonnes/m</i>
<i>Chain weight in water</i>	<i>0.011 tonnes/m</i>
<i>Anchor type</i>	<i>8x15000kg HY – 17 anchor</i>
<i>Number of line</i>	<i>8</i>



**Gambar 3.2** General Arrangement Tampak Depan (PT.GM, 2012)



Gambar 3.3 General Arrangement Tampak Atas (PT.GM, 2012)



Gambar 3.4 Perencanaan sistem tambat (PT.GM, 2012)

### 3.2.2 Data Lingkungan

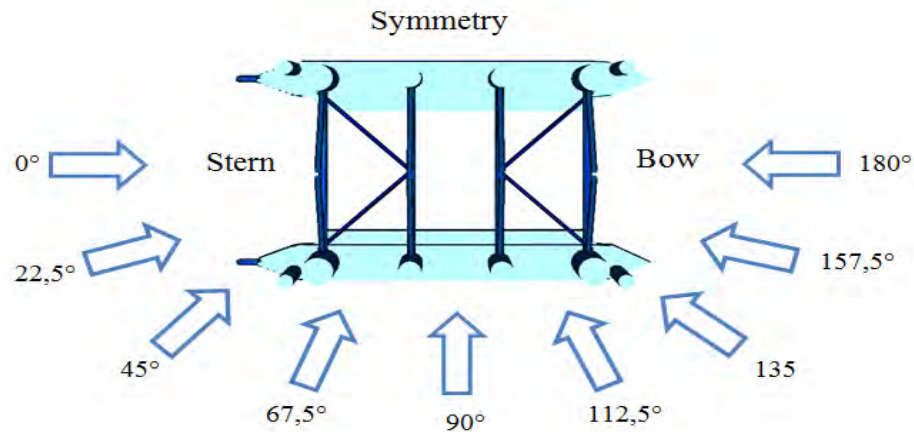
Data lingkungan adalah data dimana struktur *semi-submersible* acuan beroperasi. Data-data ini meliputi kedalaman, tinggi gelombang, periode gelombang, jenis spektra, kecepatan arus dan kecepatan angin ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** *Wave Scatter Diagram, Belanak Field, Natuna (PT.GM, 2012)*

T <sub>p</sub>		H <sub>s</sub>													
Lower	Upper	0.00 0.49	0.50 0.99	1.00 1.49	1.50 1.99	2.00 2.49	2.50 2.99	3.00 3.49	3.50 3.99	4.00 4.49	4.50 4.99	5.00 5.49	5.50 5.99	6.00 6.49	
0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	1.9	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	2.9	0.0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3.9	0.1079	0.0863	0.0050	0.0018	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4.9	0.0183	0.1529	0.0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5.9	0.0060	0.0370	0.0771	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	6.9	0.0043	0.0177	0.0409	0.0257	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	7.9	0.0023	0.0079	0.0280	0.0382	0.0105	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	
8	8.9	0.0020	0.0058	0.0103	0.0247	0.0334	0.0119	0.0009	-	-	-	-	-	-	
9	9.9	0.0007	0.0041	0.0062	0.0158	0.0176	0.0255	0.0129	0.0012	-	-	-	-	-	
10	10.9	-	0.0037	0.0051	0.0067	0.0095	0.0113	0.0114	0.0080	0.0017	-	-	-	-	
11	11.9	0.0001	0.0027	0.0034	0.0034	0.0043	0.0059	0.0047	0.0049	0.0025	0.0022	0.0003	-	-	
12	12.9	-	0.0020	0.0022	0.0016	0.0009	0.0020	0.0019	0.0018	0.0010	0.0009	0.0005	0.0003	-	
13	13.9	-	0.0007	0.0010	0.0004	0.0006	0.0002	0.0004	0.0011	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	-	
14	14.9	-	0.0002	0.0009	0.0004	0.0004	0.0003	0.0001	-	-	-	-	-	-	
15	15.9	0.0001	0.0001	0.0002	0.0006	0.0004	0.0007	0.0001	-	-	-	-	-	-	
16	16.9	-	0.0001	-	0.0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total		0.1636	0.3212	0.1947	0.1243	0.0789	0.058	0.0324	0.0169	0.0055	0.0033	0.0009	0.0004	-	

Data di atas merupakan data untuk arah pembebanan *omnidirectional* yang artinya nilainya sama untuk semua arah pembebanan. Dan, arah pembebanan lingkungan yang mengenai struktur *semi-submersible* ditunjukkan pada gambar berikut:



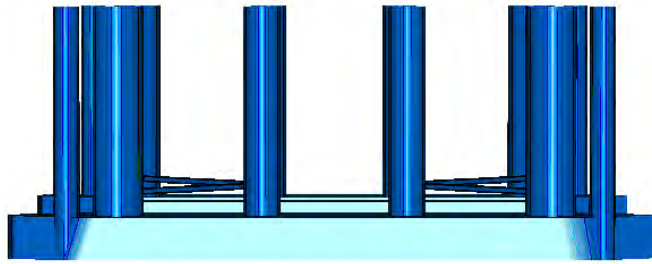


**Gambar 3.5** Arah Pembebanan Lingkungan Pada Struktur *Semi-submersible*

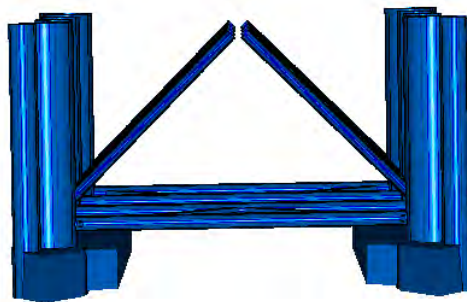
Arah pembebanan  $0^{\circ}$  berarti beban tersebut datang dari arah belakang (*stern*) *semi-submersible*. Sedangkan untuk arah  $180^{\circ}$ , beban lingkungan datang dari arah depan (*bow*) *semi-submersible*. Pada penelitian ini arah pembebanan yang digunakan adalah mulai dari  $0^{\circ}$  sampai dengan  $360^{\circ}$  ( $0^{\circ}$ ,  $22,5^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $67,5^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $112,5^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $157,5^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $202,5^{\circ}$ ,  $225^{\circ}$ ,  $247,5^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $292,5^{\circ}$ ,  $315^{\circ}$ ,  $337,5^{\circ}$ ,  $360^{\circ}$ ).

### 3.3 Pemodelan Struktur dan Validasi Model

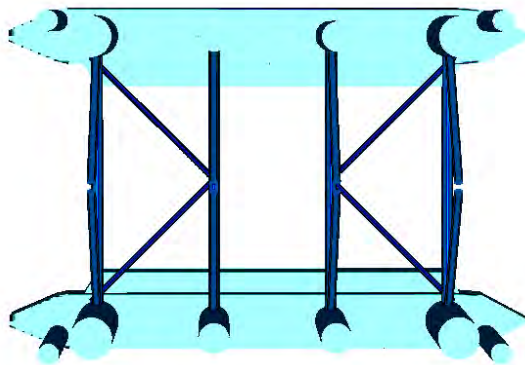
Pemodelan pertama ini dilakukan dengan *software* MAXSURF agar memudahkan pengukuran dimensi struktur, dan untuk mendapatkan koordinat yang nantinya akan digunakan sebagai *input* pemodelan struktur pada Ansys. Setelah dilakukan pemodelan dengan ANSYS, maka model tersebut digunakan pada ANSYS AQWA untuk analisis hidrostatis yang digunakan untuk validasi model.



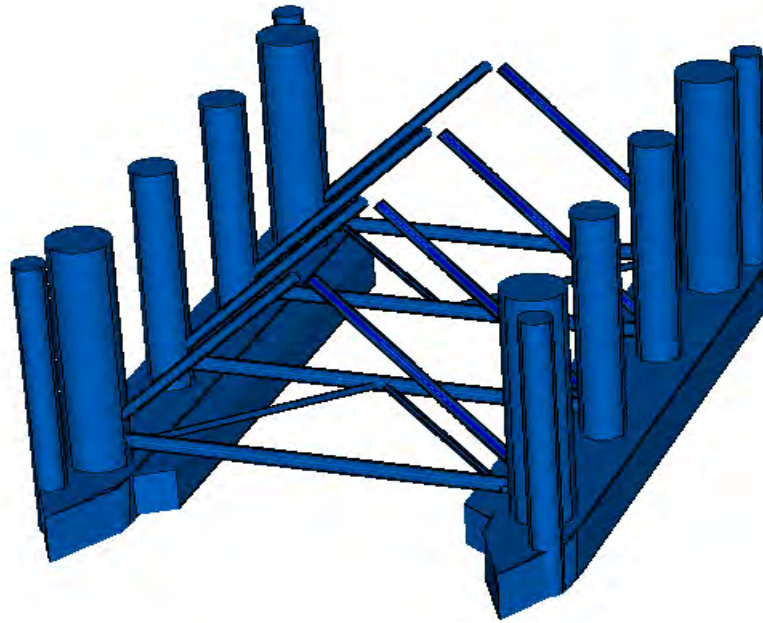
(a) Tampak Depan



(b) Tampak Samping

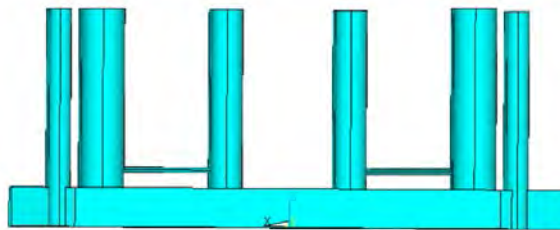


(c) Tampak Atas



(d) Isometric

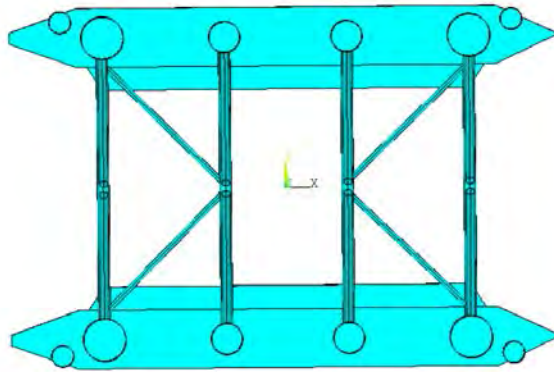
**Gambar 3.6** Pemodelan Struktur *Semi-submersible* Pada MAXSURF



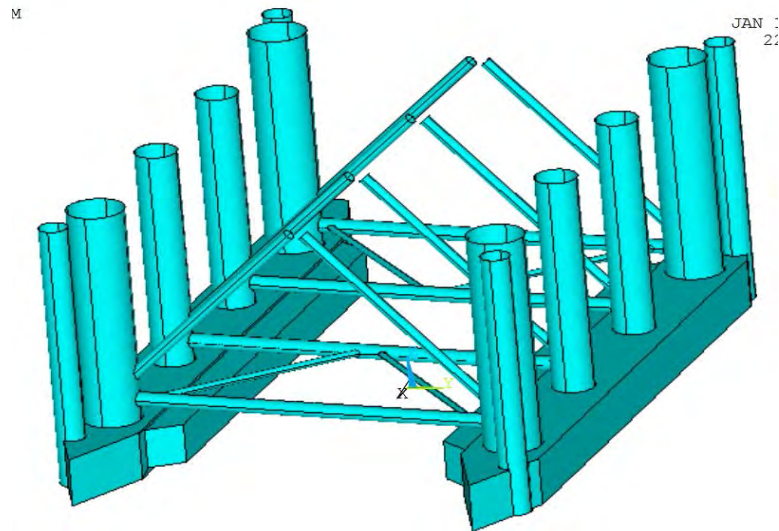
(a) Tampak Samping



(b) Tampak Depan

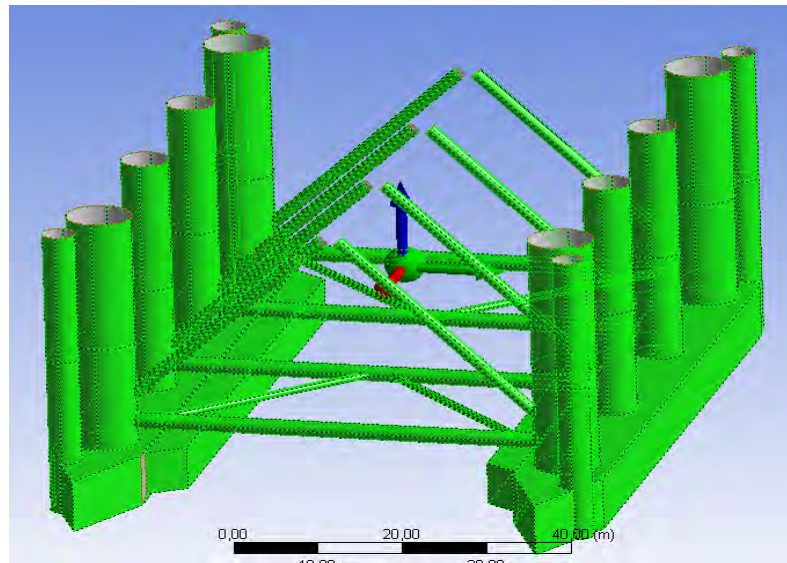


(c) Tampak Atas



(d) Isometric

**Gambar 3.7** Pemodelan Struktur *Semi-submersible* Pada ANSYS



**Gambar 3.8** Transfer Struktur *Semi-submersible* Pada ANSYS AQWA

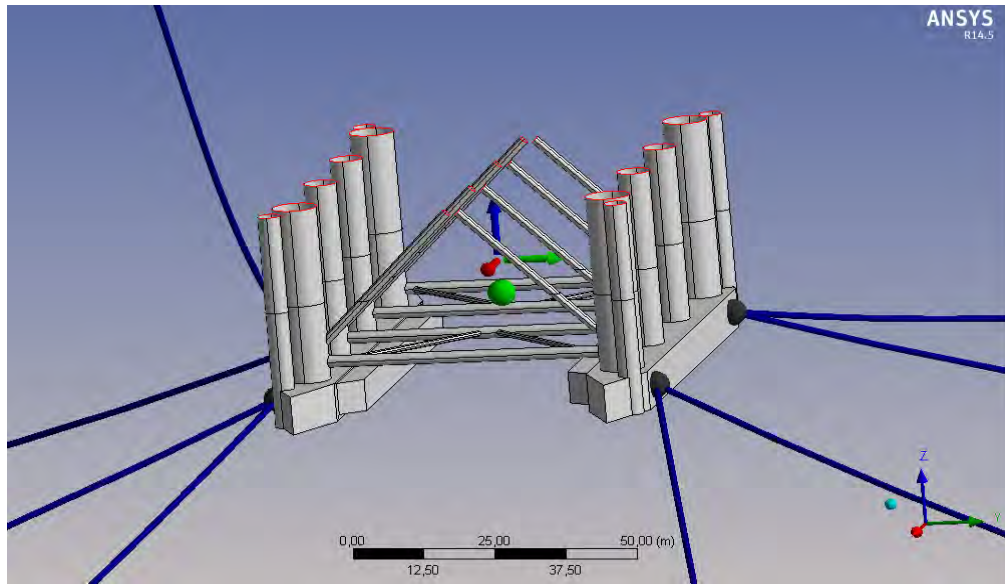
Setelah dilakukan pemodelan dengan ANSYS, maka analisis hidrostatis dilakukan untuk mendapatkan properti hidrostatis dari struktur yang digunakan untuk validasi model.

**Tabel 3.4** Validasi Model

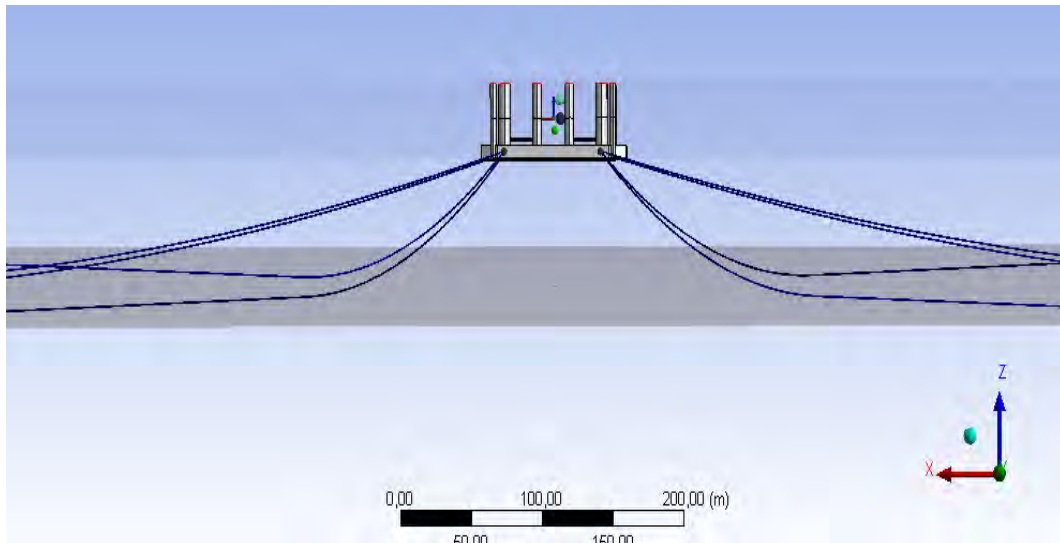
Parameter	Satuan	Booklet	Maxsurf	Aqwa	Selisih	Eror %	Kriteria ABS	Ket
Displacement	ton	24173	24176,408	24221,224	48,244	0,0019	2%	OK
GMt	m	2,74		2,74054	0,0005	0,00018	1%	OK
KB	m		6,045	6,021	0,024	0,0039	1%	OK

Dari hasil validasi model seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5 di atas, maka model yang dirancang dengan *software* ANSYS sudah layak untuk digunakan dalam simulasi. Selanjutnya dengan *software* ANSYS AQWA dilakukan analisa dinamis untuk mendapatkan karakteristik hidrodinamis dari struktur saat *free floating*.

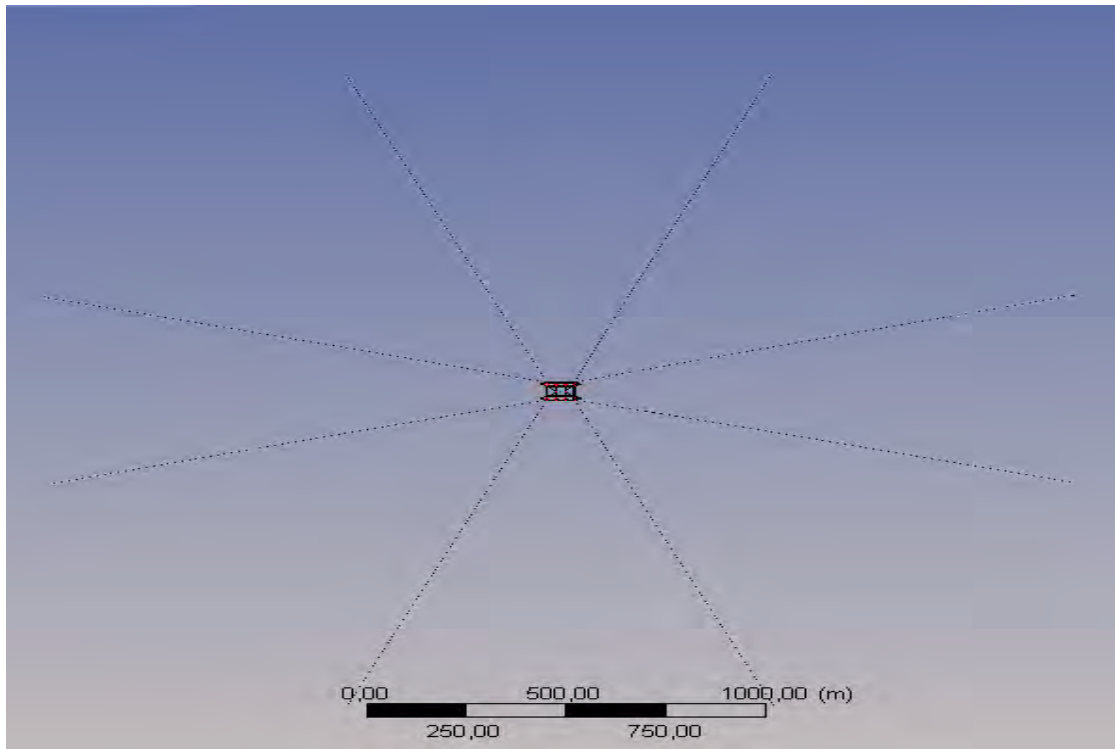
Selanjutnya konfigurasi sistem mooring pada struktur Semi-Submersible sesuai sesuai dengan data.



(a)



(b)



(c)

**Gambar 3.9** Pemodelan Mooring *Semi-submersible* Pada ANSYS AQWA

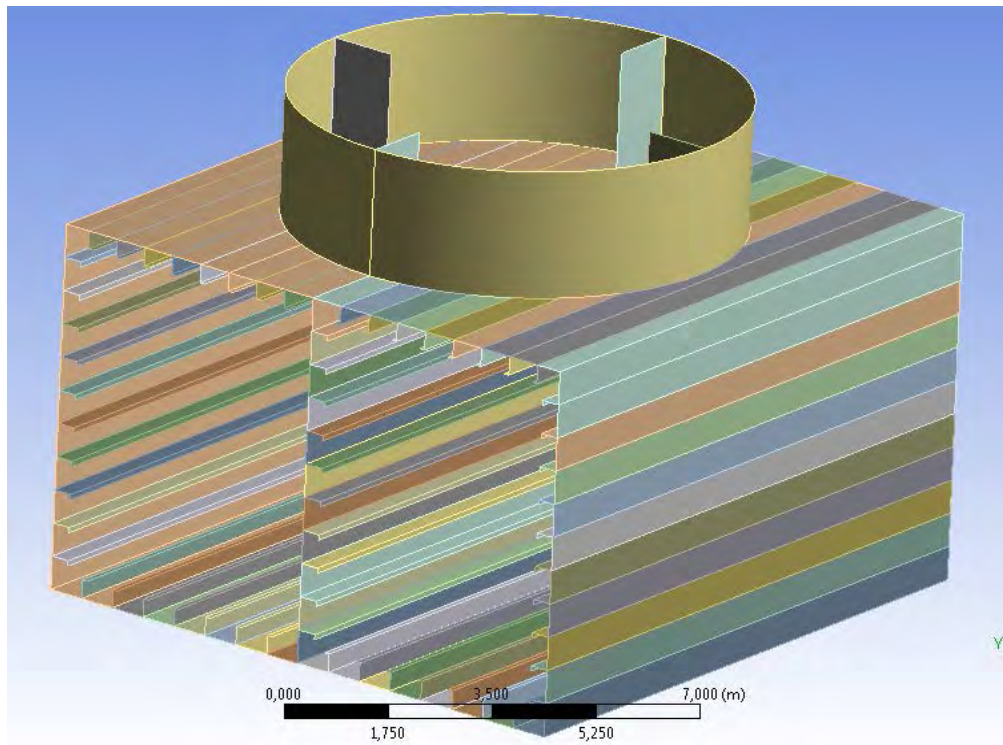
### 3.4 Analisis Respon Struktur Oleh Gelombang

Pada tahap ini akan dilakukan pemilihan formulasi spektra gelombang yang sesuai dengan perairan di mana *semi-submersible* secara hipotesis akan dioperasikan. Formulasi spektra yang ada biasanya diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yakni untuk perairan terbuka, perairan tertutup atau kepulauan, serta perairan pantai. Dan pada kasus ini, ditetapkan *semi-submersible* beroperasi di Perairan Natuna, dimana perairan tersebut masuk ke dalam kriteria perairan kepulauan. Oleh karena itu, dipilih formulasi spektra JONSWAP, dengan parameter gamma 2,5.

Analisis spektra, seperti telah dijelaskan sebelumnya, akan mengkorelasikan antara  $RAO$  dengan spektra gelombang  $S_{\eta}(\omega)$  yang akan menghasilkan spektra respons  $S_{\eta}(\omega)$ . Berdasarkan spektra respons ini, akan dapat ditentukan harga-harga statistik gerakan, misalnya harga rata-rata, harga signifikan, ataupun harga-harga ekstrem, sesuai dengan keperluan.

### 3.5 Analisis Tegangan

Dari hasil running ANSYS AQWA kita bisa mendapatkan nilai percepatan struktur dimana nilai ini akan digunakan untuk mencari gaya inersia dan momen. Kemudian dilakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja akibat beban lingkungan dan beban struktur itu sendiri. Pada tahap ini pemodelan struktur secara local dilakukan kembali untuk mendapatkan distribusi tegangan pada semi-submersible. Perangkat lunak yang digunakan adalah ANSYS 14. Struktur yang dimodelkan hanya pada salah satu sambungan ponton dan kolom. dikarenakan keterbatasan perangkat komputer yang digunakan



**Gambar 3.10** Pemodelan Lokal Sambungan Ponton dan Kolom Pada ANSYS

### 3.6 Analisis *Ultimate Strength*

Momedelkan pada ANSYS untuk mendapatkan respon akibat beban ekstrem. Kemudian dilakukan capacity check (*ultimate strength*) dengan menaikkan tinggi gelombang signifikan secara bertahap hingga struktur mengalami kegagalan dengan memperhatikan rules pada *ABS Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structure*.



### **3.7 Penyusunan Laporan**

Penyusunan laporan pada dasarnya akan dilakukan secara bertahap, dimulai dari bagian-bagian awal yang kebanyakan materinya diperoleh dari hasil studi literatur. Bagian inti laporan akan disusun, berupa pembahasan setelah hasil komputansi dan prediksi diperoleh, dan analisis *ultimate* dilakukan. Laporan akhir kemudian akan diselesaikan setelah mengambil kesimpulan dari hasil-hasil penelitian.

~Halaman Ini Sengaja Dikosongkan~

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan dilakukan analisis dan pembahasan terhadap hasil-hasil perhitungan dan simulasi dari *software* ANSYS AQWA sesuai dengan metodologi penelitian. Untuk mencapai tujuan penelitian. Simulasi dilakukan pada kondisi lingkungan perairan laut Natuna, yang digambarkan dengan *wave scatter diagram*. Diagram tersebut merepresentasikan kondisi lingkungan laut Natuna sepanjang tahun. Pembahasan satu adalah analisis perilaku gerak *semi-submersible* pada gelombang acak dengan menggunakan formulasi spektra JONSWAP ( $\gamma = 2.5$ ) kemudian dilanjutkan perilaku gerak *Semi-submersible* Essar Wildcat pada gelombang reguler yang ditunjukkan oleh grafik RAO (*Response Amplitude Operator*) analisis respon struktur akibat gelombang pada *semi-submersible* Essar Wildcat. Pembahasan kedua adalah analisis tegangan pada sambungan struktur pontoon dan kolom *Semi-submersible*. Kemudian pada pembahasan yang ketiga adalah analisis ultimate strength pada sambungan struktur pontoon dan kolom dengan menaikkan tinggi gelombang signifikan.

#### **4.1 Analisis Respon Struktur Terhadap Gelombang Acak**

Dari penelitian tugas akhir ini menggunakan analisis spektra karena pada kenyataannya di lapangan gelombang yang terjadi adalah gelombang acak. Analisis spektra gelombang dilakukan sesuai pada *wave scatter diagram*. Berikut ditampilkan *wave scatter diagram* untuk Perairan Natuna.

**Tabel 4.1.** *Wave Scatter Diagram Perairan Natuna, Belanak Field*

T <sub>p</sub>		H <sub>s</sub>													
Lower	Upper	0.00	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	
		0.49	0.99	1.49	1.99	2.49	2.99	3.49	3.99	4.49	4.99	5.49	5.99	6.49	
0	0.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1	1.9	0.0008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2	2.9	0.0210	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	3.9	0.1079	0.0863	0.0050	0.0018	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	-	
4	4.9	0.0183	0.1529	0.0143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	5.9	0.0060	0.0370	0.0771	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	6.9	0.0043	0.0177	0.0409	0.0257	0.0010	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	7.9	0.0023	0.0079	0.0280	0.0382	0.0105	0.0002	-	-	-	-	-	-	-	
8	8.9	0.0020	0.0058	0.0103	0.0247	0.0334	0.0119	0.0009	-	-	-	-	-	-	
9	9.9	0.0007	0.0041	0.0062	0.0158	0.0176	0.0255	0.0129	0.0012	-	-	-	-	-	
10	10.9	-	0.0037	0.0051	0.0067	0.0095	0.0113	0.0114	0.0080	0.0017	-	-	-	-	
11	11.9	0.0001	0.0027	0.0034	0.0034	0.0043	0.0059	0.0047	0.0049	0.0025	0.0022	0.0003	-	-	
12	12.9	-	0.0020	0.0022	0.0016	0.0009	0.0020	0.0019	0.0018	0.0010	0.0009	0.0005	0.0003	-	
13	13.9	-	0.0007	0.0010	0.0004	0.0006	0.0002	0.0004	0.0011	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	-	
14	14.9	-	0.0002	0.0009	0.0004	0.0004	0.0003	0.0001	-	-	-	-	-	-	
15	15.9	0.0001	0.0001	0.0002	0.0006	0.0004	0.0007	0.0001	-	-	-	-	-	-	
16	16.9	-	0.0001	-	0.0001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
17	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
18	18.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Total</b>		0.1636	0.3212	0.1947	0.1243	0.0789	0.058	0.0324	0.0169	0.0055	0.0033	0.0009	0.0004	-	

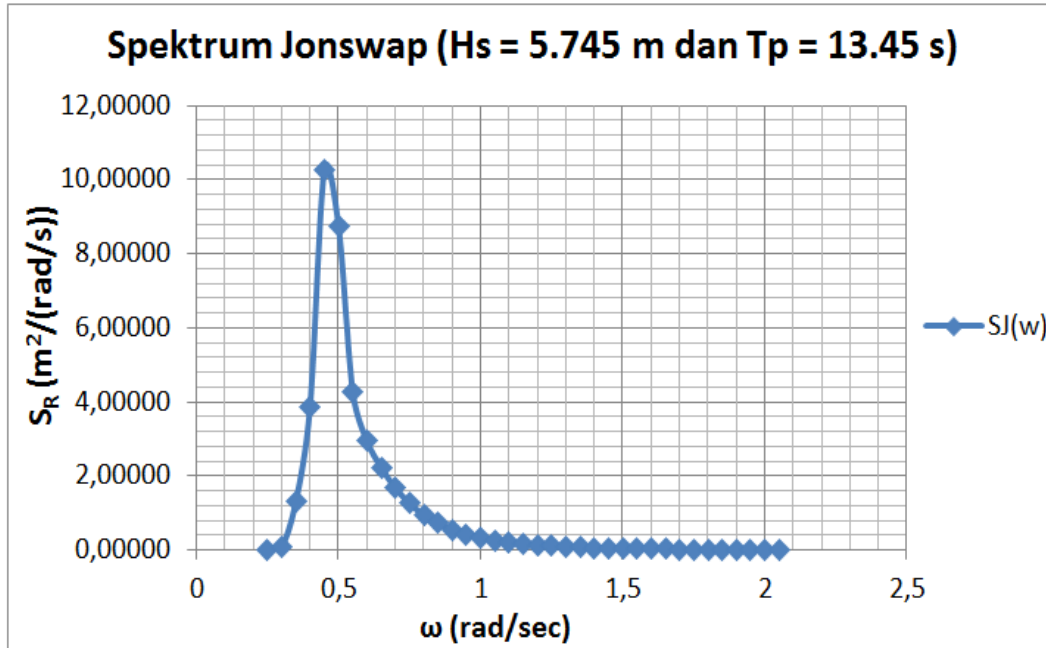
#### 4.1.1 Analisis Spektra Gelombang

Pemilihan spektrum didasarkan pada kondisi real laut yang ditinjau. Spektrum gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrum JONSWAP. Pemilihan spektrum JONSWAP ini didasarkan pada kondisi perairan Indonesia yang terlindung kepulauan. Untuk perairan Indonesia dengan mengambil harga  $\gamma$  sekitar 2,0 – 2,5. Bentuk grafik spektrum gelombang dengan menggunakan persamaan JONSWAP seperti pada Gambar \$.9

**Tabel 4.2. Perhitungan Spektrum JONSWAP**

**JONSWAP**

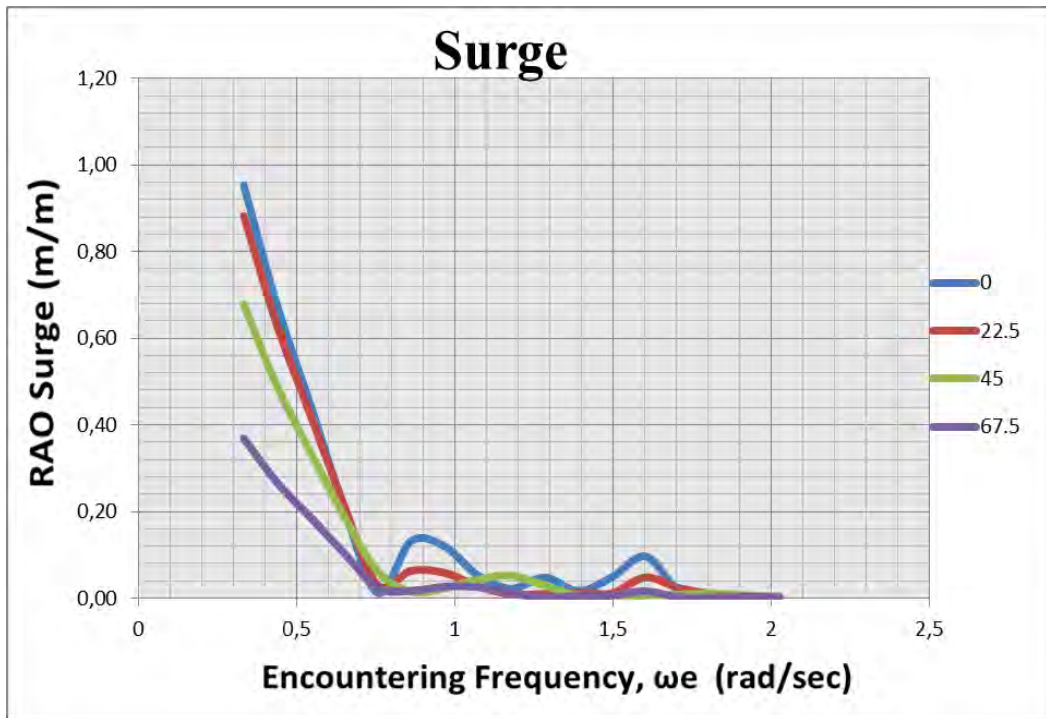
Hs	5,745	m					Hs =	5,69	m
$\omega$ (rad/s)	S( $\omega$ )	SM	S( $\omega$ )*SM	$\omega$ *S( $\omega$ )*SM	$\omega^2$ *S( $\omega$ )*SM	$\omega^4$ *S( $\omega$ )*SM	T <sub>0</sub> =	13,99	secs
(rad/s)	(m <sup>2</sup> /rad/s)						T <sub>p</sub> =	10,49	secs
0,25	0,00009	1	0,00009	0,00002	0,00001	0,00000	T <sub>Z</sub> =	13,33	secs
0,3	0,09703	4	0,38811	0,11643	0,03493	0,00314	$\omega_0$ =	0,45	rad/s
0,35	1,31463	2	2,62927	0,92024	0,32209	0,03946	$\omega_p$ =	0,60	rad/s
0,4	3,87821	4	15,51283	6,20513	2,48205	0,39713	$\omega_Z$ =	0,47	rad/s
0,45	10,24842	2	20,49684	9,22358	4,15061	0,84050	Hav =	3,56	m
0,5	8,75129	4	35,00518	17,50259	8,75129	2,18782	H <sub>1/10</sub> =	7,23	m
0,55	4,27012	2	8,54025	4,69714	2,58342	0,78149	Hext =	10,59	m
0,6	2,95571	4	11,82283	7,09370	4,25622	1,53224	$H(\alpha=0.01)$ =	13,67	m
0,65	2,23246	2	4,46492	2,90220	1,88643	0,79702			
0,7	1,67846	4	6,71383	4,69968	3,28978	1,61199			
0,75	1,26186	2	2,52371	1,89278	1,41959	0,79852			
0,8	0,95372	4	3,81487	3,05190	2,44152	1,56257			
0,85	0,72667	2	1,45335	1,23535	1,05004	0,75866			
0,9	0,55889	4	2,23555	2,01199	1,81079	1,46674			
0,95	0,43408	2	0,86815	0,82474	0,78351	0,70712			
1	0,34046	4	1,36182	1,36182	1,36182	1,36182			
1,05	0,26958	2	0,53916	0,56612	0,59442	0,65535			
1,1	0,21541	4	0,86166	0,94782	1,04261	1,26155			
1,15	0,17363	2	0,34726	0,39934	0,45925	0,60735			
1,2	0,14110	4	0,56438	0,67726	0,81271	1,17030			
1,25	0,11554	2	0,23109	0,28886	0,36107	0,56417			
1,3	0,09530	4	0,38122	0,49558	0,64425	1,08879			
1,35	0,07915	2	0,15829	0,21369	0,28848	0,52576			
1,4	0,06615	4	0,26458	0,37042	0,51859	1,01643			
1,45	0,05561	2	0,11123	0,16128	0,23386	0,49168			
1,5	0,04702	4	0,18809	0,28214	0,42321	0,95221			
1,55	0,03997	2	0,07994	0,12391	0,19206	0,46141			
1,6	0,03414	4	0,13658	0,21853	0,34964	0,89509			
1,65	0,02931	2	0,05861	0,09671	0,15957	0,43444			
1,7	0,02527	4	0,10106	0,17181	0,29207	0,84408			
1,75	0,02187	2	0,04375	0,07656	0,13398	0,41030			
1,8	0,01901	4	0,07605	0,13689	0,24640	0,79835			
1,85	0,01659	2	0,03318	0,06138	0,11355	0,38861			
1,9	0,01452	4	0,05810	0,11039	0,20974	0,75716			
1,95	0,01276	2	0,02552	0,04977	0,09705	0,36904			
2	0,01125	4	0,04499	0,08999	0,17998	0,71991			
2,05	0,00995	1	0,00995	0,02039	0,04180	0,17565			
		$\Sigma$ =	121,55849	68,26571	42,19460	23,64123			
			$\Sigma_0$	$\Sigma_1$	$\Sigma_2$	$\Sigma_4$			



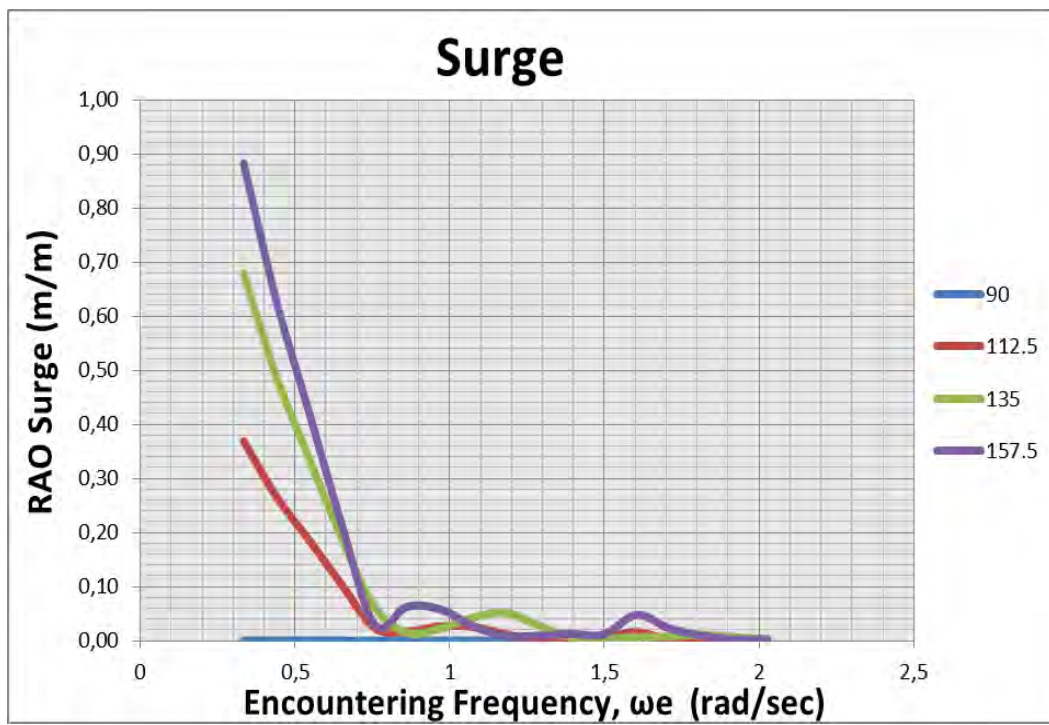
**Gambar 4.1.** Spektrum JONSWAP Perairan Natuna

#### 4.1.2 Analisis Perilaku Gerak *Semi-submersible* pada Gelombang Reguler

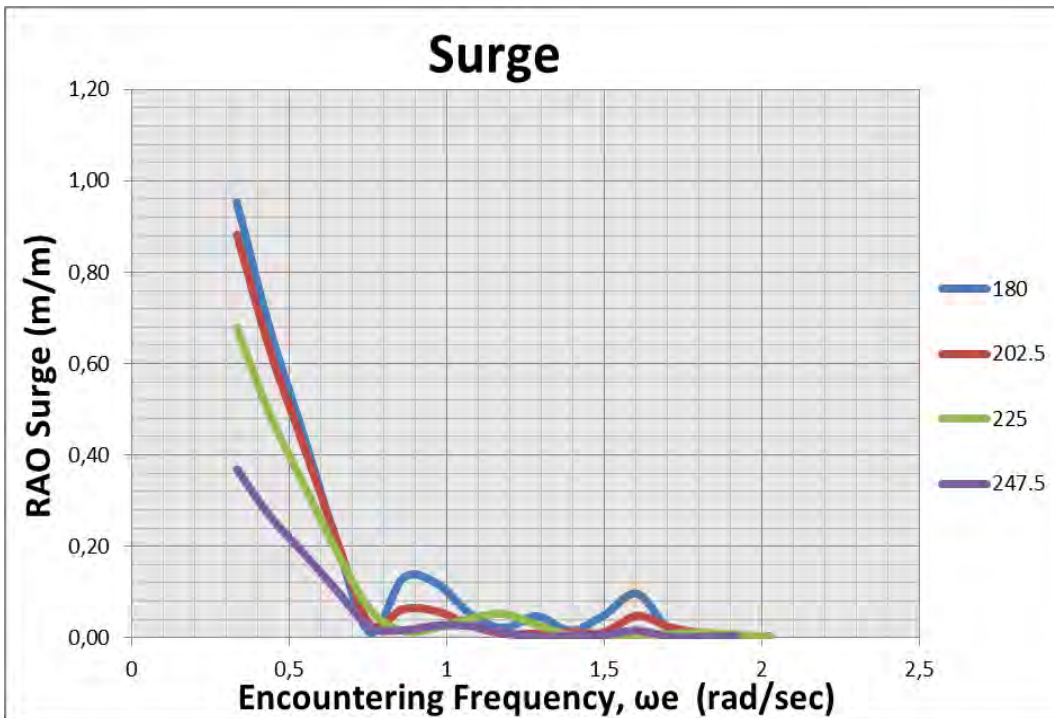
Simulasi dengan *software* ANSYS AQWA menghasilkan RAO (*Response Amplitude Operator*) untuk arah pembebanan  $0^{\circ}$ ,  $22,5^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $67,5^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $112,5^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $157,5^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $202,5^{\circ}$ ,  $225^{\circ}$ ,  $247,5^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $292,5^{\circ}$ ,  $315^{\circ}$ ,  $337,5^{\circ}$ ,  $360^{\circ}$  dalam enam derajat kebebasan (*full degree of freedom*), *surge*, *sway*, *heave*, *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Data RAO ini hanya menunjukkan karakteristik perilaku gerak *semi-submersible free floating* pada gelombang reguler. Grafik fungsi transfer (RAO) untuk masing-masing *semi-submersible* untuk masing-masing arah pembebanan (*heading*) dan masing-masing derajat kebebasan dapat dilihat pada gambar-gambar berikut ini :



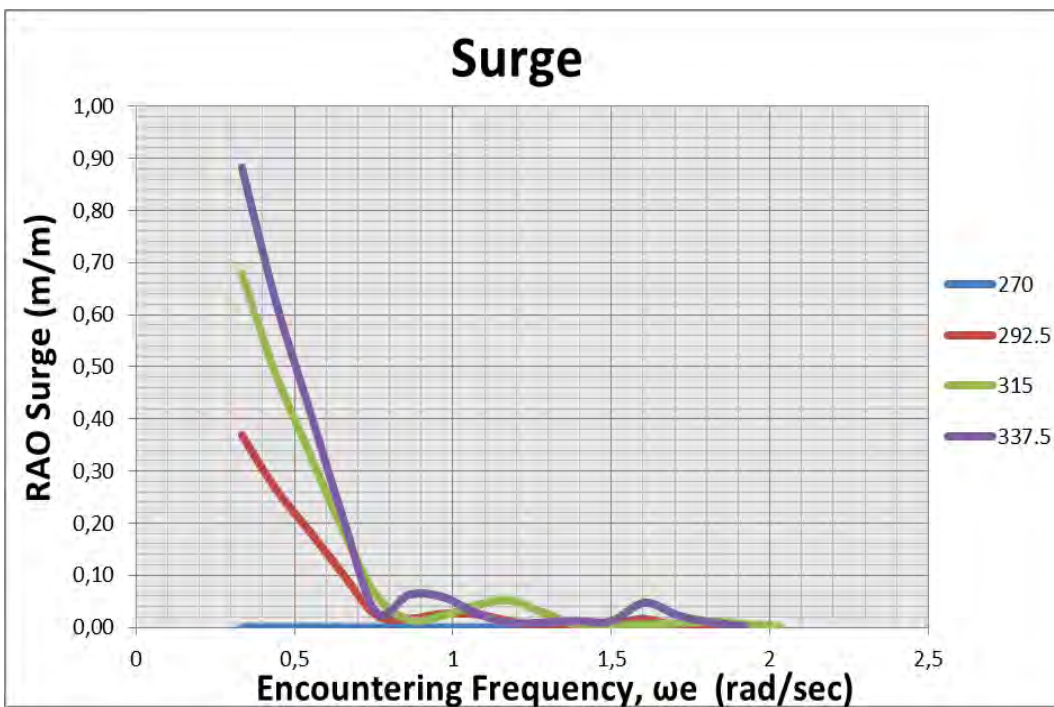
(a)



(b)



(c)

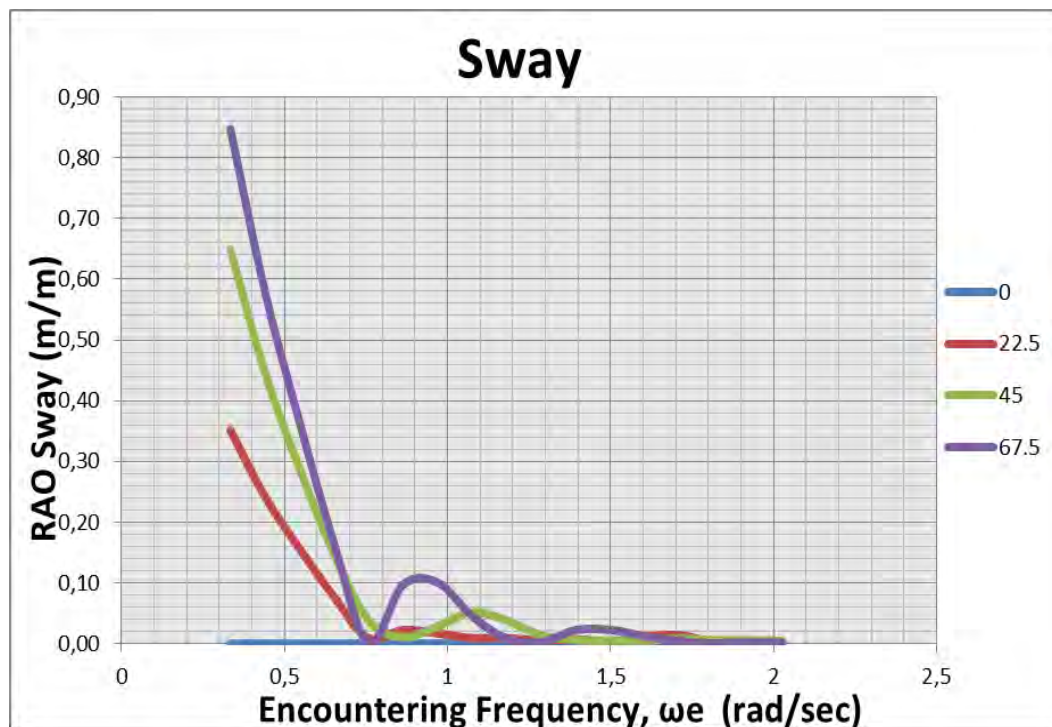


(d)

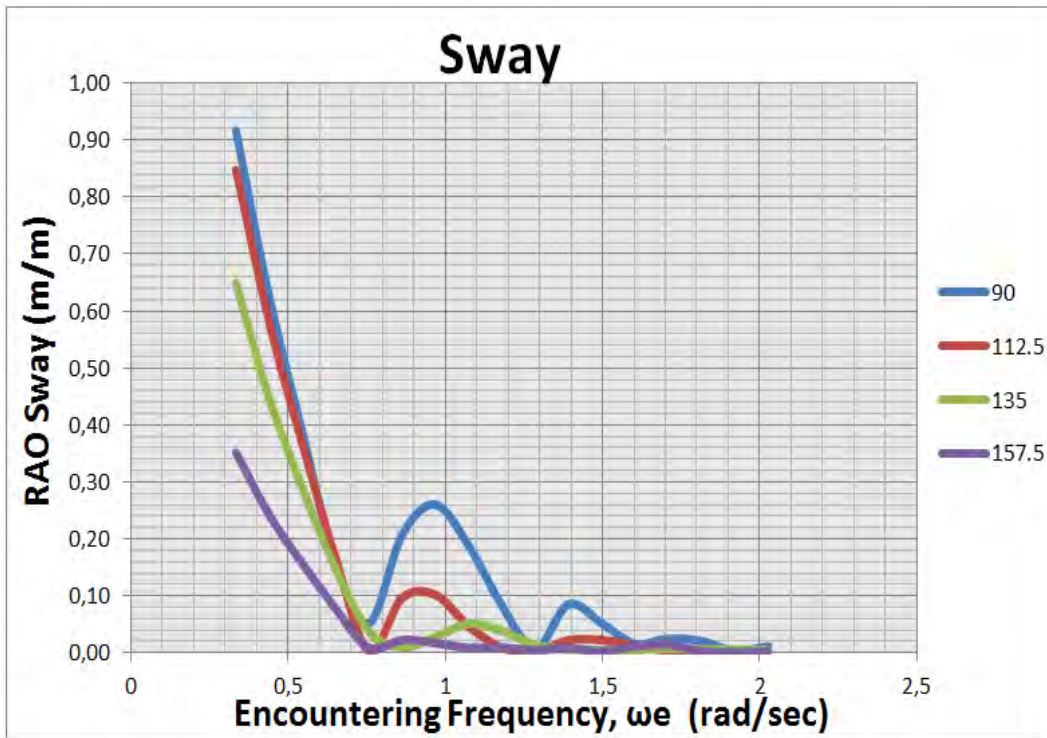
Gambar 4.2. RAO Semi-submersible Gerakan Surge



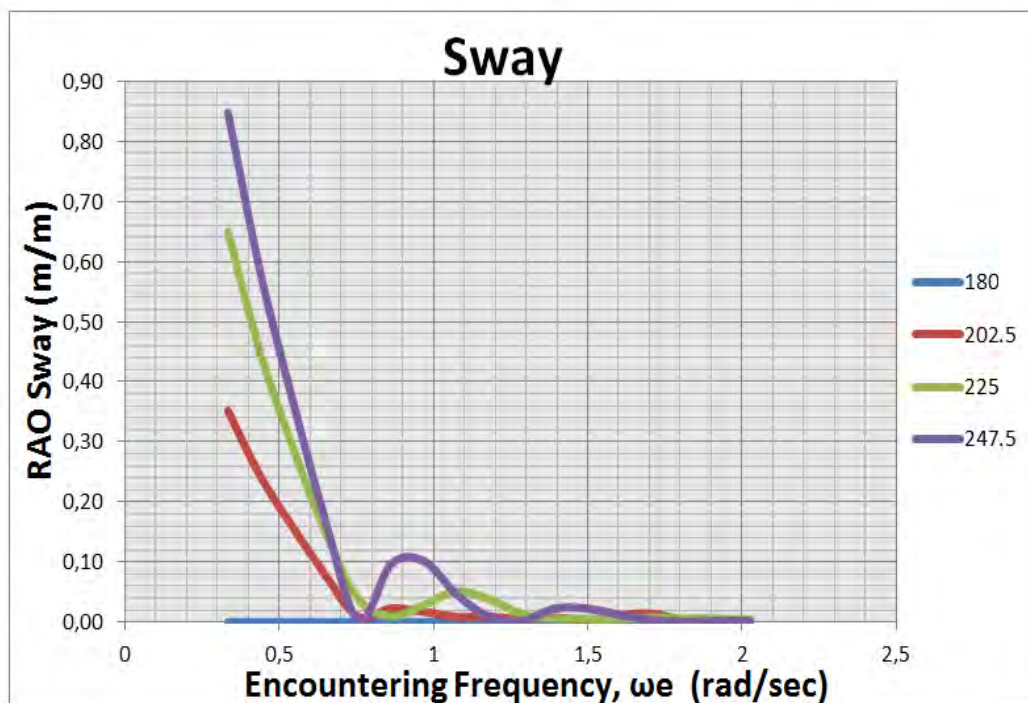
Dari Gambar 4.2 di atas dapat dilihat bahwa gerakan *surge* terbesar (resonansi utama) terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.3 – 0.334 rad/s kemudian turun hingga pada frekuensi sekitar 0.75 rad/s tetapi naik lagi karena terdapat resonansi kedua pada frekuensi sekitar 0.8 – 0.9 rad/s dan seterusnya (terdapat beberapa puncak). Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat dua bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda dari pola bentuk kurva lainnya, yaitu kurva dari arah  $90^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$ . Pada kurva dari arah  $90^{\circ}$  memiliki pola yang rendah sekali dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.000491 m/m, tidak berbeda dengan arah  $270^{\circ}$  yang memiliki nilai amplitudo terbesar sebesar 0.000487 m/m. Sedangkan untuk nilai amplitudo terbesar terjadi pada arah  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  dengan nilai sebesar 0.952931 m/m dan 0.952998 m/m. Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan surge amplitudo besar pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu untuk  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$ , sebaliknya untuk arah  $90^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$ .



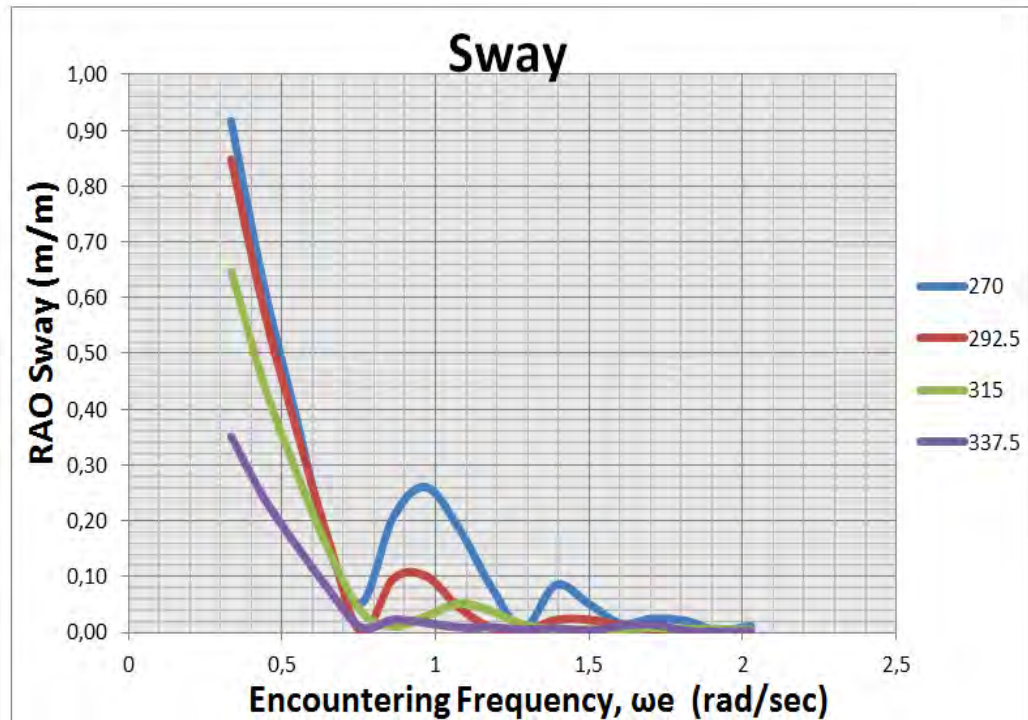
(a)



(b)



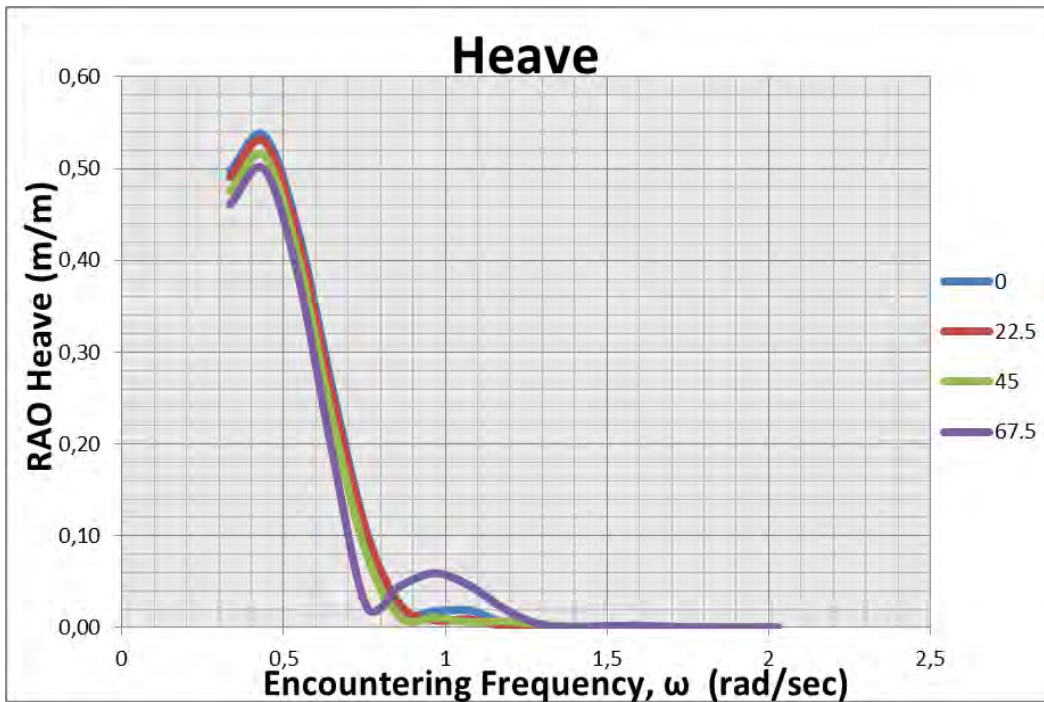
(c)



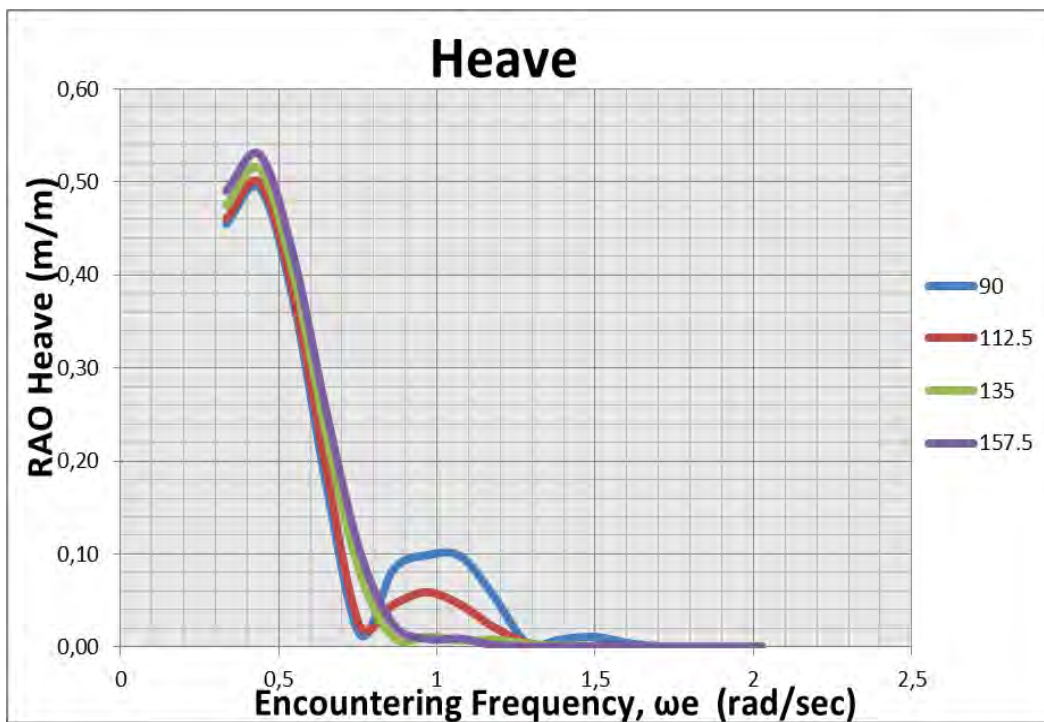
(d)

**Gambar 4.3.** RAO *Semi-submersible* Gerakan Sway

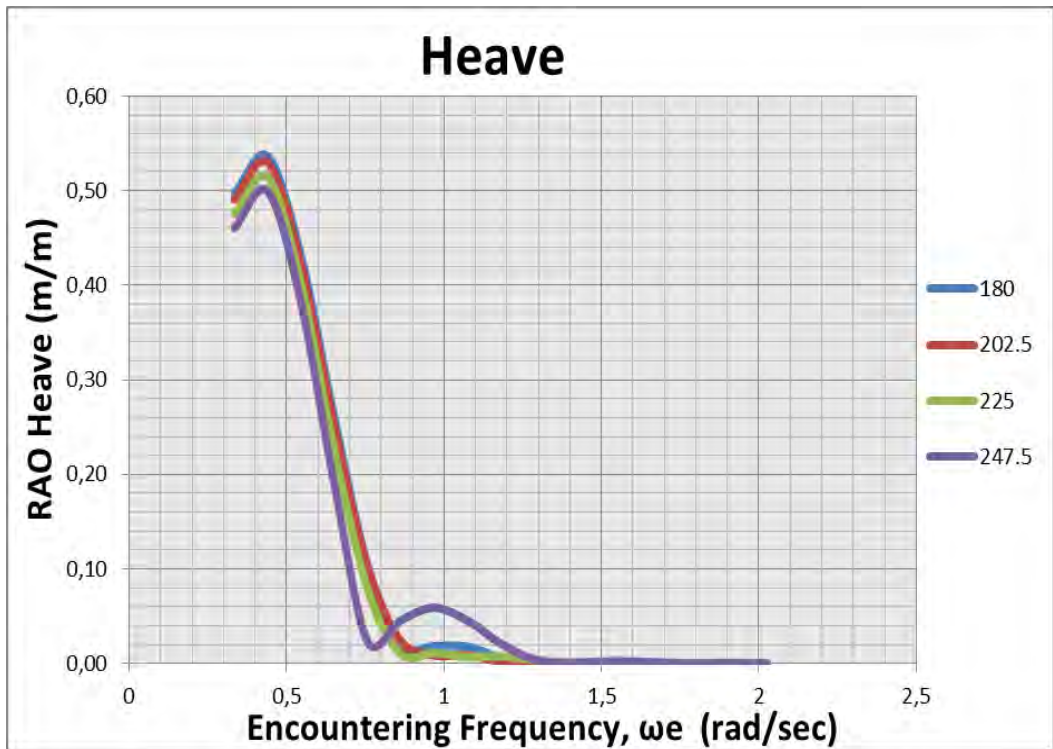
RAO gerakan *sway* seperti yang terlihat pada Gambar 4.3 hampir sama dengan RAO gerakan *surge*. Resonansi utama juga terjadi pada frekuensi rendah sekitar 0.3 – 0.334 rad/s kemudian turun hingga pada frekuensi sekitar 0.75 rad/s lalu kemudian naik lagi karena terdapat resonansi kedua pada frekuensi sekitar 0.8 - 1 rad/s dan seterusnya. RAO sway yang paling signifikan terjadi untuk arah gelombang  $90^\circ$  dengan RAO tertinggi sebesar 0.9163 m/m yang terjadi pada frekuensi 0.334 rad/s. Pada arah gelombang  $180^\circ$  RAO sway bernilai sekitar 0.000039 m/m pada setiap frekuensi, hal ini di sebabkan besarnya gerakan *sway* juga mengikuti arah vektor beban gelombang yang datang sama seperti gerakan *surge*



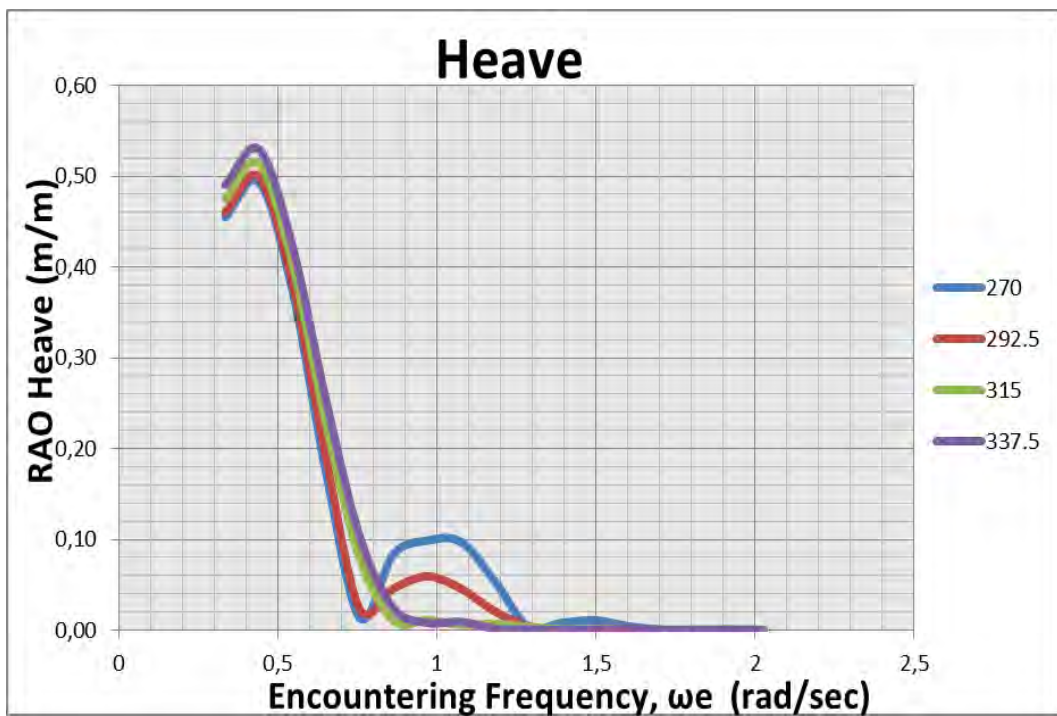
(a)



(b)

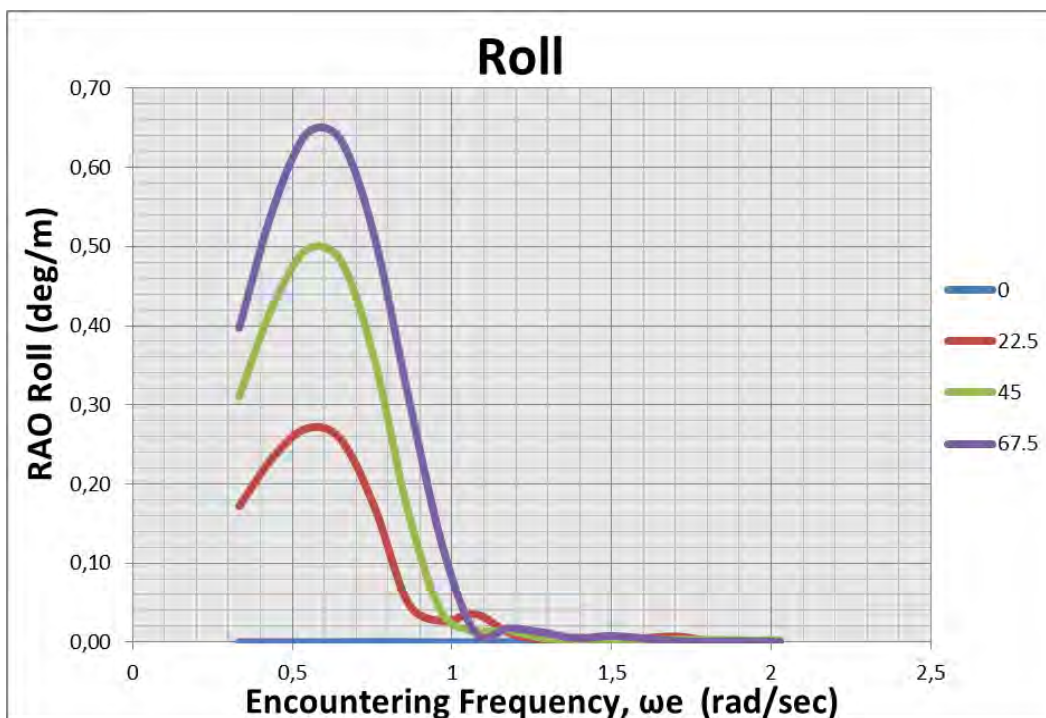


(c)

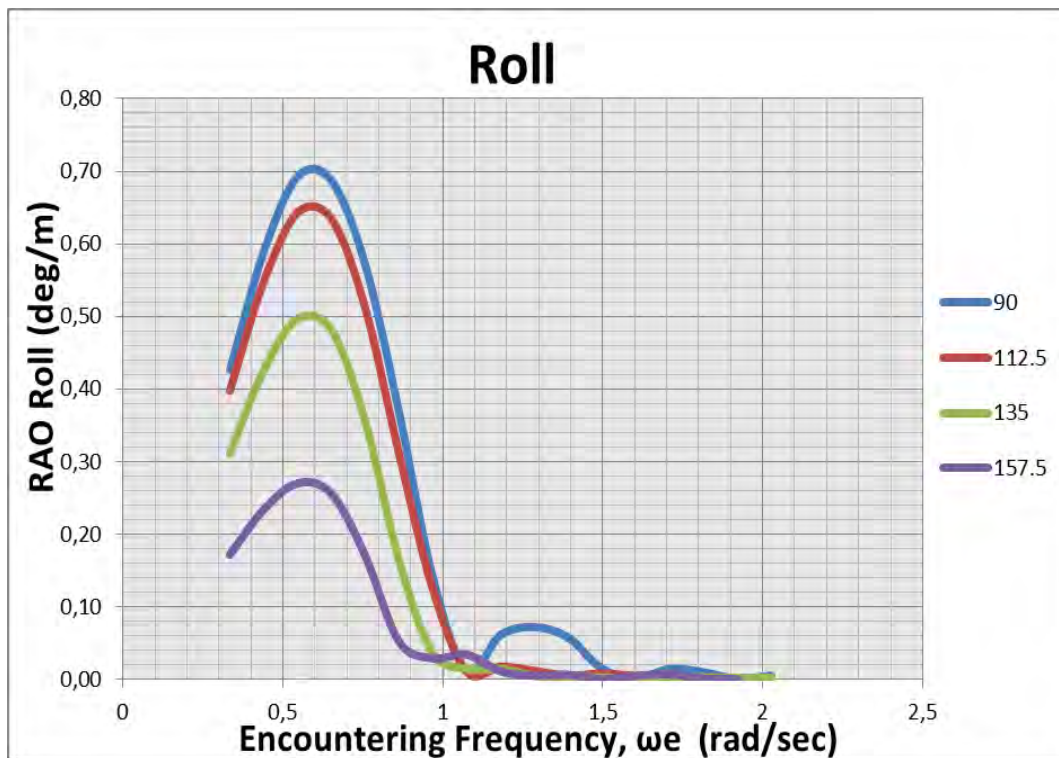


(d)

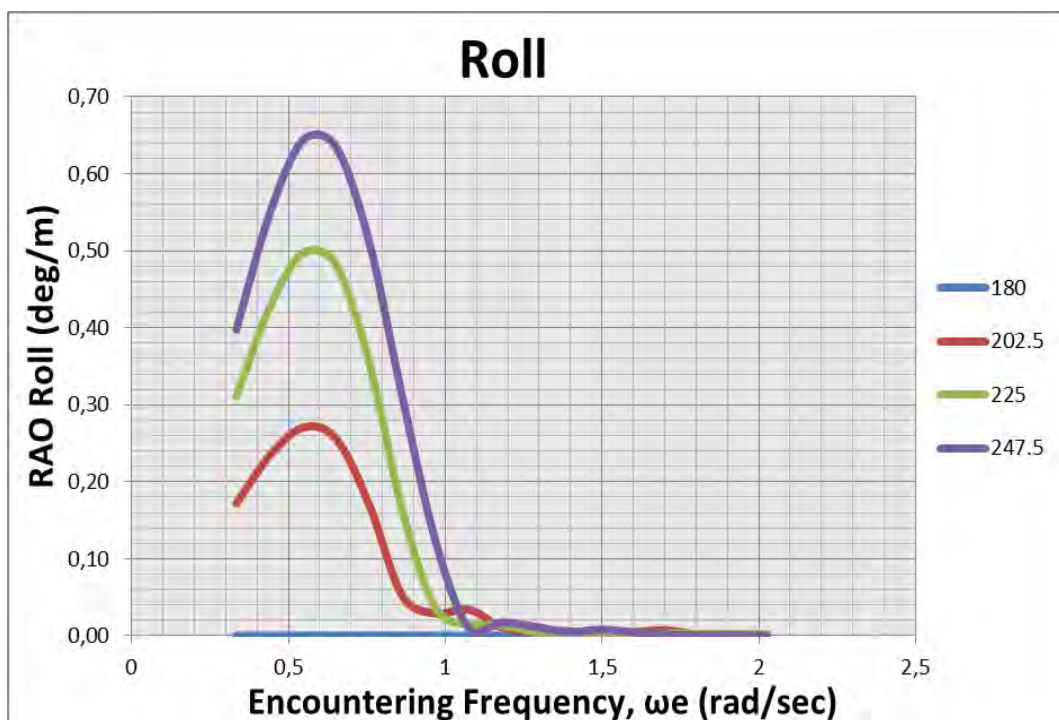
Pada kurva | **Gambar 4.4.** RAO *semi-submersible* gerakan *heave* sar dihasilkan oleh semua arah sudut pembebanan dengan nilai antara 0.497 m/m hingga 0.536 m/m, pada saat frekuensi 0.44 rad/sec. Namun terjadi penurunan yang signifikan pada frekuensi sekitar 0.7 – 0.8 rad/sec pada semua arah pembebanan. Terjadi resonansi yang tidak terlalu besar pada frekuensi 1 rad/sec Nilai amplitudo *heave* sangat kecil ketika frekuensi 2.027 rad/sec yaitu berkisar antara 0.000257 - 0.0004 m/m untuk semua sudut. Pada grafik RAO *heave* diatas tidak terlihat perbedaan pola bentuk dari keseluruhan kurva, rata-rata nilai amplitudo untuk tiap-tiap frekuensinya hampir sama untuk semua arah pembebanan.



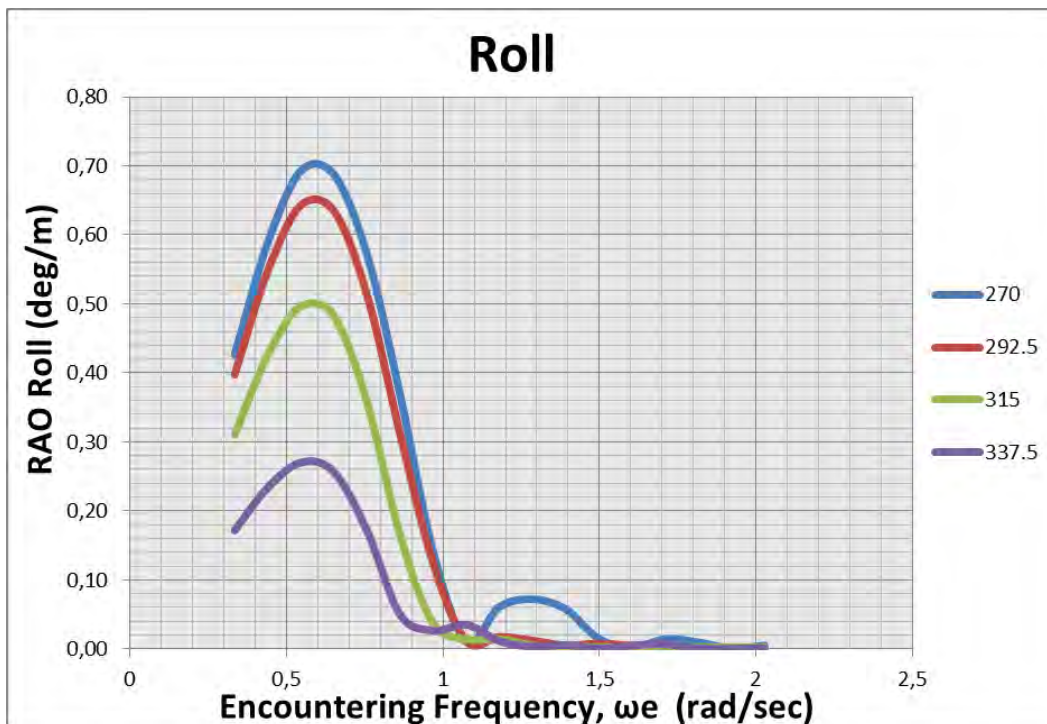
(a)



(b)



(c)

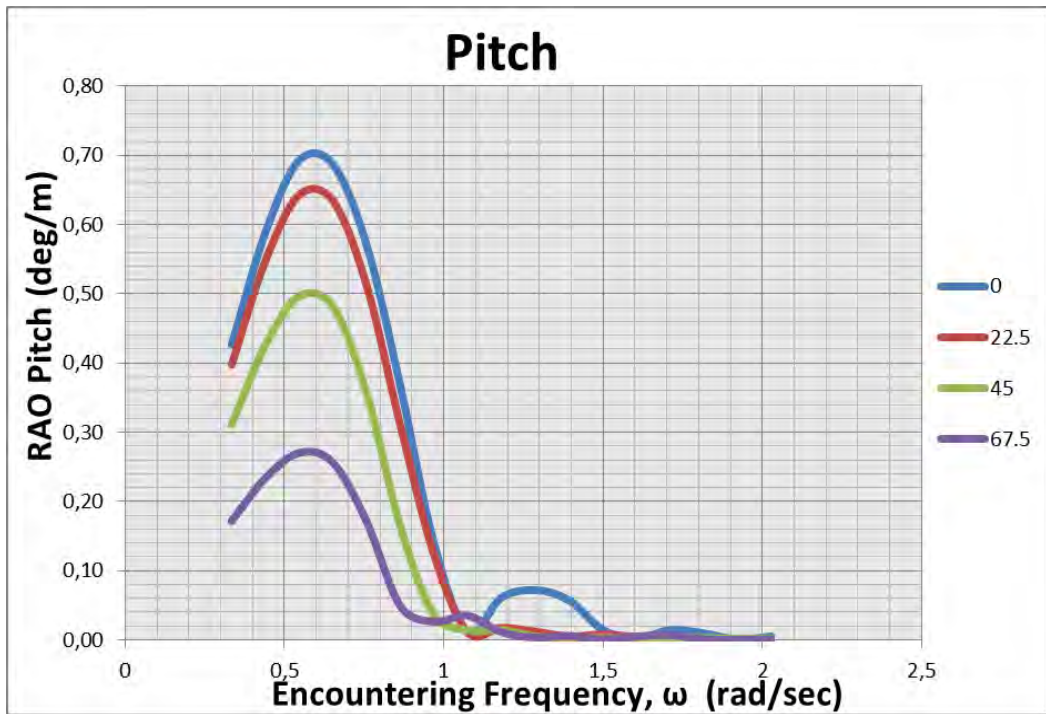


(d)

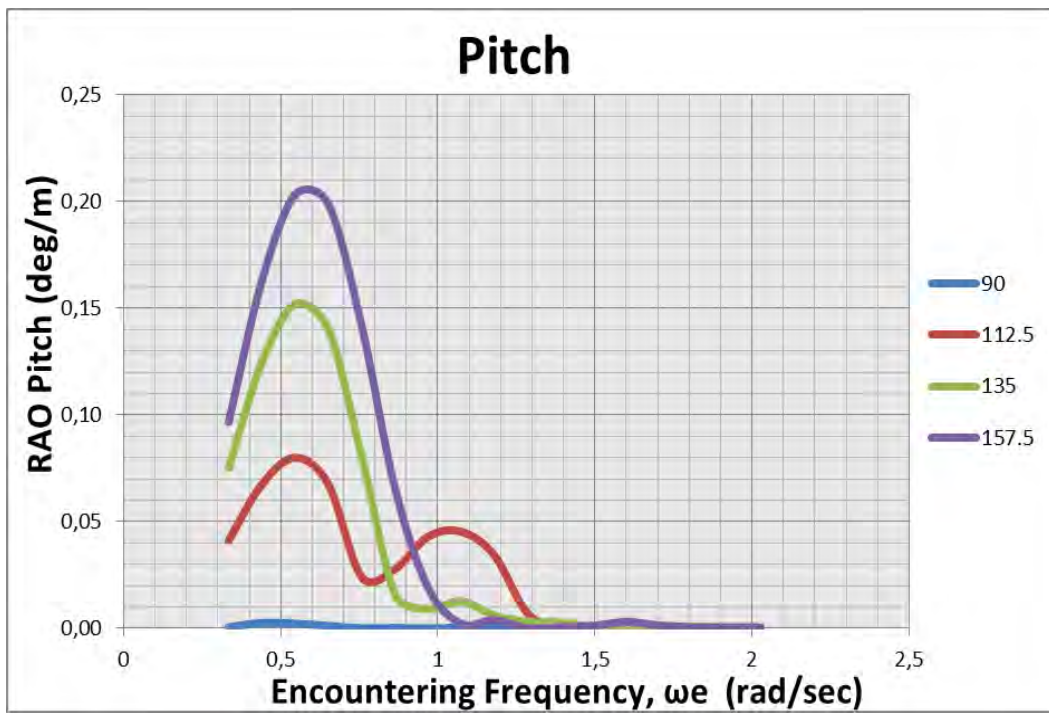
**Gambar 4.5.** RAO *Semi-submersible* Gerakan *Roll*

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa gerakan *roll* terbesar terjadi pada arah gelombang  $90^\circ$  (*beamseas*). Resonansi utama terjadi pada frekuensi sekitar 0.546 rad/s kemudian turun hingga pada frekuensi sekitar 1.1 rad/s tetapi naik lagi karena terdapat resonansi kedua, dimana RAO roll untuk arah gelombang  $90^\circ$  tersebut memiliki amplitudo tertinggi sebesar 0.692 deg/m yang terjadi pada frekuensi 0.546 rad/s. Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat dua bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda dari pola bentuk kurva lainnya, yaitu kurva dari arah  $0^\circ$  dan  $180^\circ$ . Pada kurva dengan arah  $0^\circ$  memiliki pola yang rendah sekali dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.000076 deg/m, tidak berbeda dengan arah  $180^\circ$  yang memiliki nilai amplitudo terbesar sama dengan arah  $0^\circ$ . Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan roll amplitudo besar pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu dari arah melintang struktur *semi-submersible*, sebaliknya untuk pembebanan dari arah longitudinal struktur.

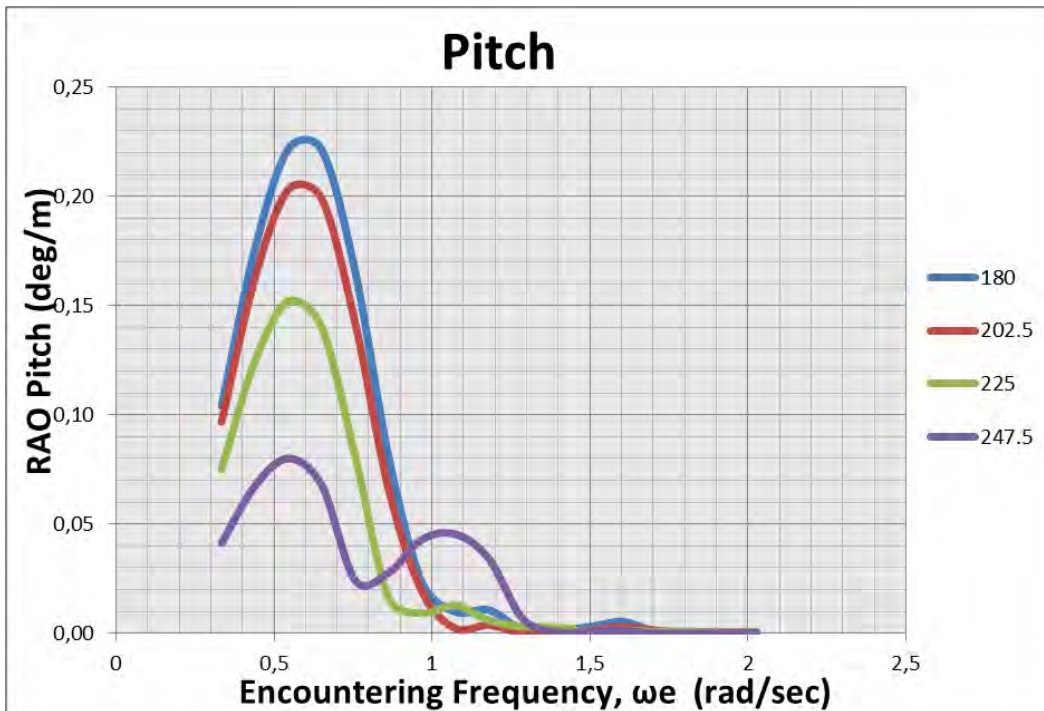




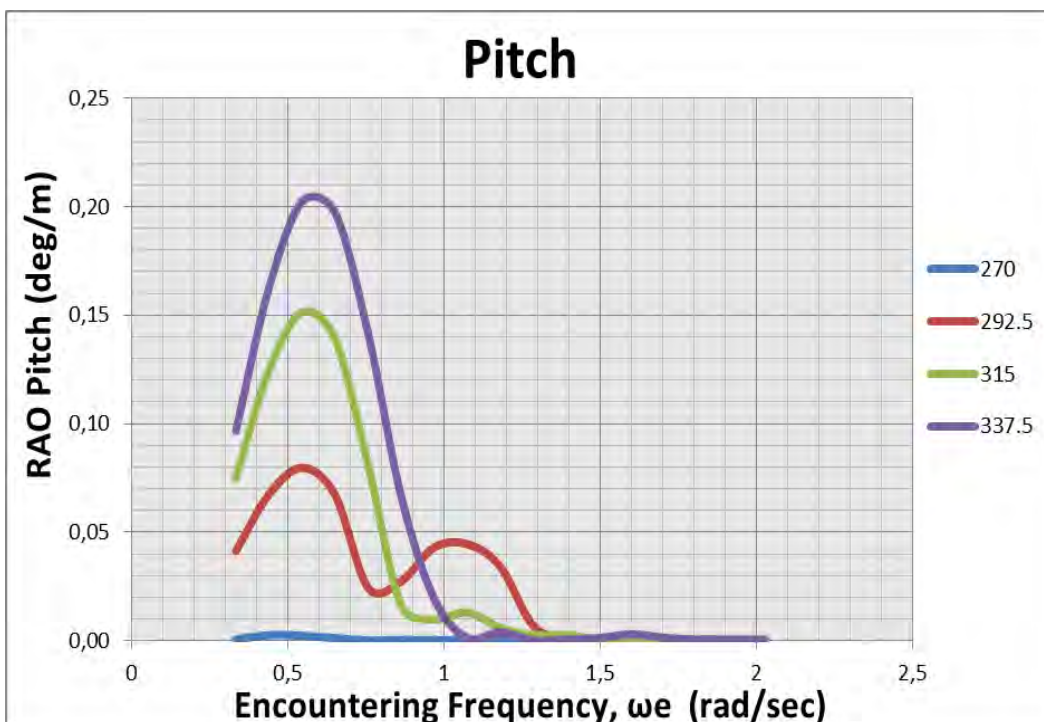
(a)



(b)



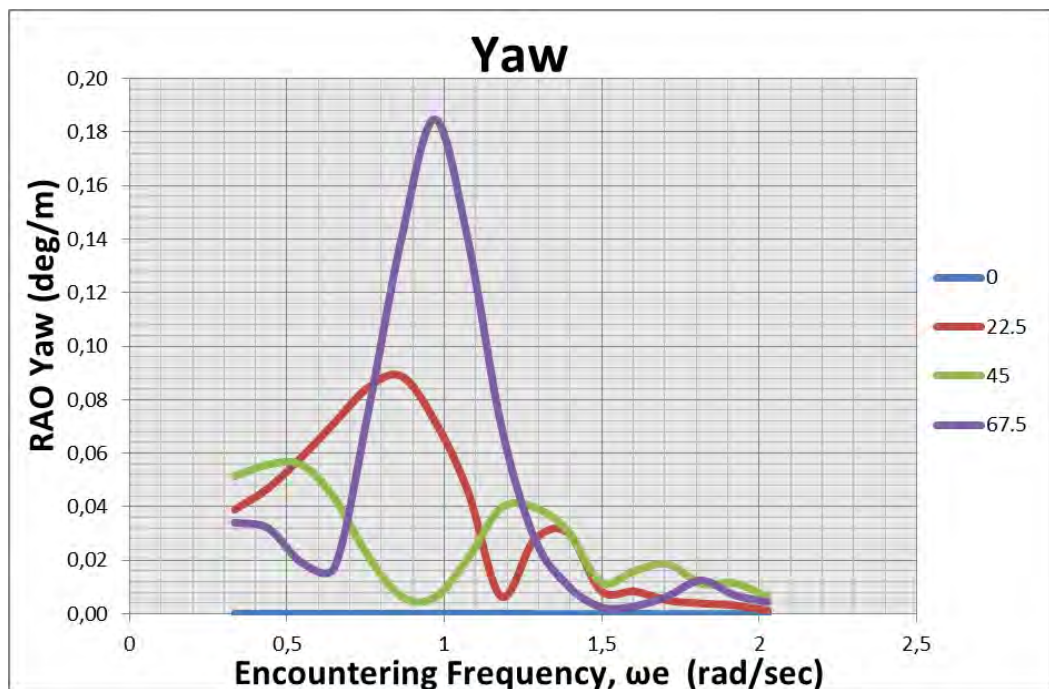
(c)



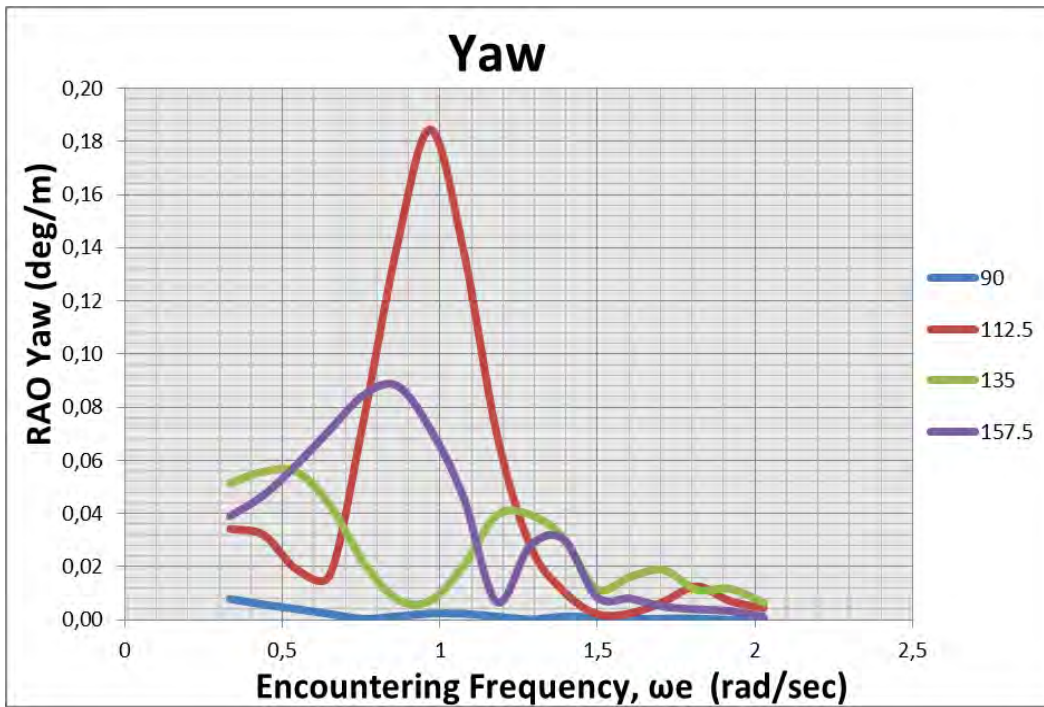
(d)

**Gambar 4.6.** RAO *Semi-submersible* Gerakan *Pitch*

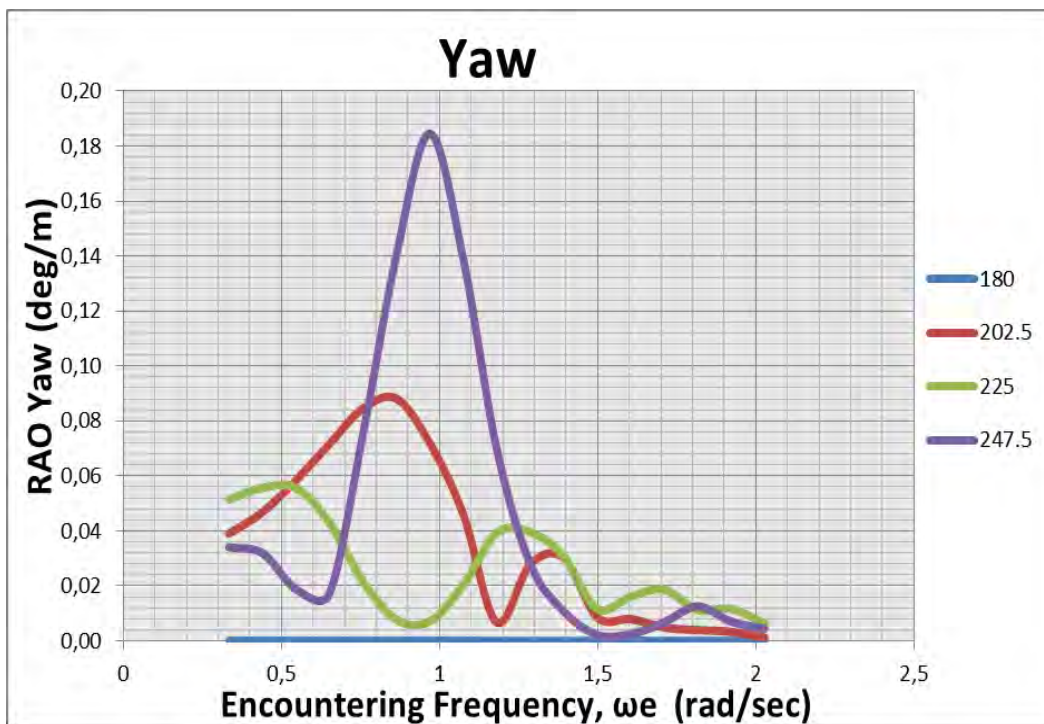
Pada kurva RAO untuk gerakan pitch Gambar 4.6, amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut  $0^{\circ}$  dan  $22.5^{\circ}$  adalah sebesar 0.6929 deg/m dan 0.6431 deg/m, pada saat frekuensi sebesar 0.546 rad/sec. Pada frekuensi tersebut juga terjadi resonansi pada hampir semua arah pembebanan. Nilai amplitudo roll sangat kecil ketika frekuensi 2.027 rad/sec yaitu berkisar antara 0 - 0.000299 deg/m untuk semua arah sudut. Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa terdapat dua bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda dari pola bentuk kurva lainnya, yaitu kurva dari arah  $90^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$ . Pada kurva dengan arah  $90^{\circ}$  memiliki pola yang rendah sekali dengan nilai amplitudo terbesar sebesar 0.0026 deg/m, tidak berbeda jauh dengan arah  $270^{\circ}$  yang memiliki nilai amplitudo sebesar 0.00261 deg/m. Hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan pitch amplitudo besar pada sudut arah pembebanan yang mendominasi yaitu dari arah membujur struktur *semi-submersible*, sebaliknya untuk pembebanan dari arah melintang struktur.



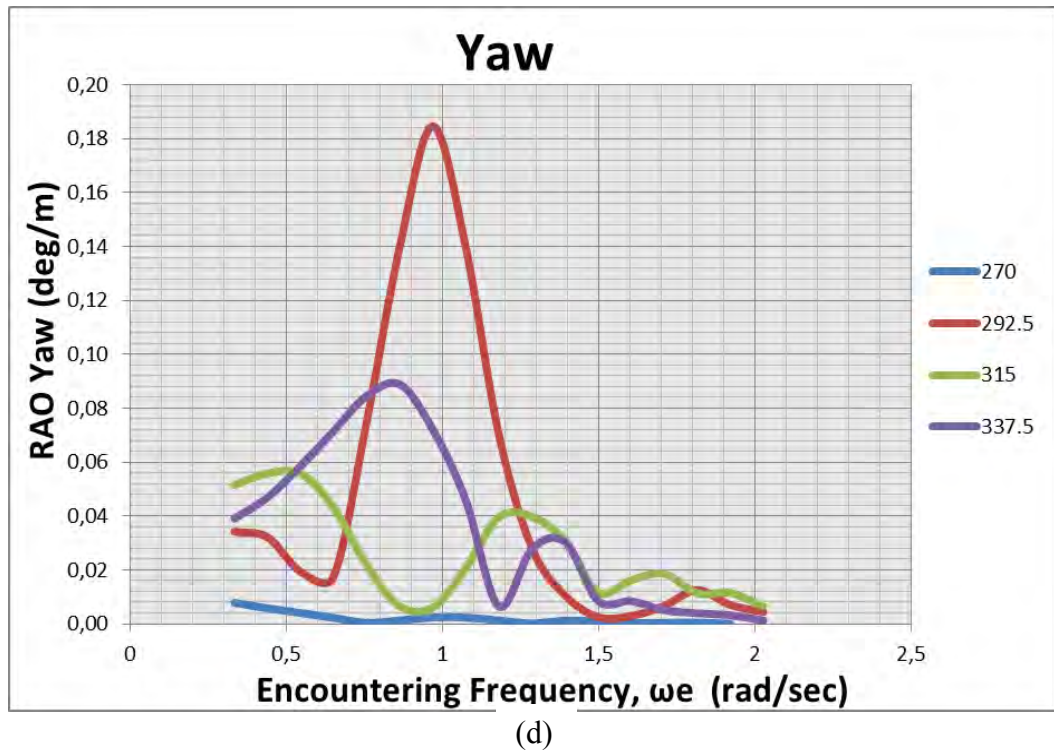
(a)



(b)



(c)



Gambar 4.7. RAO *Semi-submersible* Gerakan Yaw

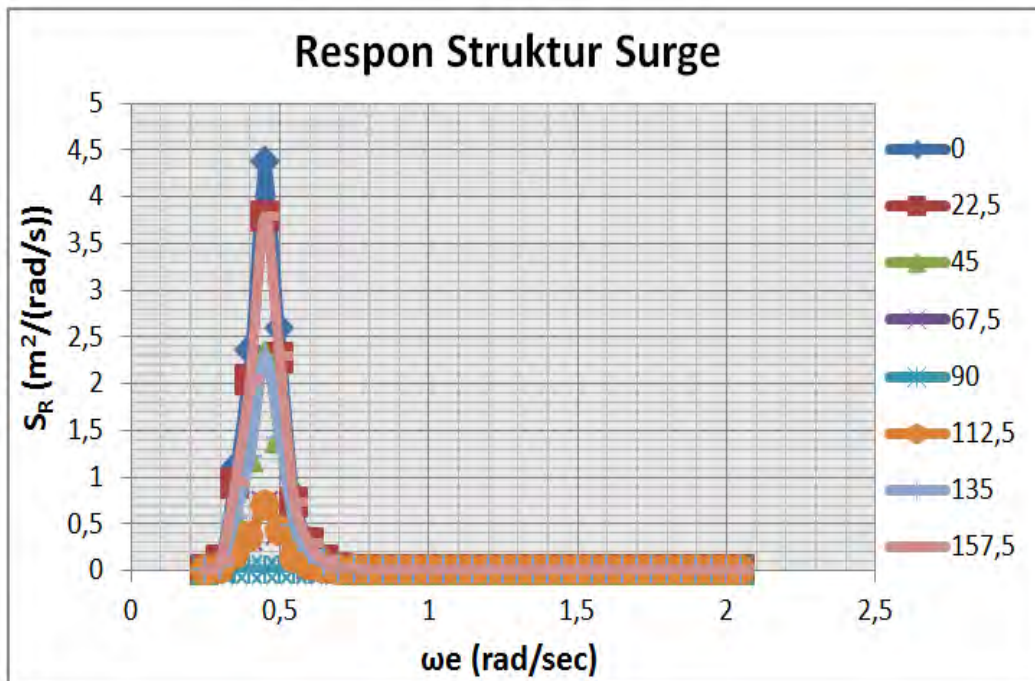
Pada kurva RAO untuk gerakan yaw Gambar 4.7, amplitudo terbesar dihasilkan oleh arah sudut  $67.5^0$  dan  $247.5^0$  adalah sebesar 0.1847 deg/m dan 0.1878 deg/m, pada saat frekuensi sebesar 0.546 rad/sec. Pada frekuensi tersebut juga terjadi resonansi pada hampir semua arah pembebanan. Nilai amplitudo yaw sangat kecil ketika frekuensi 2.027 rad/sec yaitu berkisar antara 0.0000069 - 0.0002452 deg/m untuk semua arah sudut. Pada grafik RAO diatas terlihat bahwa tidak terdapat bentuk kurva yang memiliki pola yang berbeda dari pola bentuk kurva lainnya. Berdasarkan amplitudo terbesar yang menyebabkan gerakan yaw pada struktur dengan sudut arah pembebanan  $67.5^0$  dan  $247.5^0$  bahwa hal tersebut wajar terjadi karena untuk gerakan yaw amplitudo besar terjadi pada sudut arah pembebanan yang mengarah tidak pada arah tegak lurus maupun sejajar struktur.

#### 4.1.0 Analisis Respon Struktur

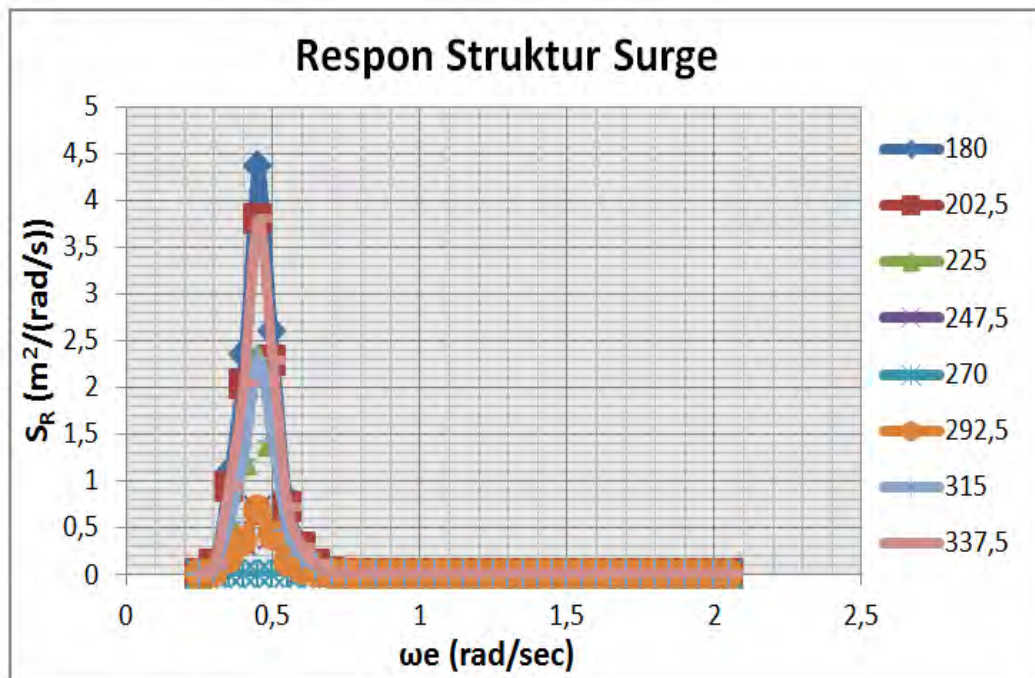
Selanjutnya adalah menentukan respon struktur dari *Semi-Submersible Essar Wildcat* sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Spektra respons didapatkan dengan cara mengkalikan spektra gelombang dengan  $RAO^2$ . Maka grafik respon struktur pada enam derajat kebebasan yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\boxed{RAO^2} \times \boxed{S(\omega)} = \boxed{Sr(\omega)}$$

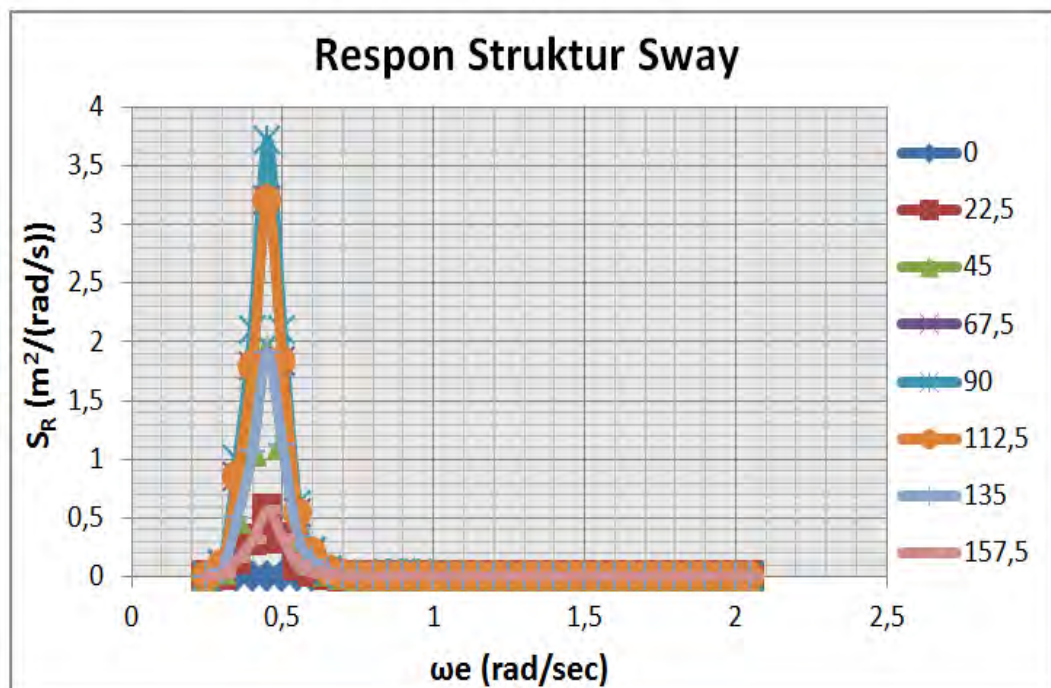
Gambar 4.8. Langkah Perhitungan Respon Struktur



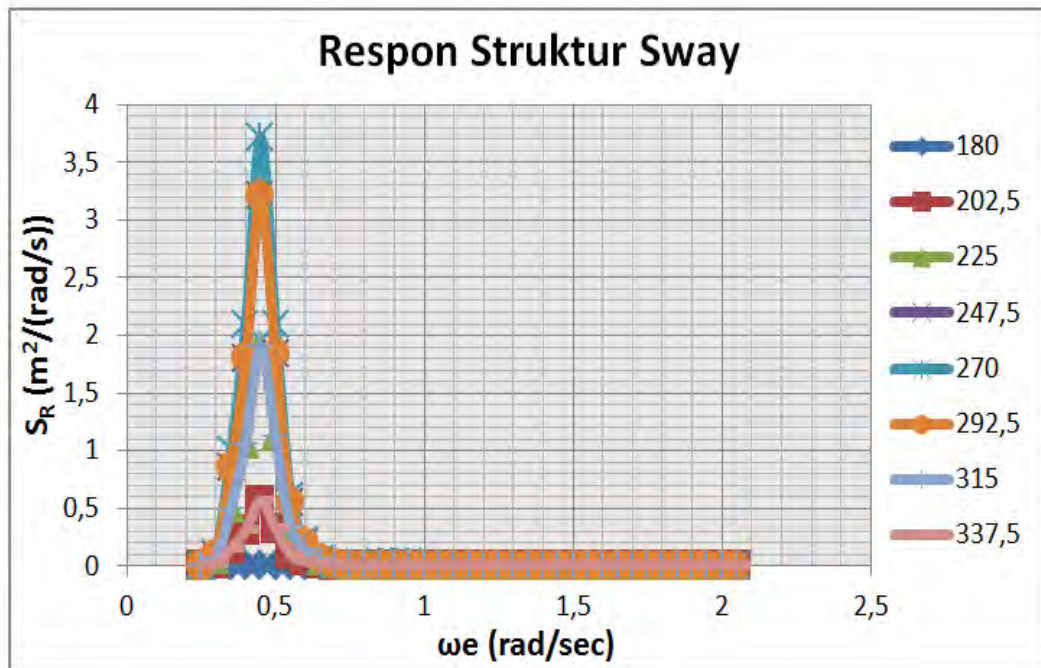
(a)



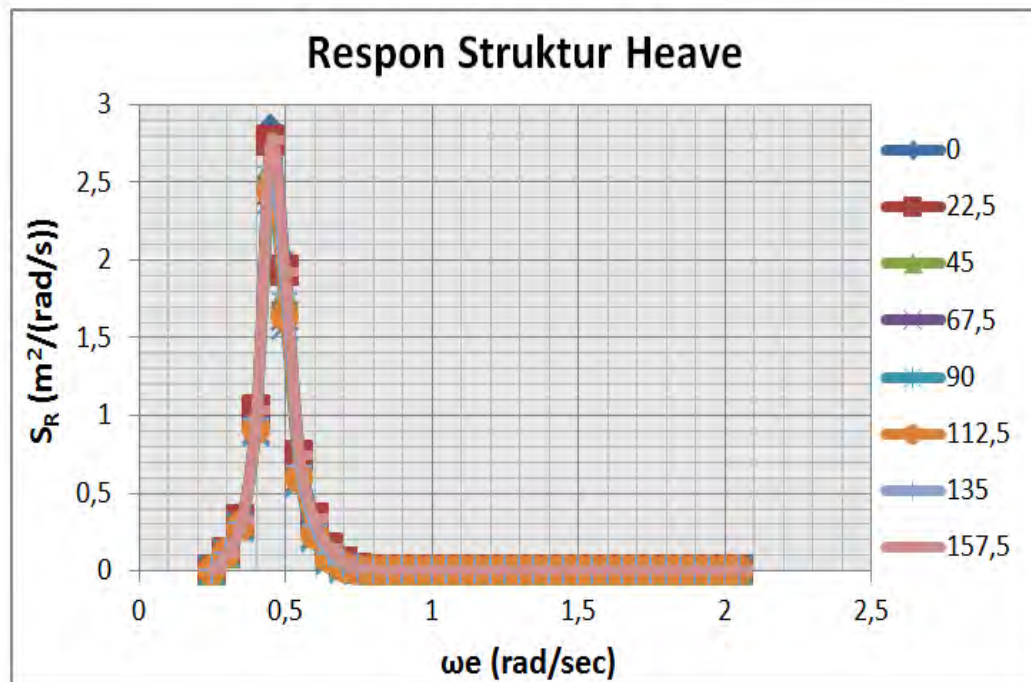
(b)



(c)

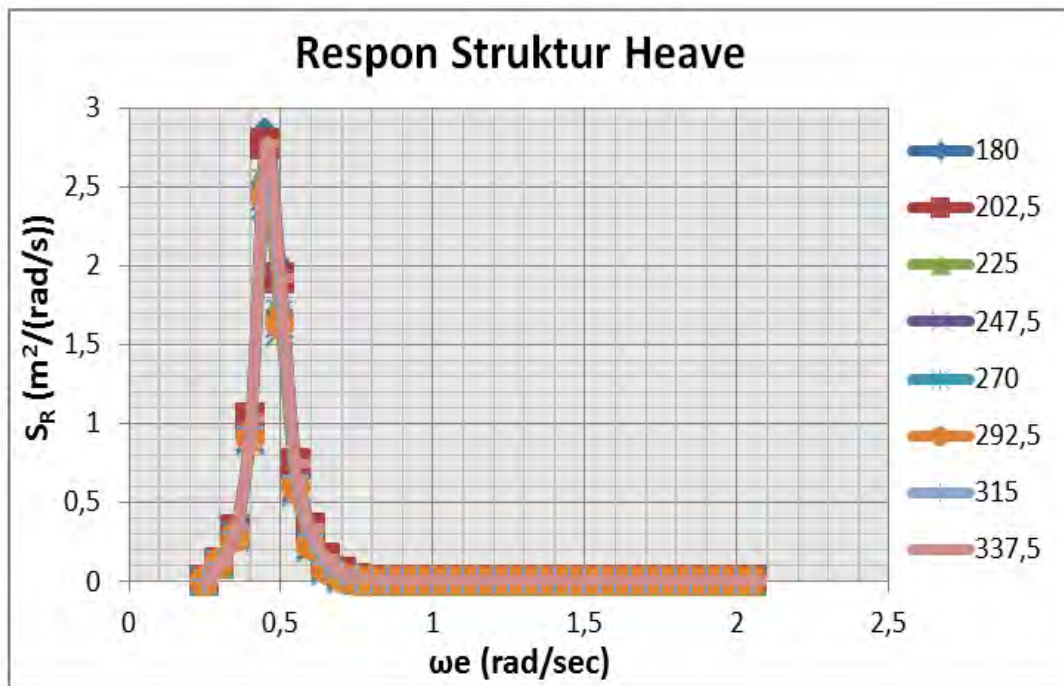


(d)

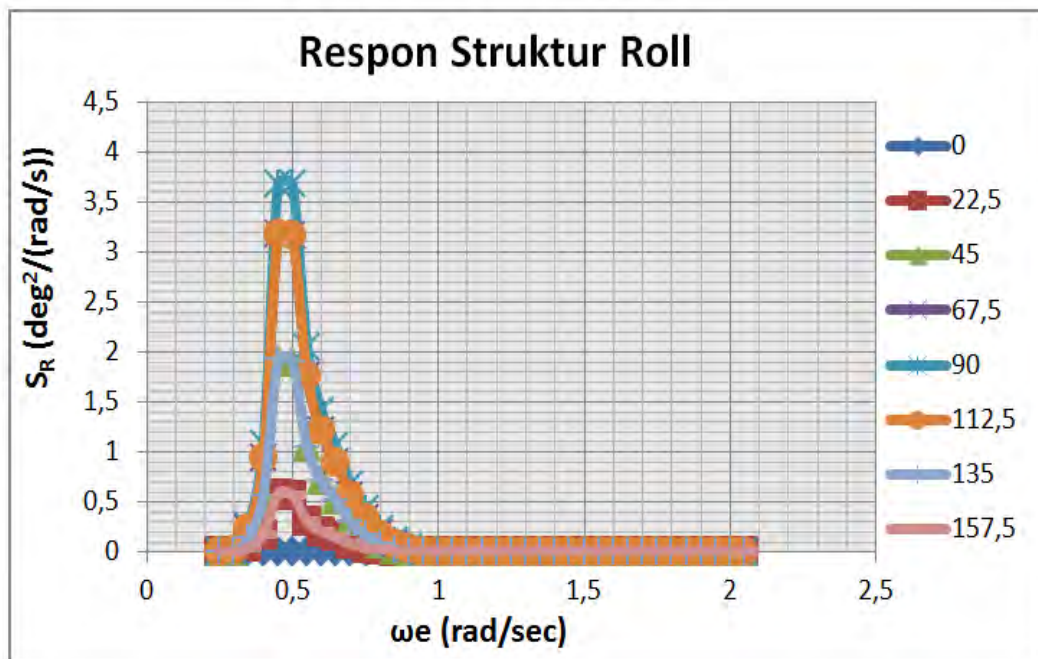


(e)

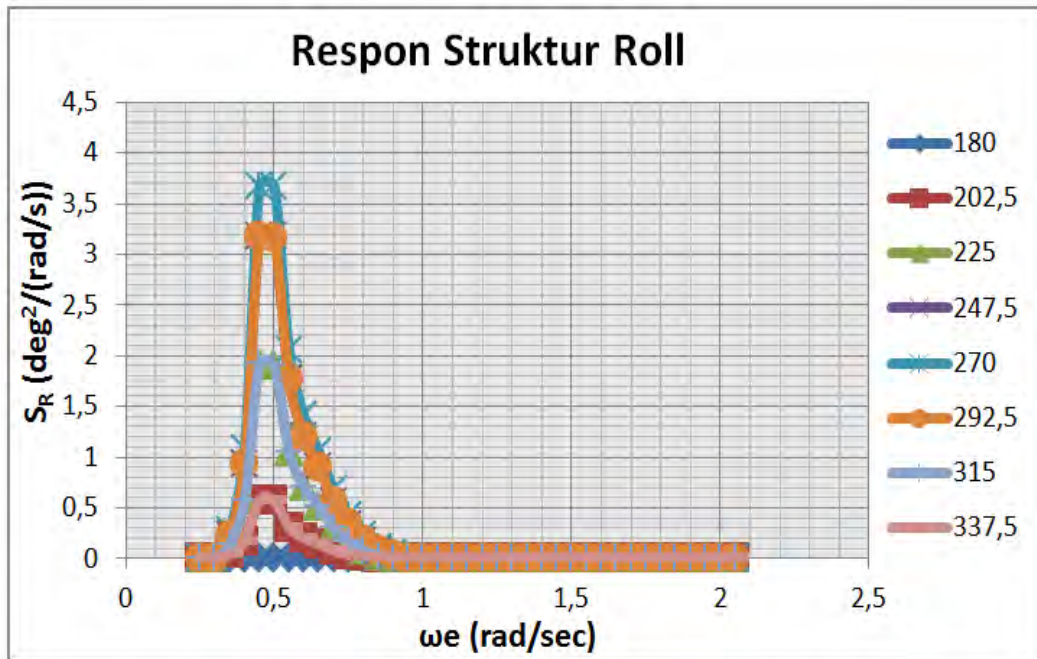




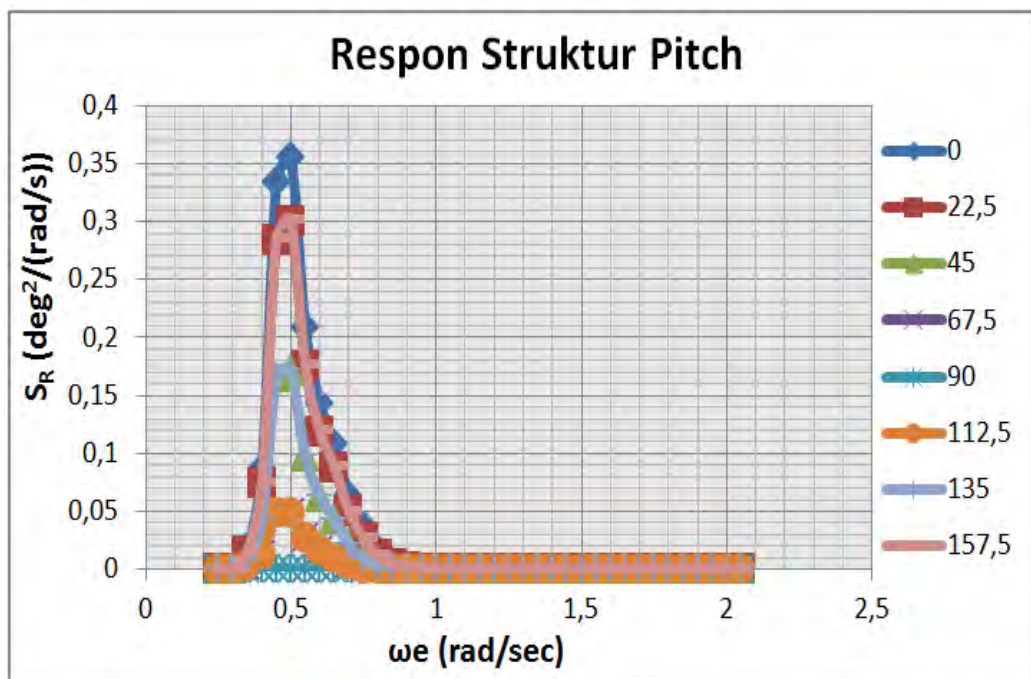
(f)



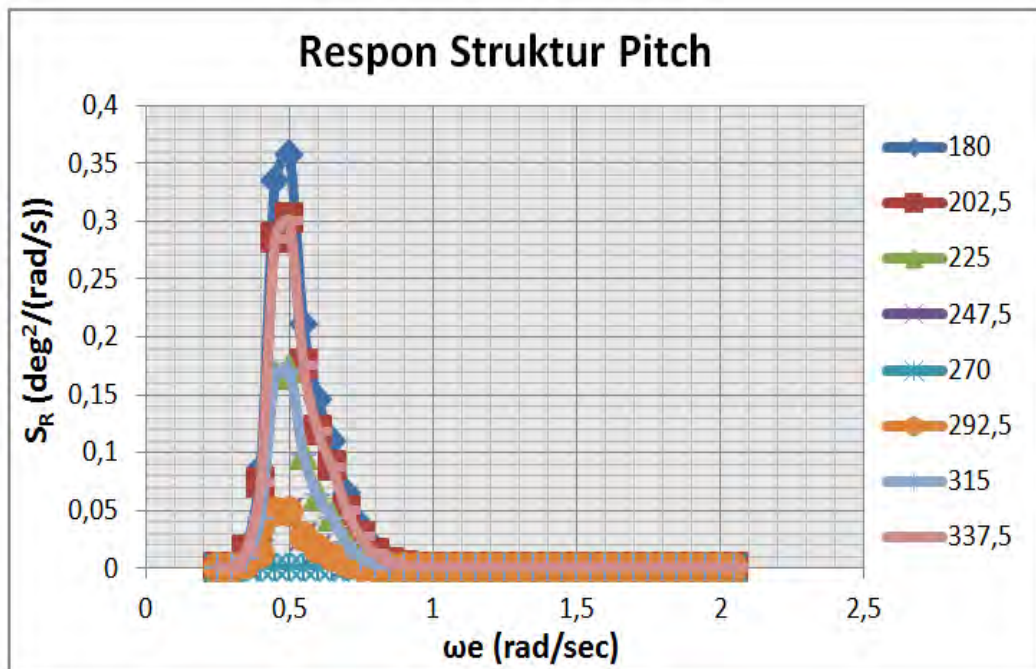
(g)



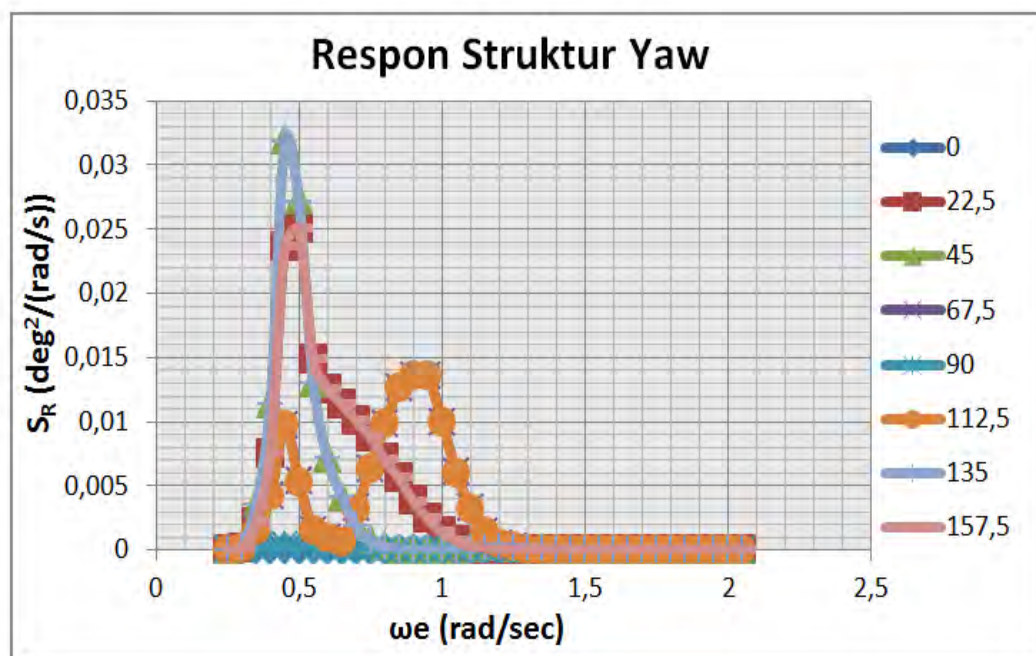
(h)



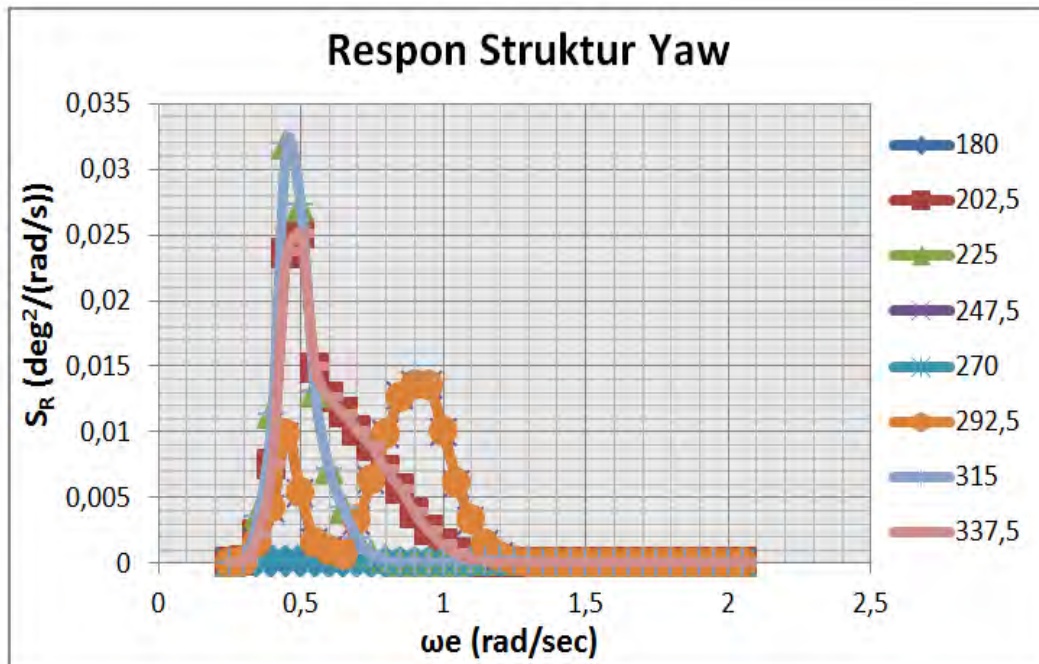
(i)



(j)



(k)



(l)

**Gambar 4.9.** Respon Struktur *Semi-submersible* Essar Wildcat Pada Kondisi Ekstrem 100 Tahunan Perairan Natuna

Respon struktur untuk gerakan surge terjadi paling besar pada arah  $180^\circ$ , yaitu dengan nilai  $S_R = 4.371 \text{ (m}^2\text{/(rad/s))}$ . Respon struktur untuk gerakan sway terjadi paling besar pada arah  $270^\circ$ , yaitu dengan nilai  $S_R = 3.7169 \text{ (m}^2\text{/(rad/s))}$ . Respon struktur untuk gerakan heave terjadi paling besar hampir untuk semua arah, yaitu nilai sekitar  $S_R = 2 - 2.8 \text{ (m}^2\text{/(rad/s))}$ . Respon struktur untuk gerakan roll terjadi paling besar pada arah  $270^\circ$ , yaitu dengan nilai  $S_R = 3.675 \text{ (deg}^2\text{/(rad/s))}$ . Respon struktur untuk gerakan pitch terjadi paling besar pada arah  $180^\circ$ , yaitu dengan nilai  $S_R = 0.357 \text{ (deg}^2\text{/(rad/s))}$ . Respon struktur untuk gerakan yaw terjadi paling besar pada arah  $225^\circ$  dengan nilai  $S_R = 0.0003205 \text{ (deg}^2\text{/(rad/s))}$ .

## 4.2 Perhitungan Gaya yang Bekerja

Sebelum melakukan analisis ultimate, perlu dilakukan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada sambungan ponton dan kolom. Pada penelitian ini, gaya yang diperhitungkan adalah beban topside, gaya inersia dan momen gaya untuk gerakan rotasional akibat dari beban gelombang, angin dan arus. Dengan menggunakan persamaan pada BAB II, diperoleh gaya-gaya pada Tabel 4.3, 4.4, 4.5, 4.6.

Beban topside didapat dari perhitungan jarak pusat massa terhadap sambungan ponton dan kolom ditambah dengan massa kolom itu sendiri. Kemudian dikalikan dengan gaya gravitasi. Dan dalam penelitian ini, sambungan ponton dan kolom yang analisis hanya satu yang dianggap paling kritis.

**Tabel 4.3.** Beban Kolom

<b>m (Ton)</b>	<b>g (m/s<sup>2</sup>)</b>	<b>W (KN)</b>	<b>N</b>
326.4181	9.81	3202.161	32021.61

Dilakukan perhitungan *motion statistic* pada *software* ANSYS AQWA untuk mengetahui percepatan respon struktur di setiap enam mode gerakan terhadap beban gelombang, angin dan arus.

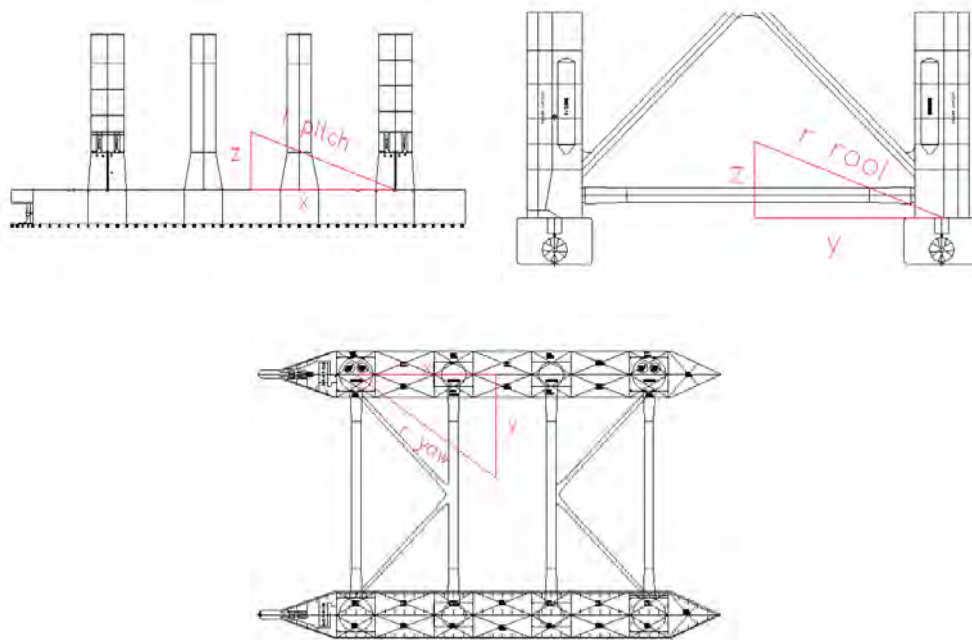
**Tabel 4.4.** Percepatan Struktur Akibat Beban Lingkungan Ekstrem

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )
0	0,382	0,00023	0,406	0,00028	0,464	0,000199
22,5	0,1034	0,051	0,1138	0,039	0,0508	0,016
45	0,043	0,1233	0,036	0,13	0,1	0,107
67,5	0,00471	0,45	0,183	0,005	0,011	0,0755
90	0,141	0,294	0,236	0,515	0,122	0,362
112,5	0,088	0,045	0,108	0,022	0,225	0,028
135	0,111	0,016	0,163	0,115	0,014	0,064
157,5	0,102	0,019	0,175	0,202	0,019	0,275
180	0,4049	0,00021	0,397	0,000217	0,4802	0,00021
202,5	0,1017	0,059	0,1122	0,071	0,0499	0,025
225	0,037	0,1241	0,032	0,29	0,07	0,298
247,5	0,00488	0,059	0,075	0,113	0,013	0,0743
270	0,146	0,299	0,141	0,501	0,1289	0,355
292,5	0,091	0,14	0,114	0,13	0,017	0,033
315	0,109	0,013	0,181	0,111	0,009	0,171
337,5	0,125	0,015	0,165	0,111	0,024	0,169

Gaya inersia pada gerakan translasi diperoleh dengan menggunakan persamaan 4.4 dengan mengambil contoh salah satu gaya pada sambungan ponton dan kolom. Namun, untuk gerakan heave, karena dipengaruhi oleh gaya gravitasi, maka percepatan harus ditambahkan dengan gaya gravitasi.

**Tabel 4.5.** Gaya Inersia Gerakan Translasi

Dof	Inertia Force (kN)	Inertia (N)
Surge	46.0249521	46024.9521
Sway	95.966921	95966.921
Heave	941.43549	941435.49



**Gambar 4.10.** Posisi Sambungan Ponton dan Kolom dari CG *Semi-submersible*

Gambar 4.10 digunakan untuk menentukan harga jari-jari girasi pada tiap moda gerakan rotasional. Dengan mengetahui posisi COG dari *Semi-submersible* dan COG sambungan ponton dan kolom, maka dapat ditentukan transformasi gaya dari COG *Semi-submersible* ke COG sambungan ponton dan kolom.

Dari Gambar 4.18, Ddiketahui :

LCG	= 51.58 m
VCG	= 17.83 m
Massa kolom	= 326.4181 ton
X	= 34.275 m
Y	= 27.183 m
Z	= 11.12 m
r roll	= 29.713 m
r pitch	= 32.296 m
r yaw	= 40.787 m

**Tabel 4.6.** Momen Gerakan Rotasional

<b>Dof</b>	<b>Inertia Force (kN)</b>	<b>Momen of Force (kN.m)</b>	<b>Moment (N.m)</b>
Roll	288182.2571	148413.8624	1484413862.4
Pitch	340464.3983	41536.6566	41536656.6
Yaw	543022.4168	196574.1149	196574114.9

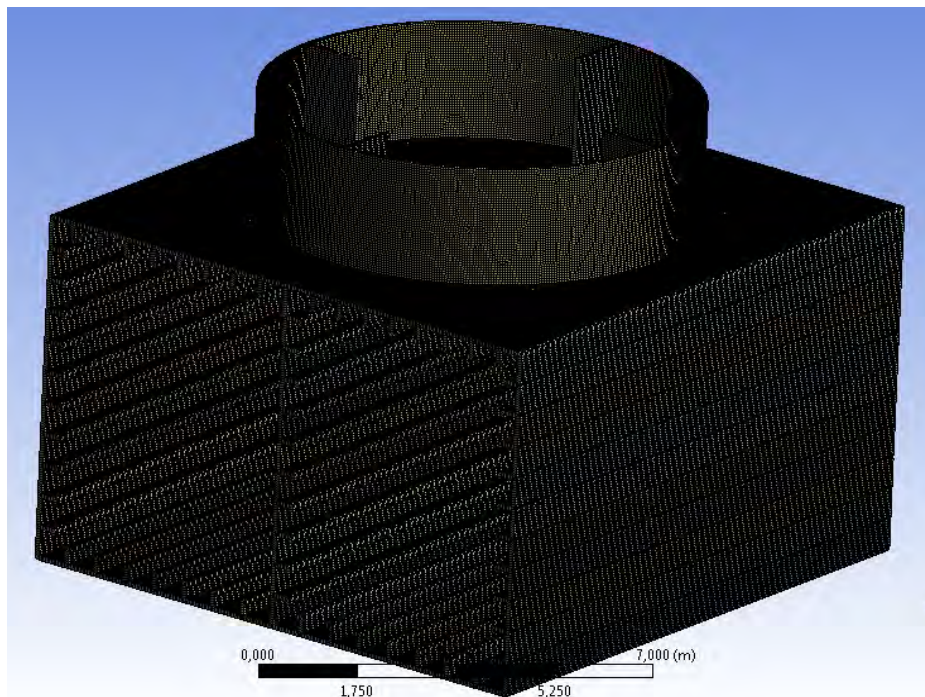
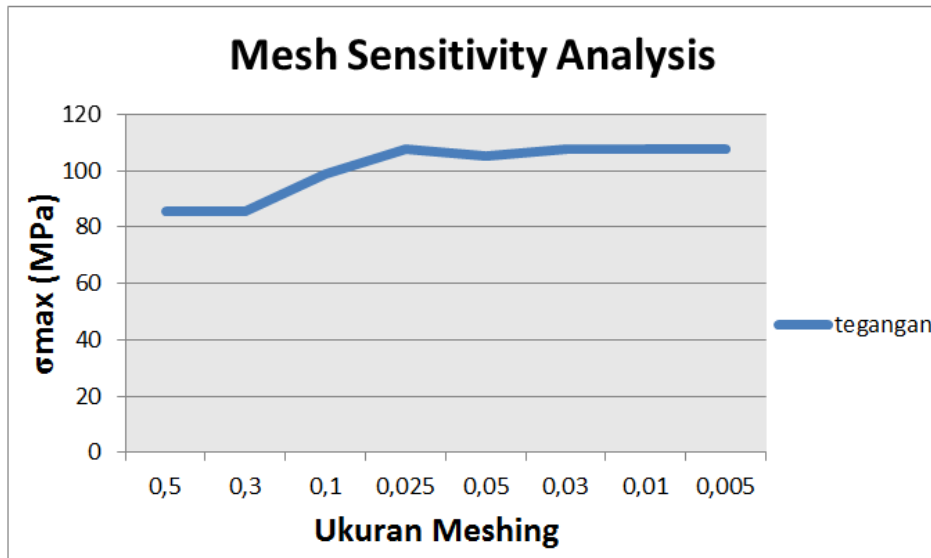
### **4.3 Analisis Ultimate Strength**

Analisis ultimate pada sambungan ponton dan kolom dimaksud untuk mencari tegangan ultimate serta mengetahui kegagalan ultimate berdasarkan ABS 2005. Untuk mengetahui kekuatan ultimate struktur terhadap beban yang bekerja, dilakukan kenaikan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) hingga struktur tersebut mengalami kegagalan pada saat tegangan yang terjadi pada struktur melebihi  $0,8 \times UTS = 0,8 \times 460 = 368 \text{ Mpa}$

Untuk penentuan ukuran meshing dalam pemodelan ANSYS, terlebih dahulu dilakukan mesh sensitivity analysis. Ukuran meshing divariasikan hingga didapatkan respon struktur cenderung konstan.



**Tabel 4.7.** Mesh Sensitivity Analysis



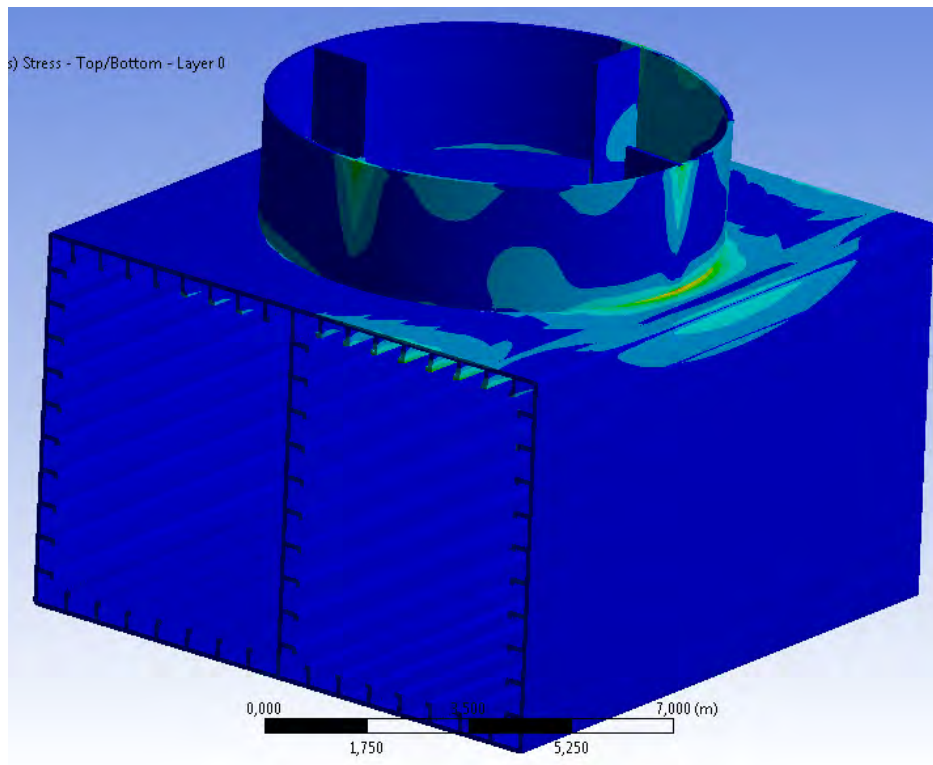
**Gambar 4.11.** Meshing Sambungan Ponton dan Kolom

Kenaikan tinggi gelombang signifikan serta tegangan yang dihasilkan dari proses penaikan tinggi gelombang disajikan pada tabel 4.8

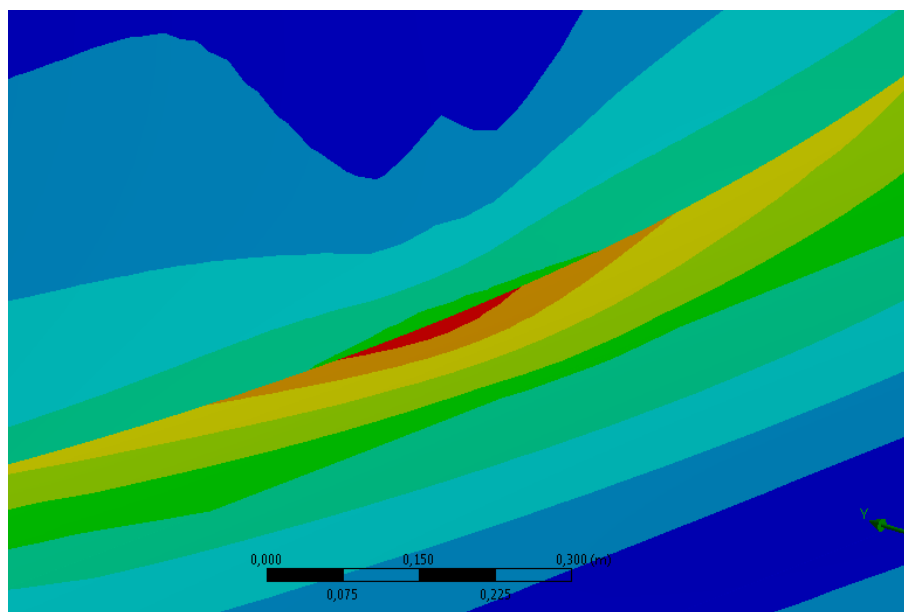
**Tabel 4.8.** Tegangan Maksimum yang Terjadi dengan Menaikkan Tinggi Gelombang

Kenaikan Tinggi Gelombang	$\sigma_{max}$ (Mpa)
1	107.67
2	214.9
3	311.68
4	413.69
4.6	471.32

Dari Tabel 4.8. dapat kita lihat pada saat tinggi gelombang awal tegangan maksimal yang terjadi adalah sebesar 107.67 Mpa. Dengan demikian pada saat kondisi ekstrem terjadi struktur dalam kondisi aman, karena masih di bawah tegangan ijin. Bahwa kegagalan ultimate terjadi saat tinggi gelombang signifikan dinaikkan 4.6 kali dari tinggi gelombang awal, yaitu dengan tegangan maksimal yang terjadi sebesar 471.32 Mpa pada daerah sambungan kolom dan ponton. Dengan demikian kegagalan sambungan kolom dan ponton terjadi dengan menaikkan tinggi gelombang signifikan hingga 26,427 m.

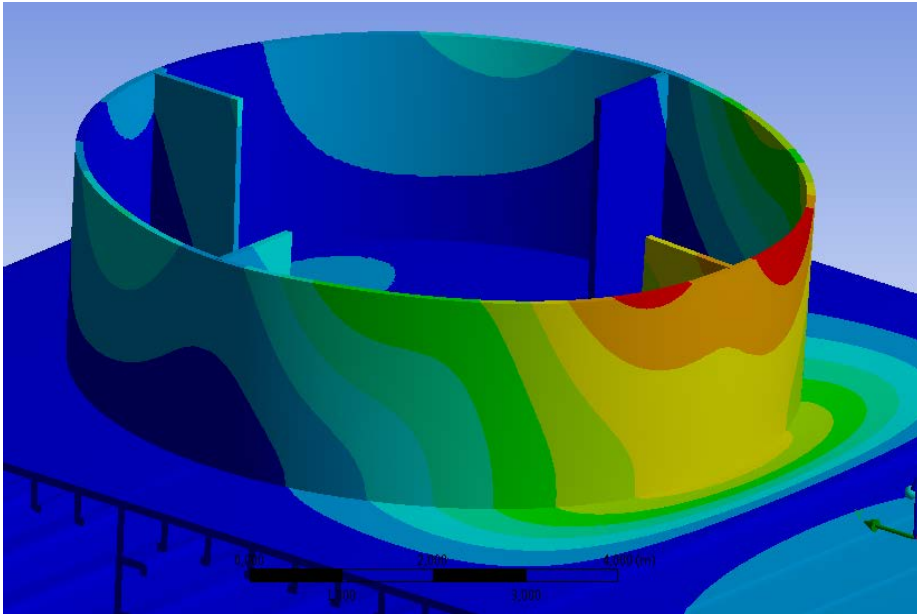


**Gambar 4.12.** Struktur Sambungan Ponton dan Kolom



**Gambar 4.13.** Lokasi Terjadinya Tegangan Maksimum Pada Saat Struktur Mengalami *Ultimate*

Dari hasil analisis *ultimate strength* dan bantuan software ANSYS dapat diketahui bahwa struktur mengalami kegagalan ultimate je nis deformasi plastis akibat beban ekstrem yang bekerja pada Gambar 4.13



**Gambar 4.14.** Lokasi Terjadinya *Deformasi plastis* Pada Sambungan Pontoon dan Kolom.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan dari tugas akhir, hasil dari analisis, pembahasan yang dilakukan serta saran-saran yang perlu diberikan untuk penelitian lebih lanjut. Bab ini juga untuk menjawab permasalahan yang telah di rumuskan pada Bab I.

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis-analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan yang sekaligus menjawab perumusan masalah penelitian tugas akhir ini. Berikut kesimpulan dari penelitian ini:

1. Dengan menggunakan spektrum JONSWAP, respon struktur untuk gerakan surge terjadi paling besar pada arah  $180^\circ$  , yaitu mencapai  $S_R = 4.371$  ( $m^2/(rad/s)$ ). Respon struktur untuk gerakan sway terjadi paling besar pada arah  $270^\circ$  , yaitu mencapai  $S_R = 3.7169$  ( $m^2/(rad/s)$ ) dan respon struktur untuk gerakan heave terjadi paling besar hampir terjadi pada semua arah yaitu nilai sekitar  $S_R = 2 - 2.8$  ( $m^2/(rad/s)$ ). Sedangkan untuk gerakan rotasional respon struktur untuk gerakan roll terjadi paling besar pada arah  $270^\circ$  , yaitu mencapai  $S_R = 3.675$  ( $deg^2/(rad/s)$ ). Respon struktur untuk gerakan pitch terjadi paling besar pada arah  $180^\circ$  dengan nilai  $S_R = 0.357$  ( $deg^2/(rad/s)$ ), dan untuk gerakan yaw terjadi paling besar pada arah  $225^\circ$  , yaitu mencapai  $S_R = 0.0003205$  ( $deg^2/(rad/s)$ ).
2. Pada kondisi lingkungan ekstrem, yang dipengaruhi oleh beban gelombang, angin dan arus respon maksimum pada struktur yang sebenarnya terjadi adalah 107.67 Mpa, artinya struktur tidak mengalami kegagalan karena masih jauh di bawah kekuatan ultimate struktur yang sebesar 460 MPa
3. Untuk memperoleh indikasi tingkat kegagalan maka dilakukan analisis dengan menaikkan beban lingkungan dengan peningkatan interval beban sampai melawati dengan 0,8 x material (Kriteria ABS) yaitu 368 Mpa. Kegagalan terjadi pada 4.6 kali tinggi gelombang signifikan kondisi ekstrem, yaitu pada

tinggi gelombang 26.427 m. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa struktur mengalami kegagalan pada saat kenaikan 4.6 kali, dengan tegangan maksimum sebesar 471.32 Mpa pada sambungan ponton dan kolom.

## **5.2 Saran**

1. Pada tugas akhir ini beban accidental tidak diperhitungkan, padahal struktur sewaktu-waktu. Dapat mengalami kegagalan pada saat menerima beban accidental. Oleh karena itu, perlu adanya perhitungan kemungkinan terjadinya beban accidental.
2. Untuk kajian tugas akhir selanjutnya, analisis keandalan penting untuk dilakukan untuk mengetahui keandalan dari sambungan kolom dan ponton terhadap beban ekstrem yang diterima struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- ABS Rules For Building And Classing Mobile Offshore Drilling Units. 2001.  
*Part 3 – Hull Construction & Equipment*. Houston
- ABS, *Commentary on the Guide-Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structures*. American Bureau of Shipping, Houston, 2005.
- ABS, *Guide for Buckling and Ultimate Strength Assessment for Offshore Structures*. American Bureau of Shipping, Houston, 2004.
- ABS, *Rules for Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units*, American Bureau of Shipping, Houston, 2001.
- Adnyani, L. P., *Analisa Kekuatan Geladak Kapal Tongkang Dengan Pendekatan Ultimate*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, 2011.
- API, 2001, *Recommended Practice for the Analysis of Spread Mooring Systems for Floating Drilling Units*. API RP 2 P
- Ardiansyah, F., *Analisis Keandalan Scantling Support Structure System Gas Processing Module FPSO Belanak terhadap Beban Ekstrem*, Tugas Akhir
- Bhattacharya, R., *Dynamic of Marine Vehicle*,. John Wiley and Sons Inc., New York, 1978.
- Chakrabarti, S.K., *Hydrodynamics of Offshore Structures*, Offshore Structure Analysis inc., Illinois, USA, 2005.
- Djarmiko, Eko Budi, 2012, *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut di Atas Gelombang Acak*, ITS Press, Surabaya
- Djarmiko, E.B., dan Sujantoko, *Investigasi Gelombang Laut Perairan Indonesia Untuk Kepentingan Strategis Nasional*, Surabaya, 1994.
- DNV, 2011, *Modelling and Analysis of Marine Operations*. DNV-RP-H103
- DNV Recommended Practice C205. 2007. Environmental Loads and Environmental Conditions. Norway.
- ISOSC. 2006. *Ultimate strength*. Nagasaki. Japan

- Mahdarezza, A., *Analisis Perilaku Floating LNG Pada Variasi Metaocean Terhadap External Turret Mooring System Berbasis Simulasi Time Domain*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS Surabaya, Indonesia, 2010.
- Martins, M. R., *Inertial and Hydrodynamic Inertia Loads on Floating Unit*, Sao Paulo, 2007.
- Martins, M. R., *Inertial and Hydrodynamic Inertia Loads on Floating Unit*, Sao Paulo, 2007.
- Paik, J. K., Bong Ju Kim and Jung Kwan Seo, —Methods for Ultimate State Assessment of Ships and Ship-Shaped Offshore Structures: Part I – Unstiffened Platesl, *Elsevier: Ocean Engineering*, 2007.
- Soedjono, J. J., *Diktat mata kuliah Konstruksi Bangunan Laut II*, Jurusan Teknik Kelautan ITS Surabaya , 1998.
- Yongbai, *Marine Structural Design*, Elsevier Science, 2003.



## BIODATA PENULIS



**Tito Firmantara** dilahirkan di Palembang, 1 Februari 1991. Pendidikan SD, SMP dan SMA ditempuh di Surabaya, dan lulus dari SMA Negeri 5 Surabaya pada tahun 2009. Setelah itu penulis mengikuti Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru melalui jalur SNMPTN dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama kuliah, penulis sempat aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan intra kampus. Penulis juga aktif di berbagai kegiatan sebagai panitia maupun peserta. Berbagai pelatihan dan seminar pernah diikutinya dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Penulis memiliki minat di bidang hidrodinamika struktur lepas pantai terapung yang mempunyai judul Analisis *Ultimate Strength* Pada Sambungan Ponton dan Kolom *Semi-Submersible* Essar Wildcat Terhadap Beban Ekstrem. Penulis dapat dihubungi melalui *e-mail* [titofirmantara@gmail.com](mailto:titofirmantara@gmail.com).

## **DAFTAR LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN A</b> INPUT DAN OUTPUT AQWA.....	A-1
<b>LAMPIRAN B</b> PERHITUNGAN GAYA.....	B-1
<b>LAMPIRAN C</b> INPUT DAN OUTPUT ANSYS.....	C-1

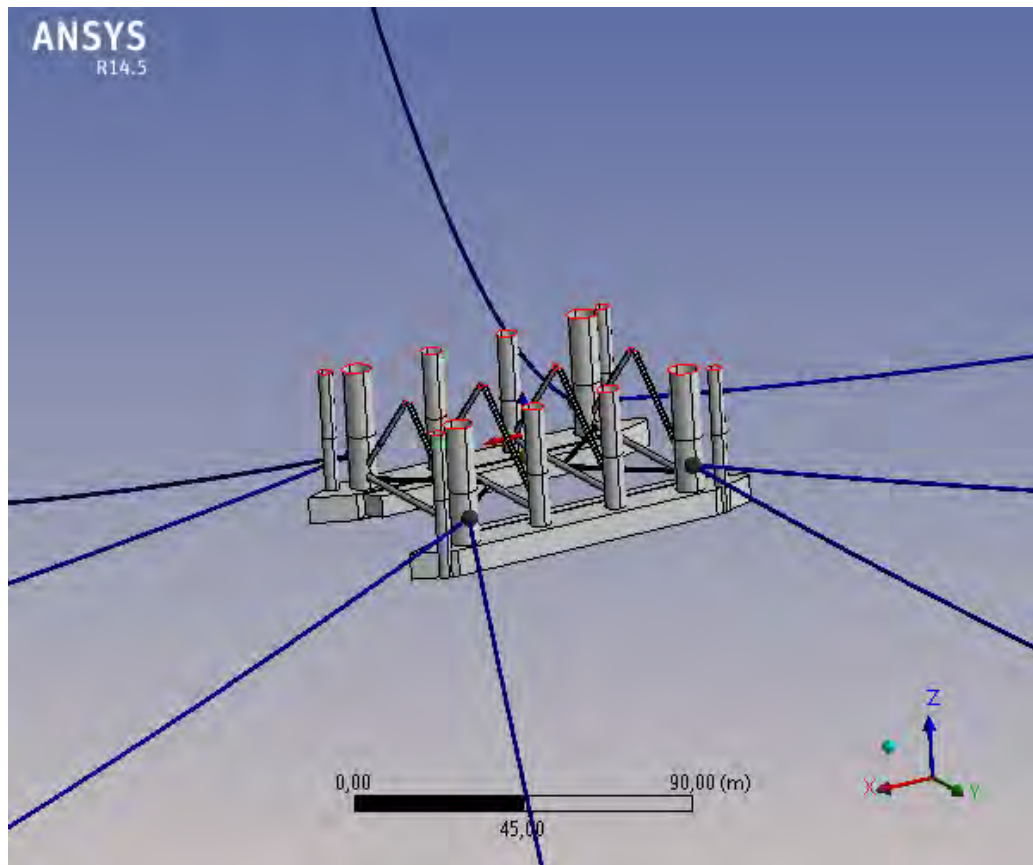
**LAMPIRAN A**

**INPUT DAN OUTPUT ANSYS AQWA**



## Project

Name	Project
Data Folder Root	D:\TAP3 baru\acce2_files\dp0\AQW\AQW
Date of Creation	06/01/2014 16:05:55
Last Modified	25/03/2014 12:35:59
Product Version	14.5 RELEASE



## Units

**TABLE 1**

Length	Meter
Mass	Kilograms
Rotational Velocity	Degrees
Force	Kilonewton
Frequency	Radians per Second
Time	Second

## Model (A3, B3)

### *Geometry*

**TABLE 2**  
**Model (A3, B3) > Geometry**

Object Name	<i>Geometry</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Geometry</b>	
Attached Assembly Name	C:\Users\lenovo\AppData\Local\Temp\WB_LENVO-PC_3380_2\unsaved_project_files\dp0\AQW\DM\AQW.agdb
<b>Sea Geometry</b>	
Water Level	0 m
Water Depth	90 m
Water Density	1025 kg/m <sup>3</sup>
Water Size X	3000 m
Water Size Y	3000 m
<b>Import Preferences</b>	
Import Solid Bodies	No
Import Surface Bodies	Yes
Import Line Bodies	Yes

### *Part*

**TABLE 3**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part**

Object Name	<i>Part</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Part</b>	
Part Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
Total Structural Mass	24682600,5859375 kg
X Position of COG	-0,57 m
Y Position of COG	0 m
Z Position of COG	-3,505 m
Generate Internal Lid	No
Current Calculation Depth	0 m
<b>Fixity Options</b>	
Structure Fixity	Structure is Free to Move
<b>Force Factors</b>	
Drag Factor	1
Mass Factor	1
Slam Factor	0
<b>Advanced Options</b>	
Submerged Structure Detection	Program Controlled
Override Calculated GMX	No
Override Calculated GMY	No
<b>Non-Linear Roll Damping</b>	
Non-Linear Roll Damping	Excluded from Calculations

**TABLE 4**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Axes**

Object Name	<i>Part Axes</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Part Axes</b>	
Visibility	Visible
Alignment Method	Global Axes
Rotation About Global Z	0 °
Rotation About Local Y	0 °
Rotation About Local X	0 °
Unit Vector X	[1, 0, 0]
Unit Vector Y	[0, 1, 0]
Unit Vector Z	[0, 0, 1]

**TABLE 5**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Point Mass**

Object Name	<i>Point Mass</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Point Mass</b>	

Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
X	-0,57 m
Y	0 m
Z	-3,505 m
Mass definition	Manual
Mass	24682600,5859375 kg
Define inertia values by	via Radius of Gyration
Kxx	26,29 m
Kyy	56,64 m
Kzz	50,18 m
Ixx	17059727419,639 kg.m <sup>2</sup>
Ixy	0 kg.m <sup>2</sup>
Ixz	0 kg.m <sup>2</sup>
Iyy	79183994240,7 kg.m <sup>2</sup>
Iyz	0 kg.m <sup>2</sup>
Izz	62151587991,6496 kg.m <sup>2</sup>

**TABLE 6**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Connection Point**

Object Name	<i>Connection Point 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Connection Point 1</b>	
Point Visibility	Visible
Type	Attached to Structure
Structure	Part
Definition Of Position	Coordinates
<b>Postion Coordinates</b>	
X	35 m
Y	32 m
Z	-7 m

**TABLE 7**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Connection Point**

Object Name	<i>Connection Point 2</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Connection Point 2</b>	
Point Visibility	Visible
Type	Attached to Structure
Structure	Part
Definition Of Position	Coordinates
<b>Postion Coordinates</b>	
X	-33 m
Y	32 m
Z	-7 m

**TABLE 8**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Connection Point**

Object Name	<i>Connection Point 3</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Connection Point 3</b>	
Point Visibility	Visible
Type	Attached to Structure
Structure	Part
Definition Of Position	Coordinates
<b>Postion Coordinates</b>	
X	35 m
Y	-32 m
Z	-7 m

**TABLE 9**  
**Model (A3, B3) > Geometry > Part > Connection Point**

Object Name	<i>Connection Point 4</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Connection Point 4</b>	
Point Visibility	Visible
Type	Attached to Structure
Structure	Part
Definition Of Position	Coordinates
<b>Postion Coordinates</b>	
X	-33 m
Y	-32 m
Z	-7 m

***Connections***

**TABLE 39**  
**Model (A3, B3) > Connections**



Object Name	<i>Connections</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Connections</b>	

**TABLE 40**  
**Model (A3, B3) > Connections > Catenary Data**

Object Name	<i>Catenary Data</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Catenary Data</b>	

**TABLE 41**  
**Model (A3, B3) > Connections > Catenary Data > Catenary Section**

Object Name	<i>Catenary Section 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Catenary Section 1</b>	
<b>Section Properties</b>	
Mass / Unit Length	11 kg/m
Equivalent Cross Sectional Area	0,0011 m <sup>2</sup>
Stiffness, EA	583376 kN
Maximum Tension	6094,91907 kN
Bending Stiffness, EI	0 kN.m <sup>2</sup>
Axial Stiffness Coefficient k1	0 kN
Axial Stiffness Coefficient k2	0 kN
Axial Stiffness Coefficient k3	0 kN
<b>Section Hydrodynamic Properties</b>	
Added Mass Coefficient	1
Transverse Drag Coefficient	1
Equivalent Diameter	0,76 m
Longitudinal Drag Coefficient	0,025

**TABLE 42**  
**Model (A3, B3) > Connections > Cable**

Object Name	<i>Cable 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Cable 1</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
Connectivity	Fixed Point & Structure
Fixed Point	Fixed Point 5 (Fixed)
End Connection Point	Connection Point 1 (Part)
Type	Non-Linear Catenary
<b>Cable Dynamics Properties</b>	
Use Dynamics	Program Controlled
Number of Elements	100
<b>Catenary Section Selection</b>	

Section 1: Type	Catenary Section 1
Section 1: Length	1300 m
Section 2: Type	None
<b>Cable Properties</b>	
Negative dZ Range	0 m
Positive dZ Range	5 m
Number of Vertical Partitions	15
Number of X Coordinates	40
<b>Initial Cable Data</b>	
Initial Cable Tension @ Start	244,304 kN
Initial Cable Tension @ End	252,305 kN

**TABLE 43**  
**Model (A3, B3) > Connections > Cable 1**

	Section 1
Type	Catenary Section 1
Section Length (m)	1300
Mass / Unit Length (kg/m)	11
Equivalent CSA (m <sup>2</sup> )	0,0011
Stiffness, EA (kN)	583376
Maximum Tension (kN)	6094,91907
Bending Stiffness, EI (kN.m <sup>2</sup> )	0
Bending Coefficient A	0
Bending Coefficient B	0
Bending Coefficient C	0
Added Mass Coefficient	1
Transverse Drag Coefficient	1
Equivalent Diameter (m)	0,76
Longitudinal Drag Coefficient	0,025
Structural Mass (kg)	-
Displaced Mass of Water (kg)	-
Added Mass (kg)	-
Coefficient of Drag * Area (m <sup>2</sup> )	-

**TABLE 44**  
**Model (A3, B3) > Connections > Cable**

Object Name	<i>Cable 2</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Cable 2</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
Connectivity	Fixed Point & Structure
Fixed Point	Fixed Point 6 (Fixed)
End Connection Point	Connection Point 1 (Part)
Type	Non-Linear Catenary

<b>Cable Dynamics Properties</b>	
Use Dynamics	Program Controlled
Number of Elements	100
<b>Catenary Section Selection</b>	
Section 1: Type	Catenary Section 1
Section 1: Length	1300 m
Section 2: Type	None
<b>Cable Properties</b>	
Negative dZ Range	0 m
Positive dZ Range	5 m
Number of Vertical Partitions	15
Number of X Coordinates	40
<b>Initial Cable Data</b>	
Initial Cable Tension @ Start	154,331 kN
Initial Cable Tension @ End	162,345 kN

**TABLE 59**  
**Model (A3, B3) > Mesh > Mesh Sizing**

Object Name	<i>Mesh Sizing</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Mesh Sizing</b>	
Suppressed	Not Suppressed
Select Geometry	21 Bodies
Local Element Size	2,5 m

## Hydrodynamic Diffraction (A4)

**TABLE 60**  
**Model (A3, B3) > Analysis**

Object Name	<i>Hydrodynamic Diffraction (A4)</i>
State	Solved
<b>Details of Hydrodynamic Diffraction</b>	
Analysis Type	Hydrodynamic Diffraction/Radiation

**TABLE 61**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Analysis Settings</b>	
Sea Grid Size Factor	2
<b>Output File Options</b>	
Output Full QTF Matrix	No
Do Not Output .LIS Banner Page	No
No Wave Elevation at Field Points	No

Output Source Strengths	No
Output Potentials	No
Output Centroid Pressures	No
Output Element Properties	No
Output ASCII Hydrodynamic Database	No
Output Example of Hydrodynamic Database	No
<b>QTF Options</b>	
Calculate Full QTF Matrix	No
<b>Common Analysis Options</b>	
Ignore Modelling Rule Violations	Yes
No Drift Coefficients	No
No Pressure Post-Processing	No
Near Field Solution	No
Linearized Tube Drag	No

**TABLE 62**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Gravity**

Object Name	<i>Gravity</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Gravity</b>	
Gravity, g	9,80665 m/s <sup>2</sup>

**TABLE 63**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Structure Selection**

Object Name	<i>Structure Selection</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Structure Selection</b>	
Structures to Exclude	None
<b>Group Of Structures</b>	
Interacting Structure Groups	None
<b>Structure Ordering</b>	
Structure 1	Part

**TABLE 64**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Wave Direction**

Object Name	<i>Wave Directions</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Wave Directions</b>	
Type	Range of Directions, No Forward Speed
<b>Required Wave Input</b>	
Wave Range	-180° to 180° (-PI to PI)
Interval	22,5 °
Number of Intermediate Directions	15
<b>Optional Wave Directions A</b>	
Additional Range	None

Optional Wave Directions B	
Additional Range	None
Optional Wave Directions C	
Additional Range	None
Optional Wave Directions D	
Additional Range	None

**TABLE 65**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Wave Frequency**

Object Name	<i>Wave Frequencies</i>
State	Fully Defined
Details of Wave Frequencies	
Frequency / Period definition	
Range	Program Controlled
Total Number of Frequencies	20
Equal Intervals Based Upon	Frequency

## Solution (A5)

**TABLE 66**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrostatic Results**

Object Name	<i>Hydrostatic</i>
State	Solved
Details of Hydrostatic	
Structure	Part
Graphical Representation	
Show Centre of Gravity	Yes
Show Centre of Buoyancy	Yes
Show Centre of Floatation	Yes
Results	
Actual Displaced Volume	24221.244 m <sup>3</sup>
Metacentric Height GMX	2.7405434 m
Out of Balance Force/Weight, Fz	5.8412e-3

### Aqwa Hydrostatic Results

#### Structure

Part

#### Hydrostatic Stiffness

Centre of Gravity Position:

X:

-0.57 m

Y:

Z:

-3.505 m

	Z	RX	RY
Heave(Z):	3704.5454 kN	-2.3001e-3 kN	-51.893097 kN
Roll(RX):	-0.1317857 kN	11645.415 kN	6.5893e-3 kN
Pitch(RZ):	-2973.2556 kN	6.5893e-3 kN	21125.322 kN

### Hydrostatic Displacement Properties

Actual Volumetric Displacement:	24221.244 m <sup>3</sup>		
Equivalent Volumetric Displacement:	24080.586 m <sup>3</sup>		
Centre of Buoyancy Position:	X: -8.4969e-2 m	Y: -1.3036e-3 m	Z: -15.621212 m
Out of Balance Forces/Weight:	FX: 1.759e-9	FY: 5.9013e-7	FZ: 5.8412e-3
Out of Balance Moments/Weight:	MX: -1.3697e-3 m	MY: -0.4878641 m	MZ: -3.7884e-6 m

### Cut Water Plane Properties

Cut Water Plane Area:	368.54486 m <sup>2</sup>		
Centre of Floatation:	X: 0.2325966 m	Y: -3.5574e-5 m	
Principal 2nd Moment of Area:	X: 291545.19 m <sup>4</sup>	Y: 345343.66 m <sup>4</sup>	
Angle Principal Axis makes with X(FRA):	1.6498e-3 °		

### Small Angle Stability Parameters

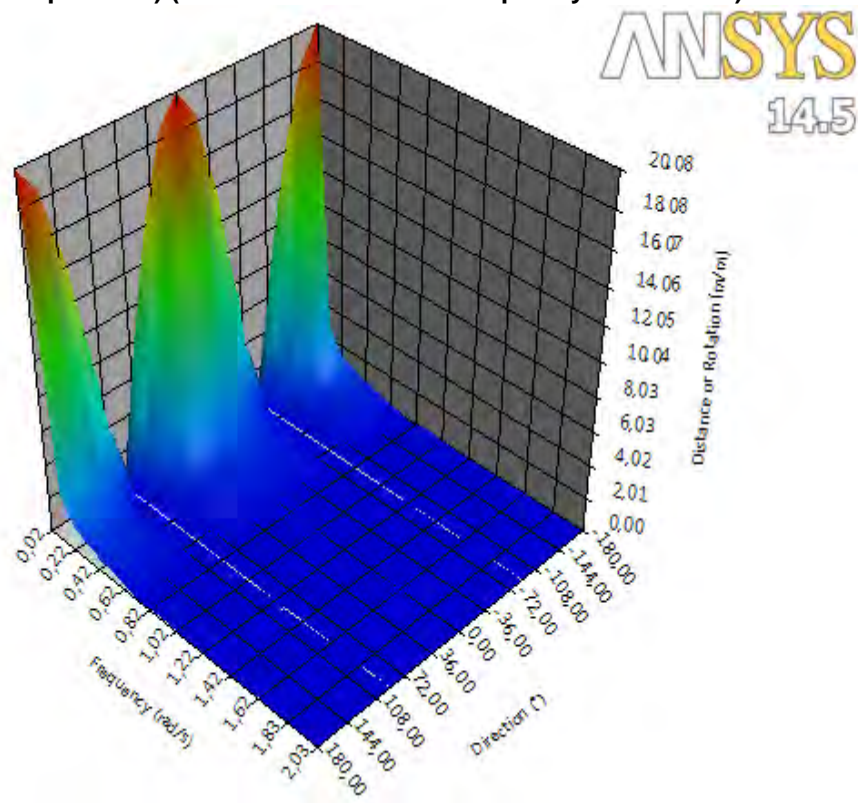
C.O.G. to C.O.B.(BG):	11.809 m	
Metacentric Heights (GMX/GMY):	2.7405434 m	4.9616709 m
COB to Metacentre (BMX/BMY):	14.549756 m	16.257883 m
Restoring Moments/Degree Rotations (MX/MY):	203.25087 kN	367.97955 kN

**TABLE 67**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs
-------------	---

	<i>Frequency &amp; Direction</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global X
Position of Min in X	0,969
Position of Max in X	0,017
Position of Min in Y	90
Position of Max in Y	0
Minimum Value	0
Maximum Value	20,084

**FIGURE 1**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**



**TABLE 68**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	20.084274	18.555552	14.20202	7.6862288	3.4296e-4	7.6858387
0,122	2.7103763	2.5045092	1.9176474	1.0382881	5.1412e-4	1.0380161
0,228	1.4324331	1.3243374	1.0152634	0.5502951	1.4113e-3	0.5503562
0,334	0.9529306	0.8823597	0.6786516	0.3688375	4.9054e-4	0.3688318
0,44	0.6745576	0.6276277	0.4872186	0.2663688	3.9596e-4	0.2663571
0,546	0.4439618	0.42048	0.3360437	0.1856787	4.0356e-4	0.18561
0,651	0.208535	0.2143094	0.189482	0.1039206	3.405e-4	0.1037583
0,757	1.2295e-2	2.9812e-2	6.25e-2	2.3924e-2	1.3451e-4	2.3948e-2
0,863	0.1317593	6.3405e-2	1.4731e-2	1.6864e-2	6.4983e-5	1.6867e-2
0,969	0.1192301	5.8407e-2	2.2762e-2	2.6594e-2	1.2048e-4	2.6932e-2
1,075	5.2103e-2	2.733e-2	4.2973e-2	2.5574e-2	1.111e-4	2.5851e-2
1,18	2.1779e-2	8.9076e-3	5.2163e-2	1.1939e-2	2.6506e-4	1.2167e-2
1,286	4.7753e-2	9.6022e-3	2.8494e-2	1.0763e-3	1.1602e-4	1.2547e-3
1,392	1.6039e-2	1.2724e-2	5.5716e-3	5.7334e-3	1.0121e-4	5.659e-3
1,498	4.8434e-2	1.1557e-2	4.3638e-3	6.1567e-3	1.0114e-4	6.0998e-3
1,604	9.6416e-2	4.7769e-2	5.9243e-3	1.6142e-2	1.1359e-4	1.6023e-2
1,709	1.7503e-2	2.3273e-2	7.8851e-3	2.1983e-3	8.1539e-5	2.2177e-3
1,815	3.4726e-3	9.5955e-3	1.1177e-2	1.3755e-3	2.1396e-5	1.4246e-3
1,921	1.5259e-3	1.9317e-3	6.7528e-3	3.7573e-3	3.9221e-5	3.7559e-3
2,027	1.6978e-3	3.3674e-3	2.0544e-3	1.7319e-3	5.1338e-5	1.8252e-3

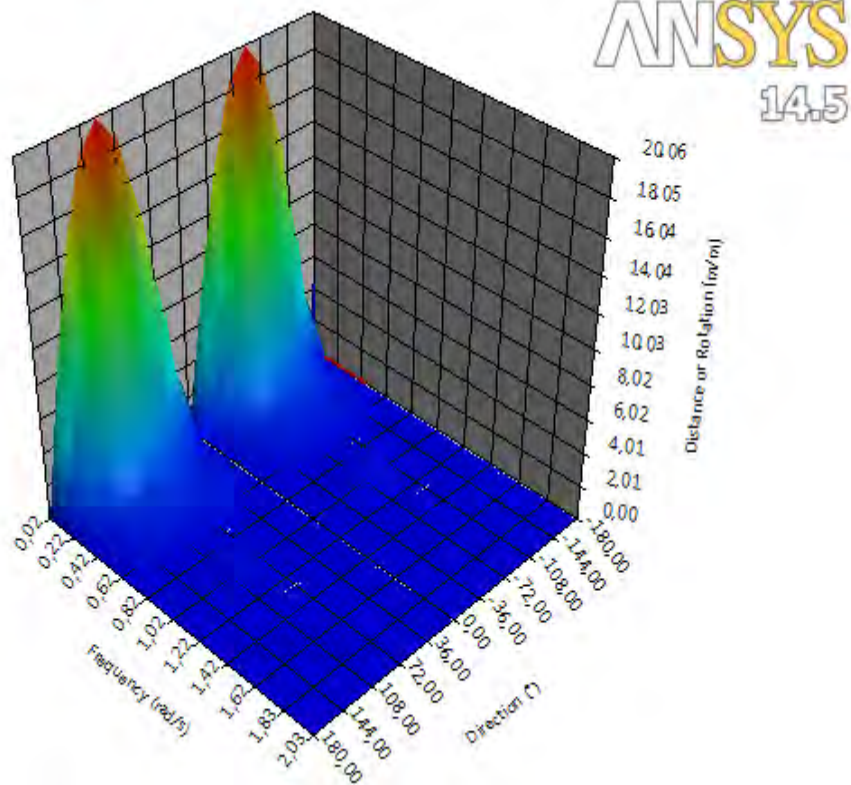
**TABLE 69**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Y
Position of Min in X	2,027
Position of Max in X	0,017
Position of Min in Y	180
Position of Max in Y	-90



Minimum Value	0
Maximum Value	20,055

**FIGURE 2**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**



**TABLE 70**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

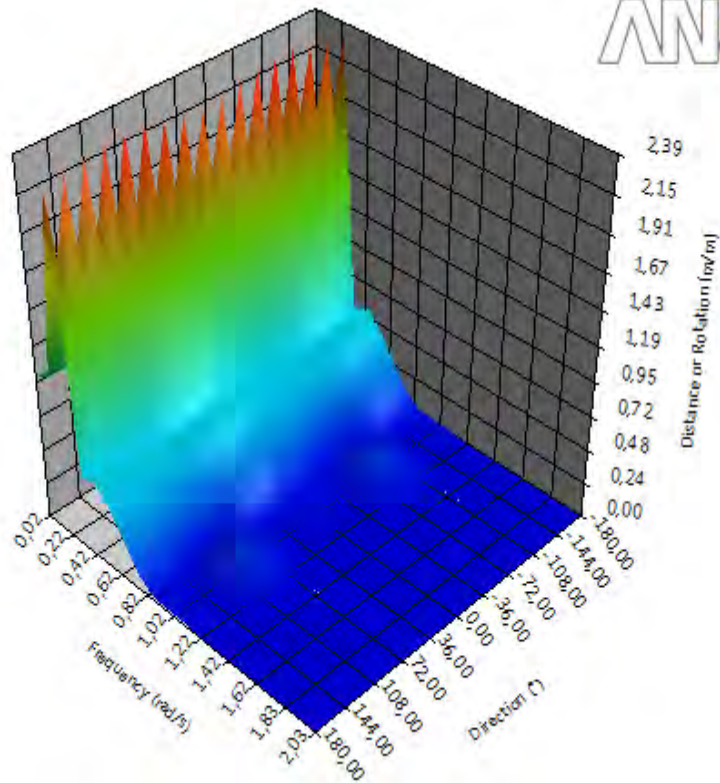
Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	2.0306e-4	7.675055	14.181416	18.528774	20.055271	18.528662
0,122	9.9988e-4	0.9750229	1.7973105	2.3427742	2.5333204	2.3426468
0,228	1.2197e-4	0.5394217	0.9967291	1.3021601	1.4093373	1.302169
0,334	3.3065e-5	0.3514733	0.6491947	0.847212	0.916352	0.8472301
0,44	1.9309e-5	0.2420388	0.4465107	0.5795844	0.6247191	0.5796292
0,546	4.3908e-5	0.1564751	0.2883463	0.3648292	0.3859648	0.3648623
0,651	8.0519e-5	7.7584e-2	0.1480866	0.1663814	0.1564236	0.1662741
0,757	9.2621e-5	8.8084e-3	3.809e-2	1.1833e-3	5.1785e-2	2.4884e-3
0,863	6.4182e-5	2.2456e-2	1.0651e-2	9.6647e-2	0.2077183	9.6687e-2
0,969	1.2061e-5	1.6977e-2	2.872e-2	0.1010006	0.2604075	0.1018249
1,075	4.1012e-6	9.164e-3	5.1572e-2	4.5351e-2	0.1876978	4.6297e-2

1,18	2.5542e-5	9.2402e-3	3.8654e-2	8.5521e-3	8.3043e-2	9.0236e-3
1,286	2.5476e-5	5.2084e-3	1.3734e-2	2.1022e-3	7.1341e-3	1.9551e-3
1,392	3.7809e-5	7.3215e-3	6.0979e-3	2.2442e-2	8.529e-2	2.2456e-2
1,498	1.125e-5	2.8837e-3	5.1848e-3	2.2853e-2	5.1831e-2	2.2807e-2
1,604	2.5446e-5	1.1603e-2	4.9358e-3	1.2336e-2	1.5631e-2	1.2248e-2
1,709	3.7111e-6	1.4161e-2	8.0355e-3	3.8299e-3	2.4955e-2	3.74e-3
1,815	1.3567e-5	2.6748e-3	6.0744e-3	3.5693e-4	2.0894e-2	2.2126e-4
1,921	1.5868e-5	7.6293e-4	5.8644e-3	2.4362e-3	3.0087e-3	2.4954e-3
2,027	3.6329e-6	2.4726e-3	4.283e-3	1.5328e-3	1.1898e-2	1.4852e-3

**TABLE 71**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global Z
Position of Min in X	1,709
Position of Max in X	0,228
Position of Min in Y	-45
Position of Max in Y	-90
Minimum Value	0
Maximum Value	2,386

**FIGURE 3**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**



**TABLE 72**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

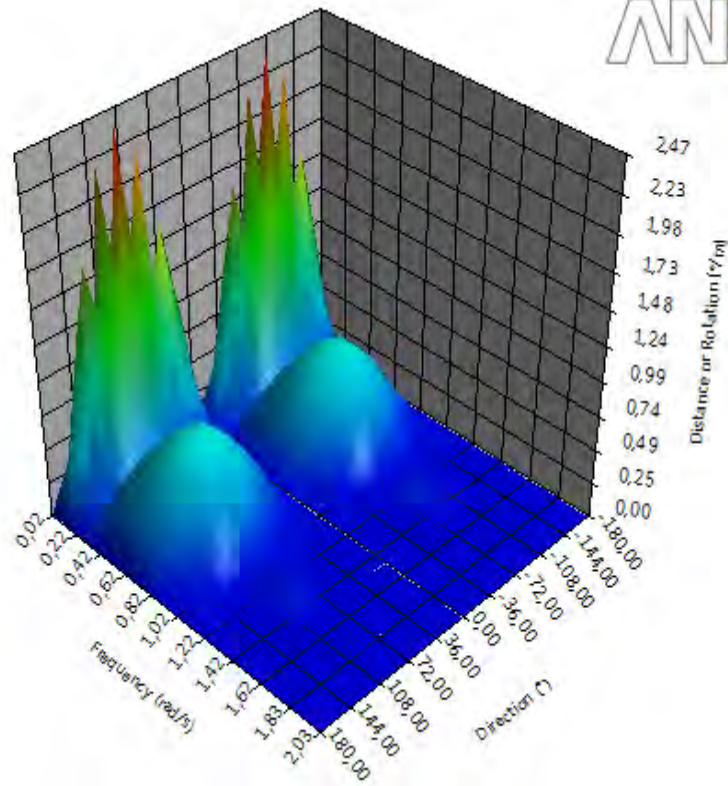
Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	1.0009397	1.0009466	1.0009614	1.0009822	1.0009812	1.0009831
0,122	1.0529604	1.0535182	1.0548674	1.0562071	1.0567679	1.0562179
0,228	2.2881424	2.3030488	2.3382614	2.3723767	2.3863206	2.3725164
0,334	0.4972309	0.4906408	0.4752748	0.4607324	0.454944	0.4606972
0,44	0.5362909	0.5295413	0.5138741	0.4991878	0.4933919	0.4991546
0,546	0.4307386	0.4222056	0.4014265	0.380601	0.371998	0.3805305
0,651	0.2608176	0.2529674	0.226585	0.1899045	0.1721388	0.1898572
0,757	0.1036097	0.1026253	7.917e-2	2.2805e-2	1.3684e-2	2.3004e-2
0,863	1.9547e-2	2.4146e-2	1.0626e-2	4.6066e-2	8.369e-2	4.5932e-2
0,969	1.803e-2	8.2826e-3	1.1148e-2	5.9367e-2	9.879e-2	5.9059e-2
1,075	1.8848e-2	9.2086e-3	6.0061e-3	4.5816e-2	9.7342e-2	4.5369e-2
1,18	5.6772e-3	1.8393e-3	7.1923e-3	2.1131e-2	5.4589e-2	2.1285e-2
1,286	1.9514e-3	8.1989e-4	3.8726e-3	4.3967e-3	3.8402e-3	4.3798e-3
1,392	9.2165e-4	1.3713e-4	9.8204e-4	4.2603e-4	8.1484e-3	5.0631e-4
1,498	2.0576e-3	6.209e-4	1.0347e-3	1.1139e-3	1.1024e-2	1.2669e-3
1,604	2.3357e-3	8.1876e-4	4.5324e-4	8.9506e-4	4.2173e-3	9.2297e-4
1,709	1.1005e-3	3.5308e-4	7.3767e-5	4.2393e-4	5.3074e-4	4.082e-4

1,815	5.719e-5	3.13e-4	4.4868e-4	1.1811e-4	6.7078e-4	1.2165e-4
1,921	3.387e-4	8.1298e-5	8.2152e-4	2.8159e-4	7.1745e-4	2.9202e-4
2,027	2.5286e-4	6.1198e-5	2.067e-4	1.4202e-4	4.0013e-4	1.3818e-4

**TABLE 73**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RX
Position of Min in X	1,815
Position of Max in X	0,122
Position of Min in Y	-180
Position of Max in Y	90
Minimum Value	0
Maximum Value	2,473

**FIGURE 4**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**



**TABLE 74**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	1.0622e-3	2.3806e-2	4.3672e-2	5.6517e-2	6.0966e-2	5.67e-2
0,122	1.5083e-2	0.8821593	1.6800925	2.2581508	2.4730612	2.2620946
0,228	3.701e-4	0.1003762	0.1794836	0.2266825	0.2418298	0.2266291
0,334	7.6135e-5	0.1719175	0.3110898	0.3977471	0.4265564	0.3977111
0,44	3.0749e-5	0.2339782	0.4260923	0.5479614	0.5889971	0.547972
0,546	2.7292e-5	0.2702749	0.4966999	0.6431476	0.692845	0.6432417
0,651	7.08e-5	0.2565525	0.4826068	0.6352018	0.6875359	0.6349486
0,757	8.1216e-5	0.1714074	0.3578794	0.5132709	0.5719366	0.5120773
0,863	6.4954e-5	4.9334e-2	0.1646644	0.3113696	0.3682803	0.3107525
0,969	1.9582e-5	2.6646e-2	3.6577e-2	0.1232604	0.1397042	0.1231417
1,075	5.8484e-5	3.5247e-2	1.4141e-2	1.0966e-2	1.0688e-2	1.0391e-2
1,18	5.6499e-5	1.1394e-2	1.4421e-2	1.7734e-2	6.1043e-2	1.7523e-2
1,286	3.4781e-5	3.5952e-3	5.0117e-3	1.2181e-2	7.2199e-2	1.1785e-2
1,392	1.3715e-5	5.8917e-3	3.1142e-3	5.1155e-3	5.7657e-2	5.0661e-3
1,498	1.7929e-5	6.1969e-4	2.7749e-3	7.9963e-3	1.4639e-2	8.0377e-3
1,604	2.1975e-5	5.0619e-3	1.996e-3	4.6158e-3	1.2596e-3	4.6406e-3
1,709	1.1111e-5	7.193e-3	3.2234e-3	1.4081e-3	1.4456e-2	1.479e-3

1,815	2.7472e-6	9.391e-4	2.8306e-3	4.1506e-4	9.7353e-3	4.5755e-4
1,921	3.7098e-6	4.2891e-4	2.1398e-3	1.124e-3	7.691e-4	1.1479e-3
2,027	3.4653e-6	1.1773e-3	2.2849e-3	2.9324e-4	5.1338e-3	2.4975e-4

**TABLE 75**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RY
Position of Min in X	1,921
Position of Max in X	0,122
Position of Min in Y	-90
Position of Max in Y	180
Minimum Value	0
Maximum Value	0,839

**FIGURE 5**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

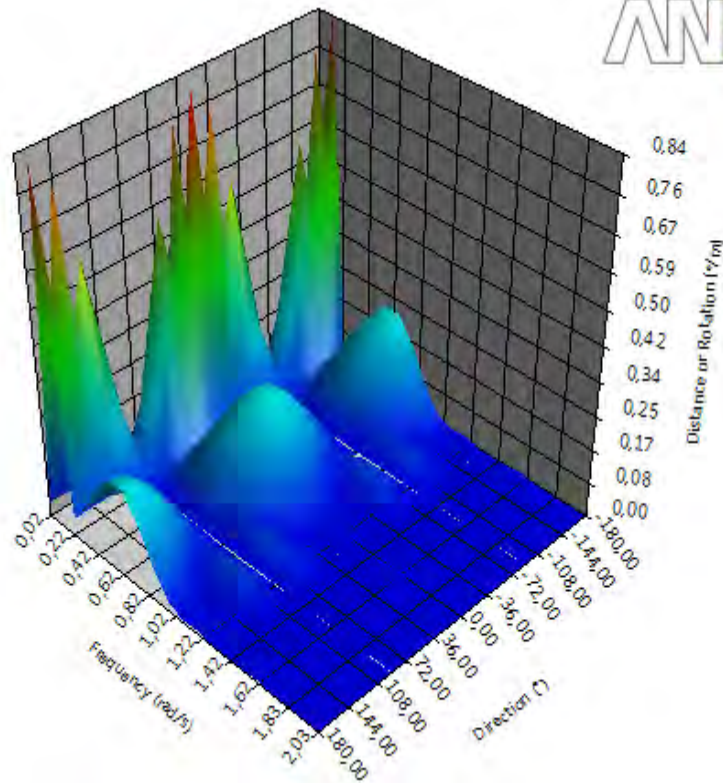


TABLE 76

Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)

Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	3.2369e-2	2.9918e-2	2.2911e-2	1.2419e-2	2.2704e-4	1.2354e-2
0,122	0.8392525	0.773809	0.5900901	0.3215657	6.1278e-2	0.3219577
0,228	4.5189e-2	4.5211e-2	4.5188e-2	4.4987e-2	4.4839e-2	4.5014e-2
0,334	0.1041042	9.6813e-2	7.5256e-2	4.1365e-2	6.3266e-4	4.1305e-2
0,44	0.1760853	0.1627906	0.1247065	6.7532e-2	2.6099e-3	6.7527e-2
0,546	0.2209077	0.2025074	0.1515807	7.9789e-2	2.3097e-3	8.005e-2
0,651	0.2193756	0.1973794	0.139303	6.73e-2	1.2478e-3	6.7706e-2
0,757	0.1652817	0.1418362	8.1055e-2	2.4539e-2	1.4757e-4	2.4233e-2
0,863	8.1585e-2	6.6569e-2	1.6215e-2	2.7417e-2	3.0461e-4	2.7728e-2
0,969	2.2484e-2	1.9206e-2	9.8347e-3	4.3041e-2	1.3575e-4	4.3039e-2
1,075	5.9037e-3	1.2789e-3	1.3089e-2	4.4598e-2	4.1734e-4	4.5332e-2
1,18	9.5859e-3	3.9602e-3	5.955e-3	3.4203e-2	3.3531e-4	3.4189e-2
1,286	1.498e-3	4.5337e-5	2.6053e-3	6.936e-3	2.0358e-4	6.924e-3
1,392	7.7989e-4	6.0947e-4	2.721e-3	8.6344e-4	8.9559e-5	7.412e-4
1,498	3.0723e-3	1.3034e-3	5.3601e-4	8.6604e-4	5.7437e-5	8.9047e-4
1,604	5.1587e-3	3.003e-3	1.381e-3	1.2318e-3	5.9616e-5	1.2864e-3
1,709	8.2976e-4	1.2838e-3	8.9634e-4	1.5076e-4	3.5971e-5	1.2585e-4

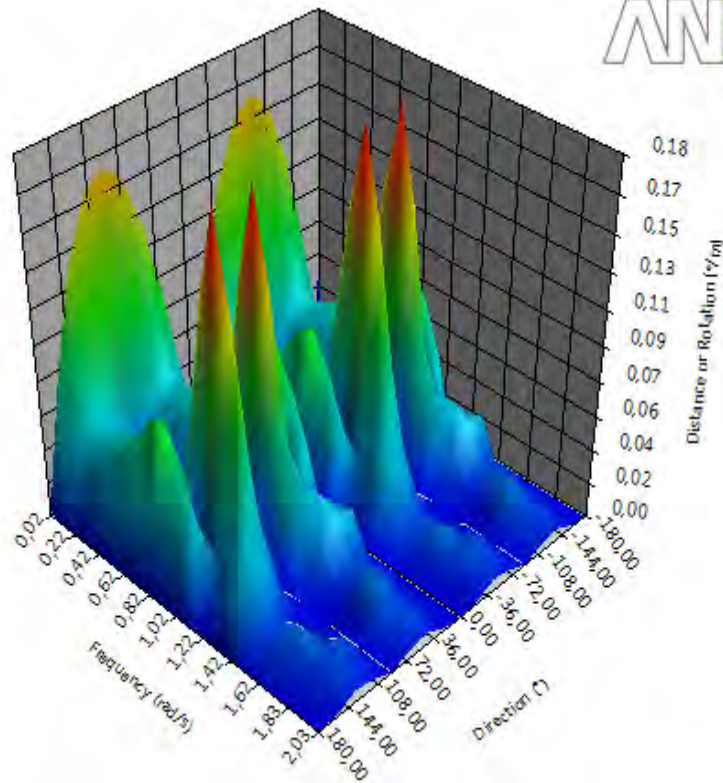
1,815	8.4229e-4	5.1181e-4	8.5379e-4	1.5934e-4	2.4696e-5	1.7656e-4
1,921	1.4604e-4	4.5994e-4	5.0738e-4	2.5502e-4	5.0826e-6	2.7279e-4
2,027	5.4763e-4	3.8844e-4	6.0969e-4	2.8342e-4	1.4436e-5	2.8869e-4

**TABLE 77**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</i>
State	Solved
<b>Details of RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency &amp; Direction)</b>	
Presentation Method	Surface
Axes Selection	Distance/Rotation vs Frequency & Direction
Frequency or Period Scale	Frequency
<b>Surface</b>	
Structure	Part
Type	RAOs (Response Amplitude Operators)
Component	Global RZ
Position of Min in X	2,027
Position of Max in X	0,969
Position of Min in Y	0
Position of Max in Y	-112,5
Minimum Value	0
Maximum Value	0,185

**FIGURE 6**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**





**TABLE 78**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Diffraction (A4) > Solution (A5) > RAOs (Response Amplitude Operators) (Distance/Rotation vs Frequency & Direction)**

Frequency (rad/s)	-180	-157,5	-135	-112,5	-90	-67,5
0,017	3.0194e-3	6.7481e-2	0.1201899	0.1500034	0.1593461	0.1510293
0,122	1.2225e-4	3.2918e-2	4.7107e-2	3.6487e-2	1.9799e-2	3.6522e-2
0,228	8.629e-5	3.4772e-2	4.8128e-2	3.4321e-2	1.158e-2	3.4232e-2
0,334	6.4074e-5	3.902e-2	5.1431e-2	3.4135e-2	7.8586e-3	3.4192e-2
0,44	7.5251e-5	4.6914e-2	5.5779e-2	3.2009e-2	5.7541e-3	3.1983e-2
0,546	8.0637e-5	5.856e-2	5.5735e-2	1.9229e-2	4.0196e-3	1.8893e-2
0,651	6.5354e-5	7.1452e-2	4.3083e-2	1.7557e-2	2.2034e-3	1.7028e-2
0,757	2.8098e-5	8.4535e-2	2.1786e-2	7.496e-2	3.507e-4	7.4827e-2
0,863	4.5625e-5	8.8891e-2	6.5843e-3	0.1399651	1.3161e-3	0.1401767
0,969	4.3547e-5	7.2111e-2	6.0971e-3	0.1847103	2.3652e-3	0.1845157
1,075	5.3306e-5	4.563e-2	2.088e-2	0.1394078	2.3089e-3	0.1387919
1,18	4.4935e-5	6.4917e-3	3.96e-2	7.0437e-2	1.2772e-3	7.0164e-2
1,286	3.9977e-5	2.7673e-2	3.9801e-2	2.8231e-2	1.6293e-4	2.8043e-2
1,392	1.4698e-5	3.0372e-2	3.0894e-2	1.0587e-2	1.1994e-3	1.0792e-2
1,498	3.0771e-5	8.5597e-3	1.1721e-2	2.5033e-3	9.054e-4	2.1484e-3
1,604	6.1889e-5	8.4569e-3	1.6106e-2	2.8997e-3	3.4867e-4	2.4487e-3
1,709	1.6375e-5	5.0682e-3	1.862e-2	6.6219e-3	3.9157e-4	6.7817e-3

1,815	1.7211e-5	3.9683e-3	1.1322e-2	1.2574e-2	4.4209e-4	1.2606e-2
1,921	1.6639e-5	3.2096e-3	1.1528e-2	7.0273e-3	4.1315e-5	7.0742e-3
2,027	1.2872e-5	1.2755e-3	6.519e-3	4.4237e-3	2.4518e-4	4.4411e-3

## Hydrodynamic Time Response (B4)

**TABLE 79**  
**Model (A3, B3) > Analysis**

Object Name	<i>Hydrodynamic Time Response (B4)</i>
State	Solved
<b>Details of Hydrodynamic Time Response</b>	
Analysis Type	Hydrodynamic Time Response

**TABLE 80**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Analysis Settings**

Object Name	<i>Analysis Settings</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Analysis Settings</b>	
<b>Time Response Specific Options</b>	
Analysis Type	Irregular Wave Response with Slow Drift
Start Time	0 s
Time Step	2 s
Number of Steps	5401
Finish Time	10800 s
Starting Position	Program Controlled
Use Cable Dynamics	Yes
<b>Common Analysis Options</b>	
Convolution	Yes
Call Routine "user_force"	No
Calculate C.I.F. Using Added Mass and Damping	No
Calculate Motions Using RAOs Only	No
No Current Phase Shift	No
No Automatic Wave Drift Damping Calculation	No
No Yaw Wave Drift Damping	No
Tube Drag Coefficients	Defined in Geometry
Use Slow Velocity for Hull Drag Calculation	No
<b>QTF Options</b>	
Use Full QTF Matrix	No
Use Sum Frequency QTFs	No
<b>Output File Options</b>	
Joint Axis System for Joint Reaction Force	Global Axes
Do Not Output .LIS Banner Page	No
No Data List	No
No Statistics	No

Output Element Properties	No
---------------------------	----

**TABLE 81**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Current"**

Object Name	<i>Current 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Current 1</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed

**TABLE 82**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Current 1**

Depth (m)	Velocity (m/s)	Direction (°)
0	1	90
45	0,8	90
90	0,8	90

**TABLE 83**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Wind**

Object Name	<i>Wind 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Wind 1</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
<b>Wind Spectral Definition</b>	
Spectra	None (Constant)
Speed	24 m/s
Direction	90 °

**TABLE 84**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Wind 1**

**TABLE 85**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Irregular Wave**

Object Name	<i>Irregular Wave 1</i>
State	Fully Defined
<b>Details of Irregular Wave 1</b>	
Visibility	Visible
Suppressed	Not Suppressed
Wave Range Defined by	Frequency
<b>Wave Spectrum Details</b>	
Wave Type	Jonswap (Hs)
Direction of Spectrum	90 °
Seed Definition	Program Controlled
Omit Calculation of Drift Forces	No
Start and Finish Frequency Definition	User Defined

Start Frequency	0,5 rad/s
Finish Frequency	2,027 rad/s
Significant Wave Height	5,745 m
Gamma	2,5
Peak Frequency	0,7 rad/s
<b>Cross Swell Details</b>	
Cross Swell Spectrum	None

**TABLE 86**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Irregular Wave 1**

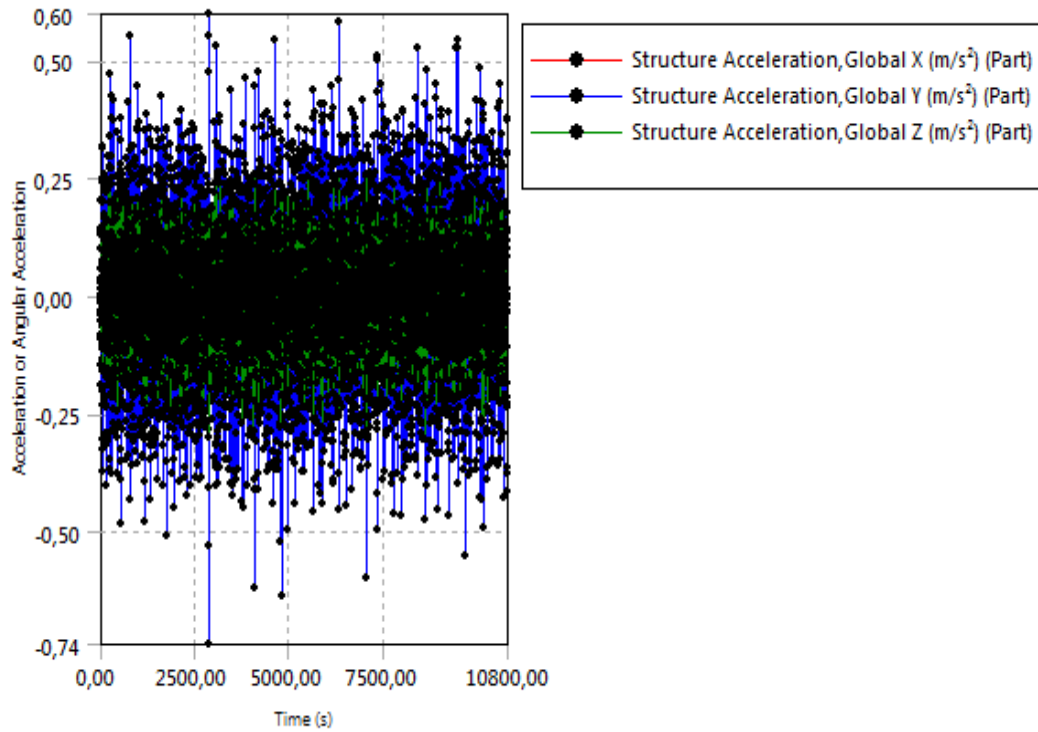
## Solution (B5)

**TABLE 87**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Solution (B5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)</i>
State	Solved
<b>Details of Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)</b>	
Presentation Method	Line
Axes Selection	Acceleration vs Time
<b>Line A</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response
Component	Global X
Position of Min in X	3578
Position of Max in X	7760
Minimum Value	-0,004
Maximum Value	0,003
<b>Line B</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response
Component	Global Y
Position of Min in X	2868
Position of Max in X	2864
Minimum Value	-0,739
Maximum Value	0,599
<b>Line C</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response
Component	Global Z
Position of Min in X	8614

Position of Max in X	4066
Minimum Value	-0,306
Maximum Value	0,26
<b>Line D</b>	
Structure	Not Defined...

**FIGURE 7**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Solution (B5) > Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)**

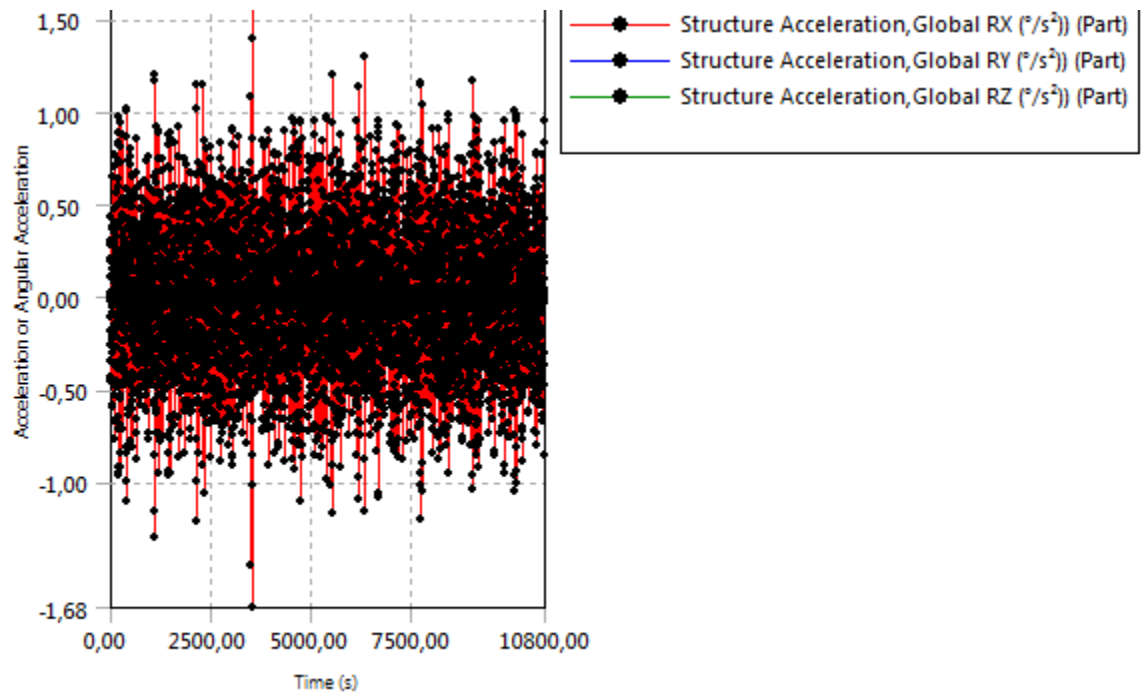


**TABLE 89**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Solution (B5) > Hydrodynamic Graph Results**

Object Name	<i>Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)</i>
State	Solved
<b>Details of Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)</b>	
Presentation Method	Line
Axes Selection	Acceleration vs Time
<b>Line A</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response

Component	Global RX
Position of Min in X	3514
Position of Max in X	3510
Minimum Value	-0,679
Maximum Value	0,505
<b>Line B</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response
Component	Global RY
Position of Min in X	3578
Position of Max in X	3510
Minimum Value	-0,006
Maximum Value	0,009
<b>Line C</b>	
Structure	Part
Type	Structure Acceleration
SubType	Actual Response
Component	Global RZ
Position of Min in X	3514
Position of Max in X	3510
Minimum Value	-0,075
Maximum Value	0,076
<b>Line D</b>	
Structure	Not Defined...

**FIGURE 8**  
**Model (A3, B3) > Hydrodynamic Time Response (B4) > Solution (B5) > Structure Acceleration, Actual Response (Acceleration vs Time)**



**LAMPIRAN B**  
**PERHITUNGAN GAYA**



**B.1. Tinggi Gelombang Signifikan (Hs = 5.745 m)**

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )	g (m/s2)	r roll	r pitch	r yaw	m kolom
0	0,382	0,000223	0,406	0,000283	0,464	0,000199	9,81	29,713	32,296	40,787	326,4181
22,5	0,1034	0,051	0,1138	0,039	0,0508	0,016					
45	0,043	0,1233	0,036	0,13	0,01	0,107					
67,5	0,00471	0,45	0,183	0,005	0,011	0,0755					
90	0,141	0,294	0,236	0,515	0,122	0,362					
112,5	0,088	0,045	0,108	0,022	0,025	0,028					
135	0,111	0,016	0,163	0,115	0,014	0,064					
157,5	0,102	0,019	0,175	0,202	0,019	0,275					
180	0,4049	0,00021	0,397	0,000217	0,4802	0,00021					
202,5	0,1017	0,059	0,1122	0,071	0,0499	0,025					
225	0,037	0,1241	0,032	0,29	0,07	0,298					
247,5	0,00488	0,059	0,075	0,113	0,013	0,0743					
270	0,146	0,299	0,241	0,501	0,1289	0,355					
292,5	0,091	0,14	0,114	0,13	0,017	0,033					
315	0,109	0,013	0,181	0,111	0,009	0,171					
337,5	0,125	0,015	0,165	0,111	0,024	0,169					

Inersia Force Surge (kN)	Inersia Force Sway (kN)	Inersia Force Heave (kN)	Inersia Force Roll (kN)	Inersia Force Pitch (kN)	Inersia Force Yaw (kN)	Momen of Force Roll (kN)	Momen of Force Pitch (kN)	Momen of Force Yaw (kN)
124,6917142	0,072791236	1300,077594	288182,2571	340464,3983	543022,4168	81,55557875	157975,4808	108,0614609
33,75163154	16,6473231	163,3102396	288182,2571	340464,3983	543022,4168	11239,10802	17295,59144	8688,358669
14,0359783	40,24735173	394,8265205	288182,2571	340464,3983	543022,4168	37463,69342	3404,643983	58103,3986
1,537429251	146,888145	1440,972702	288182,2571	340464,3983	543022,4168	1440,911285	3745,108382	40998,19247
46,0249521	95,9669214	941,4354989	288182,2571	340464,3983	543022,4168	148413,8624	41536,6566	196574,1149
28,7247928	14,6888145	144,0972702	288182,2571	340464,3983	543022,4168	6340,009655	8511,609958	15204,62767
36,2324091	5,2226896	51,23458498	288182,2571	340464,3983	543022,4168	33140,95956	4766,501577	34753,43468
33,2946462	6,2019439	60,84106966	288182,2571	340464,3983	543022,4168	58212,81592	6468,823568	149331,1646
132,1666887	0,068547801	0,672453928	288182,2571	340464,3983	543022,4168	62,53554978	163491,0041	114,0347075
33,19672077	19,2586679	188,9275321	288182,2571	340464,3983	543022,4168	20460,94025	16989,17348	13575,56042
12,0774697	40,50848621	397,3882497	288182,2571	340464,3983	543022,4168	83572,85454	23832,50788	161820,6802
1,592920328	19,2586679	188,9275321	288182,2571	340464,3983	543022,4168	32564,59505	4426,037178	40346,56557
47,6570426	97,5990119	957,4463067	288182,2571	340464,3983	543022,4168	144379,3108	43885,86095	192772,958
29,7040471	45,698534	448,3026185	288182,2571	340464,3983	543022,4168	37463,69342	5787,894772	17919,73976
35,5795729	4,2434353	41,62810029	288182,2571	340464,3983	543022,4168	31988,23053	3064,179585	92856,83328
40,8022625	4,8962715	48,03242342	288182,2571	340464,3983	543022,4168	31988,23053	8171,14556	91770,78844

## B.2. Tinggi Gelombang Signifikan (2Hs = 11.49 m)

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	r roll	r pitch	r yaw	m kolom
0	0,764	0,000446	0,812	0,000566	0,928	0,000398	9,81	29,713	32,296	40,787	326,4181
22,5	0,2068	0,102	0,2276	0,078	0,1016	0,032					
45	0,086	0,2466	0,072	0,26	0,02	0,214					
67,5	0,00942	0,9	0,366	0,01	0,022	0,151					
90	0,282	0,588	0,472	1,03	0,244	0,724					
112,5	0,176	0,09	0,216	0,044	0,05	0,056					
135	0,222	0,032	0,326	0,23	0,028	0,128					
157,5	0,204	0,038	0,35	0,404	0,038	0,55					
180	0,8098	0,00042	0,794	0,000434	0,9604	0,00042					
202,5	0,2034	0,118	0,2244	0,142	0,0998	0,05					
225	0,074	0,2482	0,064	0,58	0,14	0,596					
247,5	0,00976	0,118	0,15	0,226	0,026	0,1486					
270	0,292	0,598	0,482	1,002	0,2578	0,71					
292,5	0,182	0,28	0,228	0,26	0,034	0,066					
315	0,218	0,026	0,362	0,222	0,018	0,342					
337,5	0,25	0,03	0,33	0,222	0,048	0,338					

Inersia Force Surge (kN)	Inersia Force Sway (kN)	Inersia Force Heave (kN)	Inersia Force Roll (kN)	Inersia Force Pitch (kN)	Inersia Force Yaw (kN)	Momen of Force Roll (kN)	Momen of Force Pitch (kN)	Momen of Force Yaw (kN)
249,3834284	0,145582473	2600,155188	288182,2571	340464,3983	543022,4168	163,1111575	315950,9617	216,1229219
67,50326308	33,2946462	326,6204792	288182,2571	340464,3983	543022,4168	22478,21605	34591,18287	17376,71734
28,0719566	80,49470346	789,6530409	288182,2571	340464,3983	543022,4168	74927,38683	6809,287967	116206,7972
3,074858502	293,77629	2881,945405	288182,2571	340464,3983	543022,4168	2881,822571	7490,216763	81996,38494
92,0499042	191,9338428	1882,870998	288182,2571	340464,3983	543022,4168	296827,7248	83073,31319	393148,2298
57,4495856	29,377629	288,1945405	288182,2571	340464,3983	543022,4168	12680,01931	17023,21992	30409,25534
72,4648182	10,4453792	102,46917	288182,2571	340464,3983	543022,4168	66281,91912	9533,003153	69506,86935
66,5892924	12,4038878	121,6821393	288182,2571	340464,3983	543022,4168	116425,6318	12937,64714	298662,3293
264,3333774	0,137095602	1,344907856	288182,2571	340464,3983	543022,4168	125,0710996	326982,0082	228,0694151
66,39344154	38,5173358	377,8550642	288182,2571	340464,3983	543022,4168	40921,8805	33978,34695	27151,12084
24,1549394	81,01697242	794,7764994	288182,2571	340464,3983	543022,4168	167145,7091	47665,01577	323641,3604
3,185840656	38,5173358	377,8550642	288182,2571	340464,3983	543022,4168	65129,19009	8852,074357	80693,13114
95,3140852	195,1980238	1914,892613	288182,2571	340464,3983	543022,4168	288758,6216	87771,72189	385545,9159
59,4080942	91,397068	896,6052371	288182,2571	340464,3983	543022,4168	74927,38683	11575,78954	35839,47951
71,1591458	8,4868706	83,25620059	288182,2571	340464,3983	543022,4168	63976,46107	6128,35917	185713,6666
81,604525	9,792543	96,06484683	288182,2571	340464,3983	543022,4168	63976,46107	16342,29112	183541,5769

### B.3. Tinggi Gelombang Signifikan (3Hs = 17.235 m)

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	r roll	r pitch	r yaw	m kolom
0	1,146	0,000669	1,218	0,000849	1,392	0,000597	9,81	29,713	32,296	40,787	326,4181
22,5	0,3102	0,153	0,3414	0,117	0,1524	0,048					
45	0,129	0,3699	0,108	0,39	0,03	0,321					
67,5	0,01413	1,35	0,549	0,015	0,033	0,2265					
90	0,423	0,882	0,708	1,545	0,366	1,086					
112,5	0,264	0,135	0,324	0,066	0,075	0,084					
135	0,333	0,048	0,489	0,345	0,042	0,192					
157,5	0,306	0,057	0,525	0,606	0,057	0,825					
180	1,2147	0,00063	1,191	0,000651	1,4406	0,00063					
202,5	0,3051	0,177	0,3366	0,213	0,1497	0,075					
225	0,111	0,3727	0,096	0,87	0,21	0,894					
247,5	0,01464	0,177	0,225	0,339	0,039	0,2229					
270	0,438	0,897	0,723	1,503	0,3867	1,065					
292,5	0,273	0,42	0,342	0,39	0,051	0,099					
315	0,327	0,039	0,543	0,333	0,027	0,513					
337,5	0,375	0,045	0,495	0,333	0,072	0,507					

Inersia Force Surge (kN)	Inersia Force Sway (kN)	Inersia Force Heave (kN)	Inersia Force Roll (kN)	Inersia Force Pitch (kN)	Inersia Force Yaw (kN)	Momen of Force Roll (kN)	Momen of Force Pitch (kN)	Momen of Force Yaw (kN)
374,0751426	0,218373709	3900,232781	288182,2571	340464,3983	543022,4168	244,6667362	473926,4425	324,1843828
101,2548946	49,9419693	489,9307188	288182,2571	340464,3983	543022,4168	33717,32407	51886,77431	26065,07601
42,1079349	120,7420552	1184,479561	288182,2571	340464,3983	543022,4168	112391,0802	10213,93195	174310,1958
4,612287753	440,664435	4322,918107	288182,2571	340464,3983	543022,4168	4322,733856	11235,32515	122994,5774
138,0748563	287,9007642	2824,306497	288182,2571	340464,3983	543022,4168	445241,5871	124609,9698	589722,3447
86,1743784	44,0664435	432,2918107	288182,2571	340464,3983	543022,4168	19020,02897	25534,82988	45613,88301
108,6972273	15,6680688	153,7037549	288182,2571	340464,3983	543022,4168	99422,87868	14299,50473	104260,304
99,8839386	18,6058317	182,523209	288182,2571	340464,3983	543022,4168	174638,4478	19406,47071	447993,4939
396,5000661	0,205643403	2,017361783	288182,2571	340464,3983	543022,4168	187,6066493	490473,0122	342,1041226
99,59016231	57,7760037	566,7825963	288182,2571	340464,3983	543022,4168	61382,82075	50967,52043	40726,68126
36,2324091	121,6560259	1193,445614	288182,2571	340464,3983	543022,4168	250718,5636	71497,52365	485462,0406
4,778760984	57,7760037	566,7825963	288182,2571	340464,3983	543022,4168	97693,78514	13278,11154	121039,6967
142,9711278	292,7970357	2872,33892	288182,2571	340464,3983	543022,4168	433137,9323	131657,5828	578318,8739
89,1121413	137,095602	1344,907856	288182,2571	340464,3983	543022,4168	112391,0802	17363,68432	53759,21927
106,7387187	12,7303059	124,8843009	288182,2571	340464,3983	543022,4168	95964,6916	9192,538755	278570,4998
122,4067875	14,6888145	144,0972702	288182,2571	340464,3983	543022,4168	95964,6916	24513,43668	275312,3653

#### B.4. Tinggi Gelombang Signifikan (4Hs = 22.98 m)

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	r roll	r pitch	r yaw	m kolom
0	1,528	0,000892	1,624	0,001132	1,856	0,000796	9,81	29,713	32,296	40,787	326,4181
22,5	0,4136	0,204	0,4552	0,156	0,2032	0,064					
45	0,172	0,4932	0,144	0,52	0,04	0,428					
67,5	0,01884	1,8	0,732	0,02	0,044	0,302					
90	0,564	1,176	0,944	2,06	0,488	1,448					
112,5	0,352	0,18	0,432	0,088	0,1	0,112					
135	0,444	0,064	0,652	0,46	0,056	0,256					
157,5	0,408	0,076	0,7	0,808	0,076	1,1					
180	1,6196	0,00084	1,588	0,000868	1,9208	0,00084					
202,5	0,4068	0,236	0,4488	0,284	0,1996	0,1					
225	0,148	0,4964	0,128	1,16	0,28	1,192					
247,5	0,01952	0,236	0,3	0,452	0,052	0,2972					
270	0,584	1,196	0,964	2,004	0,5156	1,42					
292,5	0,364	0,56	0,456	0,52	0,068	0,132					
315	0,436	0,052	0,724	0,444	0,036	0,684					
337,5	0,5	0,06	0,66	0,444	0,096	0,676					

Inersia Force Surge (kN)	Inersia Force Sway (kN)	Inersia Force Heave (kN)	Inersia Force Roll (kN)	Inersia Force Pitch (kN)	Inersia Force Yaw (kN)	Momen of Force Roll (kN)	Momen of Force Pitch (kN)	Momen of Force Yaw (kN)
498,7668568	0,291164945	5200,310375	288182,2571	340464,3983	543022,4168	326,222315	631901,9233	432,2458438
135,0065262	66,5892924	653,2409584	288182,2571	340464,3983	543022,4168	44956,4321	69182,36574	34753,43468
56,1439132	160,9894069	1579,306082	288182,2571	340464,3983	543022,4168	149854,7737	13618,57593	232413,5944
6,149717004	587,55258	5763,89081	288182,2571	340464,3983	543022,4168	5763,645141	14980,43353	163992,7699
184,0998084	383,8676856	3765,741996	288182,2571	340464,3983	543022,4168	593655,4495	166146,6264	786296,4596
114,8991712	58,755258	576,389081	288182,2571	340464,3983	543022,4168	25360,03862	34046,43983	60818,51068
144,9296364	20,8907584	204,9383399	288182,2571	340464,3983	543022,4168	132563,8382	19066,00631	139013,7387
133,1785848	24,8077756	243,3642786	288182,2571	340464,3983	543022,4168	232851,2637	25875,29427	597324,6585
528,6667548	0,274191204	2,689615711	288182,2571	340464,3983	543022,4168	250,1421991	653964,0163	456,1388301
132,7868831	77,0346716	755,7101284	288182,2571	340464,3983	543022,4168	81843,761	67956,69391	54302,24168
48,3098788	162,0339448	1589,552999	288182,2571	340464,3983	543022,4168	334291,4182	95330,03153	647282,7209
6,371681312	77,0346716	755,7101284	288182,2571	340464,3983	543022,4168	130258,3802	17704,14871	161386,2623
190,6281704	390,3960476	3829,785227	288182,2571	340464,3983	543022,4168	577517,2431	175543,4438	771091,8319
118,8161884	182,794136	1793,210474	288182,2571	340464,3983	543022,4168	149854,7737	23151,57909	71678,95902
142,3182916	16,9737412	166,5124012	288182,2571	340464,3983	543022,4168	127952,9221	12256,71834	371427,3331
163,20905	19,585086	192,1296937	288182,2571	340464,3983	543022,4168	127952,9221	32684,58224	367083,1538

### B.5. Tinggi Gelombang Signifikan (4.6Hs = 26.427m)

Heading	Surge (m/s <sup>2</sup> )	Sway (m/s <sup>2</sup> )	Heave (m/s <sup>2</sup> )	Roll (m/s <sup>2</sup> )	Pitch (m/s <sup>2</sup> )	Yaw (m/s <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	r roll	r pitch	r yaw	m kolom
0	1,7572	0,0010258	1,8676	0,0013018	2,1344	0,0009154	9,81	29,713	32,296	40,787	326,4181
22,5	0,47564	0,2346	0,52348	0,1794	0,23368	0,0736					
45	0,1978	0,56718	0,1656	0,598	0,046	0,4922					
67,5	0,021666	2,07	0,8418	0,023	0,0506	0,3473					
90	0,6486	1,3524	1,0856	2,369	0,5612	1,6652					
112,5	0,4048	0,207	0,4968	0,1012	0,115	0,1288					
135	0,5106	0,0736	0,7498	0,529	0,0644	0,2944					
157,5	0,4692	0,0874	0,805	0,9292	0,0874	1,265					
180	1,86254	0,000966	1,8262	0,0009982	2,20892	0,000966					
202,5	0,46782	0,2714	0,51612	0,3266	0,22954	0,115					
225	0,1702	0,62485	0,1472	1,334	0,322	1,3708					
247,5	0,022448	0,2714	0,345	0,5198	0,0598	0,34178					
270	0,6716	1,3754	1,1086	2,3046	0,59294	1,633					
292,5	0,4186	0,644	0,5244	0,598	0,0782	0,1518					
315	0,5014	0,0598	0,8326	0,5106	0,0414	0,7866					
337,5	0,575	0,069	0,759	0,5106	0,1104	0,7774					

Inersia Force Surge (kN)	Inersia Force Sway (kN)	Inersia Force Heave (kN)	Inersia Force Roll (kN)	Inersia Force Pitch (kN)	Inersia Force Yaw (kN)	Momen of Force Roll (kN)	Momen of Force Pitch (kN)	Momen of Force Yaw (kN)
573,5818853	0,334839687	5980,356931	288182,2571	340464,3983	543022,4168	375,1556622	726687,2118	497,0827204
155,2575051	76,57768626	751,2271022	288182,2571	340464,3983	543022,4168	51699,89691	79559,7206	39966,44988
64,56590018	185,137818	1816,201994	288182,2571	340464,3983	543022,4168	172332,9897	15661,36232	267275,6336
7,072174555	675,685467	6628,474431	288182,2571	340464,3983	543022,4168	6628,191912	17227,49856	188591,6854
211,7147797	441,4478384	4330,603295	288182,2571	340464,3983	543022,4168	682703,767	191068,6203	904240,9285
132,1340469	67,5685467	662,8474431	288182,2571	340464,3983	543022,4168	29164,04441	39153,40581	69941,28729
166,6690819	24,02437216	235,6790909	288182,2571	340464,3983	543022,4168	152448,414	21925,90725	159865,7995
153,1553725	28,52894194	279,8689204	288182,2571	340464,3983	543022,4168	267778,9533	29756,58841	686923,3573
607,966768	0,315319885	3,093288068	288182,2571	340464,3983	543022,4168	287,663529	752058,6188	524,5596547
152,7049155	88,58987234	869,0666477	288182,2571	340464,3983	543022,4168	94120,32515	78150,19799	62447,57794
55,55636062	203,9623498	2000,870651	288182,2571	340464,3983	543022,4168	384435,1309	109629,5363	744375,129
7,327433509	88,58987234	869,0666477	288182,2571	340464,3983	543022,4168	149797,1372	20359,77102	185594,2016
219,222396	448,9554547	4404,253011	288182,2571	340464,3983	543022,4168	664144,8296	201874,9603	886755,6067
136,6386167	210,2132564	2062,192045	288182,2571	340464,3983	543022,4168	172332,9897	26624,31595	82430,80287
163,6660353	19,51980238	191,4892613	288182,2571	340464,3983	543022,4168	147145,8604	14095,22609	427141,4331
187,6904075	22,5228489	220,9491477	288182,2571	340464,3983	543022,4168	147145,8604	37587,26958	422145,6268

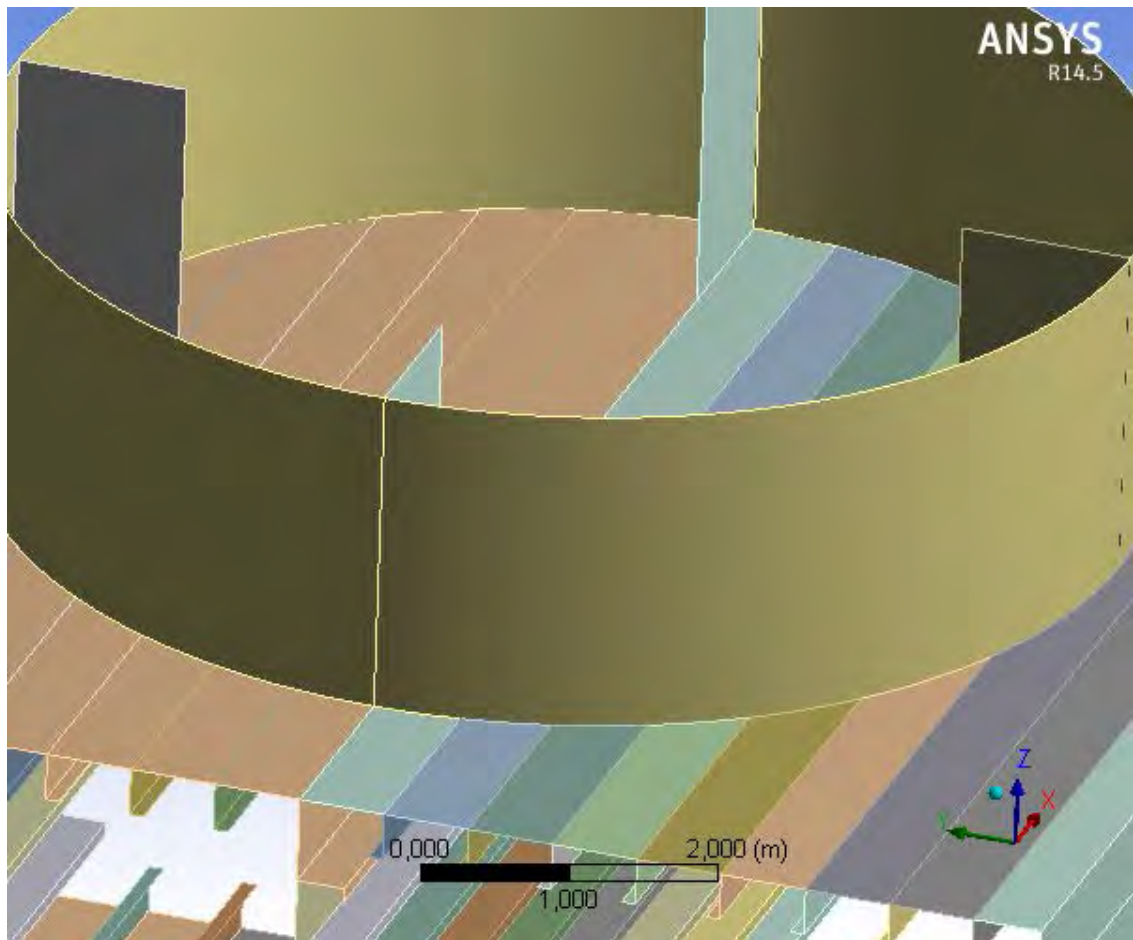
## **LAMPIRAN C**

### **INPUT DAN OUTPUT ANSYS**



## Project

First Saved	Wednesday, March 26, 2014
Last Saved	Saturday, April 05, 2014
Product Version	14.5 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



its

**TABLE 1**

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

**TABLE 30**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>MOMENT</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>FX</i>	<i>FY</i>	<i>FZ</i>
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	8 Faces	373 Edges	28 Edges		
<b>Definition</b>					
Type	Moment	Fixed Support	Force		
Define By	Components		Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component	1,4814e+008 N·m (ramped)		46024 N (ramped)	0, N (ramped)	
Y Component	4,1537e+007 N·m (ramped)		0, N (ramped)	95966 N (ramped)	0, N (ramped)
Z Component	1,9657e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)		-9,4144e+005 N (ramped)
Suppressed	No				
Behavior	Deformable				
<b>Advanced</b>					
Pinball Region	All				

**TABLE 31**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>FZ TOP</i>
State	Fully Defined
<b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	28 Edges
<b>Definition</b>	
Type	Force



Define By	Components
Coordinate System	Global Coordinate System
X Component	0, N (ramped)
Y Component	0, N (ramped)
Z Component	-32022 N (ramped)
Suppressed	No

**TABLE 30**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Moment</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	8 Faces	373 Edges	28 Edges		
<b>Definition</b>					
Type	Moment	Fixed Support	Force		
Define By	Components		Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component	2,9682e+008 N·m (ramped)		92024 N (ramped)	0, N (ramped)	
Y Component	8,3073e+007 N·m (ramped)		0, N (ramped)	1,9097e+005 N (ramped)	0, N (ramped)
Z Component	3,9314e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)		-1,8814e+006 N (ramped)
Suppressed	No				
Behavior	Deformable				
<b>Advanced</b>					

Pinball Region	All	
----------------	-----	--

**TABLE 30**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Moment</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	8 Faces	373 Edges	28 Edges		
<b>Definition</b>					
Type	Moment	Fixed Support	Force		
Define By	Components		Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component	4,4524e+008 N·m (ramped)		1,3807e+005 N (ramped)	0, N (ramped)	
Y Component	1,246e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)	2,879e+005 N (ramped)	0, N (ramped)
Z Component	5,8972e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)		-2,824e+006 N (ramped)
Suppressed	No				
Behavior	Deformable				
<b>Advanced</b>					
Pinball Region	All				

**TABLE 30**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>Moment</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>Force</i>	<i>Force 2</i>	<i>Force 3</i>
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	8 Faces	373 Edges	28 Edges		
<b>Definition</b>					
Type	Moment	Fixed	Force		

		Support			
Define By	Components		Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component	5,9365e+008 N·m (ramped)		1,8009e+005 N (ramped)	0, N (ramped)	
Y Component	1,6614e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)	3,8386e+005 N (ramped)	0, N (ramped)
Z Component	7,8629e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)		-3,7657e+006 N (ramped)
Suppressed	No				
Behavior	Deformable				
<b>Advanced</b>					
Pinball Region	All				

3

**TABLE 30**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads**

Object Name	<i>MOMENT</i>	<i>Fixed Support</i>	<i>FX</i>	<i>FY</i>	<i>FZ</i>
State	Fully Defined				
<b>Scope</b>					
Scoping Method	Geometry Selection				
Geometry	8 Faces	373 Edges	28 Edges		
<b>Definition</b>					
Type	Moment	Fixed Support	Force		
Define By	Components		Components		
Coordinate System	Global Coordinate System		Global Coordinate System		
X Component	6,82703e+008 N·m (ramped)		2,11e+005 N (ramped)	0, N (ramped)	
Y	1,91068e+008		0, N	4,4144e+005 N	0, N (ramped)

Component	N·m (ramped)		(ramped)	(ramped)	
Z Component	9,0424e+008 N·m (ramped)		0, N (ramped)		-4,3306e+006 N (ramped)
Suppressed	No				

**TABLE 33**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information**

Object Name	<i>Solution Information</i>
State	Solved
<b>Solution Information</b>	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2,5 s
Display Points	All
<b>FE Connection Visibility</b>	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

**TABLE 34**  
**Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results**

Object Name	<i>Equivalent Stress</i>	<i>Total Deformation</i>
State	Solved	
<b>Scope</b>		
Scoping Method	Geometry Selection	

Geometry	All Bodies	
Shell	Top/Bottom	
<b>Definition</b>		
Type	Equivalent (von-Mises) Stress	Total Deformation
By	Time	
Display Time	Last	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
<b>Integration Point Results</b>		
Display Option	Averaged	
<b>Results</b>		
Minimum	296,35 Pa	0, m
Maximum	4,7132e+008 Pa	2,3764e-002 m
Minimum Occurs On	TRIMSURF	
Maximum Occurs On	TRIMSURF	
<b>Information</b>		
Time	1, s	
Load Step	1	
Substep	1	
Iteration Number	1	

## Material Data

## Structural Steel

**TABLE 35**  
**Structural Steel > Constants**

Density	7850, kg m <sup>-3</sup>
Coefficient of Thermal Expansion	1,2e-005 C <sup>-1</sup>
Specific Heat	434, J kg <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Thermal Conductivity	60,5 W m <sup>-1</sup> C <sup>-1</sup>
Resistivity	1,7e-007 ohm m

**TABLE 36**  
**Structural Steel > Compressive Ultimate Strength**

Compressive Ultimate Strength Pa
0,

**TABLE 37**  
**Structural Steel > Compressive Yield Strength**

Compressive Yield Strength Pa
2,5e+008

**TABLE 38**  
**Structural Steel > Tensile Yield Strength**

Tensile Yield Strength Pa
2,5e+008

**TABLE 39**  
**Structural Steel > Tensile Ultimate Strength**

Tensile Ultimate Strength Pa
4,6e+008

**TABLE 40**  
**Structural Steel > Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion**

Reference Temperature C
22,

**TABLE 41**  
**Structural Steel > Alternating Stress Mean Stress**

Alternating Stress Pa	Cycles	Mean Stress Pa
3,999e+009	10,	0,
2,827e+009	20,	0,
1,896e+009	50,	0,
1,413e+009	100,	0,
1,069e+009	200,	0,
4,41e+008	2000,	0,
2,62e+008	10000	0,
2,14e+008	20000	0,
1,38e+008	1,e+005	0,
1,14e+008	2,e+005	0,
8,62e+007	1,e+006	0,

**TABLE 42**  
**Structural Steel > Strain-Life Parameters**

Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent
9,2e+008	-0,106	0,213	-0,47	1,e+009	0,2

**TABLE 43**  
**Structural Steel > Isotropic Elasticity**

Temperature	Young's Modulus	Poisson's	Bulk Modulus	Shear Modulus
-------------	-----------------	-----------	--------------	---------------

C	Pa	Ratio	Pa	Pa
	2,e+011	0,3	1,6667e+011	7,6923e+010

**TABLE 44**  
**Structural Steel > Isotropic Relative Permeability**

Relative Permeability
10000